

АГРОХІМІЧНЕ, ЕНЕРГЕТИЧНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРІВ ПІД ЯЧМІНЬ ЯРИЙ ГОЛОЗЕРНИЙ

Г. М. ГОСПОДАРЕНКО¹, доктор сільськогосподарських наук

В. В. ЛЮБИЧ¹, доктор сільськогосподарських наук

В. С. ГАВРИЛЕНКО¹, доктор філософії

О. В. ТРИГУБ², кандидат сільськогосподарських наук

Ю. Г. ІЛЛІЧОВ², молодший науковий співробітник

¹ Уманський національний університет

² Устимівська дослідна станція рослинництва

Проаналізовано агрохімічну енергетичну та економічну ефективність застосування добрив під ячмінь ярий голозерний. За індексом комплексного оцінювання найкраща система удобрення з внесенням $N_{35}P_{30}K_{35}$. Дещо їй поступається система удобрення з внесенням $N_{70}K_{70}$ і $N_{70}P_{30}K_{35}$. У цих варіантах досліді не лише з економічного та енергетичного погляду покриваються витрати, але й відновлюється або й підвищується родючість ґрунту.

Ключові слова: ячмінь ярий голозерний, агрохімічна, енергетична, економічна ефективність, добрива, індекс комплексного оцінювання.

Постановка проблеми Важливим критерієм доцільності застосування певного агротехнологічного заходу є оцінювання його ефективності. Це дає можливість розробити оптимальний набір заходів технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур з урахуванням реальних витрат і можливих прибутків [1]. Ефективність застосування добрив у зв'язку зі зміною цін, різною післядією видів і форм добрив необхідно систематично аналізувати та виявляти резерви її підвищення [2]. Результати аналізу ефективності застосування різних доз, форм, строків і способів застосування добрив повинні бути спрямовані на пошук можливостей підвищення їх доцільності придбання. При цьому важливо визначити пріоритетні напрямки їх застосування, розподілення між культурами у сівозміні, обґрунтування їх доз і поєднань та економічної доцільності певної системи удобрення. Це сприятиме одержання високих приростів урожаю, вартість якого покриватиме витрати на застосування добрив, сприятиме відновленню, а за певних економічних умов і сталому підвищенню родючості ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як перспективної продовольчої культури, внутрішнє споживання, так і експортні поставки зерна ячменю голозерного в інші країни з року в рік зростають. Проте обсяги його реалізації визначаються відповідними вимогами щодо якості [1]. Ячмінь ярий характеризується коротким вегетаційним періодом. Тому формування відповідної якості зерна визначається низкою чинників, зокрема ґрунтово-

кліматичними умовами регіону, погодними умовами вегетації, попередником, технологією вирощування [2]. Серед агрозаходів провідне місце належить оптимізації умов мінерального живлення ячменю голозерного, оскільки рівень забезпеченості рослин макро- та мікроелементами дає можливість управляти показниками якості зерна, зокрема вмістом білка [3]. Вміст білка є важливим показником якості зерна ячменю голозерного. Це показник, який визначає його цільове призначення – для пивоваріння чи продовольче. Безпосередній вплив на формування білкової складової зерна має наявність у ґрунті азоту мінеральних сполук за оптимального живлення фосфором і калієм [4].

Добрива впливають на властивості ґрунту та покращують врожайність сільськогосподарських культур [5]. Дефіцит балансу поживних речовин призводить до реалізації потенціалу ґрунту та клімату для сільськогосподарського виробництва та знижує потенціал сорту, засобів захисту рослин тощо [6]. Правильне застосування добрив сприяє збільшенню врожайності та покращенню якості отриманої продукції, а неправильне часто призводить до зниження врожайності та якості [7].

Багато досліджень показали, що використання азотних добрив призводить до збільшення врожайності, вмісту білка (понад 12 % у зерні) та однорідності зерна пивоварного ячменю, а фосфор і калій – покращують накопичення продуктів фотосинтезу, що сприяє зменшенню білків у зерні ячменю [8, 9]. З іншого боку, за нестачі доступного калію та фосфору рослини формують низький урожай, але дуже часто зі збільшеним вмістом білка [10]. Тривале використання органічних та мінеральних добрив у відповідних дозах не створює ризику забруднення зерна ячменю важкими елементами, якщо сільськогосподарські культури вирощуються на ґрунтах з високим вмістом гумусу [11, 12]. При виробництві ячменю в умовах дефіциту води якість зерна можна покращити шляхом комплексного внесення добрив [13, 14].

