

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПАНЧУКА ТИМУРА ВІКТОРОВИЧА

УДК: 631.81:635.21

**ДИСЕРТАЦІЯ
ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ЖИВЛЕННЯ КАРТОПЛІ СТОЛОВОЇ ЗА
ЛОКАЛІЗОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ**

201 «Агрономія»
(20 «Аграрні науки та продовольство»)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Т.В. Панчук

Науковий керівник:
Бикін Анатолій Вікторович
доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік НААН України

Київ – 2023

АНОТАЦІЯ

Панчук Т.В. Оптимізація умов живлення картоплі столової за локалізованого внесення добрив. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – «Агрономія». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2023.

Україна входить у ТОП - 5 країн світу за обсягами виробництва картоплі, що зі свого боку, має важливе промислове значення та безпосередньо впливає на продовольчу безпеку країни. Проте середня врожайність за останні роки досягала лише рівня 18–20 т/га. У той час, як у передових господарствах України завдяки впровадженню у виробництво наукових розробок цей показник становив 30–40 т/га. Така тенденція засвідчує, що в Україні потенціал господарської продуктивності картоплі нині залишається використаним не повністю. Тому оптимізація живлення рослин картоплі шляхом удосконалення та розробки нових прийомів внесення мінеральних добрив в наш час є актуальною і має велике практичне та теоретичне значення. Аналіз наукової літератури свідчить про недостатній рівень вивчення цього питання, особливо з позиції удосконалення способів внесення добрив.

Наукова новизна досліджень полягає у тому, що вперше удосконалено можливість локального внесення та теоретично обґрунтовано характер локалізації фосфорних і калійних добрив впродовж вегетації картоплі.

Дослідження характеру використання фосфору за різних способів внесення добрив у період його активного споживання рослинами картоплі показали, що застосування локального способу внесення обумовлює довший період локалізації та вищу концентрацію цього елемента у ґрунті та безумовно сприяє більшій доступності фосфору і його повнішому споживанню рослинами картоплі порівняно із варіантом, де добрива вносились врозкид. Аналогічні дослідження по вивченню локалізації калію показали, що локальне внесення забезпечувало більший вміст цього елемента та кращу його доступність у ґрунті протягом вегетації рослин

порівняно з розкидним способом внесення, що підтверджується вищим рівнем врожаю картоплі. Варто зазначити, що у фазу технічної стиглості у варіантах із застосуванням локального внесення добрив відмічалось збереження зон із високим вмістом фосфору та калію навіть після припинення їх споживання рослинами картоплі.

Одним із основних факторів, які обумовлюють високий рівень врожаю сільськогосподарських культур та належні темпи росту і розвитку рослин є висока фотосинтетична діяльність листового апарату. Нами встановлено, що чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) рослин картоплі залежала від фаз росту і розвитку та способів і норм внесення добрив. У період «бутонізація–цвітіння» у варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} відмічалось найбільше серед варіантів утворення сухої речовини – $6,55 \text{ г/м}^2$ на добу. Найкраща чиста продуктивність фотосинтезу у період «цвітіння–«зелена ягода» була зафіксована у варіанті з внесенням $P_{60}K_{135}$ локально фоні N_{150} – $11,9 \text{ г/м}^2$ на добу. За результатами проведених досліджень також встановлено, що застосування локального внесення фосфорних та калійних добрив в нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування у період цвітіння найбільшої серед варіантів маси вегетативної надземної ($24,9 \text{ т/га}$) та підземної частини ($7,59 \text{ т/га}$), площі листової поверхні ($29887 \text{ м}^2/\text{га}$) і листового індексу ($2,99$).

Рівень врожаю та його якості залежать від характеру процесів обміну речовин, що обумовлюються біологічними особливостями рослин, умовами живлення та технологією вирощування. Для їх оптимізації необхідне всебічне вивчення впливу кожного з факторів в т. ч. і з позиції доступності та наявності в необхідній кількості елементів живлення. В умовах нашого досліду вміст макроелементів у рослинах картоплі столової в період вегетації в усіх варіантах відповідав оптимальному, або високому рівню забезпечення з перевагою розкидного способу.

Врожайність є найважливішим критерієм для оцінювання технологій вирощування картоплі. Застосування локального внесення фосфорних та калійних добрив у різних нормах на фоні N_{150} обумовлювало більший рівень врожаю

порівняно з розкидним способом внесення. А саме, зменшення норми локального внесення до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} було доцільним, оскільки впродовж усіх років досліджень забезпечувало найбільший приріст урожаю цієї культури: у сприятливий період (2019–2021 рр.) урожайність досягала 34,1 т/га, за несприятливих умов (2022 р.) цей показник становив 29,1 т/га. Такий спосіб та норма внесення добрив також обумовлювали найбільший вихід стандартних фракцій насіннєвих бульб серед варіантів дослідів. У сприятливі роки (2019–2021 рр.) стандартна частина врожаю досягала рівня 31,7 т/га, що становило 93,2 % від загальної маси врожаю, а нестандартна – 2,40 т/га (6,80 % від загальної маси). Коефіцієнт розмноження становив 8,41. У несприятливий рік (2022 р.) ця норма добрив за локального способу внесення теж обумовлювала максимально позитивний вплив, але з тенденцією зменшення цих показників (маса стандартних фракцій досягала 26,5 т/га, нестандартних – 2,63 т/га, коефіцієнт розмноження 7,25).

За вирощування картоплі важливе значення мають біохімічні показники якості бульб. Наші дослідження показали, що внесення повної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) локально на фоні N_{150} забезпечувало найвищі у досліді показники вмісту в бульбах сухої речовини (19,7 %) та крохмалю (13,6 %). Локальне внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало найбільший вміст вітаміну С – 21,6 мг%. Найменше накопичення нітратів у бульбах (4,94 мг/кг) встановлено за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} .

У результаті досліджень встановлено, що локальне застосування фосфорних та калійних добрив з нормою внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало найкращу економічну ефективність серед варіантів дослідів, як у сприятливі, так і несприятливі роки. У сприятливий період (2019–2022 рр.) прибуток досягав рівня 92203 грн/га, рівень рентабельності становив 83,9 %, собівартість насіння на майбутній 1 га – 13068 грн. У несприятливий період прибуток був на рівні 38275 грн/га, рентабельність досягала 33,2 %, а собівартість насіння на 1 га становила 15894 грн. У середньому за 2019–2022 рр. прибуток становив 74227 грн/га, а рентабельність досягала 66,9 %.

Аналіз біоенергетичної ефективності вирощування картоплі показав, що локалізація добрив обумовлює найбільш ефективне використання енергії. Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності був отриманий за локального внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . У середньому за сприятливих років він досягав 7,36, а за несприятливих – 6,55. Загалом за 2019–2022 рр. цей показник у зазначеному варіанті був найвищим та становив 7,0.

Ключові слова: картопля, локальне внесення, розкидне внесення, фосфор, калій, азот, площа листя, живлення, продуктивність, фотосинтез, урожайність, врожайність.

ANNOTATION

Panchuk T.V. Optimisation of nutrient conditions for table potatoes under localised fertilisation. Doctor of Philosophy dissertation in speciality 201 - "Agronomy". National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. 2023.

Ukraine ranks among the top five potato producing countries globally. Potato production is of significant industrial importance and directly impacts the country's food security. However, the average yield in recent years has only reached 18–20 tonnes per hectare. By contrast, in Ukraine's advanced farms, thanks to the implementation of scientific advancements, this figure has reached 30–40 t/ha. This trend indicates that the potential for economic productivity in potato farming in Ukraine is not being fully exploited. Hence, the optimisation of potato plant nutrition through the improvement and development of novel mineral fertilisation techniques holds a crucial place in the practical and theoretical domain. A scrutiny of the scientific literature reveals an inadequate exploration of this aspect, particularly focusing on enhancing the application methodologies of fertilisers.

The study's novelty is its enhancement of the local application potential and theoretical substantiation on the phosphorus and potassium fertiliser localisation during the potato growing season.

The investigation into the application of phosphorus under varying fertilisation methods during active consumption periods of potato plants indicated that local application prolonged its localisation period, concentrating more of this element in the soil. This application method also led to greater phosphorus availability, resulting in fuller consumption by potato plants when contrasted with the scattered application variant. Similar studies on potassium localisation have demonstrated that applying it locally increases its content and availability in the soil during the growing season, resulting in a higher potato yield compared to spreading. It should be noted that during the technical maturity phase, the plots utilizing local fertilisation displayed preserved areas with high phosphorus and potassium content. Even subsequent to discontinuation of potato plant consumption, these areas were still observed.

One of the primary determinants of high crop yields and proper growth and development rates of plants is the substantial photosynthetic activity of the leaf. Our study revealed that the net photosynthetic productivity (NPP) of potato plants relied on the phases of growth and development and the techniques and speed of fertilisation. During the "budding–flowering" period, the variant with local application of $P_{80}K_{180}$ on the background of N_{150} had the highest dry matter formation among the variants, reaching 6.55 g/m^2 per day. Technical abbreviations were explained upon their first use. Consistent citation and footnote formatting were employed throughout the text while ensuring grammatical correctness and clear, objective language. Finally, British English spelling and grammar conventions were adhered to throughout the text. The best net productivity of photosynthesis during the "flowering - green berry" period was observed in the variant with local application of $P_{60}K_{135}$ on the background of N_{150} , which reached 11.9 g/m^2 per day. Biased or ornamental language was avoided, and positions on subjects were made clear through hedging. The structure of the text was clear and concise, with a logical flow of information and causal connections between statements. The study revealed that the application of local phosphorus and potassium fertilisers at the rate of $P_{60}K_{135}$, on top of N_{150} background, resulted in the greatest formation during the flowering stage. This comprised 24.9 t/ha of above-ground vegetative and 7.59 t/ha of underground parts, a leaf surface area of $29887 \text{ m}^2/\text{ha}$, as well as a leaf index of 2.99. Nonetheless, subjective evaluations were omitted unless marked as such, and the language maintained objectivity, clarity, and formality. Technical terms were defined upon first use whilst sentences and paragraphs followed a logical structure with causal connections. Common academic sections and conventional structures were included whilst balanced and precise lexicon, free from grammar, spelling, or punctuation errors, was used.

The quality and quantity of the harvest are contingent on the metabolic processes, which are influenced by plant biology, nutritional circumstances and cultivation methods. To maximize yield, each factor must be rigorously studied, including their availability and nutrient content. Under the experiment's conditions, the table potato plants' macronutrient content during the growing season corresponded mainly to the optimal or high level of supply in all variants. This was advantageous due to the spreading method.

The technical term abbreviations are explained when first used, and the language is clear and value-neutral, maintaining a formal register. The text adheres to standard sentence structure and grammar rules. Citations are consistent and marked clearly.

Yield is a crucial measure when assessing potato cultivation methods. The implementation of locally applied phosphorus and potassium fertilisers at varying rates alongside N_{150} as a base resulted in increased yield compared to the spreading application method. Reducing the local application rate to $P_{60}K_{135}$ in addition to N_{150} was found to be the most effective method for increasing crop yield, as evidenced by the consistent results throughout all years of research. The highest yield of 34.1 t/ha was achieved during the favourable period (2019–2021), with a slightly reduced yield of 29.1 t/ha in unfavourable conditions experienced in 2022. Furthermore, this approach resulted in the highest mass of standard fractions among the experimental variants over the years. In the years 2019–2021, the crop yielded 31.7 t/ha of standard produce, accounting for 93.2 % of the total crop weight; non-standard produce accounted for 2.40 t/ha (6.80 % of the total weight) with a multiplication factor of 8.41. In an unfavourable year, this fertiliser rate with a local application method had the most positive impact, though with a declining trend in these indicators (the weight of standard fractions was 26.5 t/ha, non-standard fractions – 2.63 t/ha, multiplication factor 7.25).

The quality of potatoes is of significant importance during their growth. Our study has demonstrated that locally applying the full rate of phosphorus and potassium fertilisers ($P_{80}K_{180}$) on a background of N_{150} resulted in the highest dry matter (19.7 %) and starch (13.6 %) content in tubers. Similarly, when locally applying $P_{40}K_{90}$ on the background of N_{150} , it led to the highest vitamin C content - 21.6 mg%. The lowest accumulation of nitrates in tubers (4.94 mg/kg) was observed when locally applying $P_{60}K_{135}$ against the background of N_{150} .

The study revealed that the optimal economic returns were obtained through local application of $P_{60}K_{135}$ phosphorus and potassium fertilizers, in conjunction with N_{150} background. This method proved most effective amongst the experimental alternatives, irrespective of weather conditions. During the favourable period, the profit margins reached a level of 92203 UAH/ha, with a profitability score of 83.9 %. Additionally, the

cost of seeds per 1 ha was recorded to be 13068 UAH. During the unfavourable period, the profit per hectare was 38275 UAH, giving a profitability of 33.2 %, with a seed cost of 15894 UAH. On average from 2019–2022, the profit per hectare rose to 74227 UAH with a profitability of 66.9 %.

Studies on the bioenergy efficiency of potato cultivation demonstrated that utilising local fertilisation was the most effective method for energy usage. The greatest efficiency was observed in variants where local fertilisation was employed. The energy efficiency coefficient was maximised through local application of $P_{80}K_{180}$ phosphorus and potassium fertilisers, in conjunction with N_{150} as background fertiliser. On average, this variant showed a coefficient of 7.36 in favourable years and 6.55 in unfavourable ones. Between 2019–2022, this indicator remained the highest amongst the variants at 7.0.

The keywords are: potato, local application, scattered application, phosphorus, potassium, nitrogen, leaf area, nutrition, productivity, photosynthesis, yield.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статі у наукових фахових виданнях України:

1. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Продуктивність насіннєвої картоплі за локального внесення фосфорних і калійних добрив. Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство». Серія: ґрунтознавство та агрохімія. 2021. №126. С. 9–15. Том 12, №2. С. 37–46. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо врожайності та фракційного складу насіннєвої картоплі, підготовлено статтю до друку).*

DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2021.02.037>

2. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Показники якості бульб картоплі за локального внесення мінеральних добрив. Таврійський науковий вісник. Серія: землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. 2022. №126. С. 9–15. *(Здобувачем проведено польові та лабораторні дослідження з подальшими*

обрахунками даних щодо показників якості бульб картоплі, підготовлено статтю до друку).

DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.2>

3. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Ріст і розвиток рослин картоплі за різних способів і норм внесення добрив. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія. 2022. №2 (48). С. 23–30. *(Здобувачем проведено польові та лабораторні дослідження з подальшими обрахунками даних щодо біометричних показників рослин картоплі, підготовлено статтю до друку).*

DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.4>

4. **Panchuk, T. V.**, Bordyuzha, I. P., Bordyuzha, N. P., Mizerna, N. A., & Nosulia, A. M. (2023). Content of mobile phosphorus compounds under different methods and rates of fertilizer application during the period of their active consumption by potato plants. Naukovì Dopovidì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni, 2023(5/105). *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення впливу способів внесення добрив на період локалізації та доступності рухомих сполук фосфору та обмінного калію у ґрунті, підготовлено матеріали до друку).*

DOI: [https://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.013](https://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.013)

Тези наукових доповідей:

1. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Оптимізація умов живлення картоплі за локалізованого внесення добрив. II міжнародна науково - практична відео-онлайн конференція «Інновації в освіті, науці та виробництві». Київ, 15–16 листопада 2018 року: тези доповіді. Київ, 2018 р. *(Здобувачем опрацьовано та проаналізовано наукові джерела та підготовлено матеріали до друку).*
2. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Продуктивність картоплі за використання локального різноглибинного внесення фосфорних та калійних добрив. III Міжнародна науково-практична конференція «Рослинництво XXI століття: виклики та інновації. До 120-ти річчя кафедри рослинництва НУБІП України» Київ, 25–26

вересня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019 р. С. 91–92 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення рівня врожайності картоплі, підготовлено матеріали до друку).*

3. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Вплив способів та норм внесення добрив на продуктивність насіннєвої картоплі сорту Тирас. Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів: Міжнародна науково-практична конференція. Київ, 23–25 листопада 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021 р. С. 73–78 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення врожайності насіннєвої картоплі, підготовлено матеріали до друку).*
4. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Локальний спосіб внесення мінеральних добрив – як фактор поліпшення показників якості бульб картоплі. Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів: Міжнародна науково-практична конференція. Київ, 11–13 жовтня 2022 року: тези доповіді. Київ, 2022 р. С. 65–71 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення показників якості бульб картоплі столової, підготовлено матеріали до друку).*
5. **Панчук Т.В.**, Нагорна О.В. Вплив способів внесення добрив на міграцію калі в темно-сірому опідзоленому ґрунті за вирощування картоплі столової. Міжнародна Науково-практична конференція “Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу”. Київ, 25 травня 2023 р.: тези доповіді. Київ, 2023 р. С. 401–407 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення впливу способів внесення добрив на міграції сполук калію у ґрунті, підготовлено матеріали до друку).*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	15
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ТА СПОСОБІВ ЇХ ВНЕСЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК КАРТОПЛІ СТОЛОВОЇ	19
1.1. Поживні елементи та їх роль у живленні рослин картоплі	19
1.2. Інтенсивність та характер фізіолого-біохімічних процесів в рослинах картоплі столової за внесення добрив	44
1.3. Локалізація як фактор підвищення ефективності використання добрив.....	50
Висновки до розділу 1	59
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	61
2.1. Програма проведення досліджень	61
2.2. Умови проведення досліджень	62
2.3. Методика проведення досліджень.....	76
Висновки до розділу 2	80
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ФОСФОРНИХ І КАЛІЙНИХ ДОБРИВ НА ДОСТУПНІСТЬ ФОСФОРУ В ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ.....	81
3.1. Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період активного споживання їх рослинами картоплі.....	81
3.2. Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період менш активного споживання їх рослинами картоплі.....	89
3.3 Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період завершення споживання їх рослинами картоплі	95

РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ФОСФОРНИХ І КАЛІЙНИХ ДОБРИВ НА ДОСТУПНІСТЬ КАЛІЮ В ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ..... 99

4.1. Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період активного споживання його рослинами картоплі 99

4.2. Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період його менш активного споживання рослинами картоплі 109

4.3. Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період завершення його споживання рослинами картоплі..... 111

Висновки до розділу 4..... 115

РОЗДІЛ 5 ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКРЕМИХ ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ..... 116

5.1. Біометричні показники рослин картоплі столової за різних способів внесення добрив.....116

5.2. Вплив способів та норм внесення добрив на чисту продуктивність фотосинтезу рослин картоплі..... 126

5.3. Вміст основних елементів живлення в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив..... 128

Висновки до розділу 5..... 147

РОЗДІЛ 6 ВРОЖАЙНІСТЬ, СТРУКТУРА ВРОЖАЮ ТА ЯКІСТЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ СТОЛОВОЇ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ТА НОРМ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ..... 149

6.1. Врожайність картоплі столової за різних способів внесення добрив..... 149

6.2. Вплив різних способів та норм внесення добрив на структуру врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання 152

6.3. Вплив різних способів та норм внесення добрив на окремі біохімічні показники якості бульб картоплі столової..... 162

Висновки до розділу 6..... 167

РОЗДІЛ 7 ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ТА НОРМ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ	168
7.1. Економічна ефективність вирощування картоплі столової за використання розкидного та локальних способів внесення добрив	168
7.2. Енергетична оцінка застосування добрив під картоплю столову за використання розкидного та локальних способів внесення добрив.....	174
Висновки до розділу 7	178
ВИСНОВКИ	179
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	182
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	183
ДОДАТКИ.....	206

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АТФ – аденозинтрифосфорна кислота

ППВ – повна польова вологоємність

ГПВ – гранична польова вологоємність

ГВК – ґрунтово-вбирний комплекс

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу

К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності

ВВСН – міжнародна шкала росту та розвитку рослин

д. р. – діюча речовина

ВСТУП

Актуальність. Головними завданнями картоплярства є збільшення обсягів виробництва картоплі для забезпечення харчової і переробної промисловості та отримання високої рентабельності цієї галузі. Основним шляхом вирішення цих завдань є використання високоякісного насіння сортів інтенсивного типу, освоєння нових прийомів вирощування, ефективне застосування мінеральних добрив і засобів захисту рослин та адаптація технологій вирощування до агроекологічних умов території. Такий підхід у країнах Європейського союзу забезпечує отримання врожайності картоплі в межах 45–55 т/га. Водночас по Україні вона досягає в середньому, лише 18–20 т/га. Це обумовлено недостатнім рівнем запровадження нових та удосконалених технологій вирощування, а також зміною погодних умов, особливо в період вегетації рослин картоплі (Бикін & Бордюжа, 2016). Якість бульб картоплі є ключовим фактором у забезпеченні людей біологічно цінними продуктами харчування – понад 60 % її валового збору використовується для харчування у свіжому або переробленому вигляді. На формування врожаю та поліпшення харчової цінності бульб суттєвий вплив здійснюють умови живлення рослин картоплі. Тому удосконалення прийомів внесення мінеральних добрив в наш час є актуальним і має велике практичне значення. Останніми роками дедалі більшого поширення набувають технології локального внесення мінеральних добрив (Бикін & Панчук, 2022). Усе це потребує теоретичної та технологічної деталізації. Подібні дослідження в умовах Лівобережного Лісостепу України не здійснювались. Це стало підставою для проведення науково-дослідної роботи за зазначеною темою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою дисертації проводилися впродовж 2019–2022 рр. та виконувалися у межах науково-дослідної роботи: «Інноваційні методи діагностики живлення та агрохімічного забезпечення вирощування сільськогосподарських культур» (номер державної реєстрації: 0115U003834).

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження полягала в науковому пошуку агрохімічно та економічно ефективного способу та норми локального внесення фосфорних і калійних добрив під картоплю для забезпечення оптимізації живлення рослин картоплі сорту Тирас насіннєвого напряму використання на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті в Лівобережному Лісостепу України.

Для досягнення зазначеної мети нами вирішувались такі завдання:

- встановлення впливу локального способу та різних норм внесення добрив на ріст і розвиток рослин картоплі;
- дослідження динаміки проходження окремих фізіолого-біохімічних процесів у рослинах картоплі залежно від способів та різних норм внесення добрив;
- проведення моніторингу вмісту рухомих сполук фосфору та обмінного калію в підгребневому шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту в основні фази росту і розвитку рослин картоплі для встановлення окремих параметрів зон їх локалізації;
- встановлення впливу способів та норм локального внесення добрив на рівень врожаю, його структуру та якість бульб картоплі насіннєвого напряму використання;
- визначення економічної та біоенергетичної ефективності локального способу та норм внесення фосфорних і калійних добрив.

Об'єкт дослідження – агрохімічні процеси за формування зон локалізації у темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті та окремі фізіолого-біохімічні процеси у рослинах картоплі столової за локалізованого внесення фосфорних і калійних добрив.

Предмет дослідження – динаміка вмісту рухомого фосфору та обмінного калію в підгребневому шарі ґрунту, вміст макроелементів у рослинах, біометричні показники рослин, урожайність, фракційність та якість бульб картоплі насіннєвого напряму використання.

Методи досліджень: польові, лабораторні та статистичні за загальноприйнятими в агрономії та агрохімії методиками.

Наукова новизна одержаних результатів. В Лівобережному Лісостепу України на темно-сірому опідзоленому ґрунті вперше було розроблено та обґрунтовано наукове рішення з оптимізації живлення рослин картоплі столової шляхом локалізації зон внесення фосфорних та калійних добрив у підгребеновому шарі (до висаджування насіння).

Практичне значення одержаних результатів полягає у відпрацюванні виробничої можливості розташування локалізованої зони із фосфорними і калійними добривами в підгребенову зону на задану глибину (P_2O_5 – 13-15 см, K_2O – 18-20 см). Впровадження локального внесення цих добрив забезпечувало досягнення високого рівня агрохімічної та економічної ефективності вирощування картоплі столової на темно-сірому опідзоленому ґрунті.

Результати наукових досліджень впроваджено у ТОВ «Біотех ЛТД» (с. Городище Бориспільського району Київської області) на площі 123 га упродовж 2019–2022 рр.;

Особистий внесок здобувача. Здобувач безпосередньо опрацьовував та узагальнював наукові літературні джерела за темою дисертації, проводив польові, лабораторні та аналітичні дослідження. Виконав статистичне опрацювання отриманих даних, здійснив формулювання наукових висновків, підготовку та публікацію розділів дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення, висновки та рекомендації дисертації було апробовано на: II міжнародній науково-практичній відео-онлайн конференції «Інновації в освіті, науці та виробництві» у 2018 р.; III Міжнародній науково-практичній конференції «Рослинництво XXI століття: виклики та інновації. До 120-ти річчя кафедри рослинництва НУБІП України» у 2019 р; Міжнародній науково-практичній конференції «Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів» у 2021 і 2022 рр; Міжнародній науково-практичній конференції “Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу” у 2023 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць, з яких 4 є статтями у наукових фахових виданнях України, а 5 – тези наукових доповідей.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ТА СПОСОБІВ ЇХ ВНЕСЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК КАРТОПЛІ СТОЛОВОЇ

1.1. Поживні елементи та їх роль у живленні рослин картоплі

Для оптимального розвитку та росту рослини картоплі повинні бути забезпечені елементами мінерального живлення у достатній кількості. Найважливішими мінеральними елементами для їх живлення є азот, фосфор, калій, кальцій, магній, залізо та сірка (Mona, Ibrahim & Manal, 2012). Встановлено, що на формування 10 т бульб рослини картоплі використовують у середньому близько 60 кг азоту, 20 кг фосфору, 80 кг калію, 6 кг сірки та кальцію, 7 кг магнію, 25 г бору і міді та 65 г цинку (Koch, Naumann, Pawelzik, Gransee & Thiel, 2020).

Азот відіграє одну із вирішальних ролей для формування врожаю картоплі. Це основний елемент, який входить до складу білків, ліпідних компонентів мембран, фотосинтетичних сполук, нуклеїнових кислот, вітамінів (Anning, Ghanney, Qiu, Zhang & Zhang, 2022). Він сприяє утворенню нових клітин та бере участь у життєво важливих процесах рослинного організму. Повноцінна життєдіяльність рослин за відсутності азоту неможлива. За його дефіциту сповільнюється їх ріст, порушується енергетичний обмін, який знижує інтенсивність фотосинтезу та погіршує водний режим за рахунок зниження водоутримуючої здатності рослинних тканин (Muleta & Aga, 2019).

Рослини картоплі підвищують потребу в азоті з початком формування кореневої системи. На першому етапі її розвитку, для якого характерна висока швидкість утворення клітин, вони використовують азот материнських бульб. В подальшому ці запаси швидко закінчуються, тому дружні сходи з'являються після укорінення та поглинання мінеральних елементів через корені (Господаренко & Черно, 2016; Vos, 2009).

Азот посилює розвиток вегетативної маси та подовжує період вегетації. На його кількість у рослинах впливають видові особливості, вікові зміни, погодні

умови та технологія вирощування. Як правило, найбільше його міститься в молодих рослинах в період, коли проходить активний синтез амінокислот, які необхідні для утворення білків. Вміст азоту може значно коливатися залежно від морфологічного органу. Навіть в одному органі рослини його кількість змінюється з віком (Савіцька, 2011).

Надлишок або дефіцит вологи у ґрунті, підвищення чи зниження температури можуть обумовлювати стрес рослин, який негативно впливає на їх ріст та розвиток. Оптимальні норми азотних добрив забезпечують краще споживання та накопичення азоту рослинами картоплі (Wang, C. et al., 2020; Lis, Mazurczyk, Trawczyński, & Wierzbicka, 2002; Rens, Zotarelli, Rowland & Morgan, 2018). М'ялковський Р. О. (М'ялковський, 2015) встановив, що максимальний вміст азоту у листках картоплі у фазі сходів та бутонізації коливався в межах 3,83–4,50 % залежно від сорту. Найбільший вміст азоту в стеблах також припадав на аналогічний період і був у межах 2,19–3,54 % від сухої речовини. Після цвітіння вміст сполук азоту в листках, стеблах та коренях зменшився, що може пояснюватися переміщенням цих сполук до молодих бульб. До фази технічної стиглості вміст азоту в біомасі картоплі знижувався удвічі, а його вміст в бульбах становив 1,0–1,7 %. За даними інших дослідників, вміст азоту в стеблах картоплі у фазу сходів досягав максимуму (4,90–5,68 % на суху речовину) і упродовж вегетації культури знижувався, а на період збирання коливався в межах 2,43–3,07 % від маси сухої речовини. На початку формування бульби містили значну кількість азоту, яка потім поступово зменшувалась. Це обумовлювалось інтенсивним наростанням маси бульб та проявом ефекту "розведення" (Westermann, Kleinkopf & Porter, 1988; Westermann & Kleinkopf, 1985).

Для покращення наростання бульб (750 кг/га на добу) на фоні оптимальних рівнів забезпечення іншими елементами живлення, рослинам картоплі необхідне інтенсивне поглинання азоту на рівні 3,7 кг/га за добу (Kołodziejczyk, 2014). Забезпечити такий рівень азотного живлення за однократного внесення азотних добрив дуже складно. Тому необхідно їх застосовувати в декілька етапів. Останнє підживлення слід здійснювати на початку бульбоутворення в дозі 10–15 кг/га д.р.

(Семенченко & Даніліна, 2012; Поліщук & Дячук, 2013; Fontes, Braun, Busato & Cescon, 2010).

Надлишок азоту в період закінчення формування бульб може знижувати їх лежкість. Проте, його дефіцит обумовлює більш виражене погіршення їх лежкості, що пов'язано з незбалансованим живленням макроелементами (Sparrow & Chapman, 2003). Аналогічна ситуація зі стійкістю бульб картоплі до хвороб: відсутність повноцінного азотного живлення, а також його надлишок обумовлюють посилення ураження бульб фітофторозом, сухою та мокрою гниллю (Ojala, Stark & Kleinkopf, 1990). Іншими дослідниками було встановлено вплив дефіциту азоту на такий показник якості, як потемніння бульб (after-cooking darkening). Тому за вирощування картоплі необхідно враховувати її фізіологічні потреби щодо азоту, а також слід застосовувати оптимальні норми добрив, які будуть забезпечувати безперебійне живлення рослин упродовж всього періоду вегетації (Sparrow & Chapman, 2003).

Досить важливою умовою повноцінного росту та розвитку рослин є забезпечення їх фосфором, що особливо важливо на початковому етапі вегетації та у період формування бульб. Фосфор входить до складу таких важливих сполук, як фосфопротеїди, нуклеотиди, фосфоліпіди, нуклеїнові кислоти, фосфорні ефіри цукрів, які беруть участь у процесах енергетичного обміну (НАД, АТФ, ФАД та ін.). Його нестача може обумовлювати серйозні порушення процесів біосинтезу, енергетичного обміну та функціонування мембран. Фосфор із сполуками азоту утворює нуклеопротеїди, а також сприяє надходженню їх до рослин. Тому, для оптимізації фосфорного живлення слід завжди враховувати його зв'язок з азотним (Христенко & Маклюк, 2004; Канівець, Токмакова, Пищур & Близнюк, 1997).

Внесення фосфоровмістних добрив обумовлює накопичення в ґрунті мінеральних і органічних сполук фосфору. Для забезпечення оптимального рівня фосфатного живлення необхідно визначати ступінь доступності для рослин фосфору з ґрунту та добрив (Шевченко, 2013). На його доступність впливають адсорбція, хемосорбція, біологічні перетворення, а також інші внутрішньогрунтові процеси. Вони мають досить складну природу. Вважають, що закріплення

фосфору в ґрунті залежить від його властивостей і типу хімічних сполук у ньому. Встановлено, що переважна більшість ґрунтів по відношенню до фосфору добрив має високу вбирну здатність. Вважається, що рослини використовують не фосфат-іони, а різні за доступністю та розчинністю сполуки, які утворюються у процесі швидкої трансформації фосфорних добрив у ґрунті (Стахів, 2010). Насамперед фосфор фіксується у зоні внесення, залишаючись у розчинній та доступній для рослин формі (близько 25 % від внесеної кількості). Після розчинення гранул добрив між твердою фазою ґрунту та ґрунтовим розчином встановлюється динамічна рівновага. При засвоєнні фосфат-іонів коренями рослин картоплі вона порушується, що сприяє переходу нових порцій фосфатів із ґрунту до ґрунтового розчину. Водночас корені рослин картоплі в основному поглинають фосфор, який знаходиться на відстані не більше як 2–2,5 мм. Тому навіть за максимально потужного розвитку кореневої системи рослини можуть використовувати фосфор лише із незначного об'єму ґрунту. Через те одним з важливих показників родючості ґрунтів є вміст доступних форм фосфору. Забезпеченість рослин достатньою кількістю цих сполук залежить від їх запасу у ґрунті, ступеня рухливості фосфатів, погодних умов, гранулометричного складу та інших показників, які впливають на споживання фосфору із ґрунту та добрив (Вукин & Ранчук, 2021; Данилюк, Висlobодська & Верещак, 2003).

Коренева система картоплі може поглинати фосфор у вигляді неорганічних сполук. Ґрунти з нейтральною або кислою реакцією ґрунтового розчину містять фосфор переважно у формі дигідрофосфату (H_2PO_4^-), а в лужних ґрунтах він міститься у вигляді гідрофосфату (HPO_4^{2-}). У ґрунті сполуки фосфору є негативно зарядженими, тому вони легко вступають в реакцію з позитивно зарядженими іонами алюмінію, заліза та кальцію, що обумовлює утворення нерозчинних і недоступних для рослин сполук. Їх утворення у значній мірі залежить від величини кислотності ґрунту (pH_{KCl}): за $\text{pH} < 6,0$ відбувається утворення нерозчинних фосфатів алюмінію; за $\text{pH} > 7,0$ переважно утворюються нерозчинні фосфати кальцію та заліза (Данилюк, Висlobодська & Верещак, 2003; Павліченко, 2021). Загалом фосфор у ґрунті міститься переважно у зв'язаному стані, що обумовлює не

достатньо високу концентрацію його рухомих форм. Основним способом надходження сполук фосфору до коренів рослин є дифузія, швидкість якої залежить від температури та вологості ґрунту. Зниження температури ґрунту нижче 14°C обумовлює гальмування дифузії, що може обумовлювати дефіцит фосфору навіть за його високого вмісту в ґрунті (Jasim, Sharma, Zaeen, Bali, Buzza & Alyokhin, 2020; Kahsay, 2019).

На рівень засвоєння фосфору рослинами впливає не лише його вміст у ґрунті, але й забезпечення їх іншими елементами живлення. Так, за дефіциту цинку гальмується його надходження та використання, а високе забезпечення міддю, навпаки, знижує потребу в ньому. Численними дослідженнями також був встановлений взаємозв'язок між азотним і фосфорним живленням. Фосфор виступає супутником азоту і білкових сполук. Його вміст у рослинах у 2–3 рази менший, ніж азоту. За дефіциту сполук фосфору відбувається уповільнення синтезу білків та у надмірних кількостях накопичується нітратний азот. Тому необхідно чітко визначати найбільш збалансовані норми азотних і фосфорних добрив, особливо за внесення високих норм азоту (Бикін & Бордюжа, 2016).

Для живлення картоплі фосфор має найбільше значення особливо на ранніх етапах вегетації. В період швидкого наростання вегетативної маси він разом з азотом забезпечує прискорене формування листового апарату рослин визначаючи цим рівень майбутнього врожаю. За оптимального забезпечення рослин картоплі цим елементом живлення раніше з'являються сходи та швидше розвивається коренева система. Оптимальне фосфорне живлення прискорює розвиток рослин картоплі, а також процеси бульбоутворення, що сприяє скороченню періоду вегетації (Пархуць, 2014; Кризська & Потапенко, 2014). Такий рівень фосфорного живлення покращує ініціацію бульб та сприяє закладанню оптимальної їх кількості під кущем. В період формування бульб забезпечення рослин картоплі фосфором обумовлює утворення бульб оптимальних розмірів (Misgina, 2016). Він також зумовлює покращення фізіологічної їх зрілості, що сприяє формуванню щільної шкірки, а також забезпечує кращу стійкість до механічних пошкоджень при збиранні та транспортуванні (Островський & Ільчук, 2003). Він має також важливе

значення для метаболізму крохмалю, тому внесення його під картоплю необхідне навіть тоді, коли ґрунт містить достатню кількість засвоюваного фосфору. Водночас його надлишок може обумовлювати зниження продуктивності культури, погіршення показників якості, а також збільшення собівартості продукції (Бикін & Бордюжа, 2017; Бикін & Панчук, 2022).

За дефіциту фосфору в тканинах картоплі активізуються процеси розпаду полімерних сполук, посилюється гідроліз поліцукрів та відмічаються також інші розлади метаболізму, що порушує нормальний ріст і розвиток рослин. За достатнього забезпечення рослин картоплі фосфором від появи сходів підвищуються темпи розвитку кореневої системи, раніше настають наступні фази росту і розвитку. В протилежному випадку картопля гірше розвивається, формуються низькі та слабкі стебла, листки набувають тьмяно-зеленого або бронзового відтінку, затримується настання критичних фаз, а на бульбах можуть утворюватись коричневі плями. Тому фосфор найбільше значення має на ранніх стадіях росту, коли нормальний ріст меристеми та швидкий ріст стебл забезпечують пришвидшене нарощування листкової поверхні рослин (Бикін & Панчук, 2022).

Вміст фосфору в рослинах коливається від 0,5 до 1,0 % сухої речовини. Зокрема на органічні сполуки припадає близько 85 %, а мінеральні – 15 %. Співвідношення органічних і мінеральних сполук фосфору може залежати від загального рівня забезпечення рослин цим елементом та їх віку. У молодих органах частка органічного фосфору буде значно більшою, ніж у старих. У рослинах мінеральні сполуки фосфору в основному представлені у вигляді фосфатів амонію, калію, кальцію, магнію, тощо. Їх накопичення у стеблах картоплі є однією з ознак високого забезпечення фосфором (Hammond, Broadley, Bowen, Spracklen, Hayden & White, 2011).

Рослини картоплі використовують фосфор досить рівномірно упродовж усієї вегетації, а його розподіл у органах рослин є аналогічним розподілу азоту: у репродуктивних органах його міститься у 3–5 разів більше, ніж у вегетативних. У

рослинах цей елемент міститься тільки в окисненій формі, у вигляді залишків ортофосфорної кислоти (Setu, 2022).

Висновки щодо вмісту фосфору в органах рослин картоплі за фазами росту і розвитку мають різний характер. Одні дослідники вказують на те, що підвищення вмісту фосфору в листках картоплі спостерігалось у першій половині вегетації, а в коренях його високий вміст відмічався до фази технічної стиглості (Setu, 2022). В інших наукових працях зазначається про рівномірне зниження вмісту сполук фосфору у процесі формування бульб у всіх органах рослин картоплі, окрім безпосередньо бульб, де його частка збільшувалась (Fernandes, Soratto, Moreno & Evangelista, 2015). Зокрема Setu (Setu, 2022) у своїх дослідженнях щодо особливостей динаміки споживання фосфору та його вмісту в рослинах вказує на те, що його кількість в молодих листках рослин коливалася від 0,50 до 0,64 %. Впродовж вегетації вона помітно знижувалась, досягаючи найменшого значення у старих листках у фазу технічної стиглості (0,12–0,21 %). У коренях цей показник також досягав максимальних значень у фазу сходів (0,28–0,31 %), а період збирання врожаю становив 0,09–0,17%. Його вміст у молодих бульбах у фазу цвітіння досягав максимального значення та зберігався в межах 0,20–0,24 % до фази технічної стиглості. Загальний його вміст в рослинах на відміну від азоту рівномірно збільшувався упродовж вегетації.

У багатьох наукових джерелах зазначається, що рівень використання фосфору з мінеральних добрив та його вплив на продуктивність сільськогосподарських культур має безпосередній зв'язок з його вмістом у ґрунті та перебуває у прямій залежності від рівня забезпечення азотом. Збагачення ґрунту рухомими сполуками фосфору до рівня 100–120 мг/кг вважається нижньою межею оптимуму. Необхідно зазначити, що досягнення високої забезпеченості ґрунту фосфором шляхом систематичного внесення добрив здатне забезпечити оптимальне живлення протягом тривалого часу. Однак, погіршення аерації ґрунту обумовлює слабе поглинання коренями картоплі фосфору, внаслідок чого рослинам потрібна підвищена кількість калію, який буде сприяти підвищенню

поглинання сполук фосфору (de Oliveira, Inda, Barrón, Torrent, Tiecher, & de Oliveira Camargo, 2020).

Отже, для збільшення врожаю необхідно у системі живлення правильно управляти використанням фосфорних добрив.

Порівняно з іншими елементами мінерального живлення рослини картоплі найбільше споживають калію. Його вміст в золі картоплі досягає 60 %. Фізіологічна роль калію в рослинному організмі вивчена недостатньо. Встановлена його роль у забезпеченні нормального стану протоплазматичних структур (фізико-хімічних показників: в'язкості, дисперсності, проникливості, гідрофільності та ін.). Він бере участь у вуглеводному, білковому, фосфорному обміні, в активуванні кіназ, посилює транспортування речовин і відтік асимілятів. Калій позитивно впливає на процеси фотосинтезу, окисного фосфорилування та нормалізує діяльність мітохондрій. Встановлено також, що він сприяє використанню заліза в синтезі пігментів пластид, хлорофілу, що і пояснює відомі випадки усунення хлорозу в картоплі шляхом підживлення рослин калієм (Господаренко, Черно & Нікітіна, 2021).

Забезпечення оптимального вмісту рухомих сполук калію у ґрунті є значно складнішим процесом, а ніж фосфору. На різних типах ґрунтів калій із добрив переходить у різні форми. Водночас швидкість та обсяги цих перетворень залежать від властивостей ґрунту та зовнішніх чинників. Калій добрив фіксується у ґрунті вже з першої доби після внесення, а величина фіксації може досягати 35–85 % залежно від типу ґрунту (Шевчук, 2013).

У ґрунті калій знаходиться у чотирьох формах, між якими підтримується динамічна рівновага:

- 1) у складі первинних та вторинних мінералів (в основному є недоступним для рослин);
- 2) в структурі слюдоподібних мінералів та органо-мінеральних комплексів (частково доступний рослинам);
- 3) у складі ГВК (обмінний – доступний для рослин);

4) у складі ґрунтового розчину (бере безпосередню участь у живленні рослин) (Господаренко, Нікітіна & Кривда, 2013).

Для повної оцінки родючості ґрунту щодо калію рекомендується аналізувати всі його форми, але здебільшого за діагностики визначають його вміст в обмінно-поглинутій формі. Встановлено, що запаси обмінного калію поповнюються завдяки трансформації необмінних форм. У ґрунтах міститься близько 10–15 % водорозчинних калійних сполук відносно обмінних форм, 5–25 % обмінних відносно кислоторозчинних та 2–15 % кислоторозчинного калію відносно валового. Між цими формами у ґрунті встановлена динамічна (рухома) рівновага (Aramrak, Chittamart, Wisawapipat, Rattanapichai, Phun-Iam & Aramrak, 2021). Споживання калію рослинами обумовлює зменшення його концентрації в ґрунтовому розчині, яка здатна самотійно відновлюватись із ГВК завдяки обмінному й необмінному калію з ґрунту. Цей процес може пришвидшувати підсушування та зволоження ґрунту. Вважається, що всі форми калію, що містяться в ґрунті, є джерелом живлення рослин. Але швидкість відновлення запасів водорозчинного калію завдяки іншим його формам в ґрунті зазвичай поступається об'ємом його засвоєння рослинами. Це обумовлює потребу застосування калійних добрив (Ковальчук, Гаврилюк & Колесник, 2013).

Більшість калійних добрив добре розчинні у воді. Після внесення у ґрунт відбувається їх швидке розчинення під дією ґрунтової вологи з подальшими реакціями обміну з ГВК. Внаслідок цих реакцій калій добрив вбирається ґрунтовими колоїдами, які знижують його рухливість, але він залишається у доступному для рослин стані. Залежно від гранулометричного складу ґрунту і норм необмінна фіксація калію може охоплювати від 15 до 85 % внесеного калію. Це частково знижує його доступність для рослин, а іноді він може ставати зовсім швидко недоступним. Через різний склад глинистих мінералів за внесення калійних добрив в дерново-підзолистих ґрунтах збільшується вміст обмінних, а чорноземах - необмінних форм (Старушкі, 2022).

Основна частка калію з добрив потрапляє до рослин під дією дифузії та масового потоку, який залежить від вмісту цього елементу в ґрунті та вологості

останнього. За зменшення вологості ґрунту до 30 % може знижуватись поглинання сполук калію рослинами на 15–50 %, а до 20 % навіть на 50–75 %. Тому необхідно вносити калійні добрива у глибші шари ґрунту, що істотно буде підвищувати їх ефективність (Кучер, 2012).

На вміст калію у ґрунтах також впливає інтенсивність вимивання його сполук з орного шару ґрунту. Вона залежить від його гранулометричного складу, зволоження (опадів, поливів), рівня залягання ґрунтових вод, доз добрив та інтенсивності його використання рослинами. Частина сполук калію може втрачатися внаслідок ерозії ґрунтів, а їх фіксація глинистими мінералами та його активна участь в біологічному колообізі також зменшують вміст цього елементу у ґрунті. Встановлено, що на легких та важких ґрунтах рівень врожаю підвищується за вмісту обмінного калію до 300 мг/кг (Кучер, 2012). Також зазначено, що ефективність калійних добрив може знижуватись за збільшення як їх доз, так і запасів калію ґрунті. Авторами показано, що за збільшення вмісту калію з 20–40 до 260 мг/кг відбулося зростання врожаю бульб картоплі на фоні NP із 12,8 до 25,6 т/га (Данилюк, Вислободська & Сало, 2014).

Оптимальне калійне живлення посилює як загальний ріст рослин, так і наростання листової поверхні, подовжує, як тривалість життєдіяльності листків нижніх і середніх ярусів, так і період їхньої фотосинтетичної активності. За підживлення картоплі калієм прискорюється ріст молодих листків, сповільнюється старіння середніх та відмирання нижніх ярусів. Він відіграє ключову роль у регулюванні водного режиму рослин. У той час як кальцій знижує вміст води в рослинних тканинах, калій підвищує тургор клітин і завдяки цьому підтримується у них внутрішній тиск. Оптимальне калійне живлення сприяє підвищенню осмотичного тиску в клітинах рослин, посилює гідратацію колоїдів, що підвищує стресостійкість рослин (нестача та надлишок вологи, високі та низькі температури). Калій оптимізує у рослинах картоплі кислотнo-лужний баланс, сприяє підвищенню їх фотосинтетичної діяльності, прискорює відтік і здатність до накопичення продуктів фотосинтезу, бере активну участь у білковому і вуглеводному обмінах, активує діяльність понад 60 ферментів і ферментативних

систем, регулює процеси відкривання та закривання продихів на листках, що обумовлює зниження інтенсивності транспірації та підвищення водоутримуючої здатності, збільшує поглинання води кореневою системою та дозволяє раціонально й ефективно використовувати воду (Bykin & Panchuk, 2021).

Калій посилює синтез пектинових речовин і целюлози, що потовщує клітинні стінки та підвищує міцність тканин. Він сприяє швидшому засвоєнню азоту, утворенню білку, підвищує стійкість рослин до бактеріальних та грибкових захворювань (Kang, Fan, Ma, Shi, & Zheng, 2014). У період бутонізація - цвітіння сприяє закладанню більшої кількості бульб та оптимізує їх розміри. Калій покращує процеси вуглеводного обміну та перетворення цукрів у крохмаль, внаслідок чого збільшується і накопичення його у бульбах, підвищуються вміст вітаміну С, стабілізуються забарвлення м'якоті, смакові якості та лежкість бульб.

Дослідженнями по вивченню біологічної цінності бульб картоплі встановлено, що найбільший вміст крохмалю, сухої речовини та аскорбінової кислоти був отриманий за середньої забезпеченості ґрунту обмінним калієм (160–180 мг/кг). За подальшого збільшення вмісту калію у ґрунті відбувалося зниження цих показників. У рослинах калій здатний впливати на синтез та азотний обмін білкових сполук. За результатами досліджень, вміст «сирого» протеїну в бульбах за підвищених доз калію знижувався, а от кількість амінокислот підвищувалась, в т. ч. незамінних (Старушкі, 2022).

Разом із позитивним впливом сполук калію на формування врожаю деякі дослідники відзначають те, що його надлишок, особливо за недостатнього азотного живлення може обумовлювати негативний вплив на певні показники якості бульб (Бикін, & Панчук, 2022).

За дефіциту калію порушується ріст і розвиток рослин та їх анатомо-морфологічна будова, механічні тканини і коренева система картоплі розвиваються слабкіше, стебла мають укорочені міжвузля і стають неміцними, а листки ламкими. Кущ затримувалася в рості, набував розгалуженої форми, цвітіння рослин відтерміновувалось. За цих умов тканини листів між жилками стають бронзово-

коричневими, а бульби набувають дещо видовженої форми, є дрібними і погано зберігаються в зимовий період (Marchand & Bourrié, 1999).

За надмірного калійного живлення між жилками листків може з'являтися мозаїка з блідих плям, які з часом починають забарвлюватися в бурий колір і листки опадають. Розвиток рослин та їх цвітіння гальмується, у бульбах картоплі знижується вміст крохмалю та вітаміну С, погіршується колір м'якоті та їх смакові властивості. За надлишку сполук калію у ґрунті виникає магнеєве голодування рослин (Господаренко, Черно & Нікітіна, 2021).

Вважається, що калій в рослинах перебуває в іонній формі або в неміцно абсорбованому протоплазмою стані. Але водночас є припущення, що іони калію та інших металів, насамперед магнію, займають певні місця в бічних ланцюгах білкових молекул, які складають «каркас» протоплазми. Калій підсилює активність ферментів, що впливають на вуглеводи (амілази та інвертази). Внаслідок цього він міститься у підвищених кількостях там, де ці ферменти активні – у листкових пластинках, що фотосинтезують та у бульбах, які формуються. Вміст калію в рослинах визначає рівень поглинання і використання інших елементів (магнію, натрію, фосфору) (Господаренко, Черно & Нікітіна, 2021).

Зазвичай у рослинах картоплі калію накопичується більше, ніж азоту чи фосфору. Порівняно з іншими мінеральними елементами, калій у рослинах картоплі накопичується у формі іонів, які нестабільно зв'язані з протоплазмою у клітинах. Більше половини загального вмісту цього елемента в рослинах міститься в клітинному соці, а деяка частина міцно адсорбується колоїдами. Досі в рослинах не були виявлені органічні сполуки, у структурі, яких був би калій. Тому він є виключно функціональним елементом, який регулює основні фізіологічні процеси (Господаренко, Черно & Нікітіна, 2021). Переважно калій міститься у вакуолях та цитоплазмі. Він може вимиватися з рослин під дією опадів і особливо зі старих листків. У молодих органах рослин його міститься значно більше, ніж у старих. Упродовж вегетації рослин він може переміщуватись зі старих тканин і органів до молодих, що розвиваються, де він використовується повторно. Тому у надземних органах його вміст буде завжди більшим, а ніж

бульбах. Так, у листках картоплі цей показник коливається від 4 до 6 % (М'ялковський, 2015).

Кількість калію, як і інших хімічних елементів, що входять до складу рослин, схильна до значних коливань. Його вміст у рослинах найбільшим є у початковій фазі росту і розвитку і відповідно зменшується у процесі їх росту і розвитку. Дослідженнями встановлено, що під час сходів у листках різних сортів картоплі цей показник коливався в межах 4,51–5,74 %. У фазу технічної стиглості вміст калію в листках становив 2,10–3,10 %. У коренях картоплі у фазу сходів вміст калію коливався від 2,60 до 3,16 % залежно від сорту. У процесі розвитку рослин картоплі цей показник зменшувався до рівня 0,37–1,11 % (Torabian, Farhangi-Abri, Qin, Noulas, Sathuvalli, Charlton & Loka, 2021).

Найбільшу кількість калію містять стебла, після них листки, материнська бульба, молоді бульби та корінці. Про аналогічний ряд розподілу калію у рослинах картоплі зазначається і в роботах інших дослідників (Бикін & Гуменюк, 2013).

Отже, макроелементи відіграють незамінну роль у живленні рослин картоплі. Життєво важливі поживні речовини, такі як азот, фосфор, калій беруть участь у створенні в процесах синтезу необхідних ресурсів для росту, розвитку та нормального функціонування рослин. Правильне розуміння потреб рослин картоплі в необхідних макроелементах є ключовим для забезпечення їх оптимального росту та розвитку. Дефіцит будь-якого з цих елементів може обумовлювати зниження врожаю та якості продукції.

Велика роль в живленні рослин картоплі відіграють також мезоеlementи, зокрема сірка, кальцій і магній. Вони регулюють азотне живлення, вуглеводний обмін, процеси дихання та синтез певних органічних сполук. Мезоеlementи оптимізують ферментативну активність в рослинах, підвищують стійкість до хвороб, критичних температур та посухи (Bury, Stankowski, Hury, Dawidowski, Opatowicz, & Bashutska, 2016).

Сірка є одним із ключових елементів у живленні рослин, без неї неможлива їх життєдіяльність. Вона, як і азот, є складовою частиною білків. Неоднакова потреба сільськогосподарських культур у сірці обумовлена їх

біологічними особливостями, періодом вегетації та її вмістом у ґрунті і атмосфері. Основними джерелами сірки є ґрунотворні породи, атмосферні опади та сірковмісні добрива. Значна кількість сірки накопичується, в основному, у верхньому ґрунтовому шарі (орному) – близько 50 % запасів. Існує залежність між гумусом та сіркою: із збільшенням запасів гумусу та важкості гранулометричного складу, зростає запас сірки. Перетворення сірки в ґрунті схожі до перетворень азоту. Воно має сезонний характер і часто залежить від вологості та температури ґрунту (Ковтун & Марковська, 2021).

Мінеральна сірка в ґрунті займає від 10 до 20 % її валового вмісту. Вона представлена сульфатами і сульфідами магнію, кальцію та одновалентних катіонів. Легкодоступні для рослин сполуки сірки знаходяться у формі сульфатів одновалентних катіонів. Коренева система рослин картоплі здатна споживати сірку у вигляді іонів SO_4^{2-} . Також встановлено, що вона може надходити до рослин і через листки у окисненій формі. До органічних сполук сірка входить лише у відновленій формі – в складі дисульфідних зв'язків та сульфгідрильних груп. Відновлення сульфату відбувається у основному в листках (Генгало & Генгало, 2014; Sharma, Kushwah & Verma, 2015; Barczak, Nowak & Knapowski, 2013).

Сірка бере участь у обмінних реакціях рослин. Більшість білків містять у своєму складі сірковмісні амінокислоти – цистеїн, метіонін, цистин (Moussa, Hafez, & El-Fadl, 2018). Однією з найважливіших функцій сірки є підтримка оптимального рівня окисно-відновного потенціалу клітин, який є необхідним для нормального функціонування всіх ферментних систем. Вона є ключовим елементом для активізації ферментів та бере участь у синтезі хлорофілу. Її окиснена форма є вихідним продуктом синтезу білків та кінцевим продуктом їх розкладу. Сполуки сірки сприяють зниженню вмісту нітратів в бульбах картоплі. Вона є компонентом біологічних сполук – коферменту А та вітамінів (біотину, тіаміну, ліпоєвої кислоти), які беруть участь у диханні та ліпідному обміні рослин (Moussa, Hafez, & El-Fadl, 2018). Сірка, на рівні з азотом, необхідна рослинам для синтезу білків. Тому існує закономірність, що найбільша потреба у сірці виникає у період

максимальної метаболічної активності у місцях активного синтезу білків. У рослині найбільше сірки знаходиться у молодих листках та життєдіяльних органах, тоді, як у старих вона міститься у менших кількостях. Для оптимального росту та розвитку рослин вміст сірки у сухій речовині має бути в межах 0,10–0,65 % (Barczak & Nowak, 2015).

Результати багатьох досліджень переконливо свідчать про те, що дефіцит сірки обумовлює зниження продуктивності рослин та якості продукції. Її нестача обумовлює блокування білкового синтезу, пригнічує фотосинтез та швидкість росту і розвитку рослин, особливо вегетативної частини. Крім того відбувається накопичення азоту в небілковій формі або у вигляді нітратів (Rahman, Islam, Islam, & Hossain, 2019). Зовнішні ознаки дефіциту сірки, в основному, з'являються на молодих тканинах рослин та є дуже подібними до нестачі азоту, оскільки його роль в метаболізмі рослин подібна до сірки, але є більш вираженою. Це інколи стає причиною помилкового завищення доз азотних добрив, що зумовлює зниження врожаю та погіршення його якості. За дефіциту сірки припиняється ріст і розвиток рослин, листки набувають світло-жовтого і навіть білого з червонуватим відтінком, знижується їх стійкість до хвороб, низьких температур і посухи. Тому норму внесення сірки слід кожного року корегувати з урахуванням біологічних особливостей сільськогосподарських культур, але вносити не менше 30–40 кг/га (Mondal & Panda, 2019; Singh, Sharma, Reddy & Venkatesh, 2018).

Отже, достатній рівень сірки у ґрунті та правильне забезпечення рослин картоплі цим елементом є важливими аспектами для отримання високого рівня врожаю.

Кальцій – необхідний елемент мінерального живлення картоплі. Насамперед слід відзначити його важливу роль у відновленні рівноваги ґрунтового розчину, що забезпечує нормальне надходження елементів мінерального живлення до кореневої системи. Встановлено, що для її нормального розвитку необхідна наявність сполук кальцію в розчині, що оточує корені (Simmons, Kelling, Wolkowski & Kelman, 1988).

Відомо також, що кальцій здатний нейтралізувати надлишок іонів NH_4^+ , оскільки вони з амонієм є в певній мірі антагоністами. За відсутності кальцію або

за надлишку калію, магнію чи натрію в ґрунтовому розчині відбувається порушення нормальної роботи кореневої системи. Крім цього, кальцій позитивно впливає на структуру ґрунту, яка є дуже важливою для рослин картоплі та сприяє зменшенню вимивання магнію та мікроелементів. Хоча картопля столова може рости і розвиватись на кислих і слаболужних ґрунтах, але все ж таки рН 5–6 є для неї оптимальною реакцією ґрунтового середовища. Коригувати реакцію ґрунтового середовища можна за допомогою внесення таких меліорантів, як вапно чи гіпс. Окрім цього вапно в легкодоступній формі застосовують під картоплю, як добриво (Tawfik, Kleinhenz & Palta, 1996). За даними Simmons, K. E. та Kelling K. A. (Simmons & Kelling, 1987) внесення мінеральних добрив з додаванням 1,5 т/га вапна підвищило врожайність з 23,4 до 28,7 т/га, а збір крохмалю - з 4,17 до 5,44 т/га. За внесення 2,55 т/га гашеного вапна відмічалось підвищення цих показників до рівня 32,2 т/га і 6,31 т/га. Вапнування ґрунтів поліпшує якість бульб картоплі, підвищує стійкість рослин до вірусних та бактеріальних хвороб (Матвійчук & Орловський, 2017; Ковальов, Трембіцька & Гороф'янюк, 2019).

Кальцій є основним компонентом клітинних стінок. Він забезпечує формування їх міцної та стабільної структури. Цей елемент впливає на поділ та розвиток клітин і є особливо необхідним у період інтенсивного наростання бульб. Науковці часто відмічають позитивний вплив кальцію на інтенсивність бульбоутворення. Він сприяє кращій адаптації рослин до стресів, оскільки підсилює реакції сигнального ланцюжка за їх прояву, він також є регулятором відкриття продихів за активного транспортування калію (Simmons, Kelling, Wolkowski & Kelman, 1988).

Рослини споживають кальцій із ґрунту упродовж всього періоду вегетації. Встановлено, що кальцій, який знаходиться у стеблах не переміщується до коренів. Науковці відмічають, що поверхня шкірки бульб та кореневих волосків, які розміщені на столонах має здатність до поглинання кальцію. Упродовж вегетації відмічається накопичення кальцію у вегетативній частині рослин, а на його рівень споживання впливає концентрація таких елементів: магнію, марганцю, міді та заліза (Locascio, Bartz & Weingartner, 1992; Collier, Wurr & Huntington, 1978).

Усі ці функції кальцію роблять його необхідним елементом для оптимального росту і розвитку рослин. Тому, контроль рівня забезпечення кальцієм є важливим аспектом рослинництва в цілому і картоплярства зокрема.

Для розвитку і формування врожаю рослинам картоплі необхідний магній. Він залучається до синтезу АТФ, входить до складу органічних речовин та фітину зокрема. Магній бере участь в процесі фотосинтезу шляхом активізації ферментів, які каталізують CO_2 та підтримує осмотичний потенціал клітин. Він входить до складу молекули хлорофілу, тому без нього не може проходити біосинтез цього найважливішого пігменту рослин. У рослинах значна частина магнію міститься в їх тканинах. Багато дослідників вказують на те, що він впливає на надходження та транспортування фосфору в рослинах. Разом із фосфором магній входить до складу фітину, крім того, частина магнію знаходиться в рослинах у сполуках з пектиновими речовинами (Єсипенко, 2011).

Він відіграє важливу роль у вуглеводному обміні, активує ферменти (фосфатази), які сприяють утворенню і розщепленню сполук глюкози з фосфорною кислотою. Встановлено, що у рослинах магній менш рухливий, ніж азот і калій, але більше, ніж кальцій. У золі надземної вегетативної частини магнію міститься в середньому 16 %, а в золі бульб - близько 47 % (Orlovius & McNoul, 2015).

Встановлено, що магній позитивно впливає на синтез білків, а за його нестачі обмін і накопичення вільних амінокислот порушується. Він активує низку ферментів, які забезпечують проходження білкового і вуглеводного обмінів. Достатнє живлення рослин магнієм обумовлює зміну активності окислювальних ферментів у листках рослин картоплі. У своїх наукових працях Orlovius K. та McNoul J. (Orlovius & McNoul, 2015) відмічають, що за посиленого живлення магнієм підвищується стійкість картоплі до фомозу. В інших наукових працях зазначається те, що магній більшою мірою впливає на врожай бульб, а ніж на вегетативну частину рослин. Вченними відмічається позитивний вплив магнію на розмір бульб (Senbayram, Gransee, Wahle & Thiel, 2015).

На ранніх етапах вегетації рослини картоплі мають низьку потребу в магнії. Максимальний пік його споживання припадає на період «бутонізація-цвітіння».

Воно починає знижуватись під час дозрівання бульб. В цей період відмічається зменшення його вмісту у листках. Вчені це пов'язують з процесами розкладання хлорофілу та активним відтоком магнію разом з продуктами фотосинтезу до бульб. Оптимальний ріст та розвиток рослин картоплі забезпечується за вмісту магнію у листках на рівні 0,3 % в перерахунку на суху речовину (Chen, Peng, Li, & Liao, 2018). В літературних джерелах зазначається різнобічна інформація щодо впливу мінеральних добрив на споживання магнію рослинами картоплі. За одними результатами досліджень відмічається позитивний вплив застосування азотних і фосфорних добрив, а за іншими – низькі дози азоту обумовлюють зменшення споживання магнію рослинами порівняно з неудобренним фоном (Yan, & Hou, 2018). Відзначається, що форми азоту можуть по-різному впливати на надходження магнію до рослин картоплі. Так, амонійна форма може його затримувати, а нітратна, навпаки сприяє надходженню (Koch, Naumann, Pawelzik, Gransee, & Thiel, 2020).

Подібно до кальцію, магній поглинається коренями рослин у вигляді катіонів, які накопичується молодими частинами. За його нестачі у них виникає своєрідний хлороз. У своїх працях Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., Yang, D. M. (Guo, Nazim, Liang, & Yang, 2016) відмічають, що нестача магнію обумовлює зниження інтенсивності асиміляції та зменшення стійкості рослин картоплі до хвороб і стресових факторів. Ураження картоплі фітофторозом можуть також спричинятися нестачею магнію у ґрунті.

Відсутність магнієвих добрив у системах живлення рослин обумовлює поступове збіднення ґрунтів на магній, особливо кислих. Мінімальний вміст магнію, що забезпечує необхідну потребу картоплі, на піщаних ґрунтах становить – 50 мг/кг, суглинкових – 70 мг/кг, глинистих – 120 мг/кг ґрунту. Якщо його вміст менше 20 мг/кг ґрунту, то на кожні 100 кг K_2O , внесеного під картоплю, необхідно додатково вносити 25 кг магнію. Внесення магнію на ґрунтах із його низьким вмістом сприяє збільшенню врожаю та вмісту крохмалю в бульбах. За вирощування картоплі на легких ґрунтах, які зазвичай бідні на магній, необхідно вносити магнієві добрива в нормах 60–90 кг/га MgO . Рекомендується застосовувати

магній навесні одночасно із внесенням калійних добрив у формі, яку рослина відразу може засвоїти, або вносити його перед формуванням гребнів, що дозволить розмістити гранули ближче до коренів рослин. Застосування сульфату магнію, який повністю розчинний у воді на ґрунтах із високим рН здатне задовольнити потреби картоплі в цьому елементі (Нойм, 2000).

Встановлено, за однобічного внесення калійних добрив приріст врожаю бульб становив 2,40 т/га, а за сумісного застосування із магнієвмістними добривами він був на рівні 3,65 т/га (Нойм, 2000).

Магній поглинається рослинами картоплі набагато пізніше, ніж калій. Вплив стресових факторів (холод, посуха, антагонізм катіонів) може значною мірою обмежувати його поглинання з ґрунту та обумовлювати тимчасовий гострий дефіцит для рослин. Цьому можна запобігти за допомогою позакоренових підживлень розчином сульфату магнію одночасно з першим обприскуванням картоплі проти фітофторозу. Низка науковців вказують на те, що позакореневе підживлення сульфатом магнію забезпечує приріст врожаю від 4 до 10 % за середнього рівня його забезпеченості (Shaul, 2002).

