

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШЕСТАК Володимир Геннадійович

УДК 631.82/1/7:633.162: 631.416:631.95

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО
НА ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ
ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ**

201 – Агрономія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В. Г. Шестак

Науковий керівник – **Гнатів Петро Степанович**,
доктор біологічних наук, професор

Львів – 2023

АНОТАЦІЯ

Шестак В. Г. Оптимізація азотного живлення ячменю озимого на темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 20 – «Аграрні науки та продовольство» за спеціальністю 201 «Агрономія». – Львівський національний університет природокористування, Львів, 2023.

Актуальність вирощування високих врожаїв зернових залишається проблемою через необхідні великі норми азотного удобрення, зокрема, ячменю озимого на тлі низьких фосфорно-калійних фонів. Підвищені дози внесення азоту створюють небезпеку втрати нітратів через вимивання вертикальними і латеральними потоками, активізують емісію закису азоту, як парникового газу. Питання їх ефективного мінерального і, зокрема, азотного удобрення з дотриманням сучасних принципів захисту природного довкілля в умовах змін клімату, зумовили необхідність вирішувати актуальну проблему оптимізації азотного живлення в поєднанні з використанням стабілізатора азоту нітрапірину на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Західного.

Упродовж 2019-2022 років проведено дослідження у Львівському національному університеті природокористування (ЛНУП – Дубляни) у районі Пасмового Побужжя природо-кліматичної зони Західного Лісостепу. Мета досліджень – з'ясувати агрономічну доцільність нітрапірину та вплив різних норм і форм азотних добрив на врожайність ячменю озимого на темно-сірому опідзоленому ґрунті у Західному Лісостепу. Ґрунт – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий слабогумусований. Використані традиційні методи польових досліджень та стандартизовані методики лабораторних аналізів. Статистичне опрацювання результатів досліджень виконали за допомогою пакетів Microsoft Excel, Statistica 10 та програми Dispersion.exe. У темно-сірому опідзоленому

слабогумусованому легкосуглинковому ґрунті до початку весняної вегетації в орному шарі ґрунту 0-20 см містилося максимально на 32-35 мг/кг (залежно від умов року) більше фосфору та максимально на 21 мг/кг більше калію за методом Чирикова, ніж на ділянках без добрив.

Системи азотного удобрення N_{97} (амонійна селітра) при відновленні вегетації + N-Lok Макс (перед сівбою) або N_{97} (амонійна селітра) + N-Lok Макс при відновленні вегетації на фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ та сумарного N_{120} забезпечували стартовий вміст легкогідролізного азоту в орному шарі 132-136 мг/кг ґрунту, залежно від умов року.

Підвищені норми внесення азотних добрив (N_{90-120}) під ячмінь озимий створюють загрозу втрати азоту у нітратній формі вертикальним вимиванням з вологою та у газоподібній формі з викидом закису азоту в атмосферу. Застосування стабілізатора азоту N-Lok Макс, який діє на бактерії – продуценти нітритоксидоредуктази і аміномонооксигенази, які є окиснювачами амонію в ґрунті, істотно зменшує концентрацію нітрат-йонів у товщі 0-40 см, чим стримує вилуження розчинних солей азоту в низ по профілю за межі ризосфери. Зменшення концентрації нітрат-йонів обмежує інтенсивність виділення газоподібного азоту у процесі нітрифікаційної активності бактеріоценозу. Нітрапірін, як інгібітор ензимів перетворення сполук азоту, обмежує обсяг емісії закису азоту на 3,3-7,2 кг/га, оскільки він зменшує запаси нітратів у товщі 0-40 см. За норми азоту N_{120} у формі селітри без використання нітрапірину ґрунт зазнав найбільшого підкислення на початку вегетації. До збирання врожаю високі норми азоту N_{120} при використанні нітрапірину не підкислювали ґрунт, а навпаки була виявлена нейтралізація кислотності до рівня варіанту без удобрень.

Усі роки досліджень – 2020, 2021 та 2022, були сприятливими для формування врожаю зерна ячменю озимого. Попри це середня температура липня була вищою за кліматичну норму 17,5 °С. 2019 року середньорічна температура становила 9,9 °С, 2020 – 9,6 °С, 2021 – 8,1 °С. Річна сума опадів

2019, 2020 та 2021 років була істотно вищою за кліматичну норму 748 мм і становила відповідно 700, 791, 812 мм. Упродовж семи місяців 2022 року до збирання врожаю випало 272 мм опадів.

Розрахунок кореляції показав, що найтісніше з урожайністю ячменю озимого зв'язана кількість зерен у колосі – $r = 0,94$. Довжина колоса і урожайність мають тісну, але дещо меншу кореляцію – $r = 0,82$. Довжина колоса та озерненість тісно пов'язані $r = 0,89$. Найкращий розвиток за візуальним оцінюванням мали посіви у варіантах фону ($N_{23}P_{60}K_{60}$) + N_{97} (амонійна селітра – відновлення вегетації), фону + N_{97} (амонійна селітра – відновлення вегетації) + N-Lok Макс (перед сівбою). Добрий і відмінний стан ячменю озимого спостерігали у варіанті внесення фону + N_{97} (карбамід) та інгібітора нітрифікації восени. Стан посіву на цьому варіанті оцінювали від 4,5 бала у фазі кушіння до 5,0 бала при формуванні зерна.

Внесення під ячмінь озимий N_{67} (при відновленні вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ під оранку забезпечило прибавку урожаю зерна 2020 року 0,44 т/га, 2021 – 0,73, 2022 року – 0,60 т/га. Проте поєднання цієї системи удобрення із внесенням N-Lok Макс у період відновлення вегетації сприяло підвищенню врожаю у середньому за 2020-2022 роки додатково на 0,15 т/га та на 0,73 т/га відносно контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) за найменшої істотної різниці між варіантами 0,17-0,23 т/га. Найвищий середній за 2020-2022 роки врожай забезпечило удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) + N_{67} (відновлення вегетації) + N_{30} (початок колосіння) + N-Lok Макс (відновлення вегетації) за сумарної норми N_{120} – 7,65 т/га зерна за середньорічної прибавки відносно контролю $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) + N_{37} (амонійна селітра – відновлення вегетації) 0,73 т/га. Внесення карбаміду N_{97} з осені по фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) забезпечувало в середньому за 2020-2022 роки на 0,60 т/га нижчий врожай ячменю озимого, порівняно з контролем $N_{60}P_{60}K_{60}$. Проте, застосування нітрапірину перед сівбою культури підвищило віддачу добрив і прибавка врожаю зерна становила 0,47 т/га відносно контролю та 1,07 т/га у варіанті з карбамідом, але без

стабілізатора азоту. Відсутність фосфорно-калійного фону в системі удобрення ячменю озимого не зменшувало врожайність культури відносно контролю $N_{60}P_{60}K_{60}$. За використання стабілізатора азоту на суто азотному мінеральному удобренні була отримана середня істотна прибавка врожаю 0,44 т/га. Урожай зерна за відсутності будь-яких добрив на природно родючому темно-сірому опідзоленому слабогумусованому легкосуглинковому ґрунті коливався по роках дослідження в межах 4,37-4,77 т/га. Відсутність усіх видів добрив збіднювала орний шар на 12-15 мг/кг ґрунту на вміст фосфору та на 13-15 мг/кг ґрунту калію за методом Чирикова. За внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$, як фону перед сівбою та N_{97} (амонійна селітра) + N-Lok Макс при відновленні вегетації отримано середній за 2020-2022 роки врожай 7,51 т/га зерна.

Система удобрення ячменю озимого, яка на фоні $P_{60}K_{60}$ передбачала внесення амонійної селітри в нормі N_{120} та нітрапірину у фазі відновлення вегетації, у різні роки забезпечувала високий вміст сирого протеїну у зерні – 13,0-13,3 %. Використання карбаміду замість амонійної селітри за такої ж норми удобрення азотом на фоні $P_{60}K_{60}$, але за внесення нітрапірину під оранку восени, зумовлювало більший на 0,2-0,4% вміст сирого протеїну у зерні ячменю озимого. Зерно ячменю озимого за відсутності мінеральних добрив, або за мінімального азотного удобрення N_{23} на фоні $P_{60}K_{60}$ містило найменше сирого протеїну – від 10,0 до 11,0 %. Збільшення норми до N_{120} та спричинене ним підвищення вмісту легкогідролізної форми азоту в орному пласті сприяло нагромадженню сирого протеїну сильніше, ніж накопичення нітратів. Зерно, вирощене за системи традиційного удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, містило найменше крохмалю – від 60,2-61,6 %, найбільше вільних вуглеводів – БЕР, та вагому частку золи в сухій речовині. Мінімальна зольність зерна і найбільший вміст крохмалю була за вирощування ячменю озимого без фосфорно-калійних добрив за внесення тільки амонійної селітри N_{120} (у тому числі в підживлення N_{30}).

За співвідношенням вартості валової продукції та чистого прибутку внесення помірних збалансованих норм добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($N_{23}P_{60}K_{60}$ перед

сівбою) та N_{37} з використанням N-Lok Макс у фазі відновлення вегетації є найдоцільнішою системою удобрення, а нітрапірін є ефективним засобом підвищення віддачі удобрення завдяки стабілізації азоту в ґрунті й за інших норм і форм азотних добрив. За показниками окупності додаткових затрат на агрохімікати на перший погляд привабливі результати показали системи удобрення без використання фосфорно-калійних добрив, але з поділом норми N_{120} амонійної селітри на N_{23} (перед сівбою) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння).

Найнижчий рівень рентабельності серед систем удобрення ячменю озимого показали системи з використанням карбаміду, як азотного добрива в нормі N_{120} . Проте, слід зауважити, що поєднання внесення під передпосівну культивуацію карбаміду і стабілізатора азоту підвищувало рентабельність виробництва зерна на 23,1 %. Внесення під ячмінь озимий амонійної селітри без використання фосфорно-калійних добрив, але з розподілом норми N_{120} на N_{23} (перед сівбою) + N_{67} (відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння), забезпечувало відносно високу рентабельність використання агрохімікатів порівняно з середніми, підвищеними та високими фонами збалансованого удобрення.

З аналізу енергоефективності зерновиробництва її підвищення прямо залежить від величини врожаю, а зменшення – від використання додаткової енергії з агрохімікатами. Проте, використання стабілізатора нітрифікації N-Lok Макс для підвищення віддачі мінеральних добрив було виразно енергоефективним, особливо за малих норм внесення азотних добрив.

У дисертаційній роботі запропоновані ефективні норми азотного удобрення ячменю озимого з поєднанням внесення нітрапірину для оптимізації азотного живлення культури, запобігання втрат азоту через вимивання нітратів, попередження емісії закису азоту в атмосферу.

Ключові слова: озимий ячмінь, азотні добрива, нітрати, закис азоту, нітрапірін, фосфор, калій, родючість ґрунту, якість зерна, урожай.

ABSTRACT

Shestak V. H. Optimization of nitrogen nutrition of winter barley on the dark gray podsolized soil of the Western Forest Steppe. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 20 – "Agrarian Sciences and food" in the specialty 201 "Agronomy". – Lviv National Environmental University, Lviv, 2023.

The relevance of growing high yields of cereals is a problem due to the necessary high rates of nitrogen fertilization, in particular, winter barley against the background of low phosphorus and potassium backgrounds. Increased doses of nitrogen application are dangerous due to nitrate losses. Leaching is occurred by vertical and lateral flows. The emission of nitrous oxide as a greenhouse gas is activated. The question arose of effective mineral and, in particular, nitrogen fertilization in compliance with modern principles of natural environment protection in conditions of climate change. It became necessary to solve the urgent problem of optimization of nitrogen nutrition in combination with the use of the nitrogen stabilizer nitrapyrin on the dark gray podzolized soil of the Western Forest Steppe.

Experiments were carried out at the Lviv National Environmental University (LNEU – Dublyany) in the area of Pasmovy Pobuzhzhia of the nature and climate zone of the Western Forest Steppe during 2019-2021. The purpose of the research is to find out the agronomic effectiveness of nitrapyrin and the effect of different rates and forms of nitrogen fertilizers on the yield of winter barley on dark gray podzolized soil in the Western Forest Steppe. The soil is a dark gray podzolized light loam with low humus - Greyic Luvic Phaeozem, 1961 (WRB, 2015). Traditional methods of field research and standardized methods of laboratory analyzes were used. We performed statistical processing of research results using Microsoft Excel packages, Statistica 10 and the Dispersion.exe program (<https://github.com/dimbaida/variance-analysis>). We found that there was 35-45 mg/kg of soil (depending on the year) more

mobile phosphates and 29-33 mg/kg more exchangeable potassium than without background in the dark gray podsolized light loam lightly humus soil in the arable layer until the beginning of spring vegetation.

Systems of nitrogen fertilization N_{97} (ammonium nitrate) during the restoration of vegetation + N-Lok Max (before sowing) or N_{97} (ammonium nitrate) + N-Lok Max during the restoration of vegetation on a phosphorus-potassium background of $P_{60}K_{60}$ and total N_{120} ensured the initial content of alkaline hydrolyzed nitrogen in the arable layer 132-136 mg/kg of soil, depending on the conditions of the year.

Increased rates of nitrogen fertilization (N_{90-120}) under winter barley threaten losses of nitrogen in nitrate form with vertical leaching of moisture and in gaseous form with emission of nitrous oxide into the atmosphere. The use of the nitrogen stabilizer N Lok Max, which acts on bacteria - producers of nitrite oxydoreductase and aminomonooxygenase, which are ammonia oxidizers in the soil, significantly reduces the concentration of nitrate ions in the 0-40 cm layer, which prevents the leaching of soluble nitrogen salts down the profile beyond the rhizosphere. Nitrapyrin, as an inhibitor of nitrogen compound conversion enzymes, limits the amount of nitrous oxide emissions to 3.3-7.2 kg/ha, as it reduces nitrate reserves in the 0-40 cm layer. The soil experienced the greatest acidification at the beginning of the growing season under nitrogen norms N_{120} in the form nitrates without the use of nitrapyrin. High rates of nitrogen N_{120} with using nitrapyrin did not acidify the soil before harvesting, but on the contrary – neutralization of acidity to the level of the variant without fertilizers was investigated.

The research years 2020, 2021 and 2022 were favorable for the formation of the winter barley grain crop. But the average temperature in July was higher than the climatic norm of 17.5 °C per year, it was 9.9 °C, 2020 – 9.6 °C, 2021 – 8.1 °C. Annual rainfall totals for 2019, 2020 and 2021 were significantly higher than the climate norm of 748 mm and were 700, 791, 812 mm and 272 mm respectively for the seven months of 2022 post-harvest.

The calculation of correlation showed that the number of grains in the ear is most closely related to the yield of winter barley – $r = 0.94$. Spike length and yield have a close but slightly smaller correlation – $r = 0.82$. Ear length and grain size are closely related $r = 0.89$. The best development according to visual assessment was achieved by sowing on variants with the application of background ($N_{23}P_{60}K_{60}$) + N_{97} (ammonium nitrate – vegetation restoration), background + N_{97} (ammonium nitrate – vegetation restoration) + N-Lok Max (before sowing). Good and excellent condition of winter barley was observed in the variant of simultaneous application of background + N_{97} (urea) and urease inhibitor in autumn. The state of the crop was evaluated from 4.5 points from the tillering phase to 5.0 points during grain formation.

The application of N_{67} (at the time of resumption of vegetation) + N_{30} (at the beginning of earing) for winter barley against the background of $N_{23}P_{60}K_{60}$ under plowing provided an increase in grain yield in 2020 by 0.44 t/ha, in 2021 – 0.73, in 2022 – 0.60 t/ha. However, the combination of this fertilization system with the application of N-Lok Max during the period of vegetation recovery helped to increase the yield on average in 2020-2022 by an additional 0.15 t/ha and by 0.73 t/ha relative to the production control ($N_{60}P_{60}K_{60}$) at the lowest significant difference between the options is 0.17-0.23 t/ha. The highest average yield for 2020-2022 was provided by fertilizer $N_{23}P_{60}K_{60}$ (before sowing) + N_{67} (restoration of vegetation) + N_{30} (beginning of earing) + N-Lok Max (restoration of vegetation) at the total rate of N_{120} – 7.65 t/ha of grain at the annual average increases relative to control $N_{23}P_{60}K_{60}$ (before sowing) + N_{37} (ammonium nitrate – vegetation restoration) 0.73 t/ha. Application of urea N_{97} in autumn on the background of $N_{23}P_{60}K_{60}$ (before sowing) provided an average winter barley yield of 0.60 t/ha in 2020-2022 compared to the production control $N_{60}P_{60}K_{60}$. However, the application of nitrapyrin before sowing the crop increased the return from fertilizers and the increase in grain yield was 0.47 t/ha compared to the production control and 1.07 t/ha on the option with urea, but without nitrogen stabilizer. The absence of a phosphorus-potassium background in the fertilization

system of winter barley did not reduce the yield of the crop relative to the production control $N_{60}P_{60}K_{60}$. An average significant yield increase of 0.44 t/ha was obtained for the use of a nitrogen stabilizer on a purely nitrogen mineral fertilizer. The grain yield in the absence of any fertilizers on the naturally fertile dark gray podsolized light loam lightly humus soil varied between 4.37-4.77 t/ha in the years of the study. The absence of all types of fertilizers impoverished the arable layer by 12-15 mg/kg of soil for phosphorus content and by 13-15 mg/kg of soil of potassium according to the Chirykov method. By applying $N_{23}P_{60}K_{60}$ as a background before sowing and N97 (ammonium nitrate) + N-Lok Max during the restoration of vegetation, an average yield of 7.51 t/ha of grain was obtained in 2020-2022.

The system of fertilizing winter barley, which provided for the application of ammonium nitrate in the rate of N_{120} with or without top dressing (N_{30}), provided the highest protein content in the grain – 13.2-13.5 % in different years. The use of urea instead of ammonium nitrate at the same rate of nitrogen fertilization led to a 0.4-1.2 % lower protein content, but when a nitrogen stabilizer was added to the soil in autumn, grain with a protein content of 12.2-12.6 % was obtained, against 11.7-12.3 % on the option without nitrapyrin, or its application in the spring. The grain of winter barley in case of absence of mineral fertilizers or with minimal nitrogen fertilization N_{23} against the background of $P_{60}K_{60}$ contained the least protein – from 10 to 11 %. The increase in the norm to N_{120} and the resulting increase in the resource of the easily hydrolyzable form of nitrogen in the arable layer contributed to the accumulation of proteins more than the accumulation of nitrates. Under the system of traditional fertilization $N_{60}P_{60}K_{60}$, the grain contained the least starch – from 60.2-61.6 %, the most nitrogen-free extractive substances, and a heavy share of ash in dry matter. The use of urea instead of nitrate at a similar rate, but in the background of $N_{23}P_{60}K_{60}$, contributed to a greater accumulation of crude fat, fiber and ash in the grain.

According to the indicator of the ratio of the cost of gross production and net profit, the application of moderate balanced rates of $N_{60}P_{60}K_{60}$ fertilizer ($N_{23}P_{60}K_{60}$ before sowing and N_{37}) with the use of N-Lok Max in the phase of vegetation

recovery is the most profitable fertilization system. In this version, nitrapyrin is an effective way of increasing the yield of fertilizers due to the stabilization of nitrogen in the soil and at other rates and forms of nitrogen fertilizers. According to indicators of payback of additional costs for agrochemicals, attractive results were shown by fertilization systems without the use of phosphorus-potassium fertilizers, but with the division of the norm N_{120} of ammonium nitrate into N_{23} (before sowing) + N_{67} (in the phase of vegetation recovery) + N_{30} (at the beginning of earing).

The lowest level of profitability among winter barley fertilization systems have systems using urea as a nitrogen fertilizer in the norm of N_{120} . However, it is important to emphasize that the combination of applying urea and nitrogen stabilizer during pre-sowing cultivation increased the profitability of grain production by 23.1 %. Application of ammonium nitrate under winter barley without the use of phosphorus-potassium fertilizers, but with the division of the norm N_{120} into N_{23} (before sowing) + N_{67} (in the phase of vegetation recovery) + N_{30} (at the beginning of earing), ensured a relatively high profitability of the use of agrochemicals compared to other medium, elevated and high backgrounds of balanced fertilizer.

Increasing the energy efficiency of grain production directly depends on the volume of harvesting, and its decrease depends on the consumption of additional energy with agrochemicals. However, the use of the N-Lok Max nitrification stabilizer to improve the effect of mineral fertilizers was clearly energy efficient, especially at low rates of nitrogen application.

The dissertation proposed effective rates of nitrogen fertilization of winter barley with a combination of nitrapyrin application to optimize nitrogen nutrition of the crop, prevent nitrogen loss due to leaching of nitrates, prevent the emission of nitrous oxide into the atmosphere.

Key words: winter barley, nitrogen fertilizers, nitrates, nitrous oxide, nitrapyrin, phosphorus, potassium, soil fertility, grain quality, yield.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Шестак В. Г. Біометричні аспекти і фенологічні етапи формування врожаю ячменю озимого під впливом удобрення та інгібітора нітрифікації. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Вип. 101, Част. 1, 2022. С. 28-46. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-28-46.

2. Шестак В. Г. Значення фосфорно-калійних добрив для дії азоту та нітрапірину при вирощуванні ячменю озимого в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72(1): 105-134. doi: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-8.

3. Шестак В. Г., Гнатів П. С. Урожайність ячменю озимого за різних систем мінерального удобрення та застосування інгібітора уреазі. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2022, 24(97): 21-30. doi: 10.32718/nvlvet-a9703. (Здобувачем проведені дослідження, аналітичне опрацювання результатів, обґрунтовані виявлені закономірності, сформульовані висновки).

4. Гнатів П. С., Литвин О. Ф., Іваниук В. Я., Лагуш Н. І., Шестак В. Г., Коцюба Б. І. Створення й апробація програмного забезпечення статистичного моделювання вірогідності результатів агрономічних експериментів. *Вісник ЛНУП. Агрономія*, 2022, 26: 157-162. Doi.org/10.31734/agronomy2022.26.157 (Здобувачем отримано експериментальний матеріал урожайності озимого ячменю і здійснено статистичну обробку даних).

Статті у міжнародних виданнях, що включені до наукометричних баз (Scopus, Web of Science)

5. Shestak V., Hnativ P., Ivaniuk V., Olifir Y., Szulc W., Rutkowska B., Spychaj-Fabisiak E., Vega N., Parkhuc B., Kachmar O., Kocyuba B., Bahaj T. 2023.

Dynamics of the forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin applied to winter barley. *Journal of Elementology*, 28(1): 41-58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352. (Scopus, Web of Science) (Здобувачем проведені дослідження, аналітичне опрацювання результатів, обґрунтовані виявлені закономірності, сформульовані висновки).

6. Polovyy V., Hnativ P., Balkovskyy V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021, 11(1), 384-390. doi: 10.15421/2021_56. (Web of Science). (Здобувачем зібрано довідковий архівний матеріал, підготовлено ілюстрації до статті та колективно сформульовані висновки).

Інші публікації

7. Гнатів П. С., Лагуш Н. І., Шестак В. Г. Зміни клімату в Україні і фіторізноманіття агрокультур. Проблеми уникнення втрат біорізноманіття Українських Карпат. *Матер. міжн. наук. конф., присв. 100-річчю від дня народження професора К. Малиновського* (Львів, 14-15 травня 2020 р.). Львів, 2020. С. 78-80. (Здобувачем опрацьовано дані моніторингу клімату, підготовлено текст статті та ілюстративний матеріал, сформульовано колективні висновки).

8. Шестак В., Вега Н., Пархуць Б. Вплив зміни мезоклімату Західноукраїнської широколистяно-лісової зони на врожайність озимих зернових культур. *Міжнародна наукова конференція «Прогнози та перспективи наукових відкриттів у галузі аграрних наук і продовольства»*. 30–31 серпня 2022 року. м. Рига, Латвійська Республіка. Електронний збірник. <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/252/7088/14754-1?inline=1>. (Здобувачем опрацьовано дані моніторингу клімату, підготовлено

текст статті в частині опису продуктивності ячменю озимого, сформульовано колективні висновки).

9. Шестак В. Г. Кліматичні чинники росту й розвитку ячменю озимого. *Матеріали XXIII Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», що відбувся 4-5 жовтня 2022 р. (ЛНУП, м. Львів – м. Дубляни) URL: <http://lnau.edu.ua/lnau/files/Forum2022.pdf>*

10. Шестак В. Г. Вплив інгібітора нітрифікації N-Лок Макс при внесенні під ячмінь озимий на викиди закису азоту в атмосферу. *XI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: продовольча безпека в умовах воєнного часу і повоєнної відбудови країни», 10 листопада 2022 р. (Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН (с. Оброшине).*

11. Гнатів П. С., Іванюк В. Я., Шестак В. Г., Вега Н. І., Оліфір Ю. М., 2022. Комплексний аналіз ефективності живлення ячменю озимого. *Агронаука і практика*, Вип. 1, Ч. 4, 2022. С. 18-27. DOI: 10.32636/agroscience.2022-(1)-4-3. (Здобувачем отримано експериментальний матеріал урожайності озимого ячменю і здійснено економічні, статистичну обробку даних та графічне моделювання).

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | 19 |
| ВСТУП..... | 20 |
| Розділ 1. ЕКОЛОГОАГРОХІМІЧНІ АСПЕКТИ РЕГУЛЮВАННЯ | |
| АЗОТНОГО УДОБРЕННЯ І ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ У | |
| ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ..... | |
| 1.1. Роль азоту у живленні ячменю озимого і формуванні врожаю зерна..... | 27 |
| 1.2. Перетворення азотних сполук у ґрунтах та доступні форми азоту для кореневого живлення | 29 |
| 1.3. Застосування синтетичних регуляторів мікробної трансформації азотних сполук у ґрунті | 33 |
| 1.4. Досвід вирощування високих врожаїв ячменю озимого в Західному Лісостепу і ближньому зарубіжжі | 38 |
| Висновки до розділу 1..... | 43 |
| Розділ 2. МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ І ЛАБОРАТОРНИХ | |
| ДОСЛІДЖЕНЬ АГРОХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ, | |
| ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА І СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ | |
| ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО..... | |
| 2.1. Програма польових досліджень і лабораторних аналізів..... | 45 |
| 2.2. Агрохімічні методи вивчення поживного режиму, запасів форм азоту й опис профілю ґрунту дослідного поля | 49 |
| 2.3. Методи оцінки якості зерна, економічної й енергетичної ефективності систем удобрення | 51 |
| 2.4. Статистичне моделювання точності результатів обліків та залежностей в експериментах..... | 53 |
| Висновки до розділу 2..... | 54 |

| | |
|---|-----------|
| Розділ 3. ВПЛИВ СИСТЕМИ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ | |
| ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ПАРАМЕТРИ АГРОХІМІЧНИХ | |
| ПОКАЗНИКІВ ТЕМНО-СІРОГО ОПДЗОЛЕНОГО | |
| ГРУНТУ..... | 55 |
| 3.1. Значення фонового фосфорно-калійного удобрення для підтримання високого вмісту доступного фосфору і калію в ґрунті | 55 |
| 3.2. Зміни вмісту легкогідролізного азоту залежно від норм азотних добрив..... | 61 |
| 3.3. Зміни вмісту нітратів залежно від норм внесення азотних добрив і впливу інгібітора нітрифікації | 64 |
| 3.4. Залежність обсягу емісії закису азоту від норм азотного удобрення та запасів нітратів у ґрунті..... | 68 |
| 3.5. Зміна кислотності ґрунту..... | 71 |
| 3.6. Закономірності кореляції параметрів азотного режиму ґрунту залежно від норм удобрення та застосування нітрапірину..... | 75 |
| Висновки до розділу 3..... | 78 |
| | |
| Розділ 4. БІОМЕТРИЧНІ АСПЕКТИ І ФЕНОЛОГІЧНІ | |
| ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ПІД | |
| ВПЛИВОМ УДОБРЕННЯ..... | 80 |
| 4.1. Гідротермічні умови росту й розвитку ячменю озимого..... | 80 |
| 4.2. Фенологічні фази росту й розвитку ячменю озимого в гідротермічних умовах 2019-2022 років | 84 |
| 4.3. Біометричні параметри ячменю озимого залежно від системи удобрення | 89 |
| 4.4. Загальна оцінка стану посівів ячменю озимого..... | 92 |
| Висновки до розділу 4..... | 95 |

| | |
|--|------------|
| Розділ 5. ВПЛИВ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА..... | 97 |
| 5.1. Залежність врожайності зерна від системи внесення азотних добрив та дії нітрапірину..... | 97 |
| 5.2. Моделювання синергії вмісту доступних форм азоту, фосфору, калію та кислотності ґрунту у впливі на продуктивність ячменю озимого | 109 |
| Висновки до розділу 5..... | 114 |
| | |
| Розділ 6. БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ТА ВНЕСЕННЯ НІТРАПІРИНУ | 116 |
| 6.1. Вміст сирого протеїну..... | 116 |
| 6.2. Вміст крохмалю, сирого жиру, сирої клітковини та інших речовин..... | 122 |
| Висновки до розділу 6..... | 124 |
| | |
| Розділ 7. ЕКОНОМІЧНА Й ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЄДНАННЯ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ІНГІБІТОРА НІТРИФІКАЦІЇ..... | 126 |
| 7.1. Комплексний аналіз результатів оптимізації живлення ячменю озимого | 126 |
| 7.2. Економічний аналіз результатів застосування добрив і нітрапірину..... | 130 |
| 7.3. Енергетична ефективність вирощування ячменю озимого | 136 |
| Висновки до розділу 7..... | 139 |
| | |
| ВИСНОВКИ..... | 142 |
| | |
| ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ | 145 |

| | |
|---|------------|
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 147 |
| ДОДАТКИ..... | 177 |
| Додаток А. Рисунки до розділу 2..... | 178 |
| Додаток Б. Таблиці до розділу 3..... | 182 |
| Додаток В. Рисунки і таблиці до розділу 4..... | 183 |
| Додаток Г. Таблиці і рисунки розділу 5..... | 189 |
| Додаток Д. Таблиці і рисунки до розділу 6..... | 201 |
| Додаток Е. Таблиці і рисунки до розділу 7..... | 203 |
| Список опублікованих праць за темою дисертації..... | 206 |
| Акти впровадження..... | 209 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ІЕК НАН України – Інститут екології Карпат Національної Академії наук

ІСГ Карпатського регіону НААН – Інститут сільського господарства

Національної Академії аграрних наук

K_{ee} – коефіцієнт енергетичної ефективності

ЛНАУ – Львівський національний аграрний університет (до 2022 року)

ЛНУ ім. Ів. Франка – Львівський національний університет ім. Ів. Франка

ЛНУП – Львівський національний університет природокористування

в.в. – відновлення вегетації

п.с. – перед сівбою

п.к. – початок колосіння

ЮНЕП – програма ООН з довкілля (ЮНЕП) (англ. UNEP, United Nations Environment Programme)

EPA – United States Environmental Protection Agency – Агентство з охорони навколишнього середовища Сполучених Штатів

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Міжурядова група експертів зі зміни клімату)

N_{aa} – амонійна селітра

N_k – карбамід

Рафк – діамофоска

ВСТУП

Актуальність теми. Одне із основних господарських завдань рослинництва України – підтримання продовольчої безпеки в першу чергу внутрішнього споживання, а згодом і запитів експортерів, завдяки достатньому виробництву якісного власного зерна. Водночас, на перший план сьогодні виступають проблеми збереження родючості ґрунтів України (Господаренко, 2016; Гаврилюк та ін., 2019; Лихочвор і Петриченко, 2020; Haskevych, Snitynskyu, Hnativ et al, 2021) та охорони природного середовища (Polovuu, Hnativ, Balkovskyy et al, 2021) в час, коли динамічно змінюється мезоклімат аграрних природних зон України (Гнатів, Снітинський, Польовий та ін., 2020; Гаврилюк та ін., 2021). Вирішення цієї комплексної програми значною мірою залежить від вибору правильної системи удобрення рослин (Господаренко, 2016; Гораш, 2017), в тому числі і ячменю озимого (Влох і Тучапський, 2008; Доценко, Мірошниченко і Господаренко, 2015) та врахування потреби захисту довкілля (Впровадження..., 2020; A review..., 2018).

Попри актуальність високих врожаїв зерна залишаються проблемними великі норми азотного удобрення озимих культур і, зокрема, ячменю озимого, на тлі низьких фосфорно-калійних фонів (Лопушняк і Вега, 2015). Підвищені дози внесення азоту створюють небезпеку вимивання нітратів вертикальними і латеральними потоками води (Di & Cameron, 2012; Yu et al, 2019), активізують емісію закису азоту (Fan et al., 2019), як парникового газу. Ретарданти не забезпечують багато удобрені посіви від вилягання стеблостою (Демидов, Васильківський і Гудзенко, 2016) у період формування врожаю.

Впровадження у виробництво сортів ячменю озимого інтенсивного типу, питання оптимізації їх мінерального і, зокрема, азотного удобрення з дотриманням сучасних принципів захисту природного довкілля в умовах змін клімату, зумовили необхідність вирішити актуальну проблему ефективності його азотного живлення в поєднанні з використанням стабілізатора азоту нітрапірину на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Західного.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи факультету агротехнологій та екології Львівського національного університету природокористування за темою 2016-2020 рр.: «Розробити інноваційні системи підвищення продуктивності агрофітоценозів на основі екологостабілізуючих заходів збереження та покращення стану навколишнього природного середовища в умовах динамічних змін клімату Західного регіону України» (державний реєстраційний номер 0116U003174) та кафедри агрохімії й ґрунтознавства за темою 2021-2025 рр.: «Розробити екобезпечні прийоми удосконалення технологій вирощування культур, що забезпечують оптимальний врожай та відтворення родючості ґрунтів в умовах зміни мезоклімату в західній Україні» (державний реєстраційний номер 0121U109715).

Мета роботи і завдання дослідження. Мета роботи – з'ясувати агрономічну ефективність нітрапірину та вплив різних норм і форм азотних добрив на врожайність ячменю озимого на темно-сірому опідзоленому ґрунті у Західному Лісостепу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні основні *завдання*:

- на основі опрацювання наукової й науково-методичної літератури обґрунтувати актуальність нового підходу до азотного удобрення ячменю озимого в умовах заходу України;
- дослідити динаміку вмісту легкогідролізного азоту і нітратів в темно-сірому ґрунті упродовж вегетації ячменю озимого під впливом норм, форм і строків азотного удобрення та інгібітора нітрифікації;
- оцінити вплив форм, норм і строків внесення азотних добрив і нітрапірину на фоні рекомендованих норм фосфору і калію на зміну кислотності ґрунту і вірогідні втрати закису азоту з ґрунту;
- вивчити вплив гідротермічних умов 2012-2022 рр., азотних добрив і нітрапірину на ріст і розвиток рослин ячменю озимого, формування структури врожаю;

- встановити рівень урожайності та якість зерна залежно від системи удобрення і використання нітрапірину;
- дати економічну та біоенергетичну оцінку ефективності вирощування ячменю озимого залежно від норм, форм мінеральних добрив і використання нітрапірину.

Об’єкт дослідження: рівень врожайності ячменю озимого за зміни агрохімічних властивостей ґрунту під впливом різних норм, форм і термінів внесення азотних добрив у поєднанні із застосуванням нітрапірину.

Предмет дослідження: закономірності динаміки агрохімічних параметрів родючості темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту, залежність росту й розвитку, формування елементів продуктивності ячменю озимого від впливу норм, форм і строків внесення азотних добрив та регулювання процесу нітрифікації в природно-кліматичних умовах Західного Лісостепу.

Методи досліджень. У роботі використано методи польового експерименту, фенологічних, кліматичних спостережень та біометрії, хіміко-аналітичні лабораторні методи досліджень. Для опрацювання цифрових даних експериментів та аналізів застосоване комп’ютерне статистичне і графічне моделювання точності досліджень та спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення дисертаційних досліджень, що визначають новизну отриманих наукових результатів, такі:

Уперше:

- встановлено, що інгібітор продукування ензимів нітрифікації нітрапірин (марки N-LokTM) на малих (N_{60}) і середніх (N_{90}) нормах удобрення ячменю озимого амонійною селітрою зменшував утворення нітратів навесні на 0,3-0,7 мг/кг в орному та на 0,1-1,3 мг/кг у підорному шарах темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту. За внесення N_{120} в формі амонійної селітри нітрапірин зменшував вміст нітратів на початку весняної вегетації на 0,6-1,2 мг/кг орного шару ґрунту, за використання карбаміду при нормі N_{120} – на 2,4-2,6 мг/кг;

– встановлено, що зменшення концентрації легкорозчинних нітратів за інтенсивного удобрення ячменю озимого під дією інгібітора, окрім обмеження їх вимивання, стримує емісію закису азоту (N_2O) на 3,3-7,2 кг/га. Залежно від норми внесення азотних добрив без стабілізації нітрифікації нітрапірином з ґрунту в атмосферу вивірюється 27,7-29,4 кг/га за рік парникового газу N_2O ;

– доведено агрономічну ефективність збільшення під ячмінь озимий норми азотних добрив на темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті до N_{90-120} за поєднання їх з використанням стабілізатора нітрифікації N-Lok Макс на помірному фоні $P_{60}K_{60}$. Найвища врожайність культури досягнута за удобрення $N_{120}P_{60}K_{60} + N\text{-Lok Макс}$ (у відновлення вегетації) – 7,65 т/га зерна, за середньорічної прибавки відносно контролю $N_{60}P_{60}K_{60}$ 0,73 т/га. Внесення карбаміду N_{97} з осені по фону $N_{23}P_{60}K_{60}$ та одночасного застосування нітрапірину забезпечувало в середньому за три роки на 0,47 т/га вищий врожай ячменю озимого, порівняно з контролем $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Удосконалено:

– алгоритм обчислення вірогідних газоподібних втрат азоту у вигляді парникового газу залежно від норм азотного удобрення та інгібування ензиму нітритоксидоредуктази нітрапірином за методикою О. Воекман та Н.-W. Olf (1998);

Отримала подальший розвиток:

– методика і техніка розрахунку критеріїв для відхилення нульової гіпотези і точності досліджень для результатів агрономічних експериментів, яка розміщена в Інтернеті (<https://github.com/dimbaida/variance-anlysis>).

Практичне значення одержаних результатів. Практичні рекомендації на основі висновків дисертаційної роботи впроваджені у виробництво у Фермерському господарстві "Дзвін" (сmt Олесько Львівської області). На посівах ячменю озимого, де внесено $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) + N_{97} (амонійна селітра у фазі відновлення вегетації) та застосовано стабілізатор азоту нітрапірин N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га при відновленні весняної вегетації прибавка врожаю зерна становила

0,68 т/га порівняно з фоном удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Чистий прибуток отримано в розмірі 24160 грн/га. На посівах, де з осені внесли $N_{23}P_{60}K_{60} + N_{97}$ (карбамід) та одночасно застосували N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га, була отримана прибавка врожаю 0,42 т/га порівняно з контролем $N_{60}P_{60}K_{60}$. Чистий прибуток отримано в розмірі 23040 грн/га. (акт впровадження).

Розроблена удосконалена методика оцінки достовірності експериментальних даних доступна в Інтернеті (<https://github.com/dimbaida/variance-anlysis>) і використовується магістрами та аспірантами у науковій роботі.

Матеріали нових дисертаційних результатів залучені у програми таких дисциплін «Системи удобрення польових культур», «Рослинництво», «Аналітичний агрохімсервіс та управління якістю ґрунтів» та «Екологічні основи застосування добрив і моніторинг родючості ґрунтів» на профільних кафедрах Львівського національного університету природокористування (акт впровадження).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим проектом, виконаним на основі власних теоретичних узагальнень та проведених особисто польових і лабораторних досліджень. Здобувач здійснив огляд наукових джерел, опрацював методики, виконав польові експерименти і супутні аналітичні дослідження. Автор виконав статистичне моделювання точності досліджень, узагальнив результати та обґрунтував висновки і пропозицій для впровадження. Здобувачем підготовлено та опубліковано наукові праці. Особистий внесок у публікаціях обґрунтований.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи апробовані: на Міжнародній науковій конференції «Прогнози та перспективи наукових відкриттів у галузі аграрних наук і продовольства», що відбулася 30–31 серпня 2022 р. (м. Рига, Латвійська Республіка); на XXIII Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», що відбувся 4-5 жовтня 2022 р. (ЛНУП, м. Львів–Дубляни); на XI Всеукраїнській

науково-практичній конференції молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: продовольча безпека в умовах воєнного часу і повоєнної відбудови країни», що відбулася 10 листопада 2022 р. (ІСГ Карпатського регіону НААН, с. Оброшине Львівського р-ну Львівської обл.); на круглому столі Екологічної комісії Наукового товариства ім. Шевченка на тему: Екологічні проблеми розвитку України в повоєнний період, присвячену пам'яті Андрія П'ясецького, що відбувся 22 листопада 2022 р. (м. Львів, ЛНУ ім. Ів. Франка; на XXII Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», що відбувся 5-7 жовтня 2021 р. (ЛНАУ, м. Львів–Дубляни); на I Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Теоретичні та практичні аспекти розвитку садівництва, овочівництва та виноградарства в сучасних умовах», що відбулася 27-28 травня 2021 р. (ЛНАУ, м. Львів – м. Дубляни); на Міжнародній науковій конференції, присвяченій 100-річчю від дня народження професора К. Малиновського «Проблеми уникнення втрат біорізноманіття Українських Карпат», що відбулася 14-15 травня 2020 р. (ІЕК НАН України, м. Львів).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових публікацій, у тому числі: чотири статті у фахових наукових виданнях України, три статті у міжнародних виданнях, що включені до наукометричних баз Scopus і Web of Science, шість публікацій у матеріалах наукових вітчизняних і міжнародних заходів.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота має вступ, сім розділів, висновки, список використаної літератури і додатки. Загальний обсяг дисертації 210 сторінок, основної частини 146 сторінок. Вона ілюстрована 35 рисунками, 14 таблицями та 32 додаткам на 32 сторінках. Список використаних джерел становить 238 назв, у тому числі 126 на латиниці.

Розділ 1

ЕКОЛОГОАГРОХІМІЧНІ АСПЕКТИ РЕГУЛЮВАННЯ АЗОТНОГО УДОБРЕННЯ І ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ У ЗАХІДНОМУ ЛІСОСТЕПУ

Цивілізаційний розвиток соціуму, продуктивних сил і трансформації природного довкілля сьогодні настільки тісно поєднані, що мінімальний ухил в бік одного з напрямів швидко призводить до руйнування або виснаження інших. Сільське господарство постало у сучасному вигляді здебільшого завдяки експлуатації ґрунтів і чинить негативний тиск на природу. Проте, без хімізації і розумного керування ґрунтовими ресурсами сьогодні неможливо забезпечити людство продовольством. В Україні такої гострої проблеми, як забезпечення зерном, немає. Проте, виснаження ґрунтів України іде швидкими темпами, а забруднення довкілля зростає у глобальному контексті.

Однією із поширених зернових культур у сільському господарстві є ячмінь озимий. Зерно ячменю має різне цільове застосування, тому культура потребує розвитку зональних систем удобрення, залежно від якості ґрунтів і мезокліматичних умов регіонів.

У першому розділі проаналізуємо наукові відомості про роль азоту у живленні озимих зернових і формуванні їх продуктивності. Важливими є аспекти розуміння перетворення азотних сполук у ґрунтах та доступні форми азоту для кореневого живлення, Вагомий вплив на ці процеси мають природно-кліматичні, гідротермічні умови і функції ґрунтової мікробіоти. Застосування синтетичних регуляторів мікробної трансформації азотних сполук давно відомі у США і ЄС. Їх використовують для запобігання вилуженню нітратів та емісії закису азоту в атмосферу. Вагомі дослідні результати удобрення озимих, у тому числі ячменю у країнах Євросоюзу і у Світі опубліковані у зарубіжних виданнях. Але для нас найважливіший досвід вирощування високих врожаїв ячменю озимого в Україні, зокрема в Західному Лісостепу.

1.1. Роль азоту у живленні ячменю озимого і формуванні врожаю зерна

Азотні добрива відіграють важливу роль у підтриманні потреби озимих культур у поживних речовинах і є основним джерелом живлення для утворення білків та перетворення енергії [219]. Статистика показує, що зростання внесення азотних добрив призвело до збільшення врожайності сільськогосподарських культур у Світі більше, ніж на 40 % [93; 149; 171; 237]. Досягнення сучасної агрохімії з оптимізації удобрення польових, овочевих, плодових та інших сільськогосподарських культур вельми вагомимі [28].

Азот стимулює ростові процеси від кущіння до колосіння, підвищуючи інтенсивність дихання і швидкість обміну речовин. Азот активно надходить у рослину з перших діб її росту до молочної та повної стиглості [60]. Максимальне використання азоту ячменем озимим припадає на фази кущіння та виходу в трубку [61; 62]. Ефективним є підживлення ячменю озимого різними видами азотних добрив у вегетацію [49].

Для ефективного використання тих, чи інших форм азотних добрив під ячмінь в різних природних і агротехнологічних умовах потрібно враховувати фізіологічні властивості амонійного і нітратного азоту, як джерела живлення рослини. Зокрема, ячмінь озимий найкращий урожай дає після попередника сої, яка нагромаджує доступний азот [3].

Українські агрохіміки велику увагу приділяли дослідженням та оцінці амонійного і нітратного живлення рослин [67]. Дослідженнями було встановлено, що з форм азотних сполук рослини можуть використовувати як аміак, так і нітрати. Останні при попаданні в рослину ще в корені відновлюються до нітритів, а згодом і до аміаку. Активне відновлення нітратів відбувається в основному в тонких корінцях рослини і супроводжується одночасним збільшенням у них аспарагіну й амінокислот і зменшення вмісту водорозчинних вуглеводів. У дослідях, проведених з метою виявлення переваги, чи рівнозначності для рослини окисненої чи відновленої форми азоту, амонійний азот як правило застосовується частіше, ніж нітратний.

Ячмінь озимий має швидкий початковий ріст і активне використання поживних речовин [26; 70; 137]. Відмінності в формуванні урожайності зерна між пшеницею та ячменем пояснюються різною ефективністю використання азоту та води. R. Charles et al [132] відібрали проби з ячменю озимого у п'яти етапах онтогенезу від кущіння до досягання: кущіння, стеблуння, колосіння, налив зерна та досягання. Результати показали, що вміст N, P, K, Ca, Mg і Na в надземній фітомасі озимого ячменю зменшувався на наступних фенологічних стадіях від кущіння до воскового стиглості. Загалом азот позитивно вплинув на вміст проаналізованих мікроелементів у надземній фітомасі ячменю озимого на всіх стадіях росту. R. Charles et al [132] порівнювали дворядні та шестирядні сорти озимого ячменю. Вони з'ясували, що більший урожай зерна шестирядного сорту. Дворядний сорт показав у зерні більший вміст сирого протніну, жиру та мінеральних речовин.

Для ефективного використання нітратного азоту в рослинах повинна бути достатня кількість ензимів-редуцентів, що сприяє як перетворенню нітратів, так і подальшому синтезу азотовмісних органічних сполук (аміди, амінокислоти тощо). При цьому нестача вуглеводів найшвидше гальмує синтез амідів, що спричинює накопичення аміаку, а потім за недостатчі вуглеводів сповільнюється редукція нітратів [65]. Тому, за інтенсивної асиміляції амонійного азоту, як і нітратного, рослини страждають від аміачного отруєння. У зв'язку з цим аміак, що утворився в результаті трансформації нітратів або прямого проникнення в корені, через недостатню кількість водорозчинних вуглеводів не може ефективно використовуватися для подальшого синтезу амінокислот. Отже, поняття «фізіологічна рівноцінність» деякою мірою є відносною, оскільки ступінь засвоєння тієї, чи іншої форми азоту залежить від фізіологічних і біохімічних особливостей самої рослини, а також від зовнішніх умов [11; 103], які ми можемо частково регулювати [61].

Оптимальне азотне і фосфорно-калійне удобрення ячменю озимого забезпечує основні значення показників якості для першого/другого класу зерна

згідно [99]: маса 1000 зерен не менше 40-38 г; масова частка сирого протеїну 10-11,5 %.

Україна долучилася до активізації впровадження Директиви Ради Європи 91/676/ЄЕС від 12 грудня 1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (Нітратна директива). Нею обумовлена низка документів, які повинні бути керівними в секторах економіки. Зокрема, це «Методика визначення зон, вразливих до забруднення нітратними сполуками» і «Кодекс кращих сільськогосподарських практик» [16].

За узагальненнями В. Павленко [81] 239 дослідів в 25-ти країнах світу підтверджують позитивний вплив інгібіторів нітрифікації на перетворення азоту в ґрунті і ефективність використання азотних добрив, зниження втрат шляхом денітрифікації і вимивання нітратів, покращення азотного живлення культур, підвищення їх врожайності і якості продукції. В Україні опубліковані поодинокі дослідження дії стабілізаторів азоту, наприклад лише при удобенні кукурудзи [63].

В умовах Західного Лісостепу, використання інгібіторів малопоширене, а імпорту промислових препаратів є не стабільним. Проте, про ефективність різних форм, строків і способів внесення інгібіторів нітрифікації разом з мінеральними добривами під цукрові буряки є дані в центральній Україні [27]. Але проблема вирощування високих врожаїв ячменю озимого на максимальних фонах азотного живлення без втрат азоту у Західному Лісостепу існує [14; 98].

1.2. Перетворення азотних сполук у ґрунті та доступні форми азоту для кореневого живлення

Ресурси доступного для ячменю озимого азоту в ґрунті найпростіше регулювати прийомами осіннього (під оранку) та весняного удобрення амонійною селітрою або карбамідом [47; 194; 221]. У досліді з амонійним і

нітратним живленням ячменю озимого було отримане підтвердження однакової його ефективності [50].

Проте, нітрифікація – процес окиснення амонійного азоту в нітратний, зумовлює перетворення адсорбованої ґрунтом амонійної форм азоту у водорозчинну – нітратну, яка може бути втрачена у разі промивного водного режиму ґрунтів [152; 211; 209]. Угруповання у нітрифікаторів представляють археї, бактерії *Nitrospira*, роди *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosolobus*, *Nitrobacter*, *Nitrococcus* [121; 160; 172]. Карбамід – найчастіше використовуване азотне добриво, піддається гідролізу під дією мікробного ензиму уреазу [177], **аміномонооксигенази і нітритоксидоредуктази**. Наприклад, активність уреазу залежить від типу біогеоценозу та змінюється за порами року: стрімко зростає навесні і восени (111–327 %), тоді як улітку активність ензиму природно зменшувалася удвічі у Присамар'ї, що у Східному Лісостепу Придніпров'я [56]. Такий спад активності уреазу може бути пояснений лише критично низькою зволоженістю ґрунтів у жаркий літній період [114; 232].

Азот карбаміду може бути втрачений при випаровуванні або окиснений до нітратів мікробними нітрифікаторами [152; 221].

Ще С. Виноградський 1952 року [65] встановив, що нітрифікація – хімосинтетичний процес, при якому мікроорганізми отримують необхідну кількість енергії для їх життєдіяльності завдяки окисненню неорганічних речовин. Енергетичним матеріалом в даному випадку є аміак і нітрати, які служать нітрифікаційним бактеріям ще і джерелом азоту. Вуглець вони отримують із вуглекислоти ґрунтового повітря і карбонатів. Досліди із застосуванням перколяційного методу і стабілізаційного з радіоізотопом азоту виявили нерівнозначність для нітрифікаційних бактерій різних форм амонійного азоту [22; 64; 65]. Було встановлено, що спершу інтенсивному окисненню підлягає обмінно засвоєний амоній. Після використання його запасів нітробактерії використовують 20-25 % фіксованого азоту. Перша фаза нітрифікації – окиснення аміаку в нітрит здійснюється нітрозними бактеріями, а

подальше окиснення нітрита в нітрат (друга фаза) реалізується нітратними бактеріями. Першу групу нітратифікаторів представляють бактерії *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosolobus*, а другу *Nitrobacter*, *Nitrococcus*. Невелика кількість нітритів і навіть нітратів може утворюватися в ґрунті завдяки окисненню різних форм азоту деякими гетеротрофами [204; 226]. Активізації росту популяції цих мікроорганізмів сприяють умови, що уповільнюють нітрифікацію. Нітрифікаційних бактерій в піщаних ґрунтах Полісся небагато. Вміст їх значно зростає в окультурених і родючих ґрунту.

Ґрунтове середовище по-різному впливає на розвиток окремих груп мікрофлори і процеси, що зумовлюють мінералізацію органічного азоту. Останнє є наслідком неоднакової вимогливості різних видів мікроорганізмів до умов життя. Для нітрифікаційних бактерій найсприятливіші умови в ґрунті є за слабо кислої реакції [64; 65]. Проте, для проходження нітрифікації придатним є діапазон рН 5,0-8,5 [143]. Однією із причин, що зумовлює можливість життєдіяльності бактерій – нітрифікаторів при рН 5,0 і навіть 4,5 є гетеротрофність ґрунтового середовища із сприятливою кислотністю [65; 221].

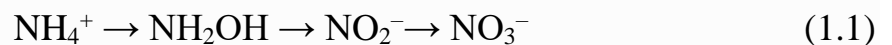
Нітрифікаційні бактерії – аероби. Вони відрізняються винятково високою необхідністю в кисні для здійснення реакції хемосинтезу. При такій високій аерофільності цілком закономірно що аерація здійснює великий вплив на нітрифікацію. У посушливу пору року мінералізація в ґрунті знижується, а у вологу пору року, коли вологість ґрунту більша, в зоні кореневої системи мінералізація збільшується, а не зменшується [83]. D. Hatch et al [162] виявили, що екстремальні погодні явища, зокрема, тривалі періоди посухи й рясних опадів, частота проявів яких останнім часом зростає, провокуючи зміни активності й складу ґрунтової мікрофлори, призводять до вагомої втрати азоту через газову емісію та вилуговування нітратів [189; 224].

При регулярному застосуванні високих норм мінеральних добрив, окрім високих врожаїв, у ґрунтах створюється запас поживних речовин (N, P, K, Ca, Mg та інші) [192]. Дослідженнями Н. Hospodarenko et al [166] встановлено, що

за тривалого внесення мінеральних добрив спостерігається тенденція до підкислення ґрунту при 0,1-0,3 од. рН_{KCl}. Тому навіть чорноземні ґрунти, нейтральні за своєю природою, не витримують хімічних навантажень і змінюють свої фізико-хімічні властивості в процесі сільськогосподарського використання за умови використання їх лише під мінеральні добрива. Важливо поєднувати внесення мінеральних добрив (NPK) і гною, що також позитивно впливає на рН верхнього орного шару ґрунту [164].

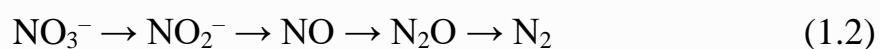
Основний шлях втрат азоту зазвичай пов'язаний з нітрифікацією в ґрунті. Нітрифікація – це процес, що включає цикл ґрунтового азоту та являє собою процес окиснення, який перетворює аміак у нітрит, у результаті чого утворюється нітрати. Надмірне накопичення нітратів у ґрунті згодом спричинює втрату азоту шляхом вилуговування нітратів та викидів оксидів азоту [141; 174].

Механізми, відповідальні за утворення N₂O, описані O. Chr. Vöckman та H.-W. Olf [123], A. F. Bouwman [126; 127]. Прямі викиди закису азоту N₂O з ґрунтів є передусім наслідком мікробної нітрифікації та процесів денітрифікації разом з небіотичною хемоденітрифікацією [124]. Нітрифікація є окиснення іонів амонію до нітриту аеробними мікроорганізмами через NH₂OH, а потім до нітрату:



Коли кисню бракує, окиснювачі амонію можуть використовувати NO₂⁻ як альтернативний акцептор електронів і виробляти N₂O.

N₂O також утворюється в процесі денітрифікації – анаеробного мікробного (переважно бактеріального) відновлення нітратів послідовно до нітриту, а потім до газів NO, N₂O і N₂:



Хемоденітрифікація передбачає хімічне відновлення нітрит-іонів до N₂O такими сполуками, як аміни, що присутні в органічній речовині ґрунту, і

неорганічні іони (Fe^{2+} , Cu^{2+}), особливо в підгрунтях [156]. Вона менш важлива, ніж нітрифікація або біотична денітрифікація, як джерело N_2O з сільськогосподарських ґрунтів.

Мікробне продукування N_2O залежить від наявності в ґрунті достатньої кількості відповідних мінеральних субстратів N, тобто амонію і селітри [179; 197]. Отже, внесення мінеральних азотних добрив і азоту з інших джерел, таких як гній тварин (з яких амоній виділяється шляхом мінералізації) у агроґрунти визнані основними факторами викидів N_2O [123].