Отже, застосування добрив у технології вирощування ячменю ярого відіграє важливу роль. Тому актуальним є питання вивчення ефективності застосування різних видів і доз добрив за вирощування ячменю голозерного.

Мета. Визначити агрохімічну, енергетичну та економічну ефективність застосування добрив під ячмінь ярий голозерний.

Методика досліджень. Експериментальну частину досліджень проведено в умовах Правобережного Лісостепу України у стаціонарному польовому досліді з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи, закладеному у 2011 році на дослідному полі Уманського НУС. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення дослідів триразове. Площа облікової ділянки 25 м². Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 3,8 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук – низький, рухомих сполук фосфору та калію – підвищений, рН_{KCl} – 5,7.

У варіанті дослідів виробничого контролю (N₁₅₀P₆₀K₈₀) доза добрив розрахована за господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему дослідів складено так, щоб за результатами

проведених досліджень можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив і визначити оптимальне їх поєднання як у сівозміні, так і під окремі культури. Схема застосування добрив у польовій сівозміні включала такі варіанти (насиченість добривами 1 га площі сівозміни): без добрив (контроль), N₇₅, N₁₅₀, P₆₀K₈₀, N₁₅₀K₈₀, N₁₅₀P₆₀, N₇₅P₃₀K₄₀, N₁₅₀P₆₀K₈₀, N₁₅₀P₃₀K₄₀, N₁₅₀P₆₀K₄₀, N₁₅₀P₃₀K₈₀. Відповідно до схеми досліду фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивування та в підживлення. Нетоварна частина врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишається на полі на добриво. Вирощували ячмінь голозерний ярий (сорт Ахілес).

Оптимальну систему удобрення визначали за показниками агрохімічної, економічної та енергетичної ефективності з урахуванням витрат на застосування мінеральних добрив і збирання та доробку додаткового врожаю за технологічними картами та цін реалізації насіння ячменю в IV кварталі 2024 року. Енергетичну ефективність та індекс комплексного оцінювання (ІКО) ефективності систем удобрення ячменю голозерного – за методикою описаною Г. М. Господаренком.

Результати досліджень. За умови значного паритету цін на добрива та продукцію рослинництва їх потрібно застосовувати раціонально, щоб забезпечувати найвищу окупність одиниці діючої речовини добрив урожаем. Залежно від погодно-кліматичних і агротехнологічних умов, якості ґрунту, матеріально-технічного забезпечення господарства та інших чинників окупність добрив може змінюватися в широких межах [7].

Агрохімічну ефективність різних доз видів мінеральних добрив та їх поєднань у польовій сівозміні визначали за величиною приростів урожайності ячменю голозерного та показником окупності одиниці мінеральних добрив приростом урожаю зерна (табл. 1).

Табл. 1. Агрохімічна ефективність застосування добрив під ячмінь голозерний ярий (у середньому за 2021–2023 рр.)

Варіант досліджу	Витрати добрив на формування 1 т приросту врожаю зерна, кг д. р.	Окупність 1 кг д. р. добрив, кг зерна			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N + P ₂ O + K ₂ O
N ₃₅	64,8	15,4	—	—	15,4
N ₇₀	90,9	11,0	—	—	11,0
P ₆₀ K ₇₀	500,0	—	—	—	2,0
N ₇₀ K ₇₀	134,6	—	—	3,9	7,4
N ₇₀ P ₆₀	125,0	—	4,5	—	8,0
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	137,0	—	—	—	7,3
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	180,2	12,1	1,2	1,0	5,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	129,8	—	—	—	7,7
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	151,4	—	—	1,4	6,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	158,9	—	1,0	—	6,3

