


THE PRODUCTIVITY OF FIELD CROP ROTATION UNDER POTASSIUM DEFICIENT FERTILIZATION SYSTEM


H. M. Hospodarenko

ORCID  [0000-0002-6495-2647](https://orcid.org/0000-0002-6495-2647)

*A. T. Martyniuk**

ORCID  [0000-0002-5751-0760](https://orcid.org/0000-0002-5751-0760)

V. P. Boiko

ORCID  [0000-0002-8139-2039](https://orcid.org/0000-0002-8139-2039)

Uman National University of Horticulture, 1, Institutaska str., Uman, 20300, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: martunyk_andriy_t@ukr.net

How to Cite

Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., & Boiko, V. P. (2021). The productivity of field crop rotation under potassium deficient fertilization system. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (1), 28–36. doi: 10.31210/visnyk2021.01.03

The study results of the effect of long-term (8 years) using potassium deficient fertilization system on changing the parameters of physical, chemical and agrochemical indicators of podzolized heavy loam black soil and the productivity of field crop rotation (winter wheat, corn, spring barley, soybean) are presented. The study was held in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. It has been established that, under all agrochemical loads, the soil absorbing complex capacity does not change, but its structural reorganization takes place. Before starting the experiment, the soil absorbing complex capacity in the 0–20 cm layer was determined by 10.1 % hydrogen ions, and eight years later, under the average annual application of $N_{110}P_{60}K_{80}$, their share increased to 14.8 %. In the variants with the potash fertilizers application, the deterioration of these indicators increased. Potassium regime of the soil depended on the types and rates of fertilizers used in crop rotation. It was most affected by rates of potash fertilizers. On the areas without fertilizers at the end of the second year of four-field crop rotation, the content of labile potassium compounds in the soil decreased by 6 % as compared with the initial value, and at applying $N_{110}P_{60}$, $N_{110}P_{40}$ and $N_{110}P_{60}K_{80}$ per 1 ha of crop rotation area it decreased by 14; 5 and 3%, respectively. Long-term (since 2010) application of mineral fertilizers at a dose of $N_{110}P_{60}K_{80}$ per 1 ha of crop rotation area, in 2016–2018 contributed to an increase in winter wheat yield by 3.68 t/ha, corn by 8.34, spring barley by 2.05 and soybeans by 1.31 t/ha, while the yields on control areas without fertilizers, made 3.57 t/ha; 4.73; 3.37 and 1.71 t/ha, respectively. Moreover, potash fertilizers at nitrogen-phosphorus background at a dose of 40 kg/ha contributed to an increase in the yields of winter wheat, corn, spring barley and soybean by 7, 12; 5 and 3 %, respectively, and the crop rotation productivity rose by 8 %. A further increase in the dose of potash fertilizers to 80 kg/ha improved its productivity by only 4 %. To ensure the productivity of field crop rotation at the level of 7.55 tons/ha, it is necessary to apply potash fertilizers at a dose of 40 kg/ha (for winter wheat 40, corn – 55, spring barley – 35 and soybean – 30) annually against the background of $N_{110}P_{60}$ and plow non-marketable parts of the harvest into the ground.

Key words: field crop rotation, fertilizer, potassium, podzolized black soil, crop yield, crop rotation productivity.

ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОЛЬОВОЇ СІВОЗМІНИ У РАЗІ КАЛІЙДЕФІЦИТНОЇ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

Г. М. Господаренко, А. Т. Мартинюк, В. П. Бойко

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

Висвітлено результати досліджень впливу тривалого (8 років) застосування калійдефіцитної системи удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України на зміну параметрів фізико-хімічних і агрохімічних показників чорнозему опідзоленого важкосуглинкового та продуктивність польової сівозміни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Встановлено, що використання чорнозему опідзоленого для вирощування польових культур за різних умов удобрення не змінює ємності ґрунтового вбирного комплексу, але спричиняє його структурну перебудову. Перед закладанням дослідів ємність ГВК у шарі 0–20 см на 10,1 % визначалася іонами водню, а через вісім років у разі середньорічного внесення $N_{110}P_{60}K_{80}$ їх частка підвищилася до 14,8 %. Калійний режим ґрунту залежав від видів і доз добрив, що застосовувалися в сівозміні. Найбільше на нього впливали дози калійних добрив. Так, на ділянках без добрив у кінці другої ротації 4-пільної сівозміни вмісту рухомих сполук калію у ґрунті зменшився порівняно з вихідним значенням на 6 %, а у разі внесення $N_{110}P_{60}$, $N_{110}P_{40}$ і $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни – відповідно на 14; 5 і 3 %. Тривале (з 2010 р.) застосування мінеральних добрив у дозі $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни в середньому за 2016–2018 рр. сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої на 3,68 т/га, кукурудзи – на 8,34, ячменю ярого – на 2,05 і сої на 1,31 т/га, врожайність на контролі без добрив відповідно 3,57 т/га; 4,73; 3,37 і 1,71 т/га. При цьому калійні добрива на азотно-фосфорному тлі в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 7; 12; 5 і 3 %, а продуктивність сівозміни підвищилася на 8 %. Подальше підвищення дози калійних добрив до 80 кг/га д. р. підвищувало її продуктивність лише на 4 %. Для забезпечення продуктивності польової сівозміни на рівні 7,55 т з. од/га необхідно щорічно на 1 га площі сівозміни вносити калійні добрива в дозі 40 кг/га д. р. (під пшеницю озиму 40, кукурудзу – 55, ячмінь ярий – 35 і сою – 30) на тлі $N_{110}P_{60}$ і заробляння у ґрунт нетоварної частини урожаю.