D. Hatch et al [126] довели у вегетаційних дослідженнях вплив різних інгібіторів нітрифікації на емісію парникових газів з рілних угідь. З'ясовано вагомий вплив добового температурного режиму на інтенсивність емісії. Тому будь-який спосіб, як підвищити ефективність використання азотних добрив, має велике значення для зменшення втрат азоту в ґрунтах [134]

1.3. Застосування синтетичних регуляторів мікробної трансформації азотних сполук у ґрунті

За даними мережі географічних дослідів на легких дерново-підзолистих ґрунтах використовується до 54 % внесеного з добривами азоту, на глинистих опідзолених – 74 % [175]. Середній глобальний коефіцієнт використання азотних добрив все ще утримується на низькому рівні і зазвичай коливається від 42 до 47 % [182; 237]. Це засвідчує, що більше 50 % азоту з добрив втрачається кількома небажаними шляхами. Це – вилуговування $\text{NO}_3^- \text{N}$ [229], емісія в атмосферу закису азоту (N_2O) та аміаку [189; 215; 224]. Знижений коефіцієнт використання азоту з азотних добрив не тільки спричинює економічні втрати, але й зумовлює вагомі проблеми довкілля [38; 113; 144; 153; 238], оскільки стає фізичним чинником негативних змін у кліматі планети [135]. Це і забруднення води [150; 223; 229], евтрофікація, кліматичні аномалії, втрата біорізноманіття, забруднення повітря [133; 140] та деградація ґрунтів [111; 153; 215; 237; 229].

Прямі викиди закису азоту N_2O з ґрунтів залежать від мікробної нітрифікації та процесів денітрифікації разом з небіотичною хемоденітрифікацією. Мікробне виробництво N_2O залежить від наявності в ґрунті великої кількості азоту добрив у формах амонію і нітратів [129; 195; 233; 234; 228]. Оцінки річних потоків закису азоту в масштабі екосистем здійснили Р. М. Groffman et al [158], із агроґрунтів у помірному кліматі С. Roelandt, В. van Wesemael & М. Rousevell [199] та К. Butterbach-Bahl et al [130]. Викиди парникових азотних газів залежить від трофності ґрунтів [181; 143; 152; 198], температури та форм добрив [169; 170; 172], а також від рослинного покриву, що асимілює азот [201; 221].

В деяких країнах від 1980 до 2010 року обсяги асиміляції азоту сільськогосподарськими культурами в рослинництві зросли вдвічі, але внесення азотних добрив було збільшено втричі [171; 176; 219]. Тому вивчення інгібіторів нітрифікації для запобігання втрат азоту актуальне тривалий період [185] і традиційно вважається економічно ефективним [225].

Для збільшення частки використання азотних добрив доцільно зменшити втрати азотних добрив і гарантувати продовольчу безпеку. Тому раціональна практика застосування азотних добрив має велике значення для зменшення техногенного тиску на довкілля та підтримки сталого розвитку сільського господарства [38; 236]. Зі збільшенням інтенсивного сільськогосподарського виробництва надмірне внесення азотних добрив, очевидно, може погіршувати якість ґрунтів. Основний родючий ґрунтовий ресурс Заходу України – опідзолені ґрунти, швидко деградують [1; 110; 111]. Як інтенсивне використання, так і велике насичення хімічними добривами посилюють втрату азоту в ґрунтах і, отже знижують продуктивність ґрунтів в цьому регіоні [34].

Як доповнення до добрив, інгібітори нітрифікації можуть значно уповільнити процес нітрифікації амонійного азоту в ґрунті і їх широко використовують, як ефективний засіб зниження втрат азоту та покращення коефіцієнта використання азотних добрив, а також підвищення врожайності

сілськогосподарських культур [140; 142; 154; 193; 207; 208; 210; 213]. Інгібітори нітрифікації широко застосовували для покращення безпеки довкілля і збільшення виробництва озимої пшениці в центральній частині Монтани, оперуючи способами і термінам застосування азотних добрив [77] та у Баварії (Німеччина) [163].

Як стверджують Б. Фукс і Н. Баумгартнер [101], завдяки уповільненню утворення нітрату з амонію добрив рослини отримують необхідне забезпечення азотом відповідно до потреб триваліший на 10-15 діб період, оскільки дія інгібітора ензимів також залежить від температури. Водночас рослина налаштовується на частково амонійне живлення.

Підсумовуючи дослідження багатьох авторів [114; 134; 138; 147; 146; 188] бачимо, що інгібітори нітрифікації різних торгових марок виявляли важливу регуляторну роль у пригніченні мікробіоти для перетворення амонійного азоту в нітратний азот. Результати численних досліджень підтверджують, що в різних кліматичних умовах на різних ґрунтах використання інгібіторів нітрифікації значно покращувало ефективність внесених азотних добрив шляхом пригнічення активності азот перетворювальної мікробіоти в ґрунтах [115; 134; 178; 187; 213]. Інгібітори нітрифікації підходять для застосування на більшості типа ґрунтів у зонах вирощування озимих зернових. Використання інгібіторів нітрифікації в ґрунті необхідне для ефективного зниження втрат азоту в ґрунті різними шляхами [141]. Проте, узагальнення досліджень не дають однозначних ствердних висновків щодо однакового впливу обробки інгібіторами нітрифікації на зменшення непродуктивних втрат азоту з ґрунту.

Різні хімічні сполуки були оцінені на предмет їхньої ефективності щодо зменшення втрат азоту з карбаміду шляхом інгібування процесу гідролізу сечовини [100; 186; 200; 216; 217].

Інгібітори нітрифікації – різноманітні [180]. Три комерційні інгібітори нітрифікації стали найбільш використовуваними та дослідженими. Зокрема, нітрапирин був першим комерційним інгібітором, який з'явився 1974 року як N-

Serve® (компанії Dow Agrosciences LLC, Індіанаполіс, IN). Нітрапірін є летким і тому в основному використовується за внесення в ґрунт у виді розчину. Нова інкапсульована композиція нітрапірину зі зниженим випаровуванням, розроблена компанією Dow Agrosciences LLC (Індіанаполіс, Індіана), нещодавно освоєна у виробництві й набула поширення для використання з поверхневим внесенням азотних добрив [202]

Тіофосфорний триамід – інгібітор уреаз, діє на сечовину 7-10 діб [231]. Діціандіамід є інгібітором нітрифікації, який уповільнює окиснення аміаку до нітрату шляхом дезактивації бактеріальної монооксигенази [148; 168]. Нітрапірін – хлорована піридинова сполука з формулою $\text{ClC}_5\text{H}_3\text{NCCl}_3$, за кордоном широко використовуваний інгібітор нітрифікації у ґрунтах [55; 230]. 2-хлор-6-(трихлорметил) піридин – нітрапірін, є ґрунтовим бактерицидом, функціонує, як інгібітор утворення ензимів аміномонооксигенази і нітритоксидоредуктази, чим запобігає гідролізу сечовин археями, *Nitrosomonas*, *Nitrospira* та можливо й іншими. Його дія на бактеріоценоз ґрунту і пригнічення нітрифікації триває 8–10 тижнів. Нітрапірін розкладається як у ґрунті, так і в рослинах [145]. Технологи пропонують добре відомі його препарати N-Serve™, Instinct™, N-Lock™, які використовують від 1974 року.

Нітрапірін затримує процес нітрифікації і перетворення амонію на нітрит, утримуючи у такий спосіб більше азоту, що вноситься добривами, у легкодоступній для сільськогосподарських культур формі [213; 214; 230]. Це запобігає втраті ґрунтового азоту через вилуговування або змив нітратів (NO_3), або газоподібних викидів азоту (N_2) та закису азоту (N_2O) [173; 174; 177; 196; 220; 231; 235]. Понад 40 років нітрапірін використовується у США і досліджується в різних країнах, як інгібітор нітрифікації з метою підвищення врожайності культур і зменшення впливу на довкілля азотних добрив, які використовують в сільському господарстві [186; 222]. Короткостроковий вплив інгібіторів нітрифікації на кількість і експресію окиснювачів аміаку та нітритів

у тривалому польовому експерименті встановлений за різних технологій використання угідь [151].

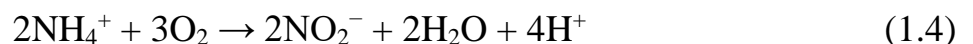
Нітрапірин у формі препарату N-Lock™. Діюча речовина – органічна сполука, що має формулу $\text{ClC}_5\text{H}_3\text{NCCl}_3$. Це широко використовуваний інгібітор нітрифікації у сільському господарстві, а також ґрунтовий бактерицид і він використовується від 1974 року. Нітрапірин був винесений на розгляд ЕРА і визнаний безпечним для використання в 2005 році. Нітрапірин являє собою білу кристалічну тверду речовину з солодким запахом і часто змішується з безводним аміаком для застосування.

Дослідженнями низки авторів доказано [231], що ефективний інгібітор нітрифікації бактерій *Nitrosomonas* стрімко зменшує концентрацію NO_2 у ґрунті.

Нітрапірин функціонує як інгібітор ферментів в нітрифікуючих бактеріях і археях запобігаючи гідролітичній дії на сечовину. Внесений у ґрунт препарат пригнічує нітрифікацію протягом 8–10 тижнів. Інгібування ензимів спеціально запобігає наступній реакції:



Без такої можливості *Nitrosomonas* не може виробляти нітриту, отже пригнічуючи нітрифікацію:



Деградація нітрапірину швидка. Він розкладається як у ґрунті, так і в рослинах. Сама сполука, як правило, не зберігається в природі. Первинним розпадом є гідроліз трихлорметилової функціональної групи, в результаті чого в першу чергу утворюється 6-хлорпіколінова кислота, яка є єдиним виявленим залишком в метаболізмі рослин.

Втрати азоту з азотних добрив, внесених у ґрунт, на першому етапі оцінюють у 35-40 % у вигляді NH_3 , на другому етапі 10 % втрачається від

випаровування N_2O і наступний етап – вимивання 15-25 % NO_3^- на перезволожених ґрунтах.

1.4. Досвід вирощування високих врожаїв ячменю озимого в Західному Лісостепу і ближньому зарубіжжі

К. Noworolnik et al [183] провели польові експерименти у період 2005-2007 рр. у (Białostock, Польща) для визначення реакції двох сортів ячменю озимого на підживлення азотом: 0 – 35 – 70 – 105 кг/га. Обліковували урожай зерна, вміст сирого протеїну в зерні, вихід білка, кількість колосків на квадратному метрі, масу 1000 зерен та ефективність норм азоту. Відзначено значне збільшення врожайності зерна обох сортів при нормі внесення азоту 70 кг/га. Урожайність зернових сортів з нормою внесення азоту 70 кг/га та 105 кг/га були подібні. Ці сорти відповіли збільшенням вмісту сирого протеїну в зерні та збору сирого протеїну на збільшення норми N до 105 кг/га. Удобрення азотом сприятливо вплинуло на кількість колосків на квадратному метрі, але не вплинуло на масу 1000 зерен. Ефективність удобрення азотом залежала від норми азоту, проте збір сирого протеїну обох сортів була подібною. Наявність зворотної кореляції між показниками крупності та вмісту білка в зерні свідчить про необхідність отримання крупного зерна незалежно від умов вирощування, що забезпечить належну якість за вмістом білка [48].

М. Babulicová і В. Dyulgerova [116] встановили, що клімат найсильніший фактор, що впливає на врожайність зерна і складові врожаю ячменю озимого. Відмінності в урожайності зерна ячменю озимого залежно від погоди в окремі роки сягає 2,19 т/га (4,9 %). Сортовипробування у Західному Лісостепу свідчить про велику варіабельність продуктивності і якості врожаю ячменю озимого на фоні удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$ [96]. Строки сівби є важливими для перезимівлі ячменю озимого [157]. Іншим дуже важливим є фактор удобрення ячмінь озимий. Автори дослідили, що в середньому за 2010–2015 рр. урожай зерна озимого ячменю у експериментах Дослідної станції Боровце, що

належить до НДІ рослинництва (Болгарія), при внесенні мінеральних добрив та гною прибавка становила 0,41 т/га (7,7 %), що вище, ніж при внесенні лише мінеральних добрив.

G. Verhanu, T. Kismányoky & K. Sárdi [122] повідомляли, що застосовували п'ять рівнів азотних добрив. Середня висота рослин, урожай зерна та соломи були суттєво вищими ($P < 0,05$) під впливом головного фактора – внесення азоту та органічних добрив, Проте, взаємодія факторів була незначною. Найвищий урожай зерна – 103 %, був отриманий при нормі азоту 120 кг, порівняно з контролем.

Ячмінь озимий поряд із пшеницею, кукурудзою і рисом є однією з важливих світових зернових сільськогосподарських культур продовольчого і фуражного призначення, що користується значним попитом на аграрному ринку. В Україні вирощують ячмінь як озимий, так і ярий [82; 30]. Останніми роками спостерігаємо великі зміни в структурі посівних площ [59], зокрема зменшення посівних площ ячменю, передусім ярого, тоді як під озимим впродовж останніх восьми років вони зросли майже втричі [98]. Проте, загальна посівна площа ярого і ячменю озимого зменшилася майже на 64 %, зокрема із 3,9 млн. га у 2000 році до 2,5 млн. га в 2018 році [30]. За даними Державної служби статистики України, в структурі посівних площ під урожай 2018 року площа ячменю озимого становила 872,6 тис. га [30], і посідає четверте місце в структурі посівних площ зернових культур України.

Ячмінь озимий, поряд із озимою пшеницею та житом, вирізняється високою врожайністю зерна [19]. Зерно і солома, мають високу кормову цінність [218]. За врожайністю зерна ячмінь озимий перевищує ярий, а за кормовими якостями зерна, особливо за вмістом лізину, значно випереджує овес, озиму пшеницю, зернову кукурудзу [98; 103; 112; 157].

Поширення культури ячменю озимого в Україні потребує диференціального – зонального підходу до мінерального удобрення і, зокрема, азотного [10; 28; 29; 39; 131]. Азот стимулює ростові процеси від кушіння то

колосіння, підвищуючи інтенсивність дихання і швидкість обміну речовин. Проте, водночас спричинює ризик вилягання стеблостою за багатого азотного живлення та несприятливої погоди [30; 97; 98; 131]. Максимальне використання азоту ячменем озимим припадає на період від фази кушіння до кінця фази виходу в трубку.

Важливою причиною популярності ячменю у виробництві є його висока продуктивність [87]. Врожайність ячменю озимого за останні 7 років збільшилася з 2,0 т/га до 3,4 т/га, але вона на жаль в два рази нижча за показник ЄС, де становить 7,0 т/га [33]. Використовуючи запаси вологи за осінньо-весняний період та завдяки своїй скоростиглості він формує урожайність 1,5-2,5 рази більше, ніж ярий ячмінь [53].

В дослідженнях Р. І. Климишеної [53; 52] прибавку урожаю 4,12 т/га порівняно з неудобреним варіантом формували рослини ячменю озимого сорту Вінтмальт за рівня мінерального живлення $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Внаслідок швидкого проходження фаз розвитку і активного росту навесні ячмінь озимий відрізняється підвищеними вимогами до рівня живлення [60]. На формування однієї тони зерна ячмінь озимий використовує приблизно $N - 15-20$ кг; $P_2O_5 - 6-10$ кг; $K_2O - 4-8$ кг; $CaO - 0,6-2,0$ кг; $MgO - 1-3$ кг [52]. Тому для нього дуже важливим є збалансоване мінеральне живлення, особливо в початковому періоді росту та розвитку. На початку кушіння рослини ячменю використовують приблизно половину фосфору що засвоюється рослиною, в фазі виходу в трубку – $2/3$ кількості калію і більше 50 % азоту. На початок цвітіння потреба в елементах живлення ячменем досягає 80-85 %.

В умовах Західного Лісостепу, де випадає багато дощів, проблемою може бути вимивання нітратів, особливо на високих фонах удобрення. Надлишковий вміст азоту в ґрунті негативно впливає на стійкість рослин до вилягання і ураження хворобами [64]. Непродуктивні втрати азоту можуть становити 40-70 % [57].

Із азотних солей рослини ячменю можуть використовувати як амоній, так і нітрати [56; 131]. Для ефективного використання нітратного азоту в рослинах повинна бути достатня кількість речовин-редуцентів, що сприяють як перетворенню нітратів, так і подальшому синтезу азотистих органічних сполук (амідів, амінокислот, білків). Натомість аміак, що утворився в результаті трансформації нітратів або прямого проникнення в корені може безпосередньо використовуватися для подальшого синтезу амінокислот [57].

На темно-сірих опідзолених ґрунтах ЛНУП найбільш ефективною нормою мінеральних добрив під ячмінь озимий виявилася внесення під передпосівну культивуацію $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{40}$ у ранньовесняне підживлення [98].

В дослідженнях С. Веремеєнка, С. Ткачук і С. Трушевої [13], проведених на темно-сірих опідзолених ґрунтах, встановлено, що для отримання урожаю зерна ячменю озимого 8,0 т/га необхідно вносити $N_{129}P_{66}K_{132}$. Істотну прибавку урожайності зерна ячменю озимого у порівнянні зі стандартом (сорт Академічний) отримали при вирощуванні сорту Амарена (1,23 т/га), який зміг повністю реалізувати свій генетичний потенціал урожайності.

В сучасних технологіях вирощування будь-якої культури, і ячменю озимого зокрема, застосування регуляторів росту стало необхідним елементом технології. Так результати досліджень В. Лихочвора і М. Матковської [60] на чорноземах типових західного Лісостепу встановлено істотний вплив регуляторів росту на формування таких структурних елементів урожаю як маса зерна колоса і маса 1000 насінин. Серед досліджуваних сортів найвищу продуктивність отримали у сорту Хайлайт (7,86-8,62 т/га) у варіанті із дворазовим застосуванням Хлормекват-хлорид+Медакс-топ завдяки збільшенню маси 1000 зерен і маси колоса. Деяко нижчу продуктивність спостерігали у сортів Вінтмалт та Ханнелорі.

Деяко інші закономірності з'ясували Р. А. Вожегова, О. В. Князев і Н. Д. Резніченко [15] для умов півдня України. В умовах зрошення ячмінь озимий формує достатню площу листової поверхні та фітомасу за

оптимального удобрення [89; 90]. На якість ячменю озимого вагомо впливають не лише мінеральні добрива, а і строки сівби [8].

В умовах північного Степу України, за даними Інституту зернового господарства найвищу прибавку урожаю 0,56-0,86 т/га сорту озимого ячменю-дворучки сорту Достойний отримали за рівня мінерального живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$. При цьому найвищими були маса колоса і маса 1000 насінин. Доведено також, що за весняного посіву сорту урожайність знижується на 40-70 % [6; 7].

Позитивний вплив різних норм внесення мінеральних добрив на зимостійкість і урожайність ячменю озимого доведено в дослідженнях Дніпровського ДАЕУ на чорноземах звичайних малогумусних. Встановлено, що найвища зимостійкість проявляється за рівня мінерального живлення $P_{30}K_{30}$ та $N_{30}P_{90}K_{90}$. Найвища урожайність формується за рівня удобрення $N_{60}P_{90}K_{60}$ [8].

У досліджах В. Лихочвора і М. Матковської [60] у Північному Лісостепу найкращу регуляцію висоти рослин вдалося встановити у варіанті хлормекватхлорид, 1,5 л/га у фазі ВВСН 31 та медакс топ, 1 л/га ВВСН 37–39, різниця до контролю залежно від сорту сягала 11,4–16,4 см. Найвищу врожайність сортів Вінтмалът (8,38 т/га), Ханелоре (8,23 т/га) та Хайлайт та (8,99 т/га) одержано у варіанті, де застосовували хлормекватхлорид, 1,5 л/га у фазі виходу в трубку та медакс топ, 1 л/га у фазі прапорцевого листка. Урожайність сорту Вінтмалът була найвищою під впливом фунгіцидної обробки препаратами систіва та адексар плюс і становила 8,03 т/га на низькому фоні удобрення та 8,80 і 9,10 т/га на середньому і високому фоні мінеральних добрив – $N_{120}P_{90}K_{120}$ [60].

Як бачимо з огляду літературних джерел, питання формування урожайності зерна ячменю озимого, структурних елементів врожайності під впливом мінеральних добрив, застосування їх різних норм і форм внесення у Західному Лісостепу вивчені ще недостатньо і часто є суперечливими. Застосування стабілізаторів азоту поки що перебуває на стадії маркетингової реклами [101]. Більшість досліджень проведені в інших природно-кліматичних

зонах України – Центральному Лісостепу [32; 33; 91], Лівобережному Лісостепу [51], у Степу [79] і в регіонах теплого Поділля [30]

Отже, вивчення впливу мінерального живлення на продуктивність ячменю озимого в природно-кліматичних умовах достатнього зволоження є актуальне на сучасному етапі розвитку агровиробництва.

Висновки до розділу 1

1. Значення азоту для оптимального росту і розвитку, а відповідно формування врожаю якісного зерна ячменю найдетальніше вивчене стосовно пивоварних сортів. Фуражному ячменю, зокрема озимих сортів, у Західному Лісостепу України присвячені поодинокі дослідження, які не передбачали високих (за N_{90-120}) норм внесення азотних добрив для сортів інтенсивного типу.

2. Перетворення азотних добрив у ґрунтах під впливом мікробіоти детально вивчене у зв'язку потребою підвищення віддачі внесеного азоту та запобіганню його втрат через емісію у газоподібних форма та вилуженню у глибину ґрунту у нітратній формі. Проте в Україні стабілізатори азоту, які запобігають його втратам та продовжують тривалість забезпечення рослин засвоюваними формами, вивчалися епізодично 20-30 років тому.

3. Велика популярність інгібіторів нітрифікації у західних, особливо американських, фермерів пояснюється здорожчанням азотних добрив за звички їх внесення у великих дозах і зацікавленістю у їх більшій віддачі. Тому на західному ринку присутні численні промислові стабілізатори азоту, які вже поступають і на аграрний ринок України.

4. У європейських та американських фермерів є тривалий досвід внесення великих норм азотних добрив під зернові культури, зокрема сорти ячменю інтенсивного типу. В Україні, зокрема в Західному Лісостепу досліджень ефективності високих норм азотних добрив під сорти ячменю озимого інтенсивного типу, а тим більше із використанням стабілізаторів азоту не проводили. Тому проблему віддачі високих норм азотних добрив на фоні

внесення інгібіторів нітрифікації, а також питання оптимальних строків і доз застосування азоту та його стабілізатора, потрібно вирішувати на науковому рівні.

Розділ 2

МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ І ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АГРОХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ, ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗЕРНА І СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО

Програма досліджень системи удобрення ячменю озимого охоплює з'ясування впливу природно-кліматичних і гідротермічних умов вирощування культури у Пасмовому Побужжі Західного Лісостепу, враховує основні питання родючості модельного ґрунту, передбачає моніторинг росту й розвитку рослин, дослідження динаміки поживних речовин у ґрунті, біометрію надземної фітомаси і встановлення якості зерна. Усі цифрові матеріали отримані у коректних польових експериментах і лабораторних аналізах та опрацьовані сучасними статистичними методами.

2.1. Програма польових досліджень і лабораторних аналізів

Робоча гіпотеза нашої розробки наступна. Існує актуальна проблема виявлення найефективнішого рівня та строку внесення азотних добрив під ячмінь озимий із регулюванням процесу нітрифікації. Передбачається, що для отримання найвищого врожаю зерна високої якості потрібно встановити оптимальну норму і строки внесення азотних добрив з урахуванням дії інгібітора нітрифікації на динаміку вмісту доступного азоту упродовж критичного періоду живлення культури.

Технологія застосування інгібіторів нітрифікації у посівах ячменю озимого в Україні не вивчена і застосування їх ускладнене у практиці. Для досягнення цієї мети ми запланували вивчити стан проблеми у європейських країнах та США, дослідити динаміку азоту, фосфору і калію в темно-сірому ґрунті упродовж вегетації ячменю озимого під впливом рівня і строків азотного удобрення та нітрапірину у формі N-Lok Макс, оцінити вплив рівнів та строків

внесення азотних добрив на кислотність ґрунту, з'ясувати вплив форм азотних добрив на ріст і розвиток рослин ячменю озимого, формування структури врожаю, встановити рівень урожайності та якість зерна залежно від системи удобрення і дати економічну та біоенергетичну оцінку ефективності вирощування культури залежно від системи удобрення.

Основним об'єктом дослідження є продуктивність ячменю озимого, предмет дослідження: показники родючості ґрунту, закономірності формування продуктивності ячменю озимого залежно від впливу норм, строків внесення азотних добрив та регулювання процесу нітрифікації в умовах Західного Лісостепу.

Досліди проведені у Львівському національному університеті природокористування (ЛНУП – Дубляни) впродовж 2019 до 2022 року. ЛНУП має дослідне поле у районі Пасмового Побужжя природо-кліматичної зони Західного Лісостепу: N 49°54'14"; E 24°05'10". Height above sea level: 258m (Physical-geographical zoning..., Agro-soil zoning..., <https://geomap.land.kiev.ua/>). Польові досліді закладали за загальноприйнятою методикою в агрономії [46; 37].

Сорт озимого ячменю Хайлайт (Highlight) виведений методом самозапилення у Німеччині і впроваджений в Україні 2010 року. Напрямок використання зерновий, фуражний. Рекомендована зона для вирощування Лісостеп і Полісся. Належить до групи середньостиглих сортів. Стійкість до вилягання – 8,4 бала, тобто висока, до осипання: 8,8 бала (висока). Стійкість до борошністої роси злаків – висока, до гельмінтоспоріозу сітчастого – висока. У зоні Лісостепу середня урожайність сорту – 6 т/га, на Поліссі – 5,6 т/га. Вегетаційний період в середньому триває в Лісостепу 259 діб, на Поліссі 272 доби. Вміст сирого протеїну в зерні в середньому 12,6-13,0 %. Середня висота рослин – 99 см, на Поліссі 101 см Маса 1000 зернин – 47,8-50,8 г. Особливість сорту – виразна позитивна реакція на внесення повного мінерального удобрення.

Внесення добрив за допомогою ручного механічного розкидача фірми Solo згідно схеми здійснено під передпосівну культивуацію (дод. А, рис. А.1), а також навесні у фазі відновлення вегетації та на початку колосіння. Технологія вирощування ячменю озимого була використана загальноприйнята: оранка на 20-22 см, внесення добрив – діамофоски $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCl} - \text{N}_{10}\text{P}_{26}\text{K}_{26}$ під передпосівну культивуацію в нормі згідно схеми досліду (табл. 2.1), сівба виконана з рекомендованою нормою висіву насіння 3,8 млн. зерен на га.

Карбамід $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{N}_{46})$ вносили під передпосівну культивуацію в нормі згідно схеми досліду. Частина азотних добрив у формі амонійної селітри $(\text{NH}_4\text{NO}_3 - \text{N}_{34})$ була внесена навесні при відновленні вегетації, частина – перед початком колосіння (в нормах згідно схеми досліду). Стабілізатор азоту – N-Лос Макс, вносили ранцевим оприскувачем за схемою досліду у нормі 1,7 л/га з витротою водного робочого розчину з розрахунку 300 л/га.

Для експериментування з нормами і формами азотних добрив і внесенням нітрапірину розробили схему дослідження, яка показана в таблиці 2.1.

Контроль бур'янів робили гербіцидом Трибенурон-метил (25 г/га). Насіння обробляли препаратом Кінто Дуо (2,0 л/т) з фунгіцидом Систіва (0,8 л/т) перед сівбою проти хвороб. При догляді за посівами у фазі ВВСН 37-39 [159] вносили Терпал (1,0 л/га) у баковій суміші з Абакусом (1,5 л/га) та мікроелементами. У фазі ВВСН 31 внесли регулятор росту Хлормеквад хлорид – 1,2 л/га.

Розмір посівної ділянки 37 м², облікової 25 м². Повторення варіантів триразове, розміщення ділянок систематичне зі зміщенням (дод. А, рис. А.2; рис. А.3; рис. А.4; А.5).

За кількістю опадів погода була кращою восени 2020 року, ніж восени 2019 року, а також сприятливішою для дії добрив та нітрапірину навесні 2021 року. Тому умови були найліпші для формування врожаю ячменю озимого 2021 року навесні, не зважаючи за холоднішу у цей час погоду.

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин ячменю здійснювали згідно рекомендацій В. О. Єщенка [46] Початком фази вважають

період, коли у неї вступило не менше 10 % рослин, повну фазу, коли вона настає у 75 % рослин [159].

Таблиця 2.1

Схема польового експерименту

| № | Варіант досліду | N, кг/га |
|------------|---|-----------|
| 1. | Без добрив | 0 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 0 |
| 3. | Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (*Рафк – *п.с.) | 23 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс – п.с. | 23 |
| 5. | Фон + N ₉₇ (*Nк – п.с.) | 120 |
| 6. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс – п.с. | 120 |
| 7. | Те ж + N-Lok Макс – *в.в. | 120 |
| 8. | N ₂₃ (Naa – п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (*п.к.) | 120 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс – в.в. | 120 |
| 10. | Фон + N₃₇(Naa – в.в.) – контроль | 60 |
| 11. | Те ж + N-Lok Макс – в.в. | 60 |
| 12. | Фон + N ₆₇ (Naa – в.в.) | 90 |
| 13. | Те ж + N-Lok Макс – в.в. | 90 |
| 14. | Фон + N ₉₇ (Naa – в.в.) | 120 |
| 15. | Те ж + N-Lok Макс – п.с. | 120 |
| 16. | Те ж + N-Lok Макс – в.в. | 120 |
| 17. | Фон + N ₆₇ (Naa – в.в.) + N ₃₀ – п.к. | 120 |
| 18. | Те ж + N-Lok Макс – в.в. | 120 |

Примітка: * Рафк – діамофоска; Nк – карбамід; Naa – амонійна селітра;
п.с. – перед сівбою; в.в. – відновлення вегетації; п.к – початок колосіння.

Упродовж всього періоду вегетації проводили обліки та біометричні спостереження, оцінювали загальний стан посіву традиційними методами [46] (дод. А, рис. А.4; А.5; А.6).

Стан посівів упродовж весняно-літньої вегетації оцінювали за п'ятибальною системою, описаною В. О. Єщенком і В. В. Лихочвором [46; 62].

Після досягання був проведений поділяночний суцільний облік урожаю та облік надземної фітомаси. Водночас у відібраних п'ятикратно з площадок $0,5 \times 0,5$ м снопах камерально підраховували і виміряли кількість рослин та продуктивних стебел, а у довільно відібраних 25 стебел з пробної площадки обліковували: довжину стебла, довжину колоса; кількість зернин в колосі; масу зерен з колоса.

Отримані параметри дозволили описати структуру врожаю та з'ясувати складові елементи, завдяки яким встановлена різниця у врожаях ячменю озимого по варіантах системи удобрення і застосування інгібітора. Цей метод забезпечив нам можливість розраховувати біологічний урожай паралельно з господарським за суцільної прямої молотьби.

Для визначення маси 1000 зерен використали методіку, описан в ДСТУ 4138-2002 (2003) [43].

2.2. Агрохімічні методи вивчення поживного режиму, запасів форм азоту й опис профілю ґрунту дослідного поля

Перед закладанням досліду до сівби, по відновленню вегетації, перед початком колосіння і перед збиранням було взято зразки ґрунту з глибини 0-20, 20-40 см. Аналізи виконали на базі філіалу кафедри агрохімії та ґрунтознавства ЛНУП в Інституті сільського господарства західного регіону НААН України.

Проби ґрунту відбирали і готували до аналізів за стандартною методикою. Визначення pH_{KCl} проводили потенціометричним методом згідно ДСТУ ISO 10390:2001 [44] при співвідношенні ґрунту до розчину 1:2,5 у сольовій витяжці 1 моль/л розчину KCl. Вміст нітратів визначали потенціометрично за допомогою йонселективного нітратного електрода у сольовій витяжці 1 % розчину алюмокалієвого галуону при співвідношенні ґрунту до розчину 1:2,5 за ДСТУ ISO/TS 14256-1:2005 [45]. За показниками йономіра і калібрувального

графіка визначали вміст нітратів. Стандартні розчини для калібрування приладу і калібрувальний графік готували з використанням $1 \cdot 10^{-1} \text{M}$ KNO_3 шляхом поступового десятиразового розбавлення його дистильованою водою до концентрації $1 \cdot 10^{-2} \text{M}$, $1 \cdot 10^{-3} \text{M}$, $1 \cdot 10^{-4} \text{M}$. Вміст нітратів у ґрунті, в мг/кг, знаходили за величиною $p\text{NO}_3$ або за формулою:

$$N - \text{NO}_3 = \text{ant log} (4,54 - p\text{NO}_3). \quad (2.1)$$

Визначення азоту легкогідролізного проводили за методом Корнфілда згідно ДСТУ 7863:2015 [42].

Агрохімічні властивості ґрунту дослідної ділянки визначали згідно ДСТУ за такими показниками: вміст гумусу, доступні форми фосфору і калію [41], гідролітичну кислотність – за Каппеном, суму увібраних основ – за Каппеном-Гільковицем (дод. А, рис. А.1).

Інтенсивність річних потоків емісії закису азоту з ґрунту $E_{\text{N}_2\text{O}}$ (кг/га) розраховували за формулою, запропонованою А. Ф. Bouwman [126; 127].

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = 1 + 0,0125 \times N_{\text{д.р.}}, \quad (2.2)$$

де: $N_{\text{д.р.}}$ – норма удобрення у діючій речовині азоту або запаси нітратів у орному шарі ґрунту.

Запаси нітратів $Z_{\text{N-NO}_3}$ (кг/га) вираховували за формулою обчислення запасів гумусу [73] з використанням перевідних коефіцієнтів мг/кг у відсотки і тонни у кілограми:

$$Z_{\text{N-NO}_3} = V_{\text{N-NO}_3}(\text{мг/кг}) \times 0,0001(\%) \times 1000(\text{кг}) \times 1,47(\text{г/см}^3) \times 20(\text{см}), \quad (2.3)$$

де: $V_{\text{N-NO}_3}$ – вміст N-NO_3 в орному (0-20 см) шарі ґрунту у мг/кг;

0,0001 – коефіцієнт переведу у %; 1000 – коефіцієнт переведу у кг; 1,47 – щільність орного шару модельного ґрунту у г/см^3 ; 20 – товщина орного шару у см.

На дослідному полі ЛНУП ми описали розріз темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту перед закладанням дослідів для з'ясування генетико-морфологічної будови профілю та відбору зразків для аналізу. Вид угіддя – рілля. Поверхня ґрунту – грудкувата. Ґрунт – темно-сірий опідзолений слабогумусований легкосуглинковий ґрунт Greyic Luvic Phaeozem, 1961 (WRB, 2015) [190]. Вміст фізичної глини становить 28,4 % у верхньому горизонті, отже досліджуваний ґрунт є легкосуглинковим. Вміст фізичної глини зростає з глибиною. Вміст гумусу в орному пласті – 2,18-2,38 %. Отже досліджуваний ґрунт є слабогумусованим.

Ступінь кислотності у товщі 0-20 см близький до нейтрального – pH_{KCl} 6,09-6,12 од. Незначне підкислення є до глибини 40 см – pH_{KCl} 6,05-6,11. Гідролітична кислотність у орному пласті є 2,40-2,80 ммоль/100 г ґрунту. Сума ввібраних основ є 22,0-22,7 ммоль/100 г ґрунту.

2.3. Методи оцінки якості зерна, економічної та біоенергетичної ефективності систем удобрення

Для хімічних аналізів сухої маси зразок зерна піддавали висушуванню за температури 50–60°C до повітряно-сухого стану, всю масу розмелювали й розділяли на дві рівні частини. З кожного паралельного зразка відбирали потрібний об'єм матеріалу для аналізу в двох повторностях. Якщо розбіжності між параметрами показників паралельних аналізів перевищували припустиму норму точності ($\pm 3\%$), відбір аналітичного об'єму матеріалу повторювали і на інших пробах проводили вимірювання. Хімічні аналізи виконували за класичними методами, узагальненими Х. М. Починком (1976, с. 5–77) у новіших модифікаціях [36; 40; 88].

Вміст сирого протеїну і вологи у зерні визначений на інфрачервоному аналізаторі Спектран-119М, що працює на принципі вимірювання дифузного відбиття розмелених зразків в ближній ІЧ-ділянці спектра. Підготовка зразків

зерна для вимірювання полягає в розмелі зерна на млині У1-ЕМЛ (ситя 0,8 мм) для отримання 20 г розмеленого продукту для аналізу.

Вміст сирової золи у зерні визначали мокрим озоленням за Лебедянцевим. Вміст крохмалю в зерні аналізували осадженням йодом. Частку сирової клітковини в сухій масі зерна визначали модифікованим методом Ганнеберга-Штомана, сирого жиру – методом Рушковського. Вміст безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) розраховували, як різницю між сумою всіх визначених аналітичним шляхом органічних і мінеральних складових разом із часткою вологи у сухій масі зерна.

Розрахунки економічної ефективності здійснювали за фактичними витратами, передбаченими технологіями вирощування сільськогосподарських культур в умовах Західного Лісостепу. Для обчислення використовували основні показники: виробничі затрати, собівартість, умовний чистий прибуток, рівень рентабельності [86]. Для розрахунків брали ринкові ціни на добрива, препарат N-Lok Макс та закупівельну ціну на зерно ячменю озимого на 2022 маркетинговий рік (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Ринкова вартість добрив та продукції у 2022 маркетинговому році

| Матеріали досліджу | Од. вим. | Грн. |
|---|----------|-------|
| Амонійна селітра | тонн | 37000 |
| Карбамід | тонн | 38000 |
| Діамофоска (N ₁₀ P ₂₆ K ₂₆) | тонн | 38000 |
| N-Lok Макс | літр | 590 |
| Ячмінь озимий (зерно) | тонн | 8000 |

Біоенергетичну оцінку досліджуваних агрозаходів проводили за методичними рекомендаціями біоенергетичної оцінки технологій вирощування ячменю озимого [72; 94]. Для розрахунків використали показники, які представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Загальноприйняті нормативи розрахунку енергетичної ефективності
вирощування зернових культур

| Показник | Од. вим. | Значення |
|--|------------------|----------|
| Середній коефіцієнт вмісту сухої речовини | - | 0,86 |
| Вміст загальної енергії в зерні ячменю | МДж/кг сух. реч. | 19,13 |
| Енергетичний еквівалент азотних добрив | МДж/кг д. р. | 86,8 |
| Енергетичний еквівалент комплексних добрив | МДж/кг д. р. | 51,5 |
| Енергетичний еквівалент N-Lok Макс (у середньому по пестицидах) | МДж/літр | 127 |
| Внесення добрив | МДж на га | 193 |
| Внесення пестицидів | МДж на га | 223 |

2.4. Статистичне моделювання точності результатів обліків та залежностей в експериментах

Існує широкий вибір математичних моделей статистики для агрономічних досліджень. Найпоширенішим є дисперсійний аналіз, який включений до пакетів Statistics Calculators (10) чи Functions of Exce (6). Ми використали їх для графічного моделювання встановлених закономірностей і залежностей.

Проте в разі використання у цих пакетів для дисперсійного аналізу виникають додаткові труднощі із занесенням первинних даних та з отриманням остаточного результату. Тому для оперативного застосування в математичному моделюванні вірогідності результатів експерименту ми реалізували алгоритм дисперсійного аналізу однофакторного експерименту на інтерпретованій об'єктно-орієнтованій мові програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією – Python 3 із використанням середовища програмування PyCharm Community Edition [22].

Для розроблення функціонального і інтерактивного інтерфейсу була обрана бібліотека PyQt6 в комбінації з програмою для проектування і дизайну

інтерфейсів Qt Designer v 5.9.6. Для обчислення за математичними формулами використовували бібліотеку numpy. Для роботи з табличними формами, переводом у текстову форму, а також у формат Excel.xlsx була обрана бібліотека pandas та tabulate. Так була створена робоча програма Dispersion.exe. (<https://github.com/dimbaida/variance-analysis>).

У ході досліджень ми вносили у програму вхідні показники урожаю упродовж трьох років і отримували підсумкову статистичну модель вірогідності припущення в експерименті у формі таблиці у середовищі Microsoft Excel. Таблиця містить усі кінцеві показники вірогідності результату експерименту з вивчення впливу добрив на врожайність ячменю озимого, розраховані на підставі відхилення нульової гіпотези варіації спостережень (дод. Г., табл. Г.4–Г.6; табл. Д.1).

Висновки до розділу 2

1. Вибране для дослідів поле має типовий для Пасмового Побужжя Західного Лісостепу темно-сірий опідзолений слабогумусований легкосуглинковий ґрунт, властивими для нього агрофізичними та агрохімічними властивостями. Тому є репрезентативним для зони Західного Лісостепу.

2. Сорт ячменю озимого Хайлайт впроваджений і поширений у виробництві Заходу України, як кормовий. Застосована сучасна технологія вирощування ячменю озимого із використанням новітніх агрохімікатів.

3. Удосконалений і адаптований до типових агрономічних експериментів алгоритм дисперсійного аналізу апробований нами упродовж трьох років і опублікований [22].

Результати досліджень за розділом 2 викладено у публікації [22].

Розділ 3

ВПЛИВ СИСТЕМИ МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ПАРАМЕТРИ АГРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕМНО- СІРОГО ОПІДЗОЛЕНОГО ҐРУНТУ

Оптимальне мінеральне живлення, фотосинтез, ріст і розвиток ячменю озимого забезпечують максимальну реалізацію біопотенціалу сорту інтенсивного типу, яким є Хайлайт. Основним джерелом живлення біогенними елементами – азотом, фосфором і калієм, є їхні ґрунтові ресурси. Вносячи мінеральні добрива, ми намагаємося збільшити цей ресурс, підвищуючи родючість ґрунту раціональними їх дозами. Наше завдання – з'ясувати закономірності впливу різних мінеральних добрив, доз і строків їх внесення під ячмінь ярий на агрохімічні властивості ґрунту за динамікою показників вмісту легкогідролізного азоту і нітратів, фосфору і калію за методом Чирикова. Водночас ми можемо встановити вплив мінеральних добрив у взаємодії з інгібітором нітрифікації – нітрапірином, на вміст основних елементів живлення, зокрема форм азоту, упродовж вегетації ячменю озимого. Важливо визначити ступінь впливу поєднання різних добрив з нітрапірином на реакцію ґрунтового розчину за показником pH_{KCl} .

3.1. Значення фонового фосфорно-калійного удобрення для підтримання високого вмісту фосфору і калію в ґрунті

За нашими дослідженнями внесення фосфорно-калійних добрив у нормі $P_{60}K_{60}$ перед сівбою ячменю озимого зумовлювало підвищення вмісту фосфору на початку вегетації 2020 року на 27 % (від 122 мг/кг ґрунту на неудобреному варіанті 1 до 154 на удобреному фоні – рис. 3.1). Такий рівень вмісту фосфору – 151-154 мг/кг ґрунту навесні встановився на всіх 14 варіантах, де була внесена діамофоска з розрахунку $P_{60}K_{60}$ і змінювалася лише система азотного удобрення.

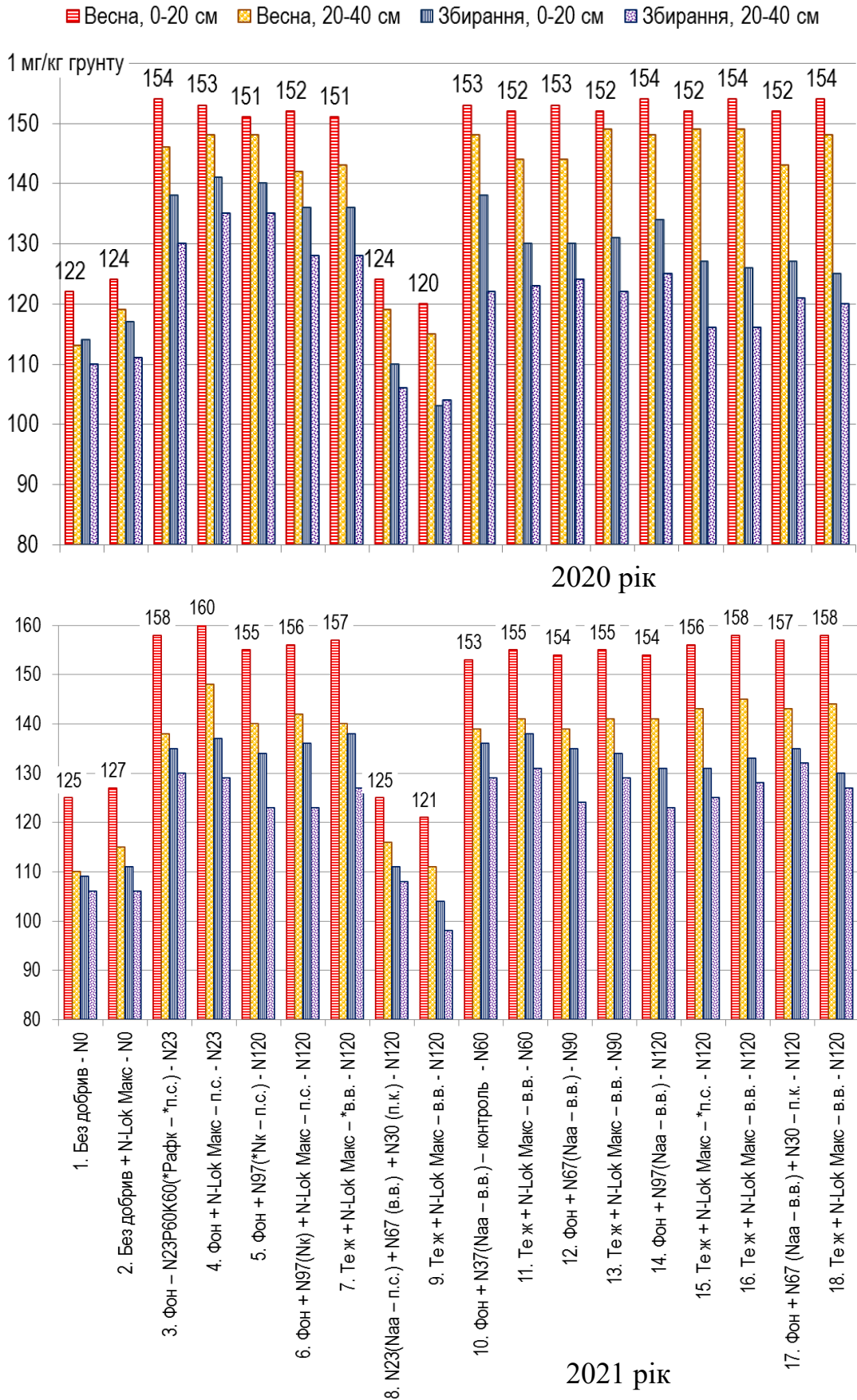


Рис. 3.1. Зміни вмісту фосфатів у ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2020-2021 роках ($p < 0,05$).

Тільки у варіантах 8 і 9, де внесли під ячмінь озимий по 120 кг/га азоту без фосфорно-калійного фону, вміст фосфатів навесні залишався на рівні контролю без добрив і до збирання практично не зменшився.

Слід звернути увагу, що підорний шар 20-40 см темно-сірого опідзоленого ґрунту є достатньо потужним резервом кореневого живлення ячменю озимого. Він містить лише на 5-10 мг/кг ґрунту менше фосфатів. Подібну закономірність спостерігали 2021 року, тільки на дещо вищому рівні вмісту фосфатів – 153-160 мг/кг ґрунту в орному шарі (рис. 3.1).

Формування фітомаси ячменю озимого в ході росту і розвитку рослин потребувало використання ґрунтового фосфору, тому його ресурси в орному і підорному шарі до збирання врожаю зменшилися (рис. 3.1). За однакового фосфорно-калійного фону $P_{60}K_{60}$ як 2020, так і 2021 року бачимо виразну тенденцію більшого виснаження ґрунту за збільшення норми азоту до 120 кг/га. Особливо велике зниження вмісту фосфору виявлено за внесення 120 кг/га азоту без внесення фосфорно-калійних добрив (вар. 8 і 9). 2020 року воно становило 25-29 мг/кг в орному і 22-33 мг/кг ґрунту підорному пластах, якщо порівнювати показники навесні і перед збиранням. Порівняно з неудобреним варіантом 1 зниження сягало 29-32 мг/кг ґрунту. Відносно удобреного контролю на варіанті 10 зниження вмісту фосфору у 2020 році в орному шарі становило лише 1-2 мг/кг ґрунту. Проте, на варіантах без фосфорно-калійних добрив (вар. 1, 2, 8 і 9) було винесено з урожаєм 29-33 мг/кг ґрунту фосфору за методом Чиркова.

Винесення ячменем N , P_2O_5 та K_2O на 1 т урожаю не є постійними величинами, а змінюються в широких межах залежно від рівня врожайності, норм добрив і ґрунтово-кліматичних умов. Так, на сірих ґрунтах та чорноземах [73] ці показники узагальнено мають таке значення: 25 – 10 – 25 кг/т. Між винесенням та нормами добрив, особливо азотних, простежується доволі тісна залежність [165]. Винесення поживних речовин з урожаєм ячменю перевищує їхнє накопичення у

кореневій системі у фазу повної стиглості за азотом – в 3,7-4,2 раза, за фосфором – в 2,8-5,1 раза і за калієм – в 3,2-4,9 раза, причому найменшу різницю спостерігали у варіанті без добрив, де відносно більша коренева система.

Отже, робимо висновок, що ресурс ґрунтового фосфору за методом Чирикова, який вагомо збільшується при внесенні P_{60} під осінню оранку, виснажується до збирання врожаю тим більше, чим більше внесено під ячмінь озимий азотних добрив – 23, 60, 90 та 120 кг/га.

Застосування повного мінерального удобрення в нормах $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{45}P_{30}K_{30}$ під ячмінь ярий в умовах Пасмового Побужжя упродовж 2013-2015 років [66] супроводжувалося підвищення вмісту фосфору у орному шарі відповідно на 24 та 35 мг/кг ґрунту. Найвищий вміст фосфатів спостерігали на фоні мінерального живлення $N_{60}P_{45}K_{45}$ – 124 мг/кг ґрунту, що перевищувало контроль на 42 мг/кг ґрунту, або на 51 %.

А. В. Бикін і І. П. Поліщук довели [9], що під впливом систематичного внесення добрив під моркву столову помітно поліпшувався калійний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту. На початку вегетації вміст обмінного калію в орному шарі підвищувався на 17, у фазу 6-8 листків на 20, 9-10 листків – на 11 %, на період технічної стиглості – на 30 % порівняно з контролем (без добрив).

На початку проведення дослідів на неудобреному фоні забезпеченість вказаної ґрунтової відміни калієм відповідала низькому рівню, тоді як у варіантах із внесенням добрив вона досягла середнього рівня. Такі висновки опублікували й інші автори [104].

У нашому досліді на неудобреному контролі у фазі відновлення вегетації 2020 року в орному пласті ґрунту містилося 102 мг/кг, у підорному 94 мг/кг ґрунту калію за методом Чирикова (рис. 3.2). Близькими були показники у варіантах 8 і 9, де також не вносили фосфорно-калійних добрив, відповідно містилося 52 мг/кг ґрунту та 94-98 мг/кг ґрунту калію.

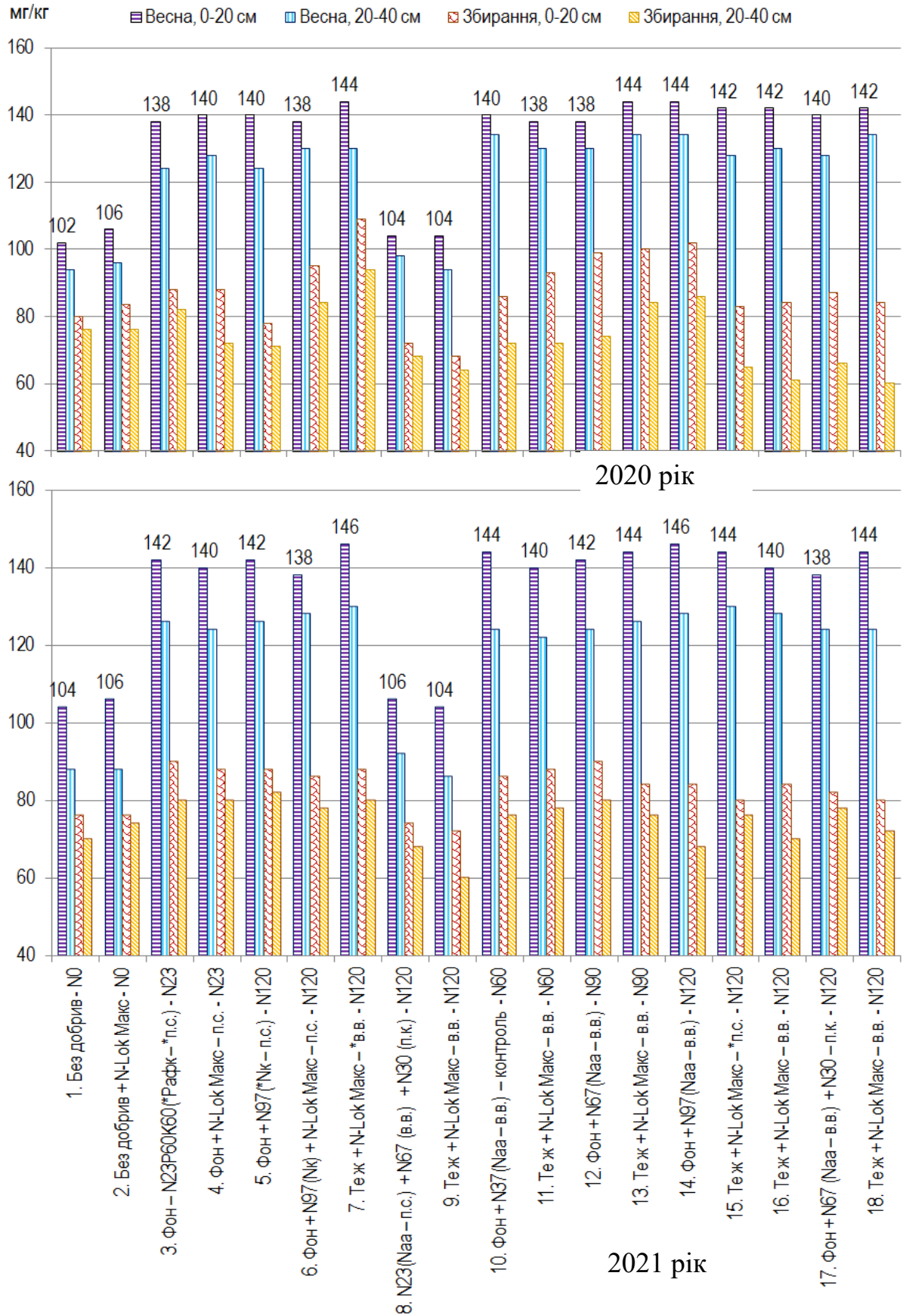


Рис. 3.2. Зміни вмісту обмінного калію у ґрунті упродовж вегетації залежно від систем удобрення ячменю озимого у 2020 році ($p < 0,05$).

Зауважимо, що внесення під ячмінь озимий 120 кг азоту, особливо з нітрапірином, спричинило сильніше збіднення вмісту в ґрунті як фосфору, так і калію, унаслідок вищого врожаю, ніж у варіанті 1, де зовсім не вносили добрив. Вміст калію, що залишався до збирання врожаю, становив у орному шарі 76-80 мг/кг в орному та 76-70 мг/кг ґрунту в підорному шарі. Як бачимо, нітрапірин опосередковано впливає на додаткове виснаження ґрунту у зв'язку підвищенням врожаю зерна ячменю озимого. Дещо менше калію винесено з урожаєм ячменю 2021 року, хоча закономірності повторюються у всіх варіантах (рис. 3.2).

У досліді 2020 року внесення калійних добрив під оранку у нормі K_{60} забезпечило підвищення вмісту калію як в орному шарі в діапазоні 39-42 мг/кг ґрунту, у підорному – від 30 до 40 мг/кг ґрунту (рис. 3.2).

За вегетаційний період ячмінь озимий засвоював з ґрунту калію в діапазоні 36-42 мг/кг ґрунту, залежно від фону азотного живлення. Чим вища норма удобрення культури – 23, 60, 90 і 120 азоту, тим сильніше виснаження ґрунту на вміст калію. Нітрапірин у кожному випадку застосування спричиняв ще більше збіднення ґрунту на калій. Проте, до збирання у ґрунті залишалося приблизно на 18-40 мг/кг ґрунту більше обмінного калію у варіантах із внесенням $P_{60}K_{60}$ під оранку.

Максимальне використання обмінного калію встановлено у варіанті 18 за удобрення: фон + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) – N_{120} – 58 мг/кг ґрунту 2020 року та 56 мг/кг ґрунту 2021 року. Нітрапірін призводив до додаткового винесення калію в обидва роки за різних норм внесення азоту під ячмінь озимий.

Із вище сказаного зазначимо, що калійне удобрення ґрунту за вирощування ячменю озимого дозволяє підтримувати вміст калію за методом Чирикова в орному і підорному пластах приблизно на третину вищим від неудобреного варіанту за різних варіантів удобрення азотом. Але основний елемент живлення рослин – азот, спричинює тим активніше виснаження ґрунту на фосфати і калій,

чим більша норма внесення азотних добрив, а відповідно інтенсивніший ріст і розвиток ячменю озимого.

Генетично темно-сірий опідзолений ґрунт за різними дослідженнями [68; 4; 5] методом Чирикова містить фосфору 104–125, калію 111–138 мг/кг ґрунту. Упродовж вегетації неудобрений темно-сірий опідзолений ґрунт Північного Лісостепу України [9; 84] втрачав за поступового зменшенням вмісту P_2O_5 у варіантах без внесення добрив 5-8 % його запасу до завершення вегетації. За систематичного використання добрив автори пропонують розраховувати на підвищення вмісту в орному шарі ґрунту фосфору порівняно з контролем (без добрив) до 10 %. Забезпеченість ґрунту фосфатами за систематичного удобрення досягала високого ступеня. За даними тривалих досліджень географічної мережі [175] рослини використовують із внесених фосфорвмісних добрив на сірих ґрунтах 48 % фосфору.