Як видно з даних табл. 1, витрати добрив на формування 1 кг приросту врожаю зерна змінювалися не лише від дози їх внесення, але і від видів основних елементів живлення та їх поєднань і змінювалися в межах 64,8–500,0 кг д. р./т з їх парних комбінацій найбільш ефективним було внесення азотних і фосфорних добрив. За внесення повного мінерального добрива за цим показником переваги мав варіант досліду $N_{70}P_{30}K_{35}$, де витрати добрив на формування 1 т зерна складали 129,8 кг д. р., що на 7,2 кг д. р. менше порівняно з нижчою дозою добрив ($N_{35}P_{30}K_{35}$). Зменшення в складі повного мінерального добрива ($N_{70}P_{60}K_{70}$) дози азоту, фосфору або обох цих елементів живлення також сприяло зменшенню витрат добрив на формування одиниці зерна на 12–28 %. Найбільший вплив на ефективну окупність повного мінерального добрива має його азотна складова.

На фосфорно-калійному тлі, порівняно лише з внесенням лише азотних добрив під ячмінь голозерний, підвищує на 1,1 кг зерна, або на 10 %. Окупність фосфорних добрив за дози внесення 30–60 кг д. р./га у складі повного мінерального добрива була 1,1–1,2 кг зерна/кг P_2O_5 і значно підвищувалась на тлі внесення лише азотних добрив – до 4,5 кг. Це ж стосується й ефективності калійних добрив, внесених на тлі азотних. Зі зменшенням дози внесення калійних добрив у складі повного удобрення вдвічі – із 70 до 35 кг д. р./га їх окупність підвищувалась на 40 %. Окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив зерном ячменю голозерного була найвищою за внесення лише азотних добрив, а найнижчою – за парної комбінації фосфорних і калійних. За внесення повного мінерального добрива у різних дозах і поєднаннях основних елементів живлення вона була в межах 5,6–7,3 кг зерна на 1 кг д. р. добрив.

Отже, з агрохімічного погляду найбільший вплив на окупність добрив ячменем голозерним має азотна складова. Вплив фосфорних і калійних добрив значно менший.

Економічна ефективність агрохімічних заходів за вирощування ячменю голозерного є важливою складовою при оцінюванні ефективності технології його вирощування та досягнення сталої урожайності. Важливим є також розуміння, що в системі прогнозування рівня рентабельності вирощування ячменю голозерного проблемними питаннями є низька його конкурентоздатність і низький рівень урожайності порівняно з іншими круп'яними культурами. Разом із тим, цілою низкою досліджень [4] за тривалий період оцінювання зазначається, що вирощування ячменю голозерного з отриманням навіть невисокої урожайності вже на рівні 3–4 т/га є економічно виправданим. Обумовлюється це високими світовими і вітчизняними цінами на зерно, а також багатoproфільним його застосуванням як цінної нішевої зернової культури, яка за багатьма показниками на рівні або ж перевищує інші культури.

Економічна складова оцінювання результатів проведених досліджень, з врахуванням істотного підвищення цін на енергетичні ресурси, мінеральні добрива тощо, є важливим аспектом вибору оптимального варіанту удобрення за результатами досліду за критерієм можливого поєднання високої агрохімічної ефективності за достатнього рівнів економічної його рентабельності.

Економічне оцінювання вирощування ячменю голозерного залежно від

доз, видів добрив та їх поєднань в основу розрахунків були взяті ринкові ціни на зерно та мінеральні добрива, що склалися в аграрному секторі економіки України в IV кварталі 2023 року. При цьому 1 тонна зерна ячменю голозерного коштувала 8300 грн, а вартість 1 т аміачної селітри – 21,5 тис. грн, 1 т суперфосфату гранульованого – 15,9 і 1 т калію хлористого – 24,6 тис. грн. Величину фінансових витрат пов'язаних із застосуванням мінеральних добрив при вирощуванні ячменю голозерного брали із технологічних карт. При цьому враховували витрати на навантаження, перевезення і внесення мінеральних добрив, а також витрати, що пов'язані з отриманням додаткового приросту врожаю (його збиранням, перевезенням, очищенням тощо). За такого паритету цін економічна ефективність застосування мінеральних добрив змінювалась залежно від їх доз, видів та поєднань (табл. 2). Вартість урожаю ячменю ярого голозерного могла становити від 13,1 до 15,7 тис. грн/га.