Дефіцит магнію в рослинах картоплі обумовлює погіршення росту та гальмування продукційного процесу, синтезу азотовмістних сполук, уповільнення синтезу сахарози і її відтік до бульб. Наслідком є зниження врожайності і вмісту крохмалю в бульбах, зменшення активності хлорофілу та стійкості до хвороб. Магній який міститься у рослинах піддається реутилізації, тому перші ознаки дефіциту з'являються на старих листках, де поміж зелених прожилків спостерігаються бурі плями. Нестача магнію може обумовлювати відмирання листків та зупинку плодоношення рослин (Wszelaczyńska, Pobereżny, Kozera, Knapowski, Pawelzik & Spychaj-Fabisiak, 2020). Своїми дослідженнями Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., Yang, D. M. (Guo, Nazim, Liang, & Yang, 2016) встановили, що у період бутонізації рослини картоплі найбільш чутливі до дефіциту магнію. Основною причиною цього може бути як низький його вміст у ґрунті, так і незбалансоване співвідношення з іншими катіонами в ґрунтовому розчині. Одним з таких мінеральних елементів є калій, який є антагоністом магнію. Дослідження

показують, що ознаки дефіциту магнію можуть з'являтися за співвідношення K/Mg понад 2,5. Надходження магнію до рослин також залежить від його співвідношення з кальцієм (Koch, Naumann, Pawelzik, Gransee, & Thiel, 2020).

Таким чином, підтримання оптимального рівня забезпечення ґрунту магнієм завдяки внесенню магнієвмістних мінеральних добрив є важливою складовою технології вирощування картоплі, яка забезпечує оптимальний ріст та розвиток рослин та сприяє отриманню високої врожайності.

Вищезазначені мезоеlementи, хоча і споживаються рослинам у менших кількостях, але мають вирішальне значення у функціонуванні та розвитку рослин картоплі. Дефіцит будь-якого з них може обумовлювати гальмування різноманітних процесів та зниження врожайності.

Для нормального росту і розвитку рослин картоплі необхідно до системи удобрення включати мікроелементи, які повинні надходити до них у активній формі. На формування 10 т бульб рослинам необхідно 1 г молібдену, 20 г міді, 25 г бору, 65 г цинку, 70 г марганцю (O'Brien, & Dennis, 1936). З-поміж багатьох мікроелементів найбільш вивченим є бор. Встановлено, що кожний із мікроелементів за своєю дією є специфічним і жодний із 52 вивчених мікроелементів не міг замінити бор. Під впливом бору зменшується поглинання фосфору й азоту та збільшується калію. Бор бере участь в нуклеїновому обміні та синтезі важливих нуклеопротейдів.

Дефіцит бору в рослинах картоплі обумовлює спочатку зупинку росту стебел та коренів, потім хлороз верхівкової меристеми з подальшим повним відмиранням рослин (El-Dissoky & Abdel-Kadar, 2013; Dwivedi & Dwivedi, 1992).

Бор підвищує стійкість картоплі до захворювань бактеріальною гниллю, чорною паршею і фітофторозом, а також прискорює розвиток рослин. Дослідженнями Бузовера Ф. Я. (Бузовер, 1951) на слабовилугованих чорноземах Харківщини встановлено, що бор підвищував загальну й особливо гідролітичну активність інвертази в листках картоплі, здатність кореневої системи більш активно засвоювати з ґрунту макроелементи, інтенсивність загального обміну

речовин в рослинах та урожайність до 50 % з підвищенням крохмалистості бульб на 1,0 % порівняно з контролем. Оптимальне живлення рослин бором позитивно впливало на процес поділу клітин, вуглеводний і білковий обмін, а також на інші біохімічні процеси, які проходять в рослинному організмі.

Багато вчених вказують на те, що бор позитивно впливає на регуляцію водного балансу та ферментативні процеси рослин. Відмічається також його сприятливий вплив на фотосинтез, накопичення сухої речовини та крохмалю в бульбах (Vinichuk, 2022; Ільчук & Ільчук, 2013; Ільчук, Ільчук, & Костирко, 2014; М'ялковський, 2018).

Дефіцит бору обумовлює порушення відтоку вуглеводів унаслідок чого в листках відбувається накопичення цукрів, крохмалю та розчинних сполук азоту, затримується розвиток меристеми та ксилеми, а також руйнується камбій (Mondy & Munshi, 1993). Бор не може переходити від старих органів до молодих тканин, які розвиваються, тому за його нестачі відбувається відмирання верхівкової частини стебла, листки скручуються, кущ стає пригніченим, а врожай знижується. На ґрунтах з кислою реакцією відмічалась менша кількість гострих симптомів дефіциту бору, що пояснюється його кращою доступністю (Dwivedi & Dwivedi, 1992).

Для встановлення оптимальних норм борних добрив слід враховувати можливість їх токсичної дії. У своїх наукових працях Schick, R. та Klinkowski, M. (Schick & Klinkowski, 1961) зазначають, що високі норми обумовлювали значне пошкодження картоплі. Відмічалось порушення пігментної системи, спостерігалася деформація листків та недостатнє утворення коренів і столонів, що в підсумку зумовлювало суттєве зниження врожайності (М'ялковський, 2018).

Встановлено, що марганець є ключовим мікроелементом, який впливає на окисно-відновні реакції з перетворення заліза. Дефіцит марганцю обумовлює перехід заліза, яке міститься в клітинах у закисну, отруйну для рослин форму. Його нестача послаблює дихання і пригнічує фотосинтез, знижує вміст хлорофілу в листках, порушує метаболізм та використання нітратів, затримує їх відновлення та обумовлює накопичення в рослинах картоплі (Sawicka, Barbas & Skiba, 2016).

За надлишку марганцю все окислене залізо є фізіологічно неактивним і може обумовлювати хлорози. Діяльність залізовмістних ферментних систем залежить від співвідношення між залізом і марганцем (Sawicka, Barbas & Skiba, 2016; Sikora & Cieslik, 1999). Присутність марганцю необхідна для нормальної роботи і інших ферментів. Його фізіологічна роль тісно пов'язана з діяльністю окисних ферментів – оксидаз. Тому за його нестачі інтенсивність окисно-відновних процесів і синтезу органічної речовини знижується. Марганець входить до складу таких ферментів як аргінази, енолази, карбоксилази. Встановлено, що рівень забезпечення марганцем обумовлює засвоєння рослинами нітратного та амонійного азоту, оскільки залежно від умов він може підвищувати вміст відновлених сполук. Відомо, що марганець підвищує врожайність картоплі, а також її стійкість до хвороб (McGregor & Wilson, 1966).

Більша частина марганцю в ґрунті зустрічається в чотирьох- трьох- і двовалентній формі, з яких тільки остання засвоюється рослинами. Тому для використання рослинами перших двох форм вони повинні трансформуватися в ґрунті у двохвалентні сполуки.

Багатьма дослідниками зазначається, що діючий редокс-потенціал ґрунту впливає на кількість здатного до обміну марганцю. Із його пониженням (його величина залежить від водонасичення, повітропроникності та діяльності мікроорганізмів) посилюється відновлювальна властивість ґрунту та інтенсивність процесів перетворення трьох- і чотирьохвалентного марганцю до двохвалентної форми. Вищезазначені процеси можуть обумовлювати дефіцит марганцю в сухі періоди особливо на легких ґрунтах (Baranowska, Zarzecka, Gugala, & Mystkowska, 2017).

Встановлено дуже високу залежність між поглинанням марганцю рослинами та рН ґрунту. За рН від 6,5 до 7,5 зменшується розчинність цього елементу і відповідно поглинання рослинами. Це може обумовлювати його дефіцит для картоплі столової.

За результатами багатьох досліджень на ґрунтах із кислою реакцією відмічалась токсична дія марганцю. В інших дослідженнях зазначається, що на

перезволоженій ділянці супіщаного ґрунту було зафіксовано отруєння рослин картоплі марганцем, коли в шарі ґрунту 0–10 см його вміст становив 40,4 мг/кг ґрунту, а в шарі 10–20 см – 62,5 мг/кг. Рівень pH водної витяжки ґрунту в шарі 0–10 см був 4,8, а 10–20 см - 4,6. Вищезазначене підтверджує, що кислотність ґрунту безсумнівно сприяла переходу марганцю з недоступних сполук у доступні (Zarzecka, Gugala, Baranowska, Dolega & Sikorska, 2016).

Мідь міститься в ґрунтах переважно у вигляді карбонатів, сульфатів, важкорозчинних гумінів або в обмінній формі. У рослинах вона присутня у вигляді органічних комплексів, тому наявність її в іонній формі засвідчує про достатній рівень забезпечення рослин цим мікроелементом. Вона входить до складу найважливіших окислювальних ферментів – поліфенолаз, аскорбіноксидаз, лактаз. Ці ферменти долучені до темної стадії фотосинтезу, що має велике значення для біосинтетичних функцій рослин в цілому. Мідь бере участь у синтезі хлорофілу і підвищує його стійкість в листках. У багатьох працях зазначається, що мідь зменшує обводнення тканин картоплі, підвищує активність каталази, посилює синтез білкових речовин у листках. В останніх під її впливом також підвищується активність пероксидази та поліфеноксидази. Підживлення рослин слабкими розчинами міді значно підвищує врожай бульб та їхню крохмалистість. Мідь також має велике значення для формування стійкості картоплі до фітофторозу та збільшення площі листової поверхні рослин (La Torre, Iovino & Caradonia, 2018).

Встановлено, що оброблення рослин картоплі міддю не впливає на масу стебел, а тільки сприяє збільшенню розмірів листової поверхні, тоді як азот проявляє зворотну дію. Із збільшенням надходження до рослин міді зменшується споживання ними з ґрунту заліза і навпаки. Її надлишок в ґрунті може обумовлювати зниження врожаю. Якщо внесення 20 кг/га мідного купоросу сприяє росту і розвитку картоплі, то збільшення норм мідних добрив зумовлює уповільнення росту і знижує врожай бульб на 20–25 %, що особливо характерно для піщаних ґрунтів (Hedwiger & McBride, 2006).

Рівень споживання міді рослинами залежить від вмісту гумусу в ґрунті та кількості опадів. Низька вологість ґрунту знижує рівень її споживання.

Пересихання верхнього шару ґрунту може обумовлювати дефіцит цього елементу внаслідок ослаблення поглинальної здатності коренів. Ґрунтова реакція не має дуже суттєвого впливу на використання міді рослинами. Вивчення фізіологічних явищ, що зумовлені дефіцитом міді, свідчить про її активну участь в обмінних реакціях рослинного організму. Зовнішній прояв дефіциту міді насамперед проявляється шляхом зниження інтенсивності та порушення азотного обміну в рослинах (Mulder, 1949). Недостатнє забезпечення рослин цим мікроелементом також обумовлює порушення процесу дихання. Дефіцит міді з однобічним надмірним азотним живленням зумовлює зниження вмісту у рослинах відновленої форми аскорбінової кислоти, яка відіграє важливу роль у відновленні нітратів і нітритів. Найгостріше дефіцит міді проявляється на торф'яних і піщаних ґрунтах, які багаті кальцієм. Причиною цього є їхня кислотність. Низький вміст органічних речовин не сприяє утриманню міді від вимивання. Високий їх вміст на торф'яних ґрунтах обумовлює її зв'язування у складні та доволі міцні органічні компоненти, з яких вона недоступна для рослин (Mulder, 1949; Hadwiger & McBride, 2006).

Цинк входить до складу ферментів та активує їх дію. Він бере участь у диханні, синтезі ауксинів та білків, підвищує посухо-, тепло- і холодостійкість рослин, відіграє важливу роль у регулюванні процесів росту, впливає на формування генеративних органів (Vergara Carmona, Cecílio Filho, Almeida & Grato, 2019). Він також міститься у вітамінах та регулює вуглеводний обмін і синтез хлорофілу. За недостатнього живлення рослин картоплі цинком вміст хлорофілу в листках та інтенсивність фотосинтезу знижуються. Внаслідок цього рослини погано розвиваються (Fontes, Moreira, Fontes & Cardoso, 1999). Цинк сприяє активації низки ферментів: енолаз, карбоангідраз, пірофосфатаз, лужних фосфатаз, лецитиназ (Mousavi, Galavi & Rezaei, 2013).

Дослідженнями встановлено, що внесення цинку перед висадженням бульб посилює надходження до рослин азоту, калію, кремнію, марганцю та молібдену. Оброблення бульб розчином сірчанокислового цинку з концентрацією 0,05 % забезпечує підвищення врожайності на 3,64 т/га, збір крохмалю на 0,66 т/га, а також

вмісту білка до 2,08 %, що на 21,8 % більше від контролю (White, Thompson, Wright & Rasmussen, 2017; Gupta, Srivastava & Singh, 2023).

Молібден відіграє важливу роль у синтезі, перетворенні та транспортуванні вуглеводів. Він входить до складу ферменту нітратредуктази і бере участь у процесі відновлення нітратів у коренях та листках рослин, синтезі аскорбінової кислоти та є каталізатором фіксації мікроорганізмами атмосферного азоту (Mondy & Munshi, 1993; Ільчук & Ільчук, 2012). Вміст молібдену в рослинах є незначним, але дуже важливим. Встановлено, що потреба рослин у молібдені підвищується за внесення нітратних форм азоту, хоча він є необхідним і при застосуванні амонійних добрив (Єгорова & Моклячук, 2014; Ільчук & Ільчук, 2013).

Не висока розчинність сполук молібдену, особливо на кислих ґрунтах, збільшує його потребу для рослин. Тому з метою зменшення дефіциту молібдену необхідним є вапнування кислих ґрунтів (Лавриненко, Балашова & Котова, 2017).

Фізіологічна роль кобальту у рослинах картоплі вивчена не повністю. Проте відомо, що він входить до складу вітамінів групи В і необхідний для синтезу рибофлавіну і піридоксину. Встановлено, що кобальт позитивно впливає на фотосинтез та білковий обмін рослин картоплі. Достатній рівень їх забезпечення цим мікроелементом позитивно впливає на формування бульб, прискорює їх дозрівання та підвищує врожайність (Gad & Fekry Ali, 2020). Дослідженнями встановлено, що передпосадкове оброблення бульб картоплі розчином хлористого кобальту в дозах 0,9, 1,8 та 2,7 кг/га обумовлювала збільшення врожайності на 1,5 та 1,9 т/га з підвищенням крохмалистості на 0,1–0,7 % (Li, Li, Wang & Wang, 2005). Оброблення бульб розчином азотнокислого кобальту (0,01 %) по неудобреному фону зумовлювала приріст врожаю на рівні 3,5 т/га, а на фоні NPK – 4,9 т/га. В дослідках, де застосовували оброблення насінневих бульб слабким розчином сірчаноокислого кобальту (0,01%) у середньому за 4 роки приріст врожаю бульб становив 3,30 т/га (10,9 %), а збору крохмалю – 0,50 т/га (Gad & Kandil, 2008).

Отже, мікроелементи мають важливе значення для росту та розвитку картоплі. Вони впливають на фотосинтетичну активність, дихання, розподіл поживних речовин у рослинах, а також на їх стійкість до стресових умов і хвороб.

Тому, включення до системи удобрення мікроелементвмістних добрив є важливим фактором підвищення врожайності і якості бульб картоплі.

Таким чином, розуміння та належне управління макро- мезо- і мікроелементним живленням рослин картоплі є основою побудови ефективної системи удобрення цієї культури з огляду на рівень врожаю і якість бульб.

1.2. Інтенсивність та характер фізіолого-біохімічних процесів в рослинах картоплі столової за внесення добрив

Головною умовою отримання високих врожаїв картоплі є тривале збільшення кількості синтезованої органічної речовини на одиницю площі листової поверхні за добу. Ключовим завданням для досягнення цієї мети є забезпечення формування оптимальної площі листової поверхні, яка буде протягом тривалого часу перебувати у максимально активному стані згідно із фазами росту і розвитку рослин. Адже відомо, що добре розвинена синтезуюча площа, яка оптимальна за об'ємом і динамікою функціонування є одним із факторів, які забезпечують високі та сталі врожаї сільськогосподарських культур. Вона повинна відзначатися високою інтенсивністю та продуктивністю упродовж усього періоду вегетації (М'ялковський, 2018; Балашова & Черниченко, 2012).

Наростання листової площі картоплі має певну закономірність. Від появи сходів вона збільшується повільно, а до фази цвітіння розвивається інтенсивно (Myalkovsky, 2018). До моменту утворення бульб стеблостій повинен забезпечити покриття 50 % поверхні ґрунту для ранніх і до 70 % – для пізніх сортів картоплі. У період масового цвітіння рослини повинні зімкнутись. Середньопізні сорти з масою надземної частини від 40 до 50 т/га за сприятливих умов можуть забезпечити середньодобовий приріст бульб від 1,0 т/га та більше. В процесі вегетації відбувається старіння стеблостою (втрачається площа листової поверхні – листки жовтіють та опадають). Зниження приросту настає за втрати близько 70 % листків. Максимальний рівень врожайності досягається за забезпечення 100 %

відмирання листків лише у кінці вегетації. За передчасного механічного або хімічного видалення стебел, а також через їх загибель від хвороб та шкідників, наприклад фітофторозу чи колорадського жука, рослини не можуть повністю реалізувати потенційну врожайність сорту (Sokolovska, 2022; Бикін & Панчук, 2022).

Ключову роль для формування листової поверхні рослин картоплі відіграє внесення органічних та мінеральних добрив у оптимальних співвідношеннях. Як зазначають багато науковців, азот обумовлює затримку процесів фізіологічного старіння листків, а фосфор – сприяє його прискоренню (М'ялковський, 2013). Багато вчених у своїх дослідженнях підтверджують те, що азот сприяє наростанню площі листової поверхні картоплі завдяки збільшенню кількості клітин без зміни їх розмірів. Деякі із них відмічають про здатність фосфору обумовлювати збільшення площі листків. Проте його вплив має менш стійкий характер і проявляється швидше за сумісної дії з азотом. Калій має нестабільний вплив на листки. Здебільшого він позитивно впливає на розвиток поверхні листків, подовжує термін їх ефективної роботи, а також забезпечує кращий розвиток стебел до кінця вегетації (Вдовенко, Полторецький, Поліщук & Вергелес, 2022).

Варто зазначити, що недостатня або надлишкова листова площа обумовлює зниження інтенсивності використання сонячної енергії через нераціональний перерозподіл продуктів асиміляції. Тому розвиток оптимальної фотосинтетичної листової поверхні і забезпечення її довготривалого та продуктивного функціонування є важливим завданням. Між рівнем врожаю та площею листової поверхні існує пряма кореляційна залежність (Бикін & Бордюжа, 2017). Встановлено, що для отримання врожаю на рівні 45–50 т/га, необхідно забезпечити формування площі листків картоплі в межах 40–60 тис. м²/га. Такі умови будуть сприяти росту і розвитку рослин, що дозволять їм забезпечувати себе елементами живлення, водою та вуглекислим газом (Khurana & McLaren, 1982; Timlin, Lutfur Rahman, Baker, Reddy, Fleisher & Quebedeaux, 2006).

Для високого рівня врожаю формування великої площі асиміляційної поверхні є недостатнім параметром і не гарантує високої врожайності. Головним

фактором в цьому процесі є не площа листків, а період їх активної роботи (Нижник, Григорюк & Лихолат, 2004). Із збільшенням активності листкового апарату зростає накопичення сухої речовини. У бульбах картоплі вона на 95 % складається з органічних сполук, які утворюються у процесі фотосинтезу та на 5 % із мінеральних солей, які поглинаються коренями з ґрунту (Черниченко, 2010.).

Активність фотосинтетичної діяльності листового апарату у листках змінюється залежно від їх розміщення на стеблах та віку. В середньому у рослин картоплі формується 15–20 ярусів листків загальна площа яких коливається в межах 0,6–2,0 м². Дослідженнями встановлено, що максимальна інтенсивність проходження фотосинтезу здебільшого спостерігалася у верхніх листків 3–4 ярусів. У середніх та нижніх ярусах його інтенсивність знижувалась (М'ялковський, Безвіконний & Кравченко, 2017). Отже для ділянок картоплі столової з площею листків близько 50 тис. м²/га за зниження інтенсивності освітлення (ранкові та вечірні години, похмурі дні) характерне зменшення кількості світлової енергії, яка проникає до стеблестою, що значно обмежує фотосинтез. За цих умов листки нижніх ярусів часто витрачають на дихання більше пластичних речовин, ніж утворюється під час фотосинтезу (М'ялковський, 2017). Тому оптимальною величиною листової поверхні для картоплі столової зазвичай є 35–45 тис. м²/га. Проте, для отримання максимального господарського та біологічного врожаю картоплі листкова поверхня повинна досягати 45–50 тис. м²/га (Olechowicz, Chomontowski, Olechowicz, Pietkiewicz, Jajoo & Kalaji, 2018).

Встановлено, що для формування врожаю бульб на рівні 50 т/га упродовж періоду вегетації необхідно забезпечити близько 30–40 т СО₂, тобто на 1 га картоплі близько 300 кг СО₂ на добу із чистою продуктивністю фотосинтезу від 3,8 до 7,0 г/м² сухої речовини за добу. Параметри світлової кривої фотосинтезу істотно змінюються за збільшення концентрації СО₂ у повітрі. В посівах сільськогосподарських рослин вона коливається в межах від 0,3 до 0,8 мг СО₂ на 1 л повітря. У багатьох дослідженнях відмічено тенденцію зниження вмісту СО₂ в повітрі до полудня і підвищення у вечірні години, коли зменшується інтенсивність фотосинтезу. Встановлено, що вміст СО₂ у повітрі картопляного поля становив

вранці 0,53–0,69, вдень – 0,48–0,57 і ввечері – 0,50–0,60 мг/л (Рогач & Рогач, 2015; Wolf, Olesinski, Rudich & Marani, 1990). В процесі формування листків співвідношення продуктів фотосинтезу змінюється. Якщо у фазу сходів у рослинах домінувало утворення аланіну, серину, яблучної, аспарагінової та інших кислот над вуглеводами (15–20 % від загальної кількості синтезованих сполук), то до періоду цвітіння різко зростає утворення сахарози і крохмалю, синтез яких пов'язаний із використанням продуктів фотофосфорилування. Рослини 60–70 денного віку використовували 90–95 % CO_2 для синтезу вуглеводів, переважно сахарози (Eberhard, Finazzi & Wollman, 2008).

Збільшення концентрації CO_2 у повітрі супроводжується посиленням фотосинтезу у рослин картоплі за відсутності ліміту від інших чинників. Встановлено, що інтенсивність фотосинтезу може збільшуватися на 14,2 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{год}$ на кожний додатковий 1 мг 1 л/ CO_2 повітря за умов оптимального освітлення. З цього випливає, що в польових умовах концентрація CO_2 частіше, ніж інші чинники, лімітує інтенсивність фотосинтезу картоплі. Тому агротехнічні прийоми, що підвищують рівень CO_2 (посилення мікробіологічних процесів у ґрунті, застосування вуглекислотних підживлень), як правило обумовлюють позитивний вплив на врожай (Tekalign & Hammes, 2005; Lee, Sang, Baek, Kim, Shin, Seo & Cho, 2020).

Мінімальною температурою, за якої розпочинається фотосинтетична діяльність листків картоплі є близько 6 °C. Встановлено, що інтенсивність фотосинтезу за підвищення температури від 5 до 35 °C збільшується в середньому на 7 мг $\text{дм}^2/\text{год}/\text{CO}_2$ на кожні 10 °C. За температури вище 38 °C настає швидка депресія фотосинтезу (Wolf, Olesinski, Rudich & Marani, 1990).

Згідно наукових спостережень фотосинтез картоплі досягає максимальних значень за часткового (9–10 %) водного дефіциту листків. Це явище відоме під назвою "феномен Діамант". Швидкість фіксації CO_2 зменшується, як за збільшення, так і за зменшення оводненості листків. За сильного в'янення листків відбувається швидке зниження інтенсивності фотосинтезу та суттєво змінюється характер фотофосфорилування і відновлення вуглецю. Посуха може

обумовлювати депресію фотосинтезу, яка залежить від довжини періоду зневоднення рослин. У сортів, які відрізняються слабкою водоутримуючою здатністю тканин частіше спостерігається депресія фотосинтезу (Jefferies & Maskerron, 1993).

Встановлено, що умови ґрунтового живлення впливають на формування та функціонування фотосинтетичного апарату. За збільшення вмісту доступного азоту зростає кількість хлоропластів і хлорофілу в клітинах та загальна площа листків. Відомо, що ці показники рослин картоплі дуже залежать від умов мінерального живлення. Повноцінне мінеральне живлення з достатньою кількістю калію та кальцію забезпечує формування найбільшої кількості хлоропластів у клітинах і подовжує період їхньої життєдіяльності (Стасик, Кірізій & Прядкіна, 2021). За одnobічного застосування калійних добрив, особливо хлористого калію та ще більшою мірою фосфорно-калійних добрив, порушується нормальний перебіг утворення хлоропластів і скорочується термін їхнього функціонування. Їх структура в листках картоплі змінюється упродовж онтогенезу рослин. На ранніх етапах їх росту і розвитку хлоропласти мають кулясту форму, є однорідними та потужно відбивають світло. У фазу цвітіння вони збільшуються в розмірах, набувають овальної форми та гранулярної структури. Під час їх розпаду у старих листках утворюються окремі дрібні грани. У ранніх сортів тривалість функціонування хлоропластів є меншою і в середньому становить 35–40 днів, тоді як у пізніх – 45–50 днів. Встановлено, що листки середніх ярусів у фазу бутонізації містять найбільш структуровані хлоропласти. Вони забезпечують найвищу інтенсивність фотосинтезу, а листки вирізняються нагромадженням багатих на енергію нуклеотидів і високою активністю АТФ (Ткачук, Марчук, Пугач & Шевчук, 2017).

Збільшення врожаю за удобрення азотними добривами обумовлюється головним чином, впливом азоту на рівень формування листової поверхні. Її фотосинтетична активність за цього змінюється не суттєво. Посилення азотного живлення є найефективнішим шляхом швидкого формування оптимальної (35–45 тис./га) площі листків картоплі. Іноді чиста продуктивність фотосинтезу на

ділянках із підвищеним вмістом азоту буває навіть нижчою. Різке посилення азотного живлення змінює характер фотосинтетичного метаболізму вуглецю. У дослідях із використанням $C_{11}O_2$ відмічається, що в перші дні після внесення азоту посилюється синтез первинних амінокислот, особливо аспарагінової. Утворення вільних вуглеводів зменшується і тільки в наступні 10–15 днів відбувається перебудова фотосинтетичного апарату. Утворення вуглеводів забезпечує посилення асиміляції азоту на постфотосинтетичних етапах. Азот прискорює меристематичні процеси і суттєво змінює структуру біологічного врожаю, збільшуючи відношення маси листків до маси нефотосинтезуючих органів (Tekalign, & Hammes, 2005).

Встановлено прямий вплив елементів мінерального живлення на транспорт асимілятів. Азот і фосфор сприяють посиленню дихання, активують у провідних пучках гексокіназу, альдолазу та інші ферменти дихання, збільшують вміст АТФ. Для калію характерна пряма участь у механізмі транспорту через цитоплазматичні мембрани. Калій і фосфор беруть участь у транспорті асимілятів утворюючи сполуки з цукрами й амінокислотами (Gordon, Brown & Dixon, 1997).

Таким чином, вплив мінеральних добрив, особливо азотних, на транспорт органічних речовин здійснюється насамперед через зміну ростових процесів. Накопичення фітогормонів в окремих органах і в провідних пучках обумовлює посилення дихання та адсорбуючої здатності. Градієнт вмісту ауксинів створює градієнт метаболічної активності провідних тканин, який визначає інтенсивність і напрямок потоку асимілятів. Вплив мінеральних елементів на розподіл асимілятів між листками та бульбами здійснюється через зміну співвідношення ауксинів та макроергічних нуклеотидів у молодих листках і бульбах. Із двох конкуруючих місць споживання асимілятів більшою притягувальною силою для попередніх буде те місце, де активніше йдуть ростові процеси і вищі енергетичні запаси (Ільчук & Ільчук, 2021).

Створення необхідних співвідношень між надземною вегетативною масою і бульбами досягається внесенням оптимальних норм поживних елементів. Калій і фосфор безпосередньо беруть участь у механізмі фотосинтезу і значною мірою

визначають характер постфотосинтетичного використання продуктів фотосинтезу. У польових умовах можливі випадки, коли надлишок будь-якого елемента в рухомій формі може бути несприятливим для фотосинтезу. Для максимального приросту врожаю в т. ч. і від внесення добрив, слід враховувати фізіологічні та біологічні особливості росту та розвитку рослин, їх потребу в елементах живлення на кожному етапі, а особливо під час формування врожаю (Мазур, Мазур, Лютка & Миронова, 2021).

Дослідження за використанням асимілятів показують, що з початком бульбоутворення бульби стають основним споживаючим органом. Через 25–30 днів після сходів бульби становлять лише 2–5 % від загальної маси рослин, проте в них концентрується до 40–50 % поглинутих під час фотосинтезу асимілятів. З віком рослин частка асимілятів, що надходять до бульб зростає і досягає 80 %. Основним метаболітом, що надходить із листків до бульб є сахароза. У молодих бульбах виявлено незначну кількість моноз і деяких амінованих речовин. Продукти фотосинтезу, переважно сахароза, швидко використовуються в синтезі крохмалю, білків і клітковини. У молодих рослин за швидкого розвитку бульб для синтезу білків і клітковини використовується близько половини асимілятів. При завершенні росту бульб сахароза майже повністю трансформується в крохмаль (Starovoitova, Starovoitov & Manokhina, 2019).

Отже, оптимальний ріст і розвиток картоплі залежить від достатньої площі листової поверхні, яка обумовлює характер проходження фотосинтезу, накопичення енергії та забезпечує високу врожайність цієї культури. Отримання високого рівня врожаю передбачає формування листової площі картоплі в межах 40–50 тис. м²/га і забезпечення її максимально тривалого функціонування.

1.3. Локалізація як фактор підвищення ефективності використання добрив

Збільшення продуктивності рослин та покращення якості врожаю є основним завданням для багатьох науковців та виробників. Складні процеси формування

врожаю, наявність специфічних етапів в онтогенезі рослин, ріст та розвиток, яких протікає за постійної зміни факторів навколишнього середовища, без достатньо неналежного рівня їх регулювання, створюють необхідність пошуку системних підходів в управлінні полем. Важливу роль в цьому відношенні відіграє оптимізація умов живлення рослин завдяки ефективним способам внесення добрив (Bykin & Panchuk, 2021).

Мінеральні добрива є найкращим інструментом підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Забезпечення рослин оптимальною кількістю поживних речовин шляхом ефективного їх використання є однією з найважливіших складових технологій їх вирощування. Добрива потрібно вносити в чітко визначені терміни, в оптимальних дозах та із рівномірним їх розподілом в ґрунті. Норми та дози внесення встановлюють згідно агрохімічних аналізів ґрунтів та створюють для кожного поля відповідні картограми, враховуючи низку технологічних особливостей та величину запланованого врожаю. Ефективне використання мінеральних добрив під таку високотехнологічну культуру, як картопля було, є і буде завжди актуальним (Семенченко & Даніліна, 2012).

Ефективність мінеральних добрив безпосередньо залежить від способів та якості їх внесення. За традиційного способу добрива розподіляються по поверхні ґрунту за допомогою розкидачів. Близько 50 % гранул добрив розміщується в шарі ґрунту 0–15 см і значна їхня частина може бути слабодоступною для рослин. Причиною цього є те, що коренева система картоплі в процесі вегетації в пошуках вологи та поживних речовин розвивається й розташовується глибше цього шару (Bykin & Panchuk, 2021; Пономаренко, Яропуд & Зозуляк, 2016). Також не менш важливим є те, що кліматичні умови в Україні змінюються, і досить частим метеорологічним явищем є посуха, що провокує пересихання верхнього шару ґрунту, в якому розміщуються добрива (Bykin & Panchuk, 2021). Це збільшує частку недоступних елементів живлення для кореневої системи переважно за неоптимального гранулометричного складу. Досить часто за розкидання добрив спостерігається нерівномірність їхнього розподілу. У виробничих умовах витримати необхідні інтервали між проходами розкидача без використання

спеціального обладнання ще важче, тому якість внесення добрив різко знижується. Нерівномірний розподіл поживних речовин у ґрунті зумовлює нерівномірність сходів рослин, темпів їхнього розвитку й дозрівання та в підсумку, недобір врожаю і погіршення його якості. Під час розкидання добрив відбувається ущільнення ґрунту технікою, що в подальшому зумовлює негативний вплив на ріст і розвиток рослин картоплі. Встановлено, що ущільненню піддається до 50 % всієї площі (Вукін & Панчук, 2021; Пономаренко, Яропуд & Зозуляк, 2016).

Важливим технологічним прийомом є зароблення добрив у ґрунт. Під час зароблення мінеральних добрив дисковими боронами чи культиваторами близько 75 % добрив зосереджується на глибині 0–10 см. Якщо зароблення проводиться плугом, на глибині 0–10 см зосереджено 50–60 % добрив, а у шарі 10–25 см близько 25 %. Проміжок у часі між розкиданням добрив та заробленням не повинен перевищувати 6 годин. Запізнення із перемішуванням добрив із ґрунтом зумовлює високі втрати поживних речовин і забруднення довкілля. Варто зазначити, що за інтенсивного перемішування добрив із великим об'ємом ґрунту активізуються процеси зв'язування поживних елементів та переходу їх у важкодоступні форми (Вукін & Панчук, 2021; Савчук, 2008).

Отже, за розкидного внесення та подальшого зароблення ґрунтообробними знаряддями близько 60% внесених добрив розміщується в шарі 0–10 см. За відсутності опадів цей шар ґрунту піддається пересиханню, що обумовлює слабку доступність більшої половини внесених добрив для кореневої системи рослин (Балашова & Юзюк, 2016). Із вищезазначених причин розкидний спосіб внесення мінеральних добрив не може повністю забезпечити достатнього використання ними елементів живлення, що обумовлює не високу віддачу від застосування добрив (Бикін & Панчук, 2022).

Збільшення доступності елементів живлення та зменшення витрат можливі тільки завдяки оптимізації удобрення. Тому одним зі способів покращення живлення картоплі та скорочення втрат поживних речовин, усунення негативного впливу добрив на довкілля та отримання високих, стабільних врожаїв культури є

локалізоване внесення мінеральних добрив у зону розташування кореневої системи рослин (Bykin & Panchuk, 2021; Альохін, 2016).

Використання технологій локального внесення добрив є альтернативою розкидному внесенню і має низку переваг. За таких умов підвищується рівень використання азоту на 10–15 %, фосфору на 5–10 %, калію на 10–12 %, що дозволяє знижувати норми внесення добрив на 25–30 % (Бендера & Василич, 2016; Погорілий, Шустік & Іваненко, 2014). Науковці виділяють основні чинники, які забезпечують певні переваги локального застосування добрив:

- вплив добрив на ґрунт є обмеженим у тому шарі, який перебуває у безпосередньому контакті з стрічкою добрив (Sparrow, Chapman, Parsley, Hardman & Cullen, 1992);
- у зоні внесення добрив підвищується рН ґрунтового розчину (Jin, Chen, Chen, Jiang, Hopkins, Zhang & Benavides, 2019);
- навколо зони внесення збільшується вміст гумінових кислот з одночасним зменшенням вмісту фульвокислот, які більше піддаються мінералізації та є основним джерелом доступного азоту;
- висока концентрація поживних речовин у зоні внесення пригнічує активність мікроорганізмів, зокрема нітрифікаторів і бактерій, які живляться органічним і мінеральним азотом, що сприяє зниженню непродуктивних втрат внаслідок перебігу денітрифікаційних процесів (Witold, Pavel, Evan, Witold, Jarosław & György, 2017);
- локалізація та зменшення площі контакту фосфорних добрив із ґрунтом обумовлює підвищення рухливості його сполук та збільшує їх доступність для рослин картоплі (Rosen, Kelling, Stark & Porter, 2014);
- мінімізація перемішування калійних добрив з ґрунтом знижує перехід калію в необмінну форму, що поліпшує калійне живлення рослин, яке в подальшому активує поглинання інших елементів (Kang, Fan, Ma, Shi & Zheng, 2014);
- локальне внесення добрив передбачає їх розміщення у глибших шарах ґрунту, які є краще зволожені навіть за посухи, що забезпечує пролонговану їх

дію та краще засвоєння рослинами (Хмилевський, 2006; Курлов, Фесенко & Поляков, 2020).

Існує кілька способів локального розміщення добрив у ґрунті – стрічкове припосівне, прикореневе, екраном. Внутрішньогрунтова технологія їх внесення дозволяє коригувати застосування добрив за терміном внесення та відповідно до онтогенезу рослин. Можливість поєднання локального внесення добрив з основним, передпосівним та міжрядними обробітками ґрунту, а також сівбою і посадкою є не тільки ефективним резервом економії агресурсів, але й запобігає зменшенню надмірного переущільнення ґрунтів (Nukeshev, Eskhozhin, Lichman, Karaivanov, Zolotukhin & Syzdykov, 2016). Найбільш розповсюдженим є стрічковий спосіб розміщення добрив. Він дозволяє розміщувати стрічки добрив на оптимальній відстані від бульб. Внесення мінеральних добрив навесні та до посіву дозволяє проводити декілька операцій одночасно, що знижує енергоємність виконання робіт (Zolotukhin, Lichman & Nukeshev, 2017).

Дані багатьох досліджень свідчать про те, що найефективніше розміщувати стрічки добрив для культур суцільного посіву та зернових з інтервалом 15–30 см, просапних під рядок на 5–10 см глибше залягання насіння, щоб захистити корені рослин від опіків (Novikov & Motorin, 2021). В досліджах по вивченню ефективності різних способів внесення добрив встановлено, що локальне застосування порівняно з розкидним, підвищує ефективність добрив на 20 %. Це обумовлює підвищення врожайності зернових на 0,2–0,5 т/га із збільшенням коефіцієнта використання елементів живлення рослинами на 8–15 % (Kyarblane, Khannofainen & Soodla, 1990).

Локалізація добрив та збільшення їх норм сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур до певної межі, після чого можливе зниження ефекту від локалізації, а також виникає негативний вплив від надмірних норм. Тому за такого способу внесення добрив потрібно правильно розрахувати норму враховуючи потребу культури та конкретні ґрунтово-кліматичні умови (Dumbuya, Sarkodie-Addo, Daramy & Jalloh, 2016). За локального внесення добрива можна розміщувати пошарово на різну глибину, а також поєднувати рідкі та тверді їх

форми. Встановлено, що на рівень використання поживних елементів із добрив та ґрунту у значній мірі впливає забезпеченість рослин вологою. Розміщення добрив локально полегшує пошуки поживних речовин та підвищує їх засвоєння упродовж вегетації в т.ч. і за ґрунтової посухи. Посилення процесів росту та розвитку за такого способу удобрення обумовлює інтенсивне формування листкового апарату, який є основним фотосинтезуючим органом рослин. Це є дуже актуальним для зон з коротким вегетаційним періодом, а також культур із тривалим періодом вегетації та повільними темпами наростання листків особливо на початку вегетації. Загалом у літературних джерелах відмічається позитивний вплив мінеральних добрив, що вносились локально на темпи росту і розвитку та дозрівання рослин (Bykin & Panchuk, 2021).

За локального внесення добрива потрібно розміщувати на оптимальній відстані від кореневої системи. Зменшення відстані від зони розташування гранул добрив до коренів може спричиняти опіки та їх загибель, а за великої віддаленості рослини зможуть використати добрива із значною затримкою, що негативно позначиться на величині врожаю. Концентрація добрив в орному шарі обумовлює посилений розвиток тієї зони коренів, яка безпосередньо контактує із зоною концентрування елементів живлення, що є достатнім для забезпечення поживними речовинами рослин за мінімальних витрат ними енергії. Розвиток коренів у зоні внесення добрив посилюється, але загальна маса може змінюватися незначною мірою. За такого способу внесення відбувається підвищення коефіцієнтів використання поживних елементів порівняно з розкидним. Високий вміст елементів живлення в ґрунті в доступному для рослин стані за локального внесення добрив зберігається впродовж тривалого часу, забезпечуючи більш істотні прирости врожаю. Цей спосіб дає змогу створити сприятливі умови мінерального живлення рослин та повніше використовувати поживні речовини, а також позитивно впливає на здатність сільськогосподарських культур витримувати стресові умови, покращує процеси синтезу запасуючих речовин, зменшує використання поживних речовин бур'янами. Водоспоживання рослин на одиницю продукції за таких умов знижується на 10–15 %. За узагальненими даними приріст

врожаю картоплі від локального розміщення добрив становив у середньому 3,0–4,0 т/га (Bykin & Panchuk, 2021).

Ефективність локального способу внесення може залежати від гранулометричного складу та рівня родючості і вологозабезпеченості ґрунтів, форм, видів і норм добрив, параметрів розміщення їх у ґрунті, біологічних особливостей культур, тощо. Віддача від локалізації буде зростати за використання не високих доз добрив та своєчасного їх внесення, нестійкого режиму зволоження, наявності в ґрунті рослинних решток та підвищених забур'яненості полів. Однак, систематичне застосування цього способу на одному й тому ж полі із внесенням середніх і високих норм добрив може знижувати їх віддачу (Rosen, Kelling, Stark & Porter, 2014).

Ключовою особливістю цього способу внесення добрив є формування в орному шарі ґрунту зон з високим вмістом рухомих форм елементів живлення. За високої концентрації солей у невеликому об'ємі знижується ступінь закріплення елементів живлення ґрунтом та зменшуються їх втрати. Висока концентрація N-NH_4^+ у ґрунті здатна пригнічувати процеси нітрифікації, тобто знижувати втрати азоту у вигляді NO_3^- . Встановлено, що ступінь закріплення фосфору за локального внесення порівняно із розкидним знижується. Внаслідок цього подовжується термін його перебування в доступній для рослин формі. Внесення калійних добрив локально сприяє зменшенню необхідної фіксації калію. Ґрунт, який контактує із стрічкою добрив здатний до різкого насичення елементами живлення, що обумовлює зміну концентрації ґрунтового розчину та підвищення осмотичного тиску. Такі умови гальмують життєдіяльність мікроорганізмів. Завдяки цьому блокується зв'язування елементів живлення та уповільнюється процес нітрифікації (Bykin & Panchuk, 2021).

Азот, фосфор і калій мають різний характер міграції по профілю ґрунту відносно зони внесення добрив. Найактивніше піддається переміщенню нітратний азот, значно менше амонійний азот і калій і ще менше цим процесам піддається фосфор. Внесення добрив у прикореневу зону посилює розвиток коренів, що обумовлює утворення більшої кількості вузлових коренів. Рослини за таких умов

можуть краще себе забезпечити елементами живлення, що вплине на рівень формування врожаю (Zelalem, Tekalign & Nigussie, 2009).

Локальне розміщення добрив у ґрунті забезпечує тривалу доступність елементів живлення для рослин. Чисельні дослідження у цьому напрямку підтвердили ефективність такого способу, а також необхідність його широкого впровадження. Таку технологію можна розглядати як один із засобів збереження рівня родючості ґрунтів. Окремі результати досліджень підтверджують цю закономірність. Встановлено, що за тривалого використання локального способу внесення азотних добрив у сівозміні, відбулося зменшення постійної деградації стійких азотовмістних органічних сполук, а також покращились азотний режим ґрунту, зокрема його родючість в цілому. За середніми багаторічними даними, на різних ґрунтах внесення NPK локально в дозах 45–80 кг на 1 га, обумовлювало вдвічі більший приріст врожаю картоплі порівняно з розкидним способом (Gondwe, Kinoshita, Sano, Suminoe, Aiuchi Koaze & Tani, 2017; Zelalem, Tekalign & Nigussie, 2009)

За даними досліджень, які проводились в лабораторії картоплярства Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН України локальне внесення мінеральних добрив в нормі $N_{90}P_{90}K_{120}$ з двома позакореновими підживленнями Інтермаг Картопля в дозі 2,0 л/га обумовлювало отримання найбільшої врожайності сорту Легенда (50,0 т/га) із приростом врожаю 3,7–4,3 т/га або (7,8–12,0 %) порівняно з розкидним способом (Альохін, 2016).

Своїми дослідженнями Гамаюнова В.В. та Ісакова О.Ш. (Гамаюнова, & Ісакова, 2014) встановили, що за середньої забезпеченості ґрунту основними елементами живлення, локальне внесення $N_{45}P_{45}K_{45}$ в шар ґрунту 0–12 см, обумовлювало такий рівень врожайності та якості бульб, як і за повної норми мінеральних добрив ($N_{90}P_{90}K_{90}$) у варіантах із розкидним способом.

В інституті зрошуваного землеробства НААН України в досліді по вирощуванню насінневої картоплі сорту Кобза встановлено більш масове входження рослин у фазу сходів у варіанті із локальним внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ за вологості ґрунту в межах 80 % НВ (різниця становила 10,4 % порівняно з

контролем (без добрив)). Найбільший рівень врожайності був у варіанті з локальним внесенням $N_{120}P_{120}K_{120}$ під час садіння, який досягав 18,7 т/га (Вожегова, Балашова, Бояркіна & Сахацький, 2021).

В дослідженнях Юзюк (Юзюк, 2017) зазначається можливість отримання максимальної продуктивності супереліти картоплі ранньо- та середньоранньостиглих сортів Скарбниця та Левада (на рівні 21,8 т/га та 22,1 т/га) за локального внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ сумісно з фоліарним внесенням регулятора росту Регоплант.

На чорноземі звичайному середньосуглинковому малогумусному в Інституті зернових культур НААН України у польових дослідках була встановлена перевага локального внесення мінеральних добрив перед розкидним. Вона зумовлена тим, що за локального розміщення добрив формувались кращі умови завдяки розміщенню гранул у більш вологому шарі ґрунту (Лютій & Буряк, 1983).

Науковцями також відмічається, що за локального внесення добрив посилюється надходження до рослин всіх елементів живлення, передусім фосфору, азоту та калію (White, Bradshaw, Finlay, Dale, Ramsay, Hammond & Broadley, 2009). Встановлено, що споживання сполук азоту відбувається більш активніше, ніж калію та фосфору. За такого способу утворюється зона з підвищеною концентрацією азоту на глибині внесення. Повільне надходження фосфору та калію до рослин автори пояснюють слабкою рухливістю цих елементів у ґрунті та підвищеним їх вмістом у ґрунтах, на яких проводились дослідження (Gondwe, Kinoshita, Sano, Suminoe, Aiuchi, Koaze, & Tani, 2017).

Низкою інших дослідників доведено, що за локального внесення кількість добрив можна знижувати на 20–50 %. Наприклад, прикореневе внесення фосфорних добрив в нормі 64 кг/га суттєво підвищувало врожайність зернової кукурудзи порівняно з розкидним у нормі 122 кг/га (Носко, 2017; Dumbuya, Sarkodie-Addo, Daramy, & Jalloh, 2016).

Велика кількість проведених досліджень на різних культурах у різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах свідчить про те, що така технологія внесення добрив є одним із ефективних способів зниження енергетичних витрат,

що пов'язані із застосуванням добрив. Вона обумовлює підвищення окупності приростом врожаю в 1,5–2,0 рази (Marchand & Bourrié, 1999; Haddad, Bani-Hani, Al-Tabbal, & Al-Fraihat, (2016).

Узагальнюючи інформацію про локальне внесення мінеральних добрив слід зазначити наступні переваги:

- підвищення ефективності: такий спосіб внесення добрив дозволяє більш повніше забезпечувати рослини необхідними поживними речовинами, що обумовлює кращий ріст та розвиток культур і сприяє формуванню вищого рівня врожаю.
- зниження втрат: локальне внесення дозволяє знижувати норми із збереженням ефективності від їх внесення, сприяє раціональному використанню ресурсів, що допомагає зберігати родючість ґрунтів і знижує негативний вплив на навколишнє середовище
- забезпечення гнучкості: такий спосіб внесення добрив дає можливість розміщувати добрива на різну глибину під конкретну ділянку, рослину або фазу росту і розвитку.

Таким чином, локальний спосіб внесення добрив дозволяє створити сприятливі умови мінерального живлення рослин, які обумовлюють підвищення врожайності та покращення показників якості сільськогосподарських культур.

Висновки до розділу 1

Дисертаційна робота базується на аналізі результатів досліджень, що проведені вітчизняними та закордонними науковцями відносно впливу мінеральних добрив на ріст і розвиток рослин картоплі. З цих досліджень випливає, що мінеральні добрива мають позитивний вплив на продуктивність цієї культури. Однак, питання локального внесення добрив під картоплю є недостатньо вивченими. Важливим аспектом досліджень є використання різних норм мінеральних добрив. Це підкреслює необхідність оптимізації живлення рослин, а

також збільшення виходу товарної продукції з підвищеними показниками якості та означає, що існує необхідність подальших досліджень в цьому напрямку для досягнення найкращих результатів.

Отже, дисертаційна робота має на меті розширити знання про вплив мінеральних добрив на картоплю, зосереджуючись на локальному внесенні добрив з різними нормами. Важливим є встановлення оптимальних доз добрив для покращення умов живлення рослин і підвищення якості бульб, особливо для насіннєвого напрямку використання. Це сприятиме отриманню нових знань та рекомендацій для сільськогосподарського виробництва та буде обумовлювати підвищення ефективності вирощування картоплі.

Результати досліджень, що проведені у дисертаційній роботі, спрямовані на вирішення конкретних питань щодо локального внесення мінеральних добрив під картоплю з метою покращення росту, розвитку та продуктивності рослин, а також підвищення якості отриманої продукції.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма проведення досліджень

Основною метою дисертаційної роботи було встановлення ефективного способу внесення мінеральних добрив, який зможе забезпечити оптимізацію живлення рослин насіннєвої картоплі шляхом оптимального розміщення мінеральних добрив у певних шарах темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту.

Об'єкт дослідження – агрохімічні процеси за формування зон локалізації у темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті та окремі фізіолого–біохімічні процеси у рослинах картоплі столової за локалізованого внесення фосфорних і калійних добрив.

Предмет дослідження – динаміка вмісту рухомого фосфору та обмінного калію в підгребеновому шарі ґрунту, вміст макроелементів у рослинах, біометричні показники рослин, урожайність, фракційність та якість бульб картоплі насіннєвого напряму використання.

Програма проведених досліджень передбачала розгляд та вирішення низки завдань:

- ✓ встановлення впливу способів та норм локального внесення добрив на ріст і розвиток рослин картоплі;
- ✓ дослідження динаміки проходження окремих фізіолого-біохімічних процесів у рослинах картоплі залежно від способів та норм локального внесення добрив;
- ✓ проведення моніторингу вмісту рухомих сполук фосфору та обмінного калію в підгребеновому шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту в основні фази росту і розвитку рослин картоплі для встановлення зон їх локалізації;
- ✓ встановлення впливу способів та норм локального внесення добрив на рівень врожаю, його структуру та якість бульб картоплі насіннєвого напряму використання;

- ✓ визначення економічної та біоенергетичної ефективності локального способу та норм внесення фосфорних і калійних добрив.

2.2. Умови проведення досліджень

2.2.1. Погодно-кліматичні умови території проведення досліджень

Життєдіяльність рослин картоплі тісно пов'язана з погодними умовами навколишнього середовища. Фізіологічні процеси, які проходять в період їх росту і розвитку залежать від рівня температурних умов. Під час зниження температури вони можуть гальмуватися. Головним чином це стосується процесів фотосинтезу, транспірації та дихання. Коли температура повітря є надмірно високою у рослинах картоплі призупиняється синтез і активується розпад речовин. Особливу роль для оптимального росту і розвитку картоплі відіграє ґрунтова волога. Водному та температурному режимам належить ключова роль у формуванні високоякісного врожаю картоплі. Багато досліджень свідчать про залежність урожаю картоплі від кількості опадів. Для весняного періоду зазвичай характерні незначні опади, які не можуть суттєво поповнити запаси вологи у ґрунті. За таких умов велике значення має накопичення запасів вологи восени, взимку та навесні (Djaman, Koudahe, Saibou, Darapuneni, Higgins & Irmak, 2022).

Рослини картоплі встановлюють різні вимоги до вологості ґрунту протягом їх росту і розвитку. Наприклад, для формування врожаю 30 тонн на суглиннистих ґрунтах рослини потребують 3000 м³/га, на супіщаних – 4000 м³/га. У період проростання та появи сходів, а також на початку розвитку вегетативної частини, картопля не має високих потреб у волозі. Її вміст може бути на рівні 50–55 % ГПВ (Ієрна, 2023). Із ростом і розвитком рослин ці вимоги зростають і досягають максимуму на початку бутонізації та цвітіння. Оптимальна вологість ґрунту в цей період повинна становити 70–75 % ГПВ. Достатнє вологозабезпечення рослин картоплі у період формування бульб є основною передумовою для отримання високого та якісного врожаю. Як нестача, так і надлишок вологи негативно впливають на формування врожаю. Разом із зменшенням врожаю у бульбах

знижується вміст крохмалю та сухої речовини, погіршується їх лежкість. Для отримання технологічно сформованих бульб (орієнтовно за два тижні) необхідно до моменту збирання зменшувати вологість ґрунту до рівня 55–60 % ГПВ (Danielescu, MacQuarrie, Zebarth, Nyiraneza, Grimmett & Levesque, 2022).

Наші польові наукові дослідження проводились на території другого агрокліматичного району, для якого характерний помірно-континентальний клімат з недостатньою кількістю вологи. За даними системи реєстрації метеоумов iMETOS 3.3, що встановлена на території господарства, впродовж 2019–2022 рр. за вегетаційний період у середньому випадало близько 257 мм опадів, а упродовж року – 478 мм. Проте, такої кількості атмосферних опадів для оптимального вологозабезпечення рослин було недостатньо. Хоча протягом чотирьох років досліджень для окремих періодів була характерна надмірна кількість опадів.

За період вегетації картоплі у 2019 р. найбільша кількість атмосферних опадів випала на стадіях ВВСН (0–9) – 30,3 % та ВВСН (10–59) – 31,3 %. Водночас у такий важливий період, як цвітіння та формування бульб (ВВСН (59–90)) відмічалась недостатня кількість опадів, що обумовлювало стрес рослин, який міг позначитися на врожайності культури (рис. 2.1).

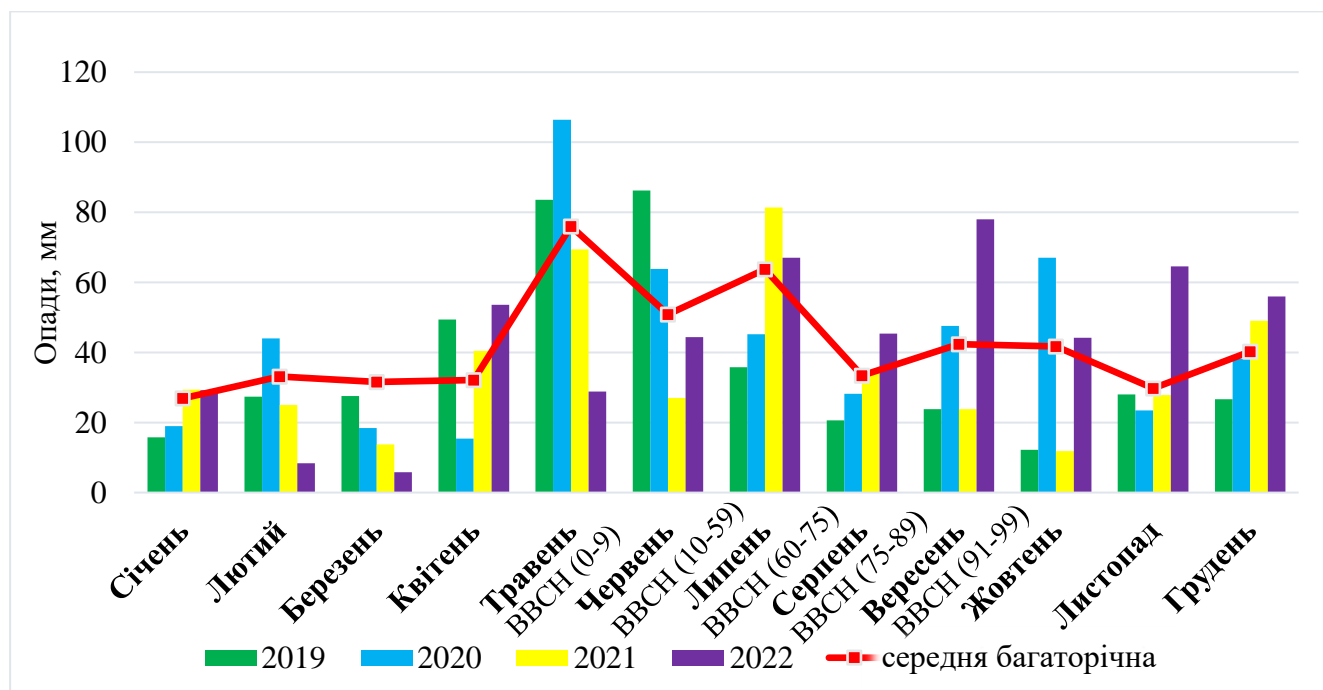


Рис. 2.1. Середньомісячна кількість атмосферних опадів за період проведення досліджень, 2019–2022 рр.

У 2020 р. найбільша кількість опадів за період вегетації випала у травні (до сходів) – 41,1 % та на стадіях ВВСН (1–59) – 24,6 %. На початку формування бульб та у період цвітіння (ВВСН (60–72)) частка опадів була на рівні 17,4 %, а на стадіях ВВСН (73–91) взагалі знизилася до 10,9 %, що було не достатнім для оптимального проходження всіх біохімічних процесів формування бульб.

Період вегетації 2021 р. характеризувався вищими температурами у період з липня по серпень та малою кількістю атмосферних опадів на початку розвитку культури. Де найбільша кількість опадів (27,5 %) випала до сходів картоплі (у травні). Недостатня кількість опадів (10,7 %) відмічалась від початку росту і розвитку рослин ВВСН (1–59). Оптимальна кількість опадів (32,2 %) випала у період цвітіння та початку формування бульб (ВВСН (60–71)). Водночас у серпні на стадіях ВВСН (72–91) випало лише 13,5 %, що було недостатньо для повноцінного росту та розвитку рослин і негативно вплинуло на формування бульб.

У 2022 р. велика кількість опадів теж випала до сходів (у квітні) – 22,4 % від загальної кількості за вегетацію. Потім відмічався їх дефіцит у травні, де частка досягала лише 12,0 %. Від початку росту та розвитку рослин на стадіях ВВСН (1–59) частка опадів була на рівні 18,6 %, що негативно вплинуло на ініціацію бульб. У липні на стадіях ВВСН (60–71) відмічалась оптимальна кількість атмосферних опадів – 28,0 %. Така нерівномірність розподілу опадів упродовж періоду вегетації негативно вплинула на рівень врожаю картоплі столової.

Проростання бульб картоплі розпочинається за температури ґрунту 5 °С, але поява сходів за такої температури суттєво затримується, що зумовлює низький потенціал росту і розвитку рослин. Тому висаджування необхідно проводити збудженими бульбами за температури ґрунту 7–8 °С на глибину 10 см (Sharma, Zaeen & Bali, 2022). Оптимальною температурою для росту і розвитку стебел є 18–25 °С, а кореневої системи – 15–18 °С. Стебла та листки картоплі дуже чутливі до низьких температур. Їх загибель настає за мінус 1–3 °С. За їх часткового пошкодження заморозками ріст і розвиток рослин картоплі затримується на 10–14 днів (Шуст & Хомик, 2014).

Оптимальною температурою для проходження цвітіння картоплі є 19–22 °С. Тривале підвищення температури може обумовлювати скидання бутонів та квіток. Оптимальною температурою ґрунту для утворення і формування бульб є 18–20 °С. За показників нижче 18 °С та вище 28–30 °С ініціація бульб зупиняється. Довготривале перевищення оптимальних температур може обумовлювати вторинний ріст бульб і появу нових пагонів та столонів з подальшим утворенням дрібних дочірних бульб. Наслідком цього є зниження якості та збільшення частки дрібної фракції врожаю (Pavlista & Ojala, 2023).

Для повноцінного росту і розвитку рослин картоплі сума температур вище 10 °С за період вегетації повинна досягати для ранніх сортів 1000–1200 °С, середньо-ранніх – 1100–1400 °С, пізньостиглих – 1400–1500 °С (Pavlista & Ojala, 2023).

Згідно даних метеостанції iMETOS 3.3 середньорічна температура повітря на території проведення досліджень коливалась в межах 6–8 °С. Упродовж 2019–2022 рр. середня температура повітря за період вегетації досягала 17,7 °С.

Температурний режим протягом періоду досліджень був дуже різноманітним. Так у 2019 р. в період вегетації культури найвища середньомісячна температура (23,6 °С) спостерігались від сходів до кінця періоду бутонізації (ВВСН (1–59)). У період цвітіння (ВВСН (60–69)) середньомісячна температура становила 19,8 °С, що було оптимальним для росту і розвитку рослин і утворення та формування бульб зокрема. На стадіях ВВСН (70–91) цей показник становив 20,6 °С. Водночас відмічались часті денні підвищення температури до 26–28 °С, що обумовлювало зниження процесів фотосинтезу та пригнічувало ріст розвиток культури.

Період вегетації 2020 р. відзначався стабільним підвищенням температури впродовж літніх місяців. Середньомісячна температура підвищувалась у червні до 22,3 °С (ВВСН 1–59). На стадіях ВВСН 60–71 цей показник досягав 21,8 °С з денними підвищеннями до 25–27 °С. Що обумовлювало стрес рослин та гальмування їх росту і розвитку. У період від «зеленої ягоди» до початку технічної стиглості (ВВСН 73–91) температура була в межах 21,1 °С, а в окремі дні досягала

29–30 °С. Високі температури у вищезазначені періоди вегетації негативно впливали на майбутній урожай, оскільки у цей період активно проходять біохімічні процеси у бульбах (рис. 2.2).

У 2021 р. в період активної вегетації найбільша середньомісячна температура трималась у липні (24,3 °С), тобто в період цвітіння (ВВСН 60–69) та негативно впливала на ріст і розвиток рослин, а особливо бульб. Підвищення температури на стадіях ВВСН 70–91 до 21,2 °С, а в окремі дні до рівня 30–32 °С в поєднанні з малою кількістю опадів зумовлювало гальмування біохімічних та ростових процесів рослин картоплі.

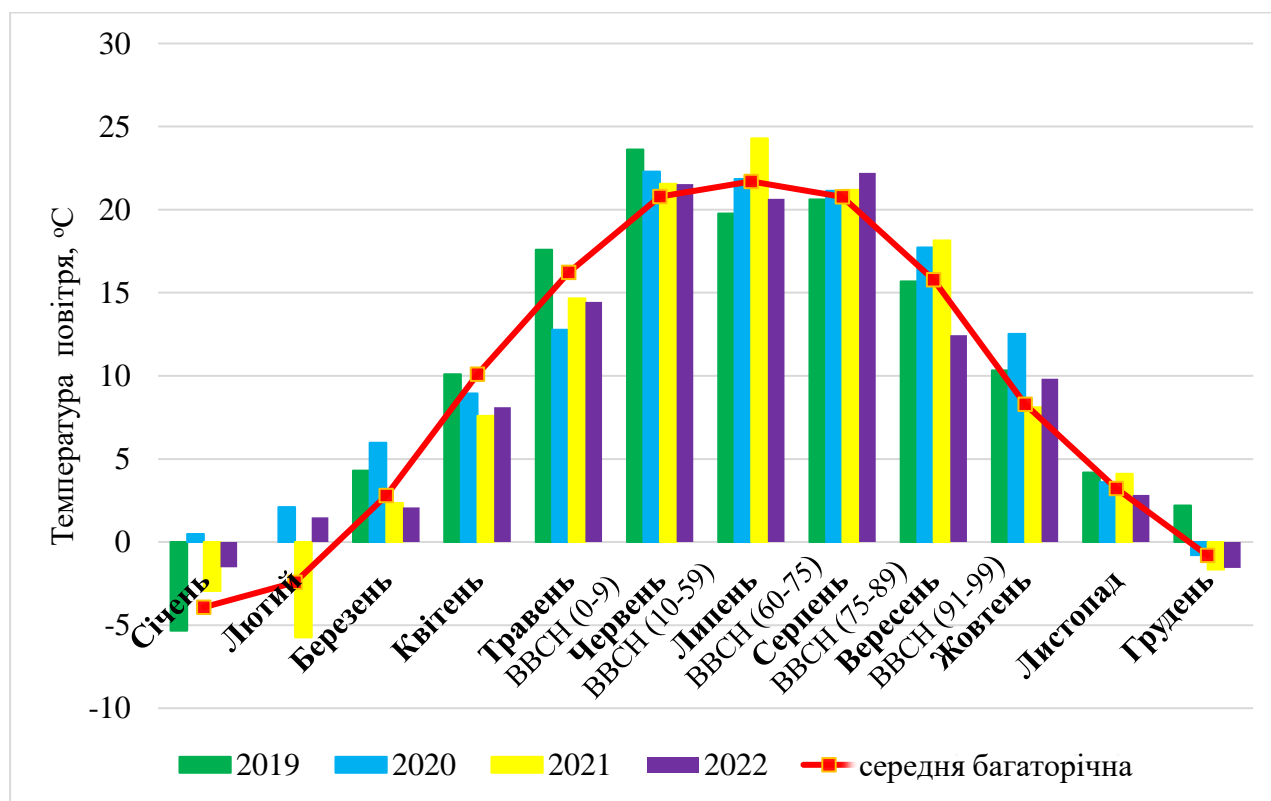


Рис. 2.2. Середньомісячна температура повітря території проведення досліджень, 2019–2022 рр.

Впродовж періоду вегетації в 2022 р. найбільша середньомісячна температура (21,5 °С) була в проміжку від сходів до бутонізації (ВВСН 1–59). За цвітіння (ВВСН 60–69) цей показник досягав 22,2 °С, із підвищенням до меж 30–

33 °C, що негативно позначилось на загальному рості і розвитку рослин та формуванні бульб зокрема.

Відомо, що картопля відноситься до світлолюбивих рослин. За недостатньої кількості світла вони витягуються, листки втрачають здатність до поглинання вуглекислого газу та уповільнюється їх ріст і розвиток.