3.2. Зміни вмісту легкогідролізного азоту залежно від норм внесення азотних добрив

Попередніми дослідженнями [12] у Пасмовому Побужжі Західного Лісостепу встановлено, що за впливу різних норм мінеральних добрив істотно змінюється вміст легкогідролізного азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті при вирощуванні ячменю ярого та інших культур [80; 92]. Результати досліджень показали позитивну динаміку вмісту легкогідролізного азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті у варіантах із внесенням $N_{60}P_{45}K_{45}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$. Вміст його у ґрунті в орному шарі був більшим порівняно з неудобреним варіантом на 42-43 і 50-55 мг/кг ґрунту відповідно.

Проте, немає даних впливу підвищених і високих норм азотного удобрення ячменю озимого у Західному Лісостепу на ресурси легкогідролізного азоту – основного елемента живлення, який визначає величину максимального врожаю у сортів інтенсивного типу колосових культур.

У наших дослідженнях за відсутності удобрення ґрунту спостерігали низький вміст легкогідролізного азоту в орному й підорному пласті, і він ще зменшився до збирання врожаю до 44-67 мг/кг сухої маси (рис. 3.3 і 3.4 – вар. 1).

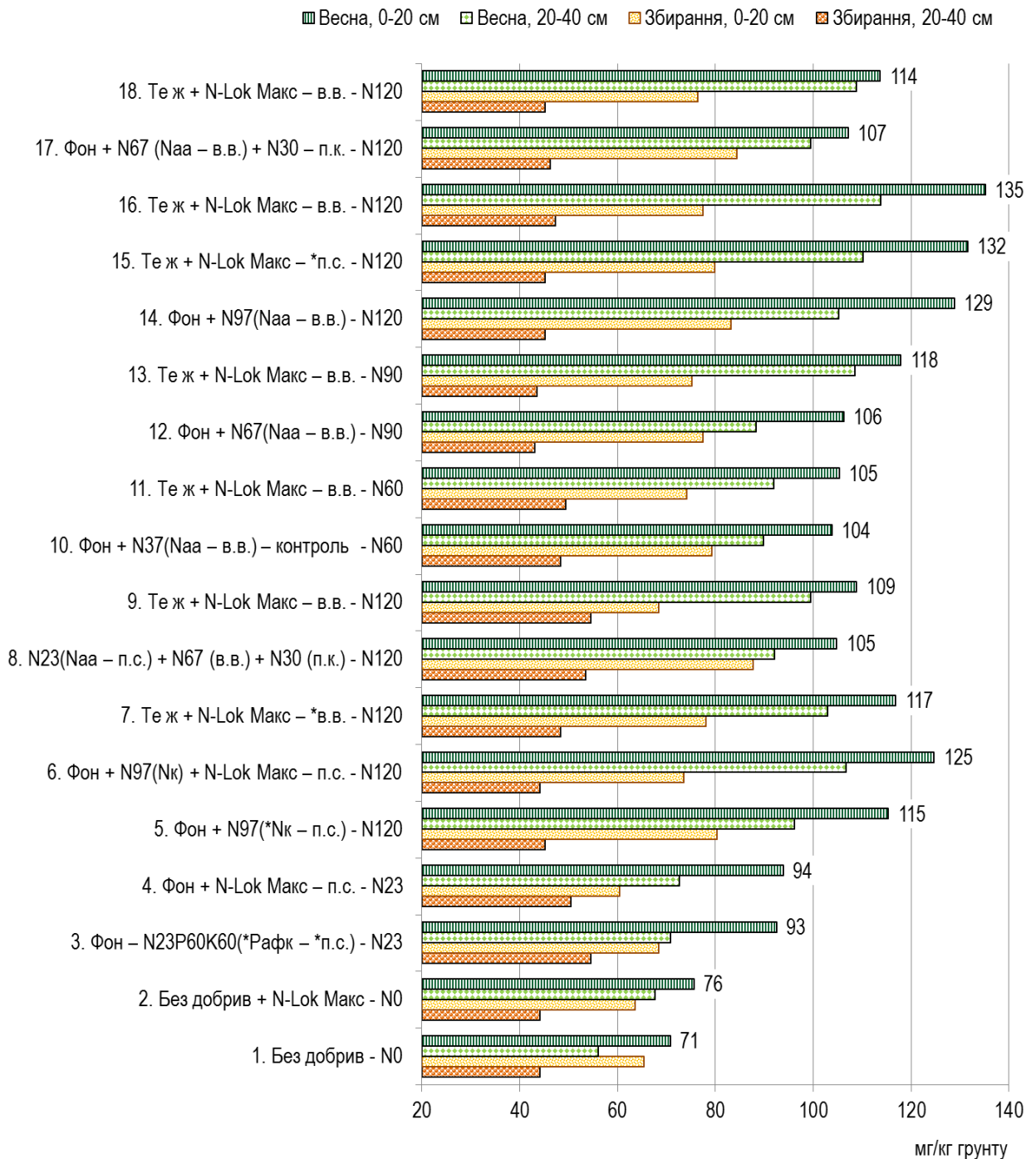


Рис. 3.3. Зміни вмісту легкогідролізного азоту у ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації у 2020 році ($p < 0,05$)

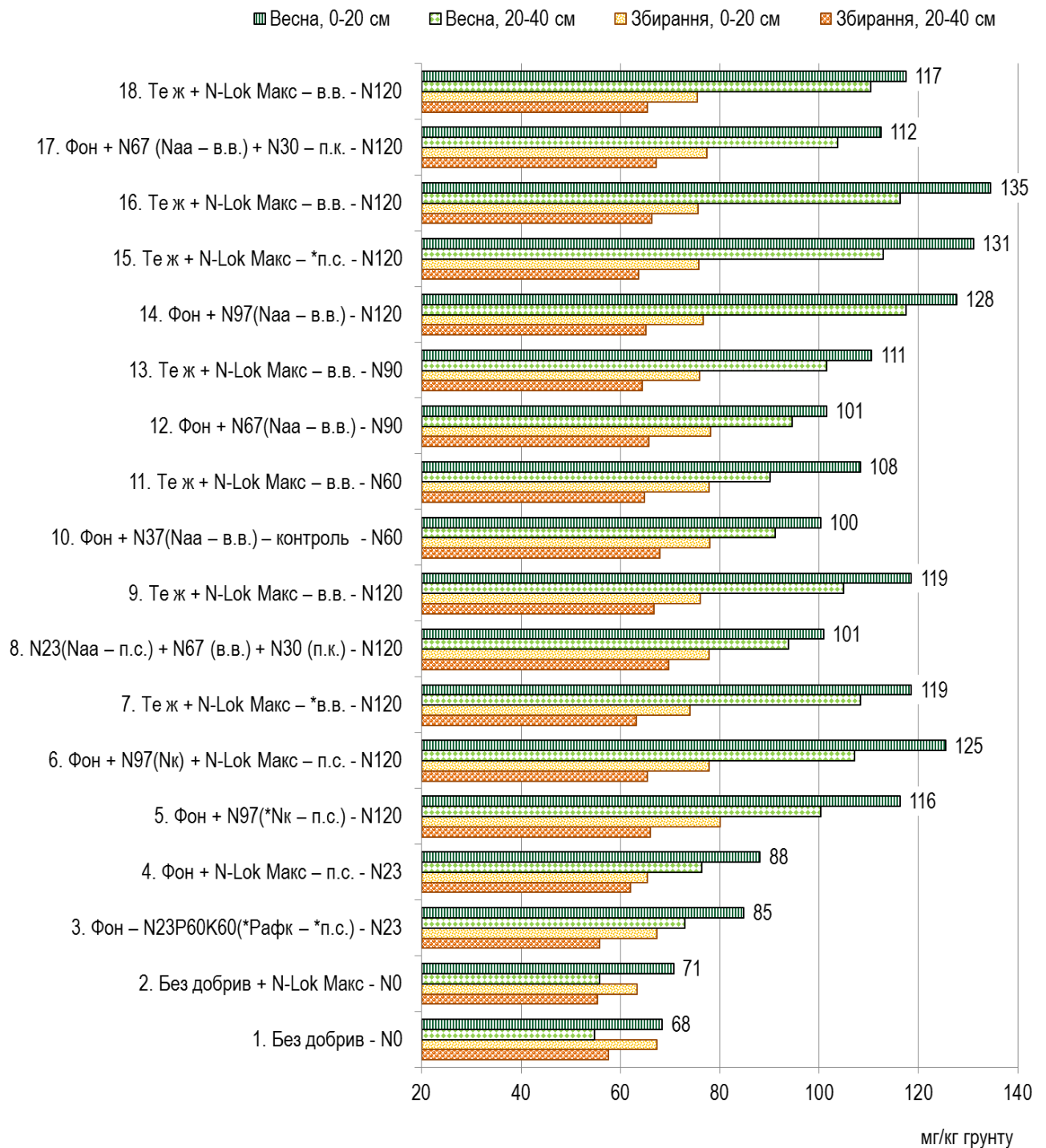


Рис. 3.4. Зміни вмісту легкогідролізного азоту у ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації у 2021 році ($p < 0,05$).

Внесення в ґрунт $N_{120}P_{60}K_{60}$ (N_{23} перед сівбою та N_{97} при відновленні вегетації у формі карбаміду – вар. 5) спричинило збільшення концентрації легкогідролізного азоту на 31-37 мг/кг в пласті 0-20 см в обидва роки

досліджень. Внесення нітрапірину на такому фоні удобрення (вар. 6) сприяло додатковому збільшенню запасу легкогідролізного азоту на 7-10 і 7-9 мг/кг кожного року в орному та підорному пластах.

Нітрапірин 2020 року діяв ефективніше при внесенні препарату у період відновлення вегетації озимого ячменю (вар. 7), порівняно з його внесенням під передпосівну культивуацію.

Збільшення вмісту легкогідролізного азоту на початку вегетації ми спостерігали при внесенні $N_{23}P_{60}K_{60}$ восени + N_{37} у відновлення вегетації (вар. 10). Внесення нітрапірину і збільшення норми на N_{37} (вар. 11) та на N_{67} (вар. 12) у відновлення вегетації ще більше підвищувало вміст легкогідролізного азоту в орному пласті. Проте, його вміст сягнув найвищого діапазону – 110-132 та 113-131 мг/кг, за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ восени + N_{97} у відновлення вегетації без нітрапірину (вар. 15) та з нітрапірином 111-135 та 116-135 мг/кг (вар. 16) у 2020 та 2021 роках дослідження.

Інгібітор нітрифікації сприяв підвищенню вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті як при внесенні до сівби (восени – на 3 мг/кг), так і у відновлення вегетації (навесні – на 6 мг/кг) в обидва роки дослідження. У всіх варіантах поєднання дози азоту з внесенням нітрапірину спричиняло відносному підвищення вмісту легкогідролізного азоту в орному та підорному пластах ґрунту. До збирання врожаю рівень запасу легкогідролізного азоту знижувався до рівня контрольного варіанту, але стрімкіше у тих варіантах, які забезпечили вищу врожайність ячменю озимогою. Отже винесення фітомасою ячменю озимого основних елементів живлення там було інтенсивніше, ніж у варіантах досліду з меншою врожайністю.

3.3. Зміни вмісту нітратів залежно від норм внесення азотних добрив і впливу інгібітора нітрифікації

За даними багаторічних досліджень географічної мережі [175] за ротацію сівозміни рослини використовують із внесених органічних та мінеральних

добрив на дерново-підзолистих ґрунтах азоту 54 %, на сірих ґрунтах – 74 %. Решта поживних речовин, котра не зв'язується ґрунтом і не асимілюється рослинами та ґрунтовою мікробіотою, потрапляє в атмосферу у формі газоподібних сполук, вимивається з ґрунту вертикальними або латеральними потоками води. Втрати азоту у формі газоподібних сполук та в результаті нітрифікації і денітрифікації можуть сягати 20 %.

Нітрат-іони не адсорбуються ґрунтовим вбирним комплексом і, перебуваючи у розчиненому стані, легко переміщуються по профілю ґрунту з капілярною і гравітаційною водою. Рухливість нітратів залежить від кількості опадів, часу внесення азотних добрив та властивостей ґрунту. У глинистих і суглинкових ґрунтах з меншою водопроникністю міграція нітратів поза ризосферу дещо сповільнена. Найшвидше нітрати змиваються вниз по профілю навесні. Тому їх велика кількість у цю пору не бажана, хоча у такій формі азот найлегше засвоюється рослинами.

Щодо динаміки вмісту нітратів впродовж року, то згідно з Г. Господаренком [27; 28] є два максимуми – навесні та восени. Враховуючи, що вміст амонійного азоту впродовж року практично не змінюється, то синхронно з вмістом нітратів впродовж року змінюється і вміст усього мінерального азоту.

Внесення азотних добрив збільшувало концентрацію нітратів у 2-4 рази в ґрунті на початку весняної вегетації. Внесення N_{23} перед сівбою + N_{97} карбаміду (рис. 3.5 – вар. 5) або амонійної селітри у відновлення вегетації (вар. 16) зумовила підвищення вмісту нітратів до 9,3-9,9 мг/кг ґрунту у 2020 році.

Інгібітор нітрифікації нітрапирин може відігравати важливу регуляторну роль у пригніченні нітрифікації амонію в ґрунті. Більшість інгібіторів нітрифікації дотепер не мали стійких ефектів у пригніченні нітрифікації амонійного азоту.

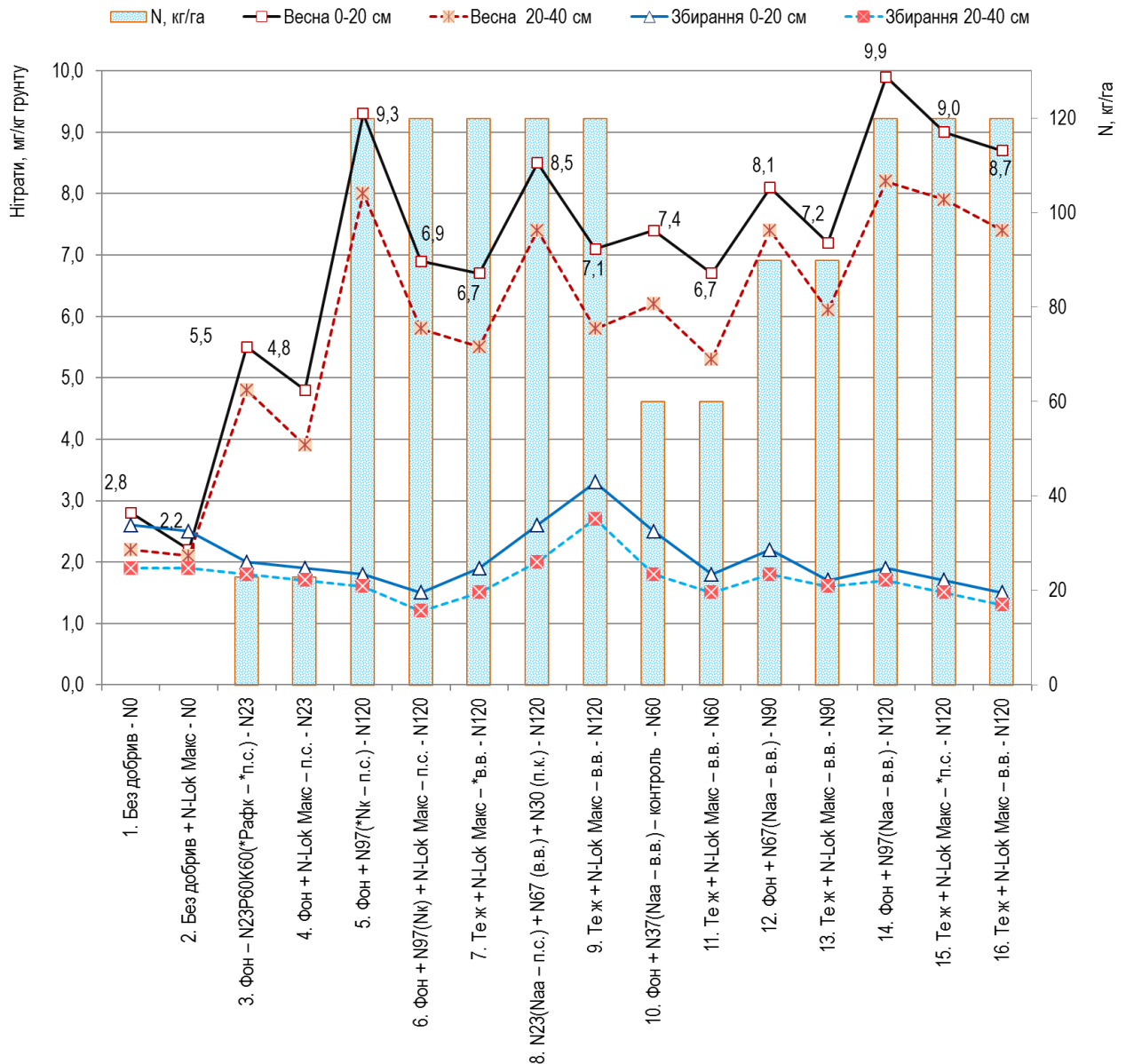


Рис. 3.5. Зміни вмісту нітратів у ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж весняно-літньої вегетації у 2020 році ($p < 0,05$).

У цьому дослідженні ми встановили дію нового інгібітора нітрифікації у формі препарату N-Lock Макс щодо його впливу на пригнічення активності нітрифікації, а відповідно зростанню кількості нітратів у темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому ґрунті. Інгібітор нітрифікації – нітрапірин, за його внесення у різний час на усіх варіантах системи удобрення ячменю озимого вагомо зменшував концентрацію нітратів у орному та підорному пластах ґрунту.

Проте, нітрапірін діяв ефективніше за внесення препарату у відновлення вегетації. Найінтенсивніше зменшення вмісту нітратів досліджено за внесення карбаміду з осені на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ (діамофоска) з одночасним внесенням інгібітора нітрифікації у фазі відновлення вегетації – від 9,3 до 6,7 мг/кг ґрунту в орному пласті та від 8,0 до 5,5 мг/кг ґрунту у підорному. Внесений з осені (перед сівбою ячменю озимого) нітрапірін зменшував запаси нітратів від 9,3 до 6,9 мг/кг ґрунту в орному шарі та від 8,0 до 5,8 мг/кг ґрунту у підорному.

Подібна закономірність встановлена у варіантах 14, 15 і 16 за внесення фону ($N_{23}P_{60}K_{60}$ – Рафк) + $N_{97}(Naa)$ у фазі відновлення вегетації (сумарно N_{120}) та фону + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) (те ж сумарно N_{120}) + нітрапірін (п.с.) і на фоні + $N_{97}(Naa)$ (те ж сумарно N_{120}) + нітрапірін (в.в.). Інгібітор, внесений з осені, сповільнював утворення нітратів на 0,9 мг/кг ґрунту в орному шарі і трохи менше у підорному. Та ж норма нітрапірину, внесена навесні, зменшувала накопичення нітратів на 1,2 мг/кг ґрунту.

Загалом, нітрапірін на тлі внесення 120 кг/га різних форм азоту інгібує утворення ензимів нітрифікації як за внесення з осені, так і у відновлення вегетації, чим уповільнює перехід амонійних форм азоту у нітратні, що зменшує вміст нітратів у орному та підорному шарах приблизно на 10-13 %. Але для того, щоб з'ясувати ефективність нітрапірину у різні періоди внесення препарату і добрив потрібні триваліші дослідження, які би охопили різні за гідротермічними умовами роки вегетації.

Нова препаративна форма інгібітора нітрифікації N-Lock Макс з високою активністю та тривалим періодом його напіврозпаду підтримував стійкий ефект пригнічення процесу нітрифікації та значно збільшував ресурси амонійного азоту в ґрунті, у такий спосіб підвищуючи ефективність використання азоту та врожайність ячменю озимого. Ці дослідження підтверджують, що зниження втрат азоту в ґрунті внаслідок нітрифікації має велике значення для раціоналізації норм використовуваних азотних добрив та підвищення ефективності використання культурами уже внесеного азоту.

Наші дослідження підтверджують стійке пригнічення мікробів та архей, що синтезують ензими нітрифікації, а значить у ґрунті сповільнюється процес нітрифікації при внесенні підвищених норм азотних добрив. Продовження тривалості періоду високого забезпечення ячменю азотом при дії інгібіторів нітрифікації в ґрунті є важливою стратегією покращення росту й розвитку, а відповідно і підвищення врожаю зерна. Важливою передумовою є своєчасне вносення інгібітора нітрифікації в ґрунт, коли внесена достатня доза азоту і є ймовірність вилуження нітратів інтенсивними опадами. Це дозволяє запобігти втратам частини поживного азоту через вимивання за межа ризосфери і підвищити ефективність використання азоту мінеральних добрив.

3.4. Залежність обсягу емісії закису азоту від норм азотного удобрення та запасів нітратів у ґрунті

Методологія IPCC (1997 р.) (N_2O : DIRECT..., 2001) для оцінки прямих викидів N_2O від синтетичних добрив, які застосовуються на агроґрунтах, розроблена на основі роботи А. Ф. Боумана [126; 127]. Вона дозволила нам обчислити теоретичний прогнозований обсяг емісії газоподібних оксидів азоту у варіантах досліджених нами систем азотного удобрення ячменю озимого. Емісія становить фіксований відсоток – $1,25 \pm 1$ % [126; 127], застосовуваного для удобрення ґрунту синтетичного азоту. Якщо взяти в розрахунок лише запас нітрату в ґрунті на початку вегетації, коли діє інгібітор нітрифікації, то з'являється можливість оцінити, як пригнічення активності нітрифікації зменшує емісію азотистих парникових газів.

Викиду закису азоту з ґрунту від азотного удобрення обчислюються з огляду на норми внесення діючої речовини азоту в добривах (рис. 3.8). Запаси нітратів Z_{N-NO_3} (кг/га) вираховували за формулою, аналогічно розрахунку запасів гумусу [73] з використанням перевідних коефіцієнтів мг/кг у відсотки і тонни у кілограми (рис. 3.6).

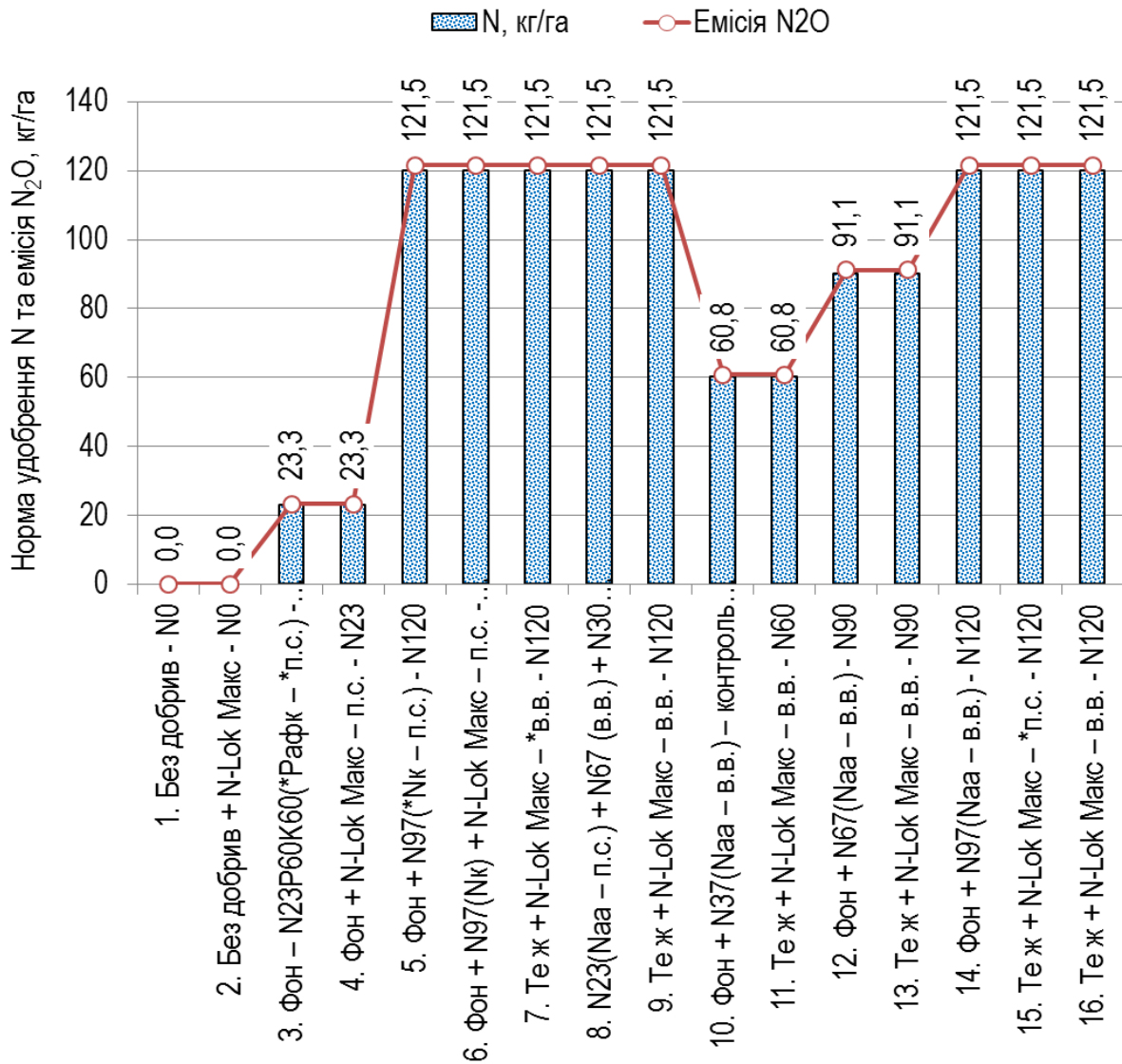


Рис. 3.6. Емісія закису азоту залежно від норм азотного удобрення, кг/га.

Пригнічення активності мікробіоти бактерицидом нітрапірином, що цілеспрямовано діє на нітрифікатори, які продукують для цього ензими, дієво стримує утворення нітратів на всіх нормах азотного удобрення. Беремо до уваги гіпотезу О. Вюскман та Н.-В. Олфс [123], А. Вуузма [126; 127], що менша кількість нітратного азоту супроводжується меншим потенціалом емісії N₂O з ґрунту. Норма внесення азоту N₁₂₀ кг/га прогнозовано зумовлює річну емісію закису азоту в обсязі 121,5 кг/га. Менші норми спричинюють відповідно менші обсяги викидів.

За нашими розрахунками на основі вмісту нітратів у 0-40 см товщі ґрунту відповідно до методики цих авторів обсяги емісії закису азоту є максимальними

у варіантах з найвищими нормами внесення азоту під ячмінь озимий, де не застосований нітрапірін.

Рисунок 3.7 показує розрахункові ймовірні обсяги емісії закису азоту.

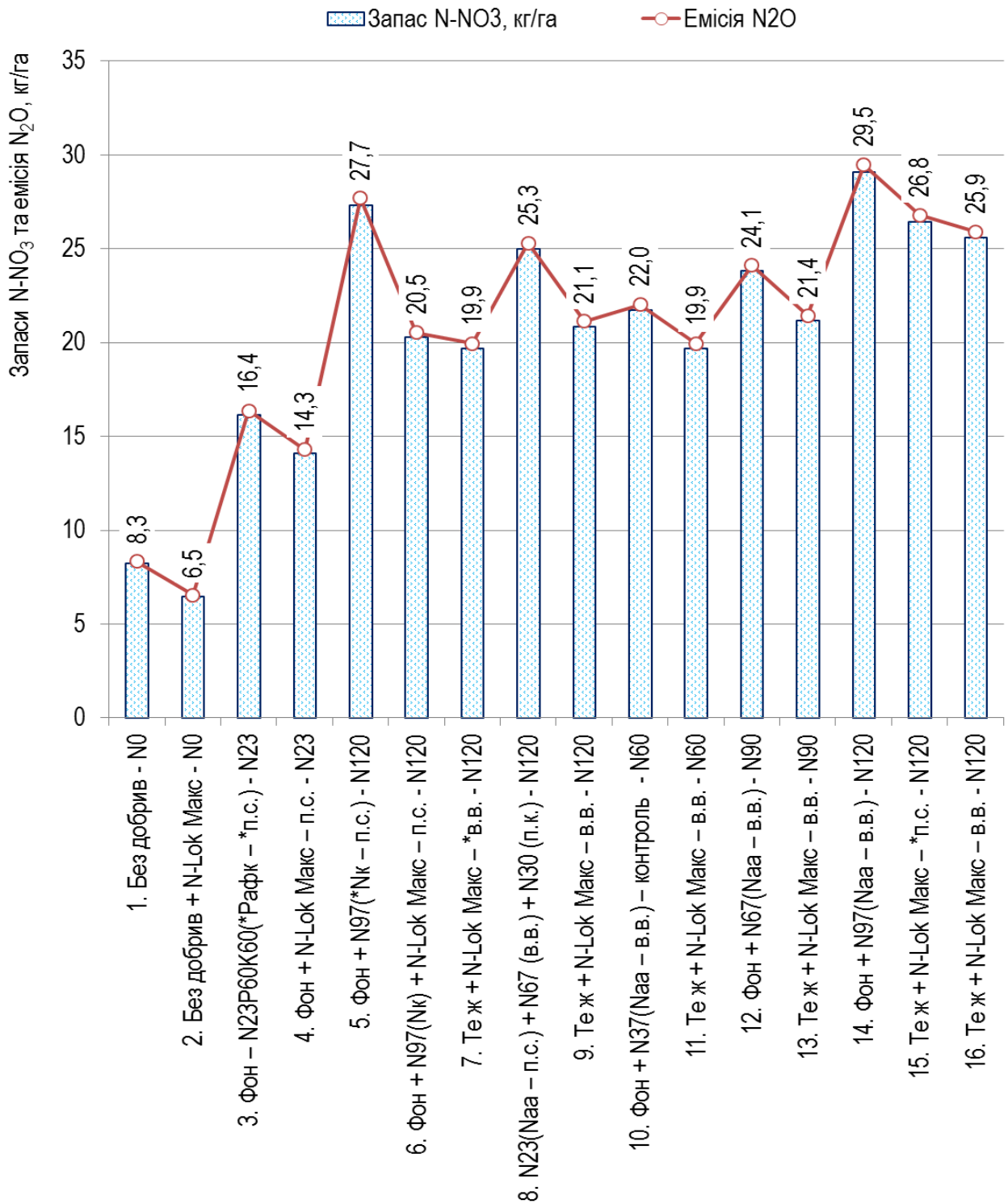


Рис. 3.7. Емісія закису азоту залежно від запасів нітратів на початку весняної вегетації на різних фонах азотного удобрення ячменю озимого, кг/га.

Максимальними вони є у варіантах найбільших норм внесення азоту під ячмінь озимий, де не застосований нітрапірін. Величина емісії досягає 27,7-29,4 кг/га за рік. Нітрапірін обмежує кількість виділення закису азоту з ґрунту на 3,3-7,2 кг/га, залежно від величини норми внесення азоту. За внесення N_{120} у формі карбаміду перед сівбою одночасно із внесенням препарату інгібітора нітрифікації (1,7 л/га) річний обсяг викиду N_2O з ґрунту в атмосферу зменшувався від 27,7 до 20,5 кг/га.

Використання амонійної селітри в аналогічній нормі при внесенні навесні спричиняло найвищий рівень виділення закису азоту з ґрунту (29,5 кг/га ґрунту).

Проте внесення амонійної селітри та інгібітора знизило газоподібні втрати азоту до 26,8 кг/га при вснесенні з осені та до 25,9 кг/га при вснесенні у відновлення вегетації.

3.5. Зміна кислотності ґрунту

Важливо з'ясувати вплив азотних, фосфорних та калійних добрив і нітрапірину на кислотність орного і підорного пласту темно-сірого опідзоленого ґрунту. Ми дослідили збільшення кислотності орного і підорного пластів ґрунту під дією мінеральних добрив упродовж вегетації 2020-2021 років. Було встановлено підлужувальну дію нітрапірину на ґрунтовий розчин. Проте підлуження ґрунту 2020 року завдяки дії нітрапірину послаблювалася за збільшення норми азоту від 23 кг/га (рис. 3.8 – вар. 2) до 120 кг/га (вар. 5; 6; 7 та інші).

Рівень pH_{KCl} перед внесенням добрив в орному (0-20 см) і підорному (20-40 см) горизонтах ґрунту становив відповідно 6,09-6,12 та 6,05-6,11. На ділянках з добривами і з нітрапірином кислотність ґрунту змінилася. Ми порівняли кислотність ґрунту навесні та восени на різних системах удобрення і напрями змін відображені на рисунках 3.8 і 3.9. Ґрунт був підкислений найбільше за норми N_{120} амонійної селітри без нітрапірину (вар. 14). До часу

збирання врожаю ячменю озимого (рис. 3.8) ґрунт зазнавав певної нейтралізації залежно від системи удобрення та використання нітрапірину, ніж вона була навесні.

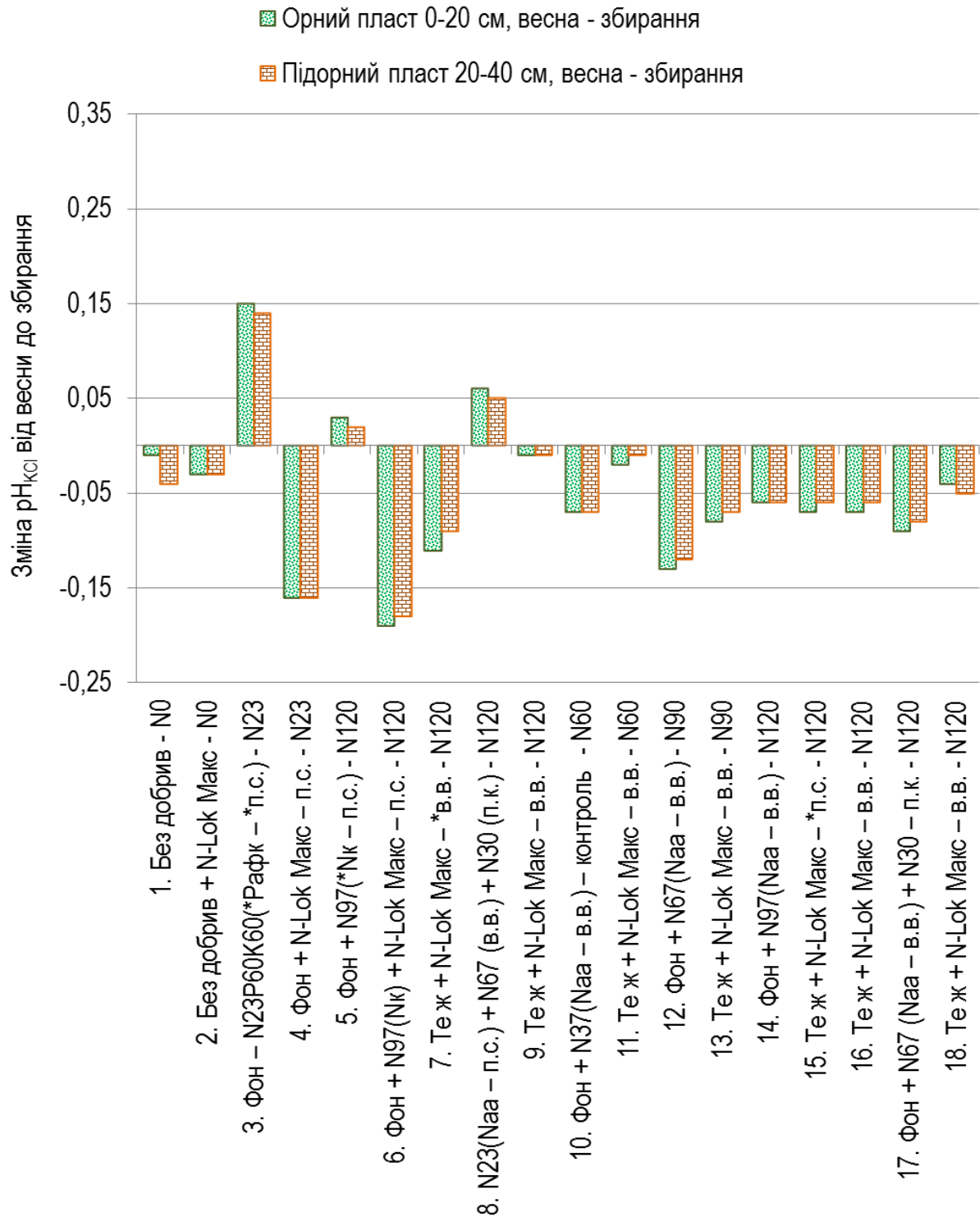


Рис. 3.8. Зміна кислотності ґрунту за впливу азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації 2020 року ($p < 0,05$).

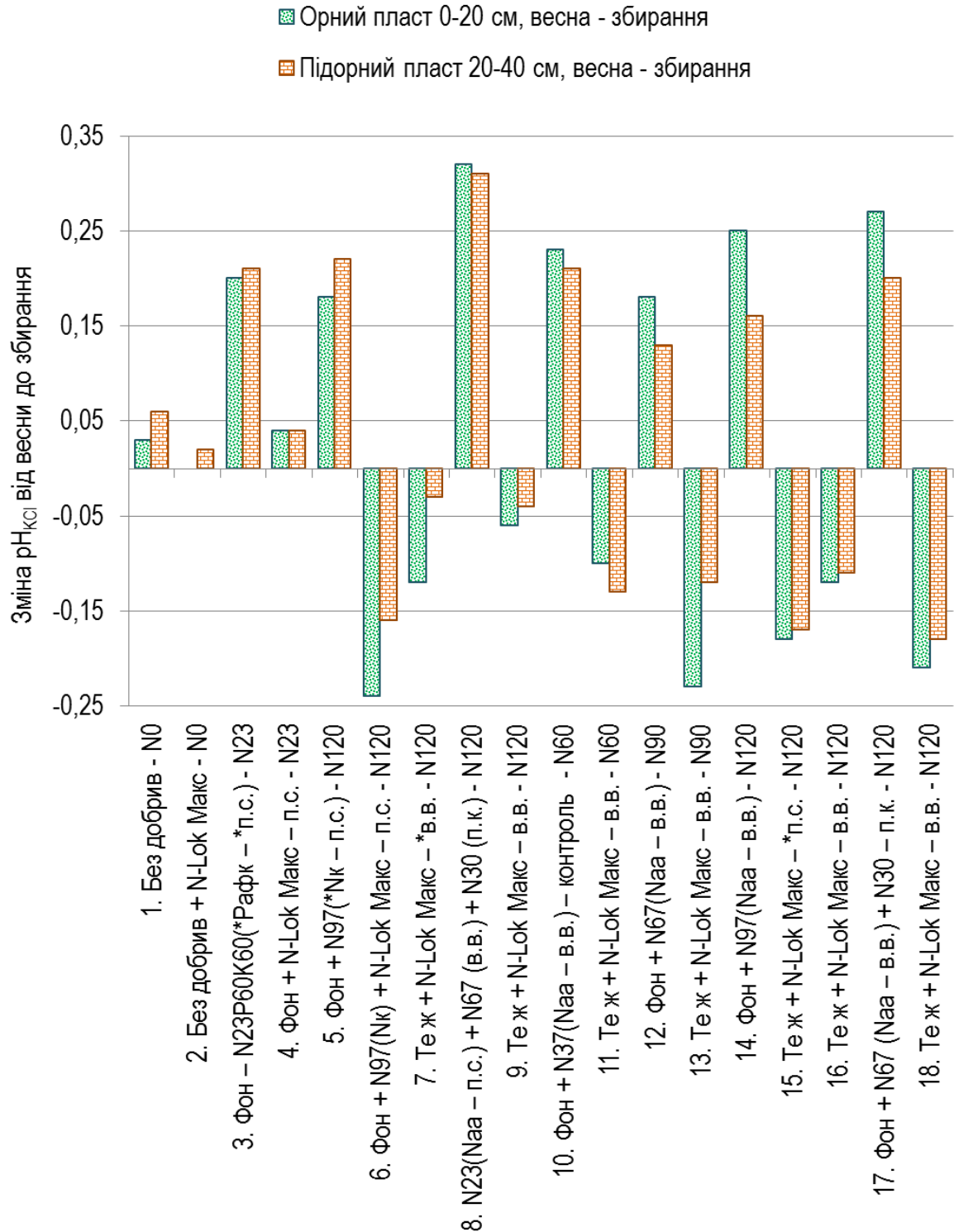


Рис. 3.9. Зміна pH_{KCl} ґрунті під впливом азотного удобрення та нітрапірину упродовж вегетації 2021 року ($p < 0,05$).

Виразна дія нітрапірину щодо зменшення кислотності орного і підорного шарів ґрунту до збирання простежена на всіх варіантах сумарного внесення 120 кг азоту, а особливо велика різниця у pH_{KCl} між 5 і 6 варіантами. Фонове

фосфорно-калійне удобрення ячменю озимого $P_{60}K_{60}$ підкислювало ґрунт до збирання.

Дослідженнями 2021 року за інших гідротермічних умов встановлено ще більш істотне підкислення ґрунту у варіанті 5 (рис. 3.9) при внесенні фону + N_{97} (Nк) перед сівбою та у варіанті 14: фон + N_{97} (Naa) при внесенні у фазі відновлення вегетації. До збирання врожаю ячменю на високих сумарних нормах азоту N_{120} нітрапірін забезпечував стійку тенденцію до нейтралізацію кислотності до рівня варіанту 1 без удобрення. Час внесення інгібітора не мав вагомого значення.

Отже, за попередніми висновками вивчення фізико-хімічних змін під впливом азотних, фосфорних та калійних добрив і нітрапірину на кислотність орного і підорного пласту темно-сірого ґрунту показало, що фонове удобрення ячменю озимого $P_{60}K_{60}$, висока норма азоту та нітрапірін діють на реакцію ґрунту у різних напрямках.

З наукових джерел [20; 31] і практики відомо, що мінеральні добрива мають стійку післядію на фізико-хімічні параметри суглинкових ґрунтів, як і інших. За результатами досліджень [31] растосування лише мінеральних добрив на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому забезпечувало найбільші зміщення кислотності в бік підкислення. Зокрема у контрольному варіанті обмінна кислотність шару ґрунту 0–20 см становила 5,4, за різних норм добрив мінеральної системи удобрення – від 5,3 до 4,8. Отже, підкислення прямо залежало від норми мінеральних добрив: чим вона вища, тим істотніше було зміщення рН у несприятливий для культур бік.

Проте, за даними експериментів [143] інгібітор нітрифікації, який спричинює зменшення утворення нітратів, зумовлював стійку нейтралізацію кислотності до збирання врожаю.

Моделювання подвійного впливу різних форм доступного азоту на зміну кислотності ґрунту показано на рисунку 3.10. 3D-модель синергії дії форм азоту свідчить, як за малого, так і за високого рівня вмісту легкогідролізного

азоту зростання концентрації нітратів у ґрунті спричинює його підкислення (дод. Б, табл. Б.1). Проте за вищого вмісту легкогідролізного азоту він все ж більше змінюється в бік до нейтрального.

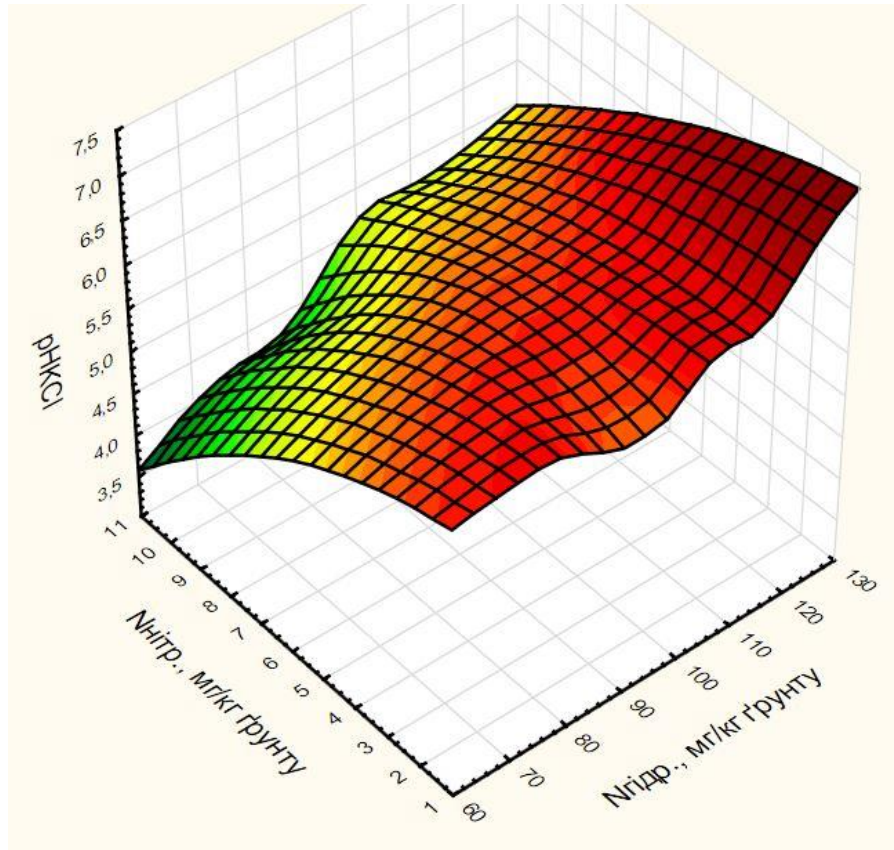


Рис. 3.10. Площина регресії показника рН у зв'язку зі змінами вмісту доступних форм азоту в орному (0-20 см) пласті темно-сірого опідзоленого ґрунту.

3.6. Закономірності кореляції параметрів азотного режиму ґрунту залежно від норм удобрення та застосування нітрапірину

З раніше проведених досліджень відомо, що типовий у Західному Лісостепу темно-сірий опідзолений ґрунт має такі сприятливі для культур агрохімічні показники [12; 117]. У наших варіантах експерименту вирощування ячменю озимого знижувало вміст легкогідролізного азоту на момент збирання врожаю майже удвічі. Дослідженнями в цих же умовах Західного Лісостепу [12] встановлено, що за впливу різних доз мінеральних добрив вагомо

змінювався вміст легкогідролізного азоту в цьому ґрунті при вирощуванні ячменю ярого. Результати досліджень Н. І. Веги [12] та В. Лопушняка і Н. Веги [66] показали позитивну динаміку вмісту легкогідролізного азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті у варіантах із внесенням $N_{60}P_{45}K_{45}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$. Вміст у ґрунті в орному шарі легкогідролізного азоту був більшим порівняно з неудобреним варіантом на 42–43 і 50–55 мг/кг ґрунту відповідно. Проте, немає даних впливу підвищених і високих норм азотного удобрення ячменю озимого у Західному Лісостепу на запаси форм азоту – основного елемента живлення, який визначає величину максимального врожаю у сортів інтенсивного типу колосових культур.

Тому ми вперше довели, що оптимальна система удобрення ячменю озимого сорту Хайлайт $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк – п.с.) + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (у відновлення вегетації) зумовлювала збільшення вмісту легкогідролізного азоту до найвищого діапазону – 110-132 та 113-131 мг/кг без нітрапірину та з нітрапірином 111-135 та 116-135 мг/кг відповідно у 2020 та 2021 роках дослідження. Така система удобрення забезпечувала найбільшу врожайність ячменю озимого, що ми покажемо у розділі 5.

Упродовж вегетації на неудобреному варіанті темно-сірий опідзолений ґрунт Північного Лісостепу України [39; 60] втрачав за поступового зменшення вмісту P_2O_5 5–8 % свого запасу до кінця вегетації. За систематичного використання добрив слід розраховувати на підвищення вмісту в орному шарі ґрунту фосфору за методом Чирикова порівняно з контролем (без добрив) до 10 % [76; 165]. Забезпеченість ґрунту фосфором за систематичного внесення добрив досягала ступеня високої.

Застосування мінеральних добрив в нормі $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{45}P_{30}K_{30}$ під ячмінь ярий в умовах Західного Лісостепу упродовж 2013–2015 рр. [66] супроводжувалося підвищення вмісту фосфору за методом Чирикова у орному шарі відповідно на 24 та 35 мг/кг ґрунту. З підвищенням норми добрив збільшення вмісту фосфатів порівняно з варіантом без удобрення сягало вже 32

і 41 мг/кг ґрунту відповідно. Найвищий вміст фосфатів спостерігали на фоні мінерального живлення $N_{60}P_{45}K_{45}$ – 124 мг/кг ґрунту, що перевищувало контроль на 42 мг/кг ґрунту, або на 51 %.

Наша система удобрення ячменю озимого забезпечувала на початку вегетації вміст фосфатів на рівні приблизно 70 мг/кг ґрунту, але відсутність фосфорного удобрення знижувала цей показник приблизно на 30 мг/кг, що негативно позначалося на продуктивності ячменю озимого.

Доведено [39; 104], що під впливом систематичного використання добрив помітно поліпшувався калійний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту. На початку дослідів на неудобреному фоні забезпеченість вказаної ґрунтової відміни калієм відповідала низькому рівню, тоді як у варіантах із внесенням добрив вона досягла середнього рівня [76]. За даними досліджень географічної мережі рослини використовують із внесених калієвмісних добрив на сірих ґрунтах 79 % калію [175].

У наших експериментах відсутність калійного удобрення зменшувала вміст обмінного калію в ґрунті до приблизно 40 мг/кг ґрунту, що є критично низьким рівнем для формування врожаю. Калійне удобрення підтримувало вміст калію в ґрунті у весняний період на рівні 70-73 мг/кг.

Розрахунок парних кореляцій (дод. Б, табл. Б.1) та побудова 3Д-моделі зв'язків показника врожайності з параметрами одночасно двох агрохімічних показників показали, що за одностороннього зростання на початку весняної вегетації фону фосфатів та калію вагомо збільшує врожай зерна ячменю озимого. Проте виразнішим позитивним був вплив систем азотного удобрення ячменю озимого на його врожайність. Додатковий позитивний ефект мало внесення у період відновлення вегетації інгібітора нітрифікації нітрапірину у формі препарату N-Lok Макс. Прибавка врожаю від добрив у середньому за 2020-2022 роки становила 0,98 т/га зерна, а від застосування нітрапірину ще додатково отримано 0,10 т/га.

Подібні до наших результати для ячменю озимого отримали В. Barczak [119] та R. Charles, J. F. Collaud, L. L. Haener et al [132]. Про ефективність інгібіторів нітрифікації в регулювання азотного живлення є багато досліджень за рубежом. Його позитивний вплив на ефективність азотних добрив дослідили U. Nege & K. Offenberger [163] на озимій пшениці у Баварії (Федеративна Республіка Німеччина) та L. Roche et al [196] на ячмені яром у Ірландії.

Отже, як стверджували раніше інші автори [99] хімічними властивостями ґрунтів належить визначальна роль у створенні умов інтенсивного поглинання рослинами поживних речовин, що є надзвичайно важливим у забезпеченні сприятливих умов початкового розвитку ячменю.

Висновки до розділу 3

1. На фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ при різних системах азотного удобрення ячменю озимого у орному шарі (0-20 см) темно-сірого опідзоленого ґрунту до початку весняної вегетації містилося максимально на 32-35 мг/кг (залежно від гідротермічних умов року досліджень) більше фосфору та максимально на 42 мг/кг ґрунту більше калію за методом Чирикова, ніж без фону удобрення.

2. Системи азотного удобрення N_{97} (амонійна селітра) при відновленні вегетації + N-Lok Макс (як перед сівбою, так і при відновленні вегетації) на фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ та сумарної норми азоту N_{120} забезпечували найвищий початковий вміст легкогідролізного азоту в орному шарі – 132-136 мг/кг ґрунту, залежно від умов року.

3. Підвищені норми внесення азотних добрив (N_{90-120}) під ячмінь озимий створюють загрозу втрати азоту у нітратній формі вертикальним вимиванням з вологою та у газоподібній формі з викидом закису азоту в атмосферу. І перше явище, і друге руйнують природне довкілля через забруднення вод та насичення атмосфери парниковими газами. Застосування стабілізатора азоту N-Lok Макс, який діє, як інгібітор нітрифікації в ґрунті, істотно зменшує

концентрацію нітрат-йонів у товщі 0-40 см, чим стримує вимивання легкорозчинних солей азоту в глибину по профілю ґрунту за межі ризосфери. Зменшення концентрації нітрат-йонів обмежує інтенсивність виділення газоподібного азоту у процесі нітрифікаційної активності бактеріоценозу. Нітрапірин, як інгібітор продукування ензимів нітрифікації, обмежує обсяг емісії закису азоту на 3,3-7,2 кг/га, відповідно від зменшення запасів нітратів у товщі 0-40 см.

4. За норми азоту N_{120} у формі амонійної селітри без використання нітрапірину ґрунт зазнав істотного підкислення на початку вегетації. До збирання врожаю високі норми азоту N_{120} при використанні нітрапірину не підкислювали ґрунт, а навпаки була досліджена нейтралізація кислотності до рівня варіанту без удобрень.

Результати досліджень за розділом 3 викладено у публікаціях [106; 107; 109; 206].

Розділ 4

БІОМЕТРИЧНІ АСПЕКТИ І ФЕНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ПІД ВПЛИВОМ УДОБРЕННЯ

Гідротермічні умови 2019-2022 років формувалися під впливом вікових властивостей глобального клімату, регіональних змін ландшафтного мезоклімату [18 117; 118; 120; 136; 191], тому були різними, але загалом дуже сприятливими для отримання високих врожаїв зерна ячменю озимого.

Завданням цього розділу є опис особливостей впливу на озимий ячмінь параметрів і динаміки погоди упродовж періоду від осені 2019 року до збирання третього врожаю 2022 року. Залежно від зміни гідротермічних умов проходили фази розвитку культури, формувалися параметри рослин і структура врожаю. На це вплинули також попередні помітні зміни мезоклімату у зоні проведення досліджень.

4.1. Гідротермічні умови росту й розвитку ячменю озимого

Зміни мезоклімату посприяли масовому просуванню на північ навіть таких теплолюбних культур, як соняшник, кукурудза і соя [18; 25; 128]. Відбувалося підвищення середньорічної температури, а також збільшення річної суми опадів по всій території України. Потепління посилюється в напрямі з півдня на північ і перевищує 1 °C у північних районах [2; 191]. За спостереженнями синоптиків підвищення середньорічної температури на 1 °C зміщує межу кожної з агрокліматичних зон у середньому на 100 км на північ. Є висновки метеорологів, що температура зросла вже на 2 °C. Тож межа кліматичних зон, ймовірно, змістилася майже 200 км [23].

За даними державної метеостанції “Львів” теплові ресурси Львівщини за рік становлять 2865°C при $t > 5^{\circ}\text{C}$ і 2595°C при $t > 10^{\circ}\text{C}$. За історичний період метеоспостережень безморозний період триває 156 діб, останні заморозки

бувають орієнтовно 24.05, перші – 15.09. Середньорічна температура повітря [136] – 7,9°C, середньомісячна за липень – 17,5°C, за січень – –4,5°C (дод. В, рис. В.1). Абсолютний максимум температури становив 38°C, мінімум – –34°C. Середня глибина промерзання ґрунту становила 27 см, максимальна – 85 см, товщина снігового покриву впродовж зими була 4–9 см [78].

Річна сума середньобогаторічних опадів (дод. В, рис. В.1) становить 748 мм, на липень припадає 102 мм [78; 136]. Проте, останніми десятиліттями кліматична ситуація на Львівщині помітно змінюється. З півночі, північного сходу та зі сходу повторюваність вітрів у Львові найменша і становить відповідно 6, 7 та 9 %.

За нашими спостереженнями [24; 74; 205] середньорічна температура повітря за 2010-2020 роки становила 9,0 проти 8,3 °C у період 2001-2015 років. Безморозний період в середньому становив 165 діб і дещо збільшився. В період проведення досліджень (2010-2020 рр.) метеорологічні умови були різними. Дуже теплим, проте найсухішим був 2011 рік (рис. 4.1).

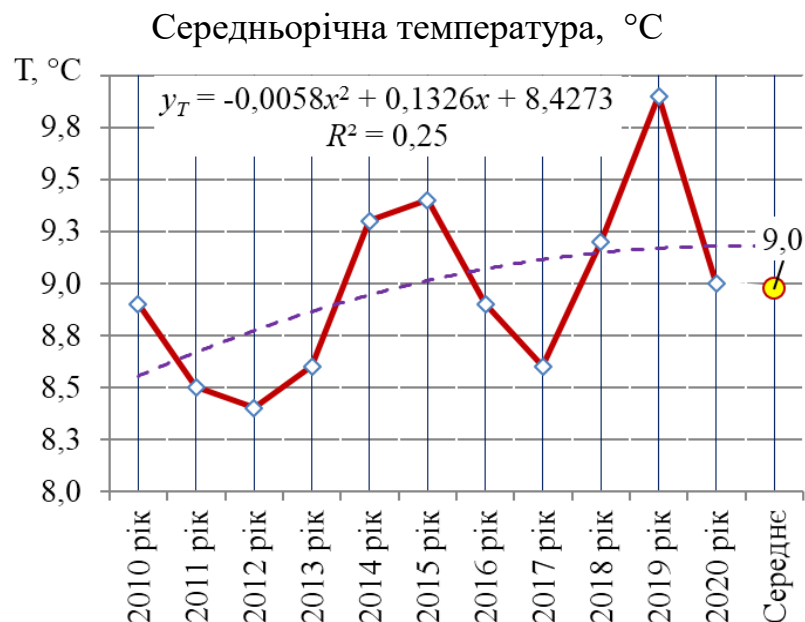


Рис. 4.1. Динаміка середньої температури року упродовж 2010-2020 рр. (метеопост Львів).