Табл. 2. Економічна ефективність застосування добрив під ячмінь голозерний ярий (у середньому за 2021–2023 рр.)

Варіант досліджу	Урожайність, т/га	Вартість продукції, тис. грн/га	Витрати на вирощування, тис. грн/га	Умовно чистий прибуток (збиток), тис. грн/га	Рівень рентабельності (збитковості) за умовно чистим прибутком, %
N ₃₅	2,92	13,1	6,0	7,2	119,4
N ₇₀	3,15	14,2	8,3	5,9	71,4
P ₆₀ K ₇₀	2,64	11,9	11,8	0,1	0,6
N ₇₀ K ₇₀	3,42	15,4	11,5	3,9	33,8
N ₇₀ P ₆₀	3,42	15,4	12,9	2,5	19,2
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	3,11	14,0	10,0	4,0	40,3
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	3,49	15,7	16,3	-0,6	-3,5
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	3,42	15,4	12,1	3,3	26,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	3,47	15,6	14,5	1,1	7,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	3,45	15,5	13,7	1,8	13,1

Як видно з даних табл. 2, за вартістю продукції з одиниці площі посіву ефективнішою була система удобрення з внесенням N₇₀P₆₀K₇₀. Дещо їй (на 6–19 %) поступались системи застосування добрив з внесенням менших доз повного мінерального добрива та парних комбінацій основних елементів живлення на основі азотної складової.

Витрати на застосування мінеральних добрив залежно від варіанту досліджу змінювалися в досить широких межах – від 6,0 тис. до 16,3 тис. грн/га. Застосування мінеральних добрив під ячмінь голозерний за такого паритету цін, що нині склався на аграрному ринку України було економічно виправданим, за виключенням варіанту досліджу з внесенням повного мінерального добрива в дозі N₇₀P₆₀K₇₀, де збитковість сягала 600 грн/га. Найбільш прибутковим було внесення невисоких доз добрив, у першу чергу азотних. Азотні добрива

найбільше сприяли підвищення рівня рентабельності застосування добрив за умовно чистим доходом. Калькуляція економічного показника застосованих варіантів удобрення ячменю голозерного засвідчила істотні відмінності у рівнях її рентабельності (див. табл. 2). За внесення повного мінерального добрива найбільш рентабельним було внесення під ячмінь голозерний $N_{35}P_{30}K_{35}$ і $N_{70}P_{30}K_{35}$, відповідно 40,3 % і 26,9 %.

Отже, проведені розрахунки показують, що за всіх систем удобрення, за виключенням варіанту з внесенням $N_{70}P_{60}K_{70}$, витрати на застосування добрив покриваються вартістю приросту врожаю. При цьому необхідно звернути увагу на те, що навіть за більш нижчої окупності застосування фосфорних і калійних добрив сприяє також відновленню та поліпшенню фосфатного і калійного режиму ґрунту.

Розроблення агротехнології вирощування сільськогосподарських культур має бути також енергетично ефективною та доцільною. Енергетичний аналіз являє собою оцінювання витрат непоновлювальної енергії на виробництво продукції порівняно з отриманою енергією, що виражається в порівняльних одиницях [11]. Підвищення урожайності культур інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва зазвичай супроводжується збільшенням витрат невідновлюваної енергії, в першу чергу на застосування мінеральних добрив. Розрахунок енерговіддачі добрив за різних систем удобрення нині є актуальним у зв'язку зі зменшенням обсягів її застосування за інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Тому важливо розробляти і застосовувати енергоекономічні агротехнології, впровадження яких сприятиме меншій витраті енергії на виробництво одиниці сільськогосподарської продукції [13].

В умовах зменшення сировинних і енергетичних ресурсів, подорожчання агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур і підвищення вартості переробки продукції рослинництва додаткове енергетичне оцінювання складових технологій дозволяє врахувати кількість енергії, що накопичується в основній продукції і витрачається на її утворення [14]. Основним завданням оптимізації технології вирощування сільськогосподарських культур є отримання максимальної кількості енергії з урожаєм за умови зниження енергоємності одиниці продукції [10].