Основним фактором регулювання рівня освітленості рослин є оптимізація їх густоти. За таких умов забезпечується рівномірне освітлення рослин, більш довший період функціонування надземної частини, яка тривалий час залишається життєздатною та краще поглинає сонячну енергію (М'ялковський, 2018). Важливим, в цьому відношенні є правильний напрямок гребенів на полі. Розташування рядків з півдня на північ обумовлює більш рівномірне освітлення рослин протягом дня та забезпечує високу їх фотосинтезуючу активність, що в підсумку підвищує врожайність на 10–15 % (М'ялковський, 2018).

Вегетативна частина рослин картоплі краще росте та розвивається за довготривалих теплих днів, а бульбоутворення інтенсивніше проходить за помірної температури короткого дня. В умовах тривалого та інтенсивного освітлення рослини добре розвиваються навіть за зниження температури. За слабого освітлення для нормального їх росту і розвитку потрібне підвищення теплозабезпечення (Midmore & Deng, 1990).

За довготривалого потрапляння світла на столони та бульби відбувається накопичення у них отруйної речовини – соланіну, яка надає бульбам зеленого забарвлення. Для насінневих бульб його накопичення є корисним – підвищується їх стійкість до хвороб та покращуються насінневі параметри (Timlin, Lutfur Rahman, Baker, Reddy, Fleisher & Quebedeaux, 2006; Prange, McRae).

Підсумовуючим показником гідрологічних умов росту і розвитку рослин є гідротермічний коефіцієнт зволоження. Показник ГТК використовують для оцінювання умов зволоження за період із середньодобовими температурами вищими за 10 °C, тобто за активної вегетації рослин (Ierna, 2023).

Гідротермічний коефіцієнт може бути корисним інструментом для оцінки кліматичних умов певного регіону та їх впливу на рослинництво. Визначення

коефіцієнта включає аналіз середньомісячних або середньодобових показників опадів та температури впродовж періоду вегетації рослин.

В травні 2019 р., коли рослини досягли стадій ВВСН (0–9) відмічалась надмірна кількість вологи, що обумовлювало негативний вплив на сходи. ГТК становив у цей період 1,5 (рис. 2.3). За проходження стадій ВВСН (10–59) також було достатньо вологи і ГТК був на рівні 1,2. У період цвітіння (ВВСН (60–69)) відмічалась середня за інтенсивністю посуха (ГТК 0,6), що обумовлювала негативний вплив на формування бульб. У фазу «зеленої ягоди» (ВВСН (70–90)) відмічалось зниження кількості опадів та підвищення температури, що обумовлювало зниження ГТК до 0,3.

У 2020 р. в травні до сходів картоплі спостерігалась надмірна кількість опадів, яка обумовлювала ГТК на рівні 2,7. Період від сходів до закінчення бутонізації (ВВСН (1–59)) характеризувався достатньою кількістю вологи (ГТК 1,0), що позитивно впливало ріст і розвиток рослин, а також на ініціацію бульб. У період проходження стадій ВВСН (60–69) ГТК знизився до 0,7, що відповідало середньому рівню посухи та мало негативний вплив на формування бульб і рослин в цілому. На стадіях ВВСН (70–90) відмічалась сильна посуха, яка обумовлювала подальше зниження цього показника до 0,4 та мала негативний вплив на формування бульб. На кінець вегетації ВВСН (91–99) була зафіксована не велика кількість опадів, яка зумовлювала підвищення ГТК до 0,9, що характерно для слабкої посухи.

Аналізуючи умови зволоження 2021 р. на стадіях ВВСН (1–59) відмічалась сильна посуха (ГТК знизився до 0,4). Такі умови негативно впливали на загальний ріст і розвиток рослин та ініціацію бульб. У фазу цвітіння (ВВСН (60–69)) спостерігалась достатня кількість опадів, а показник ГТК збільшився до 1,1. Для стадій ВВСН (70–91) була характерна підвищена температура та недостатня кількість опадів, які обумовлювали сильну посуху та негативний вплив на рослини картоплі (показник ГТК знизився до 0,5). На кінець вегетації (ВВСН (91–99)) ГТК був на рівні 0,9, що характерно для слабкої посухи. У 2022 р. під час проходження

стадій ВВСН (1–59) відмічалась слабка посуха (ГТК становив 0,8). У період цвітіння (ВВСН (60–69)) була достатня кількість вологи (ГТК був на рівні 1,0).

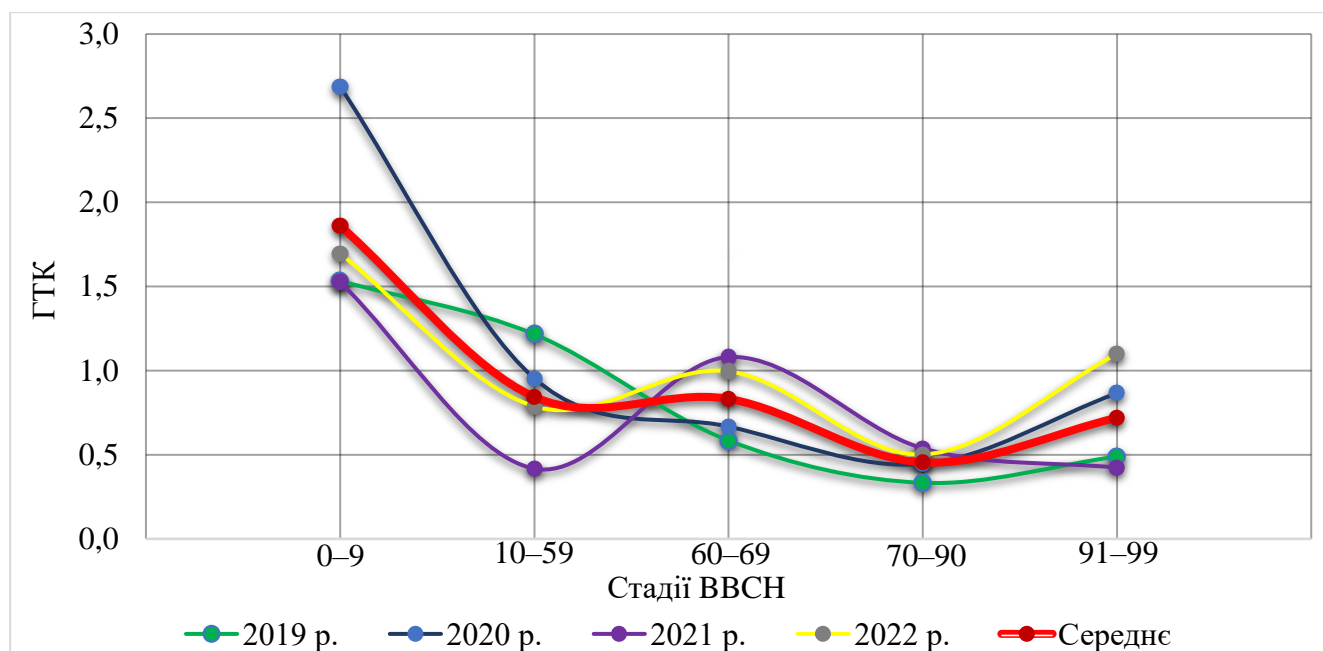


Рис. 2.3. Гідротермічний коефіцієнт зволоження (ГТК) території проведення досліджень, 2019–2022 рр.

У фазу «зеленої ягоди» (ВВСН (70–91)) був дефіцит опадів, який разом з високими температурами обумовлював зниження ГТК до 0,5, що характерно для сильної посухи. Такі коливання вологи та температури мали негативний вплив на ріст і розвиток рослин, а також на формування бульб. На останніх стадіях ВВСН (92–99) відмічалась достатня кількість опадів, яка сприяла підвищенню ГТК до 1,1.

Отже, згідно результатів розрахунків ГТК встановлено, що в середньому весь період вегетації картоплі був слабо посушливим. Водночас травень був надмірно зволожений, червень (ВВСН (1–59)) та липень (ВВСН (60–69)) характеризувались слабкою посухою, яка негативно впливала на ріст та розвиток рослин, а також на формування врожаю. У серпні (ВВСН (71–90)) відмічалась сильна посуха, яка з приходом вересня (ВВСН (92–99)) змінювалась на середню посуху.

Погодні умови території, де проводились дослідження, за ступенем типовості характеризувалися, як нестабільні (табл. 2.1). Так, у 2019 р. червень (ВВСН (1–59)) та липень (ВВСН (60–70)) були нетипово посушливими за температурою. Хоча у червні відмічалась надмірна кількість опадів.

Упродовж 2020 р. квітень був нетипово посушливим, а травень нетипово прохолодним. Варто відмітити, що червень був нетипово вологий (ВВСН (1–59)), а вересень нетипово посушливим.

Таблиця 2.1

Ступінь типовості погодних умов території проведення досліджень у період вегетації картоплі, 2019–2022 рр.

Місяць	Рік			
	2019	2020	2021	2022
за температурою				
квітень	типові	типові	нетипово прохолодні	нетипово прохолодні
травень ВВСН (0–9)	нетипово посушливі	нетипово прохолодні	типові	типові
червень ВВСН (1–59)	нетипово посушливі	типові	типові	типові
липень ВВСН (60–69)	нетипово прохолодні	типові	екстремально посушливі	типові
серпень ВВСН (70–90)	типові	типові	типові	нетипово посушливі
вересень ВВСН (91–99)	типові	нетипово посушливі	нетипово посушливі	нетипово прохолодні
за опадами				
квітень	типові	нетипово посушливі	типові	типові
травень ВВСН (0–9)	типові	типові	типові	типові
червень ВВСН (10–59)	екстремально вологі	нетипово вологі	типові	типові
липень ВВСН (60–69)	типові	типові	нетипово вологі	типові
серпень ВВСН (70–90)	типові	типові	типові	нетипово вологі
вересень ВВСН (91–99)	типові	типові	типові	типові

У квітні 2021 р. відмічались нетипово прохолодні умови. Протягом липня (ВВСН (60–70)) була висока температура повітря з надмірною кількістю опадів, що було нетиповим для цього періоду та негативно впливало на ріст і розвиток рослин.

Період вегетації 2022 р. характеризувався в основному типовою кількістю опадів, проте нетипово посушливими умовами у серпні ВВСН (70–90), що негативно впливало на формування бульб.

Загалом, за роки досліджень (2019–2022 рр.) відмічалися нетипові погодні умови у початкові періоди росту і розвитку картоплі, що обумовлювало збільшення негативного впливу на рослини, який також спостерігався і у період від липня (ВВСН (60–69)) до серпня ВВСН (70–90) та характеризувався нестабільними температурами повітря та затяжними засухами.

Таким чином, результати розрахунків ГТК підтверджують, що зміни в режимі опадів та температур часто мали негативний вплив на ріст і розвиток рослин картоплі. За роки досліджень упродовж періоду вегетації відмічались нетипові погодні умови, як на початку росту і розвитку картоплі, так і більш пізні фази, що мало негативний вплив на рослини. Тому для зменшення та мінімізації такого впливу необхідно розробити такі технологічні прийоми, які б нівелювали погіршення умов живлення рослин. В цьому аспекті перспективним може бути зміна способів удобрення.

2.2.2. Ґрунтові умови території проведення досліджень

Полеві дослідження проводились на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті, який сформувався на лесовидних суглинках. Для нього характерним є інтенсивне елювіювання та добра гумусованість профілю. Порівнянно з неоглеєними аналогами, він має більш кисліший діапазон рН та менший показник суми насичення основами.

Територія характеризується майже повною відсутністю лінійних ерозійних процесів та дуже малою зміною гіпсометрії поверхні. Рівень залягання підґрунтових вод в середньому проходить на глибині 4–6 м внаслідок чого часткове забезпечення рослин вологою можливе навіть за несприятливих метеорологічних умов.

Профіль ґрунту дослідної ділянки складався з таких горизонтів:

– (HE) глибина залягання 0–37 см, гумусово-елювійований горизонт з доброю елювіюваністю, темно-сірий, свіжий, легкосуглинковий, нещільний.

- (HII) глибина залягання 38–68 см, гумусований, бурувато–сірий, свіжий, легкосуглинковий, дрібно-горіхуватий, щільний, грані окремих грудочок мають сліди SiO₂, перехід ясний.
- (I) глибина залягання 69–105 см, ілювіальний, коричнево–бурий, свіжий, легкосуглинковий, має горіхувато–призматичну структуру, дуже щільний, зустрічаються кротовини, перехід ясний.
- (Pi) глибина залягання 106–200 см, слабко–ілювіюваний, має бурувато–палевий колір, вологий, легкосуглинковий, має грудкувато–призматичну структуру, перехід різкий.
- (Pk) глибина залягання 126–200 см, бурувато–палевий карбонатний лесовидний суглинок (Цицюра, Поліщук & Броннікова, 2020).

Вищезазначений ґрунт є типовим для зони Лівобережного Лісостепу України. Бал бонітету цього ґрунту становить 58–64 бали (Цицюра, Поліщук & Броннікова, 2020).

Згідно результатів проведених агрохімічних досліджень ґрунт орного та підорного шару характеризувався низьким вмістом гумусу (2,12 %), слабко-кислою реакцією ґрунтового розчину (5,48), високим рівнем забезпечення рухомими сполуками фосфору (246 мг/кг), обмінного калію (224 мг/кг), підвищеним – обмінного магнію (2,64 мг-екв/100 г), середнім – кальцію (7,93 мг-екв/100 г), низьким – рухомої сірки (3,64 мг/кг) та мінерального азоту (14,5 мг/кг), низьким вмістом мангану, міді, бору та цинку (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Агрохімічні показники темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту дослідної ділянки, 2019–2021 рр.

Показник	Глибина, см	
	0–20	20–40
pH ^{KCl}	5,48	5,31
Вміст гумусу, %	2,12	1,94
Ємність катіонного обміну, мг-екв./100 г	11,7	24,2
Гідролітична кислотність, мг-екв./100 г	2,85	3,05
Ступінь насичення основами, %	81,6	89,5

Вміст	N мін, мг/кг	14,5	10,8
	P ₂ O ₅ , мг/кг	246	185
	K ₂ O, мг/кг	224	169
	CaO, мг-екв/100 г	7,93	7,03
	MgO, мг-екв /100 г	2,64	2,01
	S, мг/кг	3,64	2,85
	Mn, мг/кг	5,46	
	Cu, мг/кг	0,19	
	B, мг/кг	0,88	
	Zn, мг/кг	0,72	
	Fe, мг/кг	3,32	

Згідно вищезазначених агрохімічних показників ґрунт дослідної ділянки здатний забезпечити достатні умови для росту і розвитку рослин картоплі. Для їх оптимізації необхідне проведення прийомів по регулюванню умов живлення.

Як підсумок, можна зазначити, що ґрунтово-кліматичні умови території, де розміщувалась дослідна ділянка задовольняють біологічні вимоги рослин картоплі. Однак, щоб отримувати високі та сталі врожаї з хорошими показниками якості бульб необхідно раціонально підходити до технології вирощування, особливо, до способів внесення добрив.

2.2.3. Технологічні умови проведення досліджень

Технологія вирощування картоплі столової була адаптована до умов Лівобережного Лісостепу України та здійснювались відповідно вимогам ДСТУ 4506:2005 «Картопля продовольча. Технологія вирощування. Основні положення». Попередником слугувала пшениця озима. Після її збору врожаю проводили зароблення пожнивних решток на глибину 5–6 см із одночасним висівом редьки олійної, як сидерату (норма висіву 30 кг/га). В осінній період проводили щілювання глибокорозпушувачем АГР – 2,4 на глибину 38–40 см з відстанню між робочими

органами 50 см. Весняне закриття вологи проводили за допомогою дискатора Vaderstad Carrier CR400 на глибину 5–6 см.

Мінеральні добрива вносили згідно схеми досліду (табл. 2.3). РКД 8–24 застосовували у передпосівне удобрення у варіанті з розкидним способом за допомогою самохідного обприскувача Теснома Lazer 3000, а калій хлористий за допомогою агрегату John Deere 6195M та розкидача МВД 1000 з подальшим їх заробленням дискатором Vaderstad Carrier CR 400 на глибину до 10 см. Локальне внесення проводили агрегатом у складі John Deere 8300 та культиватора Peliper RV 3000: фосфорні добрива (РКД 8–24) стрічкою (глибина до 15 см), а калійні – смугою (ширина 10–12 см, глибина 18–20 см) (Bykin & Panchuk, 2021).

Азотні добрива, як фон в усіх варіантах, вносили у передпосівний обробіток ґрунту у вигляді КАС – 25 + S4 з урахуванням кількості азоту, що вносились з РКД 8–24. Так у варіанті з розкидним внесенням доза становила N_{73} . У варіантах локальним внесенням $P_{80} K_{180} - N_{73}$; $P_{60} K_{135} - N_{80}$; $P_{40} K_{90} - N_{87}$. Перед формуванням гребенів проводилося внесення $MgSO_4$ (50 кг/га) та N_{35} у вигляді КАС–25 + S4 з подальшим їх заробленням гребнеутворювачем, а N_{15} у вигляді кальцієвої селітри у підживлення.

Висаджування насіннєвих бульб проводили у першій декаді травня (трактор John Deere 6195M агрегатований з Grimme GL 34KL) з розрахунку 55 тис. бульб/га на глибину 7–9 см з їх передвисадковим обробленням стимуляторами росту Грос Коренеріст (1,5 л/т) та Еколайн Фосфітний (К) (1 л/т) за допомогою аплікатора на інспекційному столі (Bykin & Panchuk, 2021).

Формування гребенів проводилось у кінці третьої декади травня за допомогою трактора John Deere 6195M та гребнеутворювальної фрези Grimme GF 75–4.

Для забезпечення оптимального росту і розвитку картоплі упродовж вегетації проводилось 5–6 поливів із нормою витрати води 200 м³/га.

В період вегетації проводили заходи з профілактики та боротьби із захворюваннями, шкідниками та переносниками вірусів, що були спрямовані на

формування насіннєвого матеріалу високої якості. Система захисту рослин картоплі столової включала наступні прийоми:

- передпосадкове оброблення бульб протруйниками: Вайбранс RFC (0,5 л/т) та Кайзер (0,3 л/т) для захисту від хвороб та шкідників в період сходів;
- після утворення гребенів внесення гербіцидів: Прометрекс (2,5 л/га) та Пендіган (Стомп) (3,5 л/га) для контролю однорічних дводольних та злакових бур'янів (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- за досягнення висоти рослин 15–20 см проводилася фітосанітарна прочистка посівів та гербіцидно-фунгіцидне оброблення наступними препаратами: Манзат (1,6 кг/га), Штефстробін (0,6 л/га), Тітус (Таро) (0,05 кг/га), Тренд (0,3 л/га) для контролю бур'янів та захисту від хвороб (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- при змиканні рослин у рядку проводилася фунгіцидне оброблення: Полірам (2 кг/га), Пропульс (0,5 л/га) для захисту від фітофторозу та альтернаріозу (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- при змиканні міжрядь (на початку бутонізації) проводилось оброблення наступними препаратами: Агіл (0,8 л/га), Інфініто (1,6 л/га), Міравіс (0,2 л/га), Кораген (0,06 л/га) для контролю злакових бур'янів та захисту від хвороб і шкідників (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- у період масового цвітіння проводилася фітосанітарна прочистка посівів для видалення нетипових рослин. Після чого застосовували: Антракол (2 кг/га), Штефстробін (0,6 л/га) для захисту від хвороб (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- на початку формування бульб використовували: Сігнум (0,4 кг/га) для захисту від альтернаріозу (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- через 14 днів проводили оброблення препаратом Штефстробін (0,6 л/га) для захисту від фітофторозу та альтернаріозу (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);

- через 12 днів вносили наступні препарати: Ридоміл Голд (2,5 кг/га) від фітофторозу та альтернаріозу, Кораген (0,06 л/га) для захисту від колорадського жука (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000);
- у фазу «зеленої ягоди» проводили десикацію для отримання бульб оптимальних розмірів: Ретро (3 л/га) (самохідний обприскувач Теснома Lazer 3000).

Збір врожаю проводили за настання технічної стиглості обліково з усієї ділянки за допомогою картоплезбирального комбайна AVR ARB 230.

2.3. Методика проведення досліджень

Наукові дослідження проводились в польовому досліді кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О.І. Душечкіна НУБіП України на території землекористування ТОВ «Біотех ЛТД» (Бориспільський район, Київська область) впродовж 2019–2022 рр. згідно розробленої схеми дослідів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Схема польового дослідів по вивченню ефективності різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, 2019–2022 рр.

№ з/п	Спосіб та норма внесення добрив	
	розкидний	локальний
1	N ₁₅₀ P ₈₀ K ₁₈₀	-
2	N ₁₅₀	P ₈₀ K ₁₈₀
3	N ₁₅₀	P ₆₀ K ₁₃₅
4	N ₁₅₀	P ₄₀ K ₉₀

Площа посівної ділянки становила 495 м² облікової ділянки становила 312 м², повторність дослідів 4–кратна. Розміщення варіантів було систематичним.

Для проведення дослідів було обрано ранньостиглий сорт Тирас. Він характеризується високим попитом на ринку та рівнем відгуку на внесення мінеральних добрив. Має достатню стійкість до збудника раку, середньостійкий до стеблової нематоди і парші звичайної, високостійкий проти іржавої плямистості

бульб. Для нього характерне інтенсивне накопичення врожаю на початкових періодах росту і розвитку, придатність для вирощування двоурожайною культурою на півдні України, що робить його комерційно привабливим для виробників (Bykin & Panchuk, 2021).

В дослідженнях використовували наступні добрива: КАС – 25: N – 25 %, S – 4 % (ТУ У 24.1-00203826.024-2002); РКД 8:24: N – 8 %, P_2O_5 – 24 % (ТУ 2186-627-00209438-01), калій хлористий: K_2O – 60 % (ТУ 2184-042-00209527-97), сульфат магнію: MgO – 16 % (ТУ 2141-073-00206457-2007), кальцієва селітра: N - 15,5 % Ca – 19 % (ТУ У6-13441912.004-99). Для передпосадкового оброблення бульб використовували стимулятори росту Грос Коренеріст (азот (N – NH_2) – 3,0 %, P_2O_5 – 5,0 %, K_2O – 3,0 %, амінокислоти (L- α) – 3,0 %, фітогормони – 22,0 ppm) – (1,5 л/т), Еколайн Фосфітний (К) (азот (N – NH_2) – 0,6 %, P_2O_5 – 53,0 %, K_2O – 35,0 %, В – 1,4 %) – 1 л/т.

Зразки ґрунту та рослин картоплі відбирались у наступні фази росту і розвитку: сходи (ВВСН 1–10), бутонізація (ВВСН 51–59), цвітіння (ВВСН 60–69), «зелена ягода» (ВВСН 70–79), технічна стиглість (ВВСН 91–99). Відбір та підготовка зразків ґрунту до аналізів здійснювалась згідно ДСТУ ISO 10381–2:2004. ДСТУ ISO 11464 – 2001 та спеціально удосконаленої методики відбору зразків в пригребеневій зоні рядків картоплі (Bykin & Panchuk, 2021).

Згідно них відбір зразків ґрунту в прикопці проводився наступним чином:

1. Зрізався гребінь перпендикулярно до напрямку стрічки внесення добрив (рис. 2.4).



Вигляд до зрізання гребеня

Вигляд після зрізання гребеня

Рис 2.4. Схема підготовки прикопки до відбору зразків ґрунту

2. Викопувалася прикопка розміром 25*50см для розміщення на її стінці квадратної рамки розміром 25*50 см з розміром комірки 5*5см (рис.2.5).



Вигляд викопаної прикопки

Вигляд прикопки із розміщеною рамкою

Рис 2.5. Схема відбору зразків ґрунту

3. Після розміщення рамки з сіткою на стінці прикопки проводився відбір ґрунтових проб з кожної комірки масою 200 г.
4. Для кращої візуалізації комірок здійснювалась їх нумерація в такій послідовності:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	47	49	50

5. Кожна відібрана проба нумерувалась відповідно до номера комірки та ізолювалася від інших проб.
6. Після відбору усіх 50 проб ґрунту здійснювалась їх підготовка та аналіз.

Лабораторні дослідження проводились у навчальній лабораторії «Методи агрохімічних досліджень та програмування врожаю сільськогосподарських культур». У зразках ґрунту визначали наступні показники:

- вміст амонійного азоту за допомогою фотоколориметричного методу з реактивом Несслера (ДСТУ 4729:2007);
- вміст нітратний азот за іонселективним методом (ГОСТ 26951–86);
- вміст рухомих сполук фосфору за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА (ДСТУ 4405:2005);

- вміст рухомого калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА (ДСТУ 4405:2005);
- вміст рухомої сірки в модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського (ДСТУ 8347:2015);
- вміст магнію і кальцію у водній витяжці (ДСТУ 7945:2015).
- вологість ґрунту термогравіметричним методом (ДСТУ ISO 11465– 2001);
- вміст рухомого мангану методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.1:2007);
- вміст рухомого кобальту методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.5:2007);
- вміст рухомої міді методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.6:2007);
- вміст рухомого цинку методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.2:2007);
- вміст рухомого заліза (ДСТУ 7913:2015)
- вміст рухомого бору за методом Бергера і Труога в модифікації ЦІНАО (ГОСТ Р 50688–94).

У зразках рослин визначали вміст:

- сухої речовини термогравіметричним методом (ГОСТ 29268–89);
- загального азоту після озолення за методом К. Гінзбург фотоколориметрично з використанням реактиву Несслера;
- загального фосфору після озолення з використанням фотоколориметра за методом Деніже в модифікації Левицького (ГОСТ 26657–85);
- загального калію після озолення за допомогою полуменевого фотометра;

Фракції бульб за розміром розділяли на насінневі стандартні (28–35, 35–45, 45–55 мм) та не стандартні (<28 та >55 мм).

Оцінка якості бульб включала визначення вмісту крохмалю поляриметричним методом (ISO 6493:2008, ДСТУ 15914:2008), вітаміну С – за методом Муррі (ГОСТ 24556–89), нітратів – потенціометрично з використанням іонселективних електродів, сухої речовини термогравіметричним методом (Bykin & Panchuk, 2021).

Облік врожаю проводився механізовано з усієї дослідної ділянки за настання фази технічної стиглості (ВВСН 91-99) згідно загальноприйнятих методик. Сорткування посадкового матеріалу проводили згідно вимог ДСТУ 4013-2001 «Сортові та посівні якості картоплі насіннєвої». Математична обробка результатів досліджень проводилась шляхом статистичного (дисперсійного та кореляційного) аналізу з використанням комп'ютерної програми MS Excel (Bykin & Panchuk, 2021)

Висновки до розділу 2

Територія, на якій проводили польові дослідження характеризувалась потенційно сприятливими погодними та ґрунтовими умовами для одержання високого рівня врожаю насіннєвої картоплі. За роки досліджень упродовж періоду вегетації спостерігались типові умови у 2019, 2020, 2021 рр., а найбільш нетипові відмічались у 2022 р. Проте були окремі періоди, коли у критичні фази росту та розвитку картоплі виникала нестача вологи на фоні високого та різкого коливання денних та нічних температур, що обумовлювало стрес рослин, який негативно впливав на продуктивність рослин.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ФОСФОРНИХ І КАЛІЙНИХ ДОБРИВ НА ДОСТУПНІСТЬ ФОСФОРУ В ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ГРУНТІ

3.1. Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період активного споживання їх рослинами картоплі

Фосфор є основним елементом для живлення рослин. Вони засвоюють аніони ортофосфornoї кислоти (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), але частково можуть використовувати мета- та поліфосфати, а також деякі органічні сполуки фосфору. Найкраще засвоюються аніони H_2PO_4^- , дещо гірше HPO_4^{2-} . Рівень засвоєння фосфору рослинами обумовлюється не лише його вмістом в ґрунті, а й забезпеченістю іншими мінеральними елементами. Так, за нестачі цинку відбувається зниження надходження та використання рослинами сполук фосфору, а за високого забезпечення міддю, навпаки, потреба у ньому зменшується (Jin, Chen, Chen, Jiang, Hopkins, Zhang, & Benavides, 2019).

Після внесення добрив у ґрунт, фосфор, який входить до їх складу, внаслідок хімічних, фізико-хімічних та біологічних процесів зазвичай піддається перетворенню на сполуки, які більш характерні для того типу ґрунту, у який були внесені добрива (Носко, 2017). На доступність внесеного фосфору з добрив впливає хемосорбція, адсорбція, біологічні перетворення та інші процеси, які проходять у ґрунті. Складна природа сполук, які підвищують закріплення фосфору залежать від типу ґрунту. Оскільки їх основна частина по відношенню до фосфору добрив має високу вбирну здатність. Вважається, що рослини споживають не фосфат-іони з добрив, а різні за своєю розчинністю та доступністю сполуки, які утворилися внаслідок процесів трансформації фосфорних добрив у ґрунті. Спочатку фосфор закріплюється безпосередньо у зоні внесення та залишається у розчинній формі (близько 25 % від внесеної кількості) (Zelalem, Tekalign & Nigussie, 2009).

Основним показником, який характеризує доступність сполук фосфору для рослин є фосфатний потенціал (ФП). Він включає в себе сумарну активність іонів кальцію та деяких фосфат-іонів. Із зменшенням показника фосфатного потенціалу покращується перехід фосфору до ґрунтового розчину та створюються більш сприятливі умови для фосфорного живлення рослин. Встановлено, що корені можуть поглинати фосфор на відстані до 23 мм. Наприклад, поглинання рослинами фосфору у суглинкових ґрунтах прямопропорційне довжині їх коренів, а відстань переміщення фосфат-іонів в ґрунті з високим їх вмістом, не перевищує 0,90–1,2 мм. Тому навіть за максимального розвитку коренів рослини можуть використовувати фосфор лише із чверті об'єму орного шару ґрунту (Стахів, 2010; Шевченко, 2013).

Існують різні погляди на переміщення сполук фосфору по профілю ґрунтів. Водночас визначальним фактором є поглинання цих сполук ґрунтами та форми утворених фосфатів. Дослідженнями встановлено, що у чорноземах коефіцієнт фіксації фосфатів, який визначали з використанням мітки ^{32}P у ацетатній витяжці, збільшувався від 40 % в шарі 0–25 см до 65 % у шарі 50–100 см. Навіть за зрошення з поливною нормою 5000 м³/га і внесенні P_{360} на чорноземних ґрунтах, фосфор не переміщувався більш як на 5–12 см від зони внесення (Канівець, Токмакова, Пищур & Близнюк, 1997). Проте, за даними Павліченка (Павліченко, 2021) у чорноземі типовому і опідзоленому Київської та Черкаської областей за довготривалого застосування мінеральних добрив ґрунт збагачувався сполуками фосфору до глибини 60–80 см. Таке переміщення фосфору автори пов'язують з можливим вимиванням цих сполук водою у вигляді суспензії колоїдних часточок ґрунту, органічних речовин, а також його накопиченням у кореневих системах рослин.

Під час засвоєння фосфору з ґрунтового розчину, рослини обумовлюють зниження його концентрації. Проте ґрунти мають здатність підтримувати концентрацію фосфору у розчині на стабільному рівні, який залежить від запасів розчинних фосфорних сполук у ґрунті, а також швидкості розчинення у ньому фосфоровмістних мінералів. Здатність ґрунтів підтримувати необхідну

концентрацію фосфору на сталому рівні називають фосфатною буферною здатністю ґрунту (Xiangsheng, Jiachen, Jun, Yubin, Yanping, & He, 2006).

Споживання фосфору рослинами картоплі проходить впродовж всього періоду вегетації. Однак, найбільше та найнеобхідніше його використання припадає на період від початку бутонізації до кінця цвітіння. Достатнє забезпечення рослин картоплі фосфором у фазу бутонізації сприяє закладанню та формуванню оптимальної кількості бульб під кущем, а також проходженню необхідних біохімічних процесів, які задіяні у бульбоутворенні (Dumbuya, Sarkodie-Addo, Daramy & Jalloh, 2016).

Наші дослідження показали, що у фазу бутонізації вміст рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} коливався від 119 до 291 мг/кг (рис. 3.1).

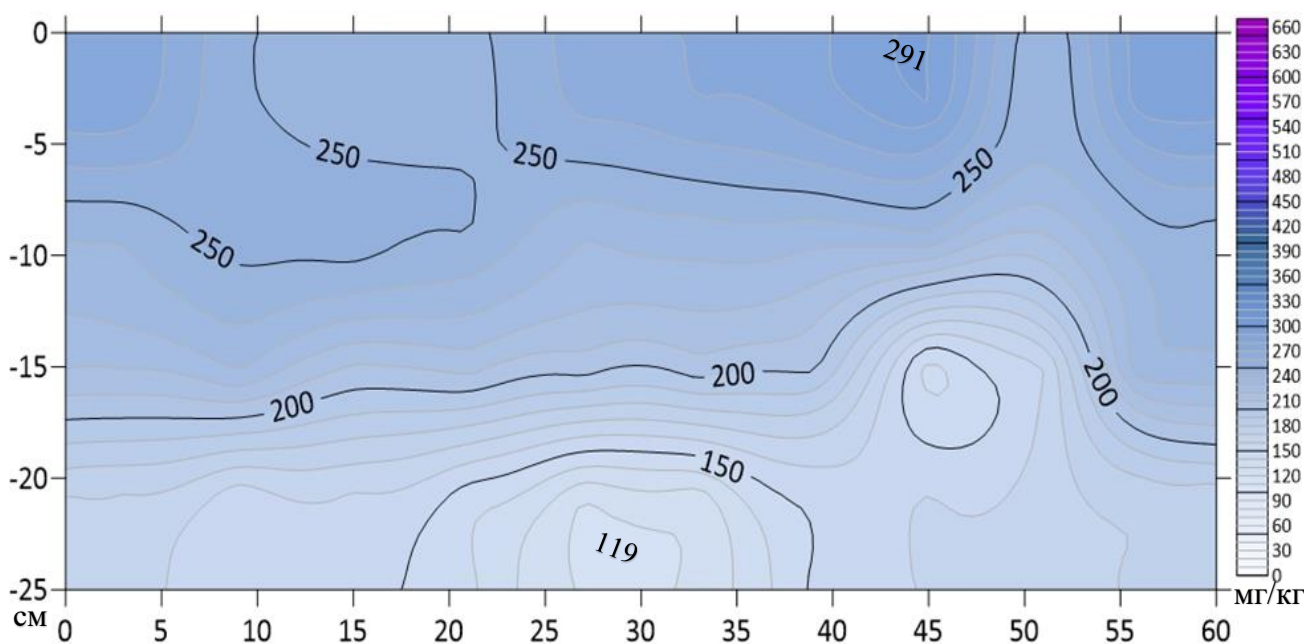


Рис. 3.1. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Так, у шарі 0–5 см його вміст коливався від 240 до 291 мг/кг. Зі збільшенням глибини до 5–10 см його кількість знизилась до показників 231–257 мг/кг. За подальшого збільшення глибини до 10–15 см його вміст знизився до меж 135–238 мг/кг. До глибини 15–20 см цей показник продовжував знижуватись до рівня 119–168 мг/кг. Таке зниження вмісту фосфору за глибиною обумовлено, перш за

все, його традиційним внесенням на поверхню ґрунту і заробленням в шар 0–10 см, а також слабкою рухливістю цього елемента по профілю ґрунту.

За локального внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} вміст рухомого фосфору в прикореневій зоні коливався від 115 до 353 мг/кг. Аналізуючи результати досліджень (рис. 3.2) можна чітко виділити зону локалізації фосфору в шарі 8–12 см. Максимальний вміст у центрі цієї зони становив 353 мг/кг. Також слід відмітити, що концентрація навколо зони розміщення добрив була в межах 200–250 мг/кг.

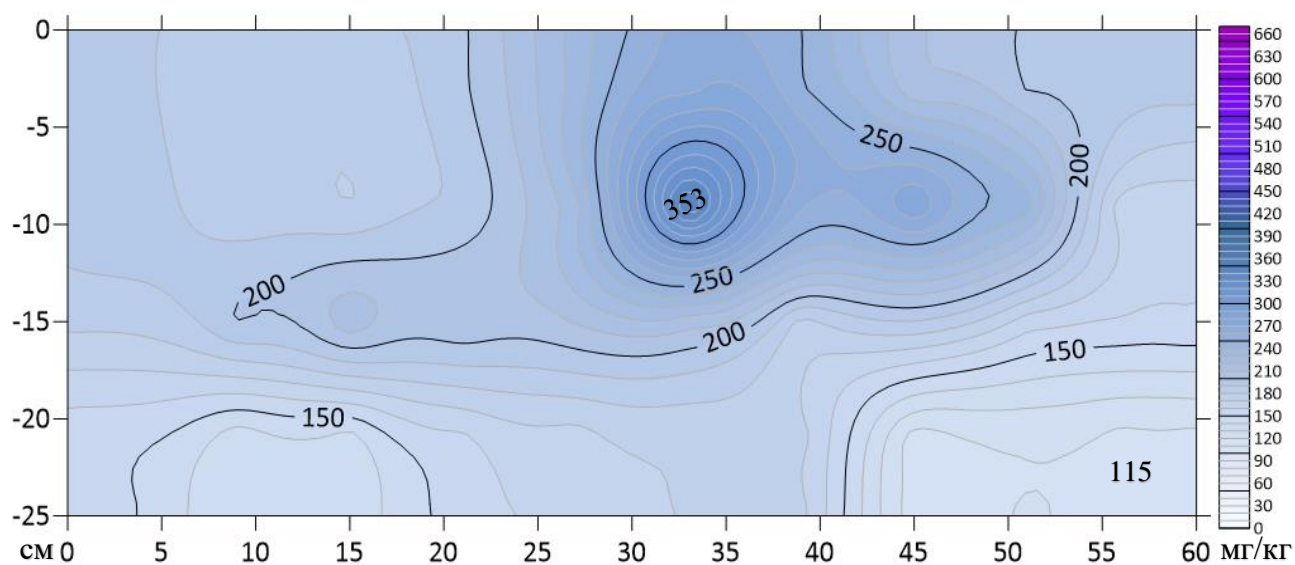


Рис. 3.2. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Порівнюючи зазначений спосіб внесення з розкидним, можна зробити висновок, що за локального розміщення фосфорних добрив формувалася зона локалізації з більшою концентрацією. Завдяки цьому може блокуватись зв'язування фосфорних сполук і рослини можуть отримувати цей елемент у більш повній мірі протягом довшого періоду.

У варіанті з локальним внесенням зменшеної до $P_{60}K_{135}$ норми на фоні N_{150} зона локалізації фосфору з вмістом близько 250 мг/кг була меншою за розмірами порівняно з вищезазначеним варіантом. Водночас в центрі цієї зони концентрація фосфору була більшою від попереднього варіанту та становила 369 мг/кг (рис 3.3).

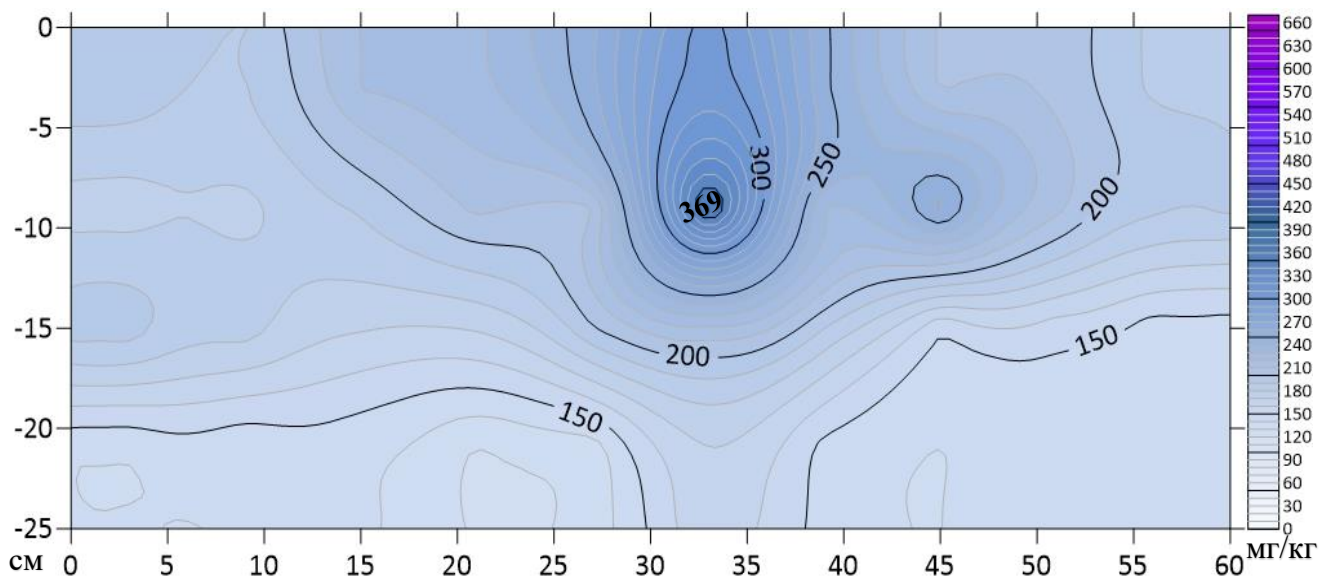


Рис. 3.3. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Збільшення вмісту в зоні локалізації порівняно з варіантом, де локально вносилися повна норма фосфорних та калійних добрив можливо обумовлювалось меншим споживанням фосфору рослинами, так як у листках та коренях його вміст був меншим. Також це може бути пов'язано із меншою фіксацією фосфору ґрунтом.

Локальне внесення зменшеної на 50 % норми фосфорних та калійних добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} обумовлювало вміст фосфору в підгребеневій зоні від 108 до 346 мг/кг (рис. 3.4).

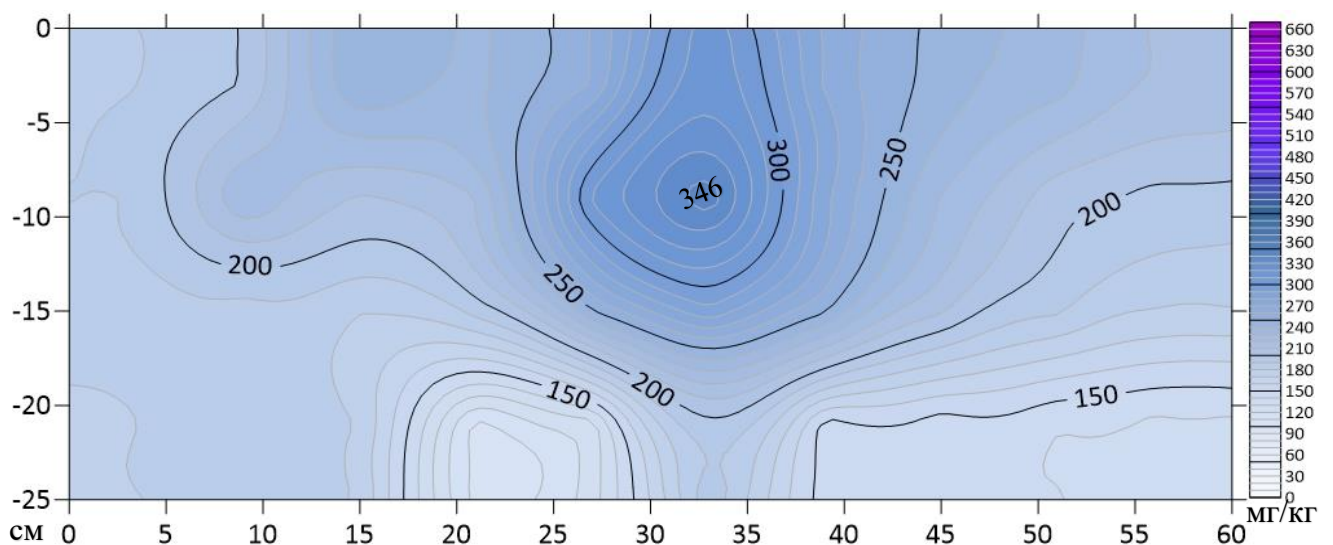


Рис. 3.4. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Аналізуючи зазначені показники варто відмітити те, що за такої норми внесення спостерігалася зона локалізації з вмістом більше 300 мг/кг та 346 мг/кг в центрі. Можливо, розширення зони локалізації фосфору порівняно з вищезазначеними варіантами може бути обумовлене нормою внесеного фосфору з добрив, які під впливом вологи швидше вступили в реакцію з ґрунтом.

У період цвітіння оптимальне фосфорне живлення забезпечує формування бульб стандартних розмірів, що покращує майбутню врожайність. У зазначену фазу за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} концентрація фосфору у шарі 0–5 см зменшилась до рівня 202–261 мг/кг порівняно з фазою бутонізації (рис. 3.5).

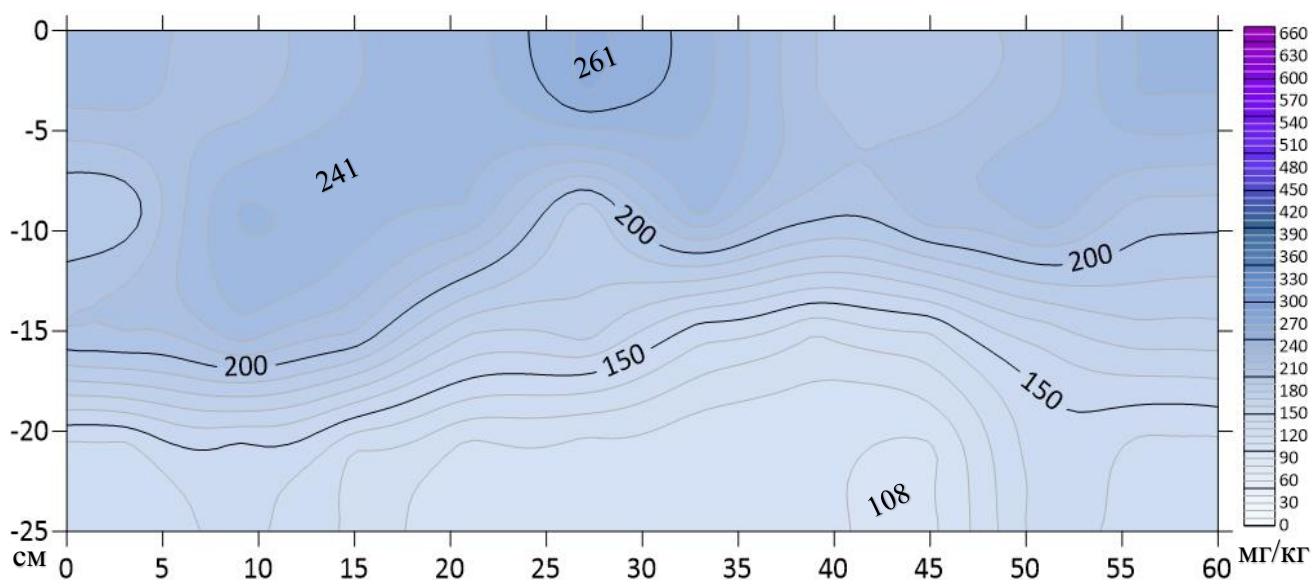


Рис. 3.5. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Із збільшенням глибини до 5–10 см його вміст знизився до 183–241 мг/кг. У шарі 10–15 см концентрація цього елементу коливалась від 131 до 227 мг/кг, тоді як на глибині 15–20 см вона була в межах 108–147 мг/кг. Нерівномірне та пошарове розміщення фосфору по профілю ґрунту обумовлене, перш за все, розкидним внесенням добрив та способом їх зароблення.

Зменшення розміру зон з високим рівнем концентрації у фазу цвітіння може бути обумовлено активним споживанням рослиною цього елементу для забезпечення оптимального проходження процесів бульбоутворення та формування врожаю.

За локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} до фази цвітіння концентрація фосфору порівняно з попередньою фазою вегетації знизилась (рис 3.6).

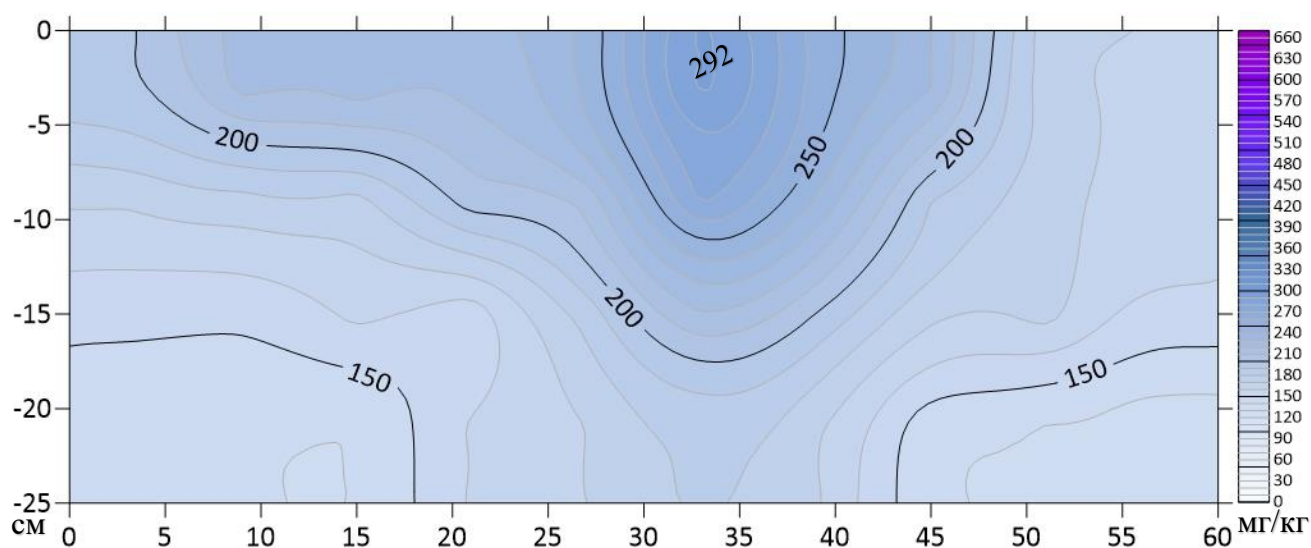


Рис. 3.6. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Максимальний вміст фосфору в центрі зони внесення становив 292 мг/кг, що на 61,9 мг/кг менше порівняно з фазою бутонізації. Також спостерігалось зменшення розміру зони з концентрацією ≈ 250 мг/кг.

У варіанті з локальним внесенням на 25 % меншої норми ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} відмічалось зниження концентрації фосфору у підгребеневій частині профілю ґрунту (рис. 3.7).

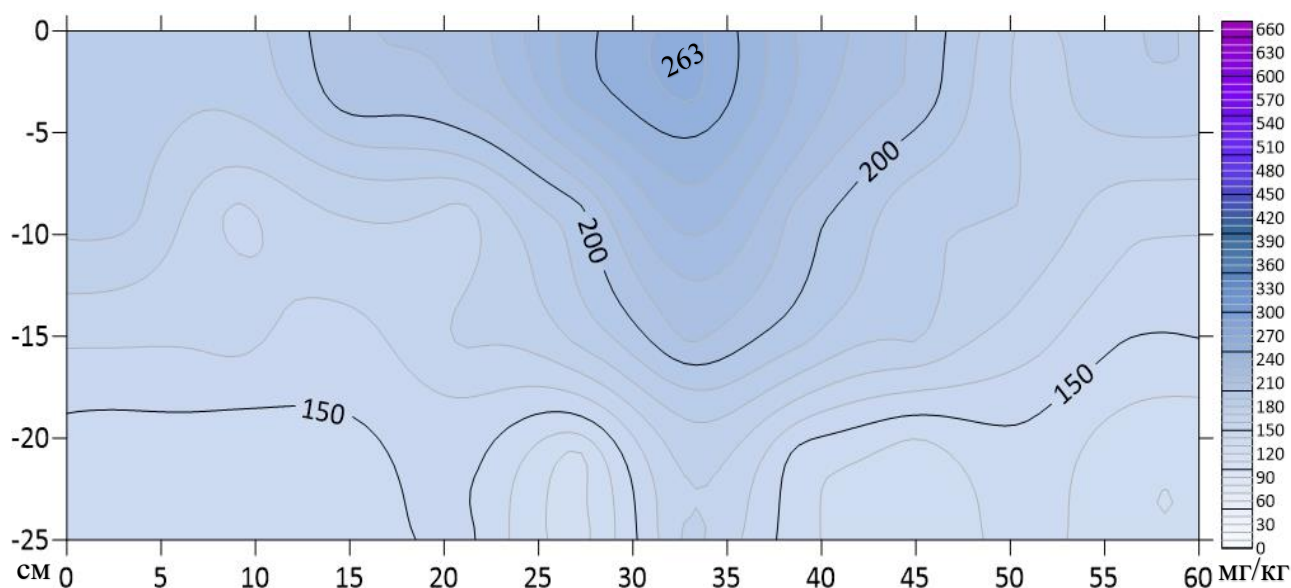


Рис. 3.7. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період відбулось звуження зони з вмістом ≈ 200 та 250 мг/кг, а максимальна концентрація в зоні розміщення добрив була на 106 мг/кг меншою порівняно з попередньою фазою та становила 263 мг/кг. Таке зниження вмісту може бути пов'язано з використанням цього елементу рослинами картоплі на формування врожаю та процесами ретроградації, що пов'язані їх внесенням кальцієвмістних добрив.

Також варто зазначити, що у цей період зона локалізації фосфору була меншою порівняно з варіантом, де вносились локально повна норма фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} .

У фазу цвітіння у варіанті, де застосовували локальне внесення з нормою, яка зменшена на 50% ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} також відмічалось зниження концентрації фосфору в ґрунті (рис. 3.8).

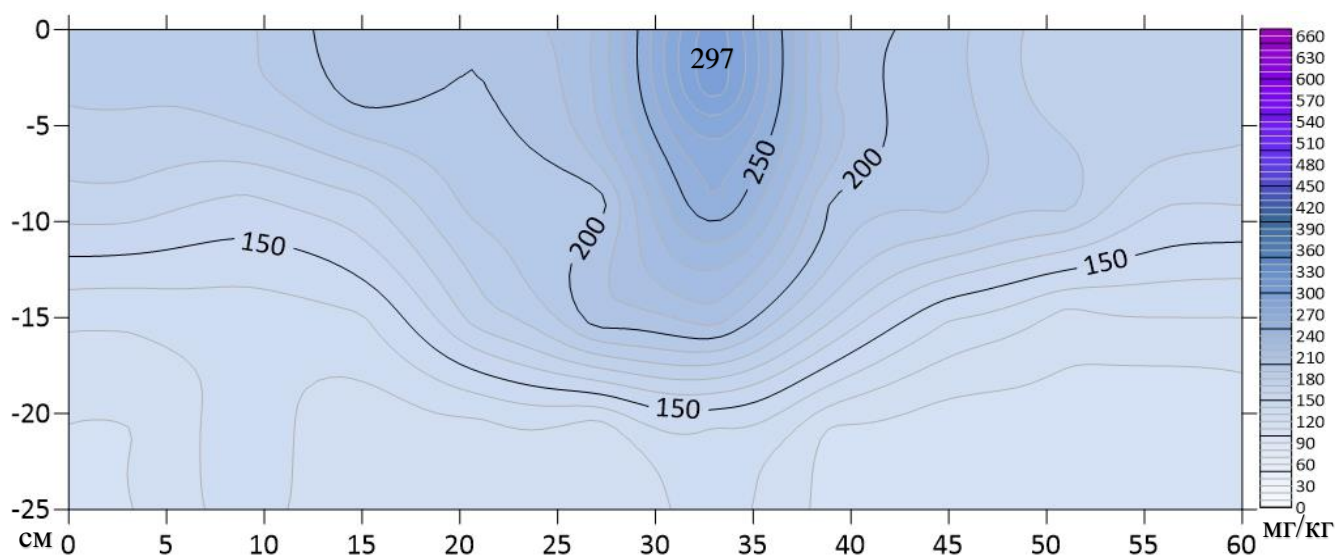


Рис. 3.8. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Аналізуючи вищезазначені дані можна відмітити звуження зон локалізації фосфору порівняно з минулою фазою росту та розвитку. Максимальний вміст фосфору у зоні локалізації становив 297 мг/кг, що менше від показників попередньої фази.

Звуження зон та зниження вмісту рухомого фосфору може обумовлюватись активним використанням його сполук рослинами, а також впливом хімічних процесів, які проходять у ґрунті та сприяють переходу цього елементу в недоступну

для рослин форму. Водночас, порівнюючи розкидний та локальний способи внесення добрив слід відмітити, що навіть за удвічі меншої дози фосфорних добрив (P_{40}) за останнього способу внесення, вміст фосфору в ґрунті був більшим, ніж за розкидного (P_{80}).

Встановлено, що локалізація добрив забезпечувала довший період доступності фосфору у високих концентраціях. Також відмічалось формування зон концентрації в нижніх шарах ґрунту, які меншою мірою піддавались негативному впливу погодних умов та забезпечували рослини картоплі цим елементом навіть за пересихання верхнього шару ґрунту.

3.2. Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період менш активного споживання їх рослинами картоплі

Для картоплі характерними є періоди з менш інтенсивним споживанням рослинами елементів живлення і фосфору зокрема. Така динаміка характерна для фази сходів та «зеленої ягоди». Так, у фазу сходів за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} вміст фосфору коливався від 129 до 392 мг/кг (рис. 3.9).

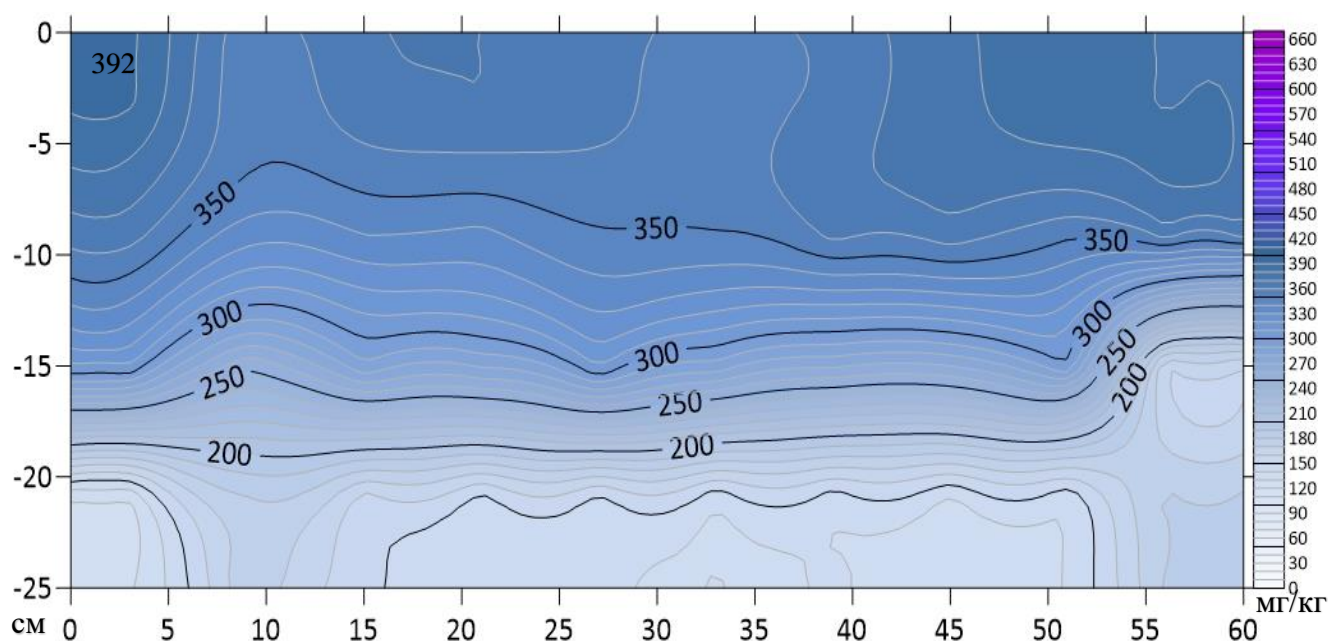


Рис. 3.9. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У шарі 0–5 см він був найбільшим та змінювався від 352 до 392 мг/кг. Із збільшенням глибини вміст цього елементу знижувався. Так у шарі 5–10 см він досягав рівня від 335 до 379 мг/кг. На глибині 10–15 см він коливався від 160 до 311 мг/кг. За її подальшого збільшення до 15–20 см він був в межах 129–179 мг/кг. Високий вміст фосфору у верхніх шарах ґрунту в фазу сходів обумовлений розкидним внесенням добрив.

За такого способу спостерігався нерівномірний розподіл цього елементу по профілю ґрунту з різними зонами концентрації у ґрунті, що чітко видно на вищезазначеному рис. 3.9.

У цей період за локального внесення ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} максимальний вміст фосфору у зоні внесення становив 365 мг/кг (рис. 3.10). Згідно наших досліджень основна локалізація фосфору за такого способу та норми внесення була зафіксована на глибині 10–12 см з чіткими зонами концентрації ≈ 300 , 250 та 200 мг/кг.

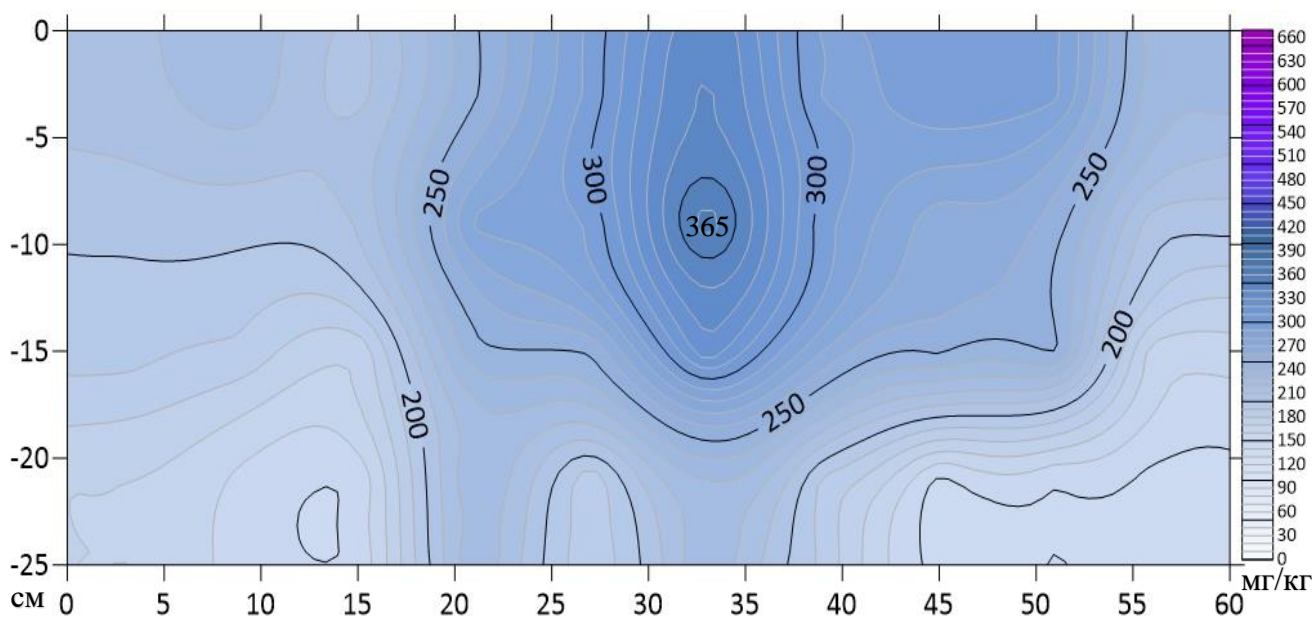


Рис. 3.10. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Порівняно з розкидним способом внесення аналогічної норми добрив, розмір зон з вмістом ≈ 300 та 350 мг/кг був меншим. Це обумовлено перш за все способом внесення, а також тим, що добрива ще повністю не вступили в реакцію з ґрунтом через їх локалізацію.

За внесення зменшеної на 25 % норми ($P_{60}K_{135}$) локально на фоні N_{150} максимальна концентрація фосфору в зоні розміщення добрив становила 331 мг/кг (рис. 3.11). Також відмічалось звуження зони із вмістом ≈ 300 мг/кг порівняно з варіантом, де вносились повна норма добрив аналогічним способом.

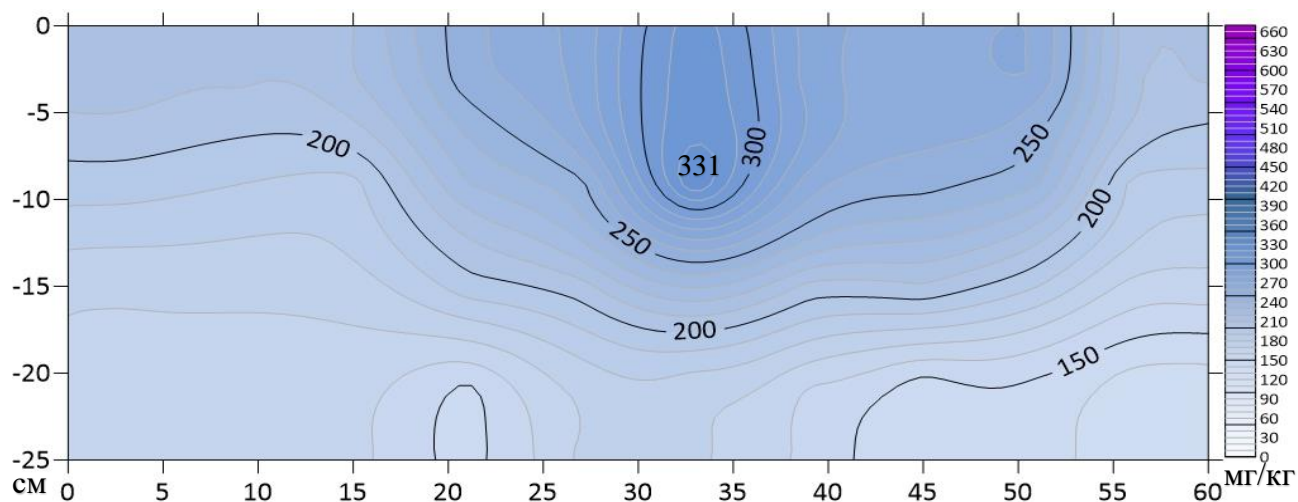


Рис. 3.11. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Варто зазначити, що звуження зон із вмістом ≈ 200 та 250 мг/кг може обумовлюватись також меншою нормою добрив порівняно з вищезазначеними варіантами, а також меншою фіксацією фосфору ґрунтом у зв'язку із локалізацією.