Достатньо теплим і збалансовано вологим виявився 2018 рік.

Виділялися відносно сприятливі та несприятливі (посушливі та перезволожені) роки із значним коливанням температур. Щодо суми та розподілу атмосферних опадів вологими були 2023, 2016, 2018, 2020 роки, перезволоженими 2011 і 2016 роки, а найсухішим був 2019 рік. Середня максимальна температура повітря та середньорічна кількість опадів упродовж п'яти років помітно зросли (рис. 4.2).

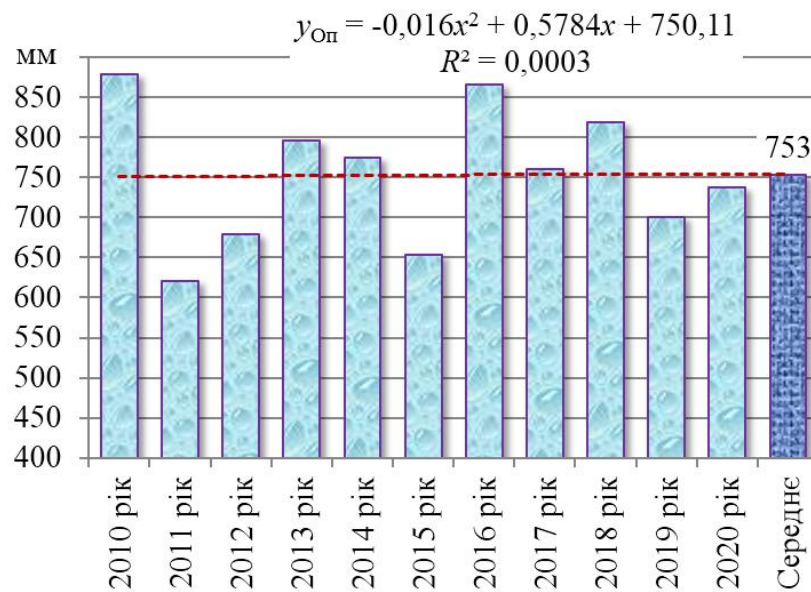


Рис. 4.2. Динаміка суми опадів упродовж 2010-2020 рр. (метеопост Львів).

Отже, кліматичні умови в останні десятиліття, що передували нашим дослідженням, були загалом типовими для заходу України з тенденцією до потепління мезоклімату (табл. 4.1). Підвищеною вітряністю виділявся найхолодніший холодний і дуже сухий 2012 рік. Мінімальна товщина снігового покриву була у 2015 та 2014 роках. 2020 рік відрізнявся найпотужнішим сніговим покривом – максимальна глибина була 17,7 см.

Математичні поліноміальні моделі регресії динаміки температури та зволоження упродовж 2010-2020 років дозволяють стверджувати, що простежується чітка тенденція до потепління клімату за показником середньорічної температури повітря.

Рівняння

$$y_T = -0,0058x^2 + 0,1326x + 8,4273 \quad (3.1)$$

має слабкий, але чітко спрямований коефіцієнт апроксимації фактичних показників і теоретичної кривої.

Таблиця 4.1

Динаміка показників погоди упродовж 2010-2020 рр. (метеопост Львів)

| Рік | Максимальна температура, °С | Мінімальна температура, °С | Середня швидкість вітру, м/с | Макс. глибина снігу, см |
|--------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 2010 | 20,1 | -2,5 | 2,3 | 10,0 |
| 2011 | 20,9 | -3,4 | 2,6 | 10,2 |
| 2012 | 21,7 | -4,0 | 3,1 | 11,1 |
| 2013 | 20,7 | -2,4 | 2,4 | 9,6 |
| 2014 | 21,8 | -3,7 | 2,3 | 5,2 |
| 2015 | 22,4 | -2,6 | 2,3 | 3,5 |
| 2016 | 20,9 | -2,7 | 2,4 | 9,7 |
| 2017 | 20,0 | -2,5 | 2,6 | 11,1 |
| 2018 | 20,7 | -4,2 | 2,1 | 12,8 |
| 2019 | 22,0 | -2,3 | 2,6 | 6,5 |
| 2020 | 21,1 | -3,0 | 2,5 | 17,7 |
| Серед. | 21,1 | -3,0 | 2,5 | 9,8 |

Стосовно річної суми опадів жодної виразної тенденції не встановлено, хоча якщо виключити з ряду показників 2010 рік, то візуально графік показує певний ріст кількості опадів від 2011 до 2016 року з подальшою зворотною тенденцією до кінця спостережень. Регресійна модель динаміки опадів за 2010-2020 роки:

$$y_{\text{Оп-20р.}} = -0,016x^2 + 0,5784x + 750,11 \quad (3.2)$$

має практично нульовий коефіцієнт апроксимації – $R^2 = 0,0003$.

Якщо відділити 2010 рік, то за 2011-2020 роки опади описуються рівнянням

$$y_{\text{Оп-19р.}} = -5,2572x^2 + 66,817x + 575,39 \quad (3.3)$$

вже за $R^2 = 0,40$.

4.2. Фенологічні фази росту й розвитку ячменю озимого в гідротермічних умовах 2019-2022 років

Чотирирічні дослідження систем удобрення ячменю озимого тривали в умовах трансформації мезоклімату Пасмового Побужжя [21; 25; 108]. На рисунку 4.2 бачимо, що на час сівби ячменю озимого середня температура жовтня 2019 і 2020 років була доволі високою – 10,3-10,8 °С. 2021 рік був на 2 °С прохолоднішим. Подобове спостереження показало (дод. В, рис. В.2), що температура восени 2019 року упродовж майже усього жовтня підвищувалася упродовж дня до 20-28 °С. Це дуже посприяло дії нітрапірину, внесеного до сівби. 2020 року у жовтні температура знижувалася помітніше, а 2021 року – була стабільнішою.

Короткочасні дощі випадали тільки у дні сівби, що сприяло дружним сходам 2019 року (дод. В, рис. В.2). 2020 року до сівби спостерігали сильні, а після сівби – помірні дощі (рис. 4.3), що сприяло сходам (незважаючи на нижчу температуру) і доброму росту ячменю (дод. В, рис. В.3). Проте низька температура не сприяла інгібуванню нітрифікації нітрапіріном, як і активності мікробіоти ґрунту загалом. 2021 рік мав посушливий жовтень (дод. В, рис. В.4), проте потужні дощі вересня створили достатньо сприятливі умови для старту осінньої вегетації ячменю озимого, хоча умови дії нітрапірину були гірші від попередніх років.

До збирання ячменю озимого 2020 року випало 526 мм, 2021 – 450 і 2022 лише 272 мм опадів.

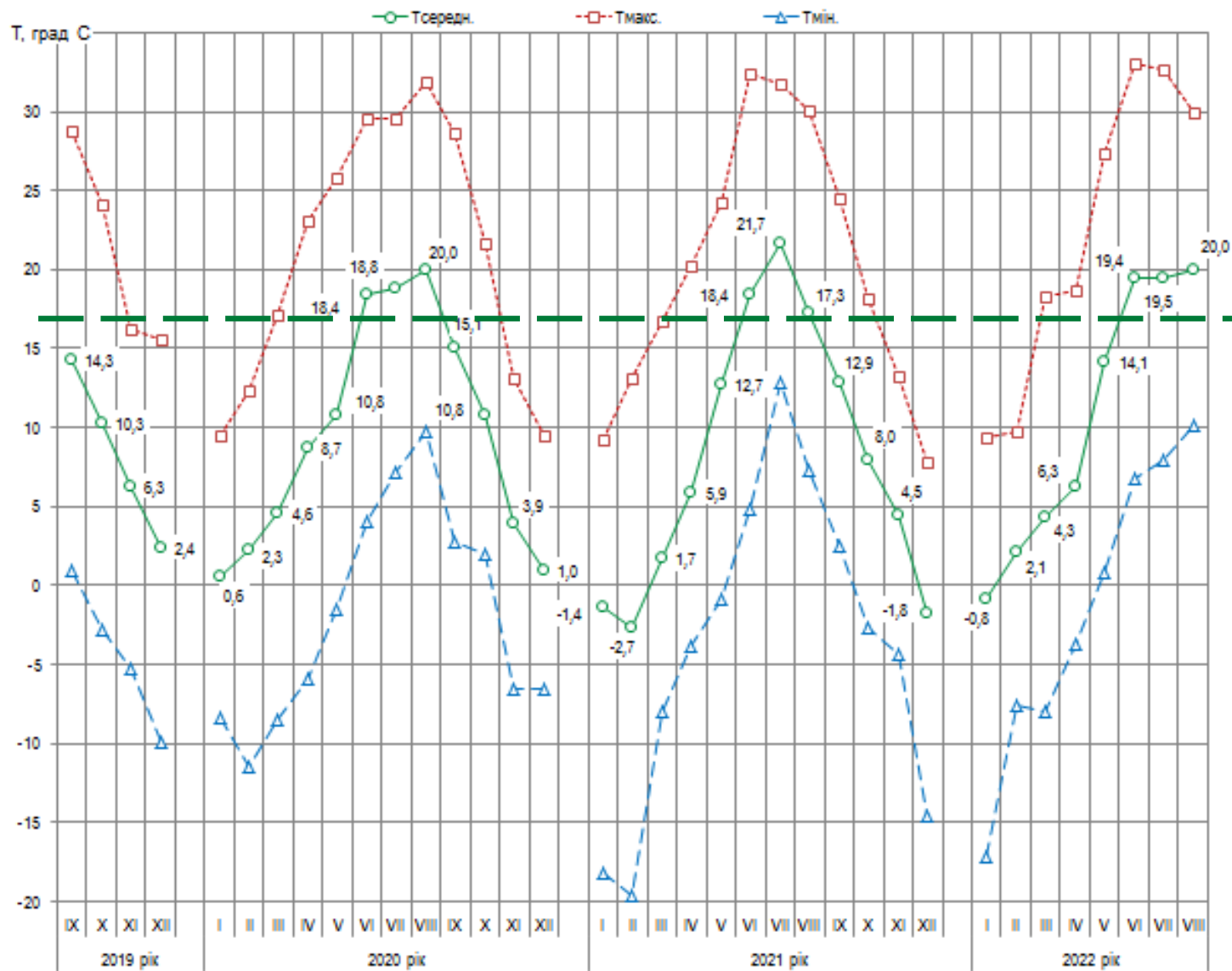


Рис. 4.2. Динаміка ходу середньомісячної температури упродовж 2019-2022 рр., Т °С. (метеопост Львів).

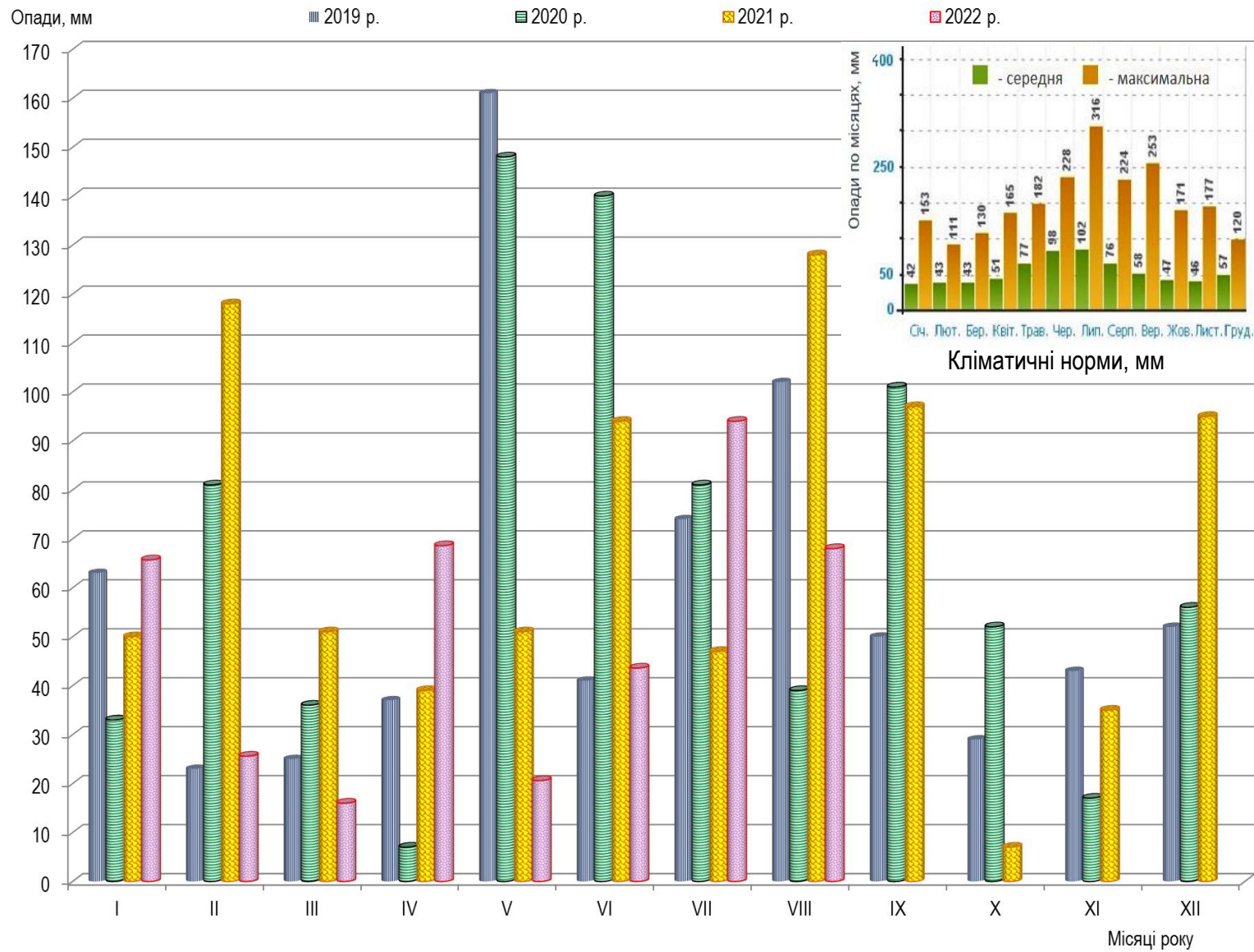


Рис. 4.3. Динаміка середньомісячних опадів упродовж 2019-2022 рр. та кліматичні норми, мм. (метеопост Львів).

Відновлення вегетації ячменю озимого починалося в березні кожного року (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Фенологічні фази росту й розвитку ячменю озимого
в гідротермічних умовах 2019-2022 років

| Фаза вегетації (сівба – збирання) | Дати настання фаз вегетації | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| | 2019-2020 р. | 2020-2021 р. | 2021-2022 р. |
| Сівба | 10.10.2019 | 13.10.2020 | 06.10.2021 |
| Початок сходів | 23.10.2019 | 28.10.2020 | 17.10.2021 |
| Припинення вегетації | 01.12.2019 | 30.11.2020 | 02.12.2021 |
| Відновлення вегетації весна | 01.03.2020 | 09.03.2021 | 14.03.2022 |
| Початок виходу в трубку | 26.04.2020 | 28.04.2021 | 27.04.2022 |
| Колосіння | 28.05.2020 | 25.05.2021 | 30.05.2022 |
| Цвітіння | 07.06.2020 | 30.05.2021 | 04.06.2022 |
| Повна стиглість | 04.07.2020 | 05.07.2021 | 07.07.2022 |

Проте найтеплішої весни 2020 року (дод. В, рис. В.3) вегетація відновилася 01.03, у холодну 2021 (дод. В, рис. В.4) – 09.03.2021 та навесні 2022 року з низькими мінімальними і від’ємними температурами лютого-березня аж 14.03 (дод. В, рис. В.5).

Упродовж трьох років у період від формування першого вузла (початок травня) до стиглості тривав стрімкий ріст середньої температури повітря, яка була щоразу вищою від 2020 (10,8 °С) до 2021 (12,7 °С) та 2022 (14,1 °С) року (табл. 4.3). Аж до фази досягання зерна ячменю озимого маємо щораз тепліші умови вегетації.

2020 рік мав найвологіший травень із сумою 148 мм опадів, а 2022 року цей місяць був найсухішим з 21 мм опадів. Упродовж червня 2020 рік був найбагатшим на дощі – 140 мм, і достатньо сприятливим був 2021 рік – 94 мм опадів.

Таблиця 4.3

Тривалість міжфазних періодів росту й розвитку ячменю озимого
в гідротермічних умовах 2019-2022 років

| Інтервал | Тривалість міжфазних періодів, діб | | |
|---|------------------------------------|--------------|--------------|
| | 2019-2020 р. | 2020-2021 р. | 2021-2022 р. |
| Сівба – сходи | 13 | 15 | 11 |
| Сходи – кущіння (восени) | 39 | 33 | 46 |
| Кущіння – початок виходу в трубку (навесні) | 56 | 50 | 44 |
| Вихід в трубку – колосіння | 32 | 27 | 33 |
| Колосіння – повна стиглість | 37 | 41 | 38 |
| Тривалість вегетаційного періоду в осінній період | 52 | 48 | 57 |
| Тривалість вегетаційного періоду у весняно – літній період | 125 | 118 | 115 |
| Період від сівби до збирання | 268 | 265 | 274 |

Загалом у перший рік – рік сівби, 2019 року випало 700 мм опадів, ще більше 2020 року – 791 мм, та 2021 року – 812 мм. За 8 місяців 2022 року випало 272 мм опадів. За весняно-літній період 1-7 місяців 2021 року випало 450 мм і 2020 – 526 мм опадів. За осінньо-зимові 8-12 місяці випало у 2020 році 276 мм, у 2021 році – 265 мм і 2022 р. – 362 мм опадів.

Враховуючи, що річна сума середньобагаторічних опадів, тобто кліматична норма становить 748 мм., для липня 102 мм, дефіциту вологи ячмінь озимий у роки досліджень не відчував. Не було упродовж вегетації аномально холодних чи аномально спекотних тривалих періодів. Не було довгих періодів бездощів'я, які би стримували реалізацію біотичного потенціалу сорту Хайлайт. Тому робимо висновок, що усі три роки досліджень були дуже сприятливими

для формування врожаю зерна, який виявився стабільно високим упродовж 2020-2022 років [109].

Є певні відмінності у тривалості фаз вегетації ячменю озимого по роках. Наприклад у вегетацію 2021-2022 року кушіння тривало рекордно короткий період. Найдовше тривала фаза цвітіння упродовж літа 2021 року через низьку квітневу середньомісячну температуру 5,9 °С.

4.3. Біометричні параметри ячменю озимого залежно від системи удобрення

Такі біометричні середні показники, як висота стеблостою, довжина колоса та кількість зернин у колосі, надають інформацію для розуміння біологічної природи врожаю, який сформований на різних фонах мінерального, зокрема азотного живлення, та дії інгібітора нітрифікації в ґрунті (дод. В, табл. В.1). Найменша висота рослин ячменю озимого (86,6 см) виявилася на неудобреному варіанті, на якому вносили нітрапірін (рис. 4.4). Це свідчить про вагомий вплив інгібування утворення нітратів, що на неудобреному фоні ще більше обмежила живлення рослин.

Застосування нірапірину спричинювало зменшення висоти рослин за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) + N_{97} (Nк) (п.с.) + N-Lok Макс (як перед сівбою, так і при відновленні вегетації навесні – вар. 6 і 7), порівняно з таким же фоном удобрення, тільки без нітрапірину (вар. 5).

Загалом найбільша висота стеблостою встановлена у варіантах максимального азотного удобрення із сумарною нормою азоту N_{120} – вар. 5, 8, 9 і 17. Нітрапірін не впливав на ріст рослин у висоту лише у варіанті, де ми не вносили фосфорно-калійних добрив. Загалом сприятлива погода і використання ретарданта зумовила відсутність вилягання. Це забезпечило належну продуктивність культури і віддачу добрив.

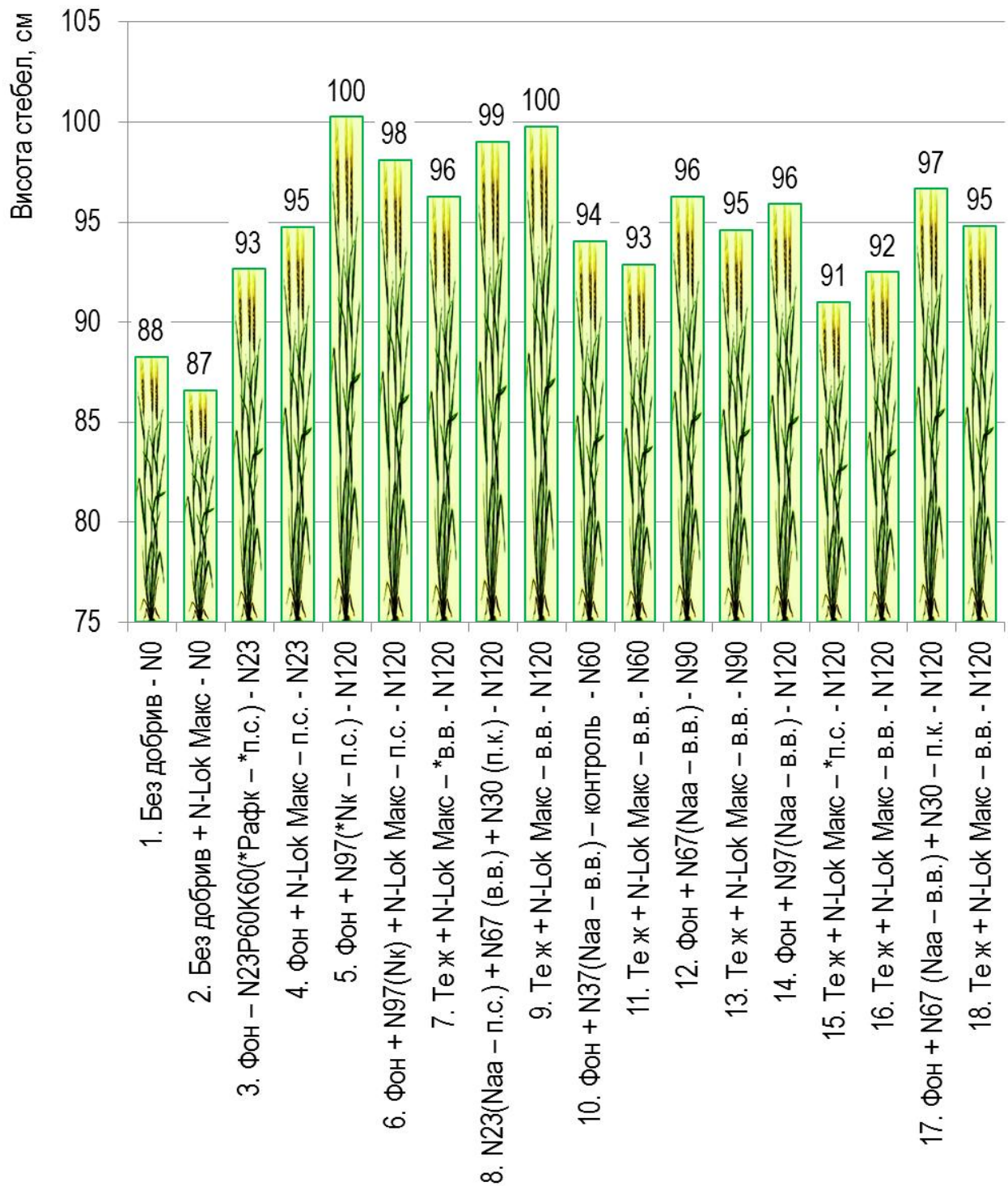


Рис. 4.4. Залежність висоти рослин ячменю озимого від системи удобрення і застосування нітрапірину (за даними спостережень 2020 року).

Норма азотного удобрення N_{120} забезпечила формування найдовшого колоса – від 6,2 до 6,4 см (рис. 4.5). Використання нітрапірину як з осені, так і навесні на високому фоні азотного живлення та внесення з осені фосфорно-калійних добрив дозволило отримати на цих варіантах колос довжиною 6,3-6,4 см.

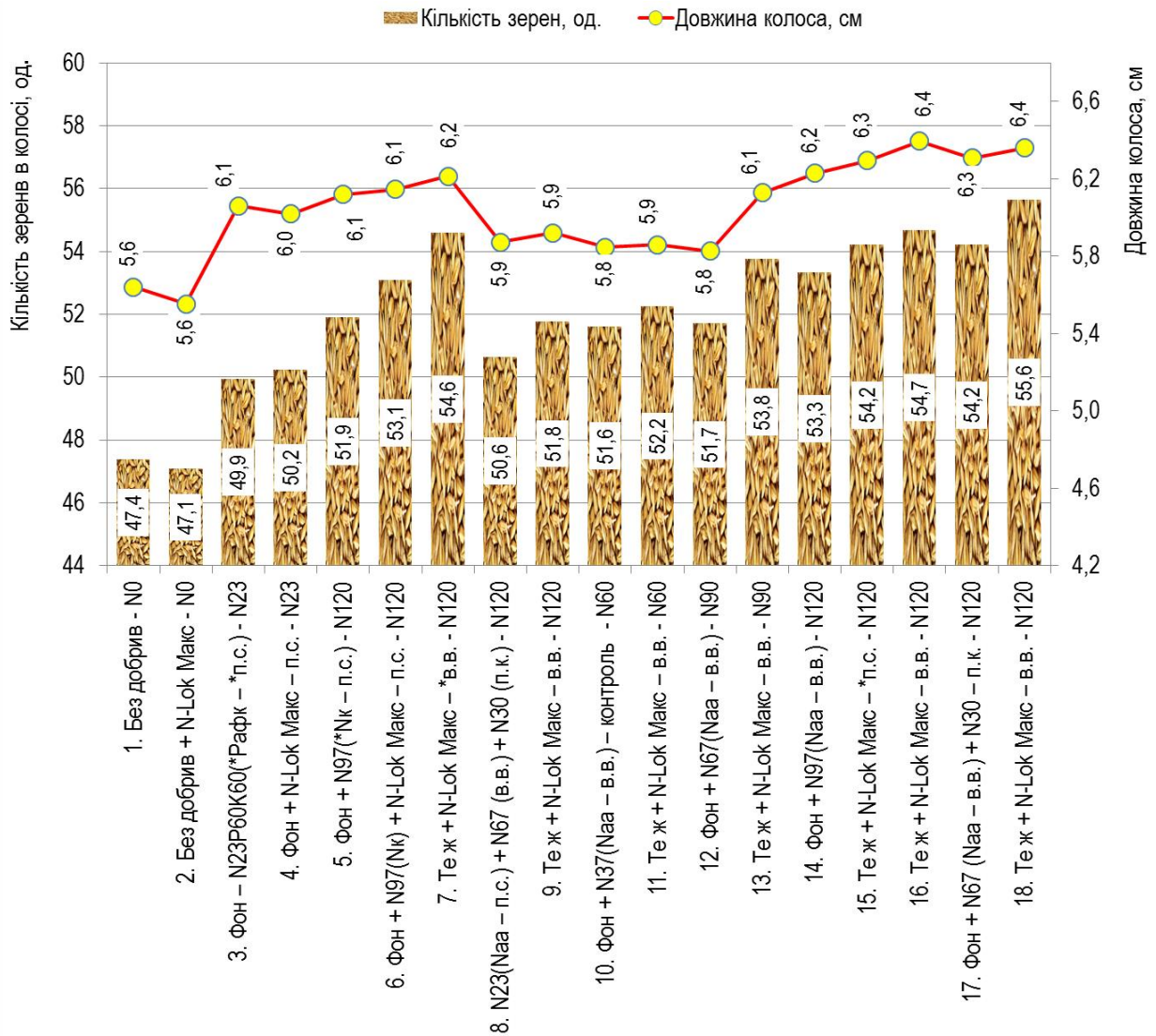


Рис. 4.4. Залежність і біометричних параметрів колоса ячменю озимого від системи удобрення і застосування нітрапірину (за даними спостережень 2020 року).

Кількість зерен у колосі змінювалася залежно від системи удобрення ячменю озимого. Інгібітор нітрифікації на неудобреному фоні зумовив зменшення кількості зерен в колосі. На всіх інших варіантах системи удобрення дія нітрапірину була тільки позитивною. Найбільша кількість зерен (51,9-55,6 зерен) утворювалася за внесення норми азоту N_{120} і не залежала від термінів внесення азоту. Без фосфорно-калійного фону (вар. 8) внесення тільки азотних добрив $N_{23}(Naa - \text{п.с.}) + N_{67}$ (у відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) (разом N_{120}) зумовило утворення лише 50,6 зерен в колосі, а з

нітрапірином 51,8 зерен (вар. 9). Проте навіть за пригнічення утворення нітратів на цьому варіанті отримано на 3,8 зерен в колосі менше, ніж за внесення 120 кг/га азоту на фоні $P_{60}K_{60}$ і застосування нітрапірину у фазі відновлення вегетації (вар. 18).

Статистичний аналіз показав, що найбільше позитивно корелює з урожайністю ячменю озимого кількість зерен у колосі – $r = 0,94$. Довжина колоса і урожайність мають тісну, але дещо меншу кореляцію – $r = 0,82$. Довжина колоса та озерненість тісно пов'язані $r = 0,89$.

Різний рівень реалізації елементів структури урожайності відбувається відповідно до закону компенсації. Зі збільшенням норми висіву формується більше продуктивних стебел, але зменшується озерненість колоса [71; 76; 87]. Так відбувається авторегуляція структурних складових. Вчені зауважили, що не має великого значення норма висіву, а достатньо знати, у якому діапазоні зміна норми висіву не призведе до небажаної зміни урожайності та показників якості. Система удобрення значно вагомніше впливає на формування параметрів колоса та стеблостою.

Як свідчать результати наших дослідів, пригнічення нітрифікації інгібітором нітрифікації на 8-10 тижні сприяє утворенню великого озерненого колоса за певного додаткового стримування росту рослин у висоту. Нагадаємо, це відбувалося на тлі дії ретардантів – синтетичних регуляторів росту і розвитку ячменю озимого, що були внесені для запобігання виляганням стеблостою.

4.4. Загальна оцінка стану посівів ячменю озимого

Зернові культури, зокрема ячмінь озимий добре реагує на рівень забезпечення азотом та іншими основними елементами та мікроелементами, що легко можна відстежувати візуально. За достатньої асиміляції азоту, що сприяє утворенню хлорофілів у пластидах, посилюється інтенсивність зеленого

забарвлення листків і стебел. Це сприяє підвищеній фотосинтетичній активності та росту потужної вегетативної маси.

Стан посівів упродовж весняно-літньої вегетації оцінювали за п'ятибальною системою [62; 46]. У середньому за 2019-2022 роки дослідження на час відновлення вегетації стан посіву ячменю озимого без внесення добрив (вар. 1 і 2), з мінімальним азотним удобренням $N_{23}P_{60}K_{60}$ (вар. 3) та в внесенням на цих варіантах інгібітора нітрифікації N-Lok Макс оцінювали на 1,5-2,0 бала (табл. 4.4). Забарвлення листкової поверхні було дещо хлоротичним, що пояснюємо дефіцитом азоту і калію в рослинах, а також дією стабілізатора азоту, який призупиняв нітрифікацію азоту в ґрунті.

За внесення добрив розвиток рослин поліпшувався до рівнів 3,0-3,5 бала. У період активного росту культури зокрема, у фазі виходу в трубку стан ячменю озимого істотно покращувався кожного року досліджень. На ділянках, де норма азотних добрив становила N_{90-120} , загальний стан посівів відповідав максимальному рівню якості (5,0 бала) на більшості ділянок. Рослини ячменю озимого мали темно-зелене з блиском забарвлення, що свідчить про активну асиміляцію азоту, засвоєння фосфору і калію, незважаючи на стримуючу на певних варіантах нітрифікацію, дію інгібітора. Такі посіви мали оптимальну густоту й вирівняність стеблостою, розвинутий листковий апарат.

Аналізуючи стан посіву за вегетаційний період можна підсумувати, що найкращий розвиток спостерігали у варіантах із застосуванням фону ($N_{23}P_{60}K_{60}$) + $N_{97}(Naa)$ (в.в.), фону + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.). Добрий і відмінний стан ячменю озимого спостерігали у варіанті сумісного внесення фону + $N_{97}(Nk)$ та інгібітора нітрифікації восени. Стан посіву оцінювали 4,5 балами від фази кущіння до 5,0 балами при формуванні зерна. Зниження норми азотних добрив до N_{90} не мало значного впливу й у середньому за роки дослідження якість посіву відповідала 4,0-4,1 бала. Застосування стабілізатора азоту N-Lok Макс з осені давало кращий візуальний результат щодо якості посівів порівняно із застосуванням його навесні.

Таблиця 4.4. Візуальна оцінка загального стану посіву ячменю озимого у середньому за 2020-2022 роки

| Варіант досліджу | Фази розвитку | | | | Середній бал |
|---|-----------------------|------------|----------------|------------------|--------------|
| | Відновлення вегетації | Кущіння | Вихід в трубку | Формування зерна | |
| Без добрив | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,6 |
| Без добрив + N-Lok Макс | 1,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,6 |
| Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) | 2,0 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,0 |
| Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 1,5 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 2,9 |
| Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) | 3,0 | 3,5 | 3,5 | 4,5 | 3,6 |
| Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 5,0 | 4,3 |
| Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) | 3,0 | 4,5 | 4,0 | 4,5 | 4,0 |
| N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 2,5 | 4,0 | 5,0 | 4,0 | 3,9 |
| Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 2,5 | 4,0 | 4,5 | 4,0 | 3,8 |
| Фон + N₃₇(Naa) (в.в.) – контроль | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,8 |
| Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 4,5 | 3,9 |
| Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 4,5 | 4,1 |
| Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 2,5 | 4,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 |
| Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 4,4 |
| Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 4,4 |
| Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 4,5 | 3,9 |
| Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 5,0 | 4,0 |
| Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 5,0 | 4,0 |

Висновки до розділу 4

1. Математичне моделювання динаміки температури та зволоження упродовж 2010-2020 років дозволяє стверджувати про чітку тенденцію потепління клімату за показником середньорічної температури повітря. Якщо виключити з 10-тирічного ряду показників аномально дощовий 2010 рік, то можна говорити про динаміку зменшення річної кількості опадів за 2011-2020 роки.

2. 2020, 2021 та 2022 роки досліджень були дуже сприятливими для формування врожаю зерна ячменю озимого. Несприятливих аномальних гідротермічних умов упродовж вегетації у ці роки не спостерігали. Попри це середня температура липня була вищою за кліматичну норму 17,5 °С на 1,3-2,0 °С. 2019 року середня температура становила 9,9 °С, 2020 – 9,6 °С, 2021 8,1 °С і є підстави прогнозувати, 2022 року вона буде вищою за кліматичну норму 7,5 °С.

3. Річна сума опадів 2019, 2020 та 2021 років була істотно вищою за кліматичну норму 748 мм і становила відповідно 700, 791, 812 мм та 272 мм за сім місяців 2022 року.

4. Сходи ячменю озимого упродовж трьох років починалися з максимальною різницею шість діб, відновлення вегетації – 14 діб, що немало негативних наслідків для подальшого розвитку культури. Колосіння ячменю озимого починалося з різницею п'ять діб, а досягання колоса – лише три доби. Це свідчить про нормальне проходження фаз розвитку культури. Проте, найтривалішим період від сівби до сходів був восени 2020 року – 15 діб.

5. Ні внесення нітрапірину, ні роздрібне внесення норми азоту трьома дозами не стримали ріст рослин у висоту. Проте, сприятлива погода і використання ретарданта зумовила відсутність вилягання. Норма азотного удобрення N₁₂₀ забезпечила формування найдовшого колоса – від 6,2 до 6,4 см. Використання нітрапірину як з осені, так і навесні на високому фоні азотного

живлення та внесеного з осені $P_{60}K_{60}$ дозволило отримати на цих варіантах колос довжиною 6,3-6,4 см.

6. Кількість зерен у колосі змінювалася залежно від системи удобрення ячменю озимого і застосування інгібітора нітрифікації. Найбільша кількість зерен (51,9-55,6 зерен) утворювалася за внесення норми азоту N_{120} і не залежала від термінів внесення азоту. Без фосфорно-калійного фону (вар. 8) внесення тільки азотних добрив N_{23} (амонійна селітра – перед сівбою) + N_{67} (у відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) (разом N_{120}) з нітрапірином зумовило утворення 51,8 зерен в колосі (вар. 9). Проте, на цьому варіанті отримано на 3,8 зерен в колосі менше, ніж за внесення 120 кг/га азоту на фоні $P_{60}K_{60}$ і застосування нітрапірину у фазі відновлення вегетації (вар.18).

7. Розрахунок кореляції показав, що найтісніше з урожайністю ячменю озимого зв'язана кількість зерен у колосі – $r = 0,94$. Довжина колоса і урожайність мають тісну, але дещо меншу кореляцію – $r = 0,82$. Довжина колоса та озерненість тісно пов'язані $r = 0,89$.

8. Найкращий розвиток за візуальним оцінюванням мали посіви у варіантах із застосуванням фону ($N_{23}P_{60}K_{60}$) + N_{97} (амонійна селітра – відновлення вегетації), фону + N_{97} (амонійна селітра – відновлення вегетації) + N-Lok Макс (перед сівбою). Добрий і відмінний стан ячменю озимого спостерігали у варіанті сумісного внесення фону + N_{97} (карбамід) та інгібітора нітрифікації восени. Стан посіву оцінювали 4,5 бала від фази кушіння до 5,0 бала при формуванні зерна.

Результати досліджень за розділом 4 викладено у публікаціях [24; 25; 105; 108; 191; 205].

Розділ 5

ВПЛИВ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА

Головним критерієм ефективності технологічних прийомів є результат, що втілений у вирощеному врожаї зерна. Важливо знати природний потенціал модельного різновиду ґрунту, що визначається врожаєм зерна ячменю озимого, вирощеного без внесення добрив, але з дотриманням усіх інших прийомів. Ключовим завданням наших досліджень є з'ясування ефективності системи азотного удобрення культури. Супутньою і другою за важливістю є відповідь на питання, чи діє пригнічення нітрифікаційної активності ензимів, а саме нітрапірин, на віддачу азотних добрив. У сучасних умовах дефіциту фосфорно-калійних добрив потрібно знати, що очікує на зерновиробника економія внесення фосфорних і калійних добрив.

5.1. Залежність врожайності зерна від системи внесення азотних добрив та дії нітрапірину

Дієвість певних доз і концентрацій поживних речовин в ґрунті визначається впливом на кінцевий результат росту і розвитку ячменю озимого – врожайність зерна. Без мінеральних добрив у Західному Лісостепу не представляється можливості отримувати на темно-сірому опідзоленому ґрунті 4,37-4,77 т/га зерна, залежно від умов року за умови виконання усіх інших елементів технології (дод. Г, табл. Г.1, Г.2 і Г.3). На неудобреному фоні внесення нітрапірину у час відновлення вегетації проявляє тенденцію до зниження врожаю зерна на 0,04-0,33 т/га (табл. 5.1, 5.2 і 5.3). Це свідчить, що інгібітор реально пригнічує ефективність «роботи» ензимів нітрифікації, які беруть участь в утворенні нітратів. Дефіцит нітратів на фоні без добрив негативно позначається на живленні рослин ячменю озимого.

Таблиця 5.1

Врожайність ячменю озимого залежно від систем удобрення у 2020 р. та відхилення відносно контролю ($НР_{05} = 0,23$ т/га – дод. Г, табл. Г.4).

| № № | Варіант досліджу | N, кг/га | Врожай, т/га | Відхилення, ± т/га |
|------------|--|-----------|--------------|--------------------|
| 1. | Без добрив | 0 | 4,37 | -2,45 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 0 | 4,33 | -2,49 |
| 3. | Фон – $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) | 23 | 5,65 | -1,17 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 23 | 6,17 | -0,65 |
| 5. | Фон + $N_{97}(Nк)$ (п.с.) | 120 | 6,63 | -0,19 |
| 6. | Фон + $N_{97}(Nк)$ + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,38 | 0,56 |
| 7. | Фон + $N_{97}(Nк)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 6,50 | -0,32 |
| 8. | $N_{23}(Naa)$ (п.с.) + N_{67} (в.в.) + N_{30} (п.к.) | 120 | 6,76 | -0,06 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,10 | 0,28 |
| 10. | Фон + $N_{37}(Naa)$ (в.в.) (контроль) | 60 | 6,82 | К |
| 11. | Фон + $N_{37}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 60 | 6,91 | 0,09 |
| 12. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) | 90 | 7,08 | 0,26 |
| 13. | Фон + $N_{67}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 90 | 7,20 | 0,38 |
| 14. | Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) | 120 | 7,26 | 0,44 |
| 15. | Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,18 | 0,36 |
| 16. | Фон + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,59 | 0,77 |
| 17. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) | 120 | 7,26 | 0,44 |
| 18. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,54 | 0,72 |

Таблиця 5.2

Врожайність ячменю озимого залежно від систем удобрення у 2021 р. та відхилення відносно контролю ($НІР_{05} = 0,17$ т/га – дод. Г, табл. Г.5).

| № № | Варіант досліджу | N, кг/га | Врожай, т/га | Відхилення, ± т/га |
|------------|---|-----------|--------------|--------------------|
| 1. | Без добрив | 0 | 4,55 | -2,17 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 0 | 4,42 | -2,30 |
| 3. | Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) | 23 | 5,53 | -1,19 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 23 | 5,90 | -0,82 |
| 5. | Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) | 120 | 5,93 | -0,79 |
| 6. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,10 | 0,38 |
| 7. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 6,37 | -0,35 |
| 8. | N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 120 | 7,01 | 0,29 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,29 | 0,57 |
| 10. | Фон + N₃₇(Naa) (в.в.) (контроль) | 60 | 6,72 | К |
| 11. | Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 60 | 6,59 | -0,13 |
| 12. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) | 90 | 6,90 | 0,18 |
| 13. | Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 90 | 7,39 | 0,67 |
| 14. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) | 120 | 7,42 | 0,70 |
| 15. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,27 | 0,55 |
| 16. | Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,31 | 0,59 |
| 17. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 120 | 7,45 | 0,73 |
| 18. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,52 | 0,80 |

Таблиця 5.3

Врожайність ячменю озимого залежно від систем удобрення у 2022 р. та відхилення відносно контролю ($НІР_{05} = 0,23$ т/га – дод. Г, табл. Г.6)

| № № | Варіант досліджу | Н, кг/га | Врожай, т/га | Відхилення, ± т/га |
|------------|--|-----------|--------------|--------------------|
| 1. | Без добрив | 0 | 4,77 | -2,45 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 0 | 4,34 | -2,88 |
| 3. | Фон – $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) | 23 | 5,71 | -1,51 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 23 | 6,33 | -0,89 |
| 5. | Фон + $N_{97}(Nк)$ (п.с.) | 120 | 6,38 | -0,84 |
| 6. | Фон + $N_{97}(Nк)$ + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,70 | 0,48 |
| 7. | Фон + $N_{97}(Nк)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 6,83 | -0,39 |
| 8. | $N_{23}(Naa)$ (п.с.) + N_{67} (в.в.) + N_{30} (п.к.) | 120 | 7,33 | 0,11 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,70 | 0,48 |
| 10. | Фон + $N_{37}(Naa)$ (в.в.) (контроль) | 60 | 7,22 | К |
| 11. | Фон + $N_{37}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 60 | 7,15 | -0,07 |
| 12. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) | 90 | 7,46 | 0,24 |
| 13. | Фон + $N_{67}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 90 | 7,58 | 0,36 |
| 14. | Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) | 120 | 7,73 | 0,51 |
| 15. | Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 120 | 7,66 | 0,44 |
| 16. | Фон + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,67 | 0,45 |
| 17. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) | 120 | 7,82 | 0,60 |
| 18. | Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 120 | 7,90 | 0,68 |

Урожай зерна за відсутності будь-яких добрив на родючому темно-сірому опідзоленому ґрунті коливався по роках дослідження в межах 4,37–4,77 т/га. Але відсутність усіх видів добрив зменшувала вміст в орному шарі ґрунту на 12–15 мг/кг фосфору та на 13–15 мг/кг калію за методом Чирикова. За внесення азоту в нормі N_{120} кількість фосфатів зменшувалася ще на 7–9 мг/кг ґрунту, калію – на 6–7 мг/кг ґрунту у різні роки досліджень. Отже, внесення під ячмінь озимий азотних добрив без фосфорно-калійного фону виснажує ґрунт на фосфати і калій більше, ніж без добрив взагалі.

Внесення перед сівбою $N_{23}P_{60}K_{60} + N_{37}$ при відновленні вегетації ми прийняли за контроль – варіант 10. За такої системи удобрення ячменю озимого упродовж 2020-2022 років зібрано від 6,72 до 7,22 т/га зерна. Найсприятливіший для такої норми добрив був 2022 рік вирощування (рис. 5.3). Підвищення врожаю, спричинене рекомендованою нормою добрив, порівняно з неудобреним фоном, становило 2,17-2,45 т/га.

У 2020 році поєднання фонового удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ з різними нормами азоту N_{67-97} у формі амонійної селітри (вар. 12, 14 і 17) підвищувало врожай зерна в діапазоні від 0,26 до 0,44 т/га. Застосування нітрапірину на цих варіантах (вар. 13, 15, 16 і 18) максимально підвищувало врожайність ячменю озимого, а саме в діапазоні від 0,38 до 0,77 т/га відносно контролю – $N_{23}P_{60}K_{60}$ (п.с.) + N_{37} (в.в.).

Внесення під ячмінь озимий лише азотних добрив у максимальній нормі N_{120} у формі амонійної селітри без фосфорно-калійного фону не забезпечило істотного підвищення врожаю відносно контролю. Лише внесення навесні нітрапірину істотно підвищило врожайність зерна на 0,28 т/га порівняно з контролем (вар. 10).

Удобрення азотом у нормі N_{90} дало приріст врожаю відносно норми N_{60} , проте лише в поєднанні з одночасним внесенням N-Lok Макс, але значно вагоміший у 2021 та 2022 роках.

Поділ норми азоту N_{120} на дози N_{23} перед сівбою, N_{67} + нітрапірін у відновлення вегетації та N_{30} у підживлення на початку колосіння мав позитивний результат (рис. 5.1 і 5.2). Проте, у варіанті 18 було досягнуто найвищих врожаїв тільки 2021 та 2022 року.

За застосування спрощеної системи удобрення (вар. 16) – фон + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) за сумарної норми азоту 120 кг/га зібрано найвищий урожай у 2020 році – 7,59 т/га. У 2021 та 2022 роках підживлення ячменю озимого азотом в нормі N_{30} на початку колосіння вирізнялося вищим ефектом.

Важливо звернути увагу, що використання карбаміду замість амонійної селітри за максимальної норми N_{120} і внесення добрива перед сівбою ячменю озимого мало позитивний результат лише у поєднанні з одночасним внесенням нітрапірину. Приріст врожайності становив у 2020 році 0,56 т/га, у 2021 (рис. 5.2) – 0,38 т/га та у 2022 році 0,48 т/га порівняно в контролем. Перенесення застосування нітрапірину на весну у фазу відновлення вегетації знівелювало його ефективність. Отже, за використання карбаміду під ячмінь озимий з осені стабілізатор азоту нітрапірін слід вносити під передпосівну культивуацію.

2021 рік вирощування був дещо менше сприятливим за попередній. Проте, позитивна дія стабілізатора азоту проявилася ще виразніше. Приріст врожаю за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{67} (у відновлення вегетації) + N_{30} (у початок колосіння) + N-Lok Макс при відновленні вегетації (вар. 18) досяг 0,80 т/га відносно контролю – $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) + $N_{37}(Naa)$ (в.в.) (рис. 5.1 і 5.2).

Раніше проведеними дослідженнями встановлено [62; 68], що рівномірне розкидання азотних добрив по поверхні під основний обробіток ґрунту, весняне застосування їх до сівби, а також підживлення відразу ж після сівби і в період кушіння ячменю забезпечують практично однакові прирости урожаю.

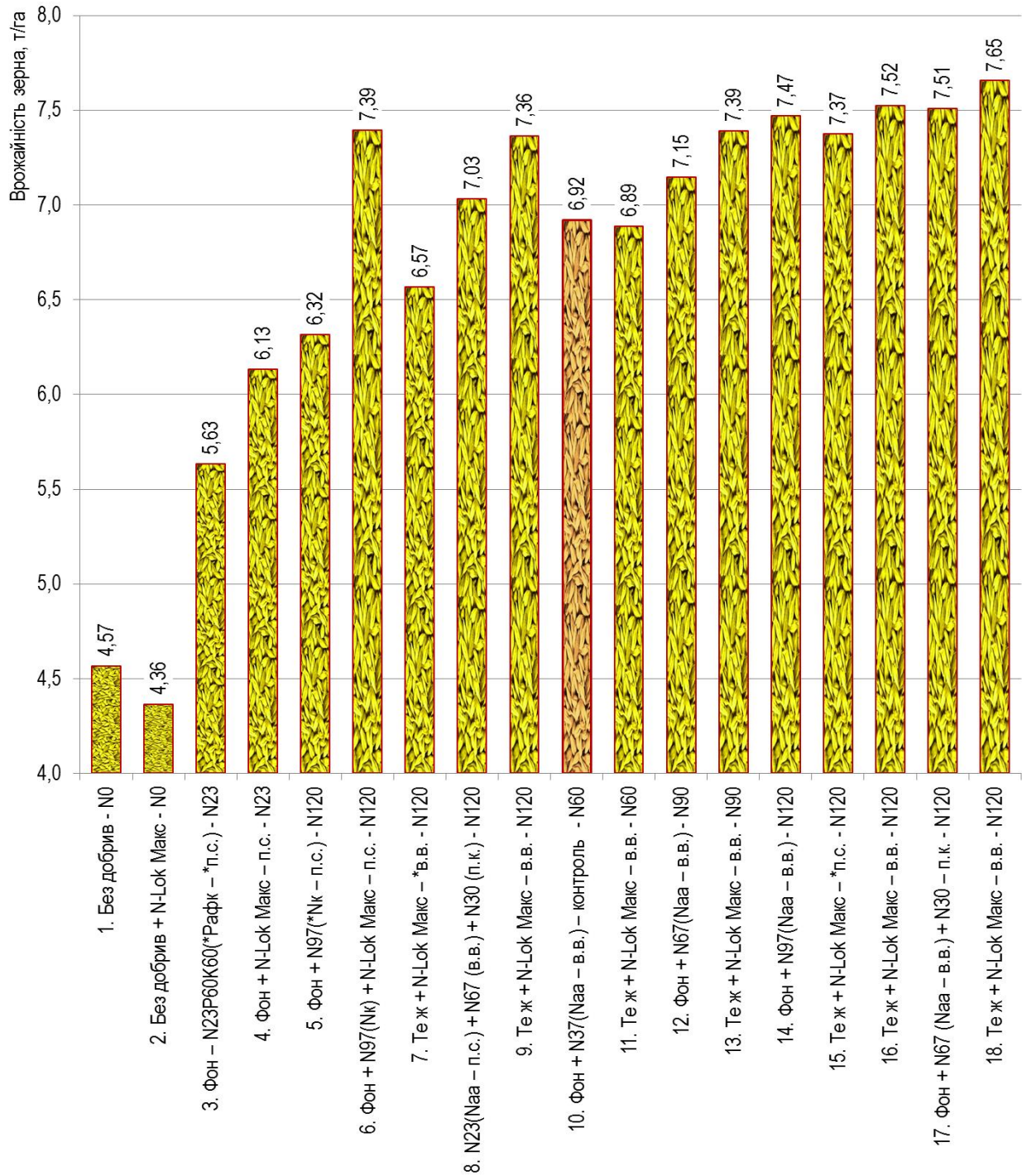


Рис. 5.1. Врожайність зерна ячменю озимого залежно від системи удобрення та застосування нітрапірину упродовж 2020-2022 рр. ($p < 0,05$).

При внесенні навесні фосфорно-калійних добрив у поєднанні з азотними отримали дещо нижчий урожай, ніж за інших строків їх застосування.

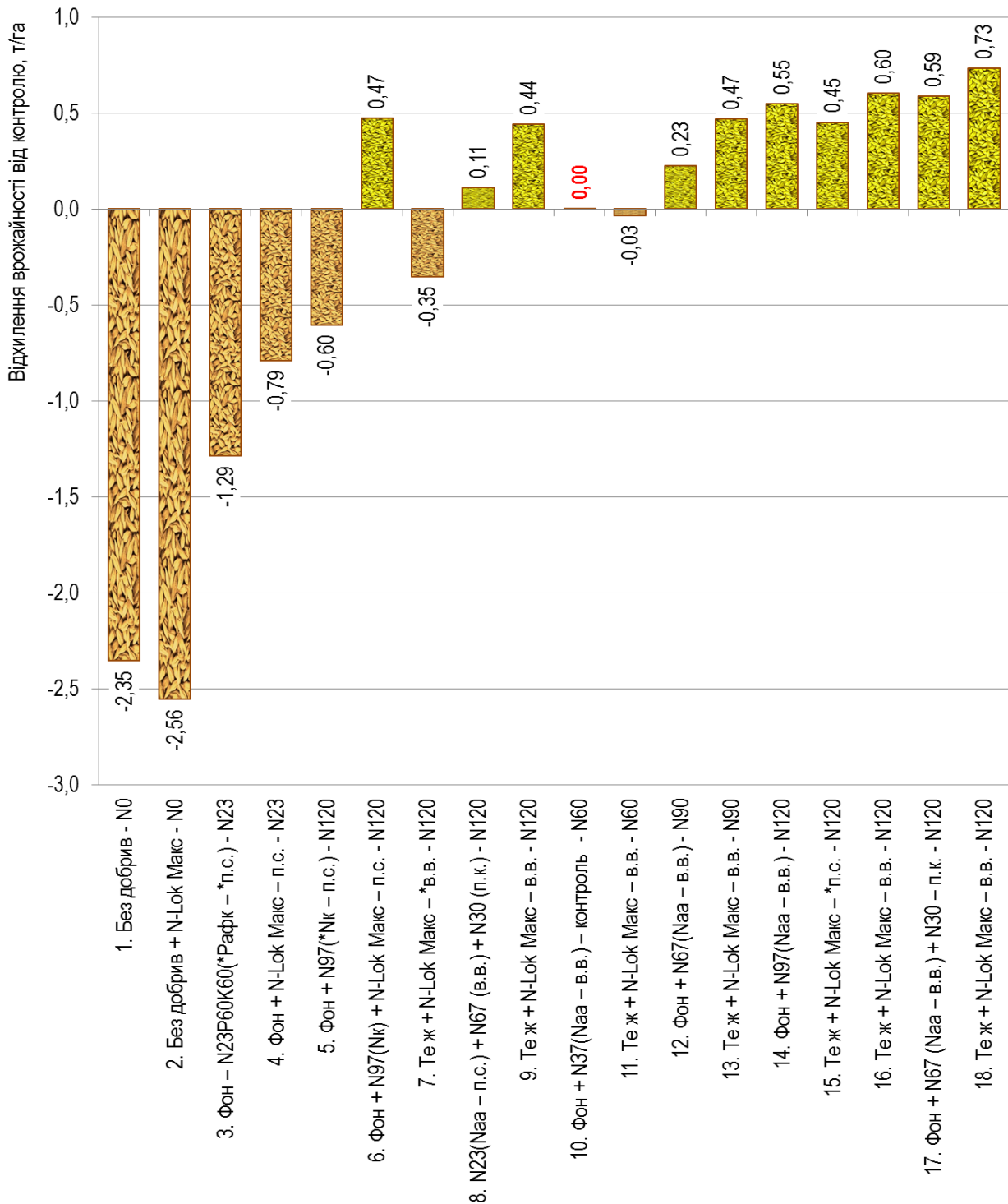


Рис. 5.2. Відхилення врожайності зерна ячменю озимого від контрольного варіанту залежно від системи удобрення та застосування нітрапірину упродовж 2020-2022 рр. ($P < 0,05$).

Урожай ячменю озимого формувався на різних фонах вмісту азоту, фосфору і калію, які створювалися за різних систем мінерального удобрення.

На рисунку 5.3 бачимо, що рівень врожаю 2020 р. тісніше корелював з азотними фонами живлення (дод. Г, табл. Г.7).