У ринкових умовах господарювання економічне оцінювання ефективності застосування мінеральних добрив у грошовому вимірі має важливе значення. Проте за нестабільних цін на продукцію рослинництва, мінеральні добрива, паливо-мастильні матеріали, матеріально-технічні засоби, оплату праці вона актуальна лише впродовж короткого проміжку часу. Більш довгострокову уяву та об'єктивніше оцінювання ефективності мінеральних добрив дають енергетичні розрахунки [8].

Нині, коли важливо максимально зберігати та найбільш ефективно використовувати енергетичні ресурси енергетичне оцінювання систем удобрення ячменю голозерного є важливим. В основу проведеного енергетичного оцінювання покладено відношення енергоємності приросту врожаю зерна ячменю голозерного від застосування добрив до енергетичних витрат на їх

застосування, що відображається коефіцієнтом енергетичної ефективності (K_{ee}).

При проведенні розрахунку енергетичної ефективності застосування різних систем удобрення враховували, що для виготовлення 1 кг д. р. азотних добрив витрачається 86,6 МДж енергії, фосфорних – 38 і калійних – 10 МДж. Вміст енергії в 1 кг зерна ячменю голозерного 16,45 МДж, а енерговитрати, пов'язані з його доробкою становлять 2,56 МДж.

Низьку енергетичну ефективність застосування мінеральних добрив у проведеному досліді можна пояснити низькими приростами урожайності зерна перш за все завдяки високій природній родючості чорнозему опідзоленого та з умовами нестійкого зволоження в період його проведення (табл. 3).

Табл. 3. Енергетична ефективність застосування добрив під ячмінь голозерний ярий (у середньому за 2021–2023 рр.)

Варіант досліді	Енергоємність, ГДж/га		Чистий енергетичний дохід (збиток), ГДж/га	K_{ee}	Енергетична собівартість 1 т приросту врожаю зерна, ГДж
	приросту врожаю зерна	застосування добрив			
N ₃₅	8,9	5,4	3,5	0,64	10,1
N ₇₀	12,7	9,9	2,8	0,28	12,8
P ₆₀ K ₇₀	4,3	6,9	-2,6	-0,38	26,4
N ₇₀ K ₇₀	17,1	13,0	4,1	0,31	12,5
N ₇₀ P ₆₀	17,1	14,4	2,7	0,19	13,8
N ₃₅ P ₃₀ K ₃₅	12,0	9,0	3,0	0,33	12,4
N ₇₀ P ₆₀ K ₇₀	18,3	16,8	1,4	0,09	15,1
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₅	17,1	13,7	3,4	0,25	13,2
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₅	17,9	15,6	2,3	0,15	14,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₇₀	17,6	14,9	2,7	0,18	13,9

Як видно з даних табл. 3, значний вплив на енергетичну ефективність добрив мають енерговитрати на їх виробництво та застосування. В усіх варіантах досліді з їх застосуванням, за виключенням варіанту з внесенням лише фосфорних і калійних добрив (P₆₀K₇₀), було одержано енергетичний дохід. При цьому необхідно зазначити, що найбільше його знижувало застосування фосфорних добрив, особливо за високої дози внесення і на тлі низької дози внесення азотних добрив. За повної дози внесення мінеральних добрив найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності застосування мінеральних добрив забезпечував варіант досліді з внесенням N₃₅P₃₀K₃₅ – 0,33. Дещо нижчим (0,25) він був у варіанті N₇₀P₃₀K₃₅. У цих же варіантах досліді була і найнижча енергетична собівартість 1 т приросту врожаю зерна – відповідно 12,4 і 13,2 ГДж.

Розрахунок оптимальних доз мінеральних добрив проводиться за різними методиками, але зазвичай вони не відповідають ринковим умовам господарювання. Традиційно найпоширенішою методикою є їх оптимізація за максимальним приростом врожаю, що з економічного погляду не завжди є виправданим. Встановлення доз добрив за окупністю їх вартості приростом

урожаю, навпаки, не забезпечує формування високого рівня врожайності. Значне зростання цін на мінеральні добрива ще більше загостило питання ефективного їх застосування [7]. Тому важливо встановити оптимальні дози мінеральних добрив з урахуванням й інших показників, що враховують приріст урожайності, прибутковість і енергоємність [3].