Ключові слова: польова сівозміна, удобрення, калій, чорнозем опідзолений, урожайність культур, продуктивність сівозміни.

Вступ

Проблема родючості ґрунтів в Україні залишається актуальною через значну розораність земель, недотримання науково обґрунтованих сівозмін і ґрунтоохоронних заходів [1]. Крім того, економічна криза обумовила значне зниження рівня застосування мінеральних добрив, що поглиблює проблему збереження родючості ґрунту.

Загальноприйняте положення, що чим вищі дози внесення добрив, тим вищі врожаї вже застосовується в умовах енергетичної кризи. Ефективність застосування добрив насамперед залежить від доз їх внесення. Оптимальна доза добрив повинна враховувати біологічні особливості культур і запланований рівень урожайності, погодні умови і родючість ґрунту, рівень агротехнології, розміщення культур у сівозміні та насичення її добривами, форми добрив, строки і способи їх внесення та інші чинники. Тому визначення доз добрив є одним зі складних питань сучасної агрономічної науки і практики [2, 3]. У разі систематичного застосування добрив, одержання високої врожайності сільськогосподарських культур можливе, якщо вносити значно менші дози, що пояснюється післядією добрив, унесених під попередні культури сівозміни.

Поряд з азотом і фосфором, інтерес до розв'язання проблеми калійного живлення рослин як в Україні, так і в багатьох інших країнах світу постійно зростає [4–8]. Невисока ефективність калійних добрив на ґрунтах, що сформувалися на лесових породах (каштанових, чорноземах південних, звичайних і типових) пояснюється не їх достатнім забезпеченням калієм, а з нестачею вологи, характерною для регіонів поширення цих ґрунтів, а також недосконалістю методів ґрунтової діагностики живлення рослин, що завищує або занижує оцінку стану родючості ґрунтів не лише окремих полів, але і цілих регіонів [9]. Це пояснюється тим, що до 50 % потреба рослин у калії може забезпечуватися із запасів підорних шарів ґрунту [10].

Калійний режим ґрунту та забезпеченість рослин калієм обумовлюються динамічними показниками вмісту його рухомих і фіксованих форм. Завдяки фізико-хімічним процесам ґрунт постійно прагне

до підтримання рівноваги між формами калію [4, 5]. Дані агрохімічного обстеження свідчать, що площі ґрунтів з низьким і середнім вмістом рухомих сполук калію в Україні збільшуються. Багатогранні функції калію (екологічні, фізіолого-біохімічні, агрохімічні) та реакція сільськогосподарських культур на цей біологічний елемент, що зростає в часі, потребують перегляду стратегії оцінювання забезпеченості ґрунтів та умов оптимізації живленням ним рослин [11].

Регулювання калійного режиму чорноземних ґрунтів набагато складніше, ніж фосфорного. Внесені калійні добрива поповнюють поряд з водорозчинною та обмінною й інші форми калію [4, 12]. До того ж у ґрунті калій більш рухливий, ніж фосфор, а темпи поповнення запасів рухомих сполук завдяки іншим формам зазвичай відстають від темпів засвоєння його рослинами.

Вміст калію в чорноземі опідзоленому складає 2,2 % від загальної маси ґрунту [4]. Через те, що у ґрунті існує певна рівновага між формами калію, виникають труднощі в регулюванні калійного режиму ґрунтів і в розробленні системи застосування калійних добрив під різні сільськогосподарські культури. Особливо це стосується чорноземів важкого гранулометричного складу, що добре забезпечені калієм [9].

Вважається [5, 12], що калійні добрива зміщують рівновагу між різними формами калію у ґрунті в бік підвищення рухливості його сполук, проте в часі воно не стійке, як це характерно для залишкових фосфатів. Через певний час рівновага відновлюється до рівня, що характерний певному ґрунту. Проте на чорноземі типовому в короткоротаційних сівозмінах на