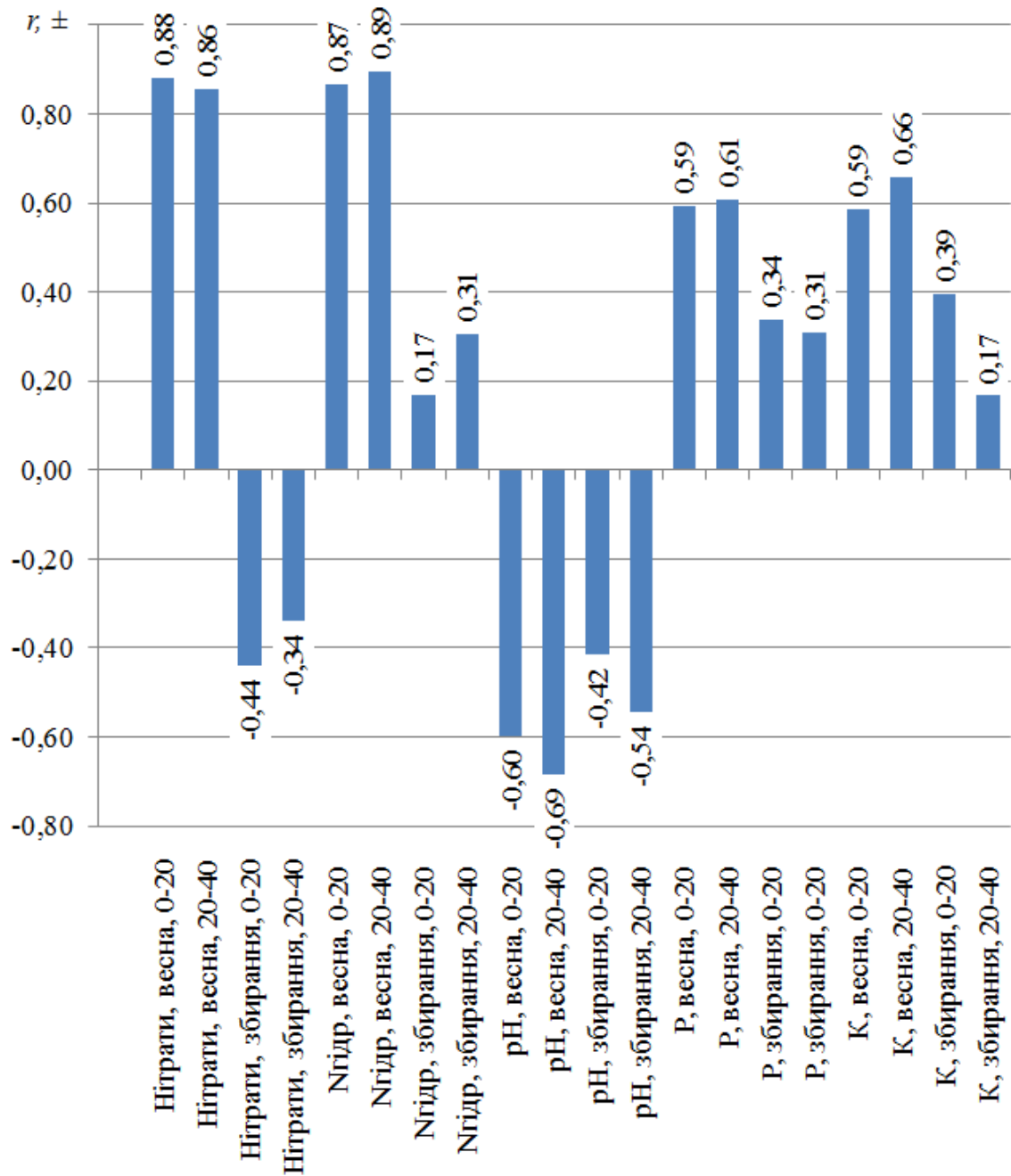


Рис. 5.3. Коефіцієнти кореляції між параметрами агрохімічних змін показників у ґрунті упродовж періоду вегетації 2020 року під впливом норм удобрення та врожайністю ячменю озимого, r_{\pm}

Тісна від'ємна кореляція залишків нітратного азоту товщі ґрунту 0-40 см, виявлена 2020 року, свідчить про велике винесення нітратного азоту з ґрунту до завершення вегетації ячменю озимого. Прямі коефіцієнти кореляції параметрів доступних форм азоту, фосфору і калію на початку вегетації з урожаєм 2020 р. (табл. 5.4) свідчать про вирішальне значення мінерального удобрення для отримання високих урожаїв зерна, особливо у менше сприятливі роки.

Таблиця 5.4

Коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами агрохімічних змін у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення при вирощуванні ячменю озимого, r_{\pm}

| Показник | 2020 р. | | | | 2021 р. | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|---|
| | $N_{\text{гдр}}$, весна, 0–20 см | $N_{\text{гдр}}$, весна, 20–40 см | $N_{\text{гдр}}$, збирання, 0–20 см | $N_{\text{гдр}}$, збирання, 20–40 см | $N_{\text{гдр}}$, весна, 0–20 см | $N_{\text{гдр}}$, весна, 20–40 см | $N_{\text{гдр}}$, збирання, 0–20 см |
| P_2O_5 , весна, 0–20 см | 0,49 | 0,47 | -0,36 | -0,33 | 0,30 | 0,39 | -0,47 |
| P_2O_5 , збирання, 0–20 см | 0,26 | 0,23 | -0,43 | -0,42 | 0,26 | 0,35 | -0,45 |
| P_2O_5 , збирання, 20–40 см | 0,22 | 0,18 | -0,47 | -0,46 | 0,24 | 0,33 | -0,38 |
| K_2O , весна, 0–20 см | 0,52 | 0,51 | -0,39 | -0,34 | 0,35 | 0,44 | -0,44 |
| K_2O , збирання, 0–20 см | 0,18 | 0,18 | -0,44 | -0,37 | 0,19 | 0,29 | -0,44 |

Співвідношення доступних форм азоту в ґрунті має велике значення ефективного його використання і запобігання втрат нітратів у період інтенсивних опадів. В таблиці 5.5 показані коефіцієнти взаємозв'язку параметрів основних елементів живлення для рослин. На початку весняної вегетації азот, фосфор і калій у доступних формах виключно позитивно – від

помірно до значно за шкалою Chaddock (1925), корелювали між собою ($r = 0,30-0,52$).

Таблиця 5.5

Коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами агрохімічних змін у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом норм удобрення та врожайністю ячменю озимого, r_{\pm}

| Показник | Урожайність | |
|---|-------------|---------|
| | 2020 р. | 2021 р. |
| N _{гидр} , весна, 0–20 см | 0,87 | 0,84 |
| P ₂ O ₅ , весна, 0–20 см | 0,59 | 0,69 |
| P ₂ O ₅ , збирання, 0–20 см | 0,34 | 0,67 |
| K ₂ O, весна, 0–20 см | 0,59 | 0,68 |
| K ₂ O, збирання, 0–20 см | 0,39 | 0,73 |
| K ₂ O, збирання, 20–40 см | 0,17 | 0,60 |
| Урожайність 2021 р. | 0,97 | - |

До збирання напрям кореляції змінився на протилежний. В усіх випадках встановлена негативна слабка і середня кореляція ($r = -0,33 - -0,47$). Урожайність ячменю озимого упродовж двох років формувалася на різних фонах вмісту поживних речовин. З таблиці 5.5 бачимо, що рівень врожаю 2020 р. тісніше корелював з азотно-фосфорними фонами живлення, ніж 2021 р.

Тісніша кореляція обмінного калію при збиранні врожаю в усій товщі ґрунту виявлена 2021 р., порівняно з попереднім роком, який був дещо сухішим у вегетацію ячменю. Високі коефіцієнти кореляції азоту, фосфору і калію на початку вегетації з урожаєм 2020 р. свідчать про вагоме значення мінерального удобрення для отримання високих врожаїв зерна, особливо у менше сприятливих гідротермічних умовах.

Вирощування ячменю озимого у 2021 р. показало, що гідротермічні умови вегетації дещо збільшили тісноту кореляцій між показниками вмісту

доступних поживних речовин, за виключенням азоту (табл. 5.5). Послаблена залежність величини врожаю 2020 р. від ресурсів фосфору і калію в ґрунті на початку вегетації свідчить про кращі умови для процесів у ґрунті, що забезпечують живлення.

В таблиці 5.6 бачимо тісну позитивну кореляцію досліджених форм азоту на початку вегетації 2020 р. – легкогідролізної ($r = 0,87-0,89$) та нітратної ($r = 0,88-0,86$). До збирання встановлювався тісний оберненопропорційний зв'язок врожайності, вмісту нітратного із вмістом легкогідролізного азоту на початку вегетації.

Таблиця 5.6

Коефіцієнти кореляції між параметрами змін показників азотних у ґрунті упродовж періоду вегетації під впливом удобрення та врожайністю ячменю озимого 2020 р., r_{\pm}

| Показник | Урожайність | $N_{\text{гидр}}$, весна, 0–20 см | $N_{\text{гидр}}$, весна, 20–40 см | $N_{\text{гидр}}$, збирання, 0–20 см | $N_{\text{гидр}}$, збирання, 20–40 см |
|--|-------------|---------------------------------------|--|--|---|
| $N_{\text{гидр}}$, весна 0–20 см | 0,87 | X | - | - | - |
| $N_{\text{гидр}}$, весна 20–40 см | 0,89 | 0,97 | X | - | - |
| $N_{\text{гидр}}$, збирання, 0–20 см | 0,17 | -0,08 | 0,09 | X | - |
| $N_{\text{гидр}}$, збирання, 20–40 см | 0,31 | 0,16 | 0,42 | 0,96 | X |
| Нітрати, весна 0–20 см | 0,88 | 0,84 | 0,82 | 0,22 | 0,41 |
| Нітрати, весна 20–40 см | 0,86 | 0,81 | 0,79 | 0,21 | 0,41 |
| Нітрати, збирання, 0–20 см | -0,44 | -0,54 | -0,49 | 0,59 | 0,48 |
| Нітрати, збирання, 20–40 см | -0,34 | -0,48 | -0,41 | 0,60 | 0,46 |

Отже, величина врожаю 2020 року прямо пропорційно залежала від стартових запасів легкогідролізного азоту ($r = 0,87-0,89$) та нітратів ($r = 0,86-$

0,88) у всій товщі ґрунту. 2021 року урожайність тісно корелювала з вмістом легкогідролізного азоту в 0-20 см орному шарі ($r = 0,84$) та підорному 20-40 см ($r = 0,89$).

5.2. Моделювання синергії вмісту доступних форм азоту, фосфору, калію та кислотності ґрунту у впливі на урожайність ячменю озимого

Розрахунок парних кореляцій дозволив припустити складніші залежності і побудувати 3Д-моделі зв'язків показника врожайності з параметрами двох інших впливових агрохімічних показників. Так на рисунку 5.4 – А бачимо, що за одночасного зростання вмісту нітратів та азоту, який легкогідролізується, на початку весняної вегетації врожай пропорційно збільшується (дод. Г, табл. Г.8). За односторонньо зростання однієї форми азоту він менший. Рисунок. 5.4 – Б показує, що створення більших запасів доступних фосфору та калію сприяє росту врожайності, особливо за низьких початкових показників.

Збільшення врожаю до 6,5–6,7 т/га не знижує в ґрунті вміст фосфору, але подальше його підвищення до 7,5 т/га зменшує їх вміст на 20 мг/кг ґрунту за максимального вмісту у ґрунті обмінного калію. Натомість дефіцит калію, що утворюється до збирання врожаю, супроводжується дефіцитом і фосфору за високих врожаїв. Позитивна тісна кореляція між цими поживними речовинами до збирання з'ясована на рівні $r = 0,85$ (дод. Г, табл. Г.9).

Площини регресії ілюструють, що рівні вмісту нітратів (рис. 5.4 – А; дод. Г, рис. Г.1 – А) і доступних фосфатів (рис. 5.5 – Б; дод. Г, рис. Г.1 – Б), які зв'язані з кислотністю ґрунту, вагомо впливають на величину врожаю.

Рисунок 5.5(А) показує, що зміни у бік нейтралізації реакції ґрунту, які супроводжується збільшенням кількості фосфору, пропорційно позитивно впливає на урожайність ячменю озимого. Високий вміст фосфатів навіть за кислої реакції (рН 5,4-5,6) сприяє росту врожайності зерна. Проте найвищу віддачу фосфорні добрива мали за близької до нейтральної реакції ґрунту.

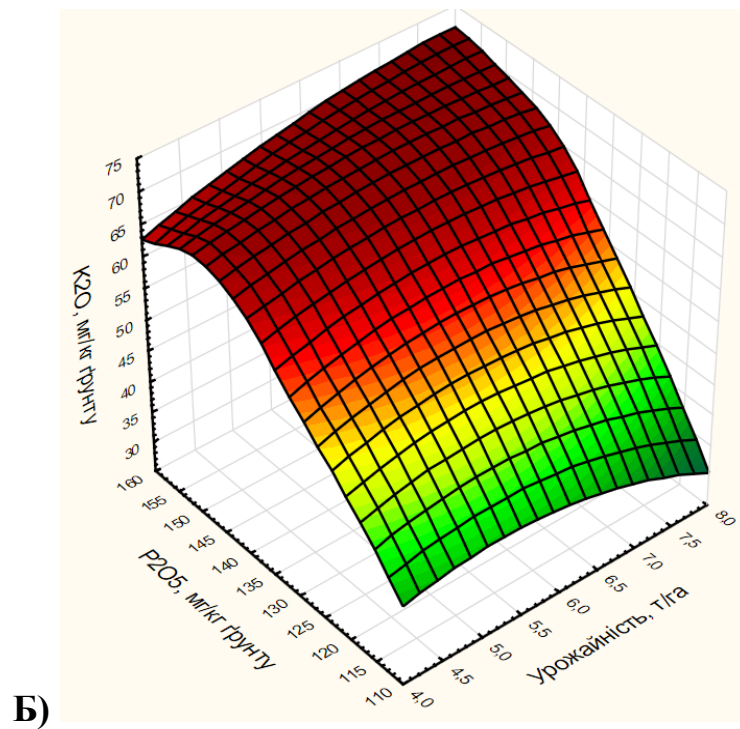
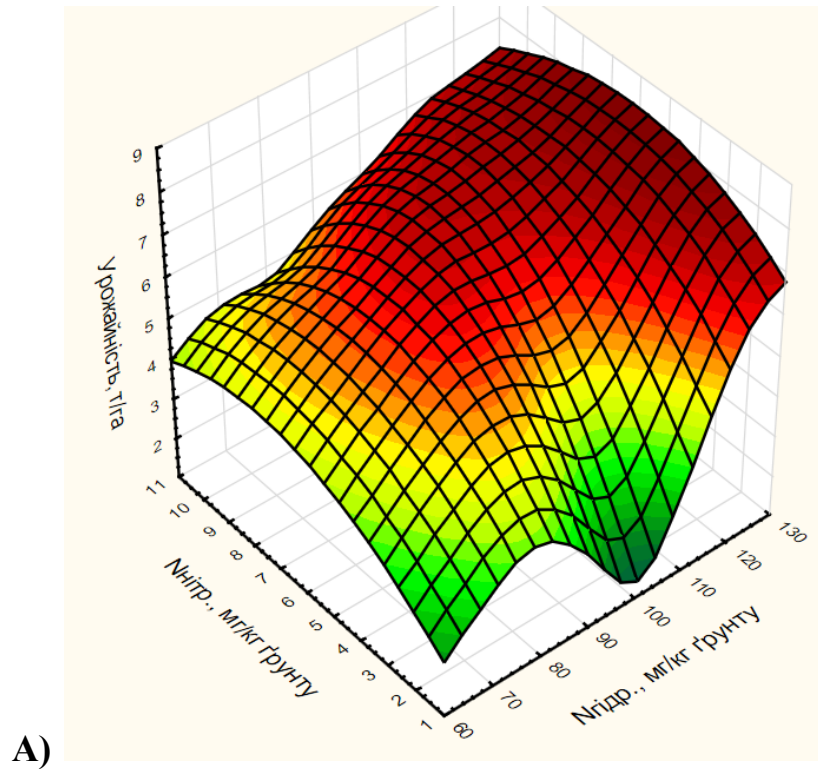
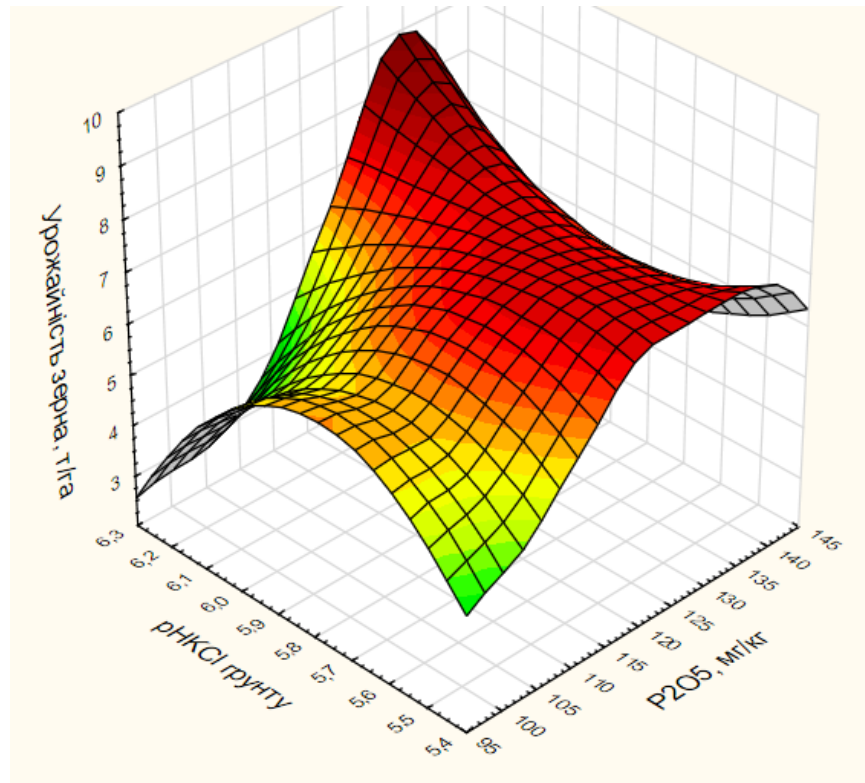
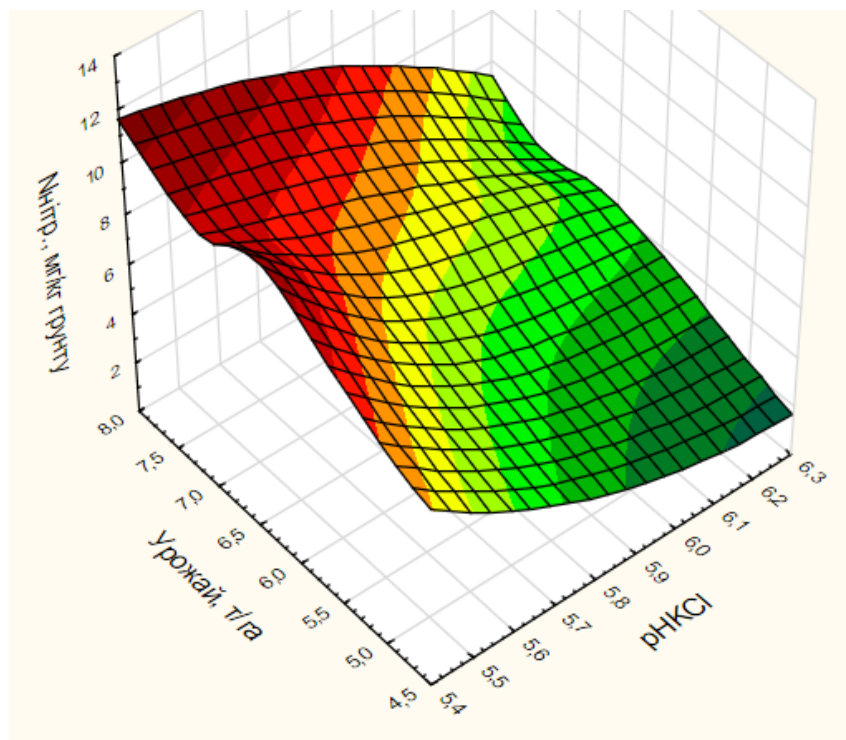


Рис. 5.4. 3D-моделі зв'язків параметрів форм доступного азоту орного (0–20 см) пласту темно-сірого опідзоленого ґрунту на початку весняної вегетації з урожайністю зерна ячменю озимого:

А – вплив вмісту легкогідролізного азоту і нітратів; Б – вплив норм внесення азотних добрив і вмісту легкогідролізного азоту.



А)



Б)

Рис. 5.5. 3D-моделі зв'язків вмісту фосфатів, нітратів та рН_{KCl} орного (0–20 см) пласту ґрунту на початку весняної вегетації з урожайністю зерна ячменю

ОЗИМОГО:

А – вплив вмісту P_2O_5 і кислотності ґрунту; Б – вплив вмісту нітратів в орному шарі та pH_{KCl} ґрунту на врожайність.

На рисунку 5.5 – Б чітко видно, що підвищена кількість нітратів супроводжується підкисленням ґрунту. Проте, не зважаючи на певне підкислення ґрунтового середовища найдоступніша форма азоту позитивно впливала на врожайність зерна за рівня pH_{KCl} не нижче 5,4-5,5. Це означає, що концентрація нітратів у ґрунті має бути невисокою, але достатньою упродовж періоду активного росту ячменю озимого.

Розрахунок парних кореляцій показників урожайності з нормами азотного удобрення дозволив припустити синергічні залежності і побудувати 3Д-модель зв'язків рівнів врожаю з параметрами двох агрохімічних показників (рис. 5.6; дод. Г, рис. Г.2), які досліджені в експерименті.

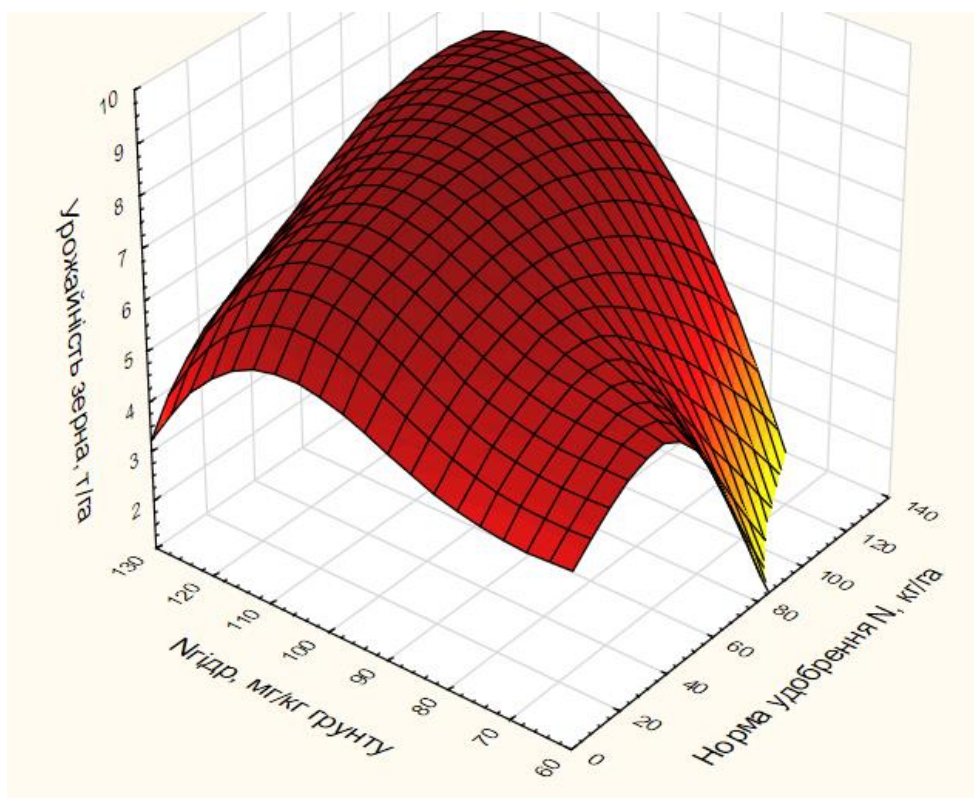


Рис. 5.6. 3Д-модель зв'язків параметрів легкогідролізного азоту орного пласту ґрунту на початку весняної вегетації з урожайністю зерна ячменю озимого

На рисунку 5.6 бачимо, який вигляд має теоретична площина регресії врожаю за збільшення норм азотного удобрення та спричиненого ними зростання в ґрунті вмісту азоту, який легкогідролізується, на початку весняної вегетації. Регресія показує синергію впливу норм внесення азоту та його вмісту в ґрунті у легкогідролізній формі на ріст врожайності зерна.

Рисунок Г.2 (дод. Г) відображає, як стрімко й однозначно збільшення норми удобрення азотом збагачує ґрунт нітратами, а це позитивно впливає на ріст врожаю.

На рисунку 5.7 відображено зв'язок урожайності, кислотності ґрунту та вмісту обмінного калію. Проілюстрована висока ефективність багатого калійного фону за наближення реакції ґрунту до нейтральної. Проте, середня негативна кореляція показника pH_{KCl} з урожайністю виявлена лише 2020 року, чого вже не було наступного 2021 року.

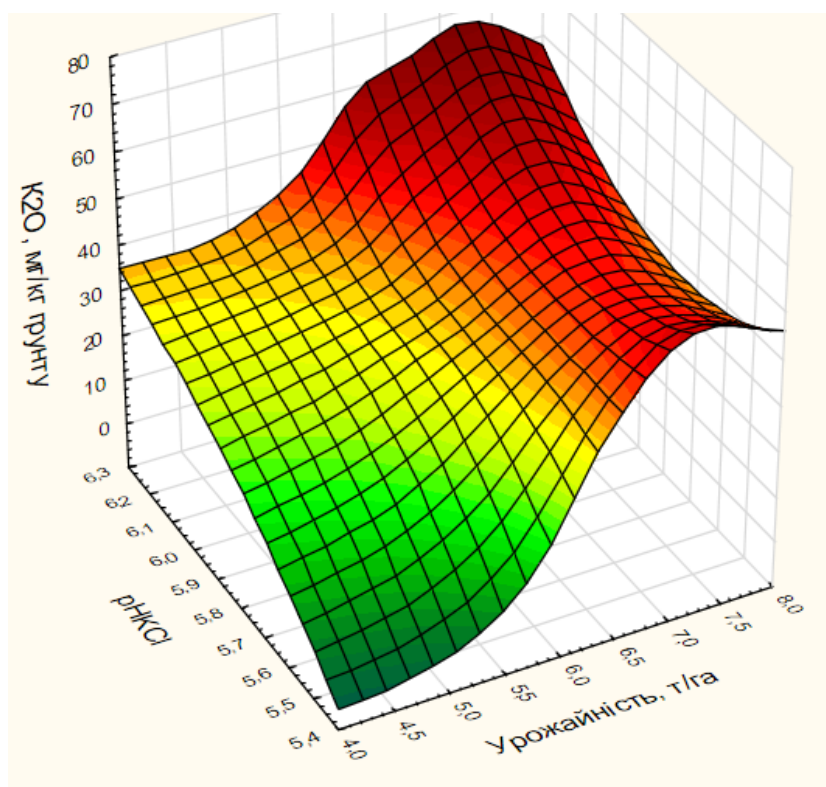


Рис. 5.7. 3D-модель зв'язків параметрів обмінного калію і показника реакції ґрунту з орного пласту темно-сірого опідзоленого ґрунту з урожайністю зерна ячменю озимого при збиранні врожаю.

Площина регресії врожаю зерна ячменю озимого від синергії збільшення норм азотного удобрення та вмісту обмінного калію в ґрунті (дод. Г, рис. Г.3 - А) стрімко піднімається вгору за паралельного росту параметрів обох факторів. Рисунок Г.3 – Б (дод. Г) показує, що за мінімальних і малих норм внесення азоту нейтралізація кислотності ґрунтового розчину орного шару істотно не впливає на підвищення врожаності, на відміну від підвищеного і високого фонів азоту.

Добрива – першочерговий і найбільш ефективний засіб як збільшення врожайності зерна ячменю озимого, так і управління його якістю. Упродовж останніх 30-40 років до цієї культури була привернута увага багатьох вітчизняних і зарубіжних дослідників. Результати наукових досліджень у різних ґрунтово-кліматичними зонах дозволяють встановити загальні закономірності та правила управління якістю зерна ячменю за допомогою агрохімічних засобів.

Висновки до розділу 5

1. Внесення під ячмінь озимий N_{67} (при відновленні вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ під оранку забезпечило прибавку урожаю зерна 2020 року 0,44 т/га, 2021 – 0,73, 2022 року – 0,60 т/га. Проте поєднання цієї системи удобрення із внесенням N-Lok Макс у період відновлення вегетації сприяло підвищенню врожаю у середньому за 2020-2022 роки додатково на 0,15 т/га та на 0,73 т/га відносно контролю ($N_{60}P_{60}K_{60}$) за найменшої істотної різниці між варіантами 0,17-0,23 т/га.

2. Найвищий середній (за 2020-2022 роки) врожай забезпечило удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк – п.с.) + N_{67} (в.в.) + N_{30} (початок колосіння) + N-Lok Макс (в.в.) за сумарної норми азоту N_{120} – 7,65 т/га зерна за середньорічної прибавки відносно контролю $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк – п.с.) + N_{37} (Наа – відновлення вегетації) – 0,73 т/га.

3. Внесення карбаміду N_{97} з осені по фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк – п.с.) забезпечувало в середньому за 2020-2022 роки на 0,60 т/га нижчий врожай ячменю озимого, порівняно з контролем $N_{60}P_{60}K_{60}$. Проте, застосування нітрапірину перед сівбою культури підвищило ефективність добрив і прибавка врожаю зерна становила 0,47 т/га відносно контролю та 1,07 т/га у варіанті з карбамідом, але без стабілізатора азоту. Внесення інгібітора нітрифікації у період відновлення вегетації на фоні карбаміду під осінню оранку було менш ефективним.

4. Відсутність фосфорно-калійного фоні добрив в системі удобрення ячменю озимого не вплинуло на врожайність культури відносно контролю $N_{60}P_{60}K_{60}$. За використання стабілізатора азоту та азотного мінерального удобрення була отримана середня істотна прибавка врожаю 0,44 т/га. Урожай зерна без внесення добрив на темно-сірому опідзоленому ґрунті коливався по роках дослідження в межах 4,37-4,77 т/га. Відсутність усіх видів добрив зменшувала в орному шарі ґрунту на 12-15 мг/кг вміст фосфору та на 13-15 мг/кг вміст обмінного калію за методом Чирикова.

5. За внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк), як фоні перед сівбою та $N_{97}(Naa) + N-Lok$ Макс при відновленні вегетації отримано середній за 2020-2022 роки врожай 7,51 т/га зерна. Порівняння цієї системи удобрення ячменю озимого з варіантами азотного підживлення культури в дозі азоту N_{30} не підтверджує доцільності диференціації внесення весняної дози азоту N_{97} у два прийоми – внесення у відновлення вегетації та на початку колосіння.

Результати досліджень за розділом 5 викладено у публікаціях [22; 107; 109; 205; 206].

Розділ 6

БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ТА ВНЕСЕННЯ НІТРАПІРИНУ

До складу зерна ячменю озимого, як і інших зернових культур, входять різні речовини: білки, вуглеводи, ліпіди, вітаміни, ензими і мінеральні (зольні) речовини тощо. Останніми роками велика увага приділяється технологічним прийомам, що забезпечують реалізацію потенціалу інтенсивних сортів ячменю озимого щодо якісних показників вирощеного зерна. Наше завдання полягало у з'ясуванні впливу системи мінерального удобрення ячменю озимого на якісні параметри зерна, а також значення нітрапірину для ефективної дії азотних добрив. Нами проведені аналітичні дослідження на вміст у зерні сирих протеїну, жирів, клітковини і золи, а також крохмалю. Зазначимо на початку, що показник вмісту сирого протеїну охоплює саме білки та усі азотмісні сполуки (мінеральний азот, амінокислоти, амід). Вміст суто білків ми не з'ясовували.

6.1. Вміст сирого протеїну

Зазвичай у середньому зерно ячменю містить 10,5-11 % сирого протеїну 66,4 % вуглеводів (головно крохмалю), 4,5 % сирого клітковини, 2,1 % сирого жиру і 2,5 % зольних сполук. У кілограмі зерна цієї культури є 1,2 кормових одиниць за показниками поживності. Для формування високої якості зерна, або із заданими параметрами вмісту білків і крохмалю, вирішальне значення мають сортові особливості та прийоми технології [30; 51; 96; 102;], особливо удобрення [85]. За висновками Н. Носподаренко & V. Liubych [167] умовах достатнього зволоження раціональні норми внесення мінеральних і органо-мінеральних систем удобрення значно підвищують вміст білка в зерні. У нашому досліді, вирощене без добрив зерно, містило від 10,0 до 10,7 % сирого протеїну (рис. 6.1).

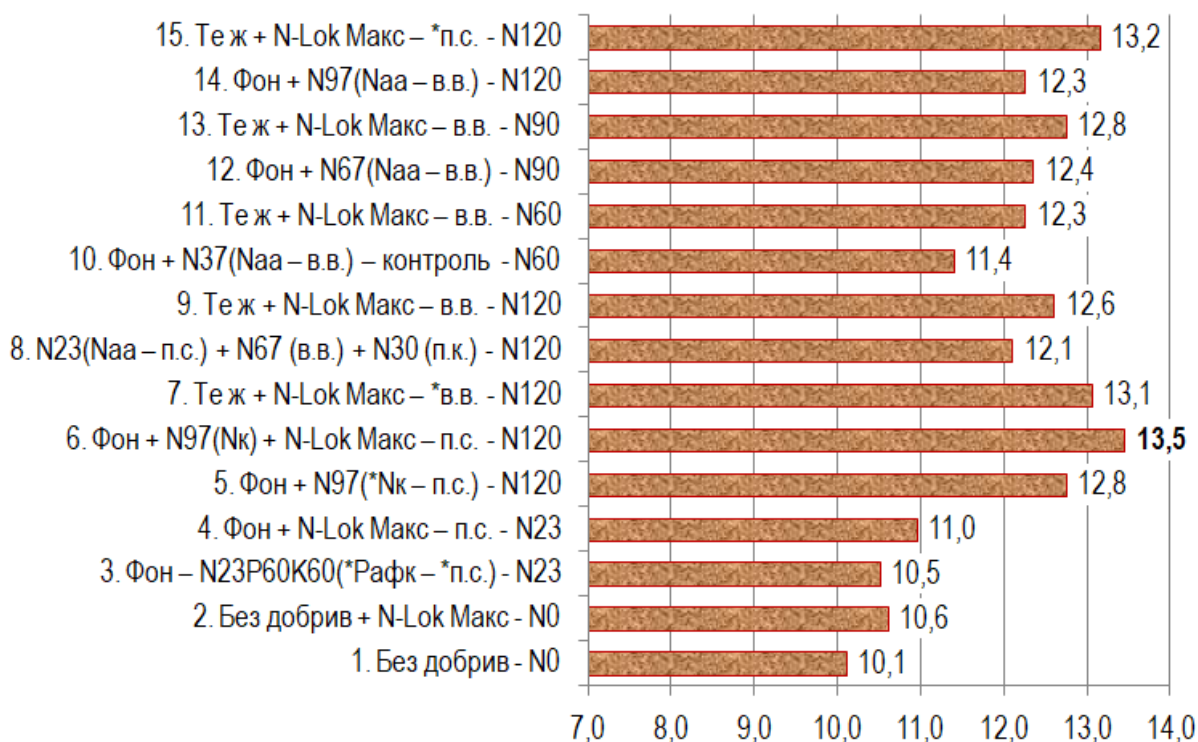


Рис. 6.1. Вміст сирого протеїну у зерні ячменю озимого залежно від норм азотного удобрення та дії нітрапірину, % (середнє за 2020-2022 рр) ($HP_{05} = 0,55\%$; кореляція між роками $r = 0,95$ – дод. Д, табл. Д.1 і 2).

Фон без добрив або з мінімальною нормою азоту (N_{23}) зумовлює накопичення до 10,0-10,2 % сирого протеїну у зерні.

Контрольний варіант 10 з внесенням $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) + N_{37} (в.в.) (норма N_{60}) менше сприятливого 2020 року забезпечив вміст сирого протеїну 11,1 %, а за сприятливішого 2022 року – 11,7 %.

Гідротермічні умови, як бачимо, мають істотний вплив на асиміляцію азотистих речовин зерном ячменю озимого і кореляція між роками дослідження дуже тісна ($r = 0,95$ – Chaddock, 1925). На цьому ж варіанті удобрення бачимо виразний позитивний вплив нітрапірину, що пригнічував утворення нітратів (вар. 11). Істотна прибавка вмісту сирого протеїну – 1,1 % 2020 року та не істотна 2022 року вказують чітку тенденцію оптимізації азотного живлення упродовж вегетації. Збільшення до норми азоту N_{90} без нітрапірину не істотно впливав на кількість сирого протеїну у зерні.

Збільшення норми азоту від N_{60} до N_{90} як без нітрапірину, так і зним поступово підвищувало накопичення сирого протеїну у зерні в обидва роки. Подвоєння норми азоту до N_{120} (вар. 15) не збільшувало вміст сирого протеїну вище від норми N_{90} , поєднаної з використанням стабілізатора азоту у фазі відновлення вегетації. Проте, за максимальної норми азоту, внесеної у фазі відновлення вегетації одночасно з нітрапірином на фоні $P_{60}K_{60}$ з осені, ми отримали зерно вмістом сирого протеїну 13,0-13,3 %. Це на 2,1-2,4 % більше, ніж на контролі.

Порівняння впливу амонійної селітри з дією карбаміду засвідчило активнішу роль амонійної форми добрив у асиміляції азоту рослинами і відповідно синтезі й накопиченню білкових сполук у зерні ячменю озимого. Так внесення під оранку карбаміду з розрахунку N_{120} без використання нітрапірину сприяло накопиченню 12,6-12,9 % сирого протеїну. Поєднання стабілізатора азоту восени з карбамідом мало виразний позитивний ефект та істотно (2,3-2,2 %) збільшувало частку сирого протеїну у сухій масі зерна. Перенесення застосування стабілізатора азоту на весну негативно позначалося на поглинанні азоту й утворенні сирого протеїну у ячмені озимому.

Застосування подвійної норми азоту N_{120} без унормування нітратного живлення (вар. 14) мало такий же вплив на вміст сирого протеїну у зерні, як внесення традиційної норми добрив (вар. 10). Пригнічення N-Lok Макс активності синтезу ензимів мікроорганізмами, яка забезпечує утворення нітратів, сприяє накопиченню в зерні азотистих сполук і білків в істотно більшій кількості, ніж на контролі (вар. 10).

Важливо знати, як рівень забезпечення ґрунту легкогідролізною формою азоту, пов'язаний з нормами удобрення, спільно впливають на накопичення в зерні азотистих сполук – сирого протеїну. Моделювання поверхні регресії у 3D-форматі наочно показує (рис. 6.2), що збільшення норми азоту до N_{120} за підвищення вмісту його легкогідролізної форми в орному пласті сприяє накопиченню сирого протеїну не прямопропорційно.

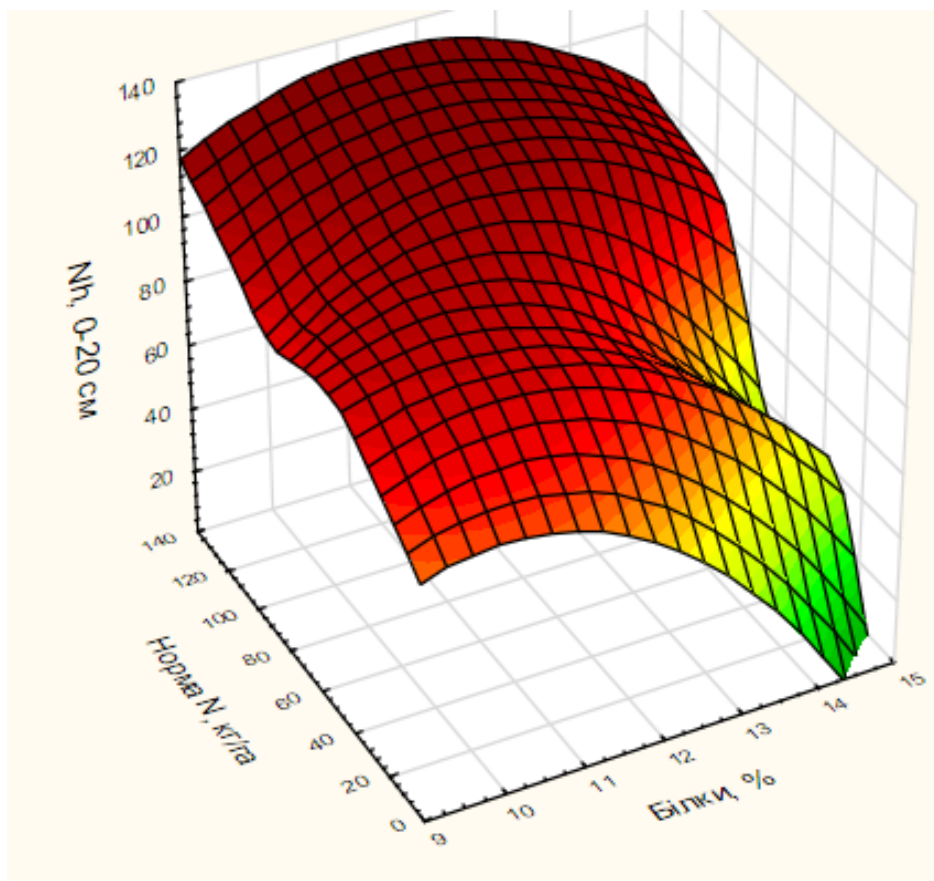


Рис. 6.2. 3D-модель зв'язків параметрів легкогідролізного азоту орного (0-20 см) пласту темно-сірого опідзоленого ґрунту на початку весняної вегетації з нормами внесення азоту та білковістю зерна ячменю озимого

Позитивна кореляція підтверджена коефіцієнтом $r = 0,86-0,92$ (дод. Д, табл. Д.2). Збільшення в ґрунті вмісту легкогідролізного азоту за максимальної норми його внесення N_{120} з добривами забезпечує збір найбільшого обсягу сирого протеїну з гектара.

До збирання врожаю вміст легкогідролізного азоту зменшувався відповідно до інтенсивності поглинання його ячменем озимим. На рисунку 6.2 бачимо, що без добрив сирий протеїн накопичується в зерні менше, а на фоні найбільшої норми удобрення азоту N_{120} поглинання азоту не так сильно позначається на забезпеченні орного пласту до збирання врожаю.

Нітрати, що є в ґрунті унаслідок удобрення азотом та знаходяться під впливом активності мікроорганізмів, які синтезують окиснювачі амонію, на

мінімальних нормах мінерального удобрення інтенсивно сприяють синтезу сирого протеїну (рис. 6.3).

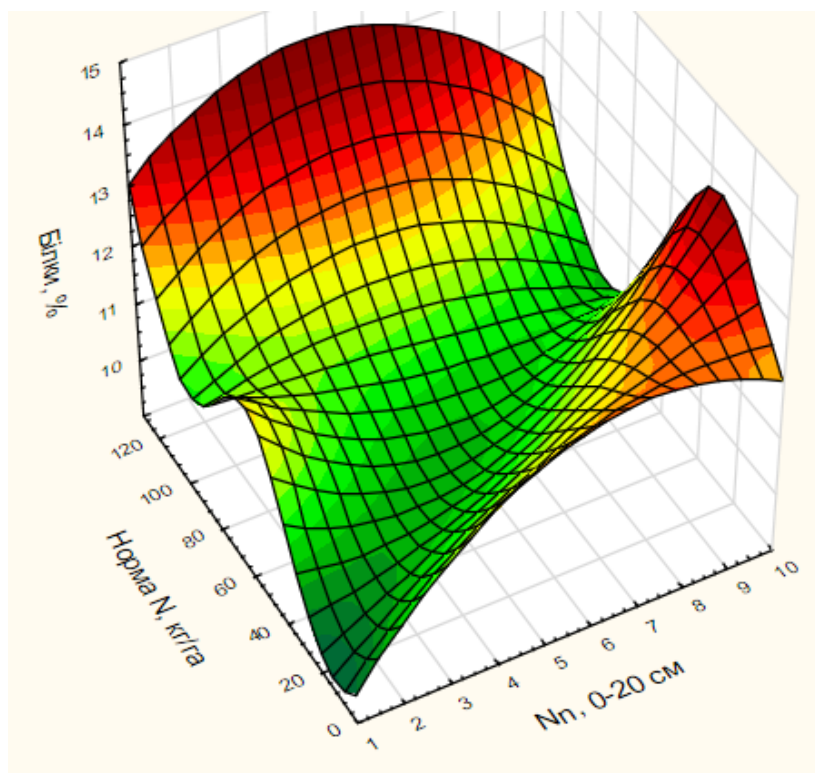


Рис. 6.3. 3D-модель зв'язків концентрації нітратів орного (0–20 см) пласту ґрунту на початку весняної вегетації з нормами внесення азоту та білковістю зерна ячменю озимого

Менше активні вони за середніх норм внесення азоту. Проте за найвищої норми азоту N_{120} навіть середній вміст нітратів у орному пласті сприяє максимальному накопиченню сирого протеїну у зерні. Тобто, за внесення під ячмінь озимий N_{120} уміст нітратів в орному пласті не має вирішального значення для синтезу білкових сполук в зерні. Це означає, що пригнічення нітрифікаційної активності мікроорганізмів у ґрунті за допомогою інгібітора N-Lok Макс не впливає на накопичення сирого протеїну у зерні, а завдяки прибавці маси зерна сприяє більшому загальному збору сирого протеїну з гектара.

Дослідження агрохімічних показників ґрунту при збиранні врожаю показав подібну закономірність впливу вмісту нітратів у орному пласті на утворення сирого протеїну за мінімальних та середніх норм внесення азоту. Він був не значний. Проте, за внесення азоту в нормі N_{120} запаси нітратів мали найсильніший позитивний вплив на накопичення сирого протеїну у зерні, на середніх нормах – теж вагомий.

На сірих ґрунтах [53; 54] максимальний урожай отримали при внесенні $P_{90}K_{90}$ восени та N_{90} навесні під культиватор, а позитивна дія рядкового внесення проявилася лише за низьких доз основного удобрення. Уміст білкового азоту в зерні зростав з 1,7 % до 2,0 % при збільшенні норм добрив, але рядкове удобрення на цей показник не вплинуло.

Водночас, на темно-сірих ґрунтах Львівської області рініше було встановлено [98], що перенесення частини азоту (N_{30}) на весняне підживлення є доцільним і для озимого ячменю. У цьому випадку добрива сприяють збільшенню загального (на 11-17 %) і продуктивного (на 15-16 %) кущіння, збільшенню маси 1000 зерен (на 1,9-2,5 %), деякому зменшенню його плівчастості.

С. І. Попов та ін. [85] з'ясували, що за підвищених та високих показників нітрифікаційної здатності та значних фактичних запасів мінерального азоту в ґрунті у орному шарі, або у шарі ґрунту 0-60 см, азотні добрива вносити взагалі не рекомендується. За цих умов можна обмежитися внесенням у рядки мінеральних добрив у нормах $N_{10}P_{15}K_{10}$, або P_{10-20} . У подібних кліматичних умовах на чорноземі типовому за внесення середніх норм мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ та підвищених $N_{90}P_{90}K_{90}$ зерно ячменю містило 12,0-12,8 % білка, тобто воно стало якісним фуражним зерном [30].

В Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва [85] встановили, що за дози N_{30} азот використовувався сортами Звершення та Скарлет відповідно на 35,0 % та 24,8 %. Із підвищенням доз азотних добрив ефективність їх знижувалась і за N_{90} використовувалась на 18,6 % та 13,2 % відповідно. Таку ж тенденцію

спостерігали і на інших фонах живлення. Внесення під передпосівну культивуацію азоту в дозах 30, 60 та 90 кг/га збільшило вміст білка в зерні ячменю з 10,9-11,2 % до 13,0 %. Отже, передпосівне внесення більше 30 кг/га азоту значно збільшує вміст азоту в зерні і цей ячмінь можна використовувати на продовольчі та фуражні цілі.

Високої урожайності за добрих показників якості зерна сортів ячменю було досягнуто на чорноземі опідзоленому Хмельницької області [30]. У середньому за три роки урожай без добрив знаходився у межах 4,1-4,2 т/га, а при внесенні $N_{60}P_{90}K_{90}$ сягнув рівня 6,8-7,1 т/га за вмісту білка в зерні в межах 10,8-10,9 %.

6.2. Вміст крохмалю, сирого жиру, клітковини та інших речовин

Крохмалистість зерна кормового ячменю не менш важлива ознака концентрованих кормів, ніж білковість. За результатами наших біохімічних аналізів зерна (дод. Д, табл. Д.3), вирощене за системи традиційного удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, містило від 60,2-61,6 % крохмалю (рис. 6.5). Зменшення частки крохмалю пояснюється впливом внесення нітрапірину і воно відбулося на користь збільшення частки сирого протеїну та простих вуглеводів – БЕР, що дещо поліпшує якість кормового зерна.

Дослідження азотної системи удобрення ячменю озимого без фосфорно-калійного фону показало, що обмеження живлення культури фосфором та калієм спричинює вагоме підвищення вмісту крохмалю в зерні (64,7–65,9 %). Більше накопичення крохмалю відбувається завдяки зменшенню пропорцій таких складових, як сира клітковина, прості цукри (БЕР) і зольні речовини. Останнє свідчить про розбалансування мінерального живлення ячменю озимого, зокрема фосфором та калієм (дод. Д – табл. Д.3).

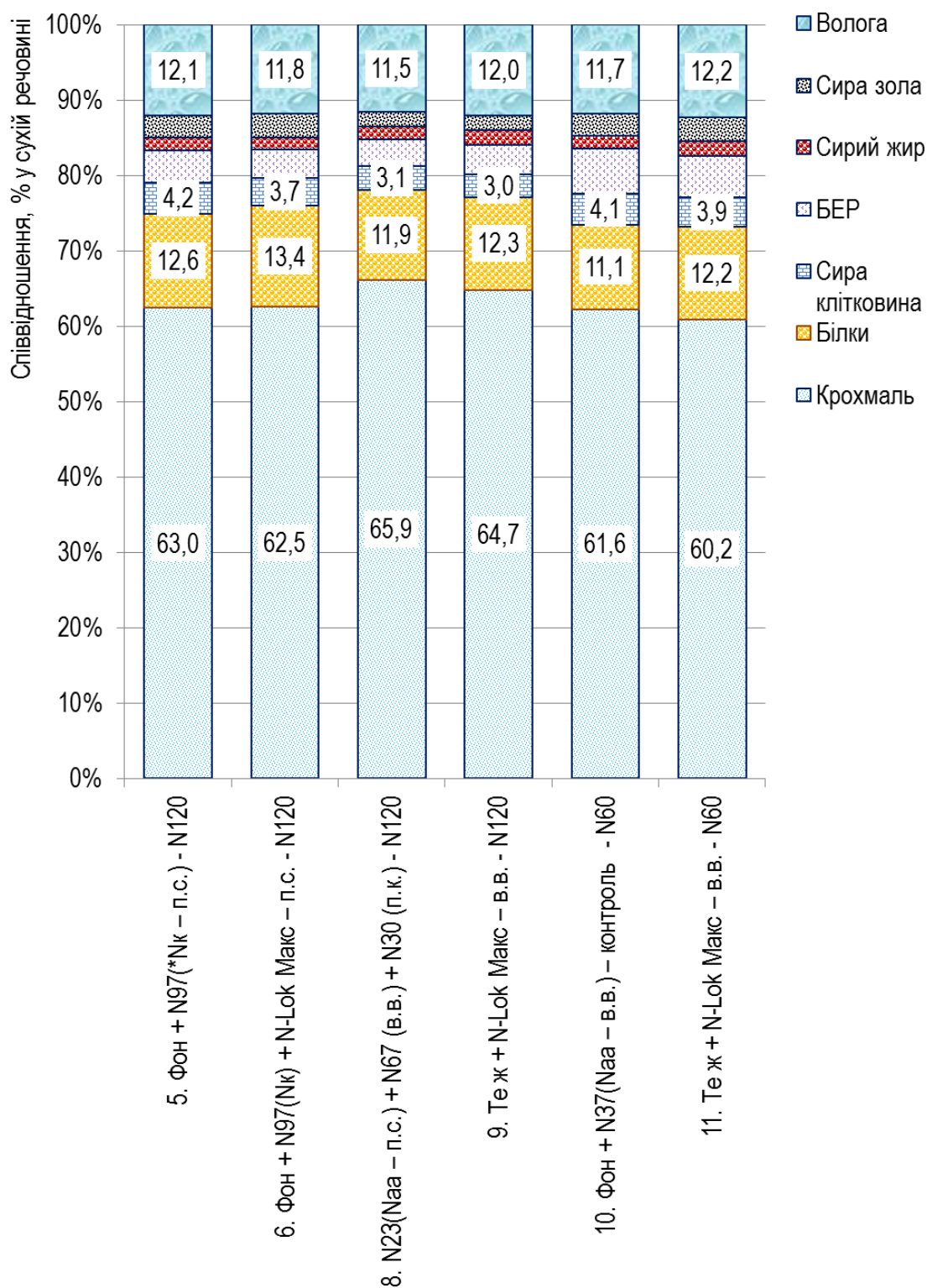


Рис. 6.5. Співвідношення вологи і сухих складових у зерні ячменю озимого залежно від норм азотного удобрення та впливу застосування нітрапірину у 2022 році, % у сухій речовині.

Азотна система удобрення ячменю озимого без внесення фосфорних і калійних добрив не сприяє накопиченню зольних сполук в рослинах і їхній

вміст становить лише 61–65 % від засвоєння у варіантах з повним мінеральним удобренням (вар. 6 і 11).

Подвоєння норми азотного добрива до N_{120} (на приклад вар. 5 і 6) зумовило підвищення крохмалистості зерна. З використанням нітрапірину воно було меншим.

Менша частка сирової клітковини за внесення тільки N_{120} спричинена розбалансуванням метаболічних процесів полімеризації нерозчинних вуглеводів за дефіциту фосфору, як агента енергетичних реакцій синтезу. Дефіцит калію на тлі високого забезпечення азотом створює проблеми з оводненістю внутрішньоклітинного середовища.

Між вмістом сирого протеїну і крохмалем, а також сирим протеїном та екстрактивністю зерна існує зворотна залежність. Тому найвищий вміст крохмалю спостерігається там, де білковість найменша. Встановлено наявність прямої залежності також між такими показниками, як вміст крохмалю та натура зерна, натура зерна – вага 1000 зерен, вміст крохмалю – вага 1000 зерен, екстрактивність – крупність, екстрактивність – натура зерна та екстрактивність – маса 1000 зерен [98].

Висновки до розділу 6

1. Система удобрення ячменю озимого, яка на фоні $P_{60}K_{60}$ передбачала внесення амонійної селітри в нормі N_{120} та нітрапірину у фазі відновлення вегетації, у різні роки забезпечувала високий вміст сирого протеїну у зерні – 13,0-13,3 %. Використання карбаміду замість амонійної селітри за такої ж норми удобрення азотом на фоні $P_{60}K_{60}$, але за внесення нітрапірину під оранку восени, зумовлювало більший на 0,4-0,2 % вміст сирого протеїну у зерні ячменю озимого. Внесення помірних норм мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ отримати зерно з білковістю 11,1-11,7 %, але й на такому фоні удобрення нітрапірин сприяв прибавці 0,5-1,1 % сирого протеїну у сухій масі зерна . Збільшення норми азоту до N_{120} та спричинене ним підвищення вмісту його

легкогідролізної форми в орному пласті сприяло накопиченню сирого протеїну сильніше, ніж накопичення нітратів.

2. Зерно, вирощене за системи удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, містило найменше крохмалю – від 60,2-61,6 %, найбільше вільних вуглеводів – БЕР, та вагому частку сирі золи в сухій речовині. Мінімальна зольність зерна і найбільший вміст крохмалю були за вирощування ячменю озимого без фосфорно-калійних добрив за внесення тільки амонійної селітри в нормі N_{120} (у тому числі за внесення частини азоту у підживлення N_{30}).

Результати досліджень за розділом 6 викладено у публікаціях [105; 109; 206].

Розділ 7

ЕКОНОМІЧНА Й ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОЄДНАННЯ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ІНГІБІТОРА НІТРИФІКАЦІЇ

В умовах конкурентної економіки, де ринок диктує доцільність тих, чи інших затратних прийомів вирощування культур, найважливішою є окупність і прибутковість додаткових капіталовкладень. Мінеральні добрива на ринку дорогі, а зерно закуповується недорого, тому зерновиробнику складно впроваджувати прогресивні елементи технології. Нашим завданням було розрахувати затрати і прибутки від вирощування ячменю озимого у 2020-2022 роках за економічної ситуації 2022 маркетингового року. Дотримуючись принципів сталого розвитку, фермери повинні зважати на енергозатратність чи енергоефективність зерновиробництва. Тому наступним нашим завданням було обчислення енергоємності та енергоефективності виробництва ячменю озимого в умовах Західного Лісостепу.