Оцінювання ефективності різних систем удобрення та обробітку ґрунту проводили з використанням комплексного показника, що враховує окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив, умовно чистий прибуток, чистий енергетичний прибуток та інтенсивність балансу азоту, фосфору й калію [13]. Такий підхід дозволяє звести до одного знаменника всі показники ефективності з різною розмірністю (рис. 1).

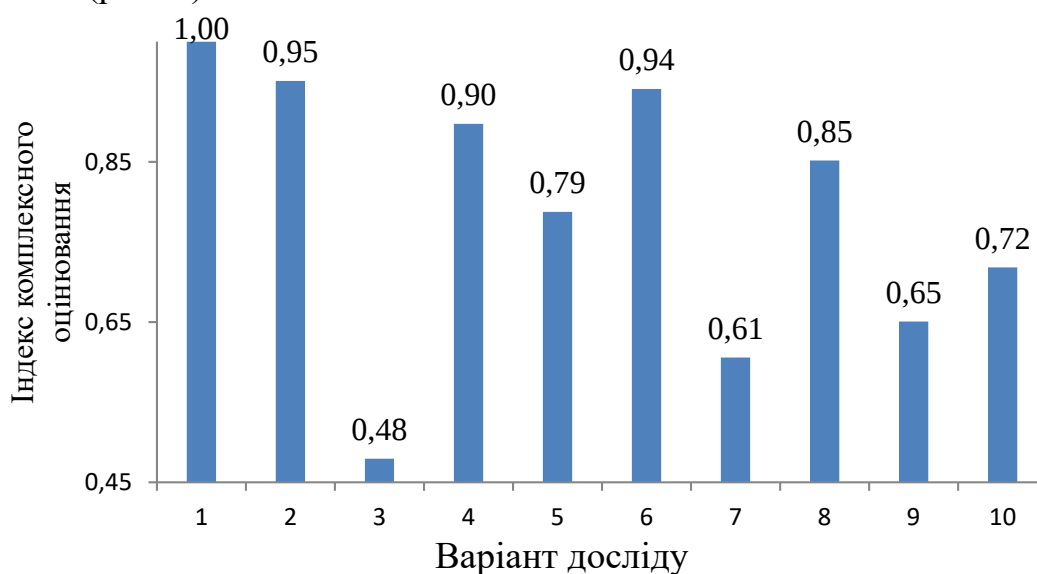


Рис. 1. Індекс комплексного оцінювання систем удобрення ячменю ярого голозерного, 2010–2023 рр.:

1) N_{35} ; 2) N_{70} ; 3) $P_{60}K_{70}$; 4) $N_{70}K_{70}$; 5) $N_{70}P_{60}$; 6) $N_{35}P_{30}K_{35}$; 7) $N_{70}P_{60}K_{70}$; 8) $N_{70}P_{30}K_{35}$; 9) $N_{70}P_{60}K_{35}$; 10) $N_{70}P_{30}K_{70}$

Як видно з даних рис. 1, за індекс комплексного оцінювання варіанти досліджу досить різнилися. За цим показником найкращою була система удобрення з внесенням $N_{35}P_{30}K_{35}$. Дещо їй поступались системи удобрення з внесенням $N_{70}K_{70}$ і $N_{70}P_{30}K_{35}$. У цих варіантах досліджу не лише з економічного та енергетичного погляду покриваються витрати, але й відновлюється або й підвищується родючість ґрунту.

Висновки. Окупність 1 кг д. р. мінеральних добрив зерном ячменю голозерного найвища за внесення лише азотних добрив, а найнижча – за парної комбінації фосфорних і калійних. За внесення повного мінерального добрива у різних дозах і поєднаннях основних елементів живлення вона становить 5,6–7,3 кг зерна на 1 кг д. р. добрив.

Найбільш прибутковим є внесення невисоких доз добрив, у першу чергу азотних. Азотні добрива найбільше сприяють підвищенню рівня рентабельності застосування добрив за умовно чистим доходом. Найвищий прибуток отримано за тривалого застосування N_{35} – 7,2 тис. грн/га.