Зменшення норми удвічі до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало локалізацію сполук фосфору на глибині 10–12 см, а максимальний вміст у зоні внесення становив 290 мг/кг (рис. 3.12).

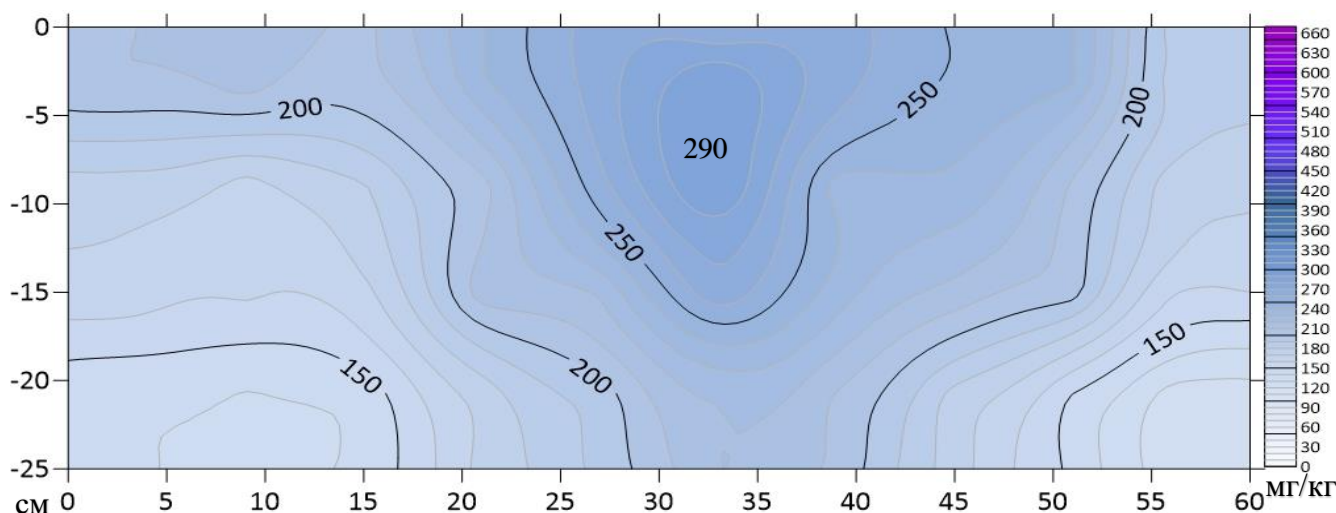


Рис. 3.12. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

За такої норми та способу внесення відмічалось звуження зон з концентраціями ≈ 250 мг/кг та ≈ 300 мг/кг. Водночас, зона із вмістом фосфору ≈ 200 мг/кг була найбільшою порівняно з варіантами, де застосовували локальне внесення добрив. Таке збільшення може бути обумовлено меншою нормою фосфорних добрив, ніж у інших варіантах.

Отже, у фазу сходів найбільша концентрація фосфору відмічалась у верхніх шарах ґрунту у варіанті, де добрива вносились врозкид. Водночас локальне внесення сприяло його локалізації на глибині 10–15 см. Це буде мінімізувати вплив погодних умов на його вміст та доступність.

До фази «зеленої ягоди» у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$ вміст сполук фосфору знизився та коливався від 146 до 255 мг/кг (рис. 3.13).

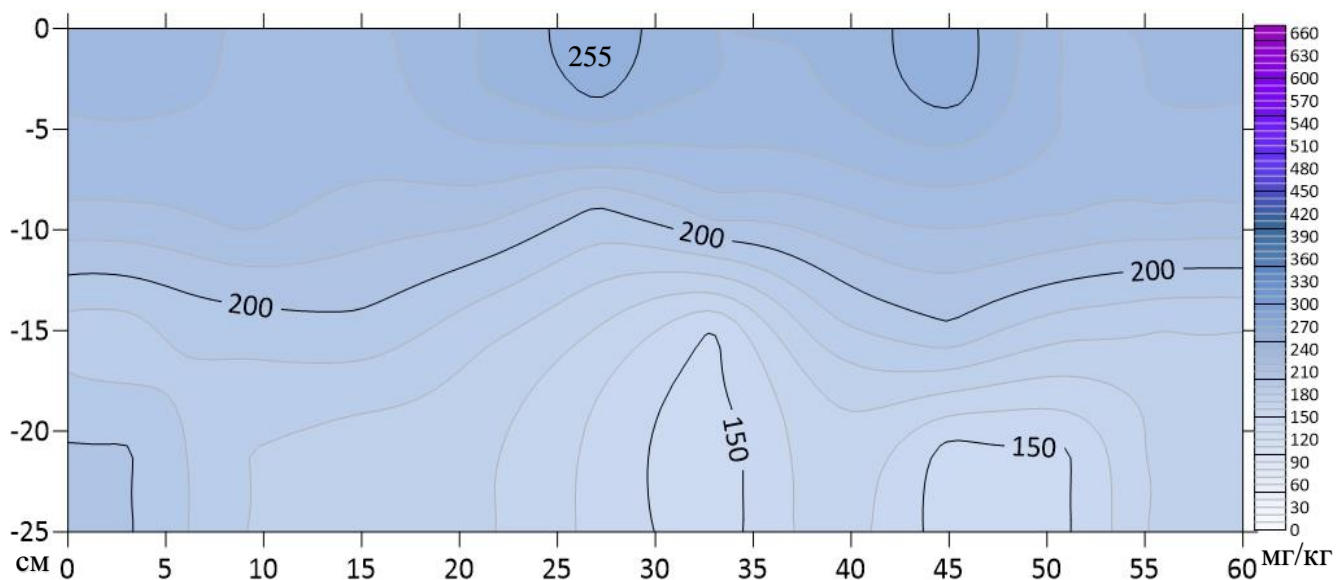


Рис. 3.13. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Зниження вмісту фосфору цей період може бути наслідком споживання його рослинами картоплі, а також переходом цих сполук до важкодоступних форм під дією хімічних реакцій в ґрунті та відсутності достатнього вмісту води у верхніх шарах ґрунту.

У варіанті, де застосовували локальне внесення з аналогічною нормою фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} максимальний вміст фосфору в зоні внесення становив 390 мг/кг (рис. 3.14).

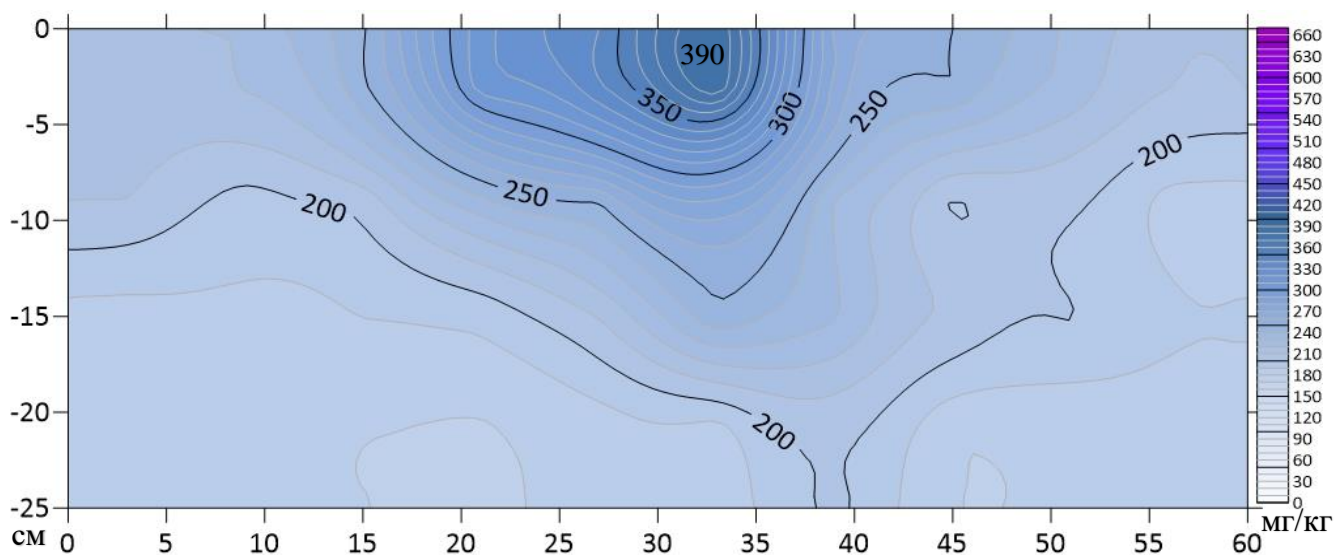


Рис. 3.14. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Такий спосіб обумовлював вищий вміст фосфору у ґрунті, завдяки формуванню зон із вмістом $\approx 350, 300, 250$ мг/кг (рис. 3.14). Тоді, як за розкидного внесення відмічалась наявність зон з вмістом ≈ 200 мг/кг. Збільшення концентрації в зоні внесення порівняно з фазою цвітіння може бути обумовлене зменшеним споживанням цього елементу рослинами картоплі у цей період.

Локальне внесення зменшеної норми ($P_{60}K_{135}$) фоні N_{150} зумовлювало накопичення фосфору в зоні локалізації на рівні 381 мг/кг (рис. 3.15), що лише на 2,38 % менше від показника вищезазначеного варіанту.

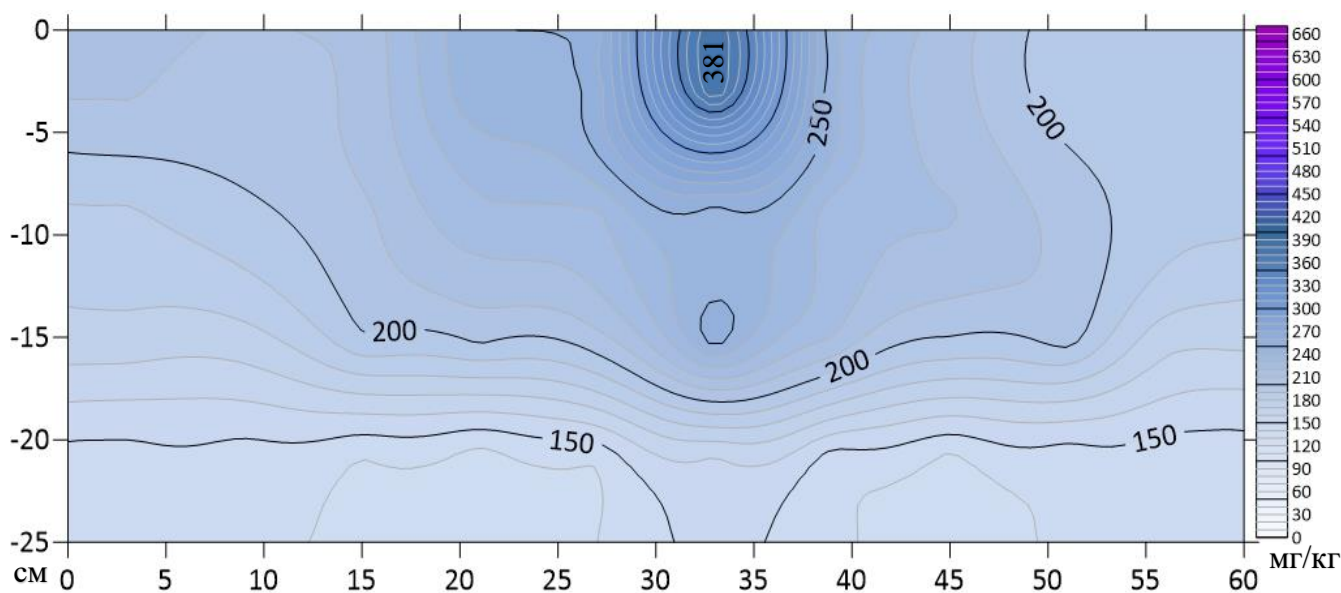


Рис. 3.15. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

За такої норми та способу внесення відмічалось зменшення розміру зон з вмістом ≈ 250 та 300 мг/кг, що може бути обумовлене меншою нормою фосфорних добрив та споживанням цього елементу у попередні фази росту та розвитку.

За внесення зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) локальним способом фоні N_{150} показник максимальної концентрації фосфору в зоні розміщення добрив досягав 344 мг/кг, що на $45,7$ мг/кг менше від варіанту, де вносились удвічі більша норма добрив аналогічним способом (рис. 3.16).

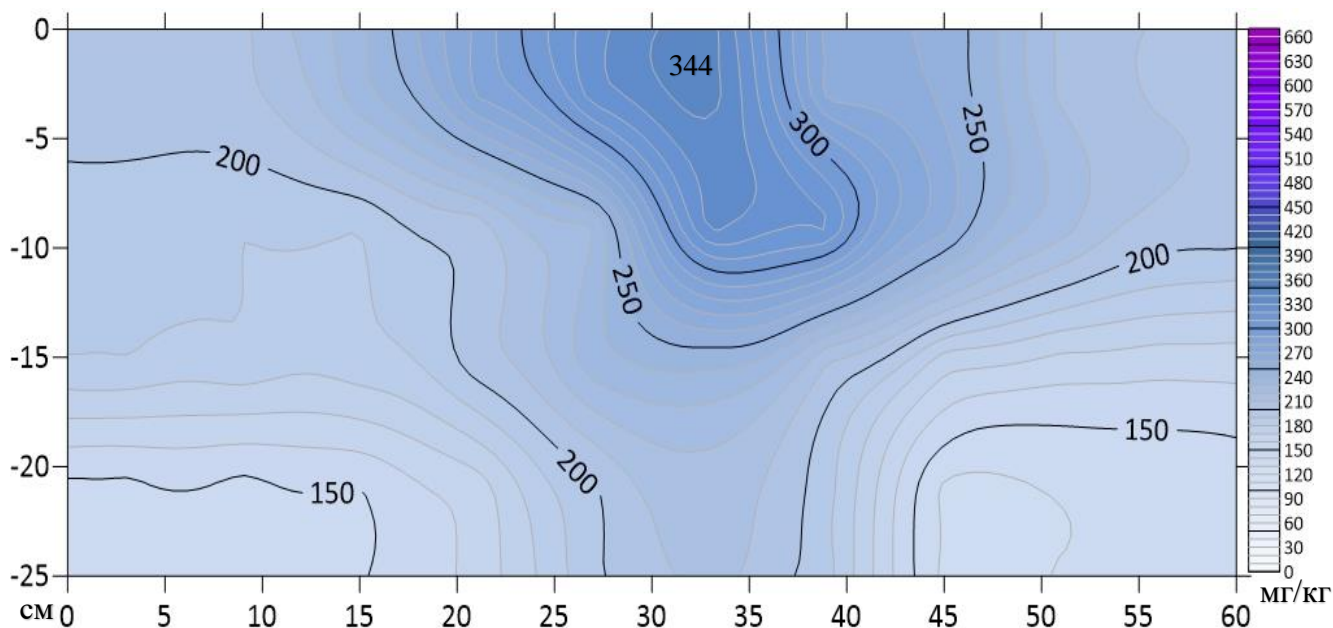


Рис. 3.16. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Порівняно з фазою цвітіння встановлена тенденція формування зон із концентраціями ≈ 200 , 250 та 300 мг/кг. Це може обумовлюватись меншим споживанням фосфору рослинами у цей період. Також, відмічалось збільшення зон з концентраціями фосфору ≈ 250 та 300 мг/кг порівняно з варіантами, де застосовували аналогічний спосіб внесення з нормами $P_{80}K_{180}$ та $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . Такий характер вмісту може бути пов'язаний із меншою нормою внесення вищезазначених добрив.

Отже, у фазу «зеленої ягоди» вміст фосфору в усіх варіантах дослідження підвищився порівняно з попередніми фазами росту і розвитку. Таке підвищення може бути обумовлене меншим споживанням цього елементу рослинами.

3.3 Вміст рухомих фосфорних сполук за різних способів внесення добрив у період завершення споживання їх рослинами картоплі

З початком формування шкірки бульб завершується процес споживання мінеральних елементів живлення. У фазу технічної стиглості вміст фосфору за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} дещо збільшився та коливався від 134 до 270 мг/кг (рис. 3.17).

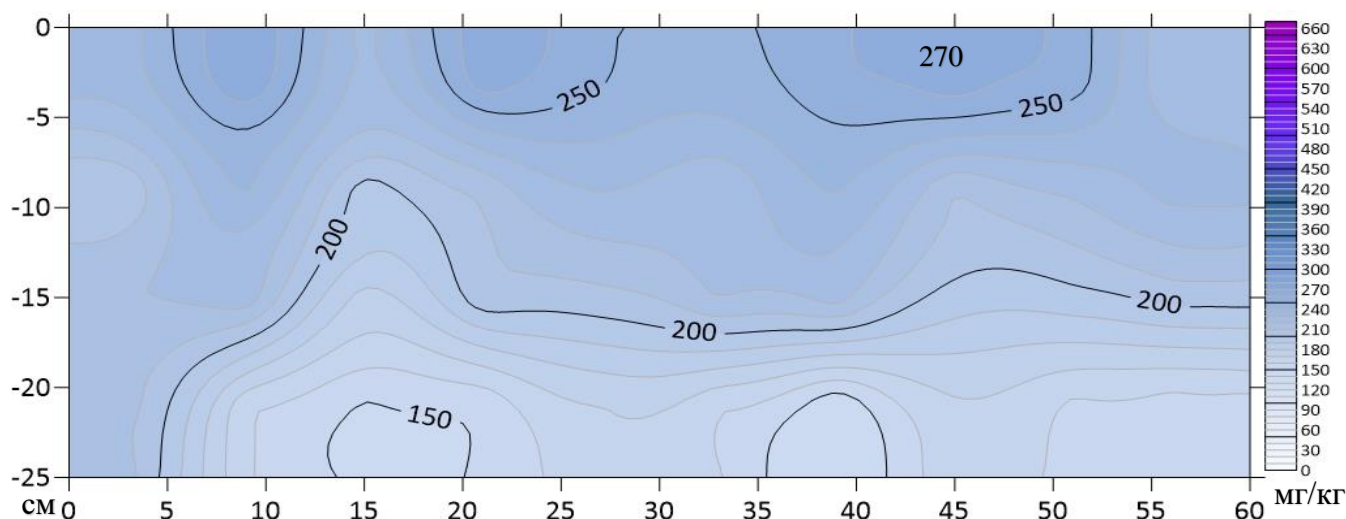


Рис. 3.17. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Так, у шарі 0–5 см він був у межах 222–270 мг/кг. На глибині 5–10 см цей показник становив 145–241 мг/кг. За збільшення глибини до 10–15 см вміст знизився до рівня 176–227 мг/кг, а у шарі 15–20 см вміст фосфору коливався в межах 140–170 мг/кг.

Не суттєве збільшення вмісту фосфору у верхніх шарах ґрунту в цей період може бути обумовлене відсутністю споживання цього елементу рослинами картоплі, поверненням певної кількості фосфору за рахунок відмирання корневих волокон, а також збільшенням кількості опадів.

У варіанті, де застосовували локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} максимальний вміст фосфору в зоні внесення становив навіть 502 мг/кг (рис. 3.18). Цей показник потребує пояснення і додаткового дослідження, але зрозуміло, що цю тенденцію обумовлює вплив рослин.

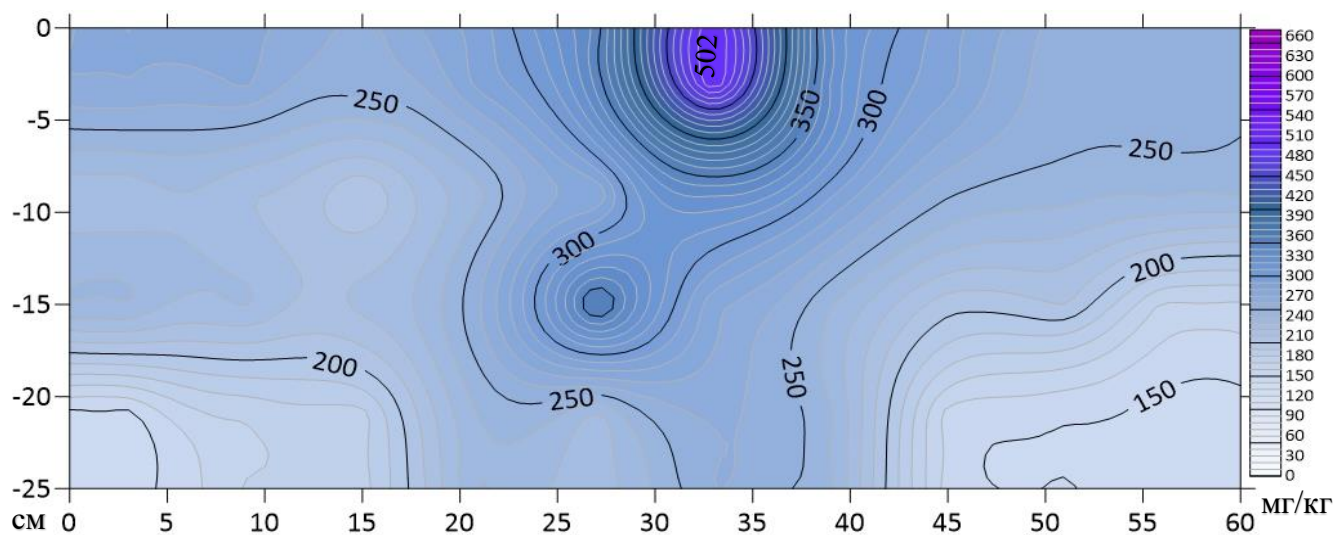


Рис. 3.18. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період відмічалось збільшення максимальної концентрації фосфору в зоні внесення на 112 мг/кг порівняно з фазою «зеленої ягоди», а також розширення розміру зон із вмістом ≈ 250 та 300 мг/кг. Це може бути зумовлено впливом опадів, а також зупинкою споживання фосфору рослинами. За внесення зменшеної до рівня $P_{60}K_{135}$ норми фоні N_{150} максимальний показник вмісту фосфору в зоні локалізації становив 511 мг/кг, що на 130 мг/кг більше порівняно з фазою «зеленої ягоди» (рис. 3.19).

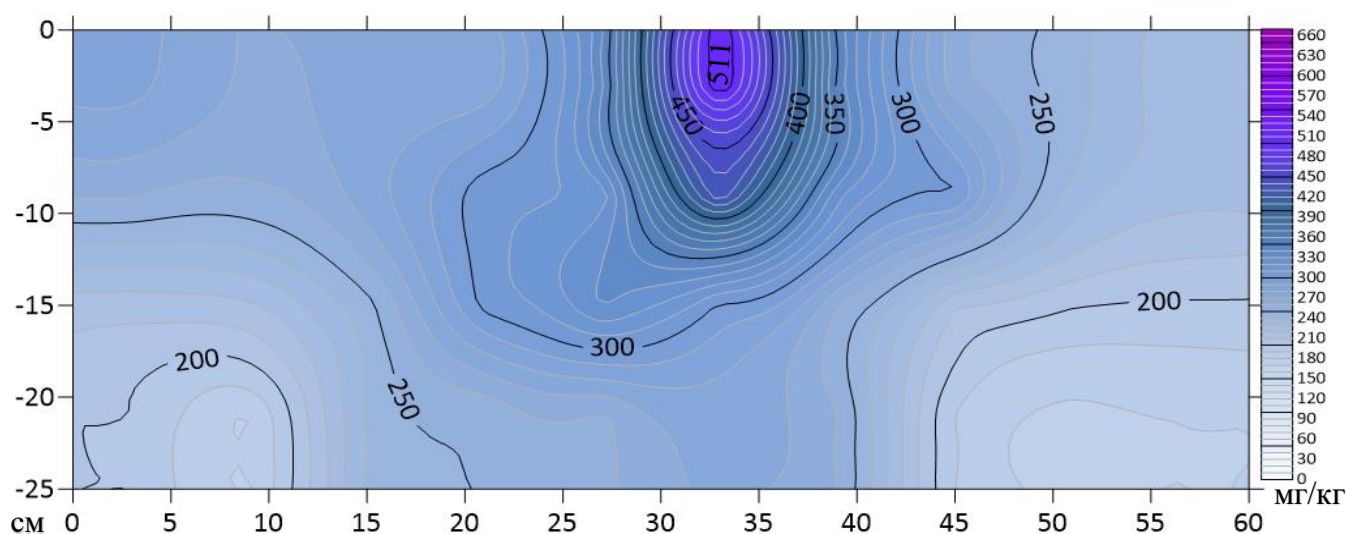


Рис. 3.19. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період також спостерігалось розширення зон з концентраціями 250, 300 та 350 мг/кг порівняно з попередньою фазою росту та розвитку.

За внесення зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) локально на фоні N_{150} максимальний вміст фосфору в зоні локалізації досягав рівня 409 мг/кг (рис. 3.20), що на 64,3 мг/кг більше від попередньої фази росту та розвитку.

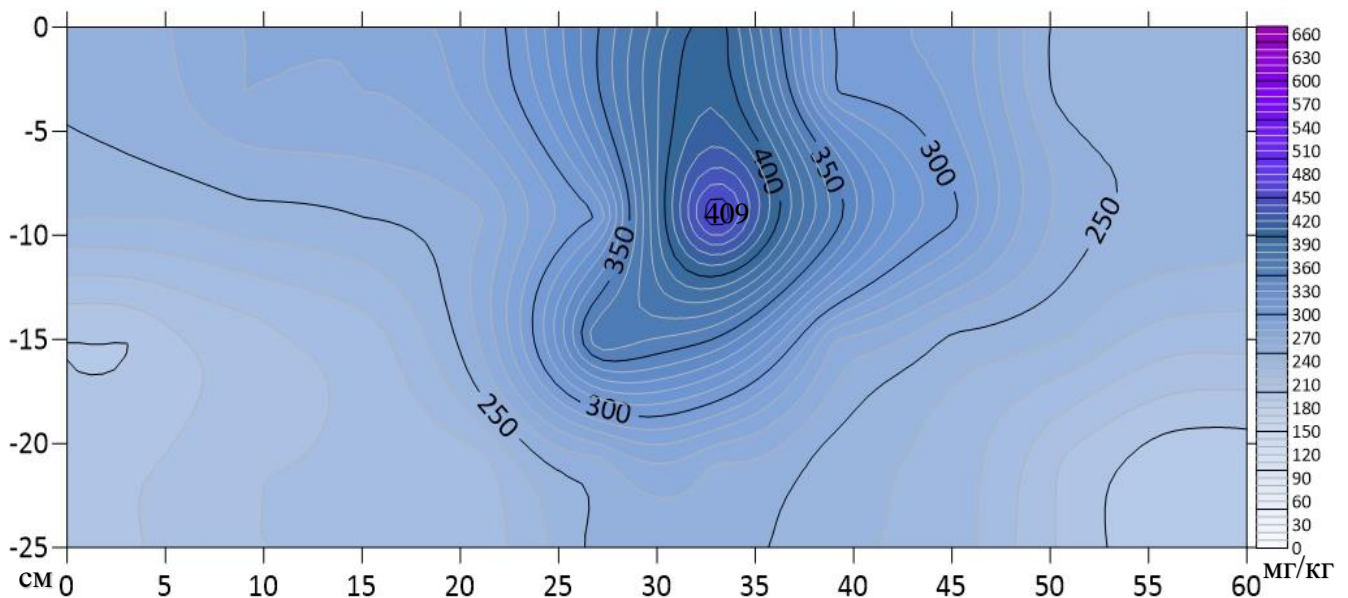


Рис. 3.20. Розподіл сполук рухомого фосфору в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Слід відмітити, що у цей період відбулось розширення зон з концентраціями ≈ 250 , 300 та 350 мг/кг, а також спостерігалась міграція фосфору на глибину до 15 см. Збільшення вмісту фосфору в зоні внесення добрив у цей період зумовлене насамперед їх локалізацією, а також призупиненням споживання цього елементу рослинами картоплі та відмиранням і мінералізацією кореневої системи.

Отже, в усіх варіантах дослідів з локальним способом внесення добрив відмічався довший період перебування фосфору у підвищених концентраціях порівняно з традиційним способом застосування добрив. Слід відмітити, що локалізація добрив забезпечувала збереження зон із високим вмістом навіть у фазу технічної стиглості після припинення споживання цього елементу рослинами картоплі.

Висновки до розділу 3

Застосування фосфорних добрив локальним способом забезпечує оптимізацію живлення рослин картоплі та обумовлює певні зміни в поживному режимі темно-сірого опідзоленого ґрунту. Так, у варіантах з локальним способом застосування добрив формувалися навіть у період активного споживання рослинами картоплі цих елементів зони локалізації. У фазу бутонізації площа такої зони за повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} становила 12 % ($\approx 150 \text{ см}^2$) від всієї підгребеневої зони в поперечному розрізі (1250 см^2) із вмістом рухомого фосфору в межах (250–350 мг/кг). За розкидного способу вміст у цій зоні коливався від 119 до 291 мг/кг. За зменшення локальної норми на 25 % до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} площа локалізації займала 10,9 % або ($\approx 136 \text{ см}^2$). Вміст фосфору у цій зоні коливався від 250 до 369 мг/кг.

Тривалість локалізації не залежала від норми внесення фосфорних і калійних добрив, площа локалізації зменшувалась до закінчення активного споживання рослинами картоплі цих елементів. Так у фазу масового цвітіння зона локалізації фосфору зменшилась на 2,80 % порівняно з попередньою фазою та займала 9,20 % ($\approx 115 \text{ см}^2$) від всієї підгребеневої зони. Вміст дещо знизився та коливався від 250 до 292 мг/кг. За розкидного внесення аналогічної норми добрив вміст знизився до меж 108–261 мг/кг. Внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} зумовлювало у фазу цвітіння зменшення площі локалізації більш ніж удвічі до 4,0 % ($\approx 50 \text{ см}^2$). Вміст знизився до меж 230–263 мг/кг.

У період завершення споживання цього елементу у варіантах, де застосовували локальне внесення добрив відмічався довший період перебування фосфору у підвищених концентраціях порівняно з традиційним способом застосування добрив. Слід відмітити, що локалізація добрив забезпечувала збереження зон із високим вмістом навіть після припинення споживання цього елементу рослинами картоплі.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВНЕСЕННЯ ФОСФОРНИХ І КАЛІЙНИХ ДОБРИВ НА ДОСТУПНІСТЬ КАЛІЮ В ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ГРУНТІ

4.1. Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період активного споживання його рослинами картоплі

Калій є важливим елементом для картоплі. Він впливає на врожайність, структуру та якість врожаю, бере участь у регулюванні водного балансу в рослинах. Достатній рівень забезпечення рослин калієм допомагає їм витримувати та переносити водний стрес у періоди посухи. Він відіграє важливу роль у підтриманні тургору рослинних клітин, що сприяє максимальному розгортанню листків, подовженню стебел та регуляції процесів відкривання та закривання продихів, що знижує інтенсивність транспірації. Вищезазначене сприяє швидкому розвитку надземної вегетативної частини рослин, яка перехоплює сонячне світло та оптимізує проходження процесів фотосинтезу. Забезпечення рослин картоплі необхідною кількістю калію сприяє кращому переміщенню цукрів, які утворюються в процесі фотосинтезу в листках до бульб, де вони піддаються перетворенню на крохмаль, а також активному проходженню білкового і вуглеводного обмінів (Torabian, Farhangi-Abri, Qin, Noulas, Sathuvalli, Charlton & Loka, 2021).

Картопля поглинає більше калію, а ніж більшість інших сільськогосподарських культур. Упродовж шести-семи тижнів після появи сходів рослини поглинають його щонайменше дві третини від загальної потреби. На піку споживання картопля може використовувати до 10 кг/га K_2O за добу. Максимальна кількість калію міститься в бульбах картоплі наприкінці липня - на початку серпня. У процесі відмирання стебел і дозрівання бульб частина калію повертається до ґрунту. До збирання врожаю понад 75 % поглинутого калію міститься в бульбах.

Вміст у них зазвичай становить близько 5,8 кг/т K_2O (Господаренко, Черно & Нікітіна, 2021).

Всі калійні добрива мають добру розчинність у воді. За їх внесення у ґрунт вони досить швидко розчиняються під дією ґрунтової вологи і вступають у реакції обміну з ґрунтово-вбирним комплексом. Унаслідок проходження обмінних реакцій у ґрунті калій закріплюється ґрунтовими колоїдами, які знижують його рухливість, але водночас він залишається в доступному для живлення рослин картоплі стані (Шевчук, 2013). Залежно від норм калійних добрив та гранулометричного складу ґрунтів необмінне поглинання (фіксація) калію з мінеральних добрив може досягати 15–80 %. Внаслідок фіксації відбувається значне зниження доступності калію для рослин, а у деяких випадках він може бути взагалі недоступним. За пересихання ґрунту, особливо в період, коли воно чергується з частковим його зволоженням, можуть значною мірою посилюватись процеси фіксації калію. За зменшення вологості ґрунту до 30 % ГПВ поглинання калію рослинами знижується на 10–45 %, а до 20 % ГПВ навіть на 40–75 %. Тому необхідно вносити калійні добрива у глибші шари ґрунту, які є більш зволеними та не піддаються пересиханню, що зі свого боку істотно підвищить їх ефективну дію (Господаренко, Нікітіна & Кривда, 2013).

Відомо, що для картоплі характерні періоди найбільш інтенсивного споживання калію (фази бутонізації, цвітіння та «зеленої ягоди»). Коригування калійного живлення з їх урахуванням забезпечує високий урожай і якість бульб.

Проведеними нами дослідженнями було встановлено, що у фазу бутонізації за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} у шарі 0–5 см вміст калію коливався від 216 до 282 мг/кг (рис. 4.1). За збільшення глибини до 5–10 см його міст знизився до рівня 141–185 мг/кг. У шарі 10–15 см відмічалось подальше зниження вмісту калію до 139–173 мг/кг. На глибині 15–20 см його концентрація знижувалася до діапазону 110–152 мг/кг.

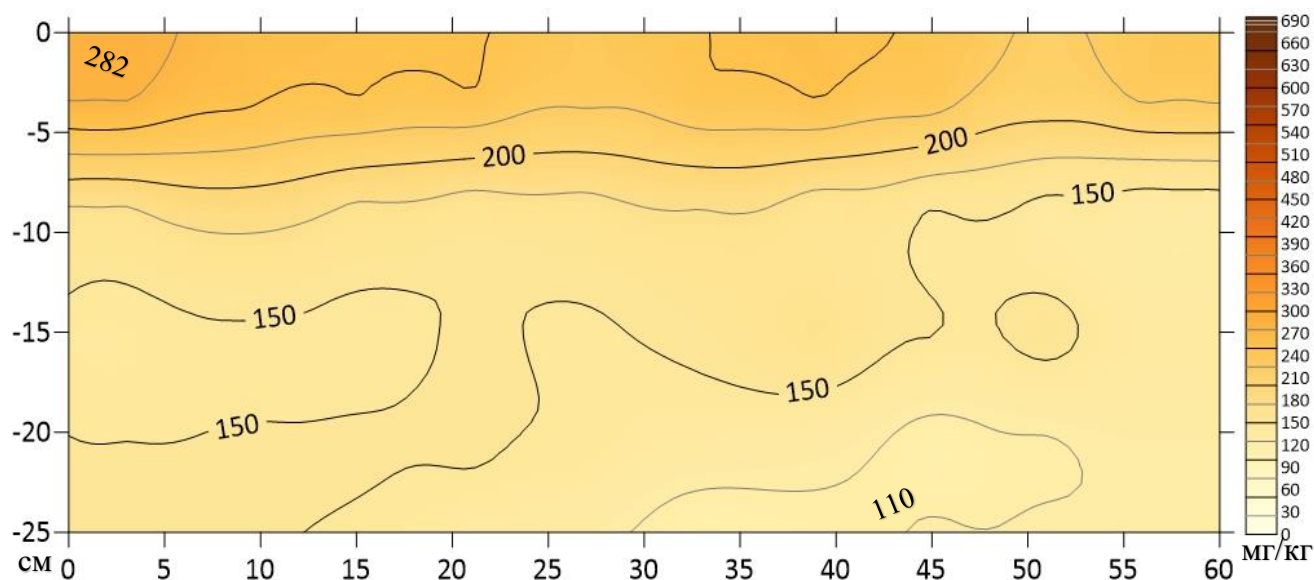


Рис. 4.1. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Така різниця його вмісту та строкатість по профілю ґрунту може обумовлюватись нерівномірним внесенням та заробленням добрив, що властиве для традиційного способу застосування.

За локального внесення аналогічної норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} спостерігалась чітка локалізація калію на глибині 15–18 см (рис. 4.2).

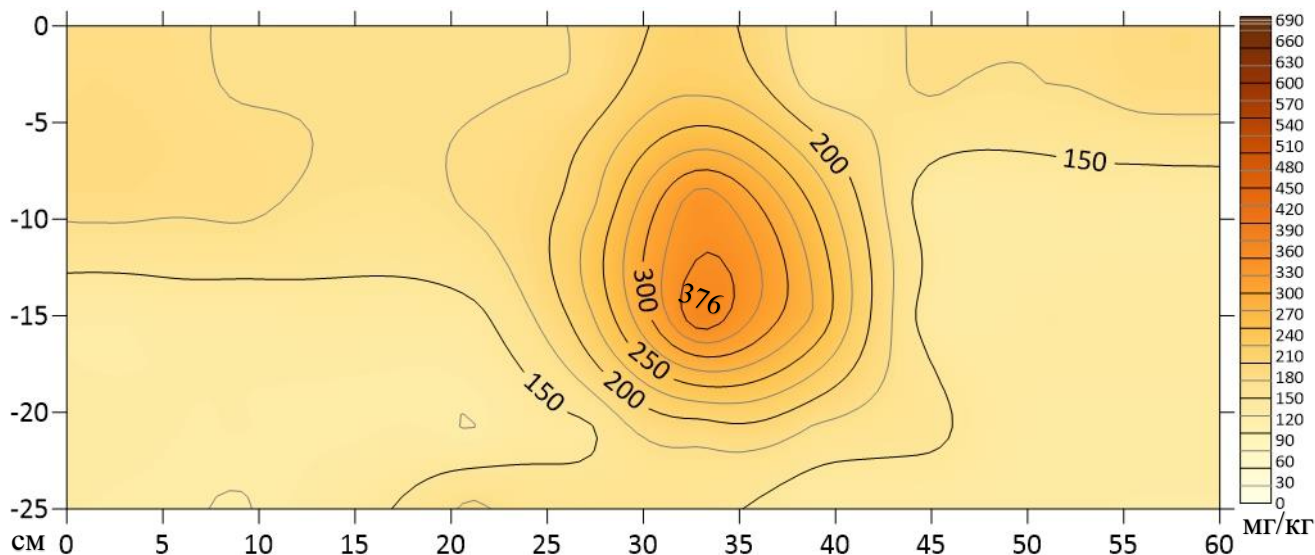


Рис. 4.2. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Вміст в центрі локалізації досягав рівня 376 мг/кг, а навколо нього спостерігалась чітка зона з вмістом ≈ 300 мг/кг. На відстані 5 см навколо місця внесення концентрація калію зменшилась та була на рівні 200–250 мг/кг. Порівняно з варіантом, де застосовували розкидне внесення аналогічної норми добрив ($P_{80}K_{180}$), концентрація калію за локального внесення була більшою.

Застосування локального способу із зменшенням норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало максимальний вміст калію в зоні розміщення добрив, який становив 477 мг/кг (рис. 4.3).

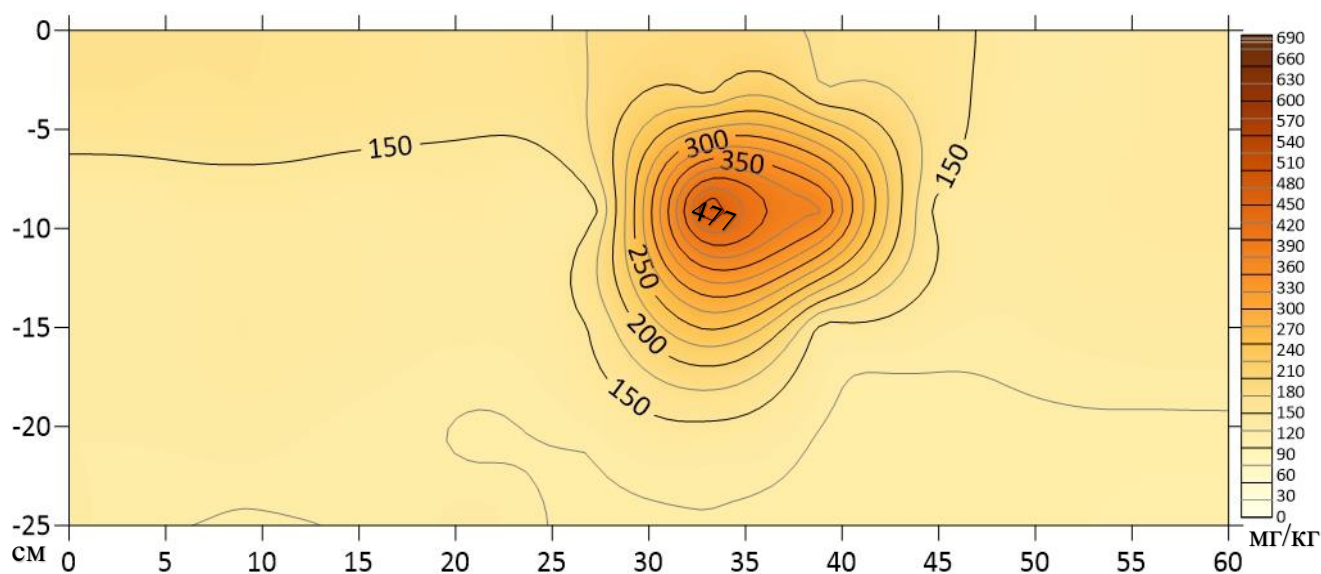


Рис. 4.3. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Слід відмітити, що зона з локалізацією цього елементу була дещо меншою порівняно з попереднім варіантом, де застосовували локально повну норму добрив.

Висока концентрація калію може бути обумовлена характером його споживання, оскільки у органах рослин картоплі був зафіксований менший вміст загального калію, а ніж у рослин варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . Також можливо така норма та спосіб внесення сприяють утворенню оптимальної концентрації сполук калію, які довше перебувають у доступній формі.

Локальне внесення зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} обумовлювало локалізацію калію з максимальною концентрацією 338 мг/кг (рис. 4.4). У цей період відмічались чіткі зони з концентраціями ≈ 200 та 250 мг/кг,

які за своїми розмірами були майже однакові до інших варіантів, де застосовували локальне внесення добрив.

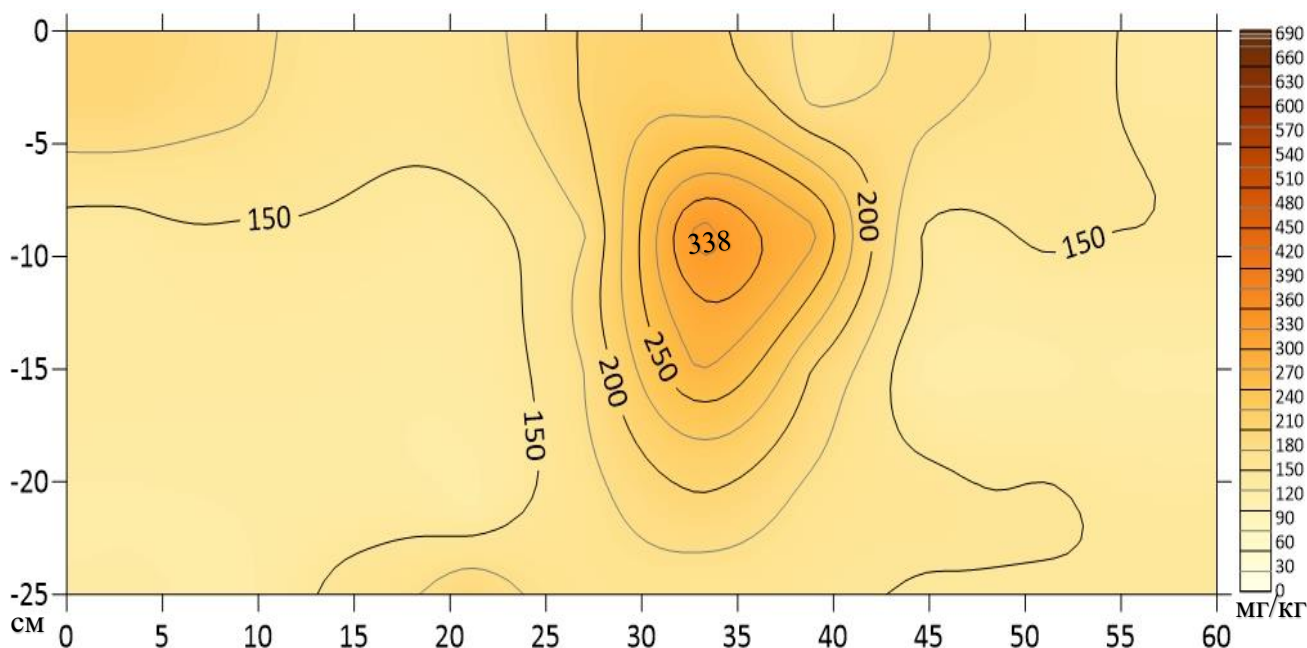


Рис. 4.4. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу бутонізації за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Менший вміст калію порівняно з іншими варіантами з локальним внесенням обумовлений, перш за все, нижчою нормою добрив (K_{90}), а також можливо характером споживання його рослинами картоплі. Вміст загального калію в органах рослин був найбільшим серед варіантів з аналогічним способом внесення. Також варто відмітити, що удвічі менша норма добрив, що вносились локально ($P_{40}K_{80}$) на фоні N_{150} , забезпечувала більший вміст калію порівняно з варіантом, де добрива вносились врозкид з нормою $P_{80}K_{180}$.

У фазу цвітіння у варіанті з розкидним внесенням добрив ($P_{80}K_{180}$) відмічалось зниження вмісту калію у ґрунті (рис. 4.5). Так, у шарі 0–5 см його концентрація коливалась від 147 до 180 мг/кг, що на 49 % менше від фази бутонізації. На глибині 5–10 см вміст знизився до 129–162 мг/кг. За збільшення глибини до 10–15 см цей показник зменшився та становив 104–136 мг/кг. У нижньому шарі ґрунту на глибині 15–20 см він коливався в межах 98–115 мг/кг, що на 26,1 % менше порівняно з фазою бутонізації.

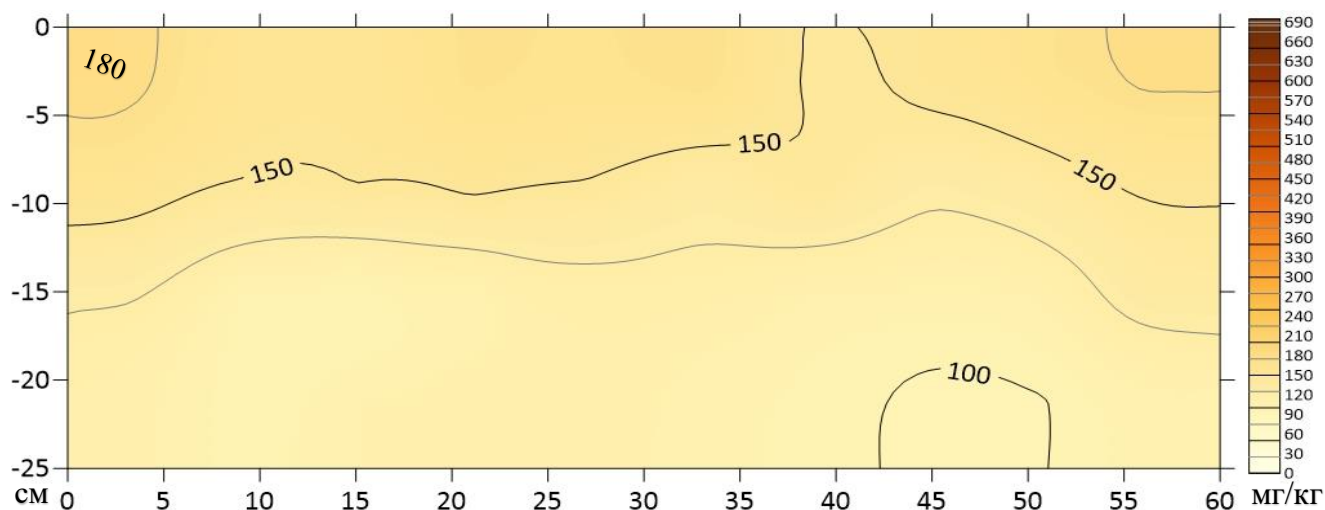


Рис. 4.5. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Зниження вмісту калію у цей період вегетації обумовлене його активним споживанням рослинами картоплі, а також можливим переходом цього елементу у менш доступні форми.

У варіанті, де застосовували локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} вміст калію в зоні його локалізації у фазу цвітіння збільшився порівняно з попередньою фазою росту та розвитку (рис. 4.6). Максимальна концентрація у цій зоні становила 487 мг/кг. Варто звернути увагу на зміну концентрації ≈ 150 мг/кг навколо зони внесення. Порівняно з фазою бутонізації встановлено її звуження, що можливо обумовлено активним споживанням цього елементу рослинами.

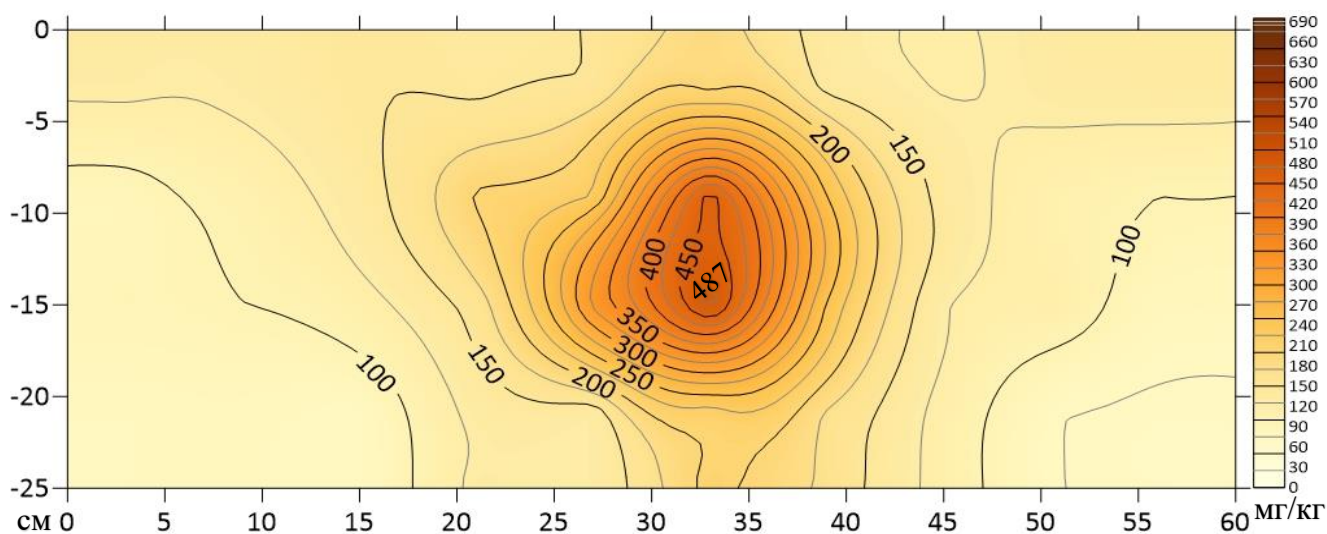


Рис. 4.6. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Розвиток коренів навколо зони внесення добрив відбувався таким чином, що їх основна маса з обох сторін покривала зазначену зону і можливо вони більш інтенсивніше споживали калій за концентрації, яка близька до 150 мг/кг. Встановлено, що зони з більшими концентраціями меншою мірою піддалися змінам.

За локального внесення зменшеної норми ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} вміст калію в зоні внесення збільшився. У її епіцентрі показник становив 521 мг/кг (рис. 4.7).

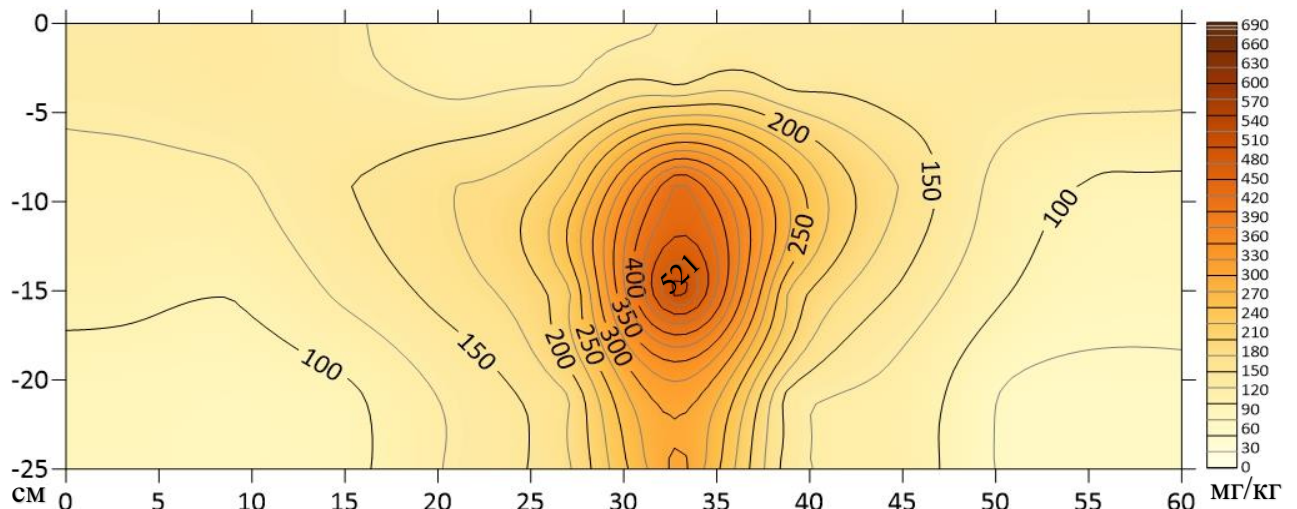


Рис. 4.7. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

За локалізації зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) вміст калію у фазу цвітіння збільшився порівняно з попередньою фазою росту та розвитку (рис. 4.8).

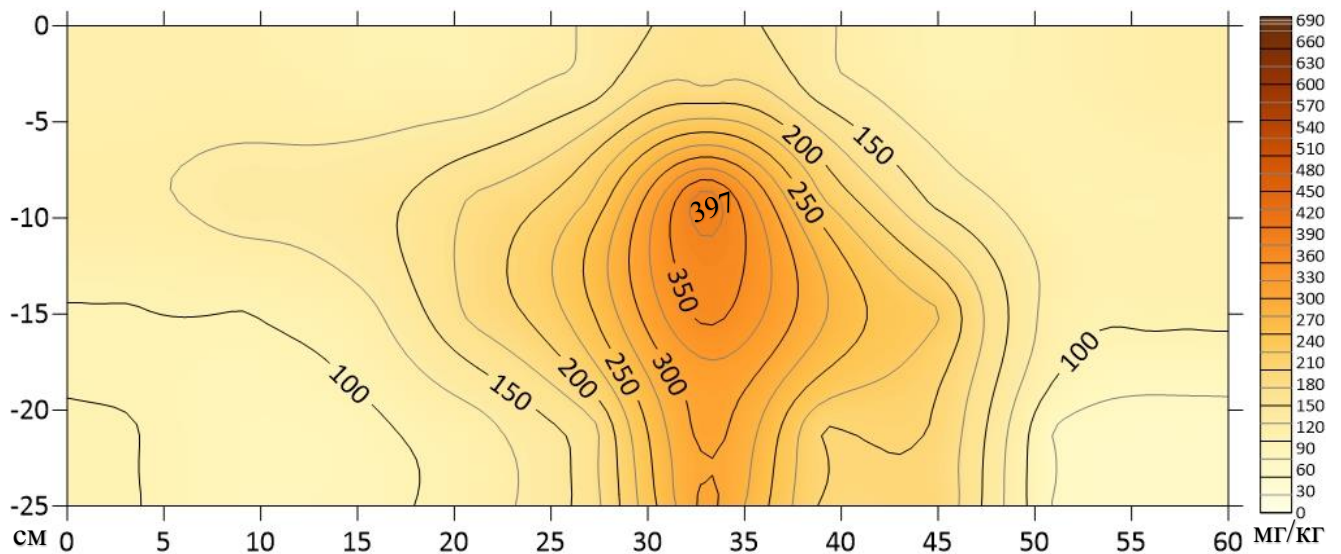


Рис. 4.8. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу цвітіння за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Також збільшився розмір зони локалізації калію, а у ній відповідно і зон з концентраціями ≈ 200 та 250 мг/кг. Максимальна концентрація досягала 397 мг/кг. Встановлена також присутність процесу міграції калію у шари $20\text{--}25$ см, яка може бути обумовлена поливами у цей період. За такого способу внесення відмічалась тенденція до формування зон навколо місця внесення, де чітко видно зміну зони з концентрацією ≈ 150 мг/кг.

До фази «зеленої ягоди» за розкидного внесення добрив з нормою $P_{80}K_{180}$ вміст калію дещо збільшився порівняно з фазою цвітіння та коливався від 106 до 219 мг/кг (рис. 4.9). У шарі $0\text{--}5$ см його вміст був у межах $134\text{--}219$ мг/кг, а за збільшення глибини до $5\text{--}10$ см досягав рівня $170\text{--}194$ мг/кг. У нижніх шарах ґрунту його вміст продовжував знижуватись. Так на глибині $10\text{--}15$ см він становив $137\text{--}117$ мг/кг, а у шарі $15\text{--}20$ см він коливався від 106 до 121 мг/кг. Таке зниження вмісту калію з глибиною обумовлено насамперед способом його внесення, за якого калійні добрива розміщувались у верхніх шарах ґрунту.

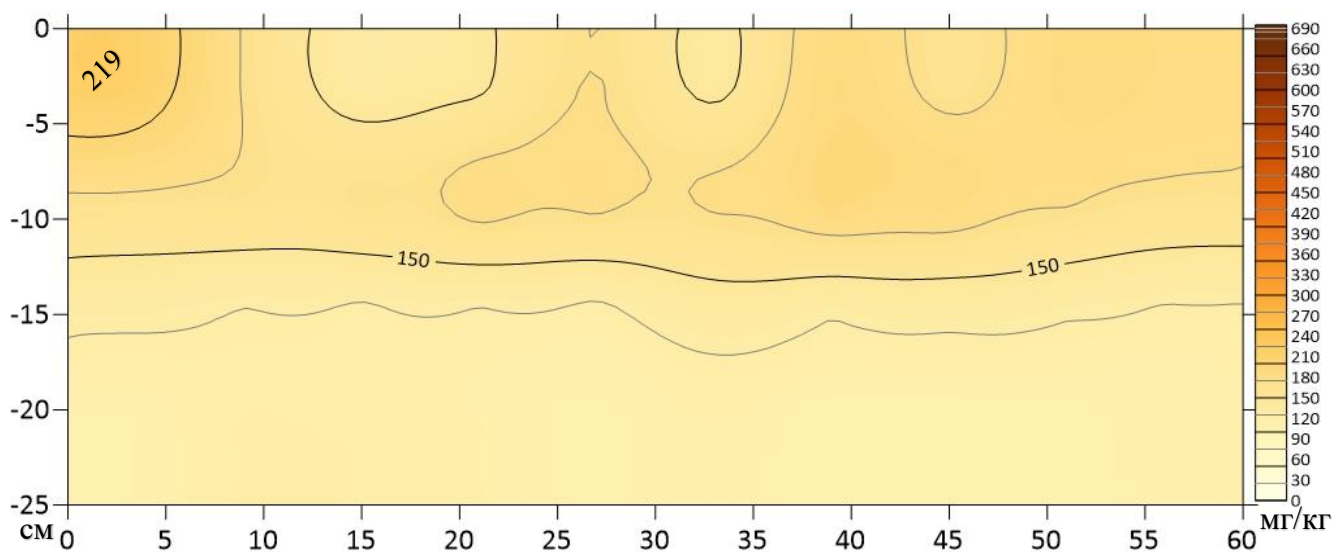


Рис. 4.9. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019-2021 рр.

Збільшення вмісту калію у цей період може бути обумовлене подальшим його переходом у доступну форму із внесених добрив під впливом вологи та обмінних хімічних реакцій у ґрунті. За локального внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} також відмічалось збільшення вмісту калію у зоні внесення (рис. 4.10).

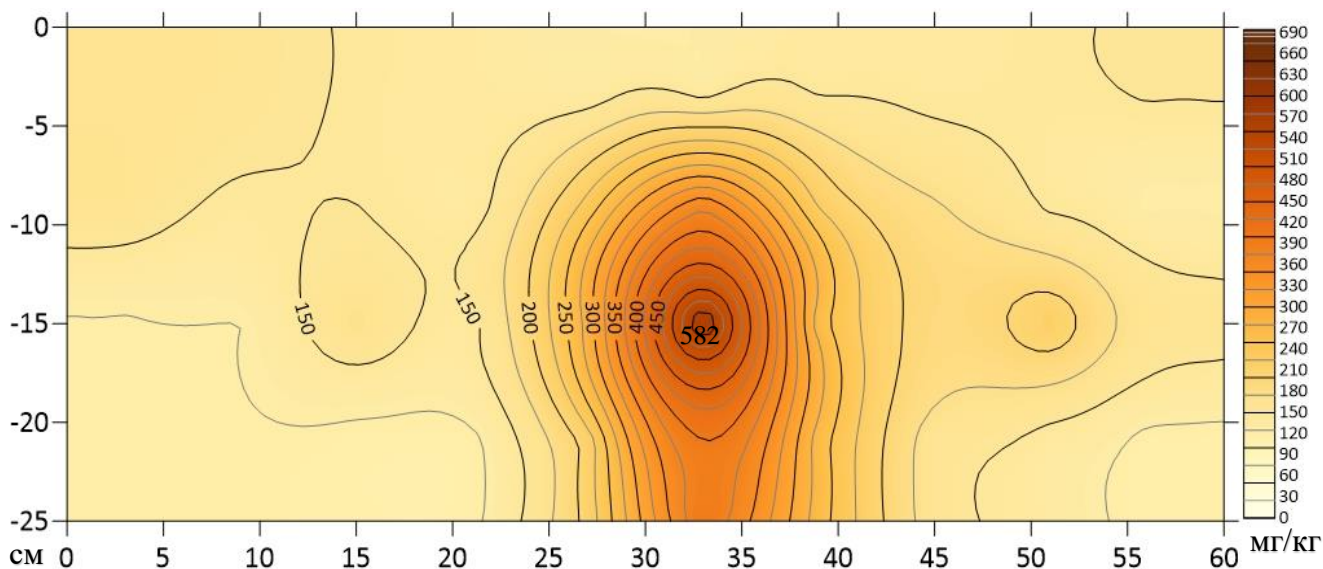


Рис. 4.10. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Його максимальний вміст досягав рівня 582 мг/кг, що більше на 19,5 % порівняно з фазою цвітіння. Слід відмітити, що у цей період спостерігалась міграція калію у нижні шари ґрунту до глибини 20–25 см. Встановлено незначне звуження зони локалізації, що може бути зумовлено споживанням калію кореневою системою рослин та мікроорганізмами.

За внесення зменшеної до рівня $P_{60}K_{135}$ норми на фоні N_{150} відмічалась локалізація калію на глибині 15–18 см, де його максимальний вміст досягав 532 мг/кг (рис. 4.11).

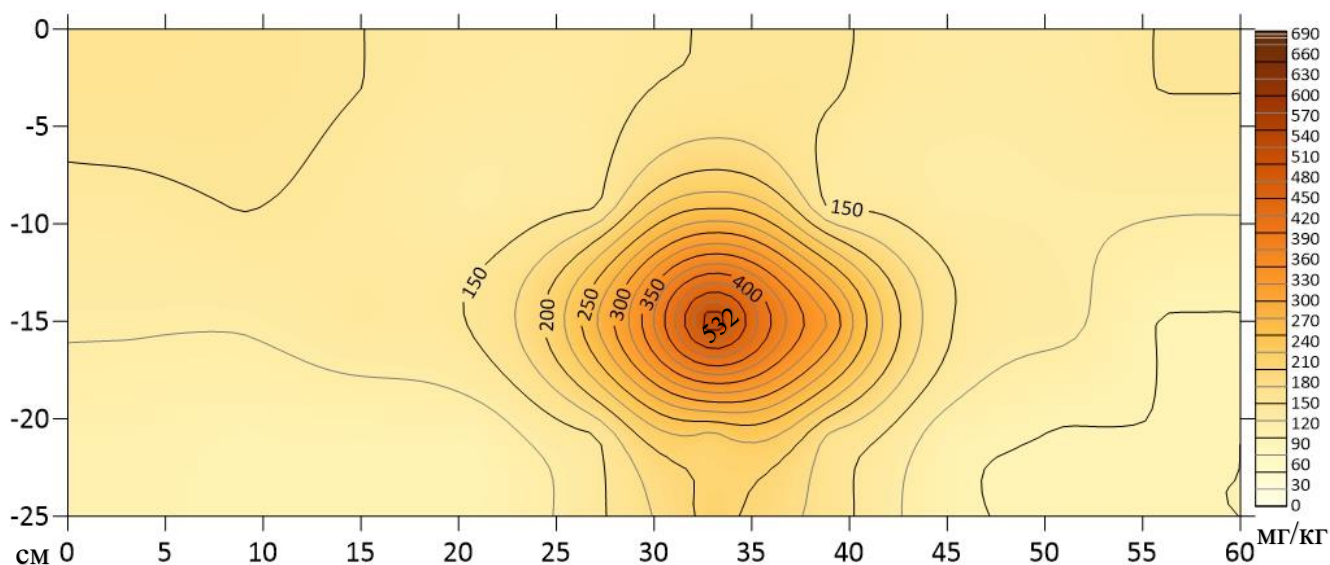


Рис. 4.11. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період відмічалось зменшення зони з високим вмістом калію порівняно з попередньою фазою росту і розвитку, що може бути обумовлено його активним споживанням рослинами картоплі, мікроорганізмами і переходом до фіксованого стану.