7.1. Комплексний аналіз результатів оптимізації живлення ячменю озимого

За узагальненнями дослідників [13; 30; 97; 98; 122; 131] ячмінь озимий є доволі стабільною за продуктивністю культурою, але й не надто збільшує врожайність за високих доз мінеральних добрив. Величина приросту врожаю з одиниці площі швидко зростає до рівня $N_{60}P_{60}K_{60}$, а з подальшим збільшенням норм удобрення темпи приросту стрімко знижуються і в діапазоні від $N_{100}P_{100}K_{100}$ до $N_{160}P_{160}K_{160}$ можуть не перевищувати 0,1 т/га. Тому окупність 1 кг NPK приростами зерна ячменю дуже вагомо зменшується за підвищення норм мінеральних добрив, а оптимум за усталеними в попередні десятиліття уявленнями є у межах $N_{20-60}P_{30-60}K_{20-60}$.

Узагальнення застосування підвищених норм удобрення в добу стрімкого нарощування потужностей хімічної промисловості в Україні у 70-80-ті роки ХХ ст. [75] показало, що в середньому від внесення $N_{45-70}P_{45-70}K_{40-60}$ збільшення урожаю ячменя в Поліській зоні України становить 0,8-0,9 т/га, а в Лісостепу на темно-сірих ґрунтах і чорноземах – в межах 0,53-0,77 т/га. Удобрення ячменю на ґрунтах підзолистого ряду має певні особливості. Унаслідок несприятливих агрофізичних і фізико-хімічних властивостей сірих та оглеєних ґрунтів окупність мінеральних добрив на них дуже залежить від ступеня окультуреності [75]. На кислих ґрунтах із pH_{KCl} менше за 5,0 мінеральні добрива проявляють достатню ефективність тільки на фоні вапнування. Водночас, і саме вапнування суттєво підвищує врожайність та білковість зерна ячменю.

Наші результати дослідження були подібними до результатів вивчення впливу внесення азотних добрив під ячмінь озимий деякими іншими дослідниками [53; 196]. Водночас, ефективність застосування нітрапірину восени або навесні дотепер є дискусійним [114; 121]. Вона є різною у природних зонах Світу [152], не однаковою за використання різних елементів технології [194; 116] і відмінна для різних культур [114; 177; 196; 235].

Наголошуємо на тому, що внесення амонійної селітри N_{97} у фазі відновлення вегетації + N-Lok Макс з осені, чи навесні на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ забезпечували навесні початковий вміст легкогідролізного азоту в орному шарі 132–136 мг/кг ґрунту, залежно від умов року.

Інгібітор нітрифікації – нітрапірін, сприяв збільшенню врожайності зерна на 0,3-0,6 т/га на різних варіантах удобрення ячменю озимого. Дія нітрапірину проявлялася у підвищенні вмісту легкогідролізного азоту та зменшенні концентрації нітратів на усіх нормах внесення азотних добрив. Так при внесенні 97 кг/га карбаміду на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ додавання нітрапірину під передпосівну культивуацію зменшувало вміст нітратів на 2,4 мг/кг ґрунту, за додавання його у відновлення вегетації на 2,6 мг/кг ґрунту за вмісту 9,3 мг/кг

грунту без інгібітора. Водночас, його застосування помітно нейтралізувало кислу реакцію ґрунту на початку і в кінці вегетації ячменю.

Врожай зерна ячменю дуже тісно корелював (табл. 7.1) із вмістом легкогідролізного азоту і нітратів верхньому ($r = 0,87-0,88$) та підорному ($r = 0,89-0,86$) пластах ґрунту у 2020 році. Виявлена оберненопропорційна кореляція показників врожаю та pH_{KCl} ґрунту. Чим вищий врожай був зібраний, тим менше нітратів залишалося в ґрунті до досягання ячменю озимого ($r = -0,44$ у верхній товщі, $r = -0,34$ у підорній товщі). Загалом врожайність ячменю корелювала з нормою удобрення азоту у 2020 році ($r = 0,76$) та у 2021 році ($r = 0,81$), концентрація нітратів у орному пласті – з нормою удобрення у 2020 році ($r = 0,88$).

Таблиця 7.1

Зв'язок урожаю зерна ячменю озимого з вмістом легкогідролізного азоту та нітратів у ґрунті і динамікою pH_{KCl} , $r(\pm)$

| Фактор живлення рослин (2020 р.) | | | | | |
|--|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| $N_{гидр}$ | | pH_{KCl} | | $N_{нитр}$ | |
| Глибина відбору, см | | | | | |
| 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| Час відбору ґрунтової проби – весна (після внесення добрив та нітрапірину) | | | | | |
| 0,87 | 0,89 | -0,60 | -0,69 | 0,88 | 0,86 |
| Час відбору ґрунтової проби – збирання врожаю | | | | | |
| -0,17 | 0,31 | -0,42 | -0,54 | -0,44 | -0,34 |

Площинна 3D-модель (див. рис. 5.7, розд. 5) показують позитивний синергічний вплив збільшення вмісту легкогідролізного азоту і нітратів у ґрунті на врожай зерна ячменю озимого. Отже, пригнічення активності ензимів нітрапірином не чинило негативного впливу на азотний поживний режим ґрунту для максимального врожаю. Норми удобрення азотом мають бути

достатніми для підтримання високого вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті, а нітрапірін сповільнює його нітрифікацію.

Збільшення норми азотного удобрення до 120 мг/кг сприяло росту вмісту нітратів у ґрунті. Дія нітрапірину стримувала підкислення ґрунту завдяки зменшенню концентрації нітратів і на великих фонах азоту легкогідролізного його дія була ефективніша. Синергічна дія нейтралізації рН_{KCl} у зв'язку з підвищенням концентрації нітратів виразно позитивно впливала на підвищення врожаю зерна.

Низка авторів [211; 231] стверджували, що інгібування нітрифікації зменшувало вимивання, нейтралізувало кислотність ґрунтів [152], а також стримувало емісію газоподібних форм азоту в атмосферу [177; 220].

Пригнічення мікробіоти нітрифікаторів, яке сповільнює синтез ензимів нітрифікації, нітрапірином сповільнює перетворення амонійних форм у нітрати на всіх нормах азотного удобрення. Норма внесення азоту N₁₂₀ спричинює річну емісію закису азоту в обсязі 121,5 кг/га. Максимальними викиди закису азоту від наявних нітратів у ґрунті є у варіантах максимальних норм внесення азотних добрив під ячмінь озимий, де не застосований нітрапірін. Величина викиду без інгібітора досягає 27,7-29,4 кг/га за рік. Нітрапірін обмежує кількість емісії закису азоту на 3,3-7,2 кг/га, залежно норми внесення азоту.

Проте, ринок зумовлює враховувати доцільність тих, чи інших реальних затратних прийомів вирощування культур, але зовсім не зобов'язує оцінювати неоплачувані позитиви щодо покращення родючості ґрунту [17] та безпеки природного довкілля. Найважливішими критеріями є окупність і прибутковість додаткових капіталовкладень.

Проблема виникає і з часом загострюється ще і з тієї причини, що чинні методи економічного аналізу зерновиробництва ніяким способом не враховують цінність і вартість використовуваних виробником поживних речовин, що є в ґрунті в достатку, або в дефіциті. Не маючи стандартизованої вартості ресурсів родючості ґрунту, ми її не враховуємо у собівартості врожаю.

Тому економічна оцінка використання ґрунтів, яка не враховує рН, доступні фонди азоту, фосфору, калію та інших поживних елементів, втрати їх від вимивання та емісії у формі парникових газів (N_2O) завжди буде не повною. Це призведе до виснаження ґрунтів, адже рентабельний врожай завжди найлегше отримати за мінімальних вкладень матеріальних цінностей та енергії у підтримання родючості ґрунту і його збереження у функціональному стані.

7.2. Економічний аналіз результатів застосування добрив і нітрапірину

На початку наголосимо, що 2022 маркетинговий рік з використаними діючими ринковими цінами на зернову продукцію і на агрохімікати, для українських виробників були вкрай не вигідними (див. розд. 2, табл. 2.2).

Економічна оцінка витрат на добрива та нітрапірин (рис. 7.1; дод. Е, табл. Е.1) показала, що при зборі зерна вартістю 59 120 грн/га чистий прибуток становив 29 681 грн/га за системи удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{97} (Нк) та N-Lok Макс (п.с.) (разом N_{120} – вар. 6).

Вищий чистий прибуток 31 568 грн/га було отримано за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{37} (Наа) та N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{60} – вар. 11). Чистий прибуток корелював з вартістю врожаю ($r = 0,64$). Найвищий чистий прибуток 35035 грн/га ми отримали, використавши лише амонійну селітру, з нормою азоту N_{120} , внесеною в два прийоми – на весняне підживлення N_{67} + нітрапірин, та підживлення N_{30} на початку колосіння (вар. 9). 32 303 грн/га чистого прибутку було отримано за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{67} (Наа) та N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{90} – вар. 13) і зборі такого ж обсягу врожаю зерна, як у варіанті 6. За економії 30 кг/га азоту ми отримали додатково 2 622 грн/га прибутку. За проаналізованими критеріями робимо висновок, що внесення помірних збалансованих норм добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) перед сівбою та N_{37}

(Naa) з використанням N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) є найбільш економічно доцільною системою удобрення.

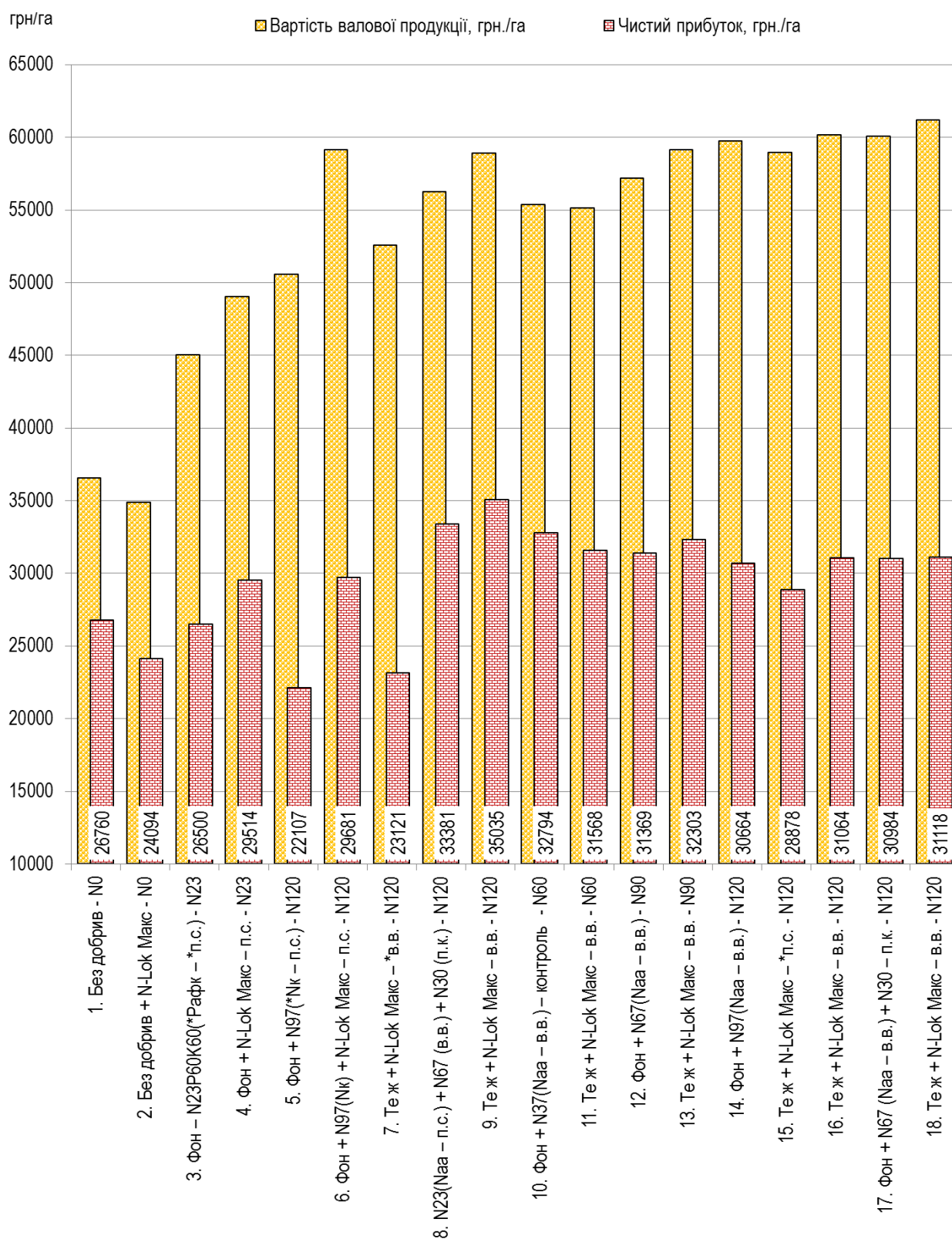


Рис. 7.1. Вартість врожаю і чистий прибуток від застосування добрив і N-Lok Макс (середнє за 2020-2022 рр.).

Проте, за підвищення дози азоту тільки на 37 кг/га збільшує додаткові затрати 2 279 грн/га.

Вартість приросту врожаю (рис. 7.2) була найбільшою – 24 516 грн/га, за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{67} (Naa) та N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{90} – вар. 13) і за внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) + N_{97} (Naa) та N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{120} – вар. 16) ще більшою – 24 996 грн/га.

Урожайність зерна ячменю озимого позитивно корелювала з обсягом додаткових коштів на використанні агрохімікати ($r = 0,68$). Але максимальне збільшення витрат на агрохімічні засоби навіть за зростання доходу від приросту урожаності не підвищувало їхню окупність (рис. 7.3).

Внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) перед сівбою, як фону, показало найвищу окупність затрат на агрохімікати у досліді – 3,03 грн/грн. (рис. 7.3 – вар. 3 і 4).

Відносно високу окупність витраченої одиниці витрат на агрохімікати – 2,49-2,56 грн/грн, порівняно з контролем (вар. 10) N_{23} (Naa) (п.с.) + N_{37} (Naa) (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{60}) показали системи удобрення без використання фосфорно-калійних добрив, але з внесенням норми азоту N_{120} у три прийоми: передпосівне (N_{23} – п.с.) + N_{67} у фазі відновлення вегетації + N_{30} на початку колосіння (вар. 8 і 9).

За системи удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) перед сівбою + N_{37} (Naa) + N-Lok Макс (у фазі відновлення вегетації) (разом N_{60} – вар. 11) окупність однієї гривні затрат на добрива та інгібітор була вищою, ніж на усіх інших варіантах удобрення, за виключенням варіантів суто азотного удобрення ячменю озимого, і була лише на 0,27 грн меншою, ніж на контролі $N_{60}P_{60}K_{60}$ (вар. 10).

Загалом по досліді окупність затрат мала обернену кореляцію з приростом врожаю ячменю озимого – $r = -0,76$.

Отже за критерієм окупності додаткових затрат на агрохімікати кращі результати показали системи удобрення без використання фосфорно-калійних

добрив, але з роздрібним внесенням азоту N_{23} (п.с.) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) (разом N_{120}) (вар. 8 і 9).

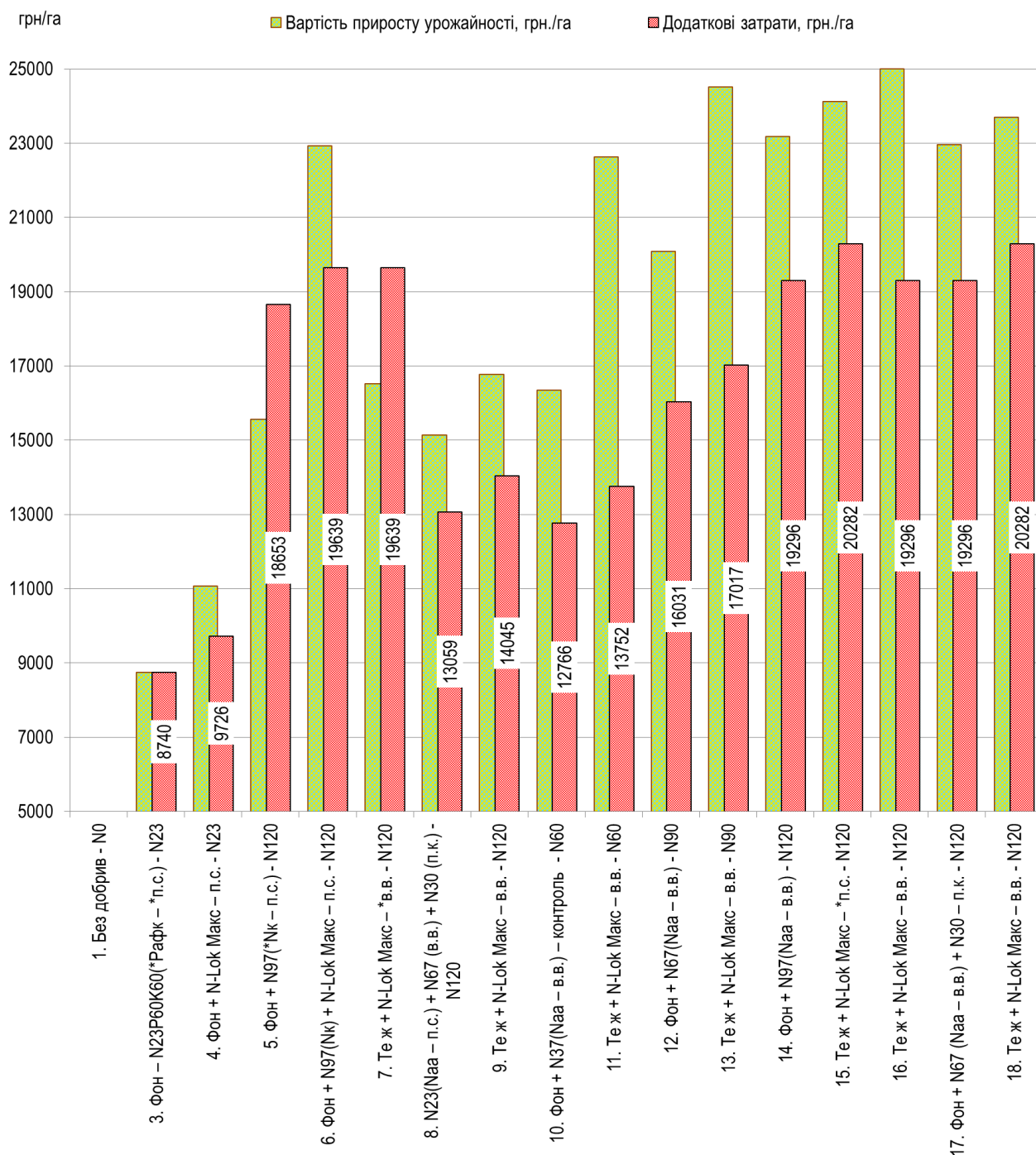


Рис. 7.2. Вартість приросту врожаю та додаткові затрати від застосування добрив і N-Lock Макс (середнє за 2020-2022 рр.).

Рентабельність вирощування високих врожаїв – важливий економічний показник. Найнижчий рівень рентабельності у досліді показали системи

удобрення ячменю озимого при використанні карбаміду, як азотного добрива, за норми азоту N_{120} (рис. 7.4 – вар 5, 6 і 7).

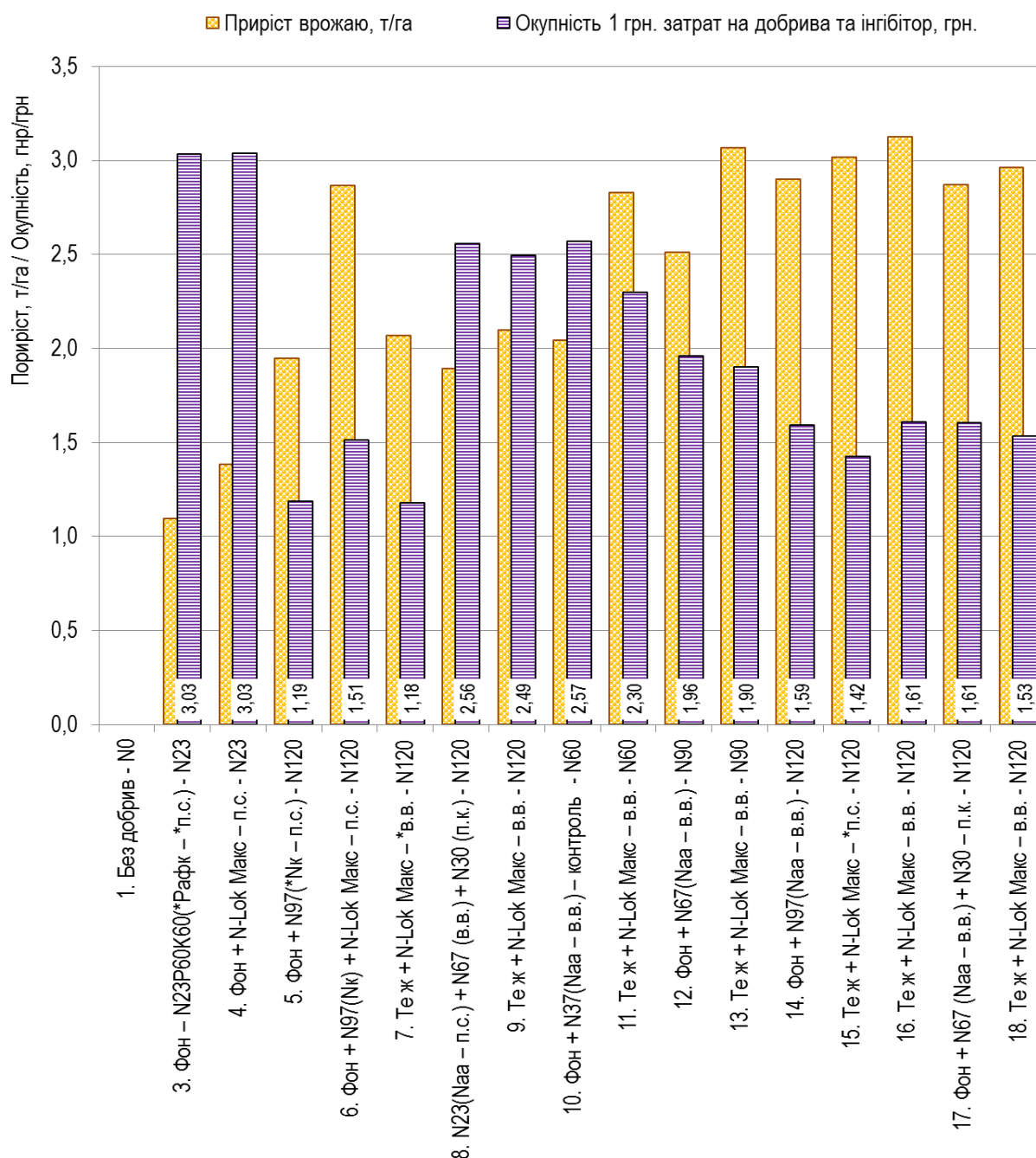


Рис. 7.3. Приріст врожаю та окупність застосування добрив і N-Lock Макс при вирощуванні ячменю озимого (середнє за 2020-2022 рр.).

Проте, варто зазначити, що поєднання внесення з карбамідом під передпосівну культивування стабілізатора азоту підвищувало рентабельність виробництва зерна на 23,1 %.

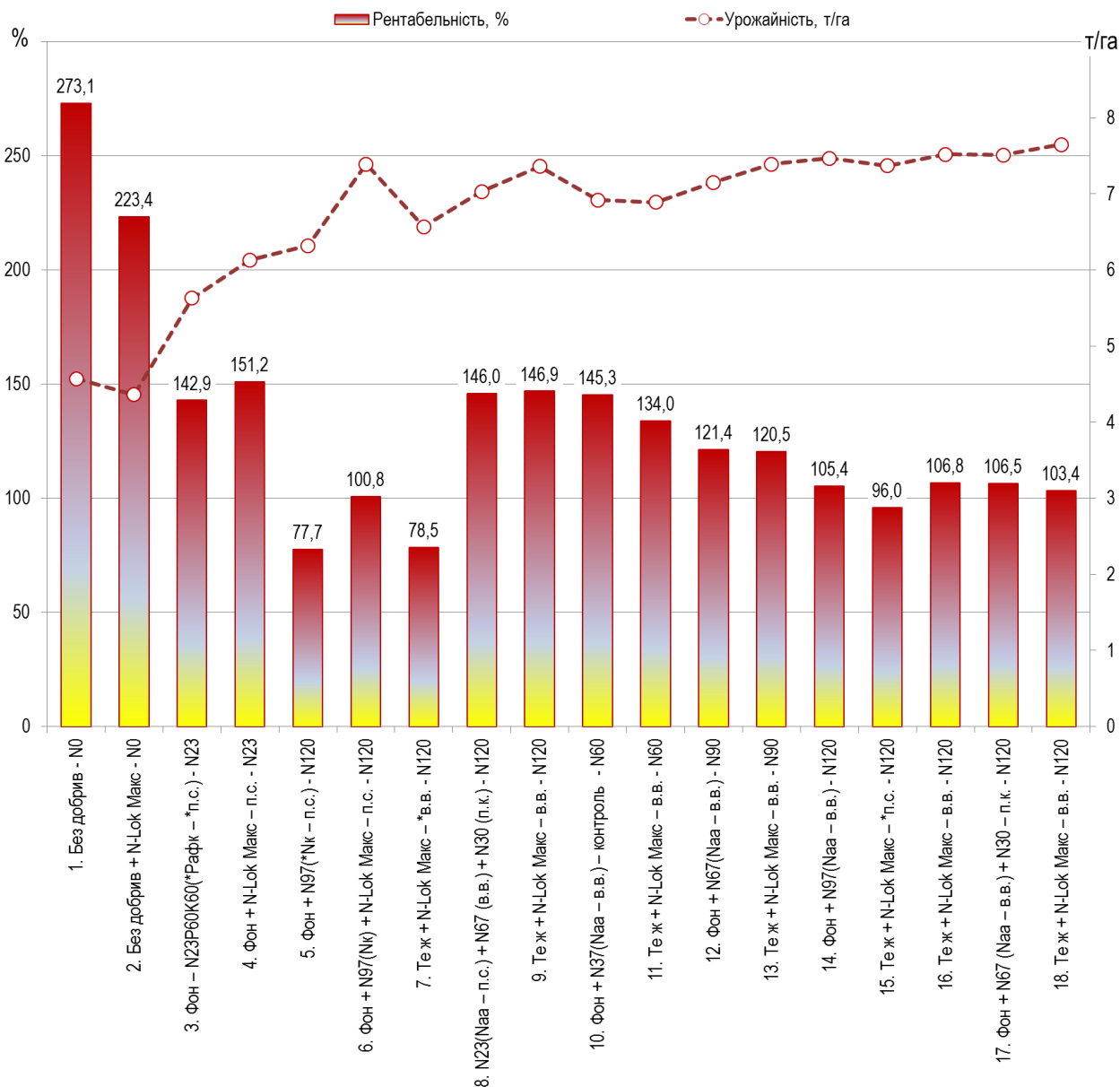


Рис. 7.4. Рентабельність застосування добрив та N-Lock Макс для підвищення врожайності ячменю озимого.

Внесення під ячмінь озимий амонійної селітри без використання фосфорно-калійних добрив, але у три прийоми на N_{23} (п.с.) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння) (разом N_{120}), забезпечувало відносно високу рентабельність використання агрохімікатів (вар. 8 і 9 – 146,0-146,9 %) порівняно з середніми, підвищеними та високими фонами азотних добрив. Загалом у досліді врожайність негативно корелювала з рентабельністю виробництва – $r = -0,78$.

Математичне моделювання площини регресії обсягу чистого прибутку залежно від врожайності та суми додаткових витрат коштів на мінеральні добрива та нітрапірін (рис. 7.5) дозволило відобразити вагомішу позитивну роль приросту врожаю ячменю озимого, порівняно зі слабшим негативним впливом зростання додаткових затрат.

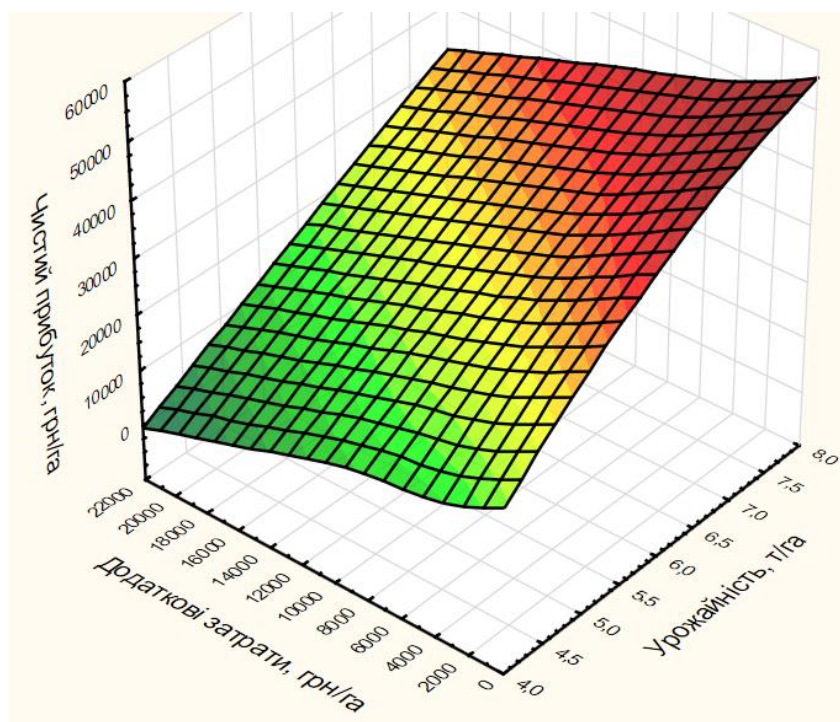


Рис. 7.5. Площина регресії обсягу чистого прибутку залежно від врожайності та додаткових витрат коштів на агрохімічні засоби

7.3. Енергетична ефективність вирощування ячменю озимого

Енергозатратність та енергоефективність зерновиробництва – важливий критерій раціональності сучасного землеробства. Енергоємність матеріалів визначається обсягом їх застосування, тому була вища там, де були внесені підвищені норми добрив та нітрапірін (рис. 7.6; дод. Е, табл. Е.2). Вони і зумовлювали зростання енерговитрат за внесення N_{120} як у формі карбаміду (вар. 5, 6 і 7), так і в формі амонійної селітри (вар. 8 і 9, 14-18). Енергоємність

зерна визначається рівнем його врожаю, тому відповідала зміні врожайності по варіантах систем удобрення.

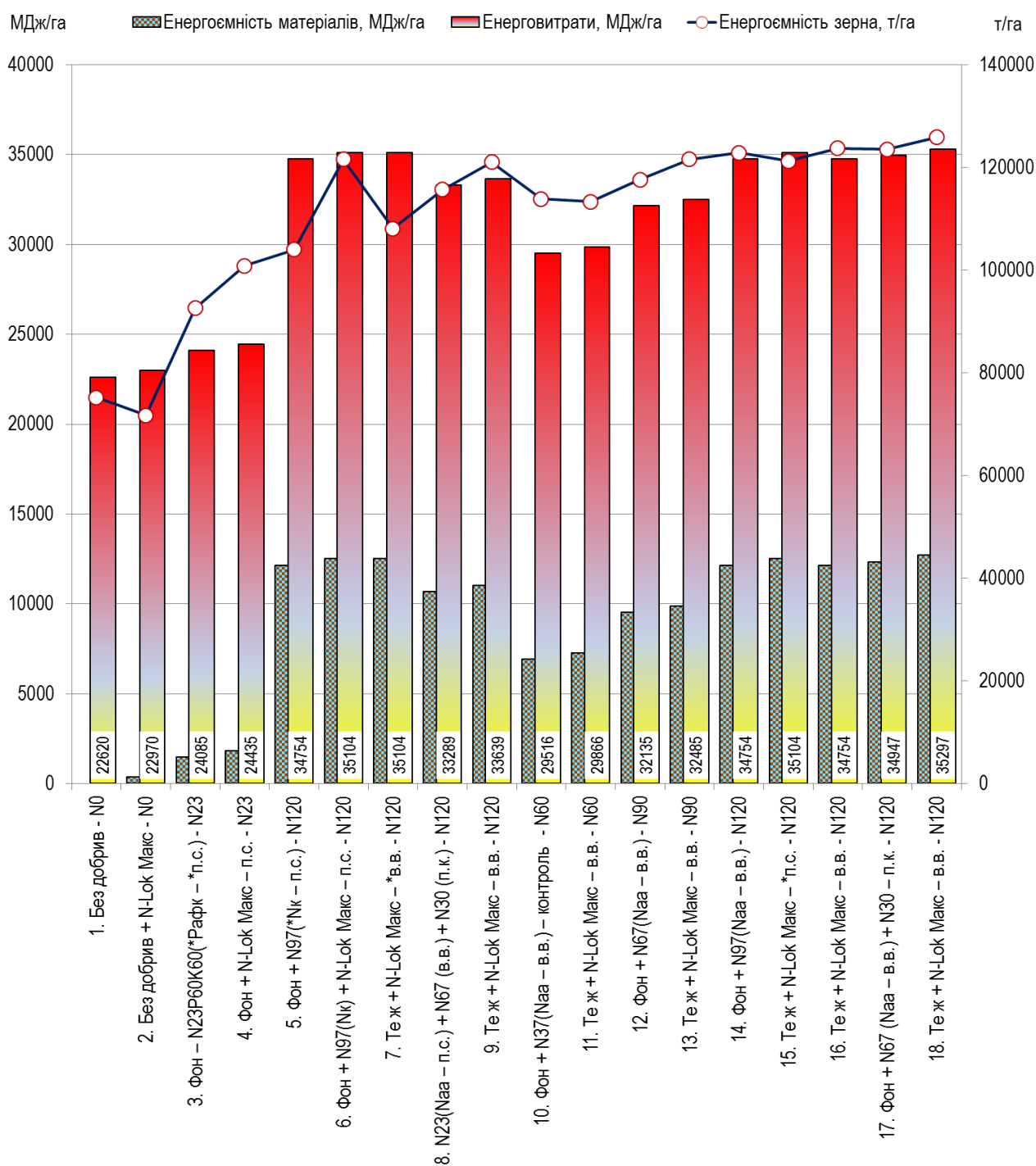


Рис. 7.6. Енергозатратність застосування добрив та N-Lock Макс для вирощування ячменю озимого.

Співвідношення енергоємності зібраного зерна з одного гектара та витрачених на один гектар енергоресурсів відображає коефіцієнт енергетичної

ефективності (K_{ee}) виробництва. Він був найвищим – 4,13 (рис. 7.7), за мінімального фонового удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ з використанням стабілізатора азоту (п.с.) (вар. 4). Приблизно однаковим K_{ee} виявився за внесення $N_{23}P_{60}K_{60} + N_{37}$ (N_{aa} – у відновлення вегетації) на контролі.

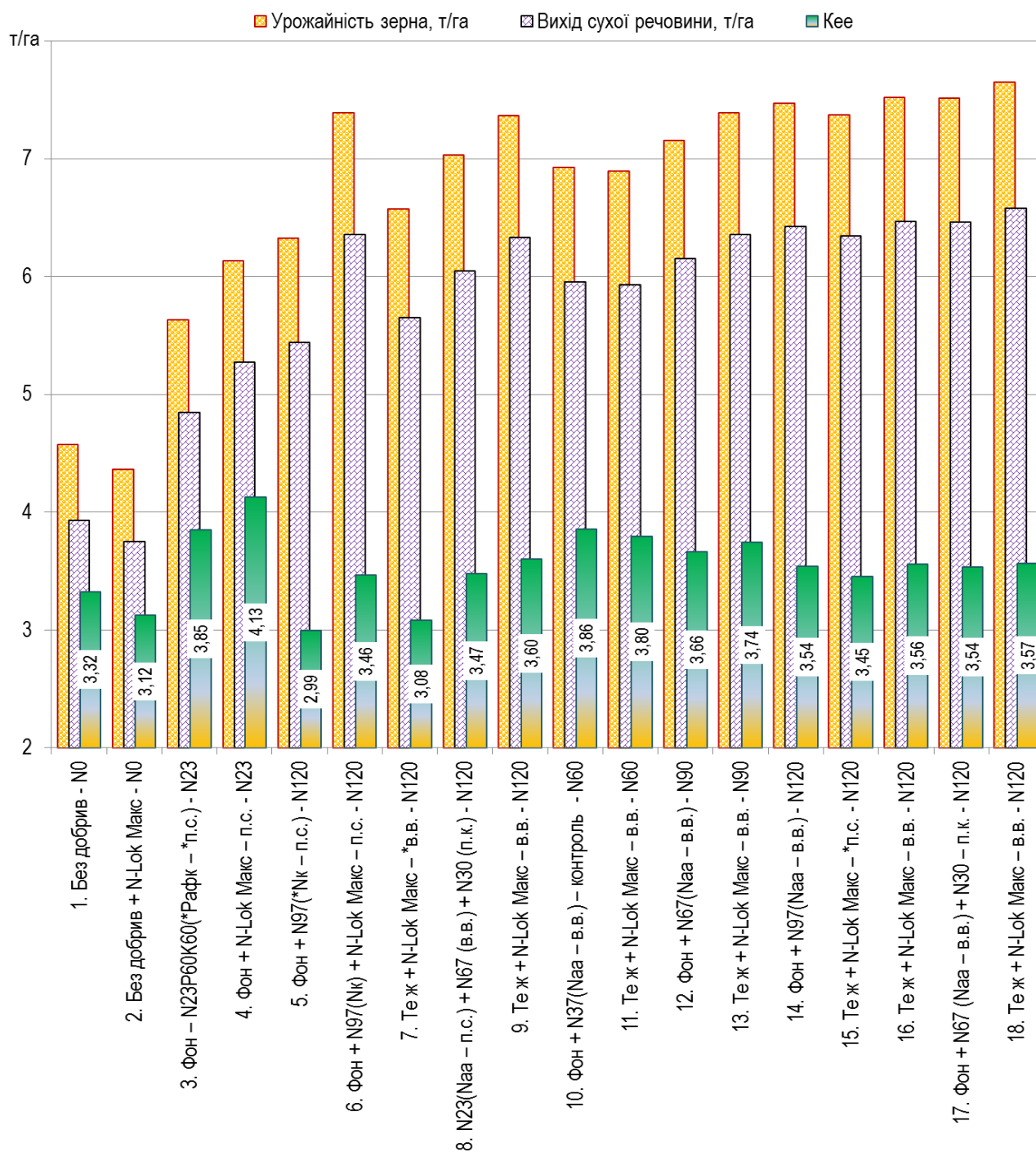


Рис. 7.7. Коефіцієнт енергетичної ефективності та вихід сухої речовини при застосуванні різних систем удобрення у поєднанні з N-Lock Макс за вирощування ячменю озимого.

Графічна модель площини регресії коефіцієнта енергетичної ефективності на рисунку 7.8(А) залежно від врожаю зерна і витраченої енергії показує найбільший вплив врожайності зерна, порівняно з ростом енерговитрат (дод. Е, табл. Е.2). Рисунок 7.8(Б) показує, що досягнути високого виходу сухих речовин з одиниці площі (дод. Е, табл. Е.2) неможливо без збільшення затрат енергії за одночасного зростання коефіцієнта енергетичної ефективності.

Висновки до розділу 7

1. За співвідношенням вартості валової продукції та чистого прибутку внесення помірних збалансованих норм добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ з використанням N-Lok Макс у фазі відновлення вегетації є найвигіднішою системою удобрення ячменю озимого, а нітрапирин є ефективним засобом підвищення віддачі добрив завдяки стабілізації азоту в ґрунті й за інших їх норм і форм.

За показниками окупності додаткових затрат на агрохімікати ефективні результати показали системи удобрення без використання фосфорно-калійних добрив, але з внесенням у три прийоми норми азоту N_{120} (N_{aa}): N_{23} (перед сівбою) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння).

2. Найнижчий рівень рентабельності серед систем удобрення ячменю озимого показали системи з використанням карбаміду, як азотного добрива в нормі N_{120} . Проте, важливо зауважити, що поєднання внесення під передпосівну культивуацію карбаміду і стабілізатора азоту підвищувало рентабельність виробництва зерна на 23,1 %.

Внесення під ячмінь озимий амонійної селітри без використання фосфорно-калійних добрив, але з внесенням у три прийоми норми N_{120} : N_{23} (перед сівбою) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння), забезпечувало відносно високу рентабельність використання агрохімікатів порівняно з іншими фонами збалансованого удобрення.

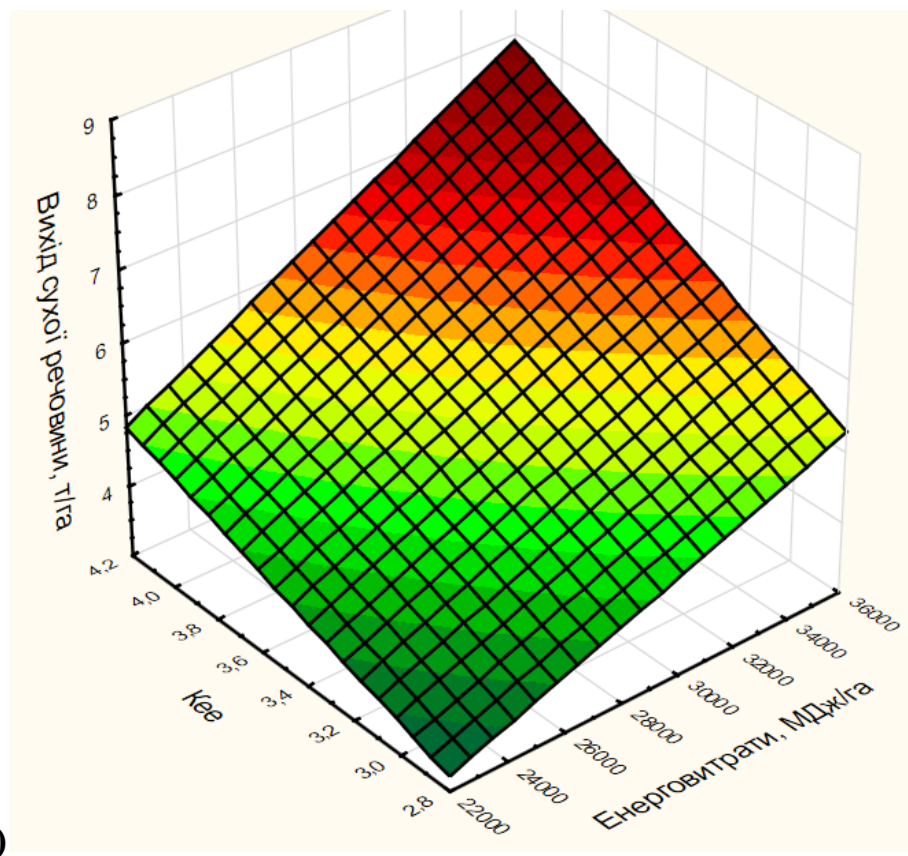
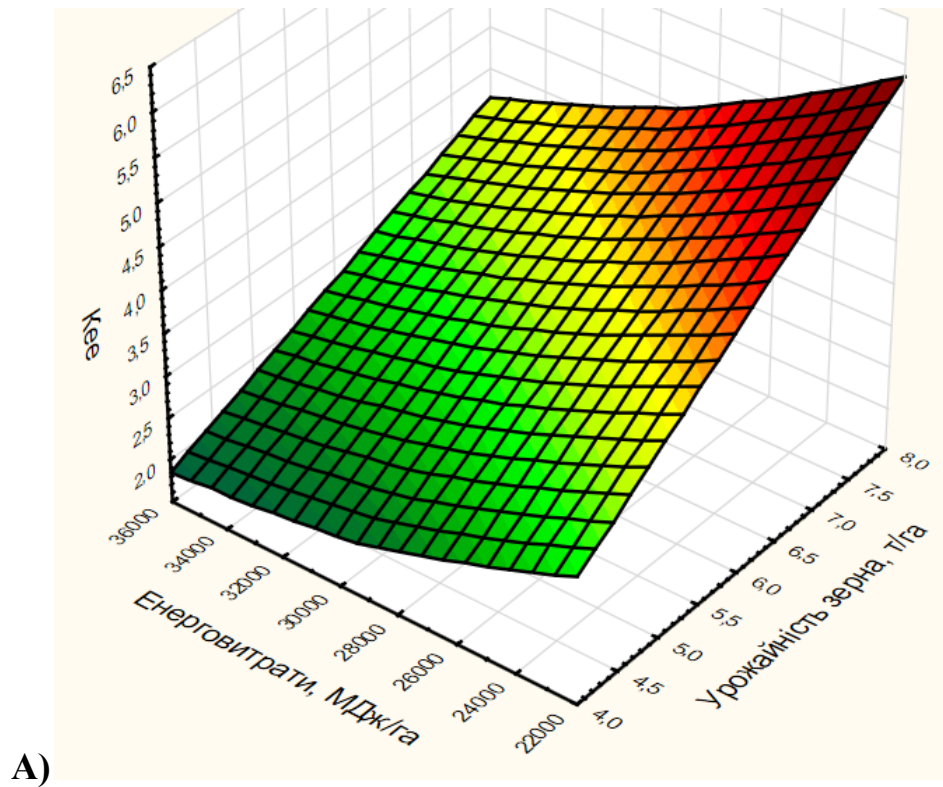


Рис. 7.8. 3D-модельовання взаємозв'язків показників енергоефективності виробництва зерна ячменю озимого.

3. Із позиції енергоефективності зерновиробництва її підвищення безпосередньо залежить від обсягу врожайності, а її зниження – від додаткового витрачання енергії у формі агрохімікатів.

4. Економічна оцінка вирощування зерна ячменю озимого, основним засобом якого є ґрунти, жодним чином не враховує зміни в рН, винесення з ґрунту доступних запасів азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення, втрати від вимивання їх із зони кореневої системи та емісії у формі парникових газів (N_2O). Тому розрахунок економічної ефективності за застарілими критеріями завжди не буде відображати реальні затрати зерновиробника і створювати ризики. У майбутньому наступить повне виснаження ґрунтів, якщо зерновиробник буде прагнути найбільший прибуток отримати за мінімальних вкладень матеріальних ресурсів та енергії у підтримання родючості ґрунту і його збереження у функціональному стані.

Результати досліджень за розділом 7 викладено у публікаціях [109; 191; 192; 206].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновані оптимальні норми азотного удобрення ячменю озимого з поєднанням внесення нітрапірину для оптимізації азотного живлення культури й отримання найвищого врожаю зерна з економічно раціональними затратами в умовах Західного Лісостепу на темно-сірому опідзоленому ґрунті.

1. Азотне удобрення ячменю озимого сортів інтенсивного типу в умовах сучасного землеробства у Західному Лісостепу, форми азотних добрив та дія інгібіторів ензимів нітрифікації є маловивченими питаннями, які потребують поглиблених наукових досліджень у конкретних польових умовах на типових ґрунтах. Інгібітор нітрапірин із серії препаратів N-Serve™, Instinct™, N-Lock™ імпортований в Україну у формі препарату N-Лок Макс. Це – 2-хлор-6-(трихлорметил) піридин, є ґрунтовим бактерицидом, який широко використовують за кордоном від 1974 року, у США – понад 40 років. Проте, дія інгібітора, що стабілізує нітрифікацію упродовж 8–10 тижнів, в умовах заходу України не відома.

2. На фосфорно-калійному фоні $P_{60}K_{60}$ та при застосуванні різних систем азотного удобрення ячменю озимого у темно-сірому опідзоленому легкосуглинковому слабогумусованому ґрунті до початку весняної вегетації в орному шарі ґрунту 0-20 см містилося максимально на 32-35 мг/кг (залежно від умов року) більше фосфору та максимально на 41 мг/кг більше калію за методом Чирикова, ніж на ділянках без добрив. Це покращувало живлення ячменю озимого доступними формами фосфору і калію для більш ефективного живлення рослин азотом від початку весняної вегетації.

3. Системи азотного удобрення N_{97} (амонійна селітра) при відновленні вегетації + N-Lok Макс (перед сівбою) або N_{97} (амонійна селітра) + N-Лок Макс при відновленні вегетації на фосфорно-калійних фонах $P_{60}K_{60}$ та за сумарної норми азоту N_{120} забезпечували вміст легкогідролізного азоту в орному шарі 132-136 мг/кг ґрунту, залежно від умов року. Такий запас доступного азоту

створював найсприятливіші ґрунтові умови для формування високої продуктивності ячменю озимого за відсутності аномалій погоди.

4. Інгібітор нітрифікації нітрапірін (марки N-Lok™) на малих і середніх нормах удобрення амонійною селітрою зменшував утворення нітратів навесні на 0,3-0,7 мг/кг в орному та на 0,1-1,3 мг/кг у підорному шарах ґрунту. За внесення 120 кг/га азоту з амонійною селітрою нітрапірін зменшував вміст нітратів на початку весняної вегетації на 0,6-1,2 мг/кг орного шару ґрунту, за використання карбаміду – на 2,4-2,6 мг/кг.

Норма внесення азоту N_{120} кг/га прогнозовано зумовлює річну емісію закису азоту в обсязі 121,5 кг/га, яка повністю визначається величиною удобрення азотом. Розраховані фактичні обсяги викиду закису азоту залежно від запасів нітратів у ґрунті показали, що максимальною емісією є у варіантах найбільших норм внесення азоту під ячмінь озимий, де не застосований нітрапірін. Величина викидів сягає 27,7-29,5 кг/га за рік. Нітрапірін обмежує кількість емісії закису азоту на 3,3-7,2 кг/га, залежно від норми внесення азоту.

5. Гідротермічні умови 2020, 2021 і 2022 років досліджень були цілком сприятливими для формування врожаю зерна ячменю озимого. Поділ норми азоту на три дози та внесення нітрапірину забезпечували добрий ріст рослин у висоту, проте вилягання стеблостою не спостерігали. Норма азотного удобрення N_{120} сприяла формуванню найдовшого колоса – від 6,2 до 6,4 см. Кількість зерен у колосі тісно корелює ($r = 0,94$) з урожайністю ячменю озимого. Довжина колоса та озерненість тісно пов'язані ($r = 0,89$). Довжина колоса й урожайність мають дещо меншу взаємозалежність ($r = 0,82$). Найкращий розвиток мали посіви у варіантах із застосуванням: фону ($N_{23}P_{60}K_{60}$) + N_{97} (амонійна селітра) (відновлення вегетації); фону + N_{97} (амонійна селітра) (відновлення вегетації) + N-Lok Макс (перед сівбою). Добрий і відмінний стан ячменю озимого забезпечило сумісне внесення фону $N_{23}P_{60}K_{60}$ + N_{97} (карбамід) та інгібітора восени. Стан посіву 4,5 бала від фази кушіння до 5,0 бала при формуванні зерна.

6. Найвищий середній за 2020-2022 рр. врожай забезпечило удобрення $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) + N_{67} (амонійна селітра) (відновлення вегетації) + N_{30} (початок колосіння) + N-Lok Макс (відновлення вегетації) за сумарної норми азоту N_{120} – 7,65 т/га зерна за середньорічної прибавки урожаю відносно контролю $N_{23}P_{60}K_{60}$ (перед сівбою) + N_{37} (амонійна селітра) (відновлення вегетації) – 0,73 т/га. Внесення карбаміду N_{97} з осені по фону $N_{23}P_{60}K_{60}$ та застосування нітрапірину перед сівбою забезпечувало в середньому за 2020-2022 рр. на 0,47 т/га вищий врожай ячменю озимого, порівняно з контролем $N_{60}P_{60}K_{60}$. За внесення $N_{23}P_{60}K_{60}$, як фону перед сівбою, та N_{97} (амонійна селітра) + N-Lok Макс при відновленні вегетації отримано середній за три роки врожай 7,51 т/га зерна. Варіант азотного підживлення культури з виокремленням N_{30} на початку колосіння не підтвердив доцільності розділення весняної дози азоту N_{97} без застосування нітрапірину.

7. Система удобрення ячменю озимого, яка на фоні $P_{60}K_{60}$ передбачала внесення амонійної селітри в нормі N_{120} та нітрапірину у фазі відновлення вегетації, у різні роки забезпечувала високий вміст сирого протеїну у зерні – 13,0-13,3 %. Відсутність фосфорно-калійного фону за внесення N_{120} зумовлювала меншу частку сирого протеїну у зерні. Використання карбаміду замість амонійної селітри за норми удобрення азотом N_{120} на фоні $P_{60}K_{60}$ з використанням нітрапірину зумовлювало більшу на 0,4-0,2 % частку сирого протеїну у зерні ячменю озимого. Збільшення норми азоту до N_{120} та спричинене ним підвищення вмісту легкогідролізного азоту в орному пласті сприяло накопиченню сирого протеїну сильніше, ніж збільшення запасів нітратів. За внесення під ячмінь озимий N_{120} уміст нітратів в орному пласті не має вирішального значення для синтезу білкових сполук у зерні. Це означає, що пригнічення нітрифікаційної активності мікроорганізмів у ґрунті за допомогою інгібітора N-Lok Макс не впливає на синтезі білків, а завдяки прибавці маси зерна сприяє більшому загальному збору сирого протеїну з одиниці площі посіву.

8. Зерно, вирощене за системи удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$, містило найменше крохмалю – від 60,2-61,6 %, найбільше вільних вуглеводів – БЕР, та вагому частку золи в сухій речовині. Мінімальна зольність зерна і найбільший вміст крохмалю була за вирощування ячменю озимого без фосфорно-калійних добрив за внесення тільки амонійної селітри N_{120} (у тому числі в підживлення N_{30}). Використання карбаміду замість селітри в аналогічній нормі, але на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ сприяло більшому накопиченню сирого жиру, клітковини та золи в зерні.

9. За співвідношенням вартості валової продукції та чистого прибутку внесення помірних збалансованих норм добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($N_{23}P_{60}K_{60}$ перед сівбою) та $N_{37} + N\text{-Lok Макс}$ у фазі відновлення вегетації є найвигіднішою системою удобрення. Нітрапирин є ефективним засобом підвищення віддачі удобрення завдяки стабілізації азоту в ґрунті й за підвищених і високих норм та інших форм азотних добрив. Найнижчий рівень рентабельності серед систем удобрення ячменю озимого показали варіанти з використанням карбаміду в нормі N_{120} , проте поєднання внесення під передпосівну культивуацію карбаміду і стабілізатора азоту підвищувало рентабельність виробництва зерна на 23,1 %. Внесення під ячмінь озимий амонійної селітри без використання фосфорно-калійних добрив, але з внесенням у три прийоми норми N_{120} : N_{23} (перед сівбою) + N_{67} (у фазі відновлення вегетації) + N_{30} (на початку колосіння), забезпечувало відносно високу рентабельність використання агрохімікатів, порівняно з іншими середніми, підвищеними та високими фонами збалансованого удобрення. З позиції енергоефективності зерновиробництва використання стабілізатора нітрифікації $N\text{-Lok Макс}$ для підвищення ефективності мінеральних добрив було доцільним, особливо за малих норм внесення азоту.

10. Економічна оцінка вирощування зерна ячменю озимого жодним чином не враховує зміни в рН, винесення з ґрунту з урожаєм засвоєних азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення, втрати легкокорозчинних нітратів через вимивання їх із ризосфери та емісії азоту у формі парникових газів (N_2O).

Тому зосередженість на економічній ефективності, розрахованій за застарілими критеріями, не буде відображати реальність і створювати ризики повного виснаження ґрунтів у разі мінімальних вкладень матеріальних ресурсів та енергії у підтримання родючості, як головної їхньої суспільної функції.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. З метою збільшення врожайності ячменю озимого та віддачі підвищених норм мінеральних добрив на темно-сірому опідзоленому слабогумусованому легкосуглинковому ґрунті у Західному Лісостепу вносити перед сівбою $N_{23}P_{60}K_{60}$ (у формі діамофоски), а у фазі відновлення вегетації N_{97} (у формі амонійної селітри) та застосувати стабілізатор азоту нітрапірін N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га з витратою робочого розчину 300 л/га при відновленні весняної вегетації.

2. Якщо за виробничої необхідності під ячмінь озимий з осені є потреба використовувати карбамід, то його доцільно вносити в нормі N_{97} на фоні $N_{23}P_{60}K_{60}$ (діамофоска) і застосувати під передпосівну культивуацію інгібітор нітрифікації N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га з витратою робочого розчину 300 л/га.

3. За використання фосфорно-калійного удобрення $P_{60}K_{60}$ підвищені (N_{90}) і високі (N_{120}) норми внесення азоту рекомендуємо поєднувати із внесенням нітрапірину у нормі 1,7 л/га у фазі відновлення вегетації, що забезпечить більшу віддачу збалансованого мінерального удобрення та вищу агрономічну та економічну ефективність зерновиробництва.