В усіх варіантах дослід з їх застосуванням, за виключенням варіанту з внесенням лише фосфорних і калійних добрив ($P_{60}K_{70}$), одержано енергетичний дохід. При цьому необхідно зазначити, що найбільше його знижує застосування фосфорних добрив, особливо за високої дози внесення, і на тлі низької дози внесення азотних добрив. За повної дози внесення мінеральних добрив найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності застосування мінеральних добрив забезпечує варіант дослід з внесенням $N_{35}P_{30}K_{35} - 0,33$.

За індексом комплексного оцінювання найкраща система удобрення з внесенням $N_{35}P_{30}K_{35}$. Дещо їй поступається система удобрення з внесенням $N_{70}K_{70}$ і $N_{70}P_{30}K_{35}$. У цих варіантах дослід не лише з економічного та енергетичного погляду покриваються витрати, але й відновлюється або й підвищується родючість ґрунту.

Література:

1. Abeledo L., Calderini D., Slafer G. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica*. 2003. Vol. 133. P. 291–298.
2. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.
3. Сіліфонов Т. В., Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Новіков В. В. Урожайність і якість зерна різностиглих сортів пшениці м'якої озимої за різних систем удобрення в сівозміні. *Агробіологія*. 2021. №2. С. 146–156.
4. Любич В. В., Полянецька І. О., Климович Н. М. Ураження пшениці м'якої ярої листовими хворобами залежно від рівня азотного живлення. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 160–167.
5. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бурляй О. Л., Притуляк Р. М. Агрохімічні властивості чорнозему опідзоленого за різних доз азотних добрив і їх поєднання з іншими видами мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2022. №14. С. 18–22.
6. Hawkesford M., Horst W., Kichey T., Lambers H., Schjoerring J., Moller I., White P. Functions of macronutrients. Marschner's mineral nutrition of higher plants. *Academic Press*. 2012. P. 135–189.
7. Любич В. В. Хвороби і шкідники різних сортів пшениці твердої озимої. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 7–16.
8. Zörb C., Senbayram M., Peiter E. Potassium in agriculture – status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. 2014. Vol. 171. P. 656–669.
9. Hejzman M., Berková M., Kunzová E. Effect of long-term fertilizer application on yield and concentrations of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in grain of spring barley. *Plant, Soil and Environment*. 2013. Vol. 59. P. 329–334.
10. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. №2. С. 35–41.

11. Maleki-Farahani S., Chaichi M., Mazaheri D., Tavakkol-Afshari R., Savaghebi G. Barley grain mineral analysis as affected by different fertilizing systems and by drought stress. *J.Agr.Sci.Tech.* 2011. Vol. 13. P. 315–326.

12. Любич В. В. Кормові властивості зерна тритикале ярого залежно від доз і строків застосування азотних добрив. *Збірник наукових праць Уманського НУС.* 2019. Вип. 95. С. 8–17.

13. Moreno-Jiménez E., Fernandez J.M., Puschenreiter M., Williams P., Plaza C. Availability and transfer to grain of As, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in a barley agri-system: Impact of biochar, organic and mineral fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2016. Vol. 219. P. 171–178.

14. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Зб. наук. пр. Уманського НУС.* 2016. Вип. 89. С. 199–206.

References:

1. Abeledo, L., Calderini, D., Slafer, G. (2003). Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica*, no. 133, pp. 291–298.

2. Liubych, V. V. (2017). Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, no. 95, pp. 146–161. [in Ukrainian].

3. Silifonov, T. V., Gospodarenko, H. M., Lyubich, V. V., Polyanetska, I. O., Novikov, V. V. (2021). Yield and quality of grain of soft winter wheat varieties of varying maturity under different fertilization systems in crop rotation]. *Agrobiology*, 2021, no. 2, pp. 146–156. [in Ukrainian].

4. Lyubich, V. V., Polyanetska, I. O., Klymovych, N. M. (2022). Affection of soft spring wheat by foliar diseases depending on the level of nitrogen nutrition. *Agrobiology*, 2022, no. 1, pp. 160–167. [in Ukrainian].

5. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Burlyai, O. L., Prytulyak, R. M. (2022). Agrochemical properties of podzolized chernozem with different doses of nitrogen fertilizers and their combination with other types of mineral fertilizers. *Agrarian innovations*, no. 14, pp. 18–22. [in Ukrainian].

6. Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Moller, I., White, P. (2012). Functions of macronutrients. Marschner's mineral nutrition of higher plants. *Academic Press*, pp. 135–189.

7. Lyubich, V. V. (2022). Diseases and pests of different varieties of hard winter wheat. *Collection of the Uman NUS*, no. 100, pp. 7–16. [in Ukrainian].

8. Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture – status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, no. 171, pp. 656–669.

9. Hejzman, M., Berková, M., Kunzová E. (2013). Effect of long-term fertilizer application on yield and concentrations of elements (N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) in grain of spring barley. *Plant, Soil and Environment*, no. 59, pp. 329–334.

10. Liubych, V. V. (2017). Baking properties of grain of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of nitrogen fertilizers application. *Bulletin of Dnipropetrovsk DAEU*, no. 2. pp. 35–41. [in Ukrainian].

11. Maleki-Farahani, S., Chaichi, M., Mazaheri, D., Tavakkol-Afshari, R., Savaghebi, G. (2011). Barley grain mineral analysis as affected by different fertilizing systems and by drought stress. *J.Agr.Sci.Tech.*, no. 13, pp. 315–326.

12. Liubych, V.V. (2019). Fodder properties of spring triticale grain depending on doses and terms of nitrogen fertilizers application. *Collection of scientific works of Uman NUS*, no. 95. pp. 8–17. (in Ukrainian).

13. Moreno-Jiménez, E., Fernandez, J. M., Puschenreiter, M., Williams, P., Plaza, C. (2016). Availability and transfer to grain of As, Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in a barley agri-system: Impact of biochar, organic and mineral fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, no. 219, pp. 171–178.

14. Liubich, V. V. (2016). Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain. *Bulletin of Uman NUH*, no. 89, pp. 199–206. [in Ukrainian].

Annotation

Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Havrylenko V. S., Tryhub, O. V., Illichov, Yu. H.

Agrochemical, Energy, and Economic Assessment of Fertilizer Efficiency for Naked Spring Barley

Purpose. To determine the agrochemical, energy, and economic efficiency of fertilizer application for naked spring barley.

Methods. Field, calculative, comparative, analytical, and statistical.

Results. The highest grain return per 1 kg of active ingredient (a.i.) of mineral fertilizers was obtained with nitrogen-only application, and the lowest with combined phosphorus and potassium application. When applying full mineral fertilizers in various doses and combinations of main nutrients, the return ranged from 5.6 to 7.3 kg of grain per 1 kg a.i. of fertilizers. The most profitable was application of low doses of fertilizers, especially nitrogen ones. Nitrogen fertilizers contributed the most to increasing the profitability level in terms of net income. The highest profit was achieved with prolonged application of N_{35} – 7,200 UAH/ha. In all experimental variants involving fertilizer application, except for the phosphorus-potassium treatment ($P_{60}K_{70}$), there was a positive energy return. It should be noted that phosphorus fertilizers, especially at high doses and under low nitrogen input, reduced the energy return the most. Under the full-dose application of mineral fertilizers, the highest energy efficiency coefficient (0.33) was observed in the treatment with $N_{35}P_{30}K_{35}$.

Conclusions. According to the integrated assessment index, the best fertilization system involved $N_{35}P_{30}K_{35}$. Slightly inferior were the systems with $N_{70}K_{70}$ and $N_{70}P_{30}K_{35}$. These treatments not only cover costs from an economic and energy standpoint but also help restore or even improve soil fertility. In all experimental treatments where fertilizers were applied – except for the treatment with phosphorus and potassium only ($P_{60}K_{70}$) – a positive energy return was recorded. It should be noted that phosphorus fertilizers, particularly at high application rates and when paired with low nitrogen levels, had the most significant negative impact on energy income. Under full mineral fertilization, the highest energy efficiency coefficient was achieved with the application of $N_{35}P_{30}K_{35}$, yielding a value of 0.33.

Key words: naked spring barley, fertilizer, agrochemical efficiency, energy efficiency, economic return.