У варіанті, де застосовували локальне застосування добрив з нормою $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} максимальний вміст калію в зоні внесення досягав 380 мг/кг (рис. 4.12), що на 4,45 % менше від попередньої фази росту і розвитку, а також на 53,2 % за показник варіанту, де вносили удвічі більшу норму добрив аналогічним способом. У цей період відмічалось тенденція до зменшення розміру зони локалізації калію порівняно з попередньою фазою. Також слід відмітити, що концентрація цього елементу була більш низькою порівняно з варіантами, де вносили добрива аналогічним способом в нормах $P_{80}K_{180}$ та $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} .

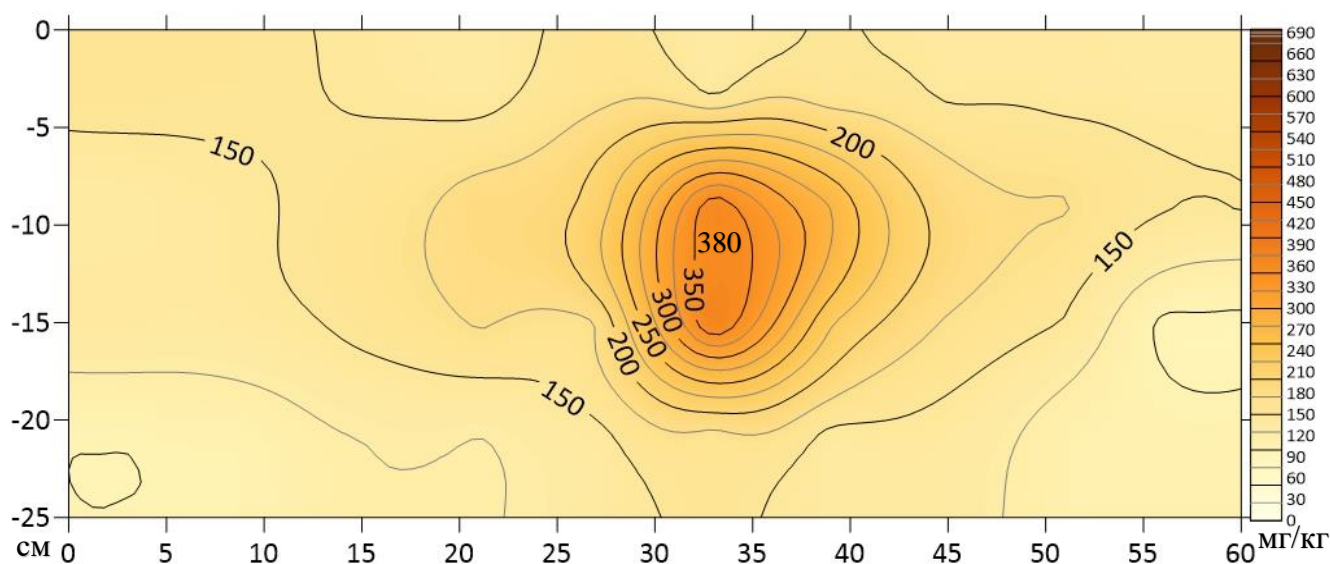


Рис. 4.12. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу «зеленої ягоди» за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Водночас, навіть удвічі менша норма забезпечувала більший потенціал доступності калію у фазу «зеленої ягоди» порівняно з варіантом, де застосовували розкидне внесення добрив. Отже, локалізація внесення калійних добрив обумовлювала довший період доступності обмінного калію у високих концентраціях і забезпечувала рослини необхідною кількістю цього елементу

протягом всього активного періоду споживання, що сприяло кращому їх росту та розвитку.

4.2. Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період його менш активного споживання рослинами картоплі

Упродовж періоду вегетації рослин картоплі характерним є періодизація споживання елементів живлення від більш інтенсивного до менш інтенсивного. Зокрема це стосується калію. Така динаміка характерна для фази сходів, коли рослини живляться від материнської бульби і майже не споживають калій з ґрунту. Так, у зазначену фазу росту та розвитку за розкидного внесення добрив з нормою $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} вміст калію коливався від 231 до 461 мг/кг (рис. 4.13).

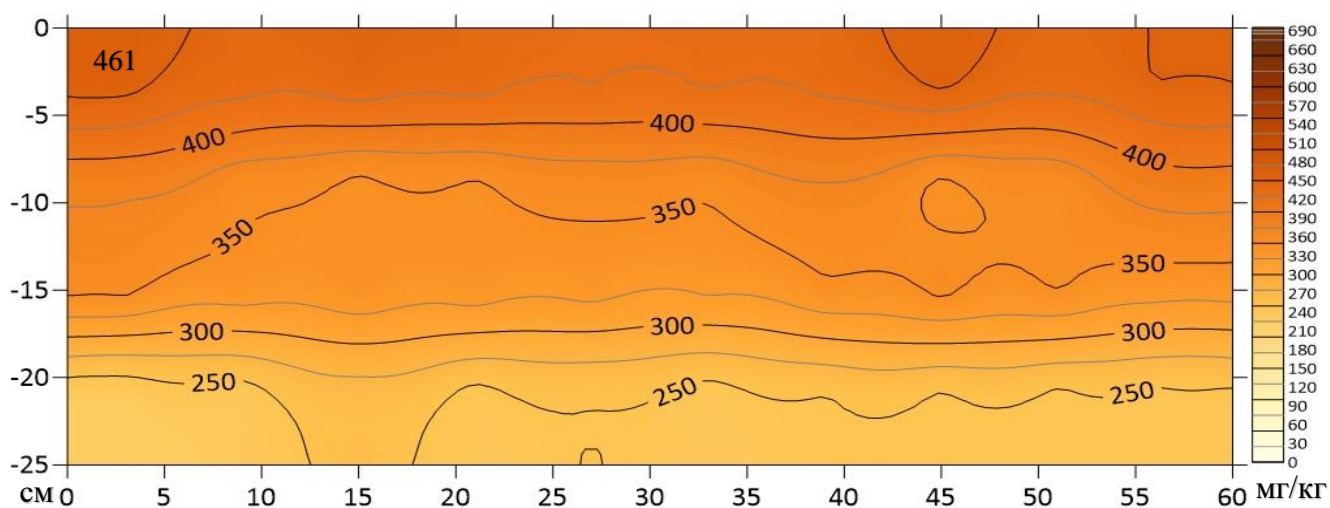


Рис. 4.13. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У верхньому шарі ґрунту (0–5 см) цей показник був у межах 427–461 мг/кг. За збільшення глибини вміст калію відповідно знижувався. У шарі 5–10 см він становив 341–388 мг/кг, а за подальшого поглиблення до 10–15 см цей показник був на рівні 329–357 мг/кг. Найменше калію у цей період містилось в нижніх шарах ґрунту. Так у шарі 15–20 см його вміст коливався від 230 до 262 мг/кг. Високий вміст цього елементу в фазу сходів у верхніх шарах ґрунту обумовлений внесеними калійними добривами, які розчинились під дією вологи. Нами виявлені хаотичні зони з різними концентраціями у шарі 0–10 см. Це доводить те, що традиційний

спосіб внесення не забезпечує повністю рівномірне розміщення гранул у 10 см шарі ґрунту. За пересихання цього шару може зменшуватись доступність калію з добрив для рослин картоплі.

Локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} зумовлювало локалізацію сполук калію на глибині 18–20 см, з максимальною концентрацією у фазу сходів в зоні внесення – 638 мг/кг (рис. 4.14). За такого способу та норми внесення чітко виділялись зони локалізації калію з вмістом від 200 до 550 мг/кг.

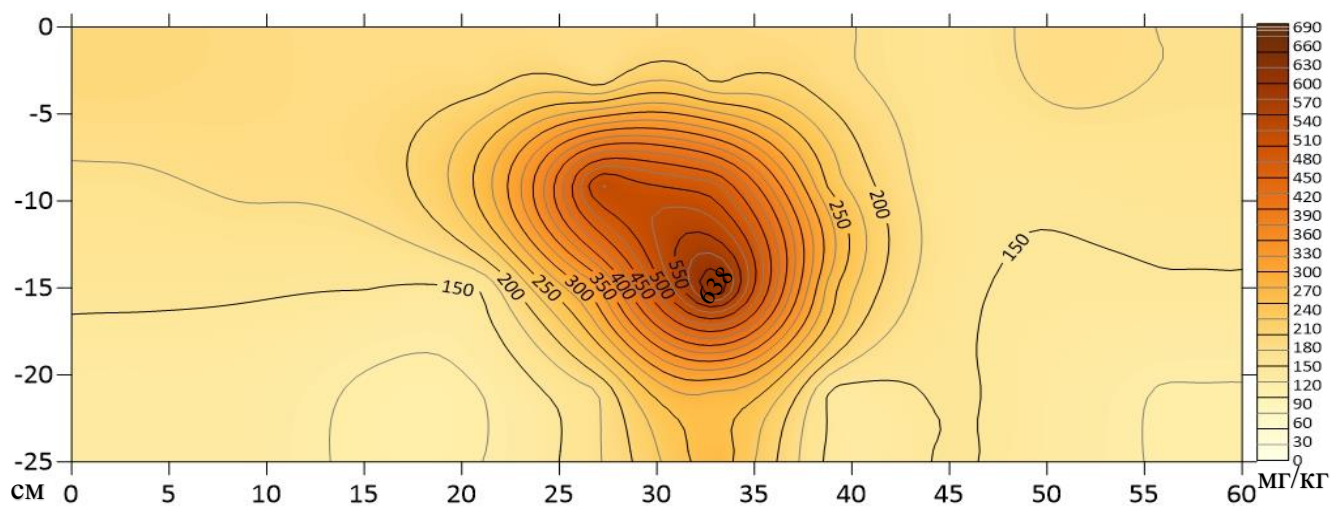


Рис. 4.14. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Внесення зменшеної норми до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} сприяло локалізації калію з максимальним вмістом у зоні внесення 528 мг/кг (рис. 4.15), що на 110 мг/кг менше від показника вищезазначеного варіанту.

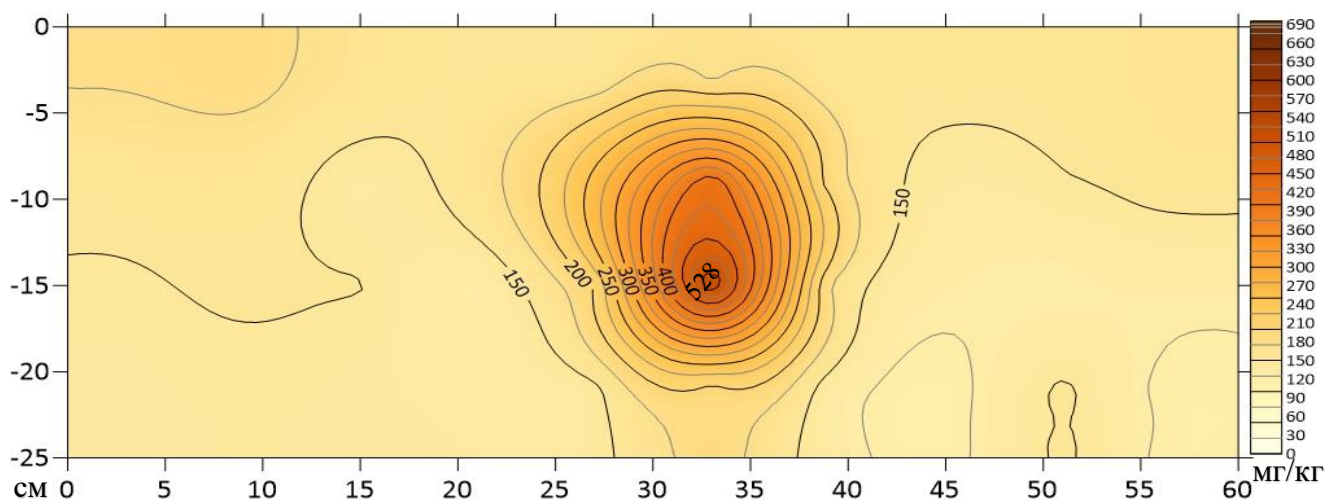


Рис. 4.15. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Така норма порівняно з варіантом, де застосовували аналогічний спосіб внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , обумовлювала менший розмір зони локалізації калію, а також звуження зон з вмістом від 200 до 400 мг/кг.

За внесення зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} максимальний вміст у зоні розміщення добрив досягав 485 мг/кг (рис. 4.16), що менше на 152 мг/кг від показника варіанту з аналогічним способом внесення повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$). Слід відмітити, що за такої норми внесення площа локалізації калію була дещо більшою від вищезазначеного варіанту. Це може бути обумовлено меншою нормою внесення добрив, які швидше розчинились і через їх меншу концентрацію краще вступили в реакцію з ГВК.

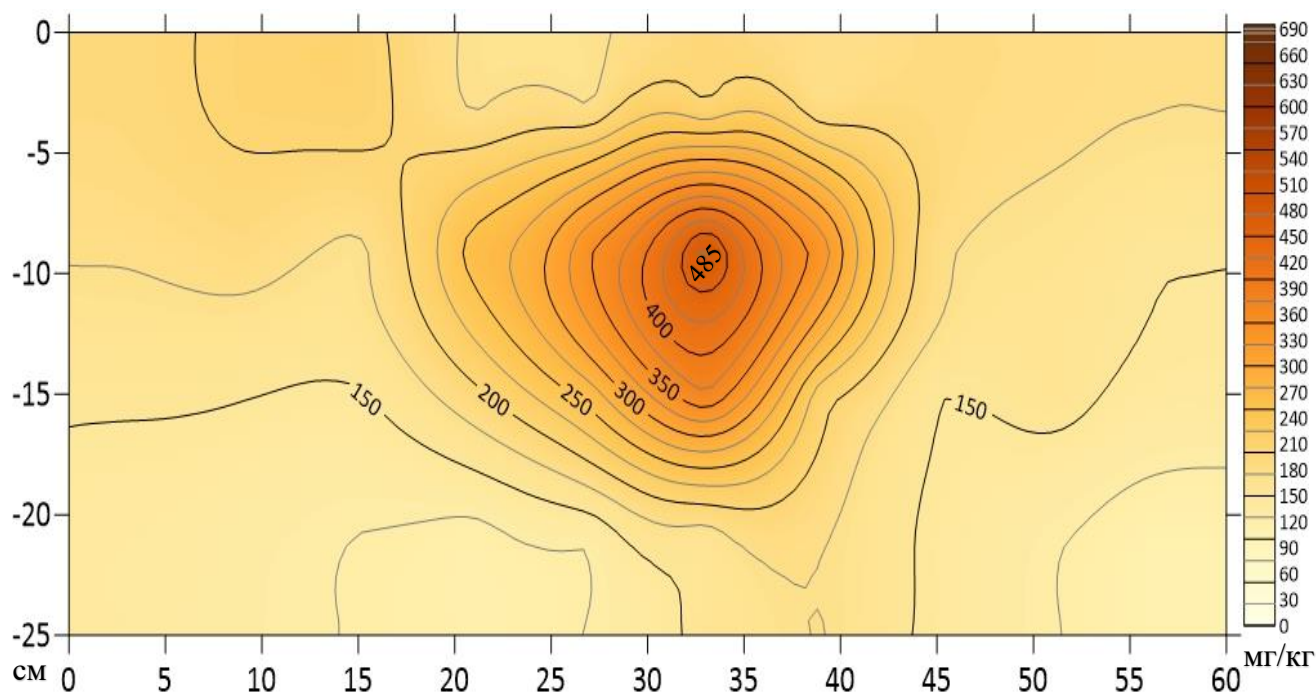


Рис. 4.16. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу сходів за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

4.3 Вміст обмінного калію за різних способів внесення добрив у період завершення його споживання рослинами картоплі

У фазу технічної стиглості за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} відмічалось збільшення вмісту калію порівняно з попередньою фазою росту та розвитку (рис. 4.17). У цей період у шарі 0–5 см вміст калію коливався в межах від

231 до 357 мг/кг. За збільшення глибини до 5–10 см цей показник становив 221–292 мг/кг. При заглибленні до 10–15 см концентрація калію зменшувалась і була на рівні 165–247 мг/кг. У шарі 15–20 см показник вмісту підвищився і коливався від 148 до 201 мг/кг. Таке збільшення порівняно з попередніми фазами може бути пов'язане із призупиненням його споживання рослинами.

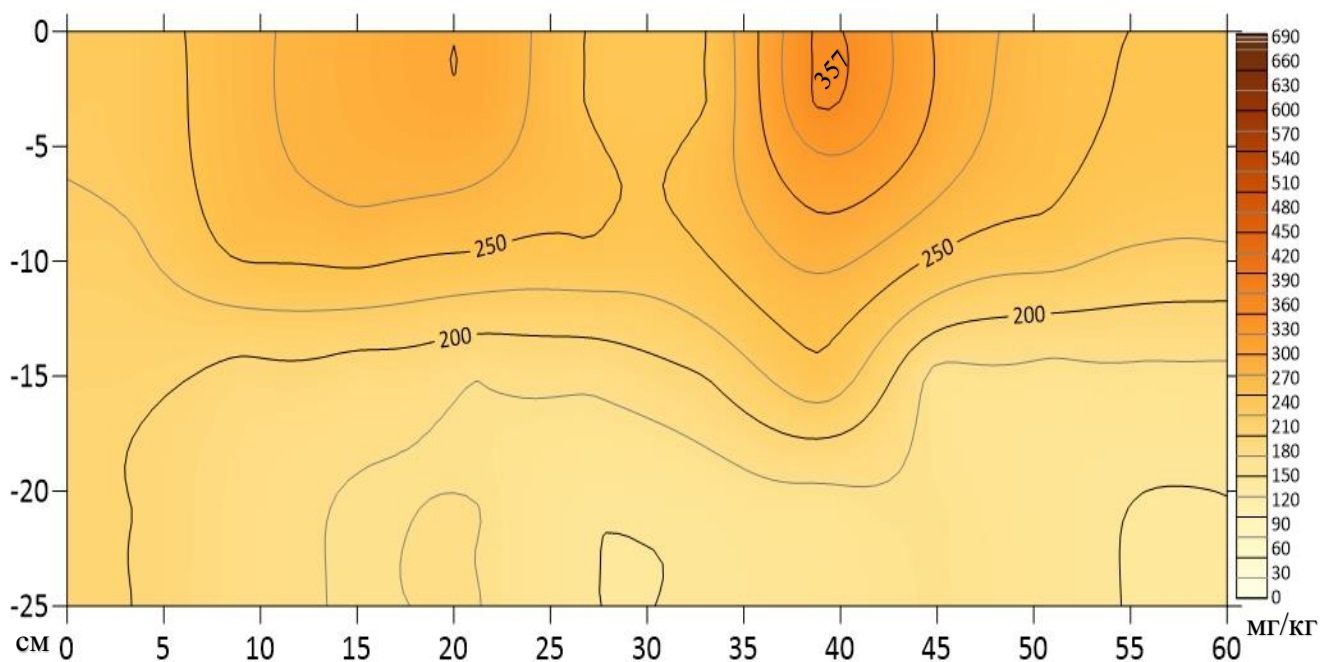


Рис. 4.17. Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Зони з високим вмістом цього елементу у шарі 0–5 см можуть бути обумовлені нерівномірним внесенням добрив, а також накопиченням його коренями рослин, які в кінці періоду вегетації можуть повертати певну кількість елементу у ґрунт через мікробіологічне розкладання.

Застосування локального внесення добрив $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} забезпечувало локалізацію сполук калію з максимальним вмістом у цій зоні 544 мг/кг, що на 15,1 % менше від попередньої фази росту і розвитку (рис. 4.18). Можна зробити висновок, що такий спосіб та норма внесення забезпечували більший ресурс доступності калію порівняно з варіантом, де вносили аналогічну норму добрив розкидним способом.

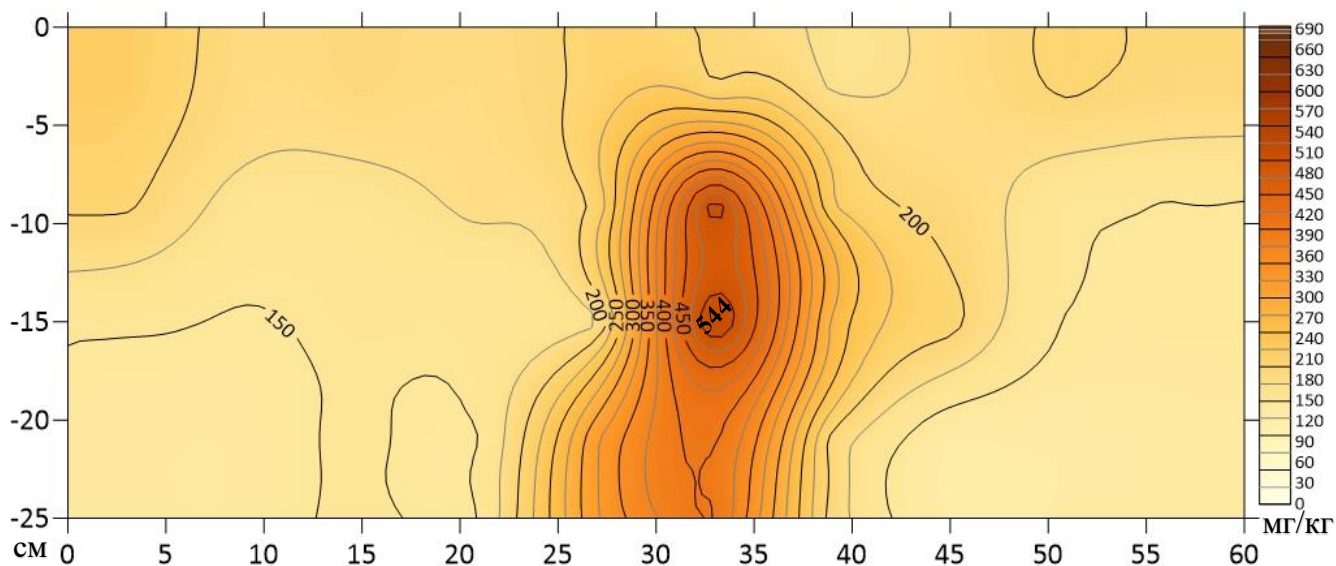


Рис. 4.18 Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період також відмічалась міграція калію в нижні шари ґрунту на глибину 20–25 см.

У фазу технічної стиглості у варіанті, де застосовували локальне внесення зменшеної норми до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} максимальний вміст в зоні локалізації знизився на 20,3 % порівняно з фазою «зеленої ягоди» і становив 465 мг/кг (рис. 4.19).

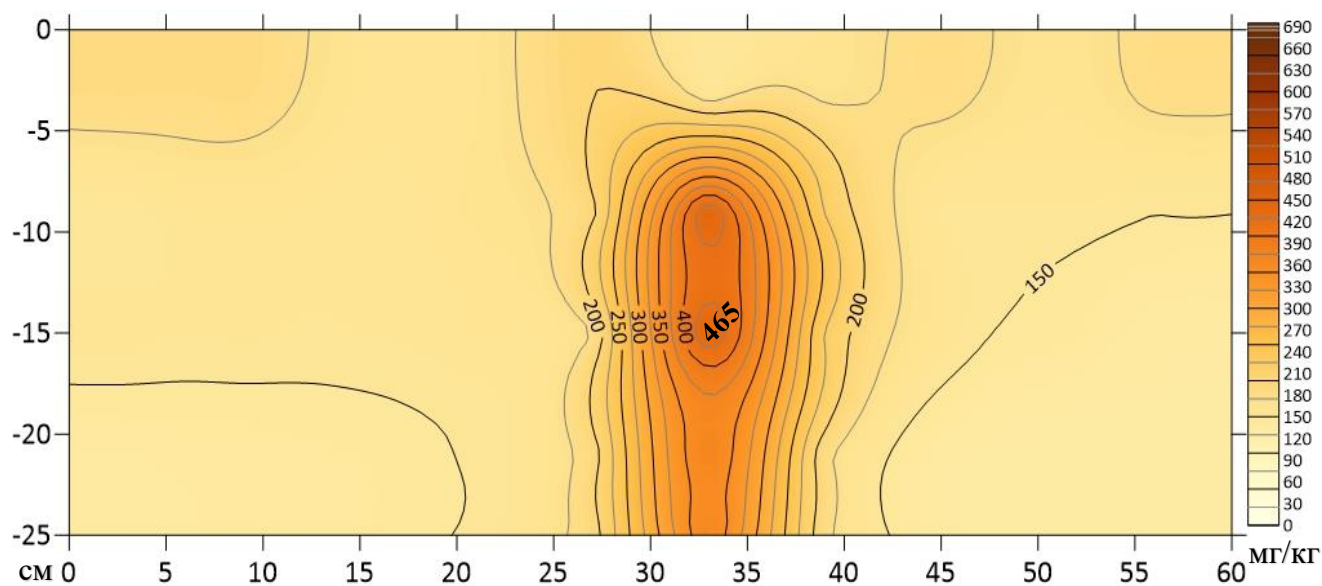


Рис. 4.19 Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

Також у цей період відмічалось збільшення розміру зони локалізації калію і розширення зони з вмістом ≈ 400 мг/кг.

За локального внесення зменшеної на 50 % норми ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} відмічалась локалізація сполук калію з максимальною концентрацією 373 мг/кг (рис. 4.20), яка була не суттєво меншою від показника, що отримано у фазу «зеленої ягоди».

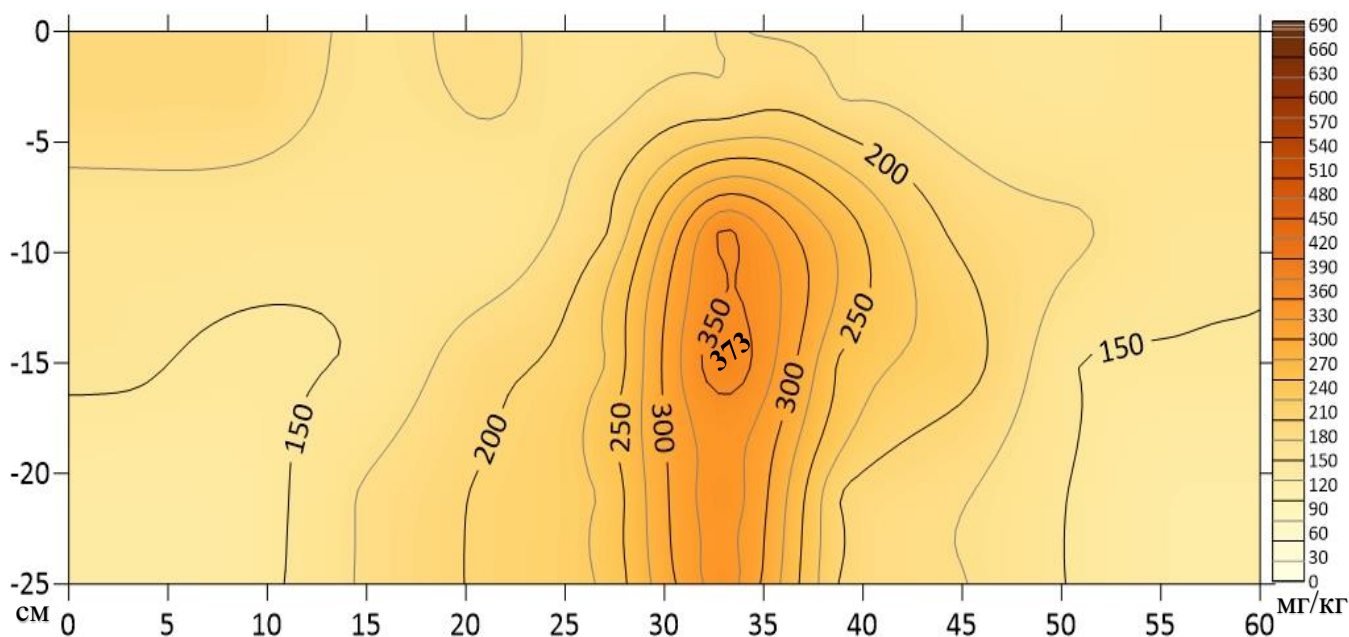


Рис. 4.20 Розподіл сполук обмінного калію в ґрунті підгребеневої зони у фазу технічної стиглості за локального внесення добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} , 2019–2021 рр.

У цей період відмічалось розширення зон з вмістом ≈ 200 , 250 та 300 мг/кг, а також міграція сполук калію до нижніх шарів ґрунту.

Таким чином, у період згасаючого споживання рослинами картоплі калію його вміст у ґрунті був на високому рівні. Це може пояснюватись меншою інтенсивністю споживання цього елемента. Проте, навіть застосування удвічі меншої норми калійних добрив локальним способом обумовлювало у цей період більшу концентрацію калію у ґрунті порівняно з розкидним внесенням.

Висновки до розділу 4

Локальне внесення калійних забезпечує оптимізацію живлення рослин картоплі, особливо під час активного споживання калію. У фазу найбільш інтенсивного споживання калію (цвітіння) площа зони локалізації становила 16 % ($\approx 200 \text{ см}^2$) від всієї підгребеневої зони (1250 см^2). Вміст обмінного калію в цій зоні коливався від 200 до 487 мг/кг (за розкидного способу він був у межах 100–180 мг/кг). Зменшення норми на 25 % до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало у період цвітіння локалізацію розміром 14 % та поперечним розрізом $\approx 175 \text{ см}^2$. Вміст коливався від 250 до 521 мг/кг.

У період закінчення інтенсивного споживання калію («зелена ягода») у варіанті, де застосовували повну норму добрив ($P_{80}K_{180}$) локально відмічалось збільшення площі локалізації калію на 1,5 % до 17,5 % ($\approx 219 \text{ см}^2$). Вміст у цій зоні також підвищився до меж 250–582 мг/кг. За розкидного внесення вміст у цей період був меншим порівняно з вищезазначеним варіантом та коливався від 120 до 219 мг/кг. За зменшення норми на 25 % до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} зона локалізації зменшилась на 4 % та займала 10 % ($\approx 125 \text{ см}^2$), вміст у ній коливався від 200 до 532 мг/кг.

Варто зауважити, що після завершення споживання рослинами елементів живлення (у фазі технічної стиглості), відмічалась тенденція до збільшення вмісту калію в ґрунті у варіантах з локальним внесенням добрив. Це дає підставу вважати, що локальне застосування добрив забезпечує подовжений період доступності калію на високому рівні завдяки концентрації добрив у невеликій зоні, яка має обмежений контакт з ґрунтом, що сприяє його меншій фіксації та трансформації.

РОЗДІЛ 5

ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКРЕМИХ ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

5.1. Біометричні показники рослин картоплі столової за різних способів внесення добрив

Основний фактор, який обумовлює високий рівень врожаю сільськогосподарських культур є фотосинтетична діяльність листового апарату. Активність фотосинтезу залежить від площі листової поверхні та її продуктивності (Tekalign & Hammes, 2005). Продуктивність картоплі напряду залежить від листової площі, а значить і від густоти рослин. За її збільшення загальна площа листків та біологічний урожай можуть зростати на фоні зниження чистої продуктивності фотосинтезу (Соколовська, 2022; Бикін & Бордюжа, (2017). Тому, оптимальна площа асиміляційної поверхні та її ефективне функціонування є дуже важливою складовою, що визначає умови росту та розвитку рослин картоплі. Надлишкова чи недостатня площа листової поверхні може обумовлювати зниження інтенсивності фотосинтезу. З огляду на це, формування оптимального фотосинтетичного апарату рослин та тривала його продуктивна робота є одним із основних наукових завдань, тому що існує пряма кореляційна залежність між величиною врожаю та листовою площею картоплі (Vasilyev, Gorbunov, Glaz & Ufimtseva, 2021).

Асиміляційна поверхня картоплі складається в більшій мірі з листків, у яких проходить процес фотосинтезу. Його активність може спостерігатись і в інших частинах рослин таких як стебла, плоди і т. п. Однак, їх частка є незначною (Mazur, Myalkovsky, Pantsyreva, Didur, Mazur & Alekseev, 2021). Наростання листків у посівах має певну закономірність. Від появи сходів листкова площа починає повільно збільшуватись, втім за досягнення висоти рослин 15–20 см інтенсивність її розвитку зростає і досягає свого піку у фазу «зеленої ягоди». Потім листкова площа поступово починає зменшуватися внаслідок пожовтіння та відмирання

нижніх ярусів (Савченко & Кожушко, 2013). Темпи наростання площі листків найкраще характеризує листковий індекс (ЛІ), який показує площу листків на 1 м² площі поля (Mourad, Jaafar, Anderson & Gao, (2020); Roosjen, Brede, Suomalainen, Bartholomeus, Kooistra & Clevers, 2018; Duan, Li, Wu, Tang, Ma, Zhao & Li, 2014).

Важливою умовою для отримання високого рівня врожаю є стеблоутворююча здатність бульб, від якої залежить кількість стебел у кущі. Кожне добре сформоване стебло в кущі картоплі є окремою рослиною і здатне самостійно формувати бульби. Тому із збільшенням кількості добре сформованих стебел у кущі зростає продуктивність рослин. Для прогнозування потенційної врожайності упродовж періоду вегетації проводиться визначення основних біометричних показників (висота рослин, густота стеблестою, кількість та маса бульб під кущем) (Burstall & Harris, 1983).

Відомо, що внесення добрив має безпосередній вплив на біометричні показники рослин та їх ріст і розвиток. Традиційний спосіб внесення добрив передбачає їх розподіл на поверхні ґрунту та подальше зароблення. Проте суттєвим його недоліком є нерівномірність розподілу гранул у ґрунті, особливо за неякісного гранулометричного складу, що зумовлює строкатість полів, а отже, й нерівномірність сходів та росту й розвитку рослин картоплі. Відомим фактом є те, що за перемішування добрив із великим об'ємом ґрунту активізуються процеси розчинення, поглинання і зв'язування елементів живлення. Для уникнення втрат зростає актуальність оптимізації способів внесення мінеральних добрив. Одним із основних методів, що сприяють цьому є локалізація зон їх внесення. За такого способу забезпечується підвищення коефіцієнтів використання поживних елементів порівняно з розкидним. Водночас, високий вміст елементів живлення в ґрунті у доступній для рослин формі за локального внесення зберігається впродовж тривалого часу, забезпечуючи оптимальне живлення рослин протягом вегетації. Розміщення добрив таким способом позитивно впливає на формування стійкості сільськогосподарських культур до стресових умов та покращує процеси синтезу запасуючих речовин (Бикін & Панчук, 2022). Зокрема, локальне внесення фосфорних добрив сприяє прискореному росту та розвитку кореневої системи, а

також поглинанню і транспортуванню іонів. За такого розміщення сполуки фосфору стають більш доступними впродовж вегетації, що обумовлює формування оптимальної кількості бульб. Відомо, що локальне внесення калійних добрив сприяє кращому засвоєнню цього елемента кореневою системою рослин, а також забезпечує синтез і транспорт вуглеводів в рослинах. Вищезазначені процеси покращують поглинання корінцями вологи та поживних елементів з ґрунту, а також сприяють оптимізації біометричних показників рослин (Бикін & Панчук, 2022).

Одним із таких показників є висота рослин. Нами було встановлено, що у фазу сходів найбільша висота рослин була у варіанті з локальним внесенням $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} і становила 13,7 см (табл. 5.1). Водночас за внесення повної норми добрив $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} їх висота досягала рівня 13,2 см, тоді як за використання аналогічної норми добрив розкидним способом рослини були меншими на 2 см. Незначна різниця у висоті рослин в першу чергу пояснюється тим, що у цю фазу рослини розвивалися завдяки ресурсам материнської бульби.

З подальшим ростом та розвитком рослин картоплі нами встановлено, що у фазу бутонізації висота рослин порівняно зі сходами в середньому перевищувала аналогічний показник у три рази. Проте найбільші темпи збільшення висоти рослин відмічалися у варіанті з локальним внесенням $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} їх висота становила 45,3 см, тоді як найменша висота рослин була у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} та досягала рівня 41,9 см, що на 3,4 см менше від показника вищезазначеного варіанту.

У фазу масового цвітіння у варіанті, де застосовували локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} сформувалася найвища висота рослин (56,6 см), а її приріст порівняно з минулою фазою становив 27,0 %. За розкидного внесення аналогічної норми добрив показник висоти був меншим на 4,3 см, а приріст досягав 22,5 %. У той же час найбільше зростання цього показника спостерігалось за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} та становило 29,8 % порівняно з фазою бутонізації, проте висота досягала рівня 54,3 см.

Таблиця 5.1

Біометричні показники рослин картоплі сорту Тирас за різних способів та норм внесення добрив, 2019–2021 рр.

Фаза росту та розвитку рослин	Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Показник									
			висота рослин, см	довжина центрального кореня, см	кількість стебел під кущем, шт	маса надземної частини, т/га	маса підземної частини, т/га	кількість бульб під кущем, шт	маса бульб під кущем, г	співвідношення надземної до підземної частини	площа листової поверхні, м ² /га	листяний індекс
сходи (ВВСН–0–9)	розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	11,2	22,2	4,9	1,18	0,99	–	–	1,19	1267	0,13
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	13,2	22,2	4,8	1,35	1,02	–	–	1,33	1243	0,12
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	12,5	22,9	5,0	1,36	1,07	–	–	1,27	1605	0,16
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	13,7	23,5	5,0	1,50	1,20	–	–	1,25	1499	0,15
	НІР ₀₅ /Sx, %		1,11/1,9	3,05/2,0	0,37/1,8	0,11/2,1	0,10/2,0				80,3/2,2	
бутонізація (ВВСН–51–59)	розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	43,3	25,7	–	12,8	2,22	–	–	5,74	14409	1,44
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	44,6	28,4	–	11,4	2,14	–	–	5,31	12905	1,29
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	41,9	27,9	–	12,3	2,26	–	–	5,44	13876	1,39
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	45,3	26,3	–	12,9	2,20	–	–	5,84	13734	1,37
	НІР ₀₅ /Sx, %		3,39/2,1	2,43/2,3		1,10/2,3	0,24/2,1				957/2,3	
цвітіння (ВВСН–60–69)	розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	53,1	26,6	–	24,1	4,90	9,07	36,1	4,93	26515	2,65
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	56,6	26,5	–	23,1	7,05	10,6	75,9	3,27	27527	2,75
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	54,3	27,6	–	24,9	7,59	10,8	80,1	3,29	29887	2,99
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	56,1	26,8	–	24,9	7,25	11,8	78,2	3,44	29128	2,91
	НІР ₀₅ /Sx, %		2,59/2,0	1,83/1,9		2,34/2,1	0,48/2,2	0,57/2,1	6,51/2,0		3954/2,0	
«зелена ягода» (ВВСН–70–79)	розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	76,0	25,6	–	34,4	22,2	10,0	344	1,55	45244	4,52
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	73,0	25,2	–	34,8	25,9	11,2	413	1,35	56470	5,65
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	79,6	23,3	–	36,4	28,8	10,7	468	1,26	41760	4,18
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	73,9	25,9	–	33,2	21,9	12,2	347	1,51	39762	3,98
	НІР ₀₅ /Sx, %		5,08/2,2	1,61/1,9		2,65/2,1	1,45/2,3	0,91/2,0	40,1/2,3		4333/2,4	

* На фоні N₁₅₀ ▼ Контроль

За настання фази «зеленої ягоди» у варіанті з розкидним внесенням добрив у нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} відбулося збільшення висоти рослин до рівня 76,0 см, що на 43,2 % більше порівняно з фазою цвітіння. Водночас, за аналогічної норми фосфорних та калійних добрив, що вносились локальним способом, висота рослин збільшилась на 29,0 % порівняно з вищезазначеною фазою вегетації та становила 73,0 см. Зменшення норми до рівня $P_{60}K_{135}$ за локального внесення на фоні N_{150} сприяло максимальному зростанню рослин до рівня 79,6 см, що на 46,5 % більше порівняно із попередньою фазою росту і розвитку.

Таким чином можна зробити висновок, що така норма та спосіб внесення обумовлюють посилення ростових процесів, що обумовлювало зростання висоти рослин картоплі.

Коренева система в першу чергу відповідає за живлення та вологозабезпечення рослин. Корені картоплі проникають в ґрунт порівняно не глибоко, а основна їх маса розташовується в зоні гребеня (Myalkovskyi, 2017).

Результати наших досліджень показують, що у фазу сходів істотної різниці між довжиною основного кореня не було. Цей показник коливався від 22,2 до 23,5 см залежно від варіанту.

В період бутонізації найбільша довжина основного кореня (28,4 см) була у варіанті з локальним внесенням добрив у нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} з приростом показника до фази сходів 28,0 %. Водночас, у варіанті з внесенням ідентичної норми добрив розкидним способом його довжина досягала 25,7 см, а приріст відносно попередньої фази був на рівні 15,5 %. Зменшення норми до рівня $P_{60}K_{135}$ за локального внесення на фоні N_{150} обумовлювало формування основного кореня довжиною 27,9 см, а її приріст становив 21,6 %. Подальше зменшення норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало зменшення цього показника до рівня 26,3 см, за приросту 11,8 % порівняно з фазою бутонізації.

До фази цвітіння активний ріст коренів призупинявся. Їх довжина не мала суттєвої відміни, як між варіантами, так і між фазами цвітіння та бутонізації. У цей період за розкидного способу внесення $P_{80}K_{180}$ приріст коренів серед варіантів був найбільший (3,70 %), а довжина досягала 26,6 см. Найбільший показник серед

варіантів досліджу забезпечувало внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} – 27,6 см. Однак вона була меншою порівняно з фазою бутонізації. Таке зменшення можливо пов'язане з тим, що з часом відбувається ущільнення та зменшення об'єму гребенів.

У фазу «зеленої ягоди» довжина основного кореня мала незначні коливання залежно від варіанту досліджу. Найбільший показник був за внесення $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} і становив 25,9 см. Тоді, як повна норма фосфорних та калійних добрив $P_{80}K_{180}$ фоні N_{150} незалежно від способу внесення не сприяла збільшенню цього показника. Він був на рівні 25,2 і 25,6 см відповідно.

Отже, можна зробити висновок про те, що різні способи та норми внесення добрив не мали суттєвого впливу на довжину основного кореня.

Важливим показником, який впливає на формування бульб є кількість стебел у кущі. В середньому у варіантах досліджу їх кількість становила від 4,8 до 5,0. Відомо, що на формування врожаю бульб впливає розвиток надземної частини рослин. Так, залежно від варіанту у період сходів маса надземної частини коливалась від 1,18 до 1,50 т/га. У варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ фоні N_{150} цей показник досягав 1,35 т/га. Водночас за внесення такої ж норми розкидним способом він був на рівні 1,18 т/га. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування маси надземної частини на рівні 1,36 т/га, а подальше її зниження до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} слугувало отриманню найбільшого показника серед варіантів – 1,50 т/га. Водночас, маса підземної частини була в межах 0,99–1,20 т/га. Найбільшим цей показник був у варіанті з локальним внесенням $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} – 1,20 т/га. Слід відмітити, що для цього періоду характерне найширше співвідношення надземної до підземної частини. У варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} воно становило 1,33. За розкидного внесення аналогічної норми добрив цей показник був найменшим серед варіантів – 1,19.

За настання фази бутонізації найкращий розвиток надземної вегетативної частини обумовлював локальний спосіб внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} , де вона досягала рівня 12,9 т/га, що на 11,4 т/га більше порівняно з фазою сходів. Водночас у інших варіантах з локальним внесенням фосфорних та калійних добрив зростання

цього показника було дещо меншим та коливалось від 10,1 до 10,9 т/га. Проте, за розкидного внесення цей показник досягав 12,8 т/га, а його приріст порівняно з фазою сходів був найбільшим серед варіантів – 11,6 т/га. Це може бути обумовлено локалізацією фосфорних добрив на глибині 12–15 см та калійних на 18–20 см, тоді як за розкидного вони знаходились у верхньому шарі, що сприяло швидшому стартовому споживанню коренями рослин елементів живлення. У цей період також розпочався активний приріст підземної маси рослин, яка збільшилась у 2 рази порівняно із фазою сходів та коливалась в межах 2,14–2,26 т/га. Найбільше підземної маси сформувалось у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} – 2,26 т/га, що на 1,19 т/га більше порівняно з фазою сходів. Тоді, як за аналогічного способу внесення більшої норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} маса підземної частини була мінімальною і становила 2,14 т/га. У фазу бутонізації відбулось розширення співвідношення надземної маси до підземної. Це свідчить про те, що у цей період був активний розвиток надземної вегетативної частини, яка коливалось від 5,31 до 5,84 т/га залежно від варіанту. Найширше співвідношення було у варіантах із внесенням $P_{80}K_{180}$ врозкид – 5,74 та $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} – 5,84. Водночас, збільшення норми добрив до $P_{80}K_{180}$ та внесення їх локальним способом на фоні N_{150} обумовлювало звуження цього співвідношення до 5,31.

До фази цвітіння розвиток надземної частини рослин різко прискорився, а її маса збільшилась майже у 2 рази. У варіантах з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} цей показник був найбільшим та досягав рівня 24,9 т/га, що на 1,8 т/га більше від варіанту з аналогічним способом внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . Водночас, за розкидного внесення аналогічної норми добрив цей показник досягав рівня 24,1 т/га, що на 1,0 т/га більше за вищезазначений варіант. Найкращий розвиток підземної частини рослин у цей період був у варіантах з локальним внесенням добрив, її маса коливалась від 4,90 до 7,59 т/га. Найбільший показник підземної частини був у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} і становив 7,59 т/га. Приріст порівняно із фазою бутонізації був на рівні 5,33 т/га. Варіант, де застосовувалась повна норма добрив $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} за аналогічного способу внесення поступався

вищезазначеному варіанту на 0,54 т/га, а його приріст від фази бутонізації до цвітіння становив – 4,91 т/га. Тоді як за внесення $P_{80}K_{180}$ врозкид показник надземної маси був найменшим серед варіантів і досягав рівня 4,90 т/га, приріст становив 2,68 т/га порівняно з фазою бутонізації.

Слід відмітити, що у фазу цвітіння почалося активне формування та наростання бульб. Найширше співвідношення у цей період було у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$ – 4,93. Водночас локальне внесення сприяло звуженню цього показника до рівня від 3,27 до 3,44. Від фази цвітіння темпи наростання бульб були значно інтенсивнішими, що обумовлювало подальше звуження співвідношення в усіх варіантах дослідів.

У фазу «зеленої ягоди» найефективнішим за впливом на формування надземної вегетативної частини серед варіантів було локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} , що сприяло отриманню найбільшого показника (36,4 т/га). Приріст становив 46 % порівняно з фазою цвітіння. Варіант з аналогічним способом внесення повної норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлював отримання дещо меншого показника – 34,8 т/га. Проте його приріст від фази цвітіння був найбільшим серед варіантів і становив 51,2 %. Слід відмітити, що до фази «зеленої ягоди» підземна маса рослин картоплі характеризувалась високими темпами приросту в усіх варіантах. Найбільш ефективним виявилось локальне внесення фосфорних та калійних добрив у нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} , яке сприяло формуванню найбільшої підземної маси рослин – 28,8 т/га, що на 2,9 т/га більше від варіанту з аналогічним способом внесення повної норми $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , а також на 6,9 т/га більше за показник варіанту з локальним внесенням $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Такий приріст може обумовлюватись кращою доступністю елементів живлення у варіанті з локальним внесенням добрив на фоні оптимального вологозабезпечення рослин. Також, нами було встановлено, що у цей період найширше співвідношення надземної маси до підземної було у варіанті з розкидним внесенням добрив – 1,55. Тоді як локальне внесення забезпечило подальше звуження співвідношення до 1,29–1,51 залежно від норми внесення.

Формування потужної підземної частини картоплі є основною умовою для отримання високого рівня врожаю. Добре розвинена коренева система краще споживає поживні речовини та вологу, що буде сприяти збільшенню розмірів бульб та їх кількості. Продуктивність сорту залежить від кількості бульб у кущі та їх маси. Загальна їх кількість певною мірою залежить від багатьох факторів в т. ч. і удобрення та вологи (Ільчук & Ільчук, 2013). Для сорту Тирас ініціація бульб починається у фазу бутонізації, але формування типової їх кількості під кущем приходить на момент масового цвітіння. У цей період найбільша кількість бульб під кущем сформувалась у варіанті з локальним внесенням добрив $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} – 11,8 шт. Водночас у варіанті з внесенням повної норми добрив $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} їх кількість була меншою (10,6 шт.). Також, слід відмітити, що за внесення аналогічної норми добрив розкидним способом кількість бульб була найменшою серед варіантів – 9,07 шт., що на 2,70 шт. менше від вищезазначеного варіанту. Проте найбільша маса бульб під кущем була у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} і становила 80,1 г. Збільшення норми фосфорних та калійних добрив до рівня $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} не сприяло збільшенню маси бульб порівняно з вищезазначеним варіантом, а даний показник досягав рівня 75,9 г. За внесення аналогічної норми добрив розкидним способом цей показник був найменшим серед варіантів і становив 36,1 г., що на 39,8 г. менше від вищезазначеного варіанту.

У фазу зеленої ягоди найбільше бульб під одним кущем сформувалося за внесення $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} – 12,2 шт., а їх маса була на рівні 348 г. За такого способу внесення збільшення норми до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування бульб у кількості 11,2 шт., а їх маса становила 413 г. Тоді як за аналогічної норми добрив, що вносились врозкид сформувалась найменша кількість бульб серед варіантів (10 шт.), а їх маса досягала 345 г., що на 16,6 % менше вищезазначеного варіанту. Також, нашими дослідженнями встановлено, що найбільша маса бульб під кущем була отримана у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} та становила 468 г., що на 55,4 г. більше за варіант з аналогічним внесенням повної норми $P_{80}K_{180}$. Результати наших досліджень дають підставу

стверджувати, що локальне внесення мінеральних добрив сприяє кращим умовам формування бульб картоплі.

Одним із основних факторів, які впливають на врожай картоплі, є формування оптимальної площі листової поверхні, яка отримуючи сонячну енергію синтезує необхідні для формування нових органів і врожаю, органічні сполуки (Бикін & Панчук, 2022).

Згідно наших досліджень, у фазу сходів площа листової поверхні коливалась в межах 1243–1605 м²/га, а листовий індекс від 0,12 до 0,16. До фази бутонізації листкова площа у всіх варіантах збільшилась у 10–11 разів. Водночас цей показник був найбільшим у варіанті з розкидним внесенням і становив 14409 м²/га з листовим індексом 1,44. У варіантах з локальним внесенням добрив листкова площа була дещо меншою і коливалась від 12905 до 13876 м²/га з листовим індексом від 1,29 до 1,39. Цю тенденцію у розвитку листової поверхні можна пояснити тим, що за розкидного способу внесення мінеральні добрива знаходяться у верхньому шарі ґрунту ближче до коренів рослин, які тільки розпочинають свій розвиток, тоді як за локального розміщення добрив рослинам потрібен певний час для того, щоб досягти удобреної зони.

У фазу цвітіння найкращий розвиток листової поверхні спостерігався за локального внесення Р₆₀К₁₃₅ на фоні N₁₅₀. Її площа становила 29887 м²/га, а листовий індекс – 2,99. За збільшення локальної норми до рівня Р₈₀К₁₈₀ на фоні N₁₅₀ листкова площа була меншою та досягала 27527 м²/га, а листовий індекс 2,75. Водночас у варіанті з розкидним внесенням аналогічної норми добрив площа листків та листовий індекс були найменшими серед всіх варіантів – 26515 м²/га та відповідно 2,65.

Найбільша листкова площа у фазу «зеленої ягоди» була у варіанті з локальним внесенням Р₈₀К₁₈₀ фоні N₁₅₀ і досягала 56470 м²/га. Її приріст порівняно з фазою цвітіння становив 105 %, а листовий індекс був на рівні 5,65. У варіанті з розкидним внесенням такої ж норми добрив цей приріст досягав 70,6 %. Площа листків у фазу «зеленої ягоди» становила 45244 м²/га, що на 11226 м²/га менше від варіанту з локальним внесенням.

Отже, локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало формування на кінець вегетації найбільшої серед варіантів: висоти рослин – 79,6 см, маси надземної (36,4 т/га) та підземної частини (28,7 т/га), а також маси бульб під одним кущем – 468 г. У варіанті із внесенням $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} сформувалась найбільша серед варіантів площа листової поверхні до фази «зеленої ягоди» – 56470 м²/га та листовий індекс – 5,65.

5.2. Вплив способів та норм внесення добрив на чисту продуктивність фотосинтезу рослин картоплі

Фотосинтез - це процес трансформації поглинутої енергії світла в хімічну енергію органічних сполук. Він є найважливішим процесом життєдіяльності рослин. Від повноцінності його проходження, насамперед, залежать ріст та розвиток рослин картоплі, а також майбутній врожай. Продуктивність фотосинтезу залежить від загальної площі листків та інтенсивності фотосинтетичних процесів (Балашова & Черниченко, 2012). Для отримання високого рівня врожаю необхідно створити умови, що будуть сприятливі для швидкого розвитку рослин, формування їх вегетативної маси та набуття листовою поверхнею оптимального розміру. Формування необхідної асиміляційної листової поверхні може досягатися завдяки оптимальному мінеральному живленню рослин. Його рівень від застосування різних способів та норм добрив може чинити значний вплив на ріст та розвиток рослин, а також на їх надземну вегетативну масу, що має суттєве значення для інтенсивності поглинання сонячної енергії різними ярусами листків, тривалості роботи фотосинтетичного апарату, вологозабезпеченості рослин та підвищення чистої продуктивності фотосинтезу (Timlin, Lutfor Rahman, Baker, Reddy, Fleisher & Quebedeaux, 2006).

Відомо, що ефективність роботи листової поверхні та засвоєння нею сонячної енергії позначається на чистій продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) (Tekalign & Hammes, 2005). Нашими дослідженнями встановлено, що цей показник

рослин картоплі змінювався залежно від їх фази росту та розвитку, а також способів внесення добрив (рис. 5.1). Так, у період від сходів до бутонізації листкова поверхня рослин картоплі щодоби синтезувала від 8,23 до 8,63 г/м² сухої речовини. За розкидного внесення P₈₀K₁₈₀ цей показник становив 8,26 г/м². Аналогічна норма фосфорних та калійних добрив, що вносились локально на фоні N₁₅₀ обумовлювала кількість сухої речовини на рівні 8,23 г/м² за добу.

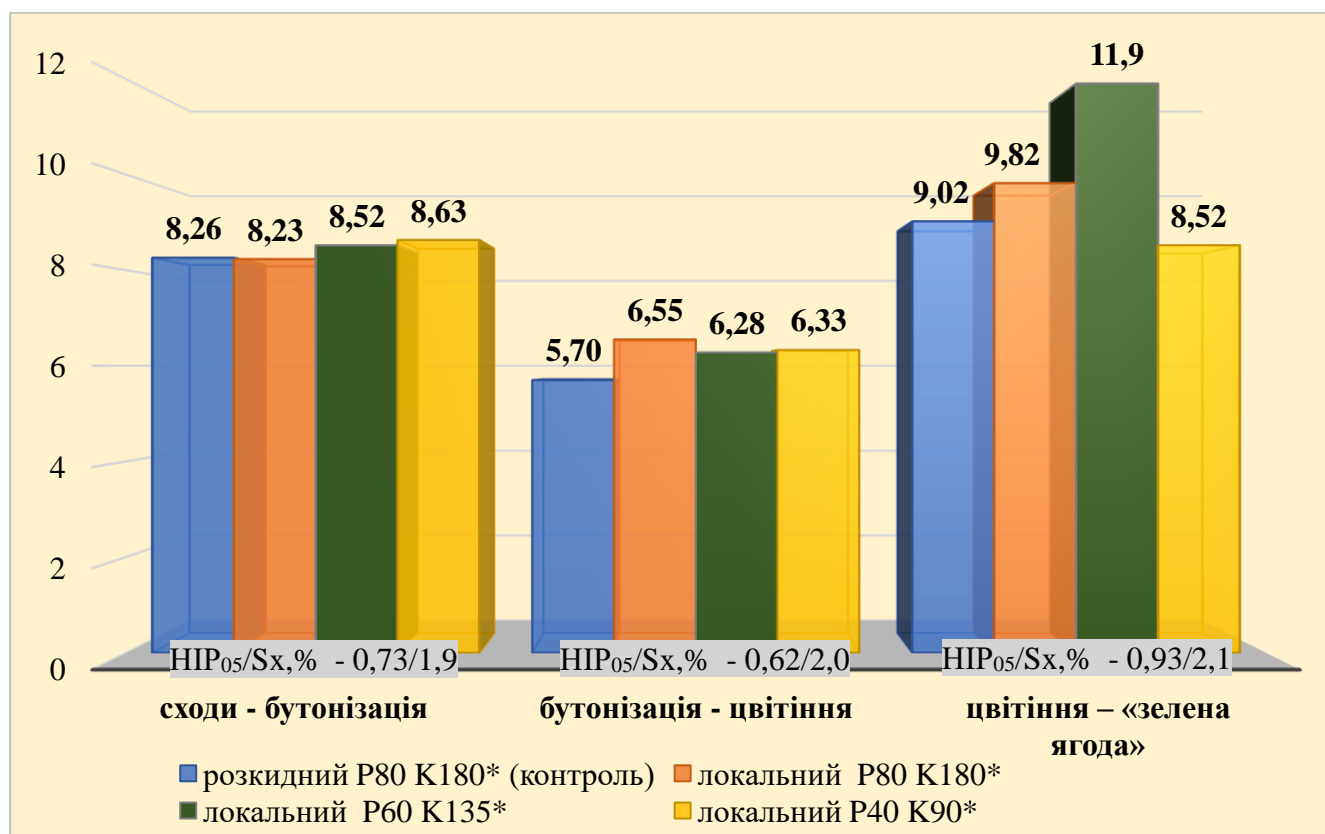


Рис. 5.1. Чиста продуктивність фотосинтезу залежно від способів та норм внесення добрив (г/м² сухої речовини за добу), 2019–2021 рр.

Зменшення норми добрив до P₆₀K₁₃₅ на фоні N₁₅₀ сприяло збільшенню цього показника до 8,52 г/м². Найбільші темпи синтезу сухої речовини були характерними для варіанту із локальним внесенням P₄₀K₉₀ на фоні N₁₅₀ – 8,63 г/м² за добу. Більш високий рівень ЧПФ в період «сходи-бутонізація» може пояснюватись тим, що материнська бульба мала ще досить значний вплив на молоду рослину, а для молодих листків характерним є більш інтенсивне проходження фотосинтезу.

У період від бутонізації до масового цвітіння встановлено зниження чистої продуктивності фотосинтезу до меж 5,70–6,55 г/м² за добу. Найнижчий рівень утворення сухої речовини спостерігався у варіанті з розкидним внесенням Р₈₀К₁₈₀ і становив 5,70 г/м² за добу. Це могло бути обумовлено нерівномірністю розподілу елементів живлення в ґрунтовому шарі. Водночас, локальне внесення аналогічної норми добрив Р₈₀К₁₈₀ на фоні N₁₅₀ сприяло найбільшому серед варіантів показнику синтезу сухої речовини – 6,55 г/м² за добу. Локальне застосування добрив в нормах Р₆₀К₁₃₅ та Р₄₀К₉₀ на фоні N₁₅₀ обумовлювало отримання цього показника на рівні 6,28 і 6,23 г/м² за добу відповідно.

Від цвітіння до «зеленої ягоди» утворення сухої речовини коливалось в межах від 8,52 до 11,9 г/м² за добу. За розкидного внесення Р₈₀К₁₈₀ на фоні N₁₅₀ воно було найменшим та досягало 9,02 г/м² за добу. За локального внесення аналогічної норми добрив цей показник був більшим на 8,86 % і становив 9,82 г/м² за добу. Зменшення норми до Р₆₀К₁₃₅ на фоні N₁₅₀ обумовлювало інтенсифікацію утворення сухої речовини із показником ЧПФ 11,9 г/м² за добу, що на 21,2 % більше за вищезазначений варіант. За подальшого зменшення норми до рівня Р₄₀К₉₀ на фоні N₁₅₀ цей показник досягав рівня 8,52 г/м² за добу.

Отже, найбільший показник чистої продуктивності у період від бутонізації до масового цвітіння забезпечувався використанням локального внесення Р₈₀К₁₈₀ на фоні N₁₅₀ – 6,55 г/м² сухої речовини за добу. У період цвітіння–«зелена ягода» відмічалось підвищення цього показника в усіх варіантах дослідів. Найвищий рівень утворення сухої речовини був характерний для варіанту з внесенням Р₆₀К₁₃₅ локально на фоні N₁₅₀, ЧПФ для якого досягала рівня 11,9 г/м² за добу.

5.3. Вміст основних елементів живлення в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив

Рівень врожаю та якість продукції рослинництва обумовлюється інтенсивністю процесів обміну речовин, які залежать від біологічних особливостей

рослин, умов живлення і технології вирощування. Для оптимізації процесів їх життєдіяльності необхідне всебічне вивчення впливу елементів живлення на їх ріст та розвиток.

У своїх дослідженнях В. В. Церлінг (Церлінг, 1990) встановлено різні рівні вмісту елементів живлення у окремих рослинних органах. Певні із них у тканинах є оптимальними відповідно до фаз їх росту та розвитку. За таких умов забезпечується оптимальне проходження клітинного метаболізму. Такі рівні можуть бути індикаторами умов мінерального живлення рослин.

Згідно результатів наших досліджень у фазу сходів найвищий вміст азоту у листках був за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ – 3,48 % на суху речовину (табл. 5.2). У варіанті з локальним внесенням аналогічної норми фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} він був дещо нижчим (3,21 % на суху речовину). Зменшення норми локального внесення до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало збільшення цього показника до рівня 3,43 % на суху речовину.

У фазу бутонізації локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало найбільший вміст азоту у листках (3,25 % на суху речовину), що на 0,06 % більше від варіанту з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$.

Таблиця 5.2

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в листках картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	3,48	3,19	2,21	2,32	1,99
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	3,21	3,25	2,47	2,48	2,31
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	3,17	2,96	2,05	2,52	2,04
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	3,43	3,20	2,24	2,40	2,16
НІР ₀₅ /Sx, %		0,40/1,8	0,32/1,9	0,20/2,0	0,18/2,2	0,16/2,1

*на фоні N_{150}

До фази цвітіння вміст азоту у листках картоплі зменшився в усіх варіантах дослідів і коливався від 2,05 до 2,47 % на суху речовину. Цей показник був найвищим (2,47 %) у варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , що на 0,26 % більше від варіанту з розкидним внесенням аналогічної норми добрив. Згідно класифікації Церлінг В.В. такі показники у цей період характерні для низького вмісту азоту в листках рослин.

У фазу «зеленої ягоди» за розкидного способу внесення $P_{80}K_{180}$ вміст азоту в листках рослин картоплі був на рівні 2,32 % на суху речовину. Внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив локально обумовлювало збільшення цього показника на 0,16 % до рівня 2,48 % на суху речовину. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ за локального внесення на фоні N_{150} зумовлювало накопичення найбільшої кількості азоту – 2,52 % на суху речовину.

У фазу технічної стиглості вміст цього елемента зменшився в усіх варіантах та коливався від 1,99 до 2,31 %. Найбільше його містилось у листках рослин картоплі за локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} – 2,31 % на суху речовину, що на 0,32 % більше від варіанту, де вносились аналогічна норма добрив розкидним способом.

У період сходів вміст азоту у стеблах картоплі коливався в межах 2,70–2,90 % на суху речовину залежно від варіанту (табл. 5.3). Найбільший він був у варіантах з локальним внесенням фосфорних та калійних добрив з нормами $P_{80}K_{180}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} і становив 2,90 % на суху речовину.

До фази бутонізації вміст цього елемента зменшився в усіх варіантах дослідів порівняно з фазою сходів. За розкидного внесення добрив в нормі $P_{80}K_{180}$ він досягав рівня 2,48 %. Локальне внесення фосфорних та калійних добрив з аналогічною нормою не обумовлювало збільшення цього показника (2,51 %). Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} зумовило найвищий вміст азоту у цей період (2,68 %), що на 0,20 % більше від варіанту з локальним внесенням повної норми добрив.

Від фази бутонізації до цвітіння відмічалось подальше зниження вмісту азоту в стеблах рослин картоплі. Він коливався від 1,56 до 1,72 % на суху речовину.

Найвищий вміст у цей період (1,72 %) був за внесення $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} . За зменшення норми удвічі до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст азоту у стеблах знизився та становив 1,56 % на суху речовину, що на 0,16 % менше від вищезазначеного варіанту

Таблиця 5.3

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в стеблах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	2,70	2,48	1,67	1,87	1,50
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	2,90	2,51	1,72	1,92	1,40
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	2,81	2,68	1,71	1,77	1,40
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	2,90	2,08	1,56	1,79	1,59
НІР ₀₅ /S _x , %		0,28/2,0	0,20/2,2	0,12/2,1	0,18/2,3	0,11/1,9

*на фоні N_{150}

У фазу «зеленої ягоди» вміст цього елемента дещо підвищився та був у межах 1,77–1,92 %. Найбільше його містилося у стеблах рослин за внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} – 1,92 %. Водночас за внесення аналогічної норми добрив, яка вносились врозкид вміст азоту був не суттєво нижчим (на 0,05 %) і становив 1,87 % на суху речовину.

До фази технічної стиглості його вміст знизився до меж 1,40–1,59 %. Найбільше його накопичення (1,59 %) у цей період обумовлювало внесення $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} . Водночас за використання повної норми фосфорних та калійних добрив $P_{80}K_{180}$ таким способом на фоні N_{150} вміст азоту в стеблах картоплі був нижчим на 0,19 % і досягав 1,40 % на суху речовину.