4. Застосовувати інгібітор нітрифікації на малих фонах мінерального живлення ячменю озимого ($N_{60}P_{60}K_{60}$ і менше) недоцільне, оскільки це може призвести до зниження врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрущенко Г. О. Грунти західних областей УРСР. Львів-Дубляни, 1970. 184 с.
2. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ, 2014. В-во ТОВ «РІА»БЛІЦ. 16 с. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-agroclimatic.pdf
3. Артеменко С. Ф., Рибка В. С., Ковтун О. В. Агротехнологічні та економічні особливості вирощування ячменю озимого після сої в сівозмінах короткої ротації залежно від мінерального живлення. *Журнал Зернові культури*. С. 67-70. URL: <https://journal-grain-crops.com/ru/arhiv/view/5948be60375c9.pdf>
4. Андрушко М. О. Оптимізація елементів технології вирощування гороху посівного в умовах західного Лісостепу. *Дисертація доктора філософії за спеціальністю 201 – Агрономія*. Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський, 2020 р.
5. Андрушко М. О. Формування продуктивності гороху залежно від елементів системи удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. Львів-Оброшине. 2019. Вип. 66. С. 8-20. DOI: <http://phzt-journal.isgkr.com.ua/ua-66/1.pdf>
6. Бенда Р. В. Економічна ефективність вирощування ячменю озимого залежно від строків сівби та мінерального живлення. *Бюлетень інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. URL: <https://www.institut-zerna.com/library/pdf6/16.pdf>
7. Бенда Р. В. Оптимізація прийомів вирощування ячменю озимого в умовах північної частини Степу України. *Дисертація канд. с.-г. наук: 06.01.09*. Нац. акад. аграр. наук України, Держ. установа Ін-т сіл. госп-ва степової зони Д., 2012. 220 с.

8. Бенда Р. В. Формування показників якості зерна ячменю озимого залежно від строків сівби та мінерального живлення. *Зрошуване землеробство*. 2015. №64. С. 20-22
9. Бикін А. В., Поліщук І. П. Вплив добрив на агрохімічні показники темно-сірого лісового ґрунту та продуктивність моркви столової. *Науковий вісник НАУ*, 2000. Вип. 32. С.185-188.
10. Божко В. Ю., Ярчук І. І., Лиман А. В. Урожайність та зимостійкість рослин ячменю озимого залежно від мінеральних добрив. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2015. № 3. С. 25-28.
11. Божко Л. Ю., Марченко О. П. Вплив погодних умов на формування продуктивності озимого ячменю в Закарпатській області. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип. 14. С. 71-77.
12. Вега Н. І. Зміна вмісту лужногідролізованого азоту в темно-сірому опідзоленому ґрунті під впливом мінерального удобрення ячменю ярого. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 83. С. 100-104. URL: https://agrosoil.yolasite.com/resources/2015_AiG_83_pp_100-104_UA.pdf
13. Веремеєнко С. І., Ткачук С. О., Трушева С. С. Продуктивність нових сортів ячменю озимого за мінерального удобрення на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Вісник ЖНАЕУ*, 2017, № 2 (61), т.1. С.12-19.
14. Влох В. Г., Тучапський О. Р. Ячмінь озимий у Західному регіоні України. Львів, 2004. 72 с.
15. Вожегова Р. А., Князєв О. В., Резніченко Н. Д. Вплив основних технологічних заходів на формування елементів структури врожаю та продуктивність ячменю озимого в сівозміні на зрошенні. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2016. Вип. 65. С. 48–51.

16. Впровадження Нітратної директиви в Україні. Новини. 17 Липня 2020. URL: https://menr.gov.ua/news/35591.html?fbclid=IwAR1WcstOugFHeoyIRfk9o_Vi4z4weytSrjldqFswMIJ1TpbO8cbvG_YMzkto
17. Гаврилюк В. А., Валецька О. В., Ковальчук Н. С. Ефективність органо-мінеральних добрив у післядії внесення. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2019. 1(85). С. 140-149.
18. Гаврилюк В. А., Бортнік А. М., Мелимука Р. Я. Кліматичний стан та екологічні зміни ґрунтового покриву зони Західного Полісся України. International scientific and practical conference. Lublin, the Republic of Poland March 12–13, 2021. doi.org/10.30525/978-9934-26-047-6-14
19. Гамаюнова В. В., Панфілова А. В., Бакланова Т. В., Кувшинова А. О., Касаткіна Т. О., Нагірний В. В. Збільшення зерновиробництва в зоні Степу України за рахунок вирощування ячменю та оптимізації його живлення. *Наукові горизонти. Scientific Horizons*. Житомир. 2020. №2 (87). С. 15-23
20. Гладкіх Є. Ю. Закономірності післядії добрив на фізико-хімічні і агрохімічні властивості чорнозему типового в умовах Лівобережного Лісостепу та його продуктивність : *автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.04* / Є. Ю. Гладкіх; НААН України, ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків, 2012. 22 с.
21. Гнатів П. С., Микитчин Я. В., Лагуш Н. І. Міграція кліматичних зон в Україні і культура соняшника. *Агрохімія і ґрунтознавство: історичний досвід й актуальні перспективи: матер. XX Міжнар. наук.-практ. Форум*, 18-20 вересня 2019 р., Львів, 2019. С. 138-141.
22. Гнатів П. С., Литвин О. Ф., Іванюк В. Я., Лагуш Н. І., Шестак В. Г., Коцюба Б. І. Створення й апробація програмного забезпечення статистичного моделювання вірогідності результатів агрономічних експериментів. *Вісник ЛНАУ. Агрономія*, 2022, 26: 157-162. [Doi.org/10.31734/agronomy2022.26.157](https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.157)

23. Гнатів П. С., Снітинський В. В., Польовий В. М., та ін. Коливання клімату й екосистемогенез українського соціуму від Різдва Христового до становлення Великого Князівства Литовського. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2020, т. 22, № 92. С. 100-108.
24. Гнатів П. С., Шестак В. Г., Полюхович М. М., Вега Н. І., Іванюк В. Я. Тенденції зміни клімату за спостереженнями у Львівському східному районі Пасмового Побужжя Західноукраїнської широколистянолісової зони. *Матер. I Міжнар. н.-п. конф.: «Теоретичні та практичні аспекти розвитку садівництва, овочівництва та виноградарства» (online). ЛНАУ, Львів-Дубляни: 2021. URL: <http://www.lnau.edu.ua/lnau/attachments/Міжн%20наук-практ.%20конф.%20-%20ЛНАУ%20-%202021.pdf>.*
25. Гнатів П. С., Лагуш Н. І., Шестак В. Г. Зміни клімату в Україні і фіторізноманіття агрокультур. *ПРОБЛЕМИ УНИКНЕННЯ ВТРАТ БІОРИЗНОМАНІТТЯ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ. Матеріали міжн. наук. конф., присвяченої 100-річчю від дня народження професора Костянтина Малиновського* (Львів, 14-15 травня 2020 р.). Львів, 2020. С. 78-80.
26. Гораш О. С. Взаємозв'язок елементів продуктивності ячменю з початковими етапами розвитку. *Вісник аграрної науки*, 2012. № 11. С. 22-24.
27. Господаренко Г. М. Ефективність різних форм, строків і способів внесення мінеральних добрив та інгібіторів нітрифікації під буряк цукровий. *Агрохімічна складова технології вирощування буряку цукрового* / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2020. С. 139–188.
28. Господаренко Г. М. Удобрення сільськогосподарських культур. К.: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2016. 276 с.
29. Гораш О. С., Климишена Р. І. Застосування позакореневого підживлення в технології вирощування пивоварного ячменю. *Агроном*. 2021. №2. С. 92-95.

30. Гораш О. С., Климишена Р. І. Ячмінь: управління пивоварною якістю: монографія. Кам'янець-Подільський: Друкарня Рута, 2020. 260 с.
31. Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Трансформація кислотно-основних властивостей ґрунту за тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського НУС*. 2014. №1. С. 8–12.
32. Гудзенко В. М. Урожайність, пластичність та стабільність ячменю озимого у Центральному Лісостепу України. *Селекція і насінництво*. 2013. Вип. 103. С. 230-239.
33. Гудзенко В. М., Васильківський С. П. Основні напрями та завдання селекції ячменю озимого у Центральному Лісостепу України. Новітні агротехнології. 2016. № 1. URL: http://plant.gov.ua/sites/default/files/articles/2_-_gudzenko_vasytkivskyi.pdf.
34. Ґрунти Львівської області : колективна монографія / за ред. С. П. Позняка. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2019. 424 с. (друк. арк. 26.5/2.65)
35. Демидов О. А., Васильківський С. П., Гудзенко В. М. Рівень вияву та зв'язок урожайності, висоти рослин і стійкості до вилягання ячменю озимого у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 10. С. 30-34.
36. Довідник поживності кормів / М. М. Карпусь, П. С. Макаренко, В. Г. Кургак та ін. К.: Урожай, 1978. 260 с.
37. Дослідна справа в агрономії: навч. посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков, В. К. Пузік, С. М. Каленська та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Х.: Майдан, 2016. 316 с.
38. Дегодюк Е. Г., Дегодюк С. Е., Гуральчук С. З. Трансформація біосферних функцій педосфери у процесах кругообігу біогенних елементів в антропогенно порушених фітоценозах. *Живлення рослин: теорія і практика*. Київ: Логос, 2005. С. 14-43.
39. Доценко О., Мірошніченко М., Господаренко Г. Система удобрення озимого ячменю. Пропозиція. 2015. URL: <https://propozitsiya.com/ua/sistema-udobrennya-yachmenyu-ozimogo>

40. ДСТУ 8066:2015 Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності [Чинний від 2017-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 11 с.
41. ДСТУ 4115-2002. (2002). Якість ґрунту. Визначення доступних сполук фосфору та калію методом Чирикова. [Чинний від 2003-01-01]. Київ: Державний комітет України з питань технологічного регулювання та споживчої політики, 2002. 9 с.
42. ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда [Чинний від 2016-07-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 5 с.
43. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. К.: Держстандарт України, 2003. 173 с.
44. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2009-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
45. ДСТУ 4729:2007. Якість ґрунту; Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського. Вид. офіц. [Чинний від 2008-01-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 9 с.
46. Єщенко В. О. та ін. Основи наукових досліджень в агрономії: за ред. В. О. Єщенка. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
47. Жатов О. Г., Гуліда Г. В. Роль мінеральних добрив у процесі формування високоврожайного посіву ячменю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Агрономія і біологія"*. 2011. Вип. 4. С. 61-64.
48. Жемела Г. П., Шкурко В. С. Особливості впливу умов вирощування та сортових властивостей на крупність і вміст білка в зерні пивоварного ячменю. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. Серія «Сільське господарство. Рослинництво»*. 2010. № 3. С. 10–13. .

49. Заєць С. О., Кисіль Л. Б. Фотосинтетична діяльність рослин і врожайність зерна ячменю озимого (*Hordeum vulgare* L.) залежно від сорту, строків сівби та регуляторів росту. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 1–2. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/12648>.
50. Заєць С. О. Продуктивність ячменю озимого залежно від видів азотних добрив та підживлення . *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 73-79.
51. Кириченко В.В., Костромітін В.М., Красиловець Ю.Г. та ін. Зміни клімату і насіннева продуктивність польових культур в умовах східної частини Лісостепу. *Агротехнологія польових культур*. Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків. 2009. С. 6-21.
52. Климишена Р. І. Вплив позакореневого підживлення рослин ячменю на пивоварну якість зерна за числом Кольбаха. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2020. №1. С. 49-56.
53. Климишена Р. І. Обґрунтування елементів технології вирощування пивоварного ячменю озимого в умовах південної частини Лісостепу Західного. *Дисертація канд. с.-г. наук: 06.01.09*. Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т. Кам'янець-Подільський, 2012. 220 с.
54. Климишена Р. І. Продуктивність ячменю озимого залежно від удобрення та норм висіву насіння. *Вісн. аграр. науки*. 2012. №10. С. 76–79.
55. Компанія Dow Chemical. 2012. Оцінка безпеки продукту: Нітрапірин. 6 стор. http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_08c1/0901b803808c186f.pdf
56. Кулик А. Ф., Василюк О. М., Рошка О. В. 2007. Активність інвертази та уреазы у ґрунтах лісових біогеоценозів Присамар'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2007. 15(1). 77-81. URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/visnik/fbem/program_5e540a640a84d.pdf

57. Лихочвор В. В. Біологічне рослинництво. Львів : Українські технології, 2004. 312 с.
58. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. - 2-ге вид., доп. і випр. Львів: Українські технології, 2012. 324 с.
59. Лихочвор В., Потопляк О., Бомба М., Дудар І., Литвин О., Дудар О. Урожайність та біоенергетична оцінка вирощування ячменю ярого залежно від удобрення та захисту рослин від хвороб. *Вісник Львівського національного аграрного університету*, 2015. №19. С. 44-48.
60. Лихочвор В. В., Матковська М. В. Урожайність сортів озимого ячменю залежно від норм добрив, морфорегуляторів та фунгіцидів в умовах Західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 2017. Вип. 62. С. 91-101. <https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/62ua/10.pdf>
61. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур : підручник. 3-тє вид., переробл. Львів : Українські технології, 2021. 284 с.
62. Лихочвор В. В., Проць Р. Р., Долежал Я. Ячмінь. Львів: НВФ "Українські технології", 2003. 88 с.
63. Логінова І. В., Городній М. М., Грицак І. П. Агрохімічна оцінка ролі інгібітора нітрифікації 3(5)-метилпіразолу в підвищенні ефективності азотних добрив. Наукові доповіді НУБіП. 2010-6 (22). URL: <https://nd.nubip.edu.ua/2010-6/10livnfe.pdf>
64. Лопушняк В. І. Азотний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту за тривалого застосування добрив у плодозмінній сівозміні. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва: ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство*. 2008. № 4. С. 59-62.
65. Лопушняк В. І. Вплив різних систем удобрення на азотний фонд темно-сірого опідзоленого ґрунту Західного Лісостепу України. *Агрохімія і*

- грунтознавство: міжвід. темат. наук. зб.* Харків: ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського, 2013. Вип. 80. С. 58–65.
66. Лопушняк В. І., Вега Н. І. Вплив рівня мінерального живлення ячменю ярого на вміст рухомих сполук фосфору в темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 2. Том 1. Ч.2. С.30-37. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/1769/1/n85v2r2015t1lopushnyak.pdf>
67. Лопушняк В. І., Шевчук М. Й., Полюхович М. М., Пархуць Б. І., Пархуць І. М. 555 запитань і відповідей з агрохімії та агрохімсервісу: навч.-довід. посіб. Львів : Простір-М, 2018. 488 с.
68. Лопушняк В., Полюхович М., Лагуш Н. Вплив систем удобрення на родючість темно-сірих опідзолених ґрунтів та продуктивність культур польової сівозміни Західного Лісостепу України. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 214–223.
69. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.
70. Малярчук М. П., Марковська О. Є., Коваленко А. М., Новохижній М. В., Тимошенко Г. З., Кіріяк Ю. П., Малярчук А. С., Лужанський І. Ю., Гальченко Н. М., Резніченко Н. Д. Наукові основи адаптації систем землеробства до змін клімату в Південному Степу України: монографія за наук. ред. чл.-кор. Р. А. Вожегової. Херсон: Олді-Плюс, 2018. С. 406-412, 539–539.
71. Матковська М. В. Формування показників структури врожаю сортів ячменю озимого залежно від застосування регуляторів росту в умовах Західного Лісостепу. *Таврійський науковий вісник*, 2018. №112. С.116-121.
72. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільському господарстві. К.: Урожай, 1988. 223 с.

73. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / За ред. Яцука І. П., Балюка С. А. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с.
74. Мінімальна і максимальна добові температури, атмосферний тиск, кількість опадів 2019, 2020, 2021 і 2022 років по метеопосту Львів. Метеопост. URL: <https://meteorpost.com/weather/archive/>
75. Михайлов Н. Минеральные удобрения и урожай. *Зерновое хозяйство*. 1972. 3: 26-29.
76. Мойсієнко В. В., Подольський О. М. Продуктивність ячменю озимого сорту Хайлайт залежно від елементів технології вирощування. *Наукові горизонти*. 2019. № 10. С. 13–19.
77. Мохаммед Ю. А., Дженсен Т., Хесер Дж., Чен Ч. 2013. Інгібітори, спосіб і час застосування азоту для покращення виробництва озимої пшениці в центральній частині Монтани. In Proceedings of the Western Nutrient Management Conference, Reno, NV.
78. Навчально-красознавчий атлас Львівської області / Кравчук Я. С., Брусак В. П., Дикий І. В. та ін. Львів: ЛДУ-ДУ “Львівська політехніка” ВНТЛ, 1999. 25 с.
79. Нагірний В. В. Вплив строків сівби та мікродобрив на продуктивність сортів ячменю озимого в умовах півдня України. *Дисертація. Спеціальність 06.01.09 «Рослинництво»*. Державний вищий навчальний заклад «Херсонський державний аграрний університет», Херсон, 2020. 202 с.
80. Олійник О. О. Агрохімічна оцінка застосування продуктів вермикультивування на темно-сірих опідзолених ґрунтах Західного Лісостепу України : *Дис... канд. с.-г. наук: 06.01.04*. Український держ. ун-т водного господарства та природокористування. Рівне, 2003. 179 с.
81. Павленко В. Візьміть втрати азоту під контроль. *Зелені сторінки*. Дюпон Україна, 2018. №2. URL: https://agromage.com/stat_id.php?id=991

82. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид., виправ., доповн. Львів : Українські технології, 2020. 806 с.
83. Погромська Я. А. Вміст нітратів у ґрунті під зерно-просапною сівозміною залежно від способу його обробітку та метеорологічних факторів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. 87: 100-106. URL: [http://agrochemsoilsci.org/87/Full %20text, %20p.100-106, %20No. %2087, %202018.pdf](http://agrochemsoilsci.org/87/Full%20text,%20p.100-106,%20No.%2087,%202018.pdf)
84. Поліщук І. П. Агрохімічна оцінка застосування добрив під моркву столову на темно-сірому опідзоленому ґрунті Північного Лісостепу України : дис... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Національний аграрний ун-т. К., 2005.
85. Попов С. И., Панченко И. А., Полеско Ю. А. Белковость зерна ячменя в связи с использованием удобрений и условиями погоды. *Вісник ХНАУ*, 2002. 2: 253-256.
86. Постнікова Г. В. Аналіз господарської діяльності сільськогосподарських підприємств. К.: Вища шк., 1987. 320 с.
87. Продуктивність ячменю озимого-дворучки за осінньої та весняної сівби залежно від обробки насіння і фону живлення / І. Д. Ткаліч та ін. Бюл. Інституту сільського господарства степової зони НААНУ. 2016. № 7. С. 31–35.
88. Разумов В. А. Справочник лаборанта-химика по анализу кормов. М. Россельхозиздат, 1986. С. 94–244.
89. Резніченко Н. Д. Динаміка накопичення сирієї маси та сухої речовини сортами ячменю озимого за різних умов вирощування. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2019. Вип. № 72. С. 113–117.
90. Резніченко Н. Д. Формування площі листкової поверхні рослинами ячменю озимого (*Hordeum vulgare* L.) за різних технологічних прийомів вирощування. *Зрошуване землеробство: міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2017. Вип. 68. С. 123–126.

91. Резніченко Н. Д. Збережемо потенціал ячменю озимого. Аграрний тиждень. Україна: журнал аграрних інновацій. №12 (325), Київ, 2017. С. 49–50.
92. Семенко Л. О. Агрохімічна оцінка використання добрив за вирощування капусти білоголової ранньої на темно-сірому опідзоленому ґрунті Лісостепу Правобережного України : *Дис... канд. наук: 06.01.04*. 2009.
93. Системи удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку ХХІ століття : монографія / за ред. С. А. Балюка і М. М. Мірошніченка. Київ : Альфа-стевія, 2016. 400 с.
94. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М. та ін., Біоенергетична оцінка сільського виробництва (науково-методична забезпечення). Київ: Аграрна наука, 2005. 200 с.
95. Температура повітря, опади і вітряність за даними метеспостережень Метеостанції м. Львів. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33187/climate/climate_stations/20/3/
96. Терлецька М. І., Біловус Г. Я., Пушак В. І., Яремко В. Я. Оцінка сортів ячменю озимого за адаптивністю до умов навколишнього середовища в конкурсному та екологічному сортовипробуванні. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (2). С.123-136. DOI: 10.32636/01308521.2021-(69)-2-8
97. Тучапський О. Р. Удосконалення технології вирощування озимого ячменю – запорука одержання високих і стабільних урожаїв зерна. *Сільський господар*. 2011. №3/4. С. 21-23.
98. Тучапський О. Р. Формування урожаю і ячменю залежно від строків сівби, норм висіву західного Лісостепу України : *автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.01.09 «Рослинництво»*. Херсон, 2002. 15 с.

99. Управління якістю зерна ячменю (рекомендації для спеціалістів сільськогосподарських підприємств і керівників господарств) : за ред. доктора біологічних наук Мірошніченка М. М. Харків. 2010. 53 с.
100. Фергюсон Р. Б., Ларк Р. М. і Слейтер Г. П. 2003. Підходи до визначення зони управління для використання інгібіторів нітрифікації. *Журнал ґрунтознавчого товариства Америки* 67(3): 937–47.
101. Фукс Б., Баумгартнер Н. Застосування стабілізаторів азотних добрив. *Журнал “Агроном”*. 2020. URL: <https://www.agronom.com.ua/zastosuvannya-stabilizatoriv-azotnyh-dobryv/>
102. Черенков А. В., Солодушко М. М., Желязков О. І., Хорішко С. А. Сучасні технології вирощування пшениці озимої в зоні Степу. Дніпропетровськ, 2014. 115 с.
103. Черенков А. В., Солодушко М. М. Кліматичні зміни та особливості вирощування пшениці озимої в умовах Північного Степу. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 5. С. 16 -20.
104. Шевчук О. В. Поживний режим темно-сірого опідзоленого ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур за альтернативних систем удобрення в Західному Лісостепу України. *Дисертація канд. с.-г. наук: 06.01.04*. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ, 2014. 200 с.
105. Шестак В. Г. Біометричні аспекти і фенологічні етапи формування врожаю ячменю озимого під впливом удобрення та інгібітора нітрифікації. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Вип. 101, Част. 1, 2022. С. 28-46. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-28-46.
106. Шестак В. Г. Вплив інгібітора нітрифікації N-Лок Макс при внесенні під ячмінь озимий на викиди закису азоту в атмосферу. XI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: продовольча безпека в умовах воєнного часу і повоєнної відбудови країни», 10 листопада 2022 р.

- (Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН (с. Оброшине).
107. Шестак В. Г. Значення фосфорно-калійних добрив для дії азоту та нітрапірину при вирощуванні ячменю озимого у Західному Ліссостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72(1): 105-134. doi: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-8.
108. Шестак В. Г. Кліматичні чинники росту й розвитку ячменю озимого. Матеріали XXIII Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», що відбувся 4-5 жовтня 2022 р. (ЛНУП, м. Львів – м. Дубляни). С.275-278. URL: <http://lnau.edu.ua/lnau/files/Forum2022.pdf>
109. Шестак В. Г., Гнатів П. С. Урожайність ячменю озимого за різних систем мінерального удобрення та застосування інгібітора нітрифікації. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2022, т 24, № 97. doi: 10.32718/nvlvet-a9703.
110. Шувар І. А. Агроекологічні основи високоефективного вирощування польових культур у сівозмінах біологічного землеробства: рекомендації. Львів: Українські технології. 2003. 36 с.
111. Шувар І. А., Гриник С. І. Вплив комплексного застосування обробітку та удобрення на структурний склад ґрунту і врожайність пшениці ярої в умовах Передкарпаття. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2019. С. 70–76.
112. Ярчук І. І., Божко В. Ю., Невтриніс А. В. Зимостійкість ячменю озимого залежно від строків сівби, норм висіву, доз та співвідношень мінеральних добрив. *Таврійський науковий вісник*. № 80. С. 175–178.
113. A review of the recent scientific literature documenting the impact of 4R management on N₂O emissions relevant to a Canadian context. Prepared for Fertilizer Canada. Prepared by: David Burton. Department of Plant, Food, and Environmental Sciences. Dalhousie University and Land Resource Consulting

- Services, March, 2018. URL: <https://fertilizercanada.ca/wp-content/uploads/2018/08/NERP-Science-Review-Paper-.pdf>.
114. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G., Vallejo A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric Ecosyst Environ* 189: 136–144. doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036.
115. Azam F., Benckiser G., Müller C., Ottow J. 2001. Release, movement and recovery of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions. *Biol Fertil Soils*, 34: 118–125. doi.org/10.1007/s003740100384
116. Babulicová M. Dyulgerova B. 2018. Winter barley production in relation to crop rotations, fertilisation and weather conditions. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 64(1): 35–44.
117. Baliuk S., Vorotyntseva L., Zakharova M., Drozd O., Nosonenko O. 2017. Protection and reproduction of resource potential of soils in conditions of climate fluctuations. *Bull. of Agric. Sci.* 95/12. doi.org: 10.31073/agrovisnyk201712-02.
118. Barbosa H., Olsson L. 2019. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. Geneva: IPCC. <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
119. Barczak B. 2008. Contents and ratios of mineral components in winter barley biomass cultivated under conditions of different nitrogen fertilisation. *Journal of Elementology*, 13(1): 291–300.
120. Baveye P. C., Schnee L. S., Boivin P., Laba M., Radulovich R. 2020. Soil Organic Matter Research and Climate Change: Merely Re-storing Carbon Versus Restoring Soil Functions. *Front. Environ. Sci.*, 10 September 2020. doi.org/10.3389/fenvs.2020.579904.

121. Beeckman F, Motte H, Beeckman T. Nitrification in agricultural soils: impact, actors and mitigation. *Curr. Opin. Biotech.* 2018; 50:166–173. pmid: 29414056
122. Berhanu G., Kismányoky T., Sárdi K. 2013. Effect of nitrogen fertilization and residue management on the productivity of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agronomica Hungarica.* 61(2): 101–111. doi.org: 10.1556/AAgr.61.2013.2.2.
123. Bøckman, O. Chr. and Olf, H.-W. 1998. Fertilizers, agronomy and N₂O. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52: 165-170.
124. Bouwman A. F., Boumans L. J. M., Batjes N. H., Thomson A. J., Giannopoulos G., Pretty J., Baggs E. M., Richardson D. J. 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philos Trans R Soc B*, 367, pp. 1157-1168.
125. Bouwman A. F., Bouwman L. J. M., Batjes N. H. 2002. Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochem Cycles*, 16(4), 1058. doi: 10.1029/2001GB001811.
126. Bouwman A. F. 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, 53-70.
127. Bouwman A. F. 1998. Nitrogen oxides and tropical agriculture. *Nature*, 392: 866-867.
128. Boychenko S. et al. 2016. Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University.* 69.4: 96–113.
129. Burton D. L., Li X., Grant C. A. 2008. Influence of fertilizer nitrogen source and management practice on N₂O emissions from two Black Chernozemic soils. *Can J Soil Sci*, 88: 219-227.
130. Butterbach-Bahl K., Baggs E. M., Dannenmann M., Kiese R., Zechmeister-Boltenstern S. 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philos Trans R Soc B*, 368, Article 20130122.

131. Chambers B. J., Dampney P. M. R. 2009. Nitrogen efficiency and ammonia emissions from urea-based and ammonium nitrate fertilisers. *Proc Intl Fert Soc*, 657: 1–20.
132. Charles R., Collaud J. F., Haener L. L. et al. 2012. Varieties, seeding rate and nitrogen fertilization on winter barley. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *In Agrarforschung Schweiz*, vol. 3, no. 2, p. 88.
133. Chen H., Yin C., Fan X., Ye M., Peng H., Li T., Zhao Y., Wakelin S. A., Chu G., Liang Y. 2019. Reduction of N₂O emission by biochar and/or 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) is closely linked to soil ammonia oxidizing bacteria and nosZI-N₂O reducer populations. *Sci. Total Environ.*, 694: 133658. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133658.
134. Chen Q., Qi L., Bi Q., Dai P., Sun D., Sun C., Liu W., Lu L., Ni W., Lin X. 2015. Comparative effects of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) and dicyandiamide. (DCD) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in a vegetable soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 99: 477–487. doi.org/10.1007/s00253-014-6026-7.
135. Climate change 2013: the physical science basis. By T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. M. B. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2013). p. 1535.
136. Climate Change and Land. 2020. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. 2020. Intergovernmental Panel on Climate Change. 36 p. URL: <https://climatechange.insightconferences.com/>.
137. Coles G. D. Winter barley – yes or no. DSIR Cereal News. 2008. 10: 17–19.

138. Davies D. M., Williams P. J. 1995. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: a U.K. nitrate sensitive areas perspective. *J. Environ. Manag.*, 45: 263–272. doi.org/10.1006/jema.1995.0074.
139. Di H. J., Cameron K. C. 2011. Inhibition of ammonium oxidation by a liquid formulation of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) compared with a dicyandiamide. (DCD) solution in six new Zealand grazed grassland soils. *J. Soils Sediments*, 11: 1032–1039. doi.org/10.1007/s11368-011-0372-1.
140. Di H. J., Cameron K. C. 2012. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures? *Soil Use Manag*, 28:54–61. doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00373.x.
141. Ding Y., Huang X., Li Y., Liu H., Zhang Q., Liu X., Xu J., Di H. 2021. Nitrate leaching losses mitigated with intercropping of deep-rooted and shallow-rooted plants. *J. Soils Sediments*, 21: 364–375. doi.org/10.1007/s11368-020-02733-w.
142. Dittert, K., Bol, R., King, R., Chadwick, D., Hatch, D., 2001. Use of a novel nitrification inhibitor to reduce nitrous oxide emission from ¹⁵N-labelled dairy slurry injected into soil. *Rapid Comm. Mass Spectrom.* 15, 1291-1296.
143. Engel R. E., Towey B.D., Gravens E. 2015. Degradation of the urease inhibitor NBPT as affected by soil pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 79: 1674–1683. doi.org/10.2136/sssaj2015.05.0169.
144. Erisman J., Sutton M., Galloway J., Klimont Z., Winiwarter W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nat. Geosci.*, 1: 636–639. doi.org/10.1038/ngeo325.
145. Espín, S., García-Fernández, A. Nitrapyrin. In *Encyclopedia of Toxicology*, 3rd ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2014; pp. 519–522.
146. Fan X., Yin C., Chen H., Ye M., Zhao Y., Li T., Wakelin S. A., Liang Y. 2019. The efficacy of 3,4-dimethylpyrazole phosphate on N₂O emissions is linked to niche differentiation of ammonia oxidizing archaea and bacteria across four

- arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 130: 82–93. doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.027.
147. Fangueiro D., Fernandes A., Coutinho J., Moreira N., Trindade H. 2009. Influence of two nitrification inhibitors. (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. *Commun Soil Sci. Plant Anal.*, 40: 3387–3398. doi.org/10.1080/00103620903325976.
148. Florio A., Clark I. M., Hirsch P. R., Jhurrea D., Benedetti A. 2014. Effects of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) on abundance and activity of ammonia oxidizers in soil. *Biol. Fertil. Soils*, 50: 795–807. doi.org/10.1007/s00374-014-0897-8.
149. Fowler D., Coyle M., Skiba U. et al. 2013. The global nitrogen cycle in the twenty first century. *Philos. Trans. R. Soc. B.*, 368, Article 20130164.
150. Freney J. R. et al. 1993. Use of nitrification inhibitors to increase fertilizer nitrogen recovery and lint yield in irrigated cotton. 1993. *Fert. Res.*, 34: 37-44.
151. Fu Q. L., Clark I. M., Zhu J, Hu H. Q, Hirsch P. R. 2018. The short-term effects of nitrification inhibitors on the abundance and expression of ammonia and nitrite oxidizers in a long-term field experiment comparing land management. *Biol. Fertil. Soils.*, 54: 163–172. doi.org/10.1007/s00374-017-1249-2 .
152. Fu Q., Abadie M., Bland A., Carswell A., Misselbrook T., Clark I. M., and Penny R. 2020. Effects of urease and nitrification inhibitors on soil N, nitrifier abundance and activity in a sandy loam soil. *Biology and Fertility of Soils*, 56(2): 185–194. doi: 10.1007/s00374-019-01411-5.
153. Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G., Boyer E .W., Howarth R. W., Seitzinger S. P., Asner G. P., Cleveland C. C., Green P. A., Holland E. A., Karl D. M., Michaels A. F., Porter J. H., Townsend A. R., Vöosmarty C. J. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70: 153–226. doi.org/10.1007/s10533-004-0370-0.

154. Gao J., Luo J., Lindsey S., Shi Y., Sun Z., Wei Z., Wang L. 2021. Benefits and risks for the environment and crop production with application of nitrification inhibitors in China. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 21: 497–512. doi.org/10.1007/s42729-020-00378-9.
155. Global Biogeochem Cycles, 16 (2002), p. 1058, 10.1029/2001GB001811
156. Granli T., Bøckman O. Chr. 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12, 1-128.
157. Green C. Y. Furston D. K., Ivins J. J. 1985. Time of sowing the yield of winter barley. *J. Agr. Sc.*, 104: 405–411.
158. Groffman P. M., Brumme R., Butterbach-Bahl K., Dobbie K. E., Mosier A. R., Ojima D., Papen H., Parton W. J., Smith K. A., Wagner-Riddle C. Evaluating annual nitrous oxide fluxes at the ecosystem scale. *Global Biogeochem Cycles*, 14 (2000), pp. 1061-1070.
159. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Edited by Uwe Meier Julius. Kühn-Institut (JKI). Quedlinburg: 2018. 204 p. [https://www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/bbch %20epaper %20en/page.pdf](https://www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/bbch%20epaper%20en/page.pdf).
160. Gubry-Rangin C., Nicol G. W., Prosser J. I. 2010. Archaea rather than bacteria control nitrification in two agricultural acidic soils. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 74: 566–574. pmid: 21039653.
161. Haskevych O., Snitynsky V., Hnativ P., Lahush N., Haskevych V. & Ivaniuk V. 2021. Agro-ecological assessment of the farmlands of the Hologoro-Kremenetskiy Highlands. Soil under stress / by Yu. Dmytruk & D. Dent. Springer International Publishing. Switzerland AG. XV. P. 143-151. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8_14.
162. Hatch D., Trindade H., Cardenas L., Carneiro J., Hawkins J., Scholefield D., Chadwick D. 2005. Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle. *Biol. Fert. Soil*, 41: 225-232.

163. Hege U., Offenberger K. 2011. Effect of N fertilizer with nitrification inhibitors on winter wheat yield in German Bavarian State Research Center for Agriculture. URL: <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/09628/>. Accessed 26 August 2012.
164. Hlisnikovský L. Kunzová E. 2014. The content of topsoil nutrients, pH and organic carbon as affected by longterm application of mineral and organic fertilizers. *In Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 60, no. 4, pp. 142–148. DOI: 10.1515/agri-2015-0003.
165. Hospodarenko H., Liubych V., Oliinyk O., Polianetska I., Silifonov T. Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 2022. Vol. 75(2). P. 9919–9928. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n2.98290>.
166. Hospodarenko, H., Prokopchuk, I., Cherny, O., Boyko, V. Change in Physical and Chemical Fertility Indices of Chernozem Podzolized in Crop Rotation Depending on Fertilizer Option. *Scientific Horizonsthis*, 2019(7), pp. 55–62. doi:10.33249/2663-2144-2019-80-7-55-62.
167. Hospodarenko, H., Liubych, V. Influence of long-term fertilization on yield and quality of spring triticale grain. *Research for Rural Development*, 2021, 36, pp. 29–35. DOI: 10.22616/rrd.27.2021.004.
168. Kleineidam K., Košmrlj K., Kublik S., Palmer I., Pfab H., Ruser R., Fiedler S., Schloter M. 2011. Influence of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in rhizosphere and bulk soil. *Chemosphere*, 84: 182–186. doi.org: 10.1016/j.chemosphere.2011.02.086.
169. Kryzanowski L. 2018a. Nitrogen Fertilizer Management to Mitigate N₂O Emissions in Alberta. PowerPoint Presentation provided by Len Kryzanowski. Jan 17, 2018.
170. Kryzanowski L. Wallace T., Montgomery G., Sprout C., Lohstraeter G., Powers L., WagnerRiddle C. 2018b. Manure Management to Reduce Greenhouse Gas

- and Ammonia Emissions. PowerPoint Presentation provided by Len Kryzanowski. Jan 17, 2018.
171. Li S., Wang Z., Hu T., Gao Y., Stewart B., Sparks D. 2009. Nitrogen in dryland soils of China and its management. *Adv. Agron.*, 101: 123–181. doi.org: 10.1016/s0065-2113(08)00803-1.
172. Li Y., Chapman S. J., Nicol G. W, Yao H. 2018. Nitrification and nitrifiers in acidic soils. *Soil Biol. Biochem.*, 116: 290–301.
173. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. 2001a. Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate DMPP. *Biol. Fert. Soil.* 34: 103-108.
174. Linzmeier W., Gutser R., Schmidhalter U. 2001b. The new nitrification inhibitor DMPP ENTEC®. allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies, in: Horst et al. (Eds.), Proceedings of the 14th. Int. Plant Nutrition Colloquium. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 760-761.
175. Litvak Sh. I. Systematic approach to agrochemical research. M.: Agropormizdat, 1990. 220 p.
176. Liu X., Vitousek P., Chang Y., Zhang W., Matson P., Zhang F. 2016. Evidence for a historic change occurring in China. *Environ. Sci. Technol.*, 50: 505–506. doi.org/10.1021/acs.est.5b05972.
177. Martins M. R., Sant’Anna S. A. C., Zaman M., Santos R. C., Monteiro R. C., Alves B. J. R., Jantalia C. P., Boddey R. M., Urquiaga S. 2017. Strategies for the use of urease and nitrification inhibitors with urea: impact on N₂O and NH₃ emissions, fertilizer-N-15 recovery and maize yield in a tropical soil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 247: 54–62. doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.021.
178. McGeough K. L., Watson C. J., Müller C., Laughlin R. J., Chadwick D. R. 2016. Evidence that the efficacy of the nitrification inhibitor dicyandiamide. (DCD) is affected by soil properties in UK soils. *Soil Biol. Biochem.*, 94: 222–232. doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.017.

179. Millar N., Urrea A., Kahmark K., Shcherbak I., Robertson G. P., Ortiz-Monasterio I. 2018. Nitrous oxide (N₂O) flux responds exponentially to nitrogen fertilizer in irrigated wheat in the Yaqui Valley, Mexico. *Agric Ecosyst Environ*, 261, pp. 125-132.
180. Mohammad W., Iqbal, M. M., Shah S. M., Nawaz H., Basar N. 1998. Evaluation of nitrification inhibitor to improve fertilizer N use efficiency in potato crop. *Trop. Agric.*, 75: 21-24.
181. Mørkved P. T., Dörsch P., Bakken L. R. 2007. The N₂O product ratio of nitrification and its dependence on long-term changes in soil pH. *Soil Biol. Biochem.*, 39: 2048-2057.
182. Mueller N. D., Lassaletta L., Runck B. C., Billen G., Garnier J., Gerber J. S. 2017. Declining spatial efficiency of global cropland nitrogen allocation. *Global Biogeochem. Cycles*, 31: 245–257. doi.org/10.1002/2016gb005515.
183. Noworolnik K., Leszczyńska D., Dworakowski T., Sułek A. 2009. Wpływ odmiany i nawożenia azotem na plonowanie jęczmienia ozimego. *Fragm. Agron.* 26(2): 89–95. URL: <https://docplayer.pl/42933556-Wplyw-odmiany-i-nawozenia-azotem-na-plonowanie-jeczmienna-ozimego.html>.
184. N₂O: DIRECT EMISSIONS FROM AGRICULTURAL SOILS. 2001. Ritten by Keith Smith, Lex Bouwman and Barbara Braatz. p.361-380. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_5_N2O_Agricultural_Soils.pdf.
185. Nelson D. W., Huber D. 1992. Nitrification inhibitors for corn production. *Nat. Corn Handbook*. 55, pp. 1-6.
186. Nitrogen Stabilizer Products that Must Be Registered under FIFRA. Substances excluded from the definition of a nitrogen stabilizer. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/nitrogen-stabilizer-products-must-be-registered-under-fifra#substances>.
187. O'Connor P. J., Hennessy D., Brophy C., O'Donovan M., Lynch M. B. 2012. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) on herbage

- produciton when applied at different times and rates in the autumn and winter. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 152: 79-89.
188. O’Callaghan T. F. 2020. Urease and Nitrification Inhibitors – As Mitigation Tools for Greenhouse Gas Emissions in Sustainable Dairy Systems: *A Review. Sustainability*, 12, 6018. doi:10.3390/su12156018.
189. Pfab H., Palmer I., Guegger F., Fielder S., Torsten M., Ruster R. 2012. Influence of a nitrification inhibitor and of placed N-fertilization on N₂O fluxes from a vegetable cropped loamy soil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 150: 91-101.
190. Phaeozems (PH). 2019. Дата звернення 12.10. 2019. URL: https://www.isric.org/sites/default/files/major_soils_of_the_world/set8/ph/phaeozem.pdf.
191. Polovyy V., Hnativ P., Balkovsky V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. 2021. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 384-390. doi: 10.15421/2021_56.
192. Shestak V., Hnativ P., Ivaniuk V., Olifir Y., Szulc W., Rutkowska B., Veha N., Parkhuc B., Kachmar O., Kocyuba B., Bahaj T. 2023. Dynamics of forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin when applied to winter barley. *Journal of Elementology*, 28(1): 41-58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352.
193. Pasda, G., Hähndel, R., Zerulla, W., 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP 3,4-dimethylpyrazole phosphate on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fert. Soil.* 34: 85-97.
194. Qin S. P., Hu C. S., Wang Y. Y., Li X. X., He X. H. 2010. Tillage effects on intracellular and extracellular soil urease activities determined by an improved chloroform fumigation. *Method Soil Sci.*, 175: 568–572. doi.org/10.1097/SS.0b013e3181fa2810.
195. Ravishankara A. R., Daniel J. S., Portmann R. W. 2009. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 326: 123-125.

196. Roche L., Forrester P., Lanigan G., Richards K., Shaw L., Wall D. 2016. Impact of fertiliser nitrogen formulation, and N stabilisers on nitrous oxide emissions in spring barley. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 233: 229–237.
197. Rochette P., Liang C., Pelster D., Bergeron O., Lemke R., Kroebel R., MacDonald D., Yan W., Flemming C., Groffman P. M., Brumme R., Butterbach-Bahl K., Dobbie K. E., Mosier A. R., Ojima D., Papen H., Parton W. J., Smith K. A., Wagner-Riddle C. 2000. Evaluating annual nitrous oxide fluxes at the ecosystem scale. *Global Biogeochem Cycles*, 14, pp. 1061-1070.
198. Roco M. M., Blu, R. O., 2006. Evaluation of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. *J. Plant Nutr.*, 29: 521-534.
199. Roelandt C., van Wesemael B., Rousevell M. 2005. Estimating annual N₂O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biol.*, 11: 1701-1711.
200. Rose T. J., Wood R. H., Rose M. T., Van Zwieten L. 2018. A re-evaluation of the agronomic effectiveness of the nitrification inhibitors DCD and DMPP and the urease inhibitor NBPT. (vol 252, pg 69, 2017). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 258: 205–205. doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.017.
201. Sanz-Cobena A., Sanchez-Martin L., Garcia-Torres L., Vallejo A. 2012. Gaseous emissions of N₂O and NO and NO₃-leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitors to a maize crop. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 149: 64-73.
202. Sassman A. M., Barker D. W. and Sawyer J. E. 2018. Corn Response to Urea–Ammonium Nitrate Solution Treated with Encapsulated Nitrapyrin. *Agron. J.* 110(3): 1058. doi: 10.2134/agronj2017.12.0737.
203. Shen J., Zhang L., Zhu Y., Zhang J., He J. (2008). Abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea communities of an alkaline sandy loam. *Environ Microbiol*, 10:1601–1611. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01578.x>.

204. Skiba, A., and Smith K. A. 2000. The control of nitrous oxide emissions from agricultural and natural soils. *Chemosphere – Global Change Science*. 2: 379–386. doi.org/10.1016/S1465-9972(00)00016-7.
205. Shestak V. G., Parkhuts B. I., Veba N. I., The influence of the mesoclimate change of the Western Ukrainian Broad-Leaved Forest zone on the yield of winter cereals. International scientific conference “Forecasts and prospects of scientific discoveries in agricultural sciences and food”: conference proceedings. (August 30–31, 2022. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2022. 62-66. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-238-8-15>
206. Sommer S., Hutchings N. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction—invited paper. *European Journal of Agronomy*. Vol. 15, Iss. 1, P. 1-15. doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00112-5.
207. Shi X., Hu H., He J., Chen D., Suter H.C. 2016a. Effects of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP) on nitrification and the abundance and community composition of soil ammonia oxidizers in three land uses. *Biol. Fertil. Soils*, 52: 927–939. doi.org/10.1007/s00374-016-1131-7.
208. Shi X., Hu H., Müller C., He J., Chen D., Suter HC. 2016b. Effects of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification and nitrifiers in two contrasting agricultural soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 82: 5236–5248. doi.org/10.1128/aem.01031-16.
209. Shibata H., Branquinho C., McDowell W. H., Mitchell M. J., Monteith D.T., Tang J., Arvola L., Cruz C., Cusack D. F., Halada L. et al. Consequence of altered nitrogen cycles in the coupled human and ecological system under changing climate: The need for long-term and site-based research. *Ambio*, 2015, 44: 178–193.

210. Silva A. G. B., Sequeira C. H., Sermarini R. A., Otto R. 2017. Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: a meta-analysis. *Agron. J.*, 109: 1–13. doi.org/10.2134/agronj2016.04.0200.
211. Singh S. N., Verma A. The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: *A review. Environ. Rev.*, 2007, 9: 266–279.
212. Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agric Ecosyst Environ*, 254 (2018), pp. 69-81.
213. Souza E. F., Soratto R. P., Sandaña P., Venterea R. T., Rosen C. J. 2020. Split application of stabilized ammonium nitrate improved potato yield and nitrogen-use efficiency with reduced application rate in tropical sandy soils. *Field Crop Res.*, 254: 107847. doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107847.
214. Subbarao G. V., Yoshihashi T., Worthington M., Nakahara K., Ando Y., Sahrawat K. L., Rao I. M., Lata J. C., Kishii M., Braun H. J. 2015. Suppression of soil nitrification by plants. *Plant Sci.*, 233: 155-164.
215. Sutton M. A., Howard C. M., Erisman J. W., Billen G., Bleeker A., Grennfelt P., Grizzetti B. 2011. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives. Cambridge University, New York.
216. Takai K., Horikoshi K. 2000. Rapid detection and quantification of members of the archaeal community by quantitative PCR using fluorogenic probes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66: 5066. doi.org/10.1128/aem.66.11.5066-5072.2000.
217. The European Chemicals Agency ECHA. Nitrapyrin. Available online: <https://echa.europa.eu/substanceinformation/-/substanceinfo/100.016.076> (accessed on 9 June 2020).
218. The European Food Safety Authority. Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food on a request from the Commission related to Creatine monohydrate for use in foods

- for particular nutritional uses Question number EFSA-Q-2003-12. *EFSA J.* 2004, 36, 1–6.
219. Ti C., Yan X. 2020. Nitrogen regulation in China's agricultural systems. In: Liu X., Du E. (ed). *Atmospheric Reactive Nitrogen in China*, Springer, Singapore, pp 297–309.
220. Tian D., Zhang Y., Zhou Y., Mu Y., Liu J., Zhang C. et al. 2017. Effect of nitrification inhibitors on mitigating N₂O and NO emissions from an agricultural field under drip fertigation in the North China Plain. *Sci.Total Environ.*, 598: 87–96. pmid:28437775.
221. Tong D., Xu R. 2012. Effects of urea and (NH₄)₂SO₄ on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China. *J. Environ. Sci.*, 24: 682–689. doi.org/10.1016/s1001-0742(11)60832-2.
222. Vilas M. P., Verburg K., Thorburn P. J., Probert M. E., Bonnett G. D. 2019. A framework for analysing nitrification inhibition: a case study on 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP). *Sci. Total. Environ.*, 672: 846–854. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.462.
223. Villar J. M., Guillaumes E., 2010. Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen recovery in irrigated wheat on a calcareous soil. *Spanish J. Agric. Res.*, 8: 1218-1230.
224. Wang Y., Cheng Y., Chen K., Tsay Y. 2018. Nitrate transport, signaling, and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 69: 85–122. doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040056.
225. Wozniak H., Michel H. J., Fuchs M. 1999. Nitrification inhibitors for economically efficient and environmental friendly nitrogen fertilization, in: IFA (Eds.), *Proceedings*.
226. Xia W., Zhang C., Zeng X., Feng Y., Weng J., Lin X., Zhu J., Xiong Z., Xu J., Cai Z., Jia Z. 2011. Autotrophic growth of nitrifying community in an agricultural soil. *ISME J.*, 5: 1226–1236. doi.org/10.1038/ismej.2011.5.

227. Yao Z., Pelster D. E., Liu C., Zheng X., Butterbach-Bahl K. 2020. Soil N intensity as a measure to estimate annual N₂O and NO fluxes from natural and managed ecosystems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 47, Pages 1-6. doi.org/10.1016/j.cosust.2020.03.008.
228. Yao Zh., Yan G., Zheng X., Wang R., Liu C., Butterbach-Bahl K. 2017. Reducing N₂O and NO emissions while sustaining crop productivity in a Chinese vegetable-cereal double cropping system. *Environ. Pollut.*, 231: 929-941.
229. Yu C., Huang X., Chen H., Godfray H. C. J., Wright J. S., Hall J. W., Gong P., Ni S., Qiao S., Huang G., Xiao Y., Zhang J., Feng Z., Ju X., Ciais P., Stenseth N. C., Hessen D. O., Sun Z., Yu L., Cai W., Fu H., Huang X., Zhang C., Liu H., Taylor J. 2019. Managing nitrogen to restore water quality in China. *Nature*, 567: 516–520. doi.org/10.1038/s41586-019-1001-1.
230. Zacherl B., Amberger A. 1990. Effect of the nitrification inhibitors dicyandiamide, nitrapyrin and thiourea on *Nitrosomonas europaea*. *Fertil. Res.*, 22: 37–44.
231. Zaman M., Nguyen M. L., Blennerhassett J. D., Quin B. F. 2008. Reducing NH₃, N₂O and NO₃-N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. *Biol. Fertil. Soils*, 44: 693–705. doi.org/10.1007/s00374-007-0252-4.
232. Zaman M., Saggar S., Blennerhassett J. D., Singh J. 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biol. Biochem.*, 41: 1270–1280.
233. Zebarth B. J., Rochette P., Burton D. L., Price M. 2008b. Effect of fertilizer nitrogen management on N₂O emissions in commercial corn fields. *Can. J. Soil Sci.*, 88: 189-195.

234. Zebarth B. J., Rochette P., D. L. Burton. 2008a. N₂O emissions from spring barley production as influenced by fertilizer nitrogen rate. *Can. J. Soil Sci.*, 88: 197-205.
235. Zhang M. Y., Wang W. J., Tang L., Heenan M., Xu Z. H. 2018. Effects of nitrification inhibitor and herbicides on nitrification, nitrite and nitrate consumptions and nitrous oxide emission in an Australian sugarcane soil. *Biol. Fertil. Soils*, 54: 697–706. doi.org/10.1007/s00374-018-1293-6.
236. Zhang S., Zheng Q., Noll L., Hu Y., Wanek W. 2019. Environmental effects on soil microbial nitrogen use efficiency are controlled by allocation of organic nitrogen to microbial growth and regulate gross N mineralization. *Soil Biol. Biochem.*, 135: 304–315. doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.019.
237. Zhang X., Davidson E. A., Mauzerall D. L., Searchinger T. D., Dumas P., Shen Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528: 51-59.
238. Zhou X., Wang S., Ma S., Zheng X., Wang Z., Lu C. 2020. Effects of commonly used nitrification inhibitors-dicyandiamide. (DCD), 3, 4-dimethylpyrazole phosphate. (DMPP), and nitrapyrin-on soil nitrogen dynamics and nitrifiers in three typical paddy soils. *Geoderma*, 380: 114637. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114637.

Додатки

Додаток А

Рисунки до розділу 2



Рис. А.1. Використання механічного розкидача фірми Solo для внесення добрив і лабораторної бази для аналізів вмісту обмінного калію в ґрунті.

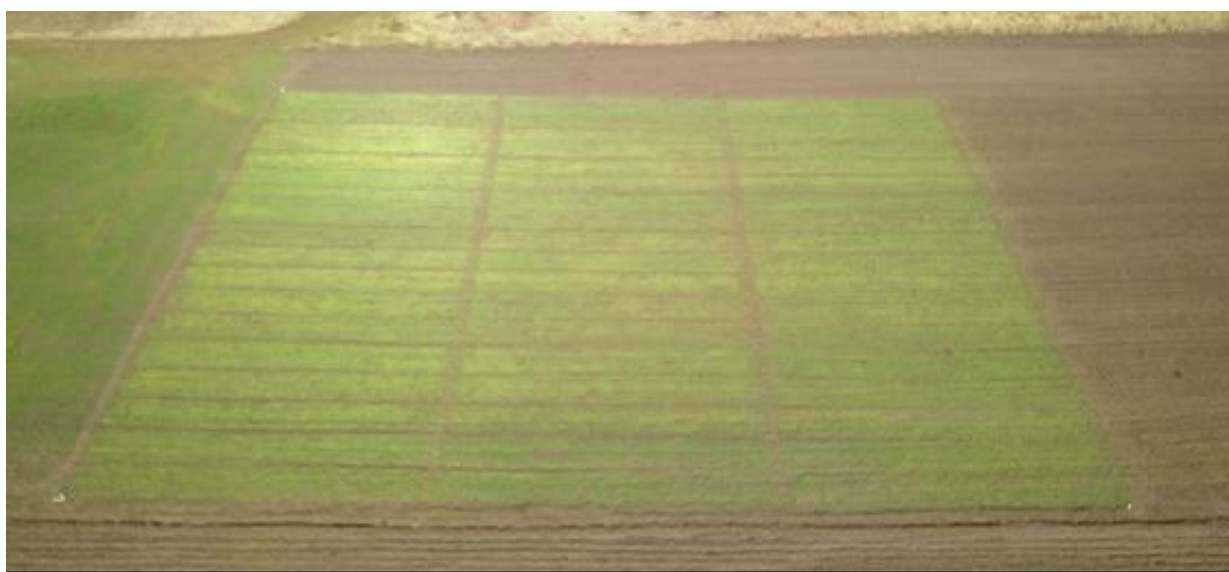


Рис. А.2. Загальний вигляд дослідного поля восени 2019 року.



Рис. А.3. Загальний вигляд і стан посіву ячменю озимого 2020 року у фазі кущіння (ВВСН 25-29).



Рис. А.4. Загальний вигляд і висота стеблостю ячменю озимого 2020 року у фазі колосіння (ВВСН 51).



Рис. А.5. Загальний вигляд дослідного поля 2021 року і стан ячменю озимого навесні (ВВСН 25-29).



Рис. А.6. Загальний вигляд ячменю озимого 2022 року у завершенні фази колосіння (BBCH 51).

Додаток Б

Таблиці до розділу 3

Табл. Б.1 – Кореляція врожаю зерна ярого ячменю 2021 року, доступним азотом в ґрунті та його кислотністю, r_{\pm}

| Зв'язок_урожаю з пулами азоту і рН 2021 р. | Урожай 2021 р. | Нгідр весна 0-20 см 2021 р. | Нгідр весна 20-40 см 2021 р. | Нгідр. збирання 0-20 см 2021 р. | Нгідр збирання 20-40 см 2021 р. | рН весна 0-20 см 2021 р. | рН весна 20-40 см 2021 р. | рН збирання 0-20 см 2021 р. | рН збирання 20-40 см 2021 р. |
|--|----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Урожай | X | | | | | | | | |
| Нгідр весна 0-20 см | 0,90 | X | | | | | | | |
| Нгідр весна 20-40 см | 0,94 | 0,97 | X | | | | | | |
| Нгідр.Збир. 0-20 см | 0,18 | 0,25 | 0,23 | X | | | | | |
| Нгідр збир. 20-40 см | 0,41 | 0,36 | 0,41 | 0,77 | X | | | | |
| рН весна 0-20 см | -0,31 | -0,33 | -0,37 | -0,50 | -0,51 | X | | | |
| рН весна 20-40 см | -0,43 | -0,41 | -0,47 | -0,44 | -0,47 | 0,98 | X | | |
| рН збирання 0-20 см | -0,20 | -0,16 | -0,24 | -0,27 | -0,45 | 0,86 | 0,84 | X | |
| рН збирання 20-40 см | -0,20 | -0,05 | -0,18 | -0,34 | -0,46 | 0,73 | 0,76 | 0,88 | X |

Додаток В

Рисунки і таблиці до розділу 4

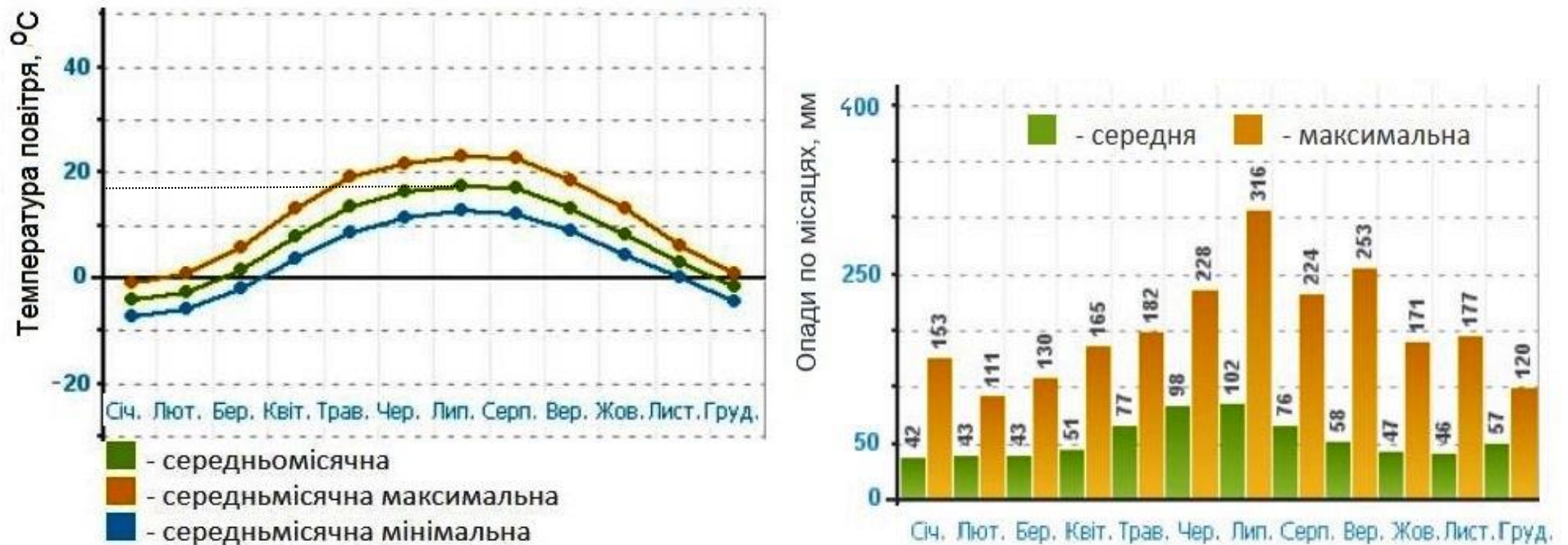


Рис. В.1. Середньобагаторічні кліматичні норми середньомісячної температури повітря (°C) та місячної суми опадів (мм) за спостереженнями метеостанції Львів (https://meteo.gov.ua/ua/33187/climate/climate_stations/20/3/).