Вміст загального азоту в коренях рослин картоплі у фазу сходів коливався в межах від 2,03 до 2,25 % (табл. 5.4). Найбільша його кількість (2,25 %) містилась у рослинах варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . Водночас за

внесення аналогічної норми добрив врозкид його вміст був меншим на 0,22 % і становив 2,03 % на суху речовину. За зменшення норми локального внесення до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст азоту становив 2,17 і 2,14 % відповідно.

До фази бутонізації вміст цього елементу трохи зменшився та був в межах 1,83–2,15 % залежно від способу та норми внесення. В цей період локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало найбільший вміст азоту (2,15 %). За внесення аналогічної норми добрив врозкид вміст цього елементу в коренях рослин був менший на 0,32 % і досягав рівня 1,83 % на суху речовину. За зменшення норми фосфорних та калійних добрив до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст азоту становив 1,94 і 1,84 % відповідно.

Таблиця 5.4

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в коренях картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	2,03	1,83	1,11	1,35	1,04
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	2,25	2,15	1,45	1,50	1,40
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	2,17	1,94	1,19	1,25	1,46
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	2,14	1,84	1,13	1,41	1,16
НІР ₀₅ /S _x , %		0,20/1,9	0,24/1,9	0,12/2,0	0,16/2,1	0,17/2,2

*на фоні N_{150}

У період від фази бутонізації до цвітіння його вміст продовжував знижуватися та коливався від 1,11 до 1,45 %. Найбільше цього елементу містилось в рослинах варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} – 1,45 %, що на 0,34 % більше від показника варіанту, де добрива вносились врозкид з аналогічною нормою.

До фази «зеленої ягоди» його вміст дещо підвищився і перебував у межах 1,25–1,50 % на суху речовину. За розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ цей показник досягав

рівня 1,35 %. Внесення фосфорних та калійних добрив з аналогічною нормою $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} обумовлювало його збільшення на 0,15 % до рівня 1,50 % на суху речовину. Подальше зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} сприяло отриманню цього показника на рівні 1,25 та 1,41 % на суху речовину відповідно.

У фазу технічної стиглості картоплі вміст азоту в коренях рослин коливався від 1,04 до 1,46 %. Найбільший вміст цього елементу (1,46 %) у цей період обумовлювало локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . Подальше зменшення норми внесення до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} не сприяло підвищенню цього показника. Він був на рівні 1,16 %. Водночас збільшення норми удвічі до $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало підвищення кількості азоту до рівня 1,40 %, що на 0,24 % більше за показник вищезазначеного варіанту та на 0,36 % більше за варіант з внесенням аналогічної норми добрив розкидним способом.

У період цвітіння вміст азоту в бульбах коливався від 2,05 до 2,47 % на суху речовину (табл. 5.5). Найбільшим показник був за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ – 1,13 %. За внесення аналогічної норми локально на фоні N_{150} вміст цього елементу був меншим і досягав рівня 1,02 % на суху речовину. За зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} цей показник був на рівні 1,10 % та 1,06 % відповідно.

У фазу «зеленої ягоди» вміст азоту був в межах 1,03–1,18 %. Найбільший показник був за внесення повної норми добрив врозкид та досягав рівня 1,18 %. Водночас локальне внесення повної норми фосфорних та калійних добрив фоні N_{150} обумовлювало менше накопичення азоту в бульбах у цей період (1,09 %) порівняно з вищезазначеним варіантом.

У фазу технічної стиглості вміст азоту коливався від 1,14 до 1,34 % на суху речовину. Розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ обумовлювало накопичення найменшої кількості азоту (1,14 %) в цей період. За локального внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} цей показник був більшим на 0,08 % і становив 1,22 % на суху речовину. У варіанті зі зменшеною до $P_{60}K_{135}$ нормою на фоні N_{150} вміст азоту був більшим (1,32 %), на 0,10 % за показник вищезазначеного варіанту.

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в бульбах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин		
		цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія BBCH		
		(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	1,13	1,18	1,14
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	1,02	1,09	1,22
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	1,10	1,05	1,32
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	1,06	1,03	1,34
NIP ₀₅ /Sx, %		0,14/1,9	0,09/2,2	0,17/2,0

*на фоні N₁₅₀

Зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N₁₅₀ обумовлювало найбільший вміст азоту серед варіантів (1,34 %), що на 0,12 % більше від показника варіанту з локальним внесенням удвічі більшої норми фосфорних та калійних добрив. Слід зазначити, що за Церлінг вміст азоту в бульбах картоплі від фази цвітіння до технічної стиглості був низьким. Це може бути обумовлено його активним включенням до процесів формування бульб та повнішим використанням рослиною цих сполук.

Для оптимального проходження більшості фізіологічних та біохімічних процесів рослини потребують наявності сполук фосфору. Він відіграє ключову роль у розподілі енергії у рослинах, фотосинтезі та диханні. За його участі відбувається утворення органічних сполук в т.ч. білків, регулюється транспортування вуглеводів у рослині, покращується розвиток бульб та збільшується вміст крохмалю (М'ялковський, 2015).

Нашими дослідженнями встановлено, що у фазу сходів вміст фосфору в листках картоплі в усіх варіантах був на високому рівні. Використання локального способу внесення фосфорних та калійних добрив в нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N₁₅₀

обумовлювало найбільший вміст цього елементу серед варіантів (1,04 % у перерахунку на суху речовину) (табл. 5.6). Водночас у варіанті з локальним внесенням повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} його вміст був на 0,29 % меншим і становив 0,75 % на суху речовину.

Таблиця 5.6

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в листках картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	0,82	0,57	0,47	0,31	0,23
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	0,75	0,62	0,39	0,29	0,20
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	1,04	0,52	0,38	0,25	0,22
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	0,92	0,60	0,40	0,26	0,21
НІР ₀₅ /S _x , %		0,07/1,9	0,05/2,0	0,04/2,3	0,02/2,1	0,02/2,0

*на фоні N_{150}

До фази бутонізації вміст фосфору в листках знизився та коливався в межах 0,52–0,62 % залежно від варіанту. Найбільша його кількість (0,62 %) містилась за внесення $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} , що на 0,05 % більше від показника варіанту з розкидним внесенням аналогічної норми добрив. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечило цей показник на рівні 0,52 %, що на 0,07 % менше від варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . Водночас зазначений спосіб внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{40}K_{90}$ фоні N_{150} обумовлював вміст фосфору на рівні 0,60 % на суху речовину.

Вміст фосфору до фази цвітіння продовжував знижуватись та був в межах 0,38–0,47 %, що відповідає оптимальному його вмісту для цього періоду. Внесення $P_{80}K_{180}$ в розкид обумовлювало найбільший вміст цього елементу в листках картоплі у цей період – 0,47 %. Водночас застосування аналогічної норми фосфорних та

калійних добрив локально на фоні N_{150} обумовлювало на 0,08 % менший показник, який становив 0,39 % на суху речовину.

У фазу «зеленої ягоди» він був в межах 0,25–0,31 % залежно від варіанту, що відповідає низькому вмісту фосфору в листках картоплі. Найбільший показник (0,31 %) був отриманий за внесення $P_{80}K_{180}$ розкидним способом, що на 0,02 % більше від варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} .

Наші дослідження показали, що у фазу технічної стиглості відмічався високий вміст фосфору згідно встановлених рівнів вмісту елементів живлення за Церлінг. У цей період він коливався від 0,20 до 0,23 % на суху речовину. Нами не встановлено кореляційного впливу на цей показник жодного із способів внесення добрив та зниження їх норм.

Вміст фосфору в стеблах рослин картоплі у фазу сходів коливався в межах 0,69–0,77 % на суху речовину (табл. 5.7). Найбільшим показником був за внесення $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} – 0,77 %, що на 0,07 % більше від варіанту з розкидним внесенням аналогічної норми добрив. Водночас у варіантах з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст цього елементу був на рівні 0,69 та 0,75 % на суху речовину.

До фази бутонізації вміст фосфору в усіх варіантах зменшився та коливався в межах 0,49–0,55 %. Розкидний спосіб внесення з нормою $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлював найбільший вміст цього елементу в стеблах картоплі (0,55 % на суху речовину), що на 0,04 % більше від варіанту з локальним внесенням аналогічної норми фосфорних та калійних добрив, де цей показник становив 0,51 % на суху речовину. За зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} цей показник досягав рівня 0,49 %. За подальшого зменшення норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} він становив 0,54 % на суху речовину, що на 0,03 % більше від варіанту з аналогічним способом внесення повної норми фосфорних та калійних добрив.

У фазу цвітіння відмічалась подальша тенденція щодо зниження вмісту фосфору в стеблах картоплі, який був на рівні 0,27–0,37 % на суху речовину. За розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ цей показник був найбільшим серед варіантів (0,37 % на суху речовину), що на 0,04 % більше за варіант з локальним внесенням

вищезазначеної норми фосфорних та калійних добрив, де цей показник становив 0,33 % на суху речовину. У варіанті з аналогічним способом внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} вміст цього елементу не змінювався і становив 0,34 %. За подальшого зменшення локальної норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} ми отримали найменший показник (0,27 %) серед варіантів, що досліджувались.

До фази «зеленої ягоди» вміст фосфору продовжував знижуватись та коливався від 0,17 до 0,26 % на суху речовину. Найбільший показник (0,26 %) ми отримали у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$. Внесення $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} не поступалось за впливом вищезазначеному варіанту (0,25 % на суху речовину). За такого ж способу внесення меншої норми фосфорних та калійних добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} вміст фосфору був меншим на 0,04 % та досягав рівня 0,21 % на суху речовину. За подальшого зниження норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст цього елементу зменшувався до 0,17 %.

У фазу технічної стиглості цей показник був в межах 0,10–0,14 %. У цей період локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало найбільший вміст фосфору в стеблах картоплі – 0,14 %.

Таблиця 5.7

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в стеблах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	0,70	0,55	0,37	0,26	0,13
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	0,77	0,51	0,33	0,25	0,12
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	0,69	0,49	0,34	0,21	0,14
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	0,75	0,54	0,27	0,17	0,10
НР ₀₅ /S _x , %		0,05/1,8	0,05/1,8	0,03/1,9	0,02/2,0	0,02/2,1

*на фоні N_{150}

У варіанті з найменшою нормою добрив ($P_{40}K_{90}$), що вносились локально на фоні N_{150} його вміст був меншим на 0,04 % і становив 0,10 % на суху речовину. За внесення повної норми фосфорних та калійних добрив $P_{80}K_{180}$ фоні N_{150} вищезазначеним способом цей показник досягав рівня 0,12 %, що на 0,02 % менше від варіанту з аналогічним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} , а також на 0,01 % менше за показник (0,13 %), який був отриманий за розкидного внесення такої ж норми добрив.

Вміст фосфору в коренях картоплі у фазу сходів коливався в межах 0,56–0,67 % на суху речовину (табл. 5.8). Найбільший показник у цей період забезпечувався внесенням $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} – 0,67 %, що на 0,11 % більше за показник (0,56 %), який ми отримали у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$. За зменшення норми до рівнів $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст цього елемента становив 0,59 та 0,61 % на суху речовину відповідно. У фазу бутонізації показник вмісту фосфору збільшився в усіх варіантах і досяг меж 0,65–0,77 %. Найбільше фосфору містилось у коренях картоплі у варіанті, де застосовували розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ – 0,77 %. За локального використання такої ж норми фосфорних та калійних добрив вміст фосфору був меншим на 0,05 % від вищезазначеного варіанту і становив 0,72 % на суху речовину.

Таблиця 5.8

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в коренях картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	0,56	0,77	0,47	0,38	0,18
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	0,67	0,72	0,42	0,35	0,17
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	0,59	0,69	0,47	0,33	0,21
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	0,61	0,65	0,41	0,28	0,18
НІР ₀₅ /S _x , %		0,06/1,9	0,07/1,8	0,05/1,7	0,03/1,9	0,02/2,0

*на фоні N_{150}

Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало зниження вмісту цього елементу до рівня 0,69 % на суху речовину. За подальшого її зменшення до рівня $P_{40}K_{90}$ з локальним внесенням на фоні N_{150} відбулось зниження цього показника до 0,65 % на суху речовину.

У фазу цвітіння вміст фосфору коливався від 0,41 до 0,47 % на суху речовину. Найбільше його містилось у коренях рослин варіантів, де застосовували розкидне внесення в нормі $P_{80}K_{180}$ та локальне в нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} – 0,47 % на суху речовину. Водночас, локальне внесення в нормах $P_{80}K_{180}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} забезпечило показники вмісту на рівні 0,42 та 0,41 % на суху речовину відповідно.

До фази «зеленої ягоди» вміст фосфору продовжував знижуватись та коливався в межах 0,28–0,38 %. Найбільша кількість фосфору (0,38 %) в коренях рослин картоплі обумовлювалась внесенням $P_{80}K_{180}$ врозкид на фоні N_{150} . За локального внесення вищезазначеної норми фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} вміст цього елементу був меншим на 0,03 % та становив 0,35 % на суху речовину. Подальше зменшення локальної норми до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало отримання менших показників вмісту фосфору, які досягали рівня 0,33 та 0,28 % відповідно.

У фазу технічної стиглості цей показник знизився майже удвічі та перебував в межах 0,17–0,21 % на суху речовину. Найбільший вміст фосфору (0,21 %) ми отримали за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} , що на 0,04 % більше за показник (0,17 %) варіанту з локальним внесенням повної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} . Слід зазначити, що внесення аналогічної норми добрив врозкид забезпечило вміст фосфору на рівні 0,18 % на суху речовину.

Нами було встановлено, що вміст фосфору в бульбах у фазу цвітіння коливався в межах 0,36–0,40 % на суху речовину (табл. 5.9). Найбільший показник вмісту цього елементу був за локального внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} і становив 0,40 %, що на 0,03 % більше за показник (0,37 %) варіанту з локальним внесенням повної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} . За розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ показник вмісту становив 0,39 % на суху речовину.

У фазу «зеленої ягоди» вміст фосфору в бульбах картоплі знизився в усіх варіантах дослідів та був у межах 0,28–0,33 % на суху речовину. Найбільший показник (0,33 %) був отриманий за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$. За аналогічної норми фосфорних та калійних добрив, що вносились локально на фоні N_{150} він був меншим на 0,02 % та становив 0,31 % на суху речовину. Подальше зменшення норм локального внесення до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало зниження вмісту фосфору до 0,30 та 0,28 % відповідно.

У фазу технічної стиглості цей показник коливався від 0,27 до 0,31 %. Розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ обумовлювало накопичення фосфору на рівні 0,29 % на суху речовину, що на 0,02 % більше за показник варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} (0,27 %).

Таблиця 5.9

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в бульбах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин		
		цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН		
		(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	0,39	0,33	0,29
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	0,37	0,31	0,27
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	0,36	0,30	0,30
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	0,40	0,28	0,31
НІР ₀₅ /Sx, %		0,03/1,8	0,02/1,9	0,03/1,7

*на фоні N_{150}

За зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} вміст фосфору становив 0,30 %, що на 0,03 % більше за вищезазначений варіант. Подальше зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало накопичення найбільшого вмісту фосфору в бульбах картоплі серед варіантів – 0,31 % на суху речовину, що на 0,04 % більше

за показник варіанту з локальним внесенням повної норми фосфорних та калійних добрив.

Калій у рослинному організмі бере участь у проходженні низки біохімічних реакцій та процесів, в т.ч. впливає на транспортування, накопичення і перетворення вуглеводів. Він регулює осмотичний тиск у клітинах зокрема та водний режим рослин в цілому (Мазур, Мазур, Лютка & Миронова, 2021).

В умовах нашого досліді у фазу сходів відмічався високий вміст калію в листках картоплі в усіх варіантах досліді, який коливався від 5,74 до 6,49 % (табл. 5.10). Найбільшого показника (6,49 %) було досягнуто за локального внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Водночас у варіантах з локальним застосуванням більших норм фосфорних та калійних добрив ($P_{60}K_{135}$) та ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} цей показник був меншим та становив 6,06 та 5,74 % на суху речовину.

До фази бутонізації вміст калію знизився до рівня 5,20–5,88 % на суху речовину. Такі показники рослин були у оптимальних межах для цього періоду росту і розвитку рослин картоплі. Найбільше цього елемента в листках картоплі містилось за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ – 5,88 %, що на 0,16 % більше за показник (5,72 % на суху речовину), який ми отримали за внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив локально. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ обумовлювало зниження цього показника до 5,20 % на суху речовину, що менше на 0,52 % від вищезазначеного варіанту. Подальше зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} обумовлювало вміст калію на рівні 5,67 %.

У фазу цвітіння вміст калію коливався від 4,59 до 5,92 % (табл. 5.10). Розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ обумовлювало отримання найбільшого показника серед варіантів – 5,92 %, що відповідає високому вмісту цього елемента в листках. За внесення такої ж норми фосфорних та калійних добрив локально на фоні N_{150} він був меншим на 1,13 % і становив 4,79 % на суху речовину. Згідно класифікації Церлінг В. В. він характеризує оптимальний вміст у цей період. Варто зазначити, що за зменшення локальної норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} вміст калію був більший на 0,67 % за вищезазначений варіант і становив 5,46 % на суху речовину.

До фази «зеленої ягоди» вміст цього елементу збільшився в усіх варіантах та перебував у межах 4,84–6,11 % на суху речовину. Розкидний спосіб внесення $P_{80}K_{180}$ обумовлював високий вміст калію – 6,11 %. Водночас аналогічна норма фосфору та калію $P_{80}K_{180}$, що внесена локально на фоні N_{150} забезпечила також оптимальний вміст цього елементу, який був на 1,27 % менший та досягав рівня 4,84 % на суху речовину. Зменшення локальної норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало накопичення калію на рівні 4,92 %, що теж відповідало оптимальному рівню зазначеного елементу в листках, а подальше її зменшення до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} сприяло збільшенню вмісту калію порівняно з іншими варіантами з локальним внесенням. Показник становив 6,08 % на суху речовину.

Таблиця 5.10

Вміст загального калію (% на суху речовину) в листках картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	6,30	5,88	5,92	6,11	5,45
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	5,74	5,72	4,79	4,84	4,52
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	6,06	5,20	4,59	4,92	4,26
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	6,49	5,67	5,46	6,08	4,78
НІР ₀₅ /S _x , %		0,59/1,9	0,61/2,0	0,29/2,1	0,49/2,3	0,42/2,2

*на фоні N_{150}

У фазу технічної стиглості вміст калію в листках рослин знизився, але водночас перебував на високому рівні для цієї фази вегетації. Він коливався у межах 4,26–5,45 %. Найбільший показник вмісту (5,45 %) цього елементу забезпечило розкидне внесення повної норми добрив $P_{80}K_{180}$, що на 0,93 % більше за показник (4,52 % на суху речовину), який був отриманий у варіанті з локальним внесенням аналогічної норми добрив. Водночас зниження норми удвічі

забезпечило отримання показника вмісту калію на рівні 4,78 % на суху речовину, що на 0,26 % більше за показник вищезазначеного варіанту.

Вміст калію у стеблах картоплі у фазу сходів коливався в межах 7,19–7,99 % на суху речовину (табл. 5.11). Найбільший показник був за внесення $P_{80}K_{180}$ і становив 7,99 %, що на 0,50 % більше за варіант з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , де вміст становив 7,49 %. Зменшення норми фосфорних та калійних добрив до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало зниження цього показника до 7,23 та 7,19 % відповідно.

У фазу бутонізації вміст цього елементу коливався від 6,81 до 8,05 %. За розкидного способу $P_{80}K_{180}$ він досягав найбільшого рівня серед варіантів – 8,05 %. Локальне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} забезпечило отримання вмісту на рівні 7,53 % на суху речовину, що на 0,52 % менше від показника вищезазначеного варіанту. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} обумовлювало накопичення калію в стеблах на рівні 6,81 % на суху речовину, що на 0,72 % менше від показника варіанту з повною локальною нормою. За подальшого її зменшення до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} показник вмісту калію досягав 7,98 % на суху речовину, що на 0,45 % більше за показник варіанту з локальним внесенням удвічі більшої норми.

Таблиця 5.11

Вміст загального калію (% на суху речовину) в стеблах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	7,99	8,05	7,82	6,72	4,56
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	7,49	7,53	6,23	5,86	4,07
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	7,23	6,81	6,10	5,16	4,13
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	7,19	7,98	5,79	6,28	3,77
Н _Р 05/Сх, %		0,94/1,8	0,76/1,9	0,53/2,1	0,65/2,0	0,23/2,2

*на фоні N_{150}

До фази цвітіння вміст калію в стеблах рослин картоплі знизився до рівня 5,79–7,82 %. Це може бути обумовлено тим, що рослина почала його активно використовувати для формування бульб. Застосування $P_{80}K_{180}$ врозкид зумовлювало накопичення найбільшої кількості калію серед варіантів – 7,82 %. Водночас за аналогічної норми фосфору та калію внесеної локально на фоні N_{150} цей показник був меншим на 1,59 % і становив 6,23 % на суху речовину. За зменшення норм до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} показник вмісту калію в стеблах знижувався до рівня 6,10 та 5,79 % на суху речовину.

У фазу «зеленої ягоди» цей показник був у межах 5,16–6,72 %. Розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало найвищий рівень калію серед варіантів – 6,72 %. Водночас за локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} він був меншим та досягав рівня – 5,86 %. Зменшення норми удвічі до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало підвищення цього показника до рівня 6,28 % на суху речовину.

До фази технічної стиглості вміст калію знизився в усіх варіантах дослідів і коливався від 3,77 до 4,56 %. Таке зниження пов'язане з використанням цього елементу рослиною для формування врожаю та реутилізацією. Найбільше його містилось у стеблах рослин у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$ – 4,56 %. У варіанті з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} він був меншим на 0,49 % і становив 4,07 % на суху речовину. За зниження норми до $P_{60}K_{135}$ цей показник був дещо більший та досягав рівня 4,13 %. Зниження норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало найнижчий вміст калію серед варіантів – 3,77 % на суху речовину.

У фазу сходів вміст калію в коренях рослин картоплі коливався від 5,19 до 5,88 % (табл. 5.12). Найбільший показник (5,88 % на суху речовину) обумовлювало розкидне внесення $P_{80}K_{180}$, що на 0,67 % більше за показник варіанту з аналогічною нормою фосфорних та калійних добрив, яка вносились локально на фоні N_{150} (5,21 % на суху речовину). Зменшення норми удвічі до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало збільшення цього показника (5,39 % на суху речовину).

До фази бутонізації вміст калію в коренях знизився до рівня 4,63–5,46 %. За локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} цей показник становив 4,96 % на суху

речовину. За зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} показник вмісту збільшився до рівня 5,18 %.

У фазу цвітіння вміст калію коливався від 3,79 до 4,48 %. Найбільше його містилось за внесення повної норми $P_{80}K_{180}$ врозкид – 4,48 % на суху речовину. За внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив, що використовувалась локально цей показник був меншим на 0,69 % та становив 3,79 % на суху речовину. За подальшого зменшення норм до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} показники вмісту калію були вищими порівняно з вищезазначеним варіантом та становили 4,09 та 4,44 % відповідно.

Таблиця 5.12

Вміст загального калію (% на суху речовину) в коренях картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин				
		сходи	бутонізація	цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія ВВСН				
		(0–10)	(51–59)	(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	$P_{80}K_{180}^*$	5,88	5,46	4,48	3,57	3,09
локальний	$P_{80}K_{180}^*$	5,21	4,96	3,79	2,87	2,79
локальний	$P_{60}K_{135}^*$	5,19	4,63	4,09	3,09	2,23
локальний	$P_{40}K_{90}^*$	5,39	5,18	4,44	3,48	2,74
НІР ₀₅ /S _x , %		0,55/2,0	0,55/1,8	0,37/1,9	0,31/2,1	0,29/1,9

*на фоні N_{150}

До фази «зеленої ягоди» вміст калію в коренях рослин картоплі продовжував знижуватись до рівня 2,87–3,57 %. За розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ показник вмісту був найбільшим серед варіантів та становив 3,57 % на суху речовину. Аналогічна норма фосфорних та калійних добрив, що вносились локальним способом на фоні N_{150} обумовлювала накопичення цього елемента на рівні 2,87 % на суху речовину, що на 0,70 % менше показника вищезазначеного варіанту. За зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} вміст цього елемента був на рівні 3,09 %. Подальше зменшення

норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало найбільший вміст калію в коренях картоплі серед варіантів з локальним внесенням добрив – 3,48 %.

У фазу технічної стиглості вміст цього елементу в коренях картоплі коливався в межах 2,23–3,09 %. Слід відмітити, що за весь період вегетації зберігалась тенденція найбільшого вмісту калію за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . У цей період зазначений показник становив 3,09 %. Локальне внесення такої ж норми фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} обумовлювало накопичення калію на рівні 2,79 % на суху речовину, що на 0,30 % менше від вищезазначеного варіанту. За зменшення норм внесення до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} цей показник досягав рівня 2,23 та 2,74 % на суху речовину відповідно.

Вміст калію в бульбах картоплі в період масового цвітіння коливався в межах 3,60–4,02 % на суху речовину (табл. 5.13). Найбільший показник (4,02 %) обумовлювало розкидне внесення повної норми добрив $P_{80}K_{180}$. Застосування локального внесення з аналогічною нормою добрив обумовлювало менший показник, який був на рівні (3,69 %). За зменшення локальної норми удвічі ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} накопичення калію було на рівні – 3,83 %, що на 0,14 % більше за показник вищезазначеного варіанту.

До фази «зеленої ягоди» вміст калію знизився до меж 2,73–3,47 %. Найбільше накопичення цього елементу (3,47 %) було у варіанті з розкидним внесенням $P_{80}K_{180}$, що на 0,57 % більше за показник варіанту (2,90 %) з локальним внесенням аналогічної норми фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} . Зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало збільшення цього показника до рівня 3,27 %, що на 0,37 % більше за показник вищезазначеного варіанту.

У фазу технічної стиглості показник вмісту калію коливався від 2,52 до 3,42 %. Тенденція накопичення калію не змінилась. Найбільше його містилось за внесення $P_{80}K_{180}$ врозкид – 3,42 % на суху речовину. Застосування аналогічної норми фосфорних та калійних добрив локально на фоні N_{150} обумовлювало накопичення калію на рівні 2,80 % на суху речовину, що на 0,62 % менше вищезазначеного показника.

Вміст загального калію (% на суху речовину) в бульбах картоплі столової за різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Фаза росту і розвитку рослин		
		цвітіння	«зелена ягода»	технічна стиглість
		Стадія BBCH		
		(60–69)	(70–79)	(91–99)
розкидний (контроль)	P ₈₀ K ₁₈₀ *	4,02	3,47	3,42
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,69	2,90	2,80
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	3,60	2,73	2,52
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	3,83	3,27	3,24
NIP ₀₅ /Sx, %		0,59/1,9	0,29/1,8	0,24/2,2

*на фоні N₁₅₀

За зменшення норми удвічі (P₄₀K₉₀) на фоні N₁₅₀ вміст калію був найвищим серед варіантів з локальним внесенням добрив та становив – 3,24 % на суху речовину.

Отже, упродовж періоду вегетації картоплі вміст макроелементів у рослинах в усіх варіантах дослідів в основному відповідав оптимальному, або високому рівню забезпечення (за даними В. В. Церлінг). Проте варто зазначити, що за розкидного внесення P₈₀K₁₈₀ на фоні N₁₅₀ відмічався найбільший вміст калію в органах рослин.

Висновки до розділу 5

Локальне внесення фосфорних і калійних добрив в нормі P₆₀K₁₃₅ на фоні N₁₅₀ забезпечувало оптимізацію біометричних показників рослин картоплі та обумовлювало формування у період цвітіння найбільшої серед варіантів маси вегетативної надземної (24,9 т/га) та підземної частини (7,59 т/га), площі листкової поверхні (29887 т/га) і листкового індексу (2,99). До фази «зеленої ягоди» за такого

способу та норми внесення добрив отримана найбільша маса бульб під одним кущем – 468 г.

Найбільший показник чистої продуктивності у період від бутонізації до цвітіння був отриманий за локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} – 6,55 г/м² сухої речовини на добу. У період цвітіння—«зелена ягода» відмічалось підвищення цього показника в усіх варіантах досліду. Найвищий рівень утворення сухої речовини був характерний для варіанту з внесенням $P_{60}K_{135}$ локально фоні N_{150} , ЧПФ досягала рівня 11,9 г/м² за добу.

Вміст макроелементів у рослинах картоплі столової упродовж вегетації по всіх варіантах в основному відповідав оптимальному, або високому рівню забезпечення з перевагою розкидного способу.

РОЗДІЛ 6

ВРОЖАЙНІСТЬ, СТРУКТУРА ВРОЖАЮ ТА ЯКІСТЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ СТОЛОВОЇ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ТА НОРМ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ

6.1. Врожайність картоплі столової за різних способів внесення добрив

Ріст та розвиток рослин є взаємопов'язаними між собою процесами. Вони обумовлюють настання певних фенологічних фаз з утворенням нових органів (вегетативних та генеративних) та появою окремих морфологічних ознак (Каленська & Кнап, 2012). У критичні періоди рослини картоплі споживають максимальну кількість поживних речовин, які необхідні для збалансованого проходження процесів метаболізму. З огляду на це виникає потреба внесення оптимальної кількості елементів живлення у вигляді мінеральних добрив для активації регуляторних механізмів росту, розвитку та стійкості сільськогосподарських рослин (Соколовська & Умрихін, 2019).

Попри те, що нині існує багато прийомів та нових технологічних розробок щодо внесення мінеральних добрив, коефіцієнт їх використання залишається недостатньо високим та коливається в межах 20–50 %. Невикористані елементи живлення зазвичай переходять до важкодоступних форм. Водорозчинні за високої вологості ґрунтів можуть промиватися (Erkayeva, 2022). За розкидного внесення високих норм мінеральних добрив може підвищуватись концентрація ґрунтового розчину в орному шарі. Це може спровокувати затримку проростання насіння та пригнічення розвитку молодих рослин (Zaheer & Akhtar, 2016).

Врожайність є найважливішим підсумковим критерієм оцінювання рівня технологій вирощування картоплі. Це інтегрований показник, що враховує кількість бульб під кущем та їх масу.

За підготовки до збирання врожаю необхідно контролювати темпи відмирання надземної частини рослин і вчасно проводити хімічну або механічну десикацію. Рівень урожайності у цей період досягає свого максимуму,

збільшується вміст крохмалю і сухої речовини у бульбах та зростає придатність до механізованого їх збирання (Lutaladio & Castaldi, 2009).

Нашими дослідженнями встановлено, що в сприятливі періоди вегетації (2019-2021 рр.) внесення повної норми фосфорних та калійних добрив розкидним способом обумовлювало найнижчий рівень врожаю серед варіантів дослідів – 29,9 т/га (табл. 6.1). Локалізація аналогічної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} сприяла приросту врожаю на рівні 2,30 т/га за врожайності 32,2 т/га. Зменшення норми за цього способу внесення до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало отримання найвищого рівня врожаю (34,1 т/га). За подальшого її зменшення до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} урожайність була на рівні 31,9 т/га. Останній показник був найменшим серед варіантів, де застосовували локальний спосіб внесення добрив. Слід зазначити, що навіть удвічі менша норма добрив забезпечувала приріст врожаю в межах 2,0 т/га порівняно з розкидним внесенням повної норми добрив.

Нами встановлено певну специфіку формування врожаю у сприятливі та несприятливі вегетаційні періоди. В умовах 2019 р. врожайність картоплі за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} досягала 31,5 т/га. Зменшення норми удвічі до $P_{40}K_{90}$ та внесення її локальним способом на фоні N_{150} обумовлювало суттєвий приріст врожаю (2,40 т/га) за врожайності 33,9 т/га.

У 2020 р. за розкидного внесення добрив врожайність була на рівні 29,4 т/га. Внесення аналогічної норми локальним способом обумовлювало не суттєвий приріст врожаю – 1,70 т/га. Зменшення норми локального внесення до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} зумовлювало суттєвий приріст врожаю (2,30 т/га) порівняно з вищезазначеним варіантом, де вносились повна норма добрив аналогічним способом та врозкид (4,00 т/га).

У 2021 за розкидного внесення добрив врожайність досягала рівня 28,7 т/га. Повна норма фосфорних та калійних добрив, що вносились локальним способом обумовлювала суттєвий приріст врожаю (4,50 т/га) порівняно з вищезазначеним варіантом. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало несуттєвий приріст порівняно з попереднім варіантом (1,50 т/га) та суттєвий (4,00 т/га) із варіантом, де застосовували розкидне внесення.

Таблиця 6.1

**Урожайність картоплі столової насіннєвого напряму використання (т/га) за різних способів та норм
внесення добрив, 2019–2022 рр.**

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Рік (період вегетації)														
		сприятливий												несприятливий		
		2019			2020			2021			середнє			2022		
		урожайність, т/га	приріст врожаю		урожайність, т/га	приріст врожаю		урожайність, т/га	приріст врожаю		урожайність, т/га	приріст врожаю		урожайність, т/га	приріст врожаю	
			т/га	%		т/га	%		т/га	%		т/га	%		т/га	%
розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	31,5	-	-	29,4	-	-	28,7	-	-	29,9	-	-	24,2	-	-
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	-	-	-	31,1	1,70	5,78	33,2	4,50	15,7	32,2	2,30	7,69	27,0	2,80	11,6
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	-	-	-	33,4	4,00	13,6	34,7	6,00	20,9	34,1	4,20	14,1	29,1	4,90	20,2
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	33,9	2,4	7,62	32,0	2,60	8,84	29,7	1,00	3,48	31,9	2,00	6,69	25,0	0,80	3,31
НІР ₀₅		1,84			1,75	0,21		2,40	0,40		1,82	0,56		1,82	0,43	
S _x , %		2,22			2,30	2,12		2,15	2,05		2,18	2,25		2,23	2,10	

*на фоні N₁₅₀ ▼ Контроль

У несприятливий період вегетації (2022 р.) розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало врожайність на рівні 24,2 т/га. Аналогічна норма добрив, що вносились локально сприяла підвищенню цього показника на 2,80 т/га (27,0 т/га) порівняно з вищезазначеним варіантом. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ (локально) на фоні N_{150} сприяло підвищенню врожайності до 29,1 т/га, із суттєвим приростом відносно попереднього варіанту (2,10 т/га) та з тим, де застосовували розкидне внесення повної норми добрив (4,90 т/га).

Отже, застосування $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} було доцільним, оскільки протягом усіх років досліджень забезпечувало найбільший приріст врожаю цієї культури: у сприятливий період (2019–2021 рр.) урожайність насіннєвої картоплі сорту Тирас досягала рівня 34,1 т/га, а за несприятливих умов (2022 р.) цей показник становив 29,1 т/га.

6.2. Вплив різних способів та норм внесення добрив на структуру врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання

Структура врожаю картоплі обумовлюється ключовими елементами та прийомами технології вирощування. Основними із них є обробіток ґрунту, захист рослин від шкочинних організмів, полив та удобрення. Суттєвий вплив на врожай та його структуру має саме живлення рослин. Від нього залежить ріст і розвиток рослин, інтенсивність проходження у них всіх біохімічних процесів та, як наслідок, кількість та розміри бульб. Зазвичай рослини картоплі потребують максимуму елементів живлення у період активного їх росту, бульбоутворення та формування бульб. Оскільки коренева система картоплі є слаборозвиненою, вона не може без удобрення забезпечити надходження достатньої кількості поживних елементів. Саме їх нестача в ці періоди росту та розвитку може лімітувати урожайність (Lutaladio & Castaldi, 2009).

Структура врожаю є однією із складових, яка визначає його насіннєву та товарну цінність. Насамперед, бульби повинні відповідати вимогам ДСТУ 4013–

2001 щодо розміру та не мають виходити за межі встановлених показників. Для контролю розмірів бульб необхідно проводити своєчасну десикацію з урахуванням особливостей сорту та у період, коли основна їх маса набирає розмірів у межах 28–55 мм. Однорідність та розмір насіннєвого матеріалу картоплі має важливе значення для правильного встановлення норми та якості посадки, а також впливає на вартість гектарної норми насіння (Bykin & Panchuk, 2021).

Нами встановлено, що в сприятливі роки (2019-2021 рр.) за розкидного внесення повної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} стандартна частина врожаю досягала 23,3 т/га, що було найменшим серед варіантів. Вихід нестандартних фракцій був найбільшим та становив 6,58 т/га. Аналогічна норма добрив, але вже внесена локальним, способом обумовлювала приріст стандартної частини врожаю (29,5 т/га) на 6,20 т/га порівняно з попереднім варіантом. Нестандартна частина була меншою на 3,43 т/га та становила 3,19 т/га. Зменшення норми локального внесення на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} сприяло найбільшому виходу стандартної частини врожаю (31,7 т/га, або 93,2 % від загальної маси врожаю). Розподіл по фракціях в урожаї відбувся наступним чином: бульби розміром: 28–35 мм – 2,70 т/га, 35–45 мм – 13,9 т/га, а 45–55 мм – 15,1 т/га. Нестандартна частина становила 2,40 т/га, або 6,80 %, що найменше серед усіх варіантів дослідів. Зменшення норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало зниження маси стандартної частини врожаю (26,7 т/га) на 5,00 т/га порівняно з попереднім варіантом і на 2,80 т/га з варіантом, де застосовували повну норму аналогічним способом внесення. Проте, цей показник більший на 3,40 т/га за аналогічний варіант, де вносили удвічі більшу норму добрив розкидним способом. Нестандартна частина врожаю становила 5,28 т/га.

Розглядаючи особливості фракційного складу врожаю за сприятливі роки було встановлено, що у 2019 р. розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало вихід стандартної частини врожаю на рівні 18,6 т/га (59,0 % від загальної маси врожаю) (табл. 6.2). Вихід нестандартної частини фракцій бульб картоплі за розкидного способу досягав рівня 12,9 т/га (41,0 %). Локальне внесення удвічі меншої норми фосфорних та калійних добрив ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} забезпечило

вихід стандартних фракцій на рівні 22,4 т/га (66,1 %), що на 3,80 т/га більше за показник вищезазначеного варіанту. Нестандартна частина становила 11,5 т/га (33,9 %).

В умовах 2020 р. розкидне внесення фосфорних та калійних добрив з нормою ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} зумовлювало найнижчий серед варіантів вихід фракцій стандартної частини врожаю – 26,7 т/га. Нестандартна його частина становила – 2,74 т/га. Локальне внесення аналогічної норми забезпечувало вихід стандартної частини врожаю на рівні 29,1 т/га, що на 2,4 т/га більше порівняно з попереднім варіантом. Нестандартна частина становила 2,11 т/га. Найвищий рівень виходу стандартної частини врожаю (31,6 т/га) був отриманий за внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} . Нестандартна частина врожаю була найменшою – 1,85 т/га. Зниження норми за аналогічного способу внесення до меж $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало отримання стандартної частини на рівні 30,3 т/га (94,7 % від загального врожаю). Вихід нестандартних фракцій бульб картоплі досягав рівня 1,72 т/га (5,30 %). Цей показник був найнижчим серед варіантів дослідів.

У 2021 р. за розкидного внесення ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} стандартна частина врожаю досягала 24,6 т/га, що було найменшим серед варіантів дослідів. Нестандартна частина становила 4,09 т/га. Аналогічна норма добрив, але внесена локально сприяла підвищенню виходу стандартної частини врожаю на 4,70 т/га (29,3 т/га). Вихід нестандартної частини досягав 4,25 т/га, що було найбільшим серед варіантів. Зменшення локальної норми добрив на 25 % ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} обумовлювало отримання найбільшої маси стандартної частини врожаю серед усіх варіантів – 30,7 т/га. Нестандартна частина становила 4,00 т/га. Подальше зменшення норми до рівня $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало зниження загальної маси стандартної частини до 27,1 т/га (91,2 % від загальної маси врожаю), що на 3,6 т/га менше від попереднього варіанту і на 2,20 т/га від варіанту з повною нормою добрив, що вносились локально. Та на 2,50 т/га більше від варіанту, де добрива вносились розкидним способом. Вихід нестандартної частини в цьому варіанті досягав рівня 2,60 т/га (8,80 % від загальної маси врожаю).

Таблиця 6.2

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання у сприятливі роки за різних способів і норм внесення добрив, 2019–2021 рр.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								нестандартна					
		28–35		35–45		45–55		всього		<28		>55		всього	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2019 р. (сприятливий)															
розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,42	10,9	6,46	20,5	8,74	27,7	18,6	59,0	1,42	4,51	11,5	36,5	12,9	41,0
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,55	7,52	8,26	24,4	11,6	34,2	22,4	66,1	1,32	3,89	10,2	30,1	11,5	33,9
НІР ₀₅		0,26		0,40		0,71		1,27		0,13		0,37		1,23	
Sx%		2,50		2,11		2,20		2,36		2,14		1,95		2,90	
2020 р. (сприятливий)															
розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	4,56	15,5	16,0	54,4	6,14	20,9	26,7	90,7	1,59	5,41	1,15	3,91	2,74	9,30
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,72	8,75	14,3	46,0	12,1	38,9	29,1	93,2	1,11	3,57	1,00	3,22	2,11	6,78
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,66	7,96	15,8	47,3	13,1	39,2	31,6	94,6	0,82	2,46	1,03	3,08	1,85	5,40
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	4,35	13,6	17,8	55,6	8,12	25,4	30,3	94,7	1,06	3,31	0,66	2,06	1,72	5,30
НІР ₀₅		0,40		1,31		0,73		2,12		0,14		0,15		0,18	
Sx%		2,32		1,96		2,10		2,14		1,97		2,30		2,34	
2021 р. (сприятливий)															
розкидний▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,23	7,77	10,3	35,9	12,1	42,2	24,6	85,7	0,95	3,31	3,14	10,9	4,09	14,3
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,00	9,04	12,8	38,6	13,5	40,7	29,3	88,3	0,80	2,41	3,45	10,4	4,25	11,7
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,73	7,87	11,9	34,6	16,1	46,4	30,7	88,5	0,37	1,07	3,63	10,5	4,00	11,5
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	1,95	6,57	11,3	38,0	13,8	46,5	27,1	91,2	0,60	2,02	2,00	6,73	2,60	8,80
НІР ₀₅		0,16		0,74		1,45		2,32		0,10		0,23		10,9	
Sx%		1,98		2,03		2,17		2,42		2,31		2,11		2,21	

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Середнє за сприятливі роки (2019-2021 рр.)															
розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,40	11,4	10,9	36,5	8,99	30,1	23,3	77,9	1,32	4,41	5,26	17,6	6,58	22,1
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,86	8,98	13,6	42,2	13,0	40,4	29,5	90,1	0,96	2,98	2,23	69,9	3,19	9,90
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,70	7,92	13,9	40,8	15,1	44,3	31,7	93,2	0,60	1,76	2,33	79,5	2,40	6,80
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,95	9,25	12,5	39,2	11,2	35,1	26,7	83,7	0,99	3,10	4,29	81,3	5,28	16,3
HIP ₀₅		0,21		1,00		1,08		1,65		0,12		4,41		0,42	
Sx%		1,94		2,02		2,11		1,94		2,08		2,14		2,03	

*На фоні N₁₅₀ ▼ Контроль

Таблиця 6.3

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напряму використання у несприятливий рік за різних способів і норм внесення добрив, 2022 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								нестандартна					
		28–35		35–45		45–55		всього		<28		>55		всього	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,13	12,9	9,20	38,0	9,13	37,7	21,5	88,8	1,66	6,86	1,10	4,55	2,76	11,2
Локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,53	9,37	12,4	45,9	9,80	36,3	24,7	91,5	0,97	3,59	1,28	4,74	2,25	8,50
Локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,87	9,86	13,5	46,4	10,1	34,7	26,5	91,1	1,12	3,85	1,51	5,19	2,63	8,90
Локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,60	10,4	10,5	42,0	9,77	39,1	22,9	91,6	1,00	4,00	1,12	4,48	2,12	8,40
НІР ₀₅		0,19		1,10		1,09		1,69		0,12		0,16		0,21	
Sx%		1,96		2,08		2,14		1,98		2,12		1,91		2,07	

*На фоні N₁₅₀ ▼ Контроль

В умовах 2022 р., який був в окремі періоди вегетації не сприятливим для вирощування картоплі, у варіанті з розкидним внесенням повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) загальна маса стандартної частини врожаю була на рівні 21,5 т/га і була найменшою серед варіантів дослідів (табл. 6.3). Нестандартна частина досягала рівня 2,76 т/га. За внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив локально порівняно з вищезазначеним варіантом приріст становив 3,20 т/га, а сума стандартних фракцій досягала меж 24,7 т/га. Нестандартна частина була на рівні 2,25 т/га, що на 0,51 т/га менше від попереднього варіанту. Зниження норми локального внесення на 25 % ($P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150}) сприяло виходу найбільшої маси стандартної частини у врожаї (26,5 т/га), приріст до попереднього варіанту досягав – 1,8 т/га. Нестандартна частина складала 2,63 т/га. Внесення $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} зумовлювало отримання стандартної частини врожаю на рівні 22,9 т/га, що було найменшим серед варіантів з локальним внесенням добрив. Проте, цей показник був більшим на 1,40 т/га за аналогічний варіант з розкидним внесенням удвічі більшої норми добрив (різниця була несуттєвою). Маса нестандартної частини досягала рівня 2,12 т/га.

Товарні та насіннєві показники якості бульб картоплі визначаються не тільки величиною врожаю та його структурою, а й коефіцієнтом розмноження. Цей показник свідчить про високу або низьку потенційну здатність сорту до самовідтворення. Коефіцієнт розмноження дорівнює відношенню кількості бульб насіннєвих фракцій в отриманому урожаї до кількості, яка була висаджена в полі.

В умовах нашого дослідів, за сприятливі роки (2019–2021 рр.) найбільший вихід насіннєвих бульб розміром 28–35 мм був отриманий за розкидного внесення повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) – 3,40 т/га, що враховуючи норму посадки для цієї фракції (2,5 т/га) дозволяє отримати посівну площу розміром 1,36 га (табл. 6.4). Аналогічна норма добрив, але внесена локально забезпечувала дещо менший вихід цієї фракції – 2,86 т/га, що забезпечує висаджування на 1,14 га. Зниження норм локального внесення до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ забезпечувало посівну площу на рівні 1,08 га та 1,18 га відповідно. Використання насіннєвих бульб зазначеної фракції виходить більш дешевим (менші витрати на зберігання, логістику, протруювання,

менша норма посадки і т. д.). Проте йому слід приділяти більше уваги, ніж насінню інших фракцій за визначення норми посадки, яка вираховується виходячи із кількості продуктивних стебел на гектар, тому що бульби розміром 28–35 мм можуть мати в середньому близько 3 стебел.

З практичної точки зору, найбільш оптимальними за розміром є бульби 35–45 мм та 45–55 мм. Наші дослідження показали, що за розкидного внесення ($P_{80}K_{180}$) вихід бульб розміром 35–45 мм був найменшим серед варіантів (10,9 т/га), що вистачить для висаджування лише на 3,11 га. Аналогічна норма добрив ($P_{80}K_{180}$), що вносились локально на фоні N_{150} забезпечувала збільшення показника майбутньої посівної площі до рівня 3,89 га. Зниження локальної норми до $P_{60}K_{135}$ забезпечувало найбільший вихід фракції серед варіантів (13,9 т/га), що за норми посадки 3,50 т/га вистачить для 3,97 га.

Таблиця 6.4

Вихід насіння картоплі сорту Тирас та розрахункових гектарних норм для висаджування за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив у сприятливі роки, 2019–2021 рр.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція насіння бульб, мм						Сума стандартних фракцій		Коефіцієнт розмноження
		28–35		35–45		45–55				
		вихід, т/га	посівна площа, га	вихід, т/га	посівна площа, га	вихід, т/га	посівна площа, га	вихід, т/га	посівна площа, га	
розкидний (контроль)	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,40	1,36	10,9	3,11	8,99	2,00	23,3	6,47	6,47
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,86	1,14	13,6	3,89	13,0	2,89	29,5	7,92	7,92
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,70	1,08	13,9	3,97	15,1	3,36	31,7	8,41	8,41
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,95	1,18	12,5	3,57	11,2	2,49	26,7	7,24	7,24
Норма висаджування, т/га		2,50		3,50		4,50				
НІР ₀₅		0,21	0,07	1,00	0,21	1,08	0,28	1,95	0,97	
Sx%		1,94	1,98	2,02	2,03	2,11	2,14	2,23	2,20	

*На фоні N_{150}

Аналізуючи розподіл фракції розміром 45–55 мм серед варіантів було встановлено, що за розкидного внесення вихід цієї фракції (8,99 т/га) був

найменший. Ця кількість насіння забезпечувала посівну площу розміром 2,00 га. Застосування аналогічної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) локально сприяло збільшенню виходу фракції на 4,01 т/га до рівня 13,0 т/га. Кількість цього насіння вистачить для висаджування на 2,89 га. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ обумовлювало найбільший вихід зазначеної фракції (10,1 т/га). За норми висаджування 4,50 т/га може забезпечити площу висаджування розміром 2,24 га.

За сприятливі роки в середньому найбільший вихід стандартних фракцій (31,7 т/га), розмір посівної площі (7,25 га) та найбільший коефіцієнт розмноження серед варіантів (7,25) забезпечувало локальне внесення $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} .

У несприятливий рік (2022 р.) найбільший вихід фракцій розміром 28–35 мм був отриманий у варіанті з розкидним внесенням ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} – 3,13 т/га. Ця кількість забезпечувало посівну площу розміром 1,25 га (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

Вихід насіння картоплі сорту Тирас та розрахункових гектарних норм для висаджування за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив у несприятливий рік, 2022 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція насіння бульб, мм						Сума стандартних фракцій		Коефіцієнт розмноження
		28–35		35–45		45–55		вихід, т/га	посівна площа, га	
		вихід, т/га	посівна площа, га	вихід, т/га	посівна площа, га	вихід, т/га	посівна площа, га			
розкидний (контроль)	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,13	1,25	9,20	2,63	9,13	2,03	21,5	5,91	5,91
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,53	1,01	12,4	3,54	9,80	2,18	24,7	6,73	6,73
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,87	1,15	13,5	3,86	10,1	2,24	26,5	7,25	7,25
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,60	1,04	10,5	3,00	9,77	2,17	22,9	6,21	6,21
Норма висаджування, т/га		2,50		3,50		4,50				
НIP ₀₅		0,19	0,10	1,10	0,30	0,58	0,11	2,01	0,94	
Sx%		1,96	2,04	2,08	2,11	2,14	2,02	2,14	2,10	

*На фоні N_{150}

Аналогічна норма добрив, яка внесена локально обумовлювала менший вихід бульб зазначеного розміру на 0,60 т/га. За таких умов посадкова площа становила

1,01 га, що на 0,24 га менше порівняно з вищезазначеним варіантом. Зменшення локальної норми на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ обумовлювало формування бульб цієї фракції на рівні 2,87 т/га та забезпечення площі висаджування розміром 1,15 га.

Кількість насіння бульб розміром 35–45 мм у варіанті, де застосовували розкидне внесення сформувалось на рівні 9,20 т/га, що забезпечило посівну площу розміром 2,03 га. Аналогічна норма фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} обумовлювала вихід зазначеної фракції на рівні 12,4 т/га. Такий вихід насіння зазначених розмірів з 1 га забезпечить посівну площу в майбутньому розміром 3,54 га. Зменшення норми локального внесення на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ сприяло виходу найбільшої маси цієї фракції (13,5 т/га). Що дозволяє збільшити посівну площу на 0,32 га порівняно з попереднім варіантом та на 1,23 га відносно варіанту з розкидним внесенням.

Аналізуючи розподіл фракції розміром 45–55 мм серед варіантів було встановлено, що за розкидного внесення вихід бульб зазначеного розміру був найменшим – 9,13 т/га, ця кількість забезпечила посівну площу розміром 2,03 га. Аналогічна норма добрив, що вносились локально сприяла збільшенню виходу фракції до рівня 9,80 т/га та посівної площі до рівня 2,18 га. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ забезпечувало найбільший вихід зазначеної фракції (10,1 т/га) та розширення посівної площі до 2,24 га.

В середньому за несприятливий рік за виходом стандартних фракцій (26,5 т/га) із забезпеченням посівної площі 7,25 га та коефіцієнтом розмноження 7,25 варіант із локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} вирізнявся найбільшими показниками. Проте вони суттєво поступались аналогічним показникам цього варіанту у сприятливі роки.

Отже, локальне внесення фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} обумовлювало позитивний вплив на фракційний склад врожаю бульб картоплі. Застосування $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} сприяло виходу найбільшої маси стандартних фракцій серед варіантів протягом усіх років досліджень. У сприятливі роки (2019–2021 рр.) стандартна частина врожаю досягала рівня 31,7 т/га, що становило 93,2 % від загальної його маси, а нестандартна – 2,40 т/га (6,80 % від

загальної маси). Коефіцієнт розмноження становив 8,41. У несприятливий рік ця норма добрив за локального способу внесення теж обумовлювала максимально позитивний вплив, але з тенденцією зменшення цих показників (маса стандартних фракцій досягала – 26,5 т/га, нестандартних – 2,63 т/га, коефіцієнт розмноження 7,25).

6.3. Вплив різних способів та норм внесення добрив на окремі біохімічні показники якості бульб картоплі столової

Для такої культури, як картопля, важливе значення мають біохімічні показники якості бульб. Ключову роль в цьому відіграють підбір сортів і технологія вирощування в т.ч. система удобрення (Воробйова, 2013). Відповідність показників якості вимогам свідчить про технологічну придатність бульб картоплі для використання в різних сферах переробки та виробництва, що також впливає на економічну привабливість вирощування цієї культури (Stark, Love & Knowles, 2020)

Бульби картоплі використовують для різних напрямків споживання, тому для високого виходу готової продукції необхідно забезпечити отримання врожаю з відповідними до вимог показниками якості. Основним, з яких є вміст сухої речовини, крохмалю, вітаміну С та нітратів. Суха речовина є важливим показником за використання картоплі у свіжому вигляді та на переробку. В бульбах її міститься близько 20 %, в т.ч. 14–22 % крохмалю (Stark, Love & Knowles, 2020). За її вмісту в межах 18–20 % бульби стають більш чутливими до поверхневого травмування, однак вони краще розварюються. Для переробляння зазвичай, використовують бульби, які містять велику кількість сухої речовини (20–25 %), що обумовлює привабливий колір після смаження, завдяки безпосередньому впливу на якість обжарювання та швидкість поглинання олії. Кількість сухої речовини може залежати від сорту, терміну висаджування бульб, технології вирощування, температури та вологості ґрунту. Неоднакові умови живлення рослин можуть обумовлювати коливання цього показника навіть у межах одного сорту. Важливу

роль для її накопичення в бульбах відіграють азот, калій і магній (Feltran, Lemos & Vieites, 2004; Бикін & Панчук, 2022).

За результатами наших досліджень найбільший вплив на накопичення сухої речовини в бульбах картоплі сорту Тирас обумовлювало локальне внесення фосфорних та калійних добрив в нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} (19,7 %) (рис. 6.1). Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} зумовлювало не суттєве зниження цього показника – 19,5 %. Застосування локально удвічі меншої норми ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} забезпечувало в бульбах на 0,80 % менший вміст сухої речовини порівняно з попереднім варіантом і на 1,00 % порівняно із варіантом, де застосовували повну норму ($P_{80}K_{180}$) фосфорних та калійних добрив локально на фоні N_{150} . Варто зазначити, що за розкидного внесення $P_{80}K_{180}$ цей показник був найменшим серед варіантів досліді. Він досягав рівня 16,5 %, що на 3,2 % менше за аналогічний показник варіанту з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} , а також на 2,2 % менше від варіанту з внесенням удвічі меншої норми добрив ($P_{40}K_{90}$) локально на фоні N_{150} .

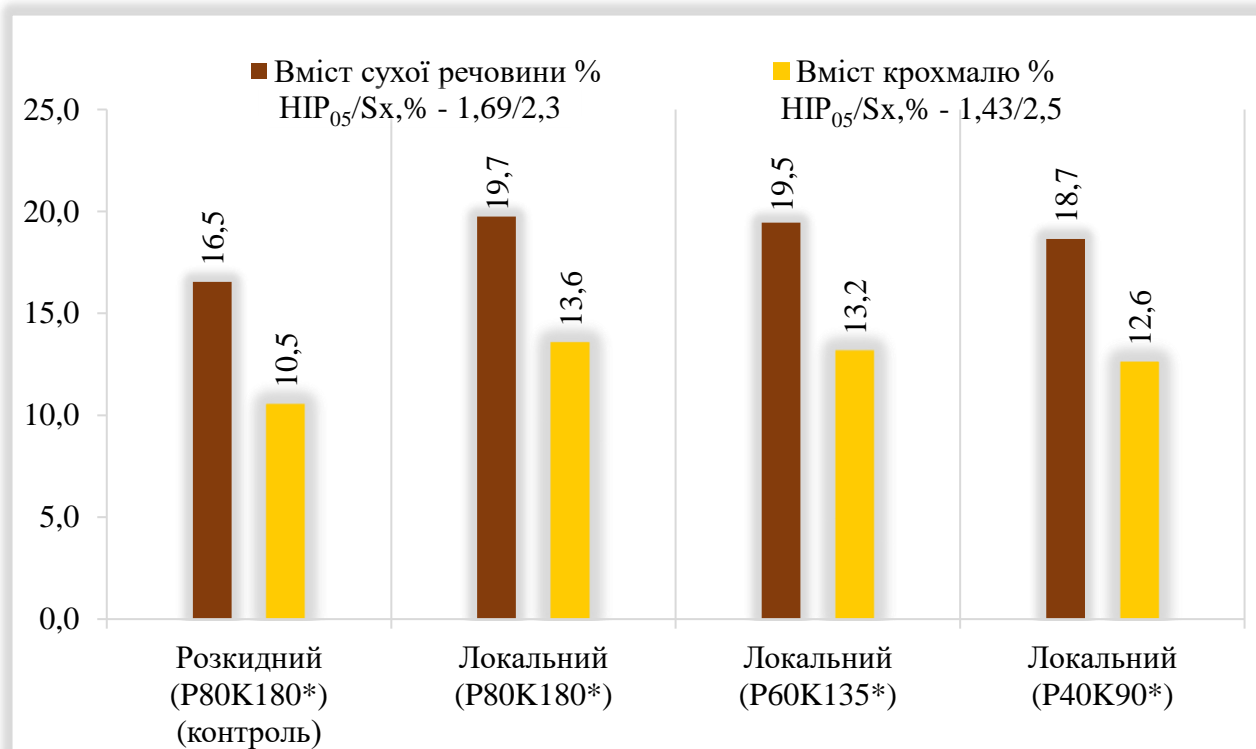


Рис. 6.1. Залежність вмісту сухої речовини та крохмалю (%) в бульбах картоплі від способів та норм внесення добрив, середнє за 2019–2021 рр.

Крохмаль є незамінним у харчовій, фармацевтичній та целюлозно-паперовій промисловості. Зі збільшенням його вмісту в бульбах підвищується їхня харчова, кормова і технічна цінність, а також покращується їх лежкість у період зберігання. Він є одним із найважливіших вуглеводів, які визначають поживну цінність картоплі, її калорійність та розварюваність. Крохмаль складає основну масу сухої речовини бульб – від 8 до 29 % залежно від сорту (Fontes, Braun, Busato & Cecon, 2010). Його вміст, насамперед, залежить від біологічних особливостей сортів, водного режиму впродовж вегетації, а також від попередників, строків посадки, способів та норм внесення добрив. На накопичення крохмалю впливає низка інших чинників в т. ч. агрометеорологічні умови та якість насіннєвого матеріалу. Прохолодні та надмірно зволожені погодні умови можуть негативно впливати на вміст крохмалю в бульбах одного сорту. Нестача тепла та світла обумовлює утворення значно меншої кількості сухої речовини і крохмалю (Бикін & Панчук, 2022).

В умовах нашого досліджу, найвищим вмістом крохмалю (13,6 %) характеризувалися бульби вирощені у варіанті з локальним внесенням повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} . Зниження норми до $P_{60}K_{135}$ (локальне внесення) на фоні N_{150} обумовлювало не суттєве зниження цього показника до рівня 13,2 %, що лише на 0,40 % менше за показник вищезазначеного варіанту (рис. 6.1).

Локальне внесення удвічі меншої норми фосфорних та калійних добрив ($P_{40}K_{90}$) локально на фоні N_{150} зумовлювало зниження вмісту крохмалю до 12,6 %, що на 1,00 та 0,60 % менше від варіантів з локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ та $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} , але водночас на 2,10 % більше за контроль, показник якого досягав 10,5 % (найменший серед варіантів досліджу).

Картопля є одним із основних джерел вітамінів у раціоні харчування людини. В її бульбах містяться вітаміни С, Р, К, інозит, біотин, холін, провітамін А та вітаміни групи В. Вітамін С у картоплі міститься у значній кількості. Вживання 200–300 г картоплі на добу покриває половину потреби людини у цьому вітаміні. У бульбах він міститься у формі аскорбінової та дегідроаскорбінової кислоти і концентрується у камбіальному шарі бульб (Бикін & Панчук, 2022). Вміст вітаміну

С залежить від сортових особливостей, ґрунтових, погодніх умов та технології вирощування. Вплив останніх факторів переважає перший. Цей вітамін краще накопичується в бульбах картоплі за вирощування на легких ґрунтах. За надлишку азоту та калію у ґрунті вміст вітаміну С може знижуватись, тоді як фосфор обумовлює його збільшення. Суха та тепла погода сприяє накопиченню аскорбінової кислоти, а прохолодна та волога зумовлює зниження інтенсивності цього процесу (Bhattarai & Swarnima, 2016).

В умовах нашого дослідження внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} не сприяло збільшенню вітаміну С в бульбах картоплі. Порівняно з іншими варіантами цей показник був найнижчим – 14,9 мг%. Внесення аналогічної норми фосфорних та калійних добрив локально на фоні N_{150} сприяло збільшенню вітаміну С до рівня 16,2 мг%, що на 1,30 мг% більше за контроль. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} зумовлювало підвищення цього показника на 4,70 мг% до рівня 20,9 мг% порівняно з варіантом, де вносились повна норма добрив аналогічним способом. Найбільший вміст вітаміну С (21,6 мг%) обумовлювало локальне внесення удвічі меншої норми відносно контролю ($P_{40}K_{90}$) на фоні N_{150} .

Багатьма дослідженнями встановлено, що для отримання високих врожаїв бульб картоплі з добрими показниками якості необхідно використовувати мінеральні добрива. Втім, за несприятливих умов рослини не завжди встигають використати весь азот, який вони накопичили для створення органічної речовини. Внаслідок чого він перетворюється на солі азотної кислоти - нітрати. За певних доз їх вміст, як природного рослинного компонента в бульбах, має позитивну кореляцію з ростом і якістю продукції, а також є показником забезпеченості рослин картоплі азотом (Bhattarai & Swarnima, 2016; Westermann & Kleinkopf, 1985).

Нітрати необхідні рослинам як матеріал для синтезу білків та амінокислот. Дощова та прохолодна, або занадто спекотна і суха погода, зумовлюють зниження фотосинтетичної активності. Це може сприяти накопиченню нітратів. Найбільша їх кількість відмічається у період бульбоутворення, а найменша – у кінці вегетації (вміст нітратів знижується майже удвічі). За підвищення концентрації нітратів у рослинах значною мірою погіршується якість, а за перевищення МДР вони можуть

стати потенційно небезпечними для здоров'я людей та тварин. Показник максимально допустимого рівня для картоплі становить 250 мг нітратного азоту на 1 кг «сирих» бульб (Бикін & Панчук, 2022).

Нашими дослідженнями встановлено, що розкидне внесення $P_{80}K_{180}$ обумовлювало найбільше серед варіантів накопичення вмісту нітратів в бульбах – 17,6 мг/кг (рис. 6.2). Втім цей показник не перевищував максимально допустимий рівень.

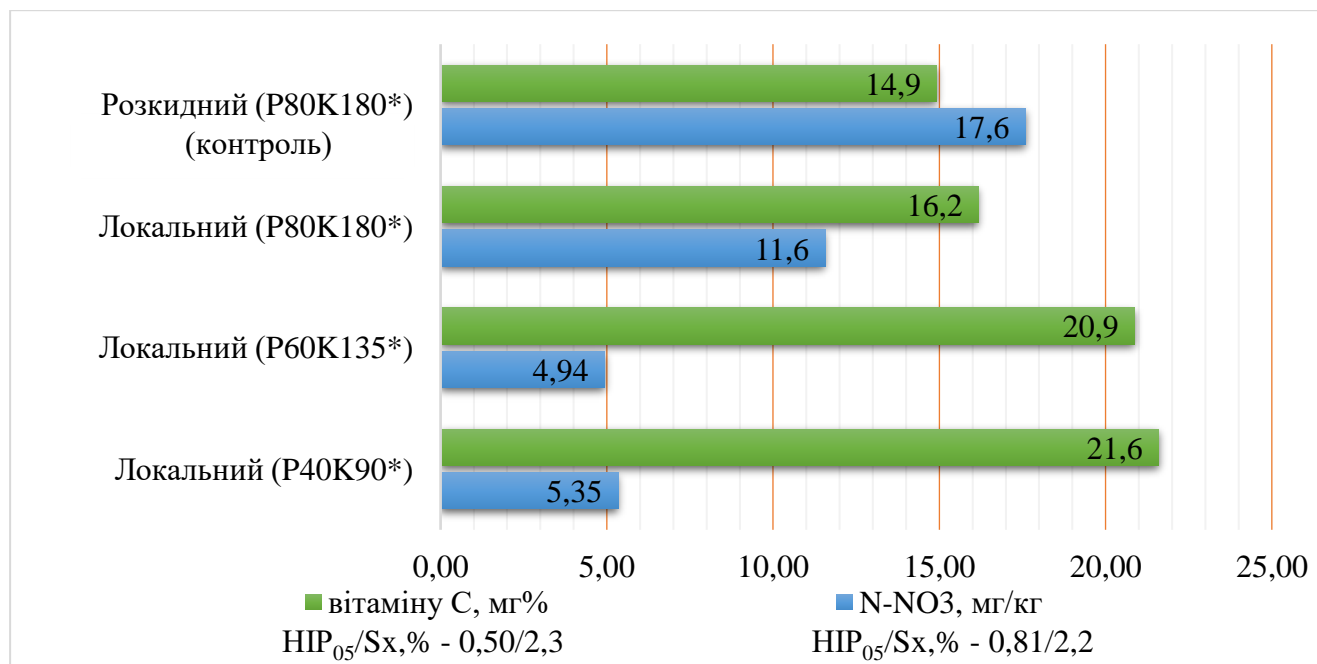


Рис. 6.2. Залежність вмісту вітаміну С (мг%) та N–NO₃ (мг/кг) в бульбах картоплі від способу та норм внесення добрив, 2019–2021 р рр.

За внесення аналогічної норми локальним способом вміст нітратів знизився на 6 % порівняно з контролем і становив 11,6 мг/кг. Зменшення норми локального внесення на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало найменше накопичення нітратів в бульбах серед усіх варіантів досліджу – 4,94 мг/кг, що на 6,66 мг/кг менше від попереднього варіанту та на 12,6 мг/кг від контролю. Зниження норми удвічі до ($P_{40}K_{90}$) локально на фоні N_{150} зумовлювало дещо більший показник – 5,35 мг/кг. Слід зазначити, що накопичення нітратів не перевищувало максимально допустимий рівень та не залежало від способу та норм внесення добрив.

Отже, застосування локального внесення $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} обумовлювало найбільший вплив на накопичення сухої речовини (19,7 %) та крохмалю (13,6 %) в бульбах картоплі сорту Тирас. Тоді як найбільший вміст вітаміну С (21,6 мг%) був отриманий за аналогічного способу внесення в нормі $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Водночас найменший вміст нітратів (4,94 мг/кг) був зафіксований у варіанті з внесенням $P_{60}K_{135}$ локально фоні N_{150} .

Висновки до розділу 6

Застосування різних норм локального внесення фосфорних та калійних добрив на фоні N_{150} забезпечувало більший рівень врожаю порівняно з розкидним способом. А саме, застосування $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} було доцільним, оскільки обумовлювало найвищу врожайність серед варіантів у сприятливі роки (34,1 т/га) та несприятливі (29,1 т/га). Такий спосіб та норма внесення добрив сприяли виходу найбільшої маси стандартних фракцій серед варіантів протягом усіх років досліджень. У сприятливі роки (2019-2021 рр.) стандартна частина врожаю досягала рівня 31,7 т/га, що становило 93,2 % від загальної маси врожаю, а нестандартна – 2,40 т/га (6,80 % від загальної маси). У несприятливий рік (2022 р.) маса стандартних фракцій знизилась до рівня 26,5 т/га, а нестандартних – 2,63 т/га.

Внесення повної норми фосфорних та калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) локально на фоні N_{150} обумовлювало найвищі серед варіантів показники вмісту сухої речовини (19,7 %) та крохмалю (13,6 %) в бульбах. Локальне внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} обумовлювало найбільший вміст вітаміну С – 21,6 мг%. Найменше накопичення нітратів у бульбах (4,94 мг/кг) обумовлювало внесення $P_{60}K_{135}$ локально фоні N_{150} .

РОЗДІЛ 7

ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ТА НОРМ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

7.1. Економічна ефективність вирощування картоплі столової за використання розкидного та локальних способів внесення добрив

Сучасні ринкові відносини передбачають обов'язкове визначення економічної ефективності, яка є ключовим елементом рослинництва і визначає доцільність вирощування культур. Економічна ефективність вирощування картоплі встановлюється шляхом порівняння грошових витрат і отриманого прибутку. Із впровадженням інтенсивних технологій поточні технологічні витрати збільшуються. Вони спрямовані на покращення режиму зволоження, підвищення рівня мінерального живлення та оптимізацію технологічних операцій по догляду за рослинами картоплі та збирання врожаю. Тому для забезпечення максимальної ефективності технологій та окупності витрачених ресурсів необхідно здійснювати всебічний аналіз їх окремих прийомів та елементів. Це буде передумовою зниження виробничих витрат за досягнутого рівня високих показників врожайності та якості продукції (Кризська & Потапенко, 2014).

Ключовим фактором економічно ефективного вирощування картоплі є збалансована система живлення рослин, яка передбачає використання більш досконалих форм мінеральних добрив, способів та строків їх внесення. Це дозволяє ефективніше управляти кількістю та собівартістю продукції (Бордюжа, 2018).

Для визначення виробничих витрат трудові, матеріальні ресурси та послуги здійснювали за цінами, які були актуальними в період проведення досліджень. Для розрахунку вартості продукції використовували закупівельні ціни, які склалися в кожний рік досліджень.

Нами встановлено, що у середньому, протягом сприятливих років (2019–2021 рр.) розкидне внесення повної норми добрив зумовлювало найнижчий

прибуток (49961 грн/га) та рентабельність (42,5 %) серед варіантів досліду (табл. 7.1). Аналогічна норма ($P_{80}K_{180}$), що вносила локальним способом на фоні N_{150} обумовлювала збільшення прибутку на 26357 грн/га до рівня 76318 грн/га за рентабельності 68,0 %. За зменшення локальної норми на 25 % до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} були встановлені найвищі показники економічної ефективності. Прибуток досягав 92203 грн/га, а рентабельність – 83,9 %. Подальше зменшення норми до ($P_{40}K_{90}$) локально на фоні N_{150} забезпечувало рентабельність на рівні 71,3 %. Прибуток досягав рівня 75252 грн/га, що менше на 16951 грн/га за показник попереднього варіанту та на 1066 грн/га від варіанту з аналогічним внесенням повної норми добрив. Проте, прибуток був більшим на 25291 грн/га порівняно з варіантом, де застосовували удвічі більшу норму фосфорних і калійних добрив врозкид.

Розглядаючи економічні показники за сприятливий період у розрізі кожного року було встановлено, що найвищими показниками економічної ефективності у 2019 р. характеризувався варіант, де застосовували локальне внесення добрив з нормою $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Прибуток складав 72585 грн/га, а рівень рентабельності досягав 72,4 %. Зазначені показники у варіанті з розкидним внесенням повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} були меншими та становили 41878 грн/га та 39,8 % відповідно.

У 2020 р. найвищий рівень прибутку (83141 грн/га) ми отримали у варіанті з локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} , а рівень рентабельності становив 76,8 %. Застосування $P_{40}K_{90}$ локально на фоні N_{150} обумовлювало прибуток на рівні 77177 грн/га, а рентабельності – 72,5 %. Внесення удвічі більшої норми мінеральних добрив врозкид ($P_{80}K_{180}$) зумовлювало найнижчий рівень прибутку серед усіх варіантів досліду – 51714 грн/га та рівня рентабельності – 46,3 %.

Таблиця 7.1

Економічна ефективність вирощування картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, 2019–2022 рр.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість, грн/т	Рівень рентабельності, %
			стандартна частина (насіння)	не стандартна частина					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019 р. (сприятливий)									
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	18,6	12,9	146984	105107	41878	3332	39,8
2	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	22,4	11,5	172872	100287	72585	2956	72,4
2020 р. (сприятливий)									
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	26,7	2,74	163351	111637	51714	3792	46,3
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	29,1	2,01	176842	110575	66267	3555	59,9
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	31,6	1,85	191428	108286	83141	3242	76,8
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	30,3	1,72	183658	106481	77177	3328	72,5
2021 р. (сприятливий)									
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	24,6	4,10	171161	114868	56292	4000	49,0
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	28,9	4,30	200175	113806	86369	3433	75,9
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	30,8	3,90	212783	111517	101265	3211	90,8
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	27,1	2,60	185708	109712	75995	3700	69,3

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середнє 2019-2021рр. (сприятливі роки)									
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	23,3	6,59	160499	110537	49961	3698	45,2
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	29,0	3,16	188509	112191	76318	3489	68,0
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	31,2	2,88	202106	109902	92203	3225	83,9
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	26,6	5,28	180746	105493	75252	3309	71,3
2022 р. (не сприятливий)									
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	21,5	2,80	125082	118356	6726	4887	5,70
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	24,7	2,30	143211	117245	25966	4346	22,1
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	26,5	2,60	153509	115234	38275	3960	33,2
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	22,9	2,10	132479	113365	19114	4536	16,9

*На фоні N₁₅₀ ▼Контроль

За 2021 р. найбільший рівень прибутку (101265 грн/га) забезпечувався локальним внесенням $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} . Рівень рентабельності за цього досягав 90,8 %. Повна норма мінеральних добрив $P_{80}K_{180}$, що вносились локально фоні N_{150} обумовлювала прибуток на рівні 86369 грн/га, а рівень рентабельності – 75,9 %. Удвічі менша норма мінеральних добрив ($P_{40}K_{90}$), що вносились аналогічним способом на фоні N_{150} зумовлювала отримання прибутку на рівні 75995 грн/га, а рентабельність досягала – 69,3 %. Розкидне внесення повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) обумовлювало найнижчий прибуток (56292 грн/га) та рівень рентабельності – 49 % в досліді.

У несприятливий період (2022 р.) розкидне внесення повної норми фосфорних та калійних добрив прибутку ($P_{80}K_{180}$) обумовлювало найнижчий рівень прибутку – 6726 грн/га за рівня рентабельності 5,7 %. Аналогічна норма добрив, що вносились локально забезпечувала підвищення прибутку до 25966 грн/га, що на 19240 грн/га більше від показника вищезазначеного варіанту за рівня рентабельності 22,1 %. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ (локально) на фоні N_{150} забезпечувало найбільший прибуток серед варіантів досліду (38275 грн/га) за рівня рентабельності 33,2 %. Внесення аналогічним способом удвічі меншої норми від контролю ($P_{40}K_{90}$) забезпечував прибуток на рівні 19114 грн/га. Рівень рентабельності досягав 16,9 %, що було найменшим серед варіантів з локальним внесенням. Проте, навіть удвічі менша норма добрив, що вносились локально забезпечувала підвищення прибутку на 12 388 грн/га порівняно з варіантом, де добрива вносились врозкид.

Важливим показником економічної ефективності вирощування насіннєвої картоплі є собівартість насіння на 1 га. В умовах нашого досліду, за сприятливі роки (2019–2021 рр.) у варіанті з розкидним внесенням повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) собівартість насіння на 1 га була найвищою у досліді – 17085 грн/га (табл. 7.2). Аналогічна норма добрив, що застосовувалась локально забезпечувала зменшення собівартості на 2920 грн/га до рівня 14165 грн/га. Застосування зменшеної на 25 % норми ($P_{60}K_{135}$) локально на фоні N_{150} обумовлювало найменшу собівартість серед варіантів досліду – 13068 грн/га, що менше на 1097 грн/га від

попереднього варіанту та на 4017 грн/га від варіанту, де повна норма добрив вносились врозкид. Локальне внесення $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало собівартість насіння на рівні 14571 грн, що на 1503 грн/га більше від вищезазначеного варіанту та на 406 грн/га більше за показник варіанту, де вносились повна норма добрив ($P_{80}K_{180}$) аналогічним способом. Проте показник собівартості насіння на 1 га був меншим на 2514 грн/га за варіант, де застосовували удвічі більшу норму добрив врозкид.

Таблиця 7.2

Економічна ефективність вирощування насіння сорту Тирас за різних способів і норм внесення фосфорних та калійних добрив, 2019–2022 рр.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Виробничі витрати, грн/га	Розрахункова посівна площа із насіння, що отримали з 1 га, га	Собівартість насіння на 1 розрахунковий га, грн
		насіння	не стандартна частина			
сприятливі роки (2019-2021 рр.)						
розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	23,3	6,59	110537	6,47	17085
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	29,0	3,16	112191	7,92	14165
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	31,2	2,88	109902	8,41	13068
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	26,6	5,28	105493	7,24	14571
несприятливий рік (2022 р.)						
розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	21,5	2,80	118356	5,91	20026
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	24,7	2,30	117245	6,73	17421
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	26,5	2,60	115234	7,25	15894
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	22,9	2,10	113365	6,21	18255

*На фоні N_{150} ▼ Контроль

У несприятливий рік (2022 р.) собівартість насіння на 1 га зросла у всіх варіантах. За розкидного внесення ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} цей показник був найбільшим (20026 грн/га). Застосування аналогічної норми локальним способом обумовлювало зниження собівартості порівняно з вищезазначеним варіантом на 20605 грн/га до рівня 17421 грн/га. Зменшення норми на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ (локально) на фоні N_{150} забезпечувало найнижчу серед варіантів собівартість (15894 грн/га), що на 1527 грн/га менше від показника попереднього варіанту та на 2605 грн/га від аналогічного у варіанті, де застосовували повну норму добрив

врозкид. Локальне застосування $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} зумовлювало собівартість на рівні 18255 грн/га, що було найвищим показником серед варіантів з локальним внесенням, але водночас на 1771 грн/га менше за показник варіанту з розкидним внесенням удвічі більшої норми фосфорних та калійних добрив.

Таким чином, застосування локального способу внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало найбільш високу економічну ефективність вирощування насінневої картоплі сорту Тирас, як у сприятливі, так і не сприятливі роки. У сприятливі роки прибуток досягав рівня 92203 грн/га, рентабельність – 83,9 %, а собівартість насіння – 13068 грн/га. У несприятливий рік зберігалась аналогічна тенденція, але рівень показників зменшився: прибуток був на рівні 38275 грн/га, рівень рентабельності досягав 33,2 %, а собівартість насіння становила 15894 грн/га.

7.2. Енергетична оцінка застосування добрив під картоплю столову за використання розкидного та локальних способів внесення добрив

Для успішного розвитку та функціонування галузі рослинництва в сільськогосподарських підприємствах необхідно проводити енергетичну оцінку технологій вирощування сільськогосподарських культур. Рослини картоплі упродовж періоду вегетації накопичують енергію урожаєм в процесі фотосинтезу. Сучасні технології вирощування картоплі потребують значних енергетичних витрат для формування високої продуктивності (мінеральні добрива, засоби захисту рослин, паливно-мастильні матеріали, сільськогосподарські машини і механізми тощо) (Бордюжа, 2019). Раціональне та ефективне використання трудових ресурсів, матеріалів та енергії є ключовою складовою системи оптимізації ефективності сільськогосподарського виробництва (Бордюжа, 2019).

Головним показником, який характеризує біоенергетичну ефективність є коефіцієнт біоенергетичної ефективності. У середньому за сприятливі роки (2019–2021 рр.), найвищий коефіцієнт біоенергетичної ефективності (7,36) був отриманий у варіанті із внесенням $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Накопичення та витрати сукупної енергії за вирощування картоплі столової з використанням різних способів та норм внесення добрив, 2019–2022 рр.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Е _у , МДж/га	К ФАР, %	Витрати антропогенної енергії (Е _а), МДж/га		К _е
					добрива, пестициди, насіння	всього	
1	2	3	4	5	6	7	8
2019 р. (сприятливий)							
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	298755	24,1	19263	50735	6,38
2	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	351257	26,8	18012	53348	6,80
2020 р. (сприятливий)							
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	296606	23,5	19263	50937	6,46
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	381278	30,3	19263	57096	7,56
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	364817	29,0	18637	55522	6,77
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	349315	27,7	18012	53654	6,88
2021 р. (сприятливий)							
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	329608	24,2	19263	50947	6,66
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	388288	28,5	19263	57106	7,16
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	367380	27,0	18637	55553	6,65
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	373234	27,4	18012	53724	6,14
Середнє 2019-2021 рр. (сприятливі роки)							
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	308323	23,9	19263	50873	6,50
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	384783	29,4	19263	57101	7,36
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	366099	28,0	18637	55538	6,71
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	357935	27,3	18012	53575	6,61

Продовження таблиці 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8
2022 р. (несприятливий)							
1	розкидний ▼	P ₈₀ K ₁₈₀ *	308976	24,5	19263	50807	5,89
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	346656	27,5	19263	56966	6,55
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	367380	29,2	18637	55423	6,22
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	331584	26,3	18012	53594	6,12

* на фоні N₁₅₀ ▼ Контроль

За аналогічного способу із зменшенням норм до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} ці показники зменшувалися до рівня 6,71 та 6,61 відповідно. Розкидне внесення повної норми фосфорних та калійних добрив обумовлювало найнижчий показник серед варіантів дослідів – 6,50.

Аналізуючи показники біоенергетичної ефективності в розрізі кожного року було встановлено, що найвищий рівень цього показника у 2019 р. (6,80) відмічався у варіанті, де застосовували локальне внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} . Тоді, як удвічі більша норма фосфорних та калійних добрив, що вносились врозкид зумовлювала зменшення цього показника до рівня 6,38.

У 2020 р. за розкидного внесення добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} коефіцієнт біоенергетичної ефективності був на рівні 6,46. Аналогічна норма добрив, що вносились локально сприяла підвищенню цього показника до 7,56. Він був найвищим серед варіантів дослідів. Зменшення норми до $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} обумовлювало коефіцієнт біоенергетичної ефективності на рівні 6,77. За зменшення норми до $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} цей показник був дещо більшим порівняно з попереднім варіантом – 6,88.

Дослідженнями встановлено, що для 2021 р. характерною аналогічна тенденція. Найвищий показник K_{ee} (7,16) був забезпечений внесенням $P_{80}K_{180}$ локально на фоні N_{150} . Аналогічна норма добрив, але вже за розкидного способу обумовлювала отримання цього показника на рівні 6,66. Внесення удвічі меншої норми $P_{80}K_{180}$ (локально) зумовлювало найменший показник 6,14.

В умовах несприятливого року (2022 р.) у варіанті, де застосовували $P_{80}K_{180}$ врозкид на фоні N_{150} коефіцієнт біоенергетичної ефективності становив 5,89 і був найнижчим серед варіантів дослідів. Проте, аналогічна норма фосфорних та калійних добрив, що вносились локально на фоні N_{150} забезпечувала підвищення цього показника до рівня 6,55. Він був найбільшим у досліді. За локального внесення зменшених норм до $P_{60}K_{135}$ та $P_{40}K_{90}$ на фоні N_{150} відмічалось зниження показника до 6,22 та 6,12 відповідно. Однак вони були більшими за показник варіанту з розкидним внесенням добрив.

Отже, система удобрення картоплі столової з використанням локального внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} забезпечувала високий рівень біоенергетичної ефективності. Не залежно від умов періоду вегетації у сприятливі роки цей показник досягав 7,36, а у несприятливі – 6,55.

Висновки до розділу 7

Використання локального внесення добрив забезпечувало оптимізацію живлення рослин картоплі упродовж всього періоду вегетації та обумовлювало підвищення економічної та біоенергетичної ефективності порівняно з розкидним способом (контролем).

Застосування фосфорних та калійних добрив з нормою внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} забезпечувало найвищі показники економічної ефективності незалежно від умов періоду вегетації. У сприятливі роки прибуток досягав рівня 92203 грн/га, рівень рентабельності – 83,9 %, собівартість насіння – 13068 грн/га. У несприятливий рік прибуток був на рівні 38275 грн/га, рівень рентабельності досягав 33,2 %, а собівартість насіння – 15894 грн/га.

Локалізація внесених добрив обумовлювала найбільш ефективне використання енергії, яка використовувалась для вирощування насіннєвої картоплі сорту Тирас. Найвищий коефіцієнт біоенергетичної ефективності забезпечувався у варіанті з локальним внесенням фосфорних та калійних добрив в нормі $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} . За сприятливих років він досягав рівня 7,36, а несприятливих – 6,55.

ВИСНОВКИ

У дисертації узагальнені експериментальні дані та обґрунтована технологічна можливість оптимізації умов живлення рослин картоплі столової шляхом локалізації внесення фосфорних та калійних добрив в передпосівне удобрення на темно-сірому опідзоленому ґрунті. Результати досліджень дають змогу зробити наступні висновки:

1. Застосування локального внесення фосфорних та калійних добрив обумовлює певні зміни в поживному режимі темно-сірого опідзоленого ґрунту. Так, у варіантах з таким способом застосування добрив формувалися навіть у період активного споживання рослинами картоплі цих елементів зони локалізації. У період найбільш інтенсивного використання фосфору (бутонізація) площа такої зони за повної норми добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} становила 12 % ($\approx 150 \text{ см}^2$) від всієї підгреbeneвої зони (1250 см^2) в поперечному розрізі із вмістом рухомого фосфору в межах 250–350 мг/кг. За розкидного способу вміст у цій зоні коливався від 119 до 291 мг/кг. За зменшення локальної норми на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} площа локалізації займала 10,9 % або ($\approx 136 \text{ см}^2$). Вміст фосфору у цій зоні коливався від 250 до 369 мг/кг.

У фазу початку найбільш інтенсивного споживання калію (масове цвітіння) площа зони локалізації досягала $\approx 200 \text{ см}^2$ (16 %) від всієї підгреbeneвої зони у поперечному розрізі. Вміст обмінного калію в цій зоні коливався від 200 до 487 мг/кг (за розкидного способу він був у межах 100–180 мг/кг). Зменшення норми на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало у період цвітіння локалізацію площею $\approx 175 \text{ см}^2$ (14 %) у поперечному розрізі. Вміст коливався від 250 до 521 мг/кг.

2. Тривалість локалізації не залежала від норми внесення фосфорних і калійних добрив. Площа локалізації зменшувалась до закінчення активного споживання рослинами картоплі цих елементів. Так у фазу цвітіння зона локалізації фосфору зменшилась на 2,80 % порівняно з попередньою фазою та займала 9,20 % від поперечного розрізу підгреbeneвої зони ($\approx 115 \text{ см}^2$). Вміст дещо знизився та

коливався від 250 до 292 мг/кг. За розкидного внесення аналогічної норми добрив вміст знизився до меж 108–261 мг/кг. Внесення $P_{60}K_{135}$ локально на фоні N_{150} зумовлювало у фазу цвітіння зменшення площі локалізації більш ніж удвічі до 4,0 % ($\approx 50 \text{ см}^2$). Вміст знизився до меж 230–263 мг/кг.

У період закінчення інтенсивного споживання калію («зелена ягода») у варіанті, де застосовували повну норму добрив ($P_{80}K_{180}$) локально відмічалось збільшення площі локалізації калію на 1,5 % до рівня $\approx 219 \text{ см}^2$. Вміст у цій зоні також підвищився до меж 250–582 мг/кг. За розкидного внесення вміст у цей період був меншим порівняно з вищезазначеним варіантом та коливався від 120 до 219 мг/кг. За зменшення норми на 25 % до рівня $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} зона локалізації зменшилась на 4 % та становила $\approx 125 \text{ см}^2$ із вмістом обмінного калію від 200 до 532 мг/кг.

3. Локалізоване внесення фосфорних та калійних добрив сприяло збільшенню врожайності картоплі сорту Тирас насіннєвого напрямку використання порівняно з розкидним способом. Застосування зниженої на 25 % норми ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} обумовлювало найвищий рівень врожаю. Зокрема, у сприятливі роки (2019–2021 рр.) він досягав рівня 34,1 т/га з приростом порівняно з розкидним способом 4,20 т/га. У несприятливий рік (2022 р.) зберігалася подібна закономірність з більш низькими показниками (врожайність – 29,1 т/га, приріст 4,90 т/га).

4. Локалізоване внесення добрив у нормі $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечило формування найбільшої частки насіннєвих фракцій навіть порівняно із більшою на 25 % нормою. У сприятливі роки (2019–2021 рр.) частка насіння в урожаї досягала 31,7 т/га (93,2 %), а коефіцієнт розмноження – 8,41. У несприятливий рік (2022 р.) ці показники мали нижчий рівень із збереженням вищезазначеної закономірності: частка насіння становила 26,5 т/га (91,1 %), коефіцієнт розмноження – 7,25.

5. Локалізоване внесення фосфорних та калійних добрив з нормою $P_{60}K_{135}$ на фоні N_{150} забезпечувало оптимізацію біометричних показників рослин картоплі та обумовлювало у період цвітіння формування найбільшої маси вегетативної надземної (24,9 т/га) та підземної частини (7,59 т/га), площі листової поверхні

(29887 т/га) і листкового індексу (2,99). Але максимальний рівень чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) у період від бутонізації до цвітіння забезпечувався локальним внесенням $P_{80}K_{180}$ на фоні N_{150} – 6,55 г/м² сухої речовини на добу.

6. Локалізоване внесення навіть зниженої на 25 % норми фосфорних і калійних добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} забезпечило найвищий рівень економічної ефективності вирощування картоплі. У сприятливі роки (2019–2021 рр.) прибуток досягав 92203 грн/га, рівень рентабельності становив 83,9 %, а собівартість насіння на розрахунковий 1 га – 13068 грн. У несприятливий рік (2022 р.) прибуток був на рівні 38275 грн/га, рентабельність досягала 33,2 %, а собівартість насіння на розрахунковий 1 га становила 15894 грн.

7. За локального внесення зменшеної на 25 % норми фосфорних та калійних добрив ($P_{60}K_{135}$) на фоні N_{150} забезпечувався високий рівень біоенергетичної ефективності вирощування картоплі на темно-сірому опідзоленому ґрунті. У сприятливі роки (2019–2021 рр.) коефіцієнт біоенергетичної ефективності становив 6,71, а у несприятливий рік (2022 р.) – 6,22. За повної норми фосфорних і калійних добрив ($P_{80}K_{180}$) на фоні N_{150} ці показники були максимальними: за сприятливі роки (2019–2021 рр.) – 7,36, а за несприятливий рік – 6,55, що суттєво переважало показники варіанту з розкидним внесенням аналогічної норми добрив (за сприятливі роки – 6,50, а за несприятливий рік – 5,89).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для отримання високого рівня урожаю картоплі сорту Тирас насіннєвого напрямку використання (34,1 т/га) з максимальною часткою в урожаї насіння (93,2 %) та досягнення високої економічної (прибуток 92203 грн/га, рівень рентабельності 83,9 %) та біоенергетичної ефективності вирощування (коефіцієнт біоенергетичної ефективності 6,71) доцільно фоні N_{150} у передпосівне внесення застосовувати локально фосфорні добрива (P_{60}) стрічкою на глибину 15 см та калійні добрива (K_{135}) смугою з шириною 10–12 см на глибину 18–20 см в зону розташування майбутнього рядка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альохін, В. В. (2016). Вплив рівнів і способів мінерального живлення на урожайність, ріст і розвиток рослин картоплі середньостиглого сорту Легенда. Молодий вчений, (3), 243–248.
2. Балашова, Г. С., & Черниченко, М. І. (2012). Фотосинтетична діяльність рослин картоплі за різних режимів зрошення в умовах південного Степу України. Зрошуване землеробство, (57), 93–100.
3. Балашова, Г. С., & Юзюк, С. М. (2016). Продуктивність картоплі на півдні України залежно від умов зволоження та способів внесення добрив за краплинного зрошення. Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки, (96), 10–16.
4. Балашова, Г. С., & Юзюк, С. М. (2016). Ріст та розвиток картоплі на краплинному зрошенні за різних способів внесення добрив в умовах Південного Степу. Зрошуване землеробство, (65), 26–29.
5. Бендера, І., & Василич, М. (2016). Локальне внесення добрив при оранці ґрунту комбінованими плугами. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження, (20), 203–211.
6. Бикін, А. В., & Бордюжа, І. П. (2016). Продуктивність картоплі столової за використання рідких фосфорних добрив. Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство», (235), 151–159.
7. Бикін, А. В., & Бордюжа, І. П. (2017). Вплив рідких комплексних добрив на чисту продуктивність фотосинтезу рослин картоплі столової.
8. Бикін, А. В., & Бордюжа, І. П. (2017). Вплив рідких фосфорних добрив на показники якості бульб картоплі столової. Наукові доповіді НУБіП України, (2), 11–11.
9. Бикін, А. В., & Гуменюк, О. В. (2013). Вплив мінеральних добрив та біодеструктора на калійне живлення рослин картоплі столової. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, (18), 115–117.

10. Бикін, А. В., & Панчук, Т. В. (2022). Показники якості бульб картоплі за локального внесення мінеральних добрив. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки, 126, 9-15. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.2>
11. Бикін, А. В., & Панчук, Т. В. (2022). Ріст і розвиток рослин картоплі за різних способів і норм внесення добрив. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, 48(2), 23-30. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.4>
12. Бордюжа, І. (2018). Економічна ефективність застосування рідких фосфорних добрив за вирощування картоплі столової на темно-сірому опідзоленому ґрунті. Вісник аграрної науки, 96(8), 82-85.
13. Бордюжа, І. П. (2019). Оптимізація мінерального живлення картоплі за вирощування на темно-сірому опідзоленому ґрунті в лівобережному лісостепу України.
14. Бузовер, Ф. Я. (1951). Влияние бора на накопление углеводов и ферментную деятельность у картофеля. Доклады АН СССР, 78(6), 1231.
15. Вдовенко, С. А., Полторецький, С. П., Поліщук, М. І., & Вергелес, П. М. Вивчення процесів росту й розвитку рослин насінневої картоплі залежно від удобрення, регулятора росту та позакореневих підживлень. Сільське господарство та лісівництво. 2022.№ 4 (27). С. 64-73. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-6>.
16. Вожегова, Р. А., Балашова, Г. С., Бояркіна, Л. В., & Сахацький, Г. І. (2021). Ріст, розвиток та продуктивність насінневої картоплі літнього садіння в Південному Степу України. Аграрні інновації, (6), 57-63.
17. Воробйова, Н. В. (2013). Вплив регуляторів росту рослин на урожайність картоплі ранньостиглої в Правобережному Лісостепу України. Агробіологія, (11), 80-83.
18. Гамаюнова, В. В., Іскакова, О. Ш., Гамаюнова, В. В., & Іскакова, О. Ш. (2014). Формування поживного режиму ґрунту та врожайності картоплі літнього садіння.

19. Генгало, О. М., Генгало, Н. О., & ТІ, Б. (2014). Агрохімічні аспекти застосування сірковмістних добрив на різних типах ґрунтів (аналітичний огляд). Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія, (195-1), 41-48.
20. Господаренко, Г. М., & Черно, О. Д. (2016). Баланс азоту в ґрунті польової сівозміни за 50-річного застосування добрив. Землеробство, (2), 22-29.
21. Господаренко, Г. М., Нікітіна, О. В., & Кривда, Ю. І. (2013). Уміст і запаси рухомих сполук калію в ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, (11), 51-56.
22. Господаренко, Г. М., Прокопчук, І. В., & Нікітіна, О. В. (2017). Баланс азоту в ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва, (90 (1)), 7-13.
23. Господаренко, Г. М., Черно, О. Д., & Нікітіна, О. В. (2021). Агрохімія калію.
24. Данилюк, В. Б., Вислободська, М. М., & Верещак, М. Р. (2003). Ефективність застосування різних форм фосфорних добрив при вирощуванні картоплі. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, 19.
25. Данилюк, В., Вислободська, М., & Сало, Г. (2014). Продуктивність картоплі залежно від удобрення. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія, (18), 174-177.
26. Єгорова, Т. М., & Моклячук, Л. І. (2014). Еколого-геохімічні процеси міграції молібдену в агроландшафтах України. Агроекологічний журнал, (2), 17-25.
27. Єсипенко, В. (2011). Винос елементів мінерального живлення та коефіцієнти їх використання з мінеральних добрив насінневою картоплею сорту Фантазія. Редакційна колегія, 112.
28. Ільчук, В. В., Ільчук, Р. В., & Костирко, І. Г. (2014). Економічна ефективність застосування нових екологоощадних методів вирощування картоплі. А. А. Бондарчук, 63.

29. Ільчук, Р. В., & Ільчук, Л. А. (2012). Вплив позакореневого підживлення кристалонами на врожайність картоплі. Збірник наукових праць [Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків], (14), 64-67.
30. Ільчук, Р. В., & Ільчук, Ю. Р. (2013). Вплив позакореневого підживлення моно-і мікродобривами та стимулятором росту на врожайність картоплі. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, (55-1), 51-59.
31. Ільчук, Ю. Р., & Ільчук, Р. В. (2021). Особливості росту і розвитку ранньостиглих сортів картоплі залежно площ живлення та величини садивної фракції бульб. Sciences of Europe, (62-2), 3-10.
32. Каленська, С. М., & Кнап, Н. В. (2012). Формування продуктивності картоплі в умовах Закарпаття. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія, (176), 18-26.
33. Канівець, В. І., Токмакова, Л. М., Пищур, І. М., & Близнюк, Н. М. (1997). Фосфор в ґрунті і шляхи його доступності рослинам. Бюл. Інституту сільськогосподарської мікробіології.—Чернігів, (1), 27-28.
34. Ковальов, В. Б., Трембіцька, О. І., & Гороф'янчук, Д. В. Вплив регуляторів росту на продуктивність картоплі. Міністерство освіти і науки України Житомирський національний агроекологічний університет. Агрономічний факультет, 140.
35. Ковальчук, Н. С., Гаврилюк, В. А., & Колесник, Т. М. (2013). Вплив ферментованого органічного добрива на вміст калію обмінного в дерново-слабопідзолистих ґрунтах. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, (1 (61)), 51-59.
36. Ковтун, Д. М., & Марковська, О. Є. (2021). Фізіологічна роль сірки у формуванні врожаю сільськогосподарських культур (Doctoral dissertation, Херсон: ХДАЕУ).
37. Кризська, М. А., & Потапенко, Л. В. (2014). Агрохімічна, агроекологічна та економічна оцінки різних систем удобрення при вирощуванні картоплі. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, (21), 33-39.

38. Курлов, В. І., Фесенко, Г. В., & Поляков, А. М. (2020). Підвищення ефективності технічних засобів локального внесення мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур.
39. Кучер, Л. І. (2012). Динаміка водорозчинного калію в лучно-чорноземному ґрунті при застосуванні ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Наукові доповіді НУБіП.–2012.–Режим доступу до ресурсу: http://nd.nubip.edu.ua/2012_2/12kli.pdf.
40. Лавриненко, Ю. О., Балашова, Г. С., & Котова, О. І. (2017). Вплив температурного режиму культивування та кон-центрації мікросолей у живильному середовищі на бульбоутворення картоплі в культурі *in vitro*. Таврійський науковий вісник. Херсон, (98), 82-88.
41. Лютый, Н. Г., & Буряк, И. Ф. (1983). Локальное внесение полной дозы минеральных удобрений под основные полевые культуры в степи УССР. Бюллетень ВИУА, (62), 15.
42. М'ялковський, Р. О. (2013). Фотосинтетична діяльність рослин ранньої картоплі залежно від різних норм добрив. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, (17 (1)), 217-220.
43. М'ялковський, Р. О. (2018). "Урожайність бульб картоплі залежно від позакореневого підживлення мікродобривами." Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2 (2018).
44. М'ялковський, Р. О. (2018). Врожайність картоплі залежно від площі листової поверхні на різних фонах живлення. Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства НААН, (2), 66-74.
45. М'ялковський, Р. О. (2018). Формування площі листової поверхні картоплі залежно від сортових особливостей та напрямку рядків в агрофітоценозі. Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний наук. зб. Херсон, 53-57.
46. Мазур, О. В., Мазур, О. В., Лютка, Г. В., & Миронова, Г. В. (2021). Оптимізація технологічних прийомів вирощування картоплі за органо-

- мінеральної системи удобрення в умовах зміни клімату. Сільське господарство та лісівництво. 2021. № 21. С. 120-128.
47. Матвійчук, Б. В., & Орловський, М. Й. (2017). Характеристика бульб картоплі за різних систем удобрення в умовах Полісся. Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН», (4).
 48. Міщенко, Ю. Г., & Мищенко, Ю. Г. (2017). Вплив способів загортання сидерату на пористість ґрунту та урожайність картоплі.
 49. М'ялковський, Р. О. (2015). Динаміка вмісту основних елементів живлення рослин картоплі за різних доз мінеральних добрив. Наукові доповіді НУБіП України, (6), 12-12.
 50. М'ялковський, Р. О. (2017). Фотосинтетична діяльність рослин картоплі залежно від технологічних прийомів вирощування. Наукові доповіді НУБіП України, (6), 9-9.
 51. М'ялковський, Р. О., Безвіконний, П. В., & Кравченко, В. С. (2017). Формування фотосинтетичного апарату сортів картоплі різної групи стиглості залежно від географічного розміщення напрямку рядків. Вестник Уманського національного університета садівництва, (2), 41-47.
 52. Нижник, Т. П., Григорюк, І. П., & Лихолат, Д. А. (2004). Динаміка інтенсивності фотосинтезу, фотодихання і дихання в листках картоплі за умов посухи та протекторна роль полістимуліну К. Физиология и биохимия культурных растений, 36(2), 103-108.
 53. Носко, Б. (2017). Сучасні проблеми фосфору в землеробстві і шляхи їх розв'язання. Вісник аграрної науки, 95(6), 5-12.
 54. Островський, А. О., & Ільчук, Л. А. (2003). Урожай сортів картоплі різних груп стиглості залежно від рівня удобрення та способів догляду за насадженнями. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, 55.
 55. Павліченко, А. І. (2021). Вплив різних систем удобрення та хімічної меліорації на фосфорний режим сірого лісового ґрунту. Агроекологічний журнал, (4), 131-138.

56. Пархуць, І. М. Продуктивність картоплі залежно від удобрення на темно-сірих опідзолених ґрунтах західного лісостепу. In Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії: матеріали Міжнар. наук.-прак. інтернет-конф., присвяченої (рр. 9-13).
57. Погорілий, В., Шустік, Л., & Іваненко, Л. (2014). Локальне припосівне внесення та шляхи технічного забезпечення стартових доз мінеральних добрив. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць/Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для с.-г. виробництва імені Леоніда Погорілого (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); Редкол.: ВІ Кравчук (голов. ред.) та ін.–Дослідницьке, 2009.–Вип. 13, 211.
58. Поліщук, І., & Дячук, В. (2013). Вплив норм садіння та удобрення на урожайні та якісні показники сортів картоплі в умовах Правобережного Лісостепу України. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія, (17 (2)), 49-57.
59. Пономаренко, Н. О., Яропуд, В. М., & Зозуляк, О. В. (2016). Прийоми локального внесення добрив. Вібрації в техніці та технологіях, (3), 139-142.
60. Рогач, В. В., & Рогач, Т. І. (2015). Вплив синтетичних стимуляторів росту на морфофізіологічні характеристики та біологічну продуктивність культури картоплі. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Біологія. Екологія, (23 (2)), 221-224.
61. Савіцька, Х. М. (2011). Засвоєння азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті за беззмінного вирощування сільськогосподарських культур. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія, (15), 2.
62. Савченко, П. В., & Кожушко, Н. С. (2013). Методи визначення площі листової поверхні рослини картоплі. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, (11), 191-195.
63. Савчук, К. А. (2008). Шляхи ефективного використання добрив. Збірник наукових праць [Інституту цукрових буряків УААН], (10), 279-283.

64. Семенченко, О. Л., & Даніліна, А. С. (2012). Вплив доз і способів внесення мінеральних добрив на врожайність картоплі ранньої. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України, (3), 78-80.
65. Соколовська, І. (2022). Formation of the leave's surface square if seeding potato of different groups of ripeness depending on conditions of growing. Modern Engineering and Innovative Technologies, 1(24-01), 125–131. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-24-01-015>
66. Соколовська, І. М., & Умрихін, Н. Л. (2019). Формування продуктивності посівів насінневої картоплі в умовах північного степу України. ВВК 91, 487.
67. Старушкі, В. А. (2022). Урожай і якість бульб залежно від удобрення картоплі різними формами калійних туків на дерново-підзолистому ґрунті Малого Полісся.
68. Стасик, О. О., Кірізій, Д. А., & Прядкіна, Г. (2021). Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. Фізіологія рослин і генетика, 53(2), 160-184.
69. Стахів, М. П. (2010). Фосфорне живлення рослин та методичні аспекти визначення рухомих сполук фосфору в ґрунті. Ґрунтознавство, (11, № 3-4), 88-95.
70. Ткачук, О. О., Марчук, Ю. М., Пугач, О. А., & Шевчук, О. А. (2017). Вплив ретардантів на формування листкових пластинок рослин картоплі сорту Ласунак. Матеріали за XIII міжнародна научна практична конференція «Новина та за напреднали наука–2017, 9, 10-12.
71. Хмилевський, О. Д. (2006). Ефективність локального способу застосування мінеральних добрив та його вплив на врожай картоплі в літніх посадках свіжозібраними бульбами в умовах зрошення Південного Степу України. Аграрної науки причорномор'я, 59.
72. Христенко, С. І., & Маклюк, О. І. (2004). Фосфор у ґрунті і мікробіологічні процеси його перетворення. Міжнародна науково-практична конференція «Фосфор і калій у землеробстві. Проблеми мікробіологічної мобілізації».— Чернігів-Харків, 160-166.

73. Церлинг В.В. (1990). Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник. – : Агропромиздат, 235 с.
74. Цицюра, Я. Г., Поліщук, М. І., & Броннікова, Л. Ф. Ґрунтознавство з основами геології. Частина II. Генезис, класифікація та властивості ґрунтів. навч. посіб./ЯГ Цицюра, МІ Поліщук, ЛФ Броннікова.-Вінниця: Друк плюс, 2020.- 676 с./Рек. ВР як навч. посіб. для студ. галузі знань 20 Аграрні науки та продовольство (Протокол № 13 від 26 черв. 2020 р.).
75. Черниченко, М. І. (2010). Біометричні параметри та динаміка накопичення врожаю картоплі з мінібульб при різних способах зрошення. Зрошуване землеробство, (54), 183-187.
76. Шевченко, І. М. (2013). Зміна вмісту рухомого фосфору в ґрунті за різних систем удобрення й обробітку. Вісник Полтавської державної аграрної академії, (4), 149-152.
77. Шевчук, О. В. (2013). Динаміка вмісту калію в темно-сірому опідзоленому ґрунті в умовах післядії різних видів добрив. Агроекологічний журнал, (2), 113-115.
78. Шуст, І. М., & Хомик, Н. І. (2014). Особливості догляду за посівами картоплі. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 170-171.
79. Юзюк, О. Продуктивність насіннєвої картоплі залежно від удобрення та застосування регуляторів росту в умовах зрошення півдня України. Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць. Випуск 68, 175-179.
80. Anning, D. K., Ghanney, P., Qiu, H., Zhang, C., & Zhang, Y. (2022). Agronomic and Physiological Response of Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Nitrogen Fertilization Rate on a Loess Soil of Northwest China. *Potato Research*, 1-20.
81. Aramrak, S., Chittamart, N., Wisawapipat, W., Rattanapichai, W., Phun-Iam, M., & Aramrak, A. (2021). Dynamics of soil aggregate stability as induced by potassium в soil-plant system. *Soil Science and Plant Nutrition* , 67 (4), 371-379/
<https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1939151>

82. Baranowska, A., Zarzecka, K., Gugala, M., & Mystkowska, I. (2017). Contents of zinc, copper and manganese in potato tubers depending on the ways of application of the soil fertilizer UGmax. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 99-106. <https://doi.org/10.12911/22998993/66250>
83. Barczak, B., & Nowak, K. (2015). Effect of sulphur fertilisation on the content of macroelements and their ionic ratios in potato tubers. *Journal of Elementology*, 20(1).
84. Barczak, B., Nowak, K., & Knapowski, T. (2013). Potato yield is affected by sulphur form and rate. *Agrochimica*, 57(4), 363-372.
85. Bhattarai, B., & Swarnima, K. C. (2016). Effect of potassium on quality and yield of potato tubers—a review. *International Journal of Agriculture & Environmental Science*, 3(6), 7-12
86. Burstall, L., & Harris, P. (1983). The estimation of percentage light interception from leaf area index and percentage ground cover in potatoes. *The Journal of Agricultural Science*, 100(1), 241-244. <https://doi.org/10.1017/S0021859600032676>
87. Bury, M., Stankowski, S., Hury, G., Dawidowski, A., Opatowicz, N., & Bashutska, U. (2016). Вплив удобрення сіркою на ріст та врожайність бульб картоплі. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(3), 245-250.
88. Vykin, A. V., & Panchuk, T. V. Продуктивність насіннєвої картоплі за локального внесення фосфорних і калійних добрив. *Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство»*, 12(2), 37-46.
89. Cary, J. W. (1985). Potato Tubers and Soil Aeration 1. *Agronomy Journal*, 77(3), 379-383. <https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700030007x>
90. Chen, Z. C., Peng, W. T., Li, J., & Liao, H. (2018, February). Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 74, pp. 142-152). Academic Press.
91. Collier, G., Wurr, D., & Huntington, V. (1978). The effect of calcium nutrition on the incidence of internal rust spot in the potato. *The Journal of Agricultural Science*, 91(1), 241-243. doi:10.1017/S0021859600056823

92. Danielescu, S., MacQuarrie, K. T., Zebarth, B., Nyiraneza, J., Grimmett, M., & Levesque, M. (2022). Crop water deficit and supplemental irrigation requirements for potato production in a temperate humid region (Prince Edward Island, Canada). *Water*, 14(17), 2748. <https://doi.org/10.3390/w14172748>
93. de Oliveira, J. S., Inda, A. V., Barrón, V., Torrent, J., Tiecher, T., & de Oliveira Camargo, F. A. (2020). Soil properties governing phosphorus adsorption in soils of Southern Brazil. *Geoderma Regional*, 22, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00318>.
94. Djaman, K., Koudahe, K., Saibou, A., Darapuneni, M., Higgins, C., & Irmak, S. (2022). Soil water dynamics, effective rooting zone, and evapotranspiration of sprinkler irrigated potato in a sandy loam soil. *Agronomy*, 12(4), 864. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040864>
95. Duan, S. B., Li, Z. L., Wu, H., Tang, B. H., Ma, L., Zhao, E., & Li, C. (2014). Inversion of the PROSAIL model to estimate leaf area index of maize, potato, and sunflower fields from unmanned aerial vehicle hyperspectral data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 12-20.
96. Dumbuya, G., Sarkodie-Addo, J., Daramy, M. A., & Jalloh, M. (2016). Growth and yield response of sweet potato to different tillage methods and phosphorus fertilizer rates in Ghana. *Journal of Experimental Biology*, 4(5).
97. Dwivedi, G. K., & Dwivedi, M. (1992). Efficacy of different modes of application of copper, zinc and boron to potato. *Annals of Agricultural Research*, 13(1), 1-6.
98. E. A. Zolotukhin, E. A. Zolotukhin, G. I. Lichman, G. I. Lichman, & S. O. Nukeshev, S. O. Nukeshev. (0000). New sowing system for variable rate intra soil application of mineral fertilizers. *Sel'skohoziâjstvennyye mašiny i tehnologii*, 0, 20-23. doi: 10.22314/2073-7599-2017-2-20-23
99. Eberhard, S., Finazzi, G., & Wollman, F. A. (2008). The dynamics of photosynthesis. *Annual review of genetics*, 42, 463-515.
100. Edmundson, W. C. (1941). Response of several varieties of potatoes to different photoperiods. *American Potato Journal*, 18, 100-112.

101. El-Dissoky, R. A., & Abdel-Kadar, A. E. S. (2013). Effect of boron as a foliar application on some potatoes cultivars under Egyptian alluvial soil conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 9(5), 232-240.
102. Erkeyeva, N. . (2022). Potato Growing Technologies. *Miasto Przyszłości*, 27, 80–81.
103. Feltran, J. C., Lemos, L. B., & Vieites, R. L. (2004). Technological quality and utilization of potato tubers. *Scientia Agricola*, 61, 598-603.
104. Fernandes, A. M., Soratto, R. P., Moreno, L. D. A., & Evangelista, R. M. (2015). Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia*, 74, 102-109. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0330>
105. Fontes, P. C. R., Moreira, M. A., Fontes, R. L. F., & Cardoso, A. A. (1999). Effects of zinc fungicides and different zinc fertilizer application methods on soluble and total zinc in potato plant shoots. *Communications in soil science and plant analysis*, 30(13-14), 1847-1859. <https://doi.org/10.1080/00103629909370336>
106. Fontes, P. C., Braun, H., Busato, C., & Cecon, P. R. (2010). Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. *Potato Research*, 53, 167-179. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9160-3>
107. Fontes, P. C., Braun, H., Busato, C., & Cecon, P. R. (2010). Economic optimum nitrogen fertilization rates and nitrogen fertilization rate effects on tuber characteristics of potato cultivars. *Potato Research*, 53, 167-179.
108. Gad, N., & Fekry Ali, M. E. (2020). Influence of cobalt on potato (*Solanum tuberosum*) productivity. *International Journal of Plant Archives*, 20(1), 1405-1408.
109. Gad, N., & Kandil, H. (2008). Response of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) plants to different levels of cobalt. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(4), 949-955.
110. Gondwe, R. L., Kinoshita, R., Sano, M., Suminoe, T., Aiuchi, D., Koaze, H., ... & Tani, M. (2017). Lack of yield response in potato (*Solanum tuberosum* L.) to phosphate fertilizer under contrasting soil types varying in phosphate absorption

- coefficient and available phosphate. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(2), 171-177.
111. Gordon, R., Brown, D. M., & Dixon, M. A. (1997). Estimating potato leaf area index for specific cultivars. *Potato research*, 40, 251-266.
 112. Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., & Yang, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*, 4(2), 83-91.
 113. Gupta, S., Srivastava, P. K., & Singh, R. P. (2023). Application of plant growth promoting microbes to enrich zinc in potato for nutritional security and sustainable agriculture. *Rhizosphere*, 100665.
 114. Haddad, M., Bani-Hani, N. M., Al-Tabbal, J. A., & Al-Fraihat, A. H. (2016). Effect of different potassium nitrate levels on yield and quality of potato tubers. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 14(1), 101-107.
 115. Hadwiger, L. A., & McBride, P. O. (2006). Low-level copper plus chitosan applications provide protection against late blight of potato. *Plant Health Progress*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.1094/PHP-2006-0406-01-RS>
 116. Hammond, J. P., Broadley, M. R., Bowen, H. C., Spracklen, W. P., Hayden, R. M., & White, P. J. (2011). Gene expression changes in phosphorus deficient potato (*Solanum tuberosum* L.) leaves and the potential for diagnostic gene expression markers. *PloS one*, 6(9), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024606>.
 117. Hoyum, R. (2000). Magnesium builds potato profits and quality. *Fluid Journal*, 1-2.
 118. Ierna, A. (2023). Water management in potato. In *Potato Production Worldwide* (pp. 87-100). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00015-3>
 119. Jasim, A., Sharma, L. K., Zaeen, A., Bali, S. K., Buzza, A., & Alyokhin, A. (2020). Potato phosphorus response in soils with high value of phosphorus. *Agriculture*, 10(7), 264. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070264>
 120. Jefferies, R. A., & Mackerron, D. K. L. (1993). Responses of potato genotypes to drought. II. Leaf area index, growth and yield. *Annals of applied Biology*, 122(1), 105-112. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1993.tb04018.x>

121. Jin, Z., Chen, C., Chen, X., Jiang, F., Hopkins, I., Zhang, X., ... & Benavides, J. (2019). Soil acidity, available phosphorus content, and optimal biochar and nitrogen fertilizer application rates: A five-year field trial in upland red soil, China. *Field crops research*, 232, 77-87.
122. Kahsay, W. S. (2019). Effects of nitrogen and phosphorus on potatoes production in Ethiopia: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1572985>
123. Kang, W., Fan, M., Ma, Z., Shi, X., & Zheng, H. (2014). Luxury absorption of potassium by potato plants. *American Journal of Potato Research*, 91, 573-578. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9386-8>
124. Khurana, S. C., & McLaren, J. S. (1982). The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Research*, 25, 329-342. <https://doi.org/10.1007/BF02357290>
125. Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., & Thiel, H. (2020). The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. *Potato research*, 63, 97-119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
126. Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., & Thiel, H. (2020). The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. *Potato research*, 63(1), 97-119.
127. Kołodziejczyk, M. (2014). Effect of nitrogen fertilization and microbial preparations on potato yielding. *Plant Soil Environ*, 60(8), 379-386.
128. Kyarblane, K. A., Khannofäinen, G. I., & Soodla, A. E. (1990). The effectiveness of mineral fertilizers under local application. *Agrokhimiya*, (3), 70-75.
129. La Torre, A., Iovino, V., & Caradonia, F. (2018). Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathologia Mediterranea*, 57(2), 201–236. <https://www.jstor.org/stable/26507086>
130. Lee, Y. H., Sang, W. G., Baek, J. K., Kim, J. H., Shin, P., Seo, M. C., & Cho, J. I. (2020). The effect of concurrent elevation in CO₂ and temperature on the growth,

- photosynthesis, and yield of potato crops. *PloS one*, 15(10), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241081>
131. Li, C. Z., Li, C. Z., Wang, D., & Wang, G. X. (2005). The protective effects of cobalt on potato seedling leaves during osmotic stress. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46.
 132. Lis, B., Mazurczyk, W., Trawczyński, C., & Wierzbicka, A. (2002). Czynniki ograniczające wykorzystanie azotu przez rośliny ziemniaka a zagrożenie środowiska. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 489.
 133. Locascio, S. J., Bartz, J. A., & Weingartner, D. P. (1992). Calcium and potassium fertilization of potatoes grown in North Florida I. Effects on potato yield and tissue Ca and K concentrations. *American Potato Journal*, 69, 95–104. <https://doi.org/10.1007/BF02855338>
 134. Luo, S., He, Y., Wang, Z., Duan, D., Zhang, J., Zhang, Y., ... & Jiao, W. (2019). Comparison of the retrieving precision of potato leaf area index derived from several vegetation indices and spectral parameters of the continuum removal method. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 155-168.
 135. Litaladio, N., & Castaldi, L. (2009). Potato: The hidden treasure. *Journal of food composition and analysis*, 22(6), 491-493. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.05.002>
 136. Marchand, M., & Bourrié, B. (1999). Use of potash fertilizers through different application methods for high yield and quality crops. *Improved Crop Quality by Nutrient Management*, 13- 17. https://doi.org/10.1007/978-0-585-37449-9_3
 137. Mazur, V. A., Myalkovsky, R. O., Pantsyreva, H. V., Didur, I. M., Mazur, K. V., & Alekseev, O. O. (2021). Photosynthetic productivity of potato plants depending on the location of rows placement in agrophytocenosis. *Ecology, Environment and Conservation*, 2020. Vol. 26 (2). P. 46-55.
 138. McGregor, A. J., & Wilson, G. C. S. (1966). The influence of manganese on the development of potato scab. *Plant and Soil*, 25, 3-16. <https://doi.org/10.1007/BF01347957>

139. Misgina, N. A. (2016). Effect of phosphorus and potassium fertilizer rates on yield and yield component of potato (*Solanum Tubersum* L.) at K/Awlaelo, Tigray, Ethiopia. *Food Science and Quality Management*, 48, 60-69.
140. Mona, E. E., Ibrahim, S. A., & Manal, F. M. (2012). Combined effect of NPK levels and foliar nutritional compounds on growth and yield parameters of potato plants (*Solanum tuberosum* L.). *Afr. J. Microbiol. Res*, 6(24), 5100–5109.
141. Mondal, S., & Panda, D. (2019). Studies on the Response of Potato to Boronated Sulphur. *Plant Archives*, 19(2), 2622-2626.
142. Mondy, N. I., & Munshi, C. B. (1993). Effect of boron on enzymic discoloration and phenolic and ascorbic acid contents of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(4), 554-556. <https://doi.org/10.1021/jf00028a009>
143. Mondy, N. I., & Munshi, C. B. (1993). Effect of soil and foliar application of molybdenum on the glycoalkaloid and nitrate concentration of potatoes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 41(2), 256-258. <https://doi.org/10.1021/jf00026a022>
144. Mourad, R., Jaafar, H., Anderson, M., & Gao, F. (2020). Assessment of leaf area index models using harmonized landsat and sentinel-2 surface reflectance data over a semi-arid irrigated landscape. *Remote Sensing*, 12(19), 3121.
145. Mousavi, S. R., Galavi, M., & Rezaei, M. (2013). Zinc (Zn) importance for crop production-a review. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(1), 64-68.
146. Moussa, S. A., Hafez, L. M., & El-Fadl, N. I. A. (2018). Effect of different levels of sulphur and nitrogen fertilizers on potato productivity, acrylamide formation and amino acids content in processed potatoes. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(4), 1626-1646.
147. Mulder, E. G. (1949). Mineral nutrition in relation to the biochemistry and physiology of potatoes: Effect of nitrogen, phosphate, potassium, magnesium and copper nutrition on the tyrosine content and tyrosinase activity with particular reference to blackening of the tubers. *Plant and Soil*, 2(1), 59–121. <http://www.jstor.org/stable/42931536>

148. Muleta, H. D., & Aga, M. C. (2019). Role of nitrogen on potato production: a review. *Journal of plant sciences*, 7(2), 36-42.
149. Myalkovsky, R. O. Особливості фотосинтетичної активності рослин картоплі в умовах Правобережного Лісостепу України. Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство», (286), 27-35.
150. Myalkovsky, R. O. (2017). Біометричні показники рослин картоплі залежно від сорту, строків садіння і глибини загортання бульб в умовах Правобережного Лісостепу України. *Vegetable and Melon Growing*, (63), 250-256.
151. Novikov, A. E., & Motorin, V. A. (2021, June). The working body of the flat-cutter of the subsoiler-fertilizer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 786, No. 1, p. 012028). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/786/1/012028>
152. Nukeshev, S., Eskhozhin, D., Lichman, G., Karaivanov, D., Zolotukhin, E., & Syzdykov, D. (2016). Theoretical substantiation of the design of a seeding device for differentiated intra soil application of mineral fertilizers. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(1), 115-122. <http://dx.doi.org/10.11118/actaun201664010115>
153. O'brien, D. G., & Dennis, R. W. G. (1936). The place of boron in Potato cultivation. *The place of boron in Potato cultivation*.
154. Ojala, J. C., Stark, J. C., & Kleinkopf, G. E. (1990). Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality. *American potato journal*, 67, 29-43. <https://doi.org/10.1007/BF02986910>
155. Olechowicz, J., Chomontowski, C., Olechowicz, P., Pietkiewicz, S., Jajoo, A., & Kalaji, M. H. (2018). Impact of intraspecific competition on photosynthetic apparatus efficiency in potato (*Solanum tuberosum*) plants. *Photosynthetica*, 56, 971-975. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0728-x>
156. Orlovius, K., & McHoul, J. (2015). Effect of two magnesium fertilizers on leaf magnesium concentration, yield, and quality of potato and sugar beet. *Journal of*

157. Pavlista, A. D., & Ojala, J. C. (2023). Potatoes: Chip and French fry processing. In *Processing vegetables* (pp. 237-284). Routledge.
158. Prange, R. K., McRae, K. B., Midmore, D. J., & Deng, R. (1990). Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. *American Potato Journal*, 67, 357-369.
159. Rahman, M. W., Islam, S., Islam, M. M., & Hossain, M. S. (2019). Effect of sulphur on the yield and quality of potato varieties in tista meander floodplain soil of Bangladesh. *IJPSS*, 30, 1-8.
160. Rens, L. R., Zotarelli, L., Rowland, D. L., & Morgan, K. T. (2018). Optimizing nitrogen fertilizer rates and time of application for potatoes under seepage irrigation. *Field Crops Research*, 215, 49-58.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.004>
161. Roosjen, P. P., Brede, B., Suomalainen, J. M., Bartholomeus, H. M., Kooistra, L., & Clevers, J. G. (2018). Improved estimation of leaf area index and leaf chlorophyll content of a potato crop using multi-angle spectral data—potential of unmanned aerial vehicle imagery. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 66, 14-26.
162. Rosen, C. J., Kelling, K. A., Stark, J. C., & Porter, G. A. (2014). Optimizing phosphorus fertilizer management in potato production. *American Journal of Potato Research*, 91, 145-160.
163. Sawicka, B., Barbas, P., & Skiba, D. (2016). Fluctuations of sodium, copper, zinc, iron and manganese in potato tubers in the organic and integrated production system. *Journal of Elementology*, 21(2).
<http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.865>
164. Schick, R., & Klinkowski, M. (1961). The potato. *The potato*.
165. Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., & Thiel, H. (2015). Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science*, 66(12), 1219-1229. <https://doi.org/10.1071/CP15104>

166. Setu, H. (2022). Effect of phosphorus and potassium fertilizers application on soil chemical characteristics and their accumulation in potato plant tissues. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5342170>
167. Shahien, M. M., Abuarab, M. E., & Magdy, E. (2014). Root aeration improves yield and water use efficiency of irrigated potato in sandy clay loam soil. *International Journal of Advanced Research*, 2(10), 310-320.
168. Sharma, D. K., Kushwah, S. S., & Verma, K. S. (2015). Effect of sulphur on growth, yield and economics of potato cultivars. *Annals of Plant and Soil Research*, 17(1), 45-49.
169. Sharma, L. K., Zaeen, A., & Bali, S. (2022). Growing potatoes. In *Insect Pests of Potato* (pp. 7-14). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821237-0.00025-1>
170. Shaul, O. (2002). Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*, 15, 307-321.
171. Sikora, E., & Cieslik, E. (1999). Correlation between the levels of nitrates and nitrites and the contents of iron, copper and manganese in potato tubers. *Food chemistry*, 67(3), 301-304. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00139-9)
172. Simmons, K. E., & Kelling, K. A. (1987). Potato responses to calcium application on several soil types. *American Potato Journal*, 64, 119-136. <https://doi.org/10.1007/BF02854208>
173. Simmons, K. E., Kelling, K. A., Wolkowski, R. P., & Kelman, A. (1988). Effect of calcium source and application method on potato yield and cation composition. *Agronomy Journal*, 80(1), 13-21. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000010004x>
174. Singh, S. K., Sharma, M., Reddy, K. R., & Venkatesh, T. (2018). Integrated application of boron and sulphur to improve quality and economic yield in potato. *Journal of Environmental Biology*, 39(2), 204-210. <https://doi.org/10.22438/jeb/39/2/MRN-395>

175. Sokolovska, I. (2022). Формування площі листкової поверхні насінневої картоплі сортів різних груп стиглості залежно від умов вирощування. *Modern engineering and innovative technologies*, (24-01), 125-131.
176. Sparrow, L. A., & Chapman, K. S. R. (2003). Effects of nitrogen fertiliser on potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Russet Burbank) in Tasmania. 1. Yield and quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(6), 631-641. <https://doi.org/10.1071/EA02099>
177. Sparrow, L. A., Chapman, K. S. R., Parsley, D., Hardman, P. R., & Cullen, B. (1992). Response of potatoes (*Solanum tuberosum* cv. Russet Burbank) to band-placed and broadcast high cadmium phosphorus fertiliser on heavily cropped krasnozems in north-western Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(1), 113-119.
178. Stark, J. C., Love, S. L., & Knowles, N. R. (2020). Tuber quality. *Potato production systems*, 479-497.
179. Starovoitova, O., Starovoitov, V., & Manokhina, A. (2019). Influence of chelated micronutrients on yield and quality of potato tubers. *KnE Life Sciences*, 1046-1056.
180. Tawfik, A. A., Kleinhenz, M. D., & Palta, J. P. (1996). Application of calcium and nitrogen for mitigating heat stress effects on potatoes. *American potato journal*, 73, 261-273.
181. Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia horticulturae*, 105(1), 29-44.
182. Tekalign, T., & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth: I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 13-27.
183. Timlin, D., Lutfor Rahman, S. M., Baker, J., Reddy, V. R., Fleisher, D., & Quebedeaux, B. (2006). Whole plant photosynthesis, development, and carbon

- partitioning in potato as a function of temperature. *Agronomy journal*, 98(5), 1195-1203. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0260>
184. Torabian, S., Farhangi-Abri, S., Qin, R., Noulas, C., Sathuvalli, V., Charlton, B., & Loka, D. A. (2021). Potassium: A vital macronutrient in potato production—A review. *Agronomy*, 11(3), 543. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030543>
 185. Vasilyev, A. A., Gorbunov, A. K., Glaz, N. V., & Ufimtseva, L. V. (2021). Influence of planting time on photosynthetic activity and potato yield. *Research on crops*, 22(spl), 5-8.
 186. Vergara Carmona, V. M., Cecilio Filho, A. B., Almeida, H. J. D., & Gratão, P. L. (2019). Fortification and bioavailability of zinc in potato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3525-3529. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9572>
 187. Vinichuk, M. M. (2022). Надходження окремих мікроелементів у бульби картоплі сорту джеллі при позакореновому її підживленні на землях, забруднених радіонуклідами. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 47(1), 33-41. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.5>
 188. Vos, J. (2009). Nitrogen responses and nitrogen management in potato. *Potato research*, 52, 305-317. <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9145-2>
 189. Wang, C., Zang, H., Liu, J., Shi, X., Li, S., Chen, F., & Chu, Q. (2020). Optimum nitrogen rate to maintain sustainable potato production and improve nitrogen use efficiency at a regional scale in China. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 1-14.
 190. Westermann, D. T., & Kleinkopf, G. E. (1985). Nitrogen Requirements of Potatoes 1. *Agronomy Journal*, 77(4), 616-621. <https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700040024x>
 191. Westermann, D. T., & Kleinkopf, G. E. (1985). Phosphorus Relationships in Potato Plants 1. *Agronomy Journal*, 77(3), 490-494. <https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700030029x>

192. Westermann, D. T., Kleinkopf, G. E., & Porter, L. K. (1988). Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes. *American Potato Journal*, 65, 377-386.
<https://doi.org/10.1007/BF02852956>
193. White, P. J., Bradshaw, J. E., Finlay, M., Dale, B., Ramsay, G., Hammond, J. P., & Broadley, M. R. (2009). Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. *HortScience*, 44(1), 6-11.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.6>
194. White, P. J., Thompson, J. A., Wright, G., & Rasmussen, S. K. (2017). Biofortifying Scottish potatoes with zinc. *Plant and soil*, 411, 151-165.
<https://doi.org/10.1007/s11104-016-2903-4>
195. Witold, G., Pavel, Č., Evan, R., Witold, S., Jarosław, P., & György, F. (2017). Potassium impact on nitrogen use efficiency in potato—a case study from the Central-East Europe. *Plant, Soil and Environment*, 63(9), 422-427.
<https://doi.org/10.17221/344/2017-PSE>
196. Wolf, S., Olesinski, A. A., Rudich, J., & Marani, A. (1990). Effect of high temperature on photosynthesis in potatoes. *Annals of Botany*, 65(2), 179-185.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087922>
197. Wszelaczyńska, E., Pobereźny, J., Kozera, W., Knapowski, T., Pawelzik, E., & Spychaj-Fabisiak, E. (2020). Effect of magnesium supply and storage time on anti-nutritive compounds in potato tubers. *Agronomy*, 10(3), 339.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10030339>
198. Xiangsheng, L., Jiachen, W., Jun, Y., Yubin, F., Yanping, W., & He, Z. (2006). Application of rare earth phosphate fertilizer in western area of China. *Journal of Rare Earths*, 24(1), 423-426.
199. Yan, B., & Hou, Y. (2018, July). Effect of soil magnesium on plants: a review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 170, No. 2, p. 022168). IOP Publishing.
200. Zaheer, K., & Akhtar, M. H. (2016). Potato production, usage, and nutrition—a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(5), 711-721.