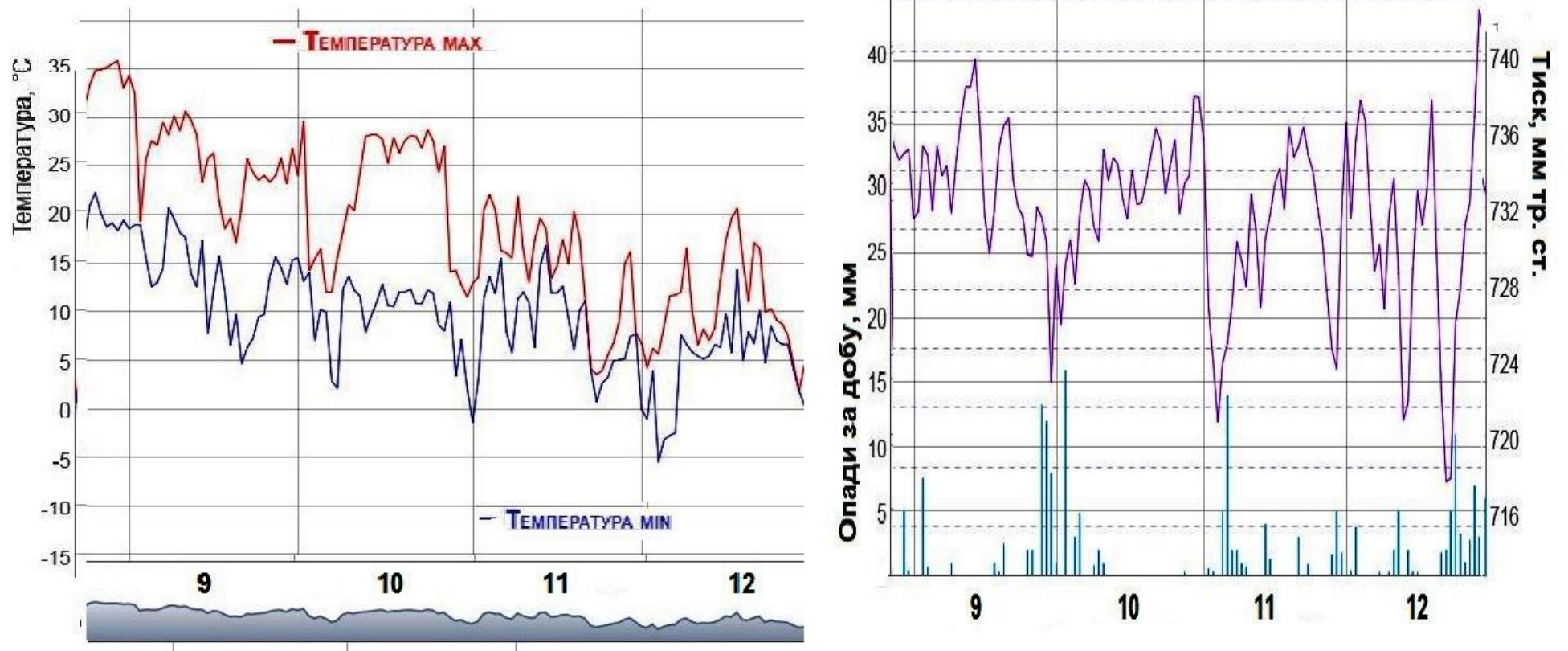


Рис. В.2. Температура й опади подобоно восени 2019 року (<https://meteorpost.com/weather/archive/>).

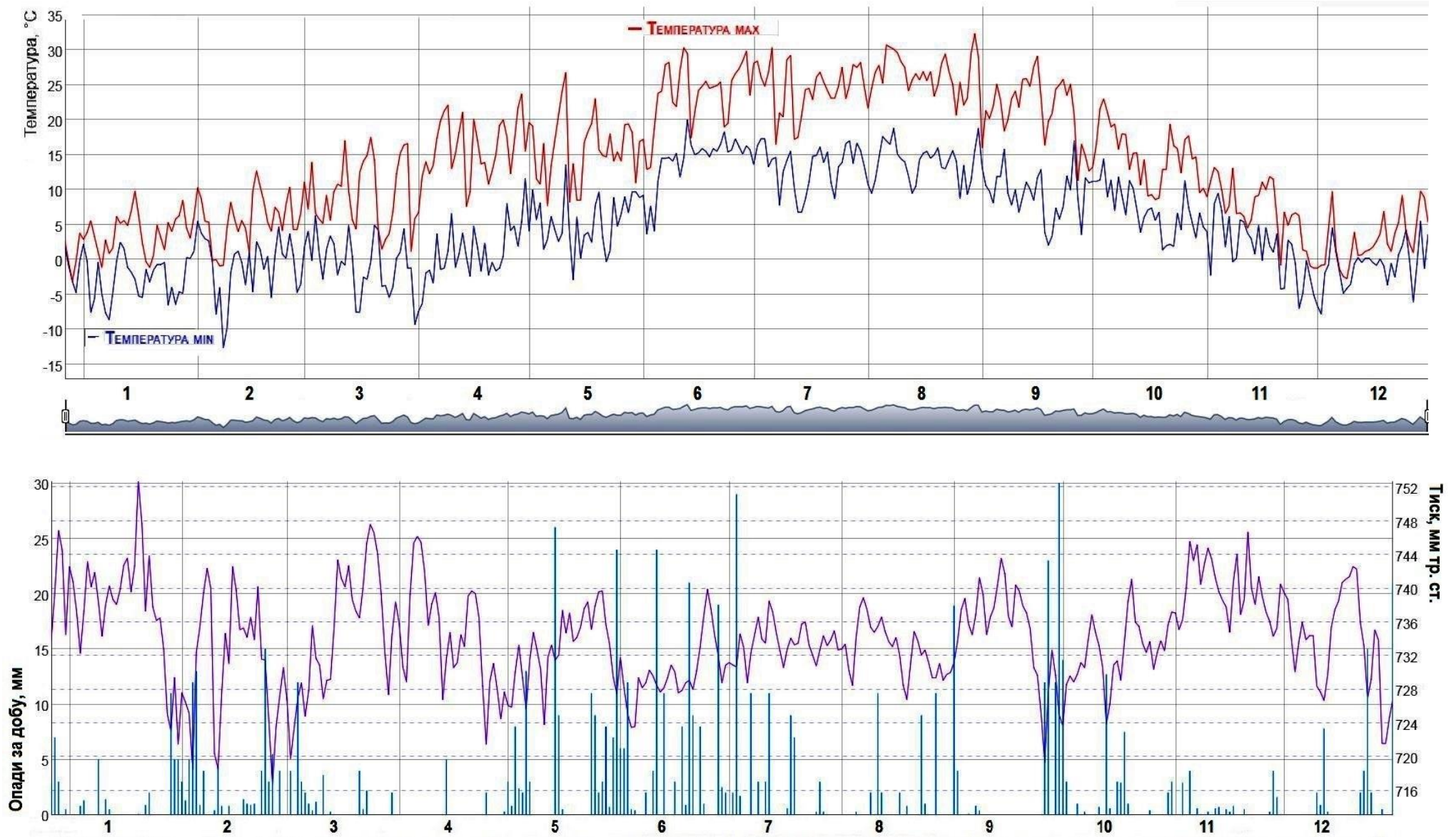


Рис. В.3. Температура й опади подово 2020 року (<https://meteorpost.com/weather/archive/>).

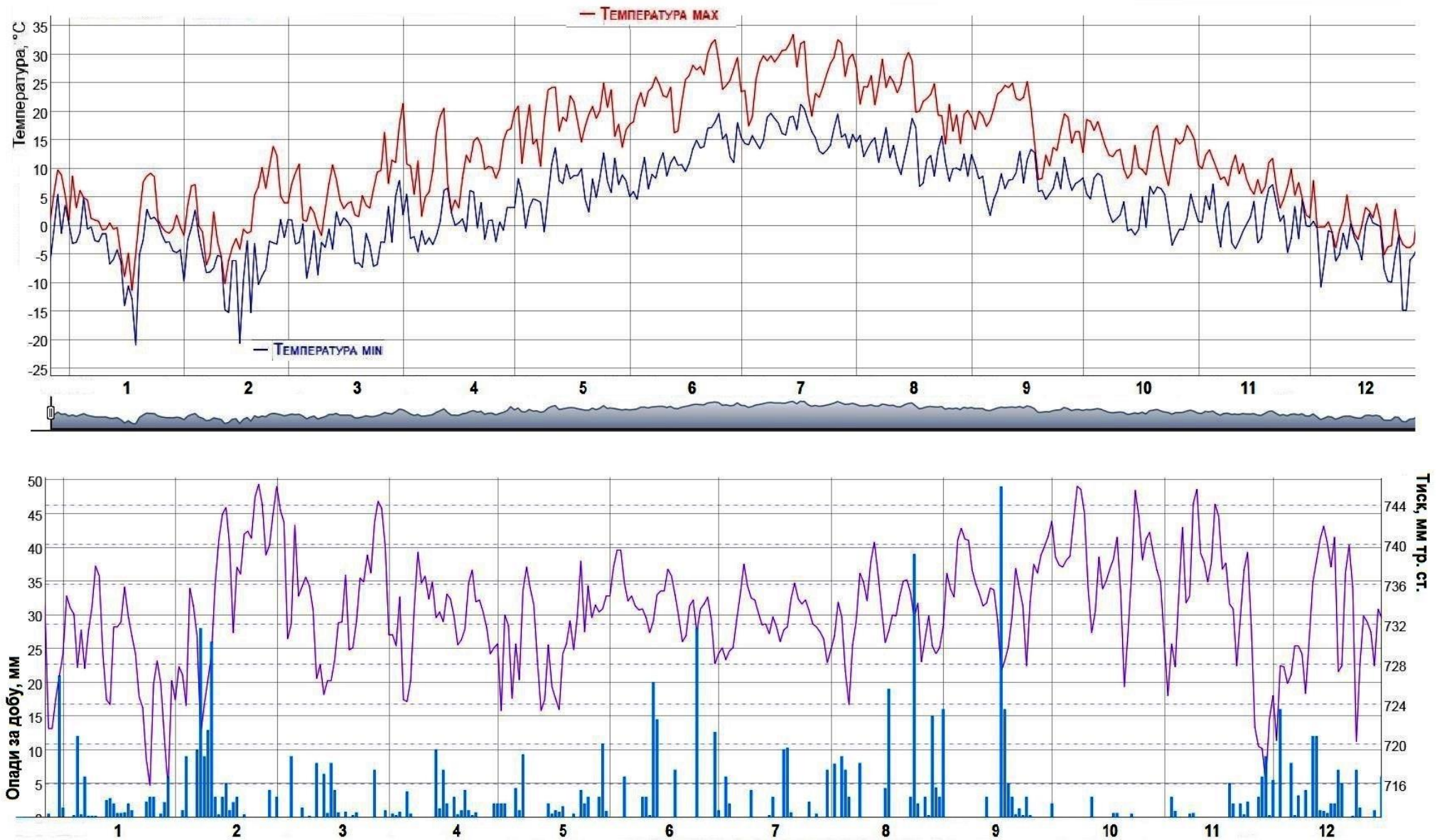


Рис. В.4. Температура й опади подовово 2021 року (<https://meteorpost.com/weather/archive/>).



Рис. В.5. Температура й опади подовово 2022 року (<https://meteorpost.com/weather/archive/>).

Табл. В.1. Біометрична структура врожаю ячменю озимого (за даними спостережень 2020 року)

| Система удобрення ячменю озимого | Висота стебел, см | | | | Довжина колоса, см | | | | Кількість зерен, од. | | | |
|--|-------------------|-------|-------|---------|--------------------|-----|-----|---------|----------------------|------|------|---------|
| | I | II | III | Середнє | I | II | III | Середнє | I | II | III | Середнє |
| 1. Без добрив - N0 | 88,4 | 88,0 | 88,4 | 88,2 | 5,5 | 5,6 | 5,8 | 5,6 | 46,7 | 46,9 | 48,5 | 47,4 |
| 2. Без добрив + N-Lok Max - N0 | 88,0 | 86,2 | 85,5 | 86,6 | 5,7 | 5,4 | 5,6 | 5,6 | 47,7 | 46,5 | 47,0 | 47,1 |
| 3. Фон - N23P60K60(Рафк) (п.с.) - N23 | 92,3 | 93,3 | 92,3 | 92,6 | 5,9 | 6,1 | 6,2 | 6,1 | 49,9 | 49,7 | 50,2 | 49,9 |
| 4. Фон + N-Lok Max (п.с.) - N23 | 94,7 | 93,8 | 95,7 | 94,7 | 6,0 | 6,2 | 5,9 | 6,0 | 50,2 | 50,8 | 49,6 | 50,2 |
| 5. Фон + N97(Nк) (п.с.) - N120 | 99,2 | 101,8 | 99,6 | 100,2 | 6,1 | 6,3 | 6,0 | 6,1 | 50,6 | 52,3 | 52,8 | 51,9 |
| 6. Фон + N97(Nк) (п.с.) + N-Lok Max (п.с.) - N120 | 98,4 | 98,2 | 97,6 | 98,1 | 6,0 | 6,2 | 6,3 | 6,1 | 52,0 | 53,6 | 53,7 | 53,1 |
| 7. Фон + N97(Nк) (п.с.) + N-Lok Max (в.в.) - N120 | 96,2 | 95,7 | 96,8 | 96,2 | 6,2 | 6,2 | 6,3 | 6,2 | 54,6 | 55,4 | 53,8 | 54,6 |
| 8. N23(Naa) (п.с.) + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) - N120 | 97,7 | 100,3 | 99,0 | 99,0 | 5,9 | 5,8 | 5,9 | 5,9 | 50,6 | 51,0 | 50,3 | 50,6 |
| 9. N23(Naa) (п.с.) + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) + N-Lok Max (в.в.) - N120 | 99,4 | 99,5 | 100,4 | 99,8 | 5,9 | 6,0 | 5,9 | 5,9 | 51,8 | 52,3 | 51,2 | 51,8 |
| 10. Контроль - Фон + N37(Naa) (в.в.) - N60 | 93,7 | 94,4 | 94,0 | 94,0 | 5,8 | 5,9 | 5,8 | 5,8 | 49,9 | 51,9 | 53,0 | 51,6 |
| 11. Фон + N37(Naa) + N-Lok Max (в.в.) - N60 | 93,8 | 93,7 | 91,0 | 92,8 | 5,8 | 5,9 | 5,8 | 5,9 | 51,2 | 51,8 | 53,6 | 52,2 |
| 12. Фон + N67(Naa) (в.в.) - N90 | 96,2 | 95,7 | 96,8 | 96,2 | 5,8 | 5,9 | 5,8 | 5,8 | 51,7 | 50,9 | 52,5 | 51,7 |
| 13. Фон + N67(Naa) + N-Lok Max (в.в.) - N90 | 94,9 | 93,2 | 95,7 | 94,6 | 6,1 | 6,2 | 6,0 | 6,1 | 53,8 | 52,4 | 55,1 | 53,8 |
| 14. Фон + N97(Naa) (в.в.) - N120 | 95,9 | 97,4 | 94,4 | 95,9 | 6,2 | 6,2 | 6,3 | 6,2 | 52,7 | 54,4 | 52,9 | 53,3 |
| 15. Фон + N97(Naa) (в.в.) + N-Lok Max (п.с.) - N120 | 91,0 | 89,5 | 92,5 | 91,0 | 6,2 | 6,4 | 6,3 | 6,3 | 54,2 | 55,0 | 53,4 | 54,2 |
| 16. Фон + N97(Naa) + N-Lok Max (в.в.) - N120 | 92,5 | 92,4 | 92,6 | 92,5 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 54,3 | 55,8 | 54,0 | 54,7 |
| 17. Фон + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) - N120 | 96,6 | 98,4 | 94,9 | 96,6 | 6,3 | 6,4 | 6,3 | 6,3 | 53,2 | 55,0 | 54,4 | 54,2 |
| 18. Фон + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) + N-Lok Max (в.в.) - N120 | 94,1 | 94,3 | 95,9 | 94,8 | 6,3 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 55,6 | 57,4 | 53,9 | 55,6 |

Додаток Г

Таблиці і рисунки розділу 5

Табл. Г.1. Урожайність ячменю озимого 2020 року, т/га

| | Варіант дослідю | Повторення | | |
|-----|--|------------|------|------|
| | | I | II | III |
| 1. | Без добрив | 4,27 | 4,46 | 4,38 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 4,34 | 4,42 | 4,22 |
| 3. | Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) | 5,52 | 5,65 | 5,78 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 6,04 | 6,17 | 6,29 |
| 5. | Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) | 6,53 | 6,48 | 6,89 |
| 6. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) | 7,19 | 7,46 | 7,49 |
| 7. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) | 6,36 | 6,52 | 6,62 |
| 8. | N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 6,79 | 6,80 | 6,68 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 7,18 | 7,21 | 6,91 |
| 10. | Фон + N₃₇(Naa) (в.в.) (контроль) | 6,73 | 6,89 | 6,84 |
| 11. | Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 6,94 | 6,72 | 7,08 |
| 12. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) | 7,02 | 7,05 | 7,18 |
| 13. | Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,32 | 7,14 | 7,15 |
| 14. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) | 7,42 | 7,37 | 6,99 |
| 15. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 7,16 | 7,04 | 7,35 |
| 16. | Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,43 | 7,69 | 7,65 |
| 17. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 7,42 | 7,14 | 7,22 |
| 18. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,62 | 7,38 | 7,61 |

Табл. Г.2. Урожайність ячменю озимого 2021 року, т/га

| № № | Варіант дослідю | Повторення | | |
|--------|--|------------|------|------|
| | | I | II | III |
| 1. | Без добрив | 4,71 | 4,54 | 4,41 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 4,55 | 4,42 | 4,30 |
| 3. | Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) | 5,41 | 5,66 | 5,53 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 5,81 | 5,99 | 5,90 |
| 5. | Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) | 6,06 | 5,73 | 6,00 |
| 6. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) | 6,84 | 7,22 | 7,25 |
| 7. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) | 6,22 | 6,91 | 5,97 |
| 8. | N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 7,06 | 7,22 | 6,75 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 7,39 | 7,43 | 7,04 |
| 10. | Фон + N₃₇(Naa) (в.в.) (контроль) | 6,80 | 6,92 | 6,45 |
| 11. | Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 6,70 | 6,53 | 6,55 |
| 12. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) | 6,72 | 7,01 | 6,96 |
| 13. | Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,66 | 7,39 | 7,12 |
| 14. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) | 7,54 | 7,44 | 7,27 |
| 15. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 6,91 | 7,64 | 7,27 |
| 16. | Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,23 | 7,60 | 7,10 |
| 17. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 7,51 | 7,47 | 7,36 |
| 18. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,32 | 7,52 | 7,73 |

Табл. Г.3. Урожайність ячменю озимого 2022 року, т/га

| № № | Варіант дослідю | Повторення | | |
|--------|--|------------|------|------|
| | | I | II | III |
| 1. | Без добрив | 4,98 | 4,51 | 4,83 |
| 2. | Без добрив + N-Lok Макс | 4,57 | 4,25 | 4,21 |
| 3. | Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) | 5,63 | 5,80 | 5,71 |
| 4. | Фон + N-Lok Макс (п.с.) | 6,17 | 6,48 | 6,33 |
| 5. | Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) | 6,42 | 6,21 | 6,52 |
| 6. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) | 7,81 | 7,72 | 7,57 |
| 7. | Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) | 6,98 | 6,89 | 6,63 |
| 8. | N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 7,50 | 7,60 | 6,89 |
| 9. | Те ж + N-Lok Макс (в.в.) | 7,90 | 7,78 | 7,43 |
| 10. | Фон + N₃₇(Naa) (в.в.) (контроль) | 7,38 | 7,28 | 7,01 |
| 11. | Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,06 | 7,28 | 7,11 |
| 12. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) | 7,68 | 7,34 | 7,36 |
| 13. | Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,81 | 7,50 | 7,42 |
| 14. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) | 7,76 | 7,87 | 7,55 |
| 15. | Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) | 7,72 | 7,62 | 7,64 |
| 16. | Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) | 7,83 | 7,59 | 7,59 |
| 17. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) | 8,14 | 7,62 | 7,70 |
| 18. | Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) | 8,06 | 7,71 | 7,94 |

Табл. Г.4. Результати дисперсійного аналізу (Доспехов, 1985; Гнатів та ін., 2022) урожаю 2020 року

| Дисперсія | Сума квадратів | Ступені свободи | Середній квадрат | $F_{\text{факт.}}$ | F_{05} |
|--|----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------|
| Загальна | 48,97 | 53 | – | – | – |
| Варіантів | 48,26 | 17 | 2,84 | 143,66 | 2,84 |
| Залишок (помилки) | 0,71 | 36 | 0,02 | – | – |
| Критерій істотності $F_{\text{факт.}}$ | | | | – | 143,66 |
| Критерій F на 5 %-му рівні значущості | | | | – | 2,84 |
| Помилка досліду | | | | т/га | 0,08 |
| Помилка різниці середніх | | | | т/га | 0,11 |
| Відносна помилка різниці середніх | | | | % | 1,72 |
| Коефіцієнт варіації | | | | % | 2,11 |
| НІР ₀₅ абсолютна | | | | т/га | 0,23 |
| НІР ₀₅ відносна | | | | % | 3,50 |

Табл. Г.5. Результати дисперсійного аналізу (Доспехов, 1985; Гнатів та ін., 2022) урожаю 2021 року

| Дисперсія | Сума квадратів | Ступені свободи | Середній квадрат | $F_{\text{факт.}}$ | F_{05} |
|-------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------|
| Загальна | 48,07 | 53 | – | – | – |
| Варіантів | 47,7 | 17 | 2,84 | 270,73 | 2,84 |
| Залишок (помилки) | 0,37 | 36 | 0,02 | – | – |

| | | |
|--|------|--------|
| Критерій істотності $F_{\text{факт.}}$ | – | 270,73 |
| Критерій F на 5 %-му рівні значущості | – | 2,84 |
| Помилка досліду | т/га | 0,06 |
| Помилка різниці середніх | т/га | 0,08 |
| Відносна помилка різниці середніх | % | 1,26 |
| Коефіцієнт варіації | % | 1,54 |
| HP_{05} абсолютна | т/га | 0,17 |
| HP_{05} відносна | % | 2,56 |

Табл. Г.6. Результати дисперсійного аналізу (Доспехов, 1985; Гнатів та ін., 2022) урожайних даних 2022 року

| Дисперсія | Сума квадратів | Ступені свободи | Середній квадрат | $F_{\text{факт.}}$ | F_{05} |
|-------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------|
| Загальна | 58,05 | 53 | – | – | – |
| Варіантів | 57,34 | 17 | 3,37 | 170,29 | 2,84 |
| Залишок (помилки) | 0,71 | 36 | 0,02 | – | – |

| | | |
|--|------|--------|
| Критерій істотності $F_{\text{факт.}}$ | – | 170,29 |
| Критерій F на 5 %-му рівні значущості | – | 2,84 |
| Помилка досліду | т/га | 0,08 |
| Помилка різниці середніх | т/га | 0,11 |
| Відносна помилка різниці середніх | % | 1,65 |
| Коефіцієнт варіації | % | 2,02 |
| $НІР_{05}$ абсолютна | т/га | 0,23 |
| $НІР_{05}$ відносна | % | 3,35 |

Табл. Г.7. Кореляція врожаю ячменю озимого 2020 року, вмісту поживних речовин в ґрунті та його кислотності, r_{\pm}

| Показник, термін аналізу, глибина ґрунту, см | Урожай | Нітрати | | | | N _{гидр} | | | | рН | | | |
|---|--------|---------|-------|----------|-------|-------------------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|-------|
| | | весна | | збирання | | весна | | збирання | | весна | | збирання | |
| | | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| Нітрати, весна, 0-20 | 0,88 | X | | | | | | | | | | | |
| Нітрати, весна, 20-40 | 0,86 | 0,99 | X | | | | | | | | | | |
| Нітрати, збирання, 0-20 | -0,44 | -0,39 | -0,38 | X | | | | | | | | | |
| Нітрати, збирання, 20-40 | -0,34 | -0,28 | -0,28 | 0,95 | X | | | | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 0-20 | 0,87 | 0,84 | 0,81 | -0,54 | -0,48 | X | | | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 20-40 | 0,89 | 0,82 | 0,79 | -0,49 | -0,41 | 0,97 | X | | | | | | |
| N _{гидр} , збирання, 0-20 | 0,17 | 0,22 | 0,21 | 0,59 | 0,60 | -0,08 | -0,03 | X | | | | | |
| N _{гидр} , збирання, 20-40 | 0,31 | 0,41 | 0,41 | 0,48 | 0,46 | 0,16 | 0,21 | 0,93 | X | | | | |
| рН, весна, 0-20 | -0,60 | -0,86 | -0,88 | 0,20 | 0,11 | -0,49 | -0,46 | -0,34 | -0,47 | X | | | |
| рН, весна, 20-40 | -0,69 | -0,88 | -0,90 | 0,26 | 0,14 | -0,55 | -0,54 | -0,33 | -0,46 | 0,96 | X | | |
| рН, збирання, 0-20 | -0,42 | -0,74 | -0,76 | 0,07 | -0,04 | -0,32 | -0,30 | -0,44 | -0,53 | 0,94 | 0,88 | X | |
| рН, збирання, 20-40 | -0,54 | -0,80 | -0,82 | 0,15 | 0,02 | -0,42 | -0,42 | -0,42 | -0,53 | 0,93 | 0,96 | 0,95 | X |
| P, весна, 0-20 | 0,59 | 0,52 | 0,51 | -0,80 | -0,70 | 0,49 | 0,47 | -0,36 | -0,33 | -0,44 | -0,52 | -0,27 | -0,39 |
| P, весна, 20-40 | 0,61 | 0,55 | 0,54 | -0,79 | -0,68 | 0,52 | 0,51 | -0,33 | -0,29 | -0,46 | -0,55 | -0,30 | -0,43 |
| P, збирання, 0-20 | 0,34 | 0,30 | 0,28 | -0,70 | -0,63 | 0,26 | 0,23 | -0,43 | -0,42 | -0,31 | -0,38 | -0,16 | -0,27 |
| P, збирання, 20-40 | 0,31 | 0,28 | 0,27 | -0,71 | -0,62 | 0,22 | 0,18 | -0,47 | -0,46 | -0,28 | -0,35 | -0,15 | -0,24 |
| K, весна, 0-20 | 0,59 | 0,52 | 0,51 | -0,81 | -0,72 | 0,52 | 0,51 | -0,39 | -0,34 | -0,43 | -0,51 | -0,26 | -0,38 |
| K, весна, 20-40 | 0,66 | 0,57 | 0,55 | -0,78 | -0,70 | 0,55 | 0,54 | -0,29 | -0,24 | -0,47 | -0,55 | -0,29 | -0,41 |
| K, збирання, 0-20 | 0,39 | 0,30 | 0,28 | -0,72 | -0,67 | 0,37 | 0,36 | -0,44 | -0,37 | -0,25 | -0,32 | -0,06 | -0,17 |
| K, збирання, 20-40 | 0,17 | 0,12 | 0,10 | -0,56 | -0,52 | 0,18 | 0,18 | -0,44 | -0,38 | -0,14 | -0,20 | -0,02 | -0,10 |

Найменший достовірний $r = \pm 0,47$ за значущості при $p < 0,05$

Табл. Г.8. Кореляція врожаїв ячменю озимого з вмістом легкогідролізного азоту в ґрунті та його кислотністю, r_{\pm}

| Показник | Урожай | | | | N _{гидр} | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--------|-------------------|-------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|
| | | | | | весна | | | | збирання | | | |
| | 2020 р. | | 2021 р. | | 2020 р. | | 2021 р. | | 2020 р. | | 2021 р. | |
| | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | Серед. | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| Урожай 2021 р. | 0,97 | x | | | | | | | | | | |
| Урожай 2022 р. | 0,98 | 0,99 | x | | | | | | | | | |
| Середній урожай | 0,99 | 0,99 | 1,00 | x | | | | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 0-20 см, 2020 р. | 0,87 | 0,84 | 0,83 | 0,85 | x | | | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 20-40 см, 2020 р. | 0,89 | 0,88 | 0,87 | 0,89 | 0,97 | x | | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 0-20 см, 2021 р. | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,84 | 0,96 | 0,95 | x | | | | | |
| N _{гидр} , весна, 20-40 см, 2021 р. | 0,89 | 0,89 | 0,88 | 0,89 | 0,96 | 0,96 | 0,97 | x | | | | |
| N _{гидр} , збирання, 0-20 см, 2020 р. | 0,17 | 0,27 | 0,26 | 0,23 | -0,08 | -0,03 | 0,07 | 0,09 | x | | | |
| N _{гидр} , збирання, 20-40 см, 2020 р. | 0,31 | 0,39 | 0,38 | 0,36 | 0,16 | 0,21 | 0,33 | 0,33 | 0,93 | x | | |
| N _{гидр} , збирання, 0-20 см, 2021 р. | 0,10 | 0,21 | 0,18 | 0,17 | -0,13 | -0,11 | -0,02 | -0,02 | 0,87 | 0,77 | x | |
| N _{гидр} , збирання, 20-40 см, 2021 р. | 0,30 | 0,39 | 0,37 | 0,35 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | 0,11 | 0,79 | 0,70 | 0,92 | x |
| pH _{KCl} , весна, 0-20 см, 2020 р. | -0,60 | -0,59 | -0,59 | -0,60 | -0,49 | -0,46 | -0,51 | -0,58 | -0,34 | -0,47 | -0,33 | -0,37 |
| pH _{KCl} , весна 20-40 см, 2020 р. | -0,69 | -0,66 | -0,66 | -0,67 | -0,55 | -0,54 | -0,57 | -0,66 | -0,33 | -0,46 | -0,27 | -0,36 |
| pH _{KCl} , збирання, 0-20 см, 2020 р. | -0,42 | -0,42 | -0,40 | -0,42 | -0,32 | -0,30 | -0,38 | -0,42 | -0,44 | -0,53 | -0,41 | -0,36 |
| pH _{KCl} , збирання, 20-40 см, 2020 р. | -0,54 | -0,53 | -0,51 | -0,53 | -0,42 | -0,42 | -0,47 | -0,54 | -0,42 | -0,53 | -0,34 | -0,35 |
| pH _{KCl} весна, 0-20 см, 2021 р. | -0,41 | -0,37 | -0,37 | -0,39 | -0,28 | -0,26 | -0,34 | -0,38 | -0,32 | -0,44 | -0,38 | -0,41 |
| pH _{KCl} , весна 20-40 см, 2021 р. | -0,52 | -0,48 | -0,48 | -0,49 | -0,37 | -0,36 | -0,40 | -0,46 | -0,31 | -0,42 | -0,35 | -0,40 |
| pH _{KCl} , збирання, 0-20 см, 2021 р. | -0,31 | -0,31 | -0,32 | -0,31 | -0,13 | -0,09 | -0,18 | -0,25 | -0,49 | -0,49 | -0,50 | -0,54 |
| pH _{KCl} , збирання, 20-40 см, 2021 р. | -0,28 | -0,27 | -0,28 | -0,28 | -0,05 | -0,05 | -0,10 | -0,21 | -0,58 | -0,57 | -0,40 | -0,44 |

Найменший достовірний $r = \pm 0,47$ за значущості при $p < 0,05$

Табл. Г.9. Кореляція врожаїв зерна ячменю озимого, місту доступних форм фосфору, калію та легкогідролізного азоту в ґрунті, r_{\pm}

| Показник | Урожай | | | | N _{гдр} | | | | | | | | pH _{ксі} | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|--------|------------------|-------|---------|-------|----------|-------|---------|-------|-------------------|-------|----------|-------|---------|-------|----------|-------|
| | | | | | Весна | | | | Збирання | | | | 2020 р. | | | | 2021 р. | | | |
| | 2020 р. | | 2021 р. | | 2020 р. | | 2021 р. | | 2020 р. | | 2021 р. | | Весна | | Збирання | | Весна | | Збирання | |
| | 2020 р. | 2021 р. | 2022 р. | Серед. | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| Р, весна, 0-20 см, 2020 р. | 0,59 | 0,46 | 0,49 | 0,52 | 0,49 | 0,47 | 0,32 | 0,42 | -0,36 | -0,33 | -0,40 | -0,22 | -0,44 | -0,52 | -0,27 | -0,39 | -0,28 | -0,41 | -0,24 | -0,25 |
| Р, весна, 20-40 см, 2020 р. | 0,61 | 0,48 | 0,50 | 0,53 | 0,52 | 0,51 | 0,35 | 0,45 | -0,33 | -0,29 | -0,37 | -0,21 | -0,46 | -0,55 | -0,30 | -0,43 | -0,30 | -0,43 | -0,26 | -0,27 |
| Р, збирання, 0-20 см, 2020 р. | 0,34 | 0,17 | 0,22 | 0,25 | 0,26 | 0,23 | 0,09 | 0,19 | -0,43 | -0,42 | -0,53 | -0,37 | -0,31 | -0,38 | -0,16 | -0,27 | -0,24 | -0,33 | -0,25 | -0,31 |
| Р, збирання, 0-20 см, 2020 р. | 0,31 | 0,13 | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,18 | 0,06 | 0,15 | -0,47 | -0,46 | -0,56 | -0,38 | -0,28 | -0,35 | -0,15 | -0,24 | -0,25 | -0,33 | -0,21 | -0,30 |
| Р, весна, 0-20 см, 2021 р. | 0,56 | 0,42 | 0,45 | 0,48 | 0,47 | 0,45 | 0,30 | 0,39 | -0,42 | -0,39 | -0,47 | -0,29 | -0,38 | -0,47 | -0,22 | -0,33 | -0,22 | -0,35 | -0,17 | -0,19 |
| Р, весна, 20-40 см 2021 р. | 0,62 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,53 | 0,51 | 0,36 | 0,45 | -0,37 | -0,34 | -0,42 | -0,22 | -0,40 | -0,50 | -0,22 | -0,35 | -0,23 | -0,37 | -0,19 | -0,19 |
| Р, збирання, 0-20 см, 2021 р. | 0,53 | 0,39 | 0,43 | 0,45 | 0,41 | 0,41 | 0,26 | 0,35 | -0,37 | -0,34 | -0,45 | -0,27 | -0,37 | -0,46 | -0,20 | -0,33 | -0,25 | -0,36 | -0,21 | -0,25 |
| Р, збирання, 20-40 см, 2021 р. | 0,53 | 0,41 | 0,44 | 0,46 | 0,40 | 0,40 | 0,24 | 0,33 | -0,32 | -0,32 | -0,38 | -0,21 | -0,40 | -0,47 | -0,25 | -0,36 | -0,24 | -0,37 | -0,22 | -0,24 |
| К, весна, 0-20 см, 2020 р. | 0,59 | 0,46 | 0,49 | 0,52 | 0,52 | 0,51 | 0,35 | 0,44 | -0,39 | -0,34 | -0,44 | -0,27 | -0,43 | -0,51 | -0,26 | -0,38 | -0,27 | -0,40 | -0,23 | -0,23 |
| К, весна, 20-40 см, 2020 р. | 0,66 | 0,54 | 0,57 | 0,59 | 0,55 | 0,54 | 0,39 | 0,49 | -0,29 | -0,24 | -0,36 | -0,16 | -0,47 | -0,55 | -0,29 | -0,41 | -0,30 | -0,43 | -0,27 | -0,29 |
| К, збирання, 0-20 см, 2020 р. | 0,39 | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,36 | 0,20 | 0,30 | -0,44 | -0,37 | -0,52 | -0,35 | -0,25 | -0,32 | -0,06 | -0,17 | -0,12 | -0,22 | -0,13 | -0,19 |
| К, збирання, 0-20 см, 2020 р. | 0,17 | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,18 | 0,18 | 0,05 | 0,14 | -0,44 | -0,38 | -0,62 | -0,50 | -0,14 | -0,20 | -0,02 | -0,10 | -0,08 | -0,16 | -0,12 | -0,28 |
| К, весна, 0-20 см, 2021 р. | 0,58 | 0,46 | 0,49 | 0,51 | 0,51 | 0,49 | 0,34 | 0,43 | -0,35 | -0,31 | -0,42 | -0,26 | -0,45 | -0,53 | -0,29 | -0,40 | -0,29 | -0,42 | -0,25 | -0,27 |
| К, весна, 20-40 см, 2021 р. | 0,72 | 0,60 | 0,63 | 0,66 | 0,61 | 0,61 | 0,49 | 0,58 | -0,24 | -0,17 | -0,36 | -0,18 | -0,52 | -0,61 | -0,35 | -0,48 | -0,33 | -0,47 | -0,28 | -0,33 |
| К, збирання, 0-20 см, 2021 р. | 0,48 | 0,31 | 0,37 | 0,39 | 0,35 | 0,33 | 0,19 | 0,29 | -0,37 | -0,35 | -0,44 | -0,28 | -0,37 | -0,45 | -0,22 | -0,33 | -0,28 | -0,39 | -0,24 | -0,29 |
| К, збирання, 20-40 см, 2021 р. | 0,43 | 0,26 | 0,31 | 0,33 | 0,32 | 0,32 | 0,17 | 0,25 | -0,46 | -0,42 | -0,51 | -0,36 | -0,31 | -0,40 | -0,16 | -0,28 | -0,23 | -0,33 | -0,13 | -0,17 |

Найменший достовірний $r = \pm 0,47$ за значущості при $p < 0,05$

Додаток Д
Таблиці і рисунки до розділу 6

Табл. Д.1. Результати дисперсійного аналізу даних вмісту сирого протеїну у зерні урожаю 2020 і 2022 років

| Показник | 2020 рік | 2022 рік |
|---------------------------------------|----------|----------|
| Критерій суттєвості $F_{\text{факт}}$ | 32.13 | 29.8 |
| Критерій F на 5 %-му рівні значимості | 2.84 | 2,92 |
| Помилка дослід, т/га | 0,19 | 0,19 |
| Помилка різниці середніх, т/га | 0,27 | 0,27 |
| Відносна помилка різниці середніх, % | 2,21 | 2,25 |
| НІР абсолютна, % | 0,55 | 0,55 |
| НІР відносна, % | 4,48 | 4,59 |
| Коефіцієнт варіації, % | 2,71 | 2,76 |

Табл. Д.2. Кореляції білковості й вологості зерна ячменю озимого з нормами застосування азоту, r_{\pm}

| Роки Показники | | 2020 р. | 2022 р. | |
|-------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|
| | | Сирий протеїн, % | Сирий протеїн, % | Вологість, % |
| 2022 р. | Білки, % | 0,91 | x | |
| | Вологість, % | – | –0,48 | x |
| Норма N, кг/га | | 0,92 | 0,86 | –0,45 |

Прим.: Виділені показники з $P < 0,05$

Табл. Д.3. Співвідношення вологи і складових сухої речовини у зерні ячменю озимого залежно від норм азотного удобрення та дії нітрапірину у 2022 році, % у сухій речовині.

| Варіант удобрення | Мінеральні складових | | Органічні складових | | | | |
|---|----------------------|-----------|---------------------|---------------|-----------------|-----------|------|
| | Волога | Сира зола | Крохмаль | Сирий протеїн | Сира клітковина | Сирий жир | БЕР* |
| 5. Фон - N23P60K60(Рафк) (п.с.) + N97(Nк) (п.с.) - N120 | 12,1 | 3,0 | 63,0 | 11,7 | 4,2 | 1,7 | 4,3 |
| 6. Фон + N97(Nк) (п.с.) + N-Lok Max (п.с.) - N120 | 11,8 | 3,1 | 62,5 | 12,2 | 4,7 | 1,9 | 3,8 |
| 8. N23(Naa) (п.с.) + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) - N120 | 11,5 | 1,9 | 65,9 | 12,3 | 3,1 | 1,8 | 3,5 |
| 9. N23(Naa) (п.с.) + N67 (в.в.) + N30 (п.к.) + N-Lok Max (в.в.) - N120 | 12,2 | 2,0 | 64,7 | 12,3 | 3,0 | 1,9 | 3,9 |
| 10. Контроль - Фон + N37(Naa) (в.в.) - N60 | 11,7 | 2,8 | 61,6 | 12,6 | 4,1 | 1,8 | 5,4 |
| 11. Фон + N37(Naa) + N-Lok Max (в.в.) - N60 | 12,2 | 3,1 | 60,2 | 12,9 | 3,9 | 1,9 | 5,8 |

Примітка: * БЕР – без азотисті екстрактивні речовини.

Додаток Е

Таблиці і рисунки до розділу 7

Табл. Е.1 – Економічна ефективність мінерального удобрення ячменю озимого, у середньому за 2020-2022 роки

| Варіант дослідю | Урожайність, т/га | Вартість валової продукції, грн./га | Вартість приросту урожайності, грн./га | Всього затрат, грн./га | Затрати на добрива і їх внесення, грн./га | Чистий прибуток, грн./га | Рентабельність, % | Окупність 1 грн. затрат на добрива і їх внесення, грн. |
|--|-------------------|-------------------------------------|--|------------------------|---|--------------------------|-------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. Без добрив – N ₀ | 4,57 | 36560 | 0 | 9800 | 0 | 26760 | 273,1 | 0 |
| 2. Без добрив + N-Lok Макс – N ₀ | 4,36 | 34880 | -1648 | 10786 | 986 | 24094 | 223,4 | 24,4 |
| 3. Фон – N ₂₃ P ₆₀ K ₆₀ (Рафк) (п.с.) – N ₂₃ | 5,63 | 45040 | 8747 | 18540 | 8740 | 26500 | 142,9 | 3,03 |
| 4. Фон + N-Lok Макс (п.с.) – N ₂₃ | 6,13 | 49040 | 11075 | 19526 | 9726 | 29514 | 151,2 | 3,03 |
| 5. Фон + N ₉₇ (Nк) (п.с.) – N ₁₂₀ | 6,32 | 50560 | 15566 | 28453 | 18653 | 22107 | 77,7 | 1,19 |
| 6. Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (п.с.) – N ₁₂₀ | 7,39 | 59120 | 22929 | 29439 | 19639 | 29681 | 100,8 | 1,51 |
| 7. Фон + N ₉₇ (Nк) + N-Lok Макс (в.в.) – N ₁₂₀ | 6,57 | 52560 | 16524 | 29439 | 19639 | 23121 | 78,5 | 1,18 |
| 8. N ₂₃ (Naa) (п.с.) + N ₆₇ (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) – N ₁₂₀ | 7,03 | 56240 | 15138 | 22859 | 13059 | 33381 | 146,0 | 2,56 |
| 9. Те ж + N-Lok Макс (в.в.) – N ₁₂₀ | 7,36 | 58880 | 16773 | 23845 | 14045 | 35035 | 146,9 | 2,49 |
| 10. Фон + N ₃₇ (Naa) (в.в.) – N ₆₀ – контроль | 6,92 | 55360 | 16347 | 22566 | 12766 | 32794 | 145,3 | 2,57 |
| 11. Фон + N ₃₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) – N ₆₀ | 6,89 | 55120 | 22624 | 23552 | 13752 | 31568 | 134,0 | 2,30 |

Продовження табл. Е.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 12. Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) – N ₉₀ | 7,15 | 57200 | 20080 | 25831 | 16031 | 31369 | 121,4 | 1,96 |
| 13. Фон + N ₆₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) – N ₉₀ | 7,39 | 59120 | 24516 | 26817 | 17017 | 32303 | 120,5 | 1,90 |
| 14. Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) – N ₁₂₀ | 7,47 | 59760 | 23182 | 29096 | 19296 | 30664 | 105,4 | 1,59 |
| 15. Фон + N ₉₇ (Naa) (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) – N ₁₂₀ | 7,37 | 58960 | 24123 | 30082 | 20282 | 28878 | 96,0 | 1,42 |
| 16. Фон + N ₉₇ (Naa) + N-Lok Макс (в.в.) – N ₁₂₀ | 7,52 | 60160 | 24996 | 29096 | 19296 | 31064 | 106,8 | 1,61 |
| 17. Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) – N ₁₂₀ | 7,51 | 60080 | 22951 | 29096 | 19296 | 30984 | 106,5 | 1,61 |
| 18. Фон + N ₆₇ (Naa) (в.в.) + N ₃₀ (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) – N ₁₂₀ | 7,65 | 61200 | 23702 | 30082 | 20282 | 31118 | 103,4 | 1,53 |

Таблиця Е.2 – Енергетична ефективність мінерального удобрення ячменю, у середньому за 2020-2022 роки

| Варіант дослідю | Урожайність зерна, т/га | Вихід сухої речовини, т/га | Енергоємність матеріалів, МДж/га | Енергоємність зерна, МДж/га | Енерговитрати, МДж/га посіву | $K_{се}$ (коефіцієнт енерг.ефект.) |
|--|----------------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Без добрив – N_0 | 4,57 | 3,93 | 0 | 75185 | 22620 | 3,32 |
| 2. Без добрив + N-Lok Макс – N_0 | 4,36 | 3,75 | 350 | 71730 | 22970 | 3,12 |
| 3. Фон – $N_{23}P_{60}K_{60}$ (Рафк) (п.с.) – N_{23} | 5,63 | 4,84 | 1465 | 92624 | 24085 | 3,85 |
| 4. Фон + N-Lok Макс (п.с.) – N_{23} | 6,13 | 5,27 | 1815 | 100850 | 24435 | 4,13 |
| 5. Фон + $N_{97}(NK)$ (п.с.) – N_{120} | 6,32 | 5,44 | 12134 | 103975 | 34754 | 2,99 |
| 6. Фон + $N_{97}(NK)$ + N-Lok Макс (п.с.) – N_{120} | 7,39 | 6,36 | 12484 | 121579 | 35104 | 3,46 |
| 7. Фон + $N_{97}(NK)$ + N-Lok Макс (в.в.) – N_{120} | 6,57 | 5,65 | 12484 | 108088 | 35104 | 3,08 |
| 8. $N_{23}(Naa)$ (п.с.) + N_{67} (в.в.) + N_{30} (п.к.) – N_{120} | 7,03 | 6,05 | 10669 | 115656 | 33289 | 3,47 |
| 9. Те ж + N-Lok Макс (в.в.) – N_{120} | 7,36 | 6,33 | 11019 | 121085 | 33639 | 3,60 |
| 10. Фон + $N_{37}(Naa)$ (в.в.) – N_{60} – контроль | 6,92 | 5,95 | 6896 | 113846 | 29516 | 3,86 |
| 11. Фон + $N_{37}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) – N_{60} | 6,89 | 5,93 | 7246 | 113353 | 29866 | 3,80 |
| 12. Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) – N_{90} | 7,15 | 6,15 | 9515 | 117630 | 32135 | 3,66 |
| 13. Фон + $N_{67}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) – N_{90} | 7,39 | 6,36 | 9865 | 121579 | 32485 | 3,74 |
| 14. Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) – N_{120} | 7,47 | 6,42 | 12134 | 122895 | 34754 | 3,54 |
| 15. Фон + $N_{97}(Naa)$ (в.в.) + N-Lok Макс (п.с.) – N_{120} | 7,37 | 6,34 | 12484 | 121250 | 35104 | 3,45 |
| 16. Фон + $N_{97}(Naa)$ + N-Lok Макс (в.в.) – N_{120} | 7,52 | 6,47 | 12134 | 123718 | 34754 | 3,56 |
| 17. Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) – N_{120} | 7,51 | 6,46 | 12327 | 123553 | 34947 | 3,54 |
| 18. Фон + $N_{67}(Naa)$ (в.в.) + N_{30} (п.к.) + N-Lok Макс (в.в.) – N_{120} | 7,65 | 6,58 | 12677 | 125856 | 35297 | 3,57 |

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Шестак В. Г. Біометричні аспекти і фенологічні етапи формування врожаю ячменю озимого під впливом удобрення та інгібітора нітрифікації. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. Вип. 101, Част. 1, 2022. С. 28-46. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-28-46

2. Шестак В. Г. Значення фосфорно-калійних добрив для дії азоту та нітрапірину при вирощуванні ячменю озимого в Західному Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72(1): 105-134. doi: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-8.

3. Шестак В. Г., Гнатів П. С. Урожайність ячменю озимого за різних систем мінерального удобрення та застосування інгібітора уреаз. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*, 2022, 24(97): 21-30. doi:10.32718/nvlvet-a9703. *(Здобувачем проведені дослідження, аналітичне опрацювання результатів, обґрунтовані виявлені закономірності, сформульовані висновки).*

4. Гнатів П. С., Литвин О. Ф., Іванюк В. Я., Лагуш Н. І., Шестак В. Г., Коцюба Б. І. Створення й апробація програмного забезпечення статистичного моделювання вірогідності результатів агрономічних експериментів. *Вісник ЛНУП. Агрономія*, 2022, 26: 157-162. Doi.org/10.31734/agronomy2022.26.157 *(Здобувачем отримано експериментальний матеріал урожайності озимого ячменю і здійснено статистичну обробку даних).*

Статті у міжнародних виданнях, що включені до наукометричних баз (Scopus, Web of Science)

5. Shestak V., Hnativ P., Ivaniuk V., Olifir Y., Szulc W., Rutkowska B., Szychaj-Fabisiak E., Vega N., Parkhuc B., Kachmar O., Kocyuba B., Bahaj T. 2023. Dynamics of the forms of nutrient nitrogen in Greyic Luvic Phaeozem when

regulating their resources with fertilizers and nitrapyrin applied to winter barley. *Journal of Elementology*, 28(1): 41-58. DOI: 10.5601/jelem.2023.28.1.2352. (Scopus, Web of Science) *(Здобувачем проведено дослідження, аналітичне опрацювання результатів, обґрунтовані виявлені закономірності, сформульовані висновки).*

6. Polovyy V., Hnativ P., Balkovsky V., Ivaniuk V., Lahush N., Shestak V., Szulc W., Rutkowska B., Lukashchuk L., Lukyanik M., Lopotych N. The influence of climate changes on crop yields in Western Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021, 11(1), 384-390. doi: 10.15421/2021_56. (Web of Science). *(Здобувачем зібрано довідковий архівний матеріал, підготовлено ілюстрації до статті та колективно сформульовані висновки).*

Інші публікації

7. Гнатів П. С., Лагуш Н. І., Шестак В. Г. Зміни клімату в Україні і фіторізноманіття агрокультур. Проблеми уникнення втрат біорізноманіття Українських Карпат. Матер. міжн. наук. конф., присв. 100-річчю від дня народження професора К. Малиновського (Львів, 14-15 травня 2020 р.). Львів, 2020. С. 78-80. *(Здобувачем опрацьовано дані моніторингу клімату, підготовлено текст статті та ілюстративний матеріал, сформульовано колективні висновки).*

8. Шестак В., Вега Н., Пархуць Б. Вплив зміни мезоклімату Західноукраїнської широколистяно-лісової зони на врожайність озимих зернових культур. Міжнародна наукова конференція «Прогнози та перспективи наукових відкриттів у галузі аграрних наук і продовольства». 30–31 серпня 2022 року. м. Рига, Латвійська Республіка. Електронний збірник. <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/252/7088/14754-1?inline=1>. *(Здобувачем опрацьовано дані моніторингу клімату, підготовлено текст статті в частині опису продуктивності озимого ячменю, сформульовано колективні висновки).*

9. Шестак В. Г. Кліматичні чинники росту й розвитку ячменю озимого. Матеріали XXIII Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій», що відбувся 4-5 жовтня 2022 р. (ЛНУП, м. Львів – м. Дубляни) URL: <http://lnau.edu.ua/lnau/files/Forum2022.pdf>

10. Шестак В. Г. Вплив інгібітора нітрифікації N-Лок Макс при внесенні під ячмінь озимий на викиди закису азоту в атмосферу. XI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Актуальні проблеми агропромислового виробництва України: продовольча безпека в умовах воєнного часу і повоєнної відбудови країни», 10 листопада 2022 р. (Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН (с. Оброшине).

11. Гнатів П. С., Іванюк В. Я., Шестак В. Г., Вега Н. І., Оліфір Ю. М., 2022. Комплексний аналіз ефективності живлення ячменю озимого. *Агронаука і практика*, Вип. 1, Ч. 4, 2022. С. 18-27. DOI: 10.32636/agroscience.2022-(1)-4-3. (Здобувачем отримано експериментальний матеріал урожайності озимого ячменю і здійснено економічні, статистичну обробку даних та графічне моделювання).

Акти впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Керівник ФГ "Дзвін"
 Підвальний Є. Р.
 " 10 " вересня 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Шестака Володимира Геннадійовича
**"ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА
 ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ"**

10 вересня 2022 року

с.мт. Олесько

Цим актом підтверджуємо впровадження рекомендацій із дисертаційної роботи Шестака Володимира Геннадійовича "ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ" в фермерському господарстві "Дзвін" за такими позиціями:

1. З метою підвищення врожайності ячменю озимого та віддачі підвищених норм мінеральних добрив внесено $N_{23}P_{60}K_{60}$ (діамофоска – перед сівбою) + N_{97} (амонійна селітра – у фазі відновлення вегетації) та на площі 21 га застосовано стабілізатор азоту нітрапірін N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га при відновленні весняної вегетації. Прибавка врожаю зерна становила 0,68 т/га порівняно з традиційним фоном удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Чистий прибуток від впровадження ініційованої системи удобрення становив 24160 грн/га.

2. На посівах на площі 25 га, де під ячмінь озимий з осені внесли $N_{23}P_{60}K_{60}$ (діамофоска) + N_{97} (карбамід) та одночасно застосували N-Lok Макс в нормі 1,7 л/га, була отримана прибавка врожаю 0,42 т/га порівняно із загальноприйнятою системою удобрення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Чистий прибуток становив 23040 грн/га.

Від розробника
 рекомендацій:
 аспірант кафедри агрохімії
 та ґрунтознавства ЛНУП

Шеста́к В. Г. Шеста́к

Від господарства бухгалтер
 ФГ "Дзвін"

Паляниця Т. Б.



**ЛЬВІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**



**LVIV
NATIONAL
ENVIRONMENTAL
UNIVERSITY**

вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни,
Львівський район, Львівська область, 80381,
Україна
тел.: (032)22-42-335, факс: (032)22-42-919,
e-mail: rectorat@lnup.edu.ua

1, Volodymyra Velykoho Str., Dubliany,
Lviv district, Lviv region, 80381
Ukraine
phone: (032)22-42-335, fax: (032)22-42-919,
e-mail: rectorat@lnup.edu.ua

26.12.2019 № *01-28-0891-1377*
На № _____ від _____

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта кафедри агрохімії та ґрунтознавства
Львівського національного університету природокористування
Шестака Володимира Геннадійовича**

Аспірант Львівського національного університету природокористування Володимир Геннадійович Шестак на основі результатів наукових досліджень за темою дисертації «ОПТИМІЗАЦІЯ АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО НА ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ» на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» розробив та вніс свої пропозиції до програм навчальних дисциплін, які викладаються в університеті: «Системи удобрення польових культур», «Рослинництво», «Аналітичний агрохімсервіс та управління якістю ґрунтів», «Екологічні основи застосування добрив і моніторинг родючості ґрунтів».

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду, в якій проводитиметься захист дисертації Володимира Шестака.

Проректор з наукової роботи
д. е. н., професор

Декан факультету
агротехнологій та екології
к. с.-г. н, доцент



Ігор ЯЦІВ

Володимир БАЛЬКОВСЬКИЙ