201. Zarzecka, K., Gugala, M., Baranowska, A., Dolega, H., & Sikorska, A. (2016). Concentrations of copper, zinc and manganese in potato tubers under the influence of herbicides. *Journal of Elementology*, 21(1). <http://dx.doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.868>
202. Zelalem, A., Tekalign, T., & Nigussie, D. (2009). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia. *African journal of plant science*, 3(2), 016-024.

ДОДАТКИ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до
міжнародних наукометричних баз даних

1. Бикін А. В., Панчук Т. В. Продуктивність насіннєвої картоплі за локального внесення фосфорних і калійних добрив. Науковий журнал «Рослинництво та ґрунтознавство». Серія: ґрунтознавство та агрохімія. 2021. №126. С. 9–15. Том 12, №2. С. 37–46. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо врожайності та фракційного складу насіннєвої картоплі, підготовлено статтю до друку)*. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/agr2021.02.037>
2. Бикін А. В., Панчук Т. В. Показники якості бульб картоплі за локального внесення мінеральних добрив. Таврійський науковий вісник. Серія: землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво. 2022. №126. С. 9–15. *(Здобувачем проведено польові та лабораторні дослідження з подальшими обрахунками даних щодо показників якості бульб картоплі, підготовлено статтю до друку)*. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.2>
3. Бикін А. В., Панчук Т. В. Ріст і розвиток рослин картоплі за різних способів і норм внесення добрив. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія. 2022. №2 (48). С. 23–30. *(Здобувачем проведено польові та лабораторні дослідження з подальшими обрахунками даних щодо біометричних показників рослин картоплі, підготовлено статтю до друку)*. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.4>
4. **Panchuk, T. V.**, Bordyuzha, I. P., Bordyuzha, N. P., Mizerna, N. A., & Nosulia, A. M. (2023). Content of mobile phosphorus compounds under different methods and rates of fertilizer application during the period of their active consumption by potato plants. *Naukovì Dopovidì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni*, 2023(5/105). *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення впливу способів внесення добрив на період*

локалізації та доступності рухомих сполук фосфору та обмінного калію у ґрунті, підготовлено матеріали до друку).

DOI: [https://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.013](https://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.013)

Матеріали науково-практичних конференцій

1. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Оптимізація умов живлення картоплі за локалізованого внесення добрив. II міжнародна науково - практична відео-онлайн конференція «Інновації в освіті, науці та виробництві». Київ, 15–16 листопада 2018 року: тези доповіді. Київ, 2018 р. *(Здобувачем опрацьовано та проаналізовано наукові джерела та підготовлено матеріали до друку).*
2. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Продуктивність картоплі за використання локального різноглибинного внесення фосфорних та калійних добрив. III Міжнародна науково-практична конференція «Рослинництво XXI століття: виклики та інновації. До 120-ти річчя кафедри рослинництва НУБП України» Київ, 25–26 вересня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019 р. С. 91–92 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення рівня врожайності картоплі, підготовлено матеріали до друку).*
3. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Вплив способів та норм внесення добрив на продуктивність насіннєвої картоплі сорту Тирас. Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів: Міжнародна науково-практична конференція. Київ, 23–25 листопада 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021 р. С. 73–78 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення врожайності насіннєвої картоплі, підготовлено матеріали до друку).*
4. Бикін А. В., **Панчук Т. В.** Локальний спосіб внесення мінеральних добрив – як фактор поліпшення показників якості бульб картоплі. Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів: Міжнародна науково-практична конференція. Київ, 11–13 жовтня 2022 року: тези доповіді. Київ, 2022 р. С. 65–71 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо*

встановлення показників якості бульб картоплі столової, підготовлено матеріали до друку).

5. **Панчук Т.В.,** Нагорна О.В. Вплив способів внесення добрив на міграцію калі в темно-сірому опідзоленому ґрунті за вирощування картоплі столової. Міжнародна Науково-практична конференція “Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу”. Київ, 25 травня 2023 р.: тези доповіді. Київ, 2023 р. С. 401–407 с. *(Здобувачем проведено польові дослідження щодо встановлення впливу способів внесення добрив на міграції сполук калію у ґрунті, підготовлено матеріали до друку).*

Метеорологічні умови в роки проведення досліджень (за даними iMETOS 3.3)

Показник	Середні дані за місяць												За вегетацію	За рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
	2019													
Температура, °C	-5,33	0	4,29	10,1	17,59	23,63	19,76	20,61	15,69	10,33	4,19	2,2	17,9	10,3
Вологість, %	15,8	27,4	27,6	49,4	83,6	86,2	35,8	20,6	23,8	12,2	28	26,6	299	437
2020														
Температура, °C	0,49	2,11	5,98	8,94	12,77	22,29	21,84	21,13	17,73	12,52	3,60	-0,79	17,5	10,7
Вологість, %	19	44	18,4	15,4	106,4	63,8	45,2	28,2	47,6	67	23,4	38,2	307	517
2021														
Температура, °C	-2,94	-5,73	2,35	7,6	14,67	21,55	24,3	21,19	18,14	8,12	4,11	-1,66	17,9	9,3
Вологість, %	29,4	25	13,8	40,4	69,4	27	81,4	34,2	23,8	11,8	27,8	49	276	433
2022														
Температура, °C	-1,53	1,48	2,09	8,12	14,46	21,54	20,65	22,21	12,44	9,82	2,84	-1,56	16,6	9,4
Вологість, %	29,2	8,4	5,8	53,6	28,8	44,4	67	45,4	78	44,2	64,6	56	317	525

Біометричні показники рослин картоплі сорту Тирас за різних способів та норм внесення добрив, 2019 р.

Фаза росту та розвитку рослин	Спосіб внесення	Норма внесення кг/га д.р.	Показник									
			висота рослин, см	довжина центрального кореня, см	кількість стебел під кушем, шт	маса надземної частини, т/га	маса підземної частини, т/га	кількість бульб під кушем, шт	маса бульб під кушем, г	співвідношення надземної до підземної частини	площа листової поверхні, м ² /га	листяний індекс
сходи (ВВСН-1-9)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	11,1	22,1	4,8	1,16	1,00	-	-	1,16	1278	0,13
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	13,3	20,1	4,6	1,33	0,92	-	-	1,44	1257	0,13
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	13,1	22,5	5,0	1,36	0,98	-	-	1,39	1680	0,17
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	13,5	23,1	5,0	1,51	1,18	-	-	1,28	1516	0,15
	НІР ₀₅ /Sx,%		1,11/1,9	1,03/2,1	1,25/0,8	0,43/2,3	0,12/2,13	-	-	-	-	148/1,9
бутонізація (ВВСН-51-59)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	43,1	25,3	-	11,7	1,88	-	-	6,21	14594	1,46
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	44,5	26,9	-	11,8	1,95	-	-	6,04	13142	1,31
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	42,4	25,9	-	12,4	1,97	-	-	6,28	14290	1,43
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	42,9	25,5	-	13,3	2,05	-	-	6,46	13119	1,31
	НІР ₀₅ /Sx,%		3,39/2,0	4,01/2,0	-	0,54/1,9	1,06/1,84	-	-	-	-	1297/2,11
цвітіння (ВВСН-60-69)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	52,5	26,0	-	23,9	3,95	9,1	33,8	6,05	28922	2,89
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	54,6	27,1	-	23,3	5,48	10,7	63,2	4,24	27820	2,78
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	53,2	26,5	-	24,9	6,19	10,9	72,1	4,02	29269	2,93
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	55,7	26,1	-	24,9	6,77	12,3	85,5	3,68	27425	2,74
	НІР ₀₅ /Sx,%		2,59/1,7	4,86/2,3	-	0,94/2,2	3,84/2,3	0,43/2,20	1,38/1,8	-	-	3630/2,2
«зелена ягода» (ВВСН-70-79)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	78,9	23,8	-	30,0	20,5	9,6	332	1,46	39349	3,93
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	76,5	25,2	-	33,6	25,4	11,6	422	1,32	55664	5,57
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	83,4	24,5	-	33,2	29,1	11,2	489,3	1,14	43927	4,39
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	78,8	23,1	-	30,0	21,1	11,9	349,4	1,42	41320	4,13
	НІР ₀₅ /Sx,%		5,08/1,8	8,32/2,1	-	1,2/2,2	4,34/2,0	2,28/2,12	0,79/2,0	-	-	3739/2,1

Біометричні показники рослин картоплі сорту Тирас за різних способів та норм внесення добрив, 2020 р.

Фаза росту та розвитку рослин	Спосіб внесення	Норма внесення кг/га д.р.	Показник									
			висота рослин, см	довжина центрального кореня, см	кількість стебел під кушем, шт	маса надземної частини, т/га	маса підземної частини, т/га	кількість бульб під кушем, шт	маса бульб під кушем, г	співвідношення надземної до підземної частини	площа листової поверхні, м ² /га	листяний індекс
сходи (ВВСН-1-9)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	11,8	21,8	4,7	1,20	1,11	-	-	1,08	1338	0,13
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	13,6	20,6	4,8	1,34	1,07	-	-	1,26	1311	0,13
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	12,8	21,0	5,0	1,40	1,00	-	-	1,40	1657	0,17
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	15,4	21,4	5,1	1,39	1,14	-	-	1,21	1553	0,16
	НІР ₀₅ /Sx, %		1,11/1,9	1,91/2,1	1,64/2,1	0,55/2,3	0,14/2,3	-	-	-	-	92,3/1,9
бутонізація (ВВСН-51-59)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	44,3	21,7	-	15,7	1,89	-	-	8,29	14854	1,49
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	43,7	27,7	-	10,9	1,83	-	-	5,94	12074	1,21
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	43,7	27,7	-	12,6	1,80	-	-	7,03	10984	1,10
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	50,0	24,3	-	12,6	1,61	-	-	7,81	12010	1,20
	НІР ₀₅ /Sx, %		3,39/2,1	4,66/2,3	-	1,3/2,3	1,45/1,9	-	-	-	-	1123/2,3
цвітіння (ВВСН-60-69)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	55,7	20,3	-	22,2	3,36	9,0	35,3	6,62	20342	2,03
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	55,7	24,0	-	22,4	5,30	10,2	67,0	4,23	25509	2,55
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	56,3	24,3	-	24,1	6,00	11,1	75,7	4,02	30041	3,00
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	56,7	25,7	-	26,4	7,29	11,9	97,7	3,63	32245	3,22
	НІР ₀₅ /Sx, %		2,59/2,3	5,40/2,4	-	0,95/1,9	1,95/2,2	0,52/2,4	1,22/1,9	-	-	2682/2,4
«зелена ягода» (ВВСН-70-79)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	90,0	22,5	-	44,7	20,0	10,1	322	2,23	53189	5,32
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	77,5	24,5	-	41,3	25,9	11,7	430	1,59	56429	5,64
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	89,0	24,9	-	42,7	29,9	10,2	502	1,43	37452	3,75
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	80,5	25,8	-	40,1	23,4	12,1	390	1,71	33704	3,37
	НІР ₀₅ /Sx, %		5,08/2,2	10,4/1,9	-	1,5/2,2	2,66/1,9	2,42/2,1	0,64/1,8	-	-	1,9/2,2

Біометричні показники рослин картоплі сорту Тирас за різних способів та норм внесення добрив, 2021 р.

Фаза росту та розвитку рослин	Спосіб внесення	Норма внесення кг/га д.р.	Показник									
			висота рослин, см	довжина центрального кореня, см	кількість стебел під кушем, шт	маса надземної частини, т/га	маса підземної частини, т/га	кількість бульб під кушем, шт	маса бульб під кушем, г	співвідношення надземної до підземної частини	площа листової поверхні, м²/га	листовий індекс
сходи (ВВСН-1-9)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	10,8	22,8	5,3	1,17	0,85	-	-	1,38	1184	0,12
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	12,8	25,8	5,0	1,38	1,05	-	-	1,31	1162	0,12
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	11,5	25,3	4,9	1,31	1,22	-	-	1,07	1477	0,15
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	12,3	26,0	4,8	1,59	1,26	-	-	1,26	1427	0,14
	НІР ₀₅ /Sx, %		1,11/2,2	0,86/1,9	2,0/1,8	0,19/2,2	0,18/1,9	-	-	-	-	96,9/1,9
бутонізація (ВВСН-51-59)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	42,5	30,0	-	11,0	2,90	-	-	3,77	13780	1,38
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	45,5	30,5	-	11,5	2,65	-	-	4,34	13500	1,35
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	39,5	30,0	-	11,8	3,01	-	-	3,93	16355	1,64
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	43,0	29,0	-	12,7	2,94	-	-	4,33	16073	1,61
	НІР ₀₅ /Sx, %		3,39/2,1	6,66/2,3	-	0,9/2,2	0,75/2,3	0,39/2,0	-	-	-	725,7/2,7
цвітіння (ВВСН-60-69)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	51,0	33,5	-	26,3	7,39	9,13	39,1	3,56	30282	3,03
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	59,5	28,5	-	23,5	10,4	11,0	97,5	2,27	29252	2,93
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	53,5	32,0	-	25,8	10,6	10,4	92,6	2,44	30352	3,04
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	56,0	28,5	-	23,5	9,91	11,2	91,5	2,37	27716	2,77
	НІР ₀₅ /Sx, %		2,59/2,3	5,53/2,5	-	1,2/1,9	1,82/2,1	1,48/2,2	1,19/2,2	-	-	2857/2,4
«зелена ягода» (ВВСН-70-79)	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	59,0	30,5	-	28,4	25,9	10,3	380	1,10	43193	4,32
	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	65,0	28,0	-	29,7	26,2	10,3	387	1,13	57318	5,73
	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	66,5	23,0	-	33,4	27,4	10,7	413	1,22	43901	4,39
	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	62,5	29,0	-	29,5	21,2	12,7	303	1,39	44263	4,43
	НІР ₀₅ /Sx, %		5,08/2,0	6,58/2,4	-	1,5/2,4	3,05/2,5	3,56/2,0	0,93/2,1	-	-	4370/2,3

Вплив різних різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив на чисту продуктивність фотосинтезу (г/м²×добу), 2019 р.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² добу		
		сходи - бутонізація	бутонізація - цвітіння	цвітіння – «зелена ягода»
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	7,29	4,77	8,30
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	8,24	6,22	9,38
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	8,04	6,32	12,6
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	9,10	6,72	7,89
НІР ₀₅ /Sx, %		0,92/2,3	0,64/2,2	0,69/1,9

Вплив різних різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив на чисту продуктивність фотосинтезу (г/м²×добу), 2020 р.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² добу		
		сходи - бутонізація	бутонізація - цвітіння	цвітіння – «зелена ягода»
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	10,24	6,54	12,65
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	7,82	6,45	12,77
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	9,70	6,67	13,55
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	9,00	6,90	11,17
НІР ₀₅ /Sx, %		0,76/1,9	0,58/2,3	0,87/2,2

**Вплив різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив на чисту продуктивність фотосинтезу
(г/м²×добу), 2021 р.**

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² добу		
		сходи - бутонізація	бутонізація - цвітіння	цвітіння – «зелена ягода»
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	7,25	5,80	6,10
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	8,62	6,98	7,32
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	7,82	5,86	9,37
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	7,79	5,37	6,51
НІР ₀₅ /Sx, %		0,84/2,5	0,58/2,4	0,87/2,1

**Вміст загального азоту (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм
внесення фосфорних та калійних добрив, за 2019 р.**

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	3,40	2,62	1,95	3,15	2,51	1,65	1,78	1,56	1,10	0,98	2,11	1,92	1,28	1,11	2,08	1,52	1,22	1,15
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	3,12	2,81	2,11	3,25	2,42	2,25	2,25	1,82	1,42	1,05	2,35	2,02	1,36	1,08	2,24	1,48	1,38	1,25
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	3,02	2,74	2,22	3,05	2,65	2,05	1,95	1,65	1,17	1,04	2,41	1,89	1,32	1,04	2,12	1,45	1,43	1,34
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	3,35	2,87	2,17	3,14	2,04	1,84	2,12	1,52	1,14	1,09	2,32	1,75	1,39	1,02	2,11	1,62	1,20	1,38
НІР ₀₅	0,47	0,19	0,19	0,34	0,34	0,28	0,27	0,17	0,12	0,09	0,23	0,20	0,18	0,15	0,17	0,13	0,14	0,09
S _x ,%	2,1	2,3	2,3	2,5	2,1	2,0	1,9	1,5	1,5	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	1,7	1,6	1,5	1,8

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2020 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	3,42	2,77	1,86	2,82	2,13	1,72	2,43	1,80	1,24	1,65	2,22	1,40	1,39	1,25	2,79	1,41	1,00	1,25
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	2,99	2,61	2,43	3,08	2,17	1,78	2,65	1,66	1,80	1,14	2,12	1,78	1,28	0,97	2,77	1,15	1,17	1,29
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	3,41	2,67	1,93	2,97	2,23	1,78	2,16	1,71	1,50	1,53	2,43	1,50	1,20	1,02	2,43	1,31	1,30	1,18
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	3,39	2,61	1,71	3,20	2,10	1,70	2,31	1,77	1,48	1,28	2,35	1,42	1,41	0,88	2,62	1,58	1,02	1,46
НІР ₀₅	0,15	0,37	0,17	0,29	0,28	0,15	0,23	0,15	0,11	0,14	0,17	0,14	0,17	0,09	0,27	0,15	0,12	0,13
Sx,%	2,6	2,0	2,2	2,4	1,9	2,3	2,4	2,3	2,1	2,5	2,1	2,3	1,8	1,8	1,9	2,2	2,5	2,4

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального азоту (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2021 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	3,63	2,71	2,29	3,61	2,82	2,13	2,42	1,65	1,00	0,75	2,62	2,30	1,37	1,19	1,09	1,56	0,91	1,01
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	3,51	3,28	2,22	3,44	2,93	2,43	2,51	1,69	1,13	0,86	2,97	1,95	1,85	1,22	1,92	1,56	1,66	1,12
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	3,09	3,02	2,37	2,85	3,17	1,99	2,04	1,77	0,89	0,74	2,74	1,91	1,24	1,10	1,58	1,45	1,64	1,44
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	3,55	3,22	2,54	3,25	2,12	1,99	2,28	1,39	0,76	0,82	2,54	2,21	1,43	1,20	1,76	1,56	1,27	1,19
НІР ₀₅	0,24	0,31	0,18	0,33	0,35	0,19	0,16	0,13	0,08	0,06	0,31	0,19	0,16	0,10	0,07	0,10	0,07	0,07
S _x ,%	1,9	2,5	2,1	2,4	1,8	1,9	1,7	1,9	2,2	2,1	1,9	1,8	2,5	2,3	2,6	1,9	1,7	1,9

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2019 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,80	0,69	0,53	0,55	0,51	0,73	0,44	0,34	0,45	0,30	0,33	0,32	0,45	0,34	0,25	0,12	0,18	0,32
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,74	0,75	0,65	0,63	0,50	0,65	0,41	0,36	0,39	0,35	0,31	0,29	0,35	0,30	0,21	0,10	0,15	0,28
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	0,98	0,68	0,58	0,50	0,48	0,69	0,39	0,38	0,45	0,31	0,26	0,24	0,34	0,28	0,23	0,12	0,20	0,31
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	0,90	0,74	0,59	0,57	0,51	0,59	0,42	0,30	0,42	0,39	0,28	0,18	0,31	0,29	0,20	0,11	0,17	0,34
НІР ₀₅	0,08	0,06	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
Sx,%	1,9	2,1	2,1	2,0	1,7	1,9	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,2	2,2	1,9	1,8	2,0	2,1	2,2

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2020 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,69	0,65	0,65	0,64	0,64	0,87	0,58	0,44	0,70	0,58	0,37	0,27	0,48	0,35	0,33	0,21	0,26	0,35
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,67	0,71	0,68	0,71	0,58	0,88	0,48	0,42	0,64	0,44	0,25	0,22	0,37	0,32	0,23	0,19	0,23	0,30
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	1,07	0,66	0,67	0,64	0,58	0,78	0,50	0,42	0,74	0,46	0,28	0,24	0,42	0,34	0,30	0,22	0,28	0,34
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	0,71	0,74	0,71	0,74	0,63	0,77	0,54	0,35	0,63	0,47	0,30	0,19	0,35	0,30	0,29	0,15	0,24	0,37
НР ₀₅	0,05	0,07	0,07	0,07	0,04	0,10	0,05	0,04	0,10	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02
Sx, %	1,9	2,4	2,5	2,4	1,9	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0	2,3	2,1	1,7	1,9	1,8	1,8	1,5	1,9

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального фосфору (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2021 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,97	0,76	0,51	0,54	0,51	0,71	0,38	0,32	0,26	0,29	0,25	0,19	0,20	0,31	0,11	0,06	0,11	0,21
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	0,85	0,85	0,69	0,51	0,47	0,64	0,28	0,22	0,22	0,33	0,32	0,23	0,33	0,32	0,16	0,07	0,13	0,24
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	1,09	0,73	0,53	0,43	0,43	0,61	0,27	0,21	0,23	0,31	0,20	0,14	0,22	0,29	0,13	0,09	0,15	0,26
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	1,14	0,77	0,54	0,50	0,48	0,59	0,24	0,18	0,17	0,33	0,21	0,13	0,19	0,24	0,14	0,06	0,12	0,23
НІР ₀₅	0,10	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Sx,%	2,2	1,9	1,7	1,9	2,4	2,2	2,1	2,0	2,3	1,9	1,7	2,0	1,9	1,9	2,2	1,9	2,2	1,9

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального калію (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2019 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	6,14	7,85	5,84	5,84	8,01	5,27	5,75	7,43	4,41	3,91	6,01	6,61	3,29	3,41	5,24	4,47	3,02	3,34
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	5,82	7,54	5,25	5,54	7,43	4,94	4,84	6,35	3,75	3,72	5,05	5,89	3,01	2,82	4,68	4,02	2,82	2,75
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	6,02	7,42	5,17	5,22	6,85	4,52	4,63	6,21	4,12	3,64	5,12	5,23	3,15	2,69	4,41	4,08	2,14	2,50
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	6,21	7,25	5,35	5,35	7,87	5,25	5,21	5,89	4,24	3,79	6,14	6,10	3,47	3,11	4,74	3,84	2,64	3,05
НІР ₀₅	0,30	1,06	0,27	0,78	0,75	0,30	0,26	0,66	0,37	0,38	0,30	0,68	0,29	0,36	0,39	0,34	0,32	0,14
Sx, %	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	1,9	1,7	1,9	2,3	2,5	2,4	2,2	2,3	1,9	2,2	2,2	2,7	1,7

*на фоні N₁₅₀

Вміст загального калію (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2020 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	6,02	8,17	5,89	5,78	7,89	5,28	5,97	7,84	4,19	4,06	6,20	7,43	3,74	3,34	5,45	4,52	3,13	3,56
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	5,47	7,80	5,12	5,28	7,01	4,60	4,86	6,02	3,52	3,30	4,01	4,24	2,10	2,67	3,65	3,86	2,77	2,67
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	5,59	7,19	5,22	5,15	6,13	4,26	4,68	5,97	3,61	3,30	4,10	4,33	2,41	2,45	3,49	4,15	2,09	2,50
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	6,63	7,74	5,16	6,48	8,53	5,23	6,15	5,53	4,68	3,79	6,06	6,60	2,99	3,17	4,15	3,92	2,64	3,56
НІР ₀₅	0,69	0,50	0,29	0,48	0,42	0,40	0,25	0,68	0,46	0,41	0,45	0,60	0,29	0,27	0,55	0,43	0,22	0,30
Sx,%	1,7	2,2	2,0	2,2	1,9	2,2	2,4	2,5	2,0	2,4	2,3	2,5	2,5	2,3	1,9	1,9	2,2	2,4

*на фоні N₁₅

Вміст загального калію (% на суху речовину) в рослинах картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних та калійних добрив, за 2021 р.

Варіант	Фаза розвитку																	
	Сходи			Бутонізація			Цвітіння				Зелена ягода				Технічна стиглість			
	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба	Листок	Стебло	Корінь	Бульба
Розкидний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	6,74	7,94	5,91	6,03	8,26	5,84	6,04	8,18	4,83	4,10	6,13	6,12	3,67	3,65	5,65	4,69	3,11	3,35
Локальний (P ₈₀ K ₁₈₀)*	5,94	7,14	5,27	6,35	8,16	5,35	4,66	6,32	4,11	4,05	5,45	7,45	3,49	3,21	5,22	4,33	2,78	2,98
Локальний (P ₆₀ K ₁₃₅)*	6,56	7,07	5,17	5,23	7,46	5,12	4,46	6,12	4,55	3,85	5,55	5,93	3,72	3,05	4,87	4,17	2,45	2,55
Локальний (P ₄₀ K ₉₀)*	6,62	6,59	5,65	5,19	7,55	5,05	5,02	5,96	4,39	3,92	6,04	6,14	3,99	3,54	5,45	3,56	2,95	3,12
НІР ₀₅	0,40	1,01	0,69	0,63	0,61	0,52	0,29	0,91	0,27	0,35	0,50	0,62	0,64	0,24	0,31	0,45	0,21	0,35
Sx,%	2,1	2,0	1,8	1,9	2,1	2,4	1,8	2,0	1,9	1,9	1,9	2,3	2,5	2,5	2,3	2,0	2,1	1,9

*на фоні N₁₅₀

Урожайність картоплі столової насіннєвого напрямку використання (т/га) за різних способів та норм внесення добрив, 2019–2022 рр.

Спосіб внесення	Норма внесення, кг/га д.р.	2019 р.			2020 р.			2021 р.			2022 р.		
		Урожайність, т/га	Приріст врожаю		Урожайність, т/га	Приріст врожаю		Урожайність, т/га	Приріст врожаю		Урожайність, т/га	Приріст врожаю	
			т/га	%		т/га	%		т/га	%		т/га	%
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	31,5	-	-	29,4	-	-	28,7	-	-	24,2	-	-
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	-	-	-	31,1	1,7	5,78	33,2	4,50	15,7	27	2,8	11,6
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	-	-	-	33,4	4,0	13,6	34,7	6,00	20,9	29,1	4,9	20,2
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	33,9	2,4	7,62	32	2,6	8,84	29,7	1,00	3,48	25	0,8	3,31
НІР ₀₅ /S _x , %		2,2/1,9			1,86/2,3			1,68/2,4			1,92/2,1		

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання за різних способів і норм внесення добрив, 2019 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								не стандартна					
		28-35		35-45		45-55		т/га	%	<28		>55		т/га	%
		т/га	%	т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%		
Розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,42	18,4	6,46	34,7	8,74	47,0	18,6	59,0	1,42	11,0	11,5	89,1	12,9	41,0
Локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,55	11,4	8,26	36,9	11,6	51,8	22,4	66,1	1,32	11,5	10,2	88,7	11,5	33,9
НІР ₀₅		0,55		1,12		1,4		2,2		0,81		0,92		1,0	
Sx.%		1,9		1,9		2,3		2,5		2,1		2,2		2,4	

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання за різних способів і норм внесення добрив, 2020 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								не стандартна					
		28-35		35-45		45-55		т/га	%	<28		>55		т/га	%
		т/га	%	т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%		
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	4,56	17,1	16,0	59,9	6,14	23,0	26,7	90,8	1,59	58,0	1,15	42,0	2,74	9,32
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,72	9,35	14,3	49,1	12,1	41,6	29,1	93,6	1,11	52,6	1,00	47,4	2,11	6,78
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,66	8,42	15,8	50,0	13,1	41,5	31,6	94,6	0,82	44,3	1,03	55,7	1,85	5,54
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	4,35	14,4	17,8	58,7	8,12	26,8	30,3	94,7	1,06	61,6	0,66	38,4	1,72	5,38
НІР ₀₅		0,35		1,22		0,53		2,34		0,8		0,8		0,24	
Sx.%		1,9		1,8		2,4		2,1		2,3		2,2		2,4	

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання за різних способів і норм внесення добрив, 2021 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								не стандартна					
		28-35		35-45		45-55		т/га	%	<28		>55		т/га	%
		т/га	%	т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%		
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,23	9,07	10,3	41,9	12,1	49,2	24,6	85,7	0,95	23,2	3,14	76,8	4,09	14,3
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,00	10,2	12,8	43,7	13,5	46,1	29,3	88,3	0,80	18,8	3,45	81,2	4,25	12,8
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,73	8,89	11,9	38,8	16,1	52,4	30,7	88,5	0,37	9,25	3,63	90,8	4,00	11,5
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	1,95	7,20	11,3	41,7	13,8	50,9	27,1	91,2	0,60	23,1	2,00	76,9	2,60	8,75
НІР ₀₅		0,23		0,87		1,25				0,2		0,43			
Sx.%		1,9		2,1		2,3				2,2		2,0			

Структура врожаю картоплі столової насіннєвого напрямку використання за різних способів і норм внесення добрив, 2022 р.

Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Фракція бульб, мм													
		стандартна								не стандартна					
		28-35		35-45		45-55		т/га	%	<28		>55		т/га	%
		т/га	%	т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%		
розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	3,13	14,6	9,20	42,8	9,13	42,5	21,5	88,8	1,66	60,1	1,10	39,9	2,76	11,4
локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	2,53	10,2	12,4	50,2	9,80	39,7	24,7	91,5	0,97	43,1	1,28	56,9	2,25	8,33
локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	2,87	10,8	13,5	50,9	10,1	38,1	26,5	91,1	1,12	42,6	1,51	57,4	2,63	9,04
локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	2,60	11,4	10,5	45,9	9,77	42,7	22,9	91,6	1,00	47,2	1,12	52,8	2,12	8,48
НІР ₀₅		0,30		1,17		1,12				0,88		0,12			
Sx.%		1,6		1,9		1,7				2,2		2,4			

Економічна ефективність вирощування картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, середнє за 2019 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість грн/т	Рівень рентабельності, %
			стандартні фракції	не стандартні фракції					
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	18,62	12,92	146984	105107	41878	3332	39,8
2	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	22,41	11,52	172872	100287	72585	2956	72,4

Економічна ефективність вирощування картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, середнє за 2020 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість грн/т	Рівень рентабельності, %
			стандартні фракції	не стандартні фракції					
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	26,7	2,74	163351	111637	51714	3792	46,3
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	29,1	2,01	176842	110575	66267	3555	59,9
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	31,6	1,85	191428	108286	83141	3242	76,8
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	30,3	1,72	183658	106481	77177	3328	72,5

Економічна ефективність вирощування картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, середнє за 2021 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість грн/т	Рівень рентабельності, %
			стандартні фракції	не стандартні фракції					
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	24,6	4,1	171161	114868	56292	4000	49,0
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	28,9	4,3	200175	113806	86369	3433	75,9
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	30,8	3,9	212783	111517	101265	3211	90,8
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	27,1	2,6	185708	109712	75995	3700	69,3

Економічна ефективність вирощування картоплі столової за різних способів та норм внесення фосфорних і калійних добрив, середнє за 2022 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Урожайність, т/га		Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Прибуток, грн/га	Собівартість грн/т	Рівень рентабельності, %
			стандартні фракції	не стандартні фракції					
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	21,5	2,8	125082	118356	6726	4887	5,7
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	24,7	2,3	143211	117245	25966	4346	22,1
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	26,5	2,6	153509	115234	38275	3960	33,2
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	22,9	2,1	132479	113365	19114	4536	16,9

Накопичення та витрати сукупної енергії за вирощування картоплі столової з використання різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2019 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Е _у , МДж/га	К ФАР, %	Витрати антропогенної енергії (Е _а), МДж/га		К _{еє}
					добрива, пестициди, насіння	всього	
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	298755	24,1	19263	50735	6,38
2	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	351257	26,8	18012	53348	6,80

* на фоні N₁₅₀

Накопичення та витрати сукупної енергії за вирощування картоплі столової з використання різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2020 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Еу, МДж/га	К ФАР, %	Витрати антропогенної енергії (Еа), МДж/га		К _е
					добрива, пестициди, насіння	всього	
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	296606	23,5	19263	50937	6,46
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	381278	30,3	19263	57096	7,56
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	364817	29,0	18637	55522	6,77
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	349315	27,7	18012	53654	6,88

* на фоні N₁₅₀

Накопичення та витрати сукупної енергії за вирощування картоплі столової з використання різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2021 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Еу, МДж/га	К ФАР, %	Витрати антропогенної енергії (Еа), МДж/га		Кее
					добрива, пестициди, насіння	всього	
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	329608	24,2	19263	50947	6,66
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	388288	28,5	19263	57106	7,16
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	367380	27,0	18637	55553	6,65
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	373234	27,4	18012	53724	6,14

* на фоні N₁₅₀

Накопичення та витрати сукупної енергії за вирощування картоплі столової з використання різних способів та норм внесення добрив, середнє за 2022 р.

№ п/п	Спосіб внесення добрив	Норма внесення, кг/га д.р.	Еу, МДж/га	К ФАР, %	Витрати антропогенної енергії (Еа), МДж/га		Кее
					добрива, пестициди, насіння	всього	
1	розкидний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	329608	24,2	19263	50947	6,66
2	локальний	P ₈₀ K ₁₈₀ *	388288	28,5	19263	57106	7,16
3	локальний	P ₆₀ K ₁₃₅ *	367380	27,0	18637	55553	6,65
4	локальний	P ₄₀ K ₉₀ *	373234	27,4	18012	53724	6,14

* на фоні N₁₅₀

Розподіл фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті (шар 0-25 см) у фазу бутонізації за різних способів внесення добрив, 2019-2021 рр.

№ зразка	2019 р.				2020 р.				2021 р.			
	Варіант				Варіант				Варіант			
	Розкидний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₆₀ K ₁₃₅ *	Локальний P ₄₀ K ₉₀ *	Розкидний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₆₀ K ₁₃₅ *	Локальний P ₄₀ K ₉₀ *	Розкидний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₈₀ K ₁₈₀ *	Локальний P ₆₀ K ₁₃₅ *	Локальний P ₄₀ K ₉₀ *
1	278,1	212,5	209,5	195,5	278,1	168,6	178,5	180,3	277,8	193,2	203,0	191,8
2	280,7	210,2	198,4	215,6	243,0	156,3	169,2	175,6	232,2	191,1	201,0	211,1
3	272,7	207,6	204,7	291,3	209,7	156,5	231,6	186,8	240,4	188,0	225,4	269,8
4	290,3	215,4	213,0	264,9	211,5	187,6	247,1	209,2	237,7	192,4	223,0	240,7
5	284,9	251,9	227,1	302,1	246,7	202,2	279,7	220,5	259,4	247,5	266,3	258,6
6	320,1	286,6	302,1	322,2	233,1	236,5	302,6	253,7	257,5	275,9	309,7	371,8
7	292,8	277,8	237,0	318,3	278,6	237,9	283,1	220,5	258,6	236,3	236,8	265,8
8	323,5	228,4	184,2	287,4	295,0	192,4	254,4	211,3	253,8	215,7	187,8	239,9
9	274,4	209,0	177,2	272,3	214,4	182,7	259,8	206,5	229,9	205,5	184,1	222,1
10	318,4	210,3	159,5	274,5	277,7	175,6	241,2	171,1	259,9	197,0	163,3	211,2
11	290,7	209,4	168,5	215,5	193,2	182,6	195,4	168,7	239,2	195,7	164,8	186,7
12	280,2	196,5	170,3	293,8	221,9	165,0	190,5	165,2	261,3	183,3	170,9	228,8
13	302,5	196,5	178,6	248,7	226,1	160,2	205,6	172,4	243,8	181,8	189,8	204,7
14	280,7	213,1	201,7	258,5	236,4	168,9	242,3	192,6	233,7	192,4	193,8	208,2
15	262,2	272,7	189,9	428,0	216,7	179,6	227,2	206,5	212,5	224,0	207,1	302,5
16	270,6	504,2	470,4	463,8	218,6	205,4	275,8	222,7	216,3	350,6	360,8	351,7
17	246,2	339,7	207,8	336,4	239,7	194,7	261,7	219,1	216,7	248,3	216,0	261,7
18	236,2	394,7	309,2	284,0	279,1	169,7	231,6	181,4	207,2	276,0	253,7	222,5
19	236,6	330,5	214,4	243,5	227,0	163,9	222,8	175,3	196,1	245,8	202,3	191,4
20	281,5	189,1	181,9	236,5	227,0	132,1	218,9	169,8	229,0	172,9	175,9	184,2

Продовження табл. 29

21	250,4	205,3	187,1	228,5	205,0	163,7	223,3	135,2	207,7	179,2	174,5	184,1
22	311,3	257,5	189,0	238,0	152,4	143,7	190,1	128,9	233,6	202,3	174,5	191,8
23	223,6	278,7	165,9	237,0	195,6	164,1	182,2	121,5	207,1	210,4	164,8	182,2
24	234,1	264,4	163,5	279,6	205,0	166,9	174,1	107,3	204,4	195,2	175,6	195,4
25	239,1	260,2	187,5	354,5	176,8	175,6	220,4	146,4	200,3	197,3	190,8	248,3
26	228,2	255,2	192,7	381,0	207,3	184,5	243,7	199,6	185,0	202,6	215,3	280,3
27	200,1	202,0	151,7	315,8	239,7	157,2	234,5	188,8	167,7	167,2	183,0	249,4
28	101,0	253,3	122,5	277,6	198,9	128,0	167,3	143,7	105,2	188,0	163,3	213,2
29	173,6	210,4	143,8	256,1	152,4	134,5	155,2	139,6	152,6	148,9	165,7	179,3
30	235,7	221,0	142,8	243,5	273,0	102,9	150,3	121,7	204,4	153,4	142,5	173,5
31	191,7	209,9	140,3	235,0	173,5	102,9	142,8	125,3	139,6	145,5	140,3	178,1
32	182,0	168,7	139,6	256,1	137,9	96,9	140,3	130,5	133,9	133,4	144,5	169,6
33	166,6	176,6	139,0	237,0	182,5	90,4	156,2	124,7	123,8	139,3	134,2	174,5
34	111,5	207,6	116,9	106,2	211,5	108,5	147,4	117,6	104,8	156,9	123,6	96,4
35	101,4	221,0	131,0	153,2	154,3	115,9	147,9	103,7	101,7	159,2	125,2	121,1
36	114,4	220,5	171,1	279,1	154,3	120,5	167,8	117,2	101,2	172,6	170,5	195,1
37	161,0	229,3	149,9	181,6	161,3	118,7	136,7	116,7	133,2	172,1	153,3	138,5
38	171,6	125,2	134,8	195,6	179,6	104,8	157,1	101,0	132,1	114,1	127,7	137,0
39	192,2	145,7	145,3	178,5	147,7	102,1	151,8	112,3	156,3	118,3	148,1	131,2
40	205,9	131,5	136,6	170,2	147,3	100,6	142,8	115,6	163,0	118,4	146,7	126,6
41	186,3	171,5	93,4	194,1	223,5	93,5	100,9	102,2	155,0	103,9	113,0	124,0
42	142,2	160,4	90,9	185,6	124,1	93,5	93,4	105,9	128,1	116,0	110,9	128,6
43	132,6	119,2	90,1	206,6	88,4	87,5	90,9	111,1	122,4	104,0	115,0	120,1
44	117,1	127,2	89,6	187,5	133,0	81,0	106,7	105,3	112,4	109,9	104,8	125,1
45	102,0	198,1	107,4	96,7	202,1	99,0	137,9	108,2	100,4	147,4	114,2	95,0
46	92,0	211,5	121,6	143,8	144,9	106,5	138,4	94,3	101,3	149,7	115,7	111,6
47	105,0	211,1	161,7	269,6	144,9	111,1	158,4	107,7	96,7	163,1	161,1	185,7
48	111,6	179,8	100,4	132,2	111,9	109,2	87,2	107,3	121,8	122,7	103,8	109,0
49	122,2	75,8	85,4	146,1	130,2	95,3	107,7	91,6	120,7	94,6	108,3	107,6
50	142,7	96,3	95,9	129,1	98,3	92,7	102,3	102,9	144,9	98,9	128,6	101,7

Розподіл фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті (шар 0-25 см) у фазу цвітіння за різних способів внесення добрив, 2019-2021 рр.

№ зразка	2019 р.				2020 р.				2021 р.			
	Варіант				Варіант				Варіант			
	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *
1	258,0	218,6	193,2	193,2	256,0	186,5	191,5	198,6	160,3	188,2	175,2	154,5
2	252,5	232,3	186,5	192,8	212,3	191,2	193,8	203,5	173,8	246,0	168,5	166,9
3	247,5	234,8	192,9	190,1	236,7	197,0	274,7	276,7	204,9	241,6	156,6	152,3
4	258,4	235,3	212,4	182,9	213,6	197,9	261,4	245,0	233,7	234,6	161,3	171,2
5	276,9	218,1	200,1	229,7	262,4	271,7	334,0	243,6	244,8	237,6	199,9	189,5
6	284,0	311,6	228,2	246,3	223,5	293,8	345,9	450,0	223,3	269,2	214,8	193,9
7	269,3	292,9	220,1	197,9	253,0	223,2	265,1	241,8	107,2	250,8	197,2	192,6
8	289,5	229,9	223,9	207,9	212,8	231,6	219,9	220,9	105,4	230,2	180,6	151,4
9	264,7	167,3	207,4	195,1	214,0	220,6	219,5	200,5	167,1	137,2	102,2	121,7
10	257,6	152,5	186,3	175,7	229,9	224,5	214,6	220,9	235,5	132,0	166,6	137,4
11	242,5	165,1	169,3	162,5	216,2	203,9	228,2	200,5	113,9	145,8	154,3	136,1
12	359,1	160,9	135,2	158,9	271,0	222,3	191,2	176,5	95,5	146,8	143,6	137,0
13	373,4	173,2	122,9	175,1	213,6	203,9	229,5	186,5	115,3	153,2	159,9	141,2
14	302,5	197,3	115,7	218,8	215,3	203,1	214,4	195,6	169,3	215,8	166,2	168,9
15	214,3	220,4	168,7	189,4	191,4	222,3	252,8	205,5	142,3	196,1	161,2	185,1
16	263,9	366,5	216,9	313,2	190,5	225,6	279,7	268,1	247,7	223,2	213,0	200,4
17	240,8	297,6	180,2	197,9	215,8	199,7	252,8	215,5	156,7	219,7	179,7	182,1
18	300,0	168,9	168,7	244,4	206,8	214,0	226,8	189,6	149,5	186,4	146,8	148,4
19	305,0	162,5	145,3	234,0	184,1	189,6	244,6	168,3	199,0	168,5	148,5	149,3
20	269,3	142,1	151,3	195,1	205,1	195,1	191,6	154,2	140,5	162,4	144,8	133,0

21	318,4	116,4	143,6	143,2	193,5	187,7	200,4	134,6	121,1	157,9	141,7	118,6
22	376,8	114,7	135,5	123,9	184,5	164,7	202,2	139,7	121,6	178,2	154,2	139,7
23	310,9	160,6	144,5	116,8	219,2	170,7	202,7	170,6	104,0	156,3	124,2	129,5
24	195,5	118,6	151,2	241,6	203,3	151,3	216,3	166,5	114,8	192,1	149,5	118,6
25	198,4	176,1	143,1	251,5	190,1	178,5	222,7	208,2	138,2	197,8	182,8	159,7
26	160,6	237,8	169,4	260,1	170,4	187,7	266,5	211,4	103,1	232,8	203,1	177,3
27	118,6	234,5	162,2	207,9	164,0	177,6	242,7	177,4	110,3	186,4	173,8	129,5
28	176,1	181,6	166,4	131,0	137,8	134,7	232,7	131,1	106,7	200,9	146,8	160,6
29	237,8	219,8	132,0	129,1	160,1	133,5	216,3	132,0	99,1	167,4	146,8	116,0
30	234,5	185,1	135,9	145,5	201,6	131,5	170,6	129,7	95,0	154,5	145,0	114,3
31	181,6	156,8	125,7	141,9	116,0	119,5	168,8	111,6	105,4	147,5	137,0	104,6
32	219,8	151,3	112,6	139,5	114,3	133,8	174,2	140,6	102,1	139,2	138,7	126,7
33	172,2	148,2	105,2	140,2	109,6	126,2	177,9	120,6	104,2	146,7	151,3	102,5
34	116,4	182,7	136,2	158,8	126,7	119,5	188,9	115,2	102,3	181,5	135,5	100,9
35	114,7	178,7	104,2	144,0	130,6	133,8	147,8	117,5	99,5	197,5	123,5	101,3
36	118,5	202,9	180,1	164,2	116,4	146,2	198,5	139,7	97,4	198,2	142,1	108,5
37	110,9	185,1	106,6	129,0	134,0	133,3	185,2	123,8	95,5	196,3	137,8	98,9
38	104,2	109,4	117,7	135,5	121,1	131,1	149,2	107,1	97,8	187,4	129,3	97,8
39	191,1	130,0	131,1	132,5	149,0	133,3	179,3	121,6	99,8	154,5	129,2	99,5
40	157,9	128,6	125,5	124,5	148,5	125,1	139,0	122,1	100,2	148,5	128,7	88,4
41	185,0	135,7	116,4	126,1	152,2	122,0	121,2	110,3	90,6	105,1	115,5	94,9
42	132,2	107,3	106,2	122,5	96,6	110,0	119,4	92,1	101,0	118,1	107,5	85,1
43	170,3	101,8	103,1	120,1	94,9	124,3	124,8	121,2	97,7	109,8	109,2	107,3
44	122,8	118,8	95,8	120,8	90,1	116,8	128,5	101,2	99,8	117,3	121,9	83,1
45	106,9	173,2	126,8	149,3	117,3	110,0	179,4	105,8	97,9	172,1	126,1	81,5
46	105,3	169,3	94,8	134,5	121,1	124,3	138,4	108,0	95,1	188,1	114,1	81,9
47	109,0	193,4	160,7	154,8	107,0	136,8	189,0	130,3	93,0	188,8	132,7	89,1
48	101,5	175,7	97,2	114,6	119,5	123,9	135,8	114,4	91,1	146,9	88,4	79,5
49	94,8	99,9	108,3	121,1	106,7	121,7	99,8	97,6	93,4	168,0	109,9	78,4
50	141,6	120,6	111,6	118,1	134,5	123,9	129,9	112,1	95,4	135,1	109,8	80,1

Розподіл калію в темно-сірому опідзоленому ґрунті (шар 0-25 см) у фазу бутонізації за різних способів внесення добрив, 2019-2021 рр.

№ зразка	2019 р.				2020 р.				2021 р.			
	Варіант				Варіант				Варіант			
	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *
1	277,0	179,5	165,94	192,35	349,6	198,5	178,7	229,5	219,2	175,2	168,0	170,0
2	254,4	167,0	165,41	176,75	341,8	183,5	180,4	204,1	181,9	165,2	165,2	164,2
3	247,5	168,8	159,92	154,696	357,5	188,4	176,5	158,7	152,3	163,9	158,1	165,5
4	246,3	168,0	153,46	158,28	356,4	189,0	164,5	173,8	151,0	161,9	157,2	157,5
5	227,6	172,5	204,5	197,5	310,4	189,0	164,5	219,2	159,6	170,9	159,3	190,6
6	243,7	212,3	219,5	206,8	349,6	257,7	197,4	219,2	152,5	181,7	156,3	209,1
7	249,5	156,5	168,1	162,6	310,4	154,6	187,4	143,5	203,4	173,1	163,6	196,5
8	237,8	174,9	155,2	175,0	310,4	206,1	170,1	188,9	180,1	158,5	155,2	175,8
9	211,2	170,4	128,7	164,0	278,9	204,4	131,6	173,8	158,2	151,2	140,5	168,9
10	228,6	183,4	136,3	139,6	294,7	212,5	147,4	128,4	177,4	169,1	139,8	165,5
11	164,4	179,7	127,6	134,3	192,5	206,5	132,6	123,0	151,0	167,6	137,4	160,3
12	180,3	180,0	134,5	142,0	202,5	209,6	144,4	143,5	172,9	165,2	139,4	155,3
13	162,6	163,8	130,1	140,55	192,5	171,8	131,0	145,6	147,5	170,7	144,0	150,3
14	153,9	173,6	137,6	135,6	176,8	189,0	148,1	143,5	145,8	173,1	141,8	142,5
15	158,2	206,7	128,9	166,1	184,7	274,8	131,6	173,8	146,5	153,3	140,9	173,1
16	168,0	370,6	505,6	366,1	161,1	309,2	477,2	249,5	189,7	346,8	448,9	397,4
17	152,6	236,5	415,1	275,3	139,7	154,6	296,2	204,1	180,3	333,2	425,9	361,2
18	142,0	128,3	135,0	138,1	129,7	137,4	148,1	143,5	169,1	134,0	136,7	147,4
19	134,7	130,4	134,5	150,7	121,8	137,4	148,1	158,7	162,3	138,2	135,8	157,6
20	127,2	130,3	137,0	144,8	114,0	140,5	164,5	150,2	155,1	134,9	124,2	154,2

Продовження табл. 31

21	139,8	125,6	127,1	135,1	145,4	135,5	145,6	134,7	149,0	130,5	123,4	150,3
22	143,4	129,7	135,91	133,9	161,1	145,5	152,6	132,5	140,6	128,7	134,0	150,0
23	140,1	135,2	131,32	131,41	145,4	154,6	148,6	125,6	149,7	130,6	128,8	152,0
24	147,1	137,4	126,7	130,7	165,1	154,6	131,6	127,6	143,9	135,0	136,5	148,7
25	143,4	211,6	146,2	169,5	161,1	309,2	131,6	213,3	140,5	128,7	175,6	140,5
26	149,7	371,5	248,9	272,3	137,5	601,2	329,1	355,4	176,6	156,6	183,5	204,0
27	168,5	266,2	133,2	191,9	178,3	412,3	148,1	249,5	173,5	135,0	133,1	149,0
28	146,1	129,3	126,8	119,5	162,6	137,4	132,3	128,4	144,4	136,0	136,2	125,4
29	155,6	136,1	126,9	122,2	186,1	154,6	140,3	128,4	139,9	132,3	128,4	130,8
30	134,4	135,0	129,9	122,6	134,0	148,4	138,7	127,9	149,6	136,3	136,0	132,1
31	145,9	129,5	125,0	123,6	165,4	140,2	135,5	130,5	141,3	133,5	129,3	131,5
32	147,2	125,7	127,6	125,8	173,2	135,6	137,7	135,6	136,0	130,5	132,3	130,7
33	147,5	123,2	121,1	128,8	173,2	129,5	135,8	142,2	136,6	131,6	121,2	130,2
34	148,0	118,34	118,3	121,0	165,4	120,2	132,3	127,0	145,5	131,2	119,1	129,7
35	142,9	136,7	120,8	159,0	165,4	154,6	128,7	202,7	135,1	133,5	127,7	130,1
36	132,4	177,8	129,4	190,9	141,8	223,3	145,2	263,3	137,7	147,0	128,4	133,4
37	126,4	162,5	117,4	159,4	126,1	206,1	122,3	202,7	141,4	133,7	127,4	130,9
38	105,4	152,1	119,3	156,1	86,9	187,5	128,7	203,0	138,7	131,5	124,7	124,00
39	115,7	126,3	117,4	150,33	102,6	135,2	125,6	187,6	143,5	132,2	124,0	127,9
40	123,9	127,7	116,2	141,19	126,1	139,5	124,6	165,4	136,4	130,7	122,5	131,8
41	102,5	103,6	101,8	105,9	109,3	110,4	108,6	103,7	113,4	114,5	112,7	99,8
42	103,4	102,6	102,2	103,8	110,2	109,4	109,0	105,6	114,3	113,5	113,1	101,7
43	105,6	101,5	102,6	110,8	112,4	108,3	109,4	112,6	116,5	112,4	113,5	108,7
44	102,6	99,9	100,9	108,6	109,4	106,7	107,7	110,4	113,5	110,8	111,8	106,5
45	104,9	89,2	101,8	112,7	111,7	96,0	108,6	114,5	115,8	100,1	112,7	110,6
46	99,9	97,8	99,9	113,5	106,7	104,6	106,7	115,3	110,8	108,7	110,8	111,4
47	100,7	95,6	100,9	112,7	107,5	102,4	107,7	114,5	111,6	106,5	111,8	110,6
48	98,8	100,1	101,4	110,5	105,6	106,9	108,2	112,3	109,7	111,0	112,3	108,4
49	99,5	101,4	99,9	101,7	106,3	108,2	106,7	103,5	110,4	112,3	110,8	99,6
50	101,1	101,1	98,6	97,9	107,9	107,9	105,4	99,7	112,0	112,0	109,5	95,8

Розподіл калію в темно-сірому опідзоленому ґрунті (шар 0-25 см) у фазу цвітіння за різних способів внесення добрив, 2019-2021 рр.

№ зразка	2019 р.				2020 р.				2021 р.			
	Варіант				Варіант				Варіант			
	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *
1	213,5	117,8	147,3	124,5	149,6	104,4	105,6	101,9	175,7	169,8	147,0	106,6
2	117,8	139,9	147,3	118,5	162,6	100,3	108,1	126,5	199,3	156,0	173,3	90,3
3	147,3	176,7	132,5	132,0	121,2	97,2	102,2	94,1	199,3	172,0	153,1	89,3
4	176,7	184,1	110,4	125,2	145,8	106,8	104,9	106,7	191,5	139,5	120,7	85,3
5	169,4	187,6	115,7	123,1	133,4	108,9	109,5	133,3	199,3	162,9	124,4	133,3
6	169,4	206,2	117,8	190,9	163,6	193,2	129,7	158,8	191,5	171,2	144,5	158,8
7	103,1	125,2	125,7	129,5	154,3	150,0	102,3	130,9	183,6	143,7	169,8	130,9
8	123,7	113,1	121,0	95,7	161,5	110,6	126,2	116,6	183,6	143,7	150,7	96,6
9	176,7	128,5	135,7	110,4	154,1	108,3	112,1	114,5	175,7	169,8	164,4	102,2
10	198,1	126,5	162,0	125,2	157,5	140,5	118,6	119,4	175,7	145,1	133,6	117,2
11	188,4	85,7	110,4	154,6	122,3	113,2	125,5	115,5	175,7	71,8	112,5	102,2
12	188,4	103,1	95,7	176,7	128,3	121,5	130,2	101,5	128,4	98,7	133,6	131,2
13	173,6	105,3	118,4	235,6	116,0	126,5	129,2	102,6	160,0	182,9	200,7	86,2
14	181,0	331,3	132,5	295,2	97,6	135,8	132,0	105,4	183,6	143,7	262,4	135,2
15	188,4	213,5	221,5	316,6	81,5	172,2	208,7	109,4	175,7	287,4	231,6	250,2
16	110,4	758,4	638,4	574,3	130,4	279,9	351,0	151,6	160,0	339,7	308,7	465,2
17	110,4	397,6	311,9	294,5	160,9	190,7	246,3	111,3	175,7	156,8	231,6	270,2
18	110,4	184,1	212,5	139,9	108,6	109,4	121,5	106,6	167,8	130,6	185,2	175,2
19	123,2	110,5	156,5	110,4	110,3	114,0	102,9	104,9	183,6	104,6	71,8	101,2
20	129,8	131,5	125,2	117,8	137,6	100,3	73,1	97,6	191,5	68,6	87,2	98,7

21	110,4	128,5	121,5	81,0	99,0	95,6	99,6	105,6	175,7	62,3	102,7	106,2
22	120,3	122,4	95,7	92,4	89,9	98,4	74,0	102,2	104,8	78,8	133,6	101,2
23	109,7	120,9	188,3	111,0	86,9	89,5	88,4	107,7	104,8	135,6	118,1	121,1
24	127,6	221,9	195,8	152,5	81,2	89,5	145,6	109,7	112,7	169,8	154,4	285,2
25	134,9	390,2	281,2	226,5	84,8	120,6	198,2	119,8	136,3	483,4	169,5	390,2
26	102,3	625,9	572,3	360,8	97,8	182,0	435,0	299,3	152,1	653,2	555,7	420,2
27	109,7	301,9	274,4	316,6	84,6	150,2	203,2	115,2	136,3	287,4	169,8	405,2
28	109,7	145,2	170,3	235,6	80,4	91,8	112,3	120,7	136,3	143,7	154,6	330,1
29	94,9	122,9	114,5	117,8	97,5	97,7	112,3	74,9	144,2	130,6	70,9	146,2
30	109,7	110,1	108,7	88,4	122,8	78,8	74,8	109,5	175,7	71,1	71,8	121,2
31	110,3	102,5	89,6	80,5	70,6	72,3	69,0	113,2	160,0	65,3	102,7	111,2
32	108,8	98,1	90,2	95,2	53,6	73,6	75,7	77,8	146,0	78,5	87,2	96,1
33	105,5	109,5	93,7	112,5	72,2	67,0	81,6	84,6	152,4	55,5	102,7	81,1
34	111,1	160,1	145,5	95,7	78,8	92,0	91,5	102,5	153,9	143,7	154,4	138,5
35	108,8	165,1	139,0	95,7	72,5	82,3	94,0	103,9	161,3	143,7	277,9	284,1
36	106,8	220,9	175,5	117,8	72,7	147,2	141,6	166,5	142,1	261,3	617,5	645,3
37	108,7	176,7	154,9	92,7	65,0	98,5	59,1	85,5	137,4	235,2	185,2	410,2
38	111,2	104,2	119,5	95,7	61,4	112,5	94,2	104,6	121,6	130,6	138,9	390,2
39	106,7	92,2	100,1	84,7	88,3	58,9	51,5	51,7	104,8	75,7	50,9	81,1
40	105,4	89,6	87,5	82,3	83,2	49,2	61,8	58,9	136,3	72,3	55,5	51,1
41	101,2	102,3	100,5	87,6	100,0	101,1	99,3	86,4	99,0	100,1	98,3	85,4
42	102,1	101,3	100,9	89,5	100,9	100,1	99,7	88,3	99,9	99,1	98,7	87,3
43	104,3	100,2	101,3	96,5	103,1	99,0	100,1	95,3	102,1	98,0	99,1	94,3
44	101,3	98,6	99,6	94,3	100,1	97,4	98,4	93,1	99,1	96,4	97,4	92,1
45	103,6	87,9	100,5	98,4	102,4	86,7	99,3	97,2	101,4	85,7	98,3	96,2
46	98,6	96,5	98,6	99,2	97,4	95,3	97,4	98,0	96,4	94,3	96,4	97,0
47	99,4	94,3	99,6	98,4	98,2	93,1	98,4	97,2	97,2	92,1	97,4	96,2
48	97,5	98,8	100,1	96,2	96,3	97,6	98,9	95,0	95,3	96,6	97,9	94,0
49	98,2	100,1	98,6	87,4	97,0	98,9	97,4	86,2	96,0	97,9	96,4	85,2
50	99,8	99,8	97,3	83,6	98,6	98,6	96,1	82,4	97,6	97,6	95,1	81,4

Розподіл калію в темно-сірому опідзоленому ґрунті (шар 0-25 см) у фазу «зеленої ягоди» за різних способів внесення добрив, 2019-2021 рр.

№ зразка	2019 р.				2020 р.				2021 р.			
	Варіант				Варіант				Варіант			
	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *	Розкидний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₈₀ К ₁₈₀ *	Локальний Р ₆₀ К ₁₃₅ *	Локальний Р ₄₀ К ₉₀ *
1	293,2	210,2	198,6	190,2	125,8	146,5	146,0	139,5	236,6	132,5	137,4	145,0
2	226,9	218,6	185,5	178,6	155,9	114,1	152,5	125,6	137,4	145,0	137,4	160,3
3	177,1	178,3	182,9	181,3	118,5	143,9	145,7	114,2	106,9	121,0	122,1	145,0
4	177,1	160,4	164,6	185,3	113,9	132,8	130,5	108,3	145,5	129,8	129,8	114,5
5	243,4	142,6	182,9	189,6	178,8	132,5	131,6	159,3	106,9	120,2	114,5	145,0
6	276,6	160,4	195,6	175,4	14,8	112,1	146,5	115,3	129,8	123,5	114,5	125,5
7	210,3	213,9	182,9	177,6	238,2	106,8	153,2	175,4	123,4	112,6	125,6	112,3
8	260,0	213,9	164,6	172,3	112,0	108,5	111,2	112,0	122,1	105,5	132,5	145,5
9	235,2	205,6	182,9	170,2	212,4	125,9	106,9	123,5	114,0	109,5	121,3	132,2
10	243,4	200,3	201,2	171,3	195,6	142,2	102,2	117,8	113,4	118,5	149,5	125,6
11	203,6	164,5	182,9	175,2	189,2	146,8	112,3	109,8	122,1	183,2	135,2	122,1
12	211,9	159,5	201,2	209,5	175,1	131,0	125,5	107,6	125,0	145,0	127,5	120,2
13	236,7	162,3	201,2	257,1	153,1	158,6	112,3	108,9	132,6	129,8	112,5	114,5
14	261,6	160,4	164,6	337,4	167,1	127,2	117,5	106,0	132,6	129,8	99,2	122,2
15	261,6	231,7	195,1	353,2	149,8	186,9	129,5	131,8	132,6	282,4	106,9	145,0
16	253,3	320,9	219,5	514,2	157,6	306,1	269,2	196,1	125,0	480,9	236,6	396,9
17	261,6	249,6	189,4	377,8	188,4	199,7	132,2	171,9	132,6	213,7	99,2	274,8
18	253,3	213,9	164,6	253,5	178,2	126,8	128,8	167,4	140,2	190,8	91,6	145,0
19	245,0	185,6	164,6	186,5	148,2	91,4	123,7	177,3	140,2	160,3	98,5	167,9
20	228,4	180,2	160,2	185,1	148,0	92,5	127,3	118,5	132,6	108,4	96,3	152,7

21	124,4	174,3	165,3	201,0	150,6	92,6	121,2	105,6	114,0	101,2	99,5	121,0
22	124,4	165,2	170,1	208,6	128,9	93,8	107,0	100,5	114,0	114,5	105,2	120,2
23	132,7	161,7	201,2	257,1	109,4	96,7	134,8	98,6	114,0	267,2	104,0	118,4
24	165,9	160,4	219,5	285,5	99,2	89,6	123,1	96,8	98,7	183,2	121,2	152,7
25	149,3	249,6	420,7	301,2	94,3	166,7	203,4	96,0	106,3	435,1	198,5	122,1
26	182,4	695,2	640,2	514,2	115,2	425,5	395,7	351,2	114,0	625,9	560,2	274,8
27	157,6	481,3	548,7	321,4	113,9	171,9	221,7	129,6	106,3	129,8	202,3	229,0
28	174,2	320,9	237,8	305,3	103,5	115,1	100,1	105,2	114,0	129,8	120,3	105,0
29	157,6	410,0	201,2	254,3	100,9	95,1	102,2	93,9	121,6	160,3	99,2	98,5
30	149,3	245,3	109,7	123,2	99,4	95,2	100,6	72,3	114,0	150,1	84,0	88,9
31	124,4	156,5	146,3	127,5	103,6	96,4	97,5	89,5	101,2	121,1	84,3	85,5
32	182,4	165,4	121,2	142,3	80,5	99,3	104,5	90,2	100,5	103,5	82,5	84,6
33	182,4	150,3	128,0	192,8	77,8	93,2	108,8	93,6	99,1	108,5	76,8	88,7
34	157,6	142,6	131,5	176,8	87,5	115,2	102,3	104,3	101,3	100,1	79,5	89,5
35	149,3	410,0	179,5	208,9	75,5	110,3	156,5	105,9	102,2	106,9	98,6	105,5
36	165,9	641,7	301,2	257,1	79,0	333,8	217,3	112,2	99,3	221,4	114,5	114,2
37	149,3	445,6	235,6	192,8	71,8	141,7	147,3	113,7	98,2	198,5	112,6	110,2
38	141,0	213,9	129,5	208,9	76,3	99,5	99,6	110,2	100,5	170,2	91,2	100,2
39	149,3	160,4	125,2	142,1	75,5	85,5	85,6	99,5	97,9	174,2	80,8	89,5
40	157,6	145,1	128,3	135,2	82,8	79,5	89,4	98,6	99,6	128,5	82,3	90,2
41	110,6	111,7	109,9	97,0	98,8	99,9	98,1	85,2	97,9	99,0	97,2	84,3
42	111,5	110,7	110,3	98,9	99,7	98,9	98,5	87,1	98,8	98,0	97,6	85,2
43	113,7	109,6	110,7	105,9	101,9	97,8	98,9	94,1	101,0	96,9	98,0	92,2
44	110,7	108,0	109,0	103,7	98,9	96,2	97,2	91,9	98,0	95,3	96,3	90,0
45	113,0	97,3	109,9	107,8	101,2	85,5	98,1	96,0	100,3	84,6	97,2	94,1
46	108,0	105,9	108,0	108,6	96,2	94,1	96,2	96,8	95,3	93,2	95,3	94,9
47	108,8	103,7	109,0	107,8	97,0	91,9	97,2	96,0	96,1	91,0	96,3	94,1
48	106,9	108,2	109,5	105,6	95,1	96,4	97,7	93,8	94,2	95,5	96,8	91,9
49	107,6	109,5	108,0	96,8	95,8	97,7	96,2	85,0	94,9	96,8	95,3	83,1
50	109,2	109,2	106,7	93,0	97,4	97,4	94,9	81,2	96,5	96,5	94,0	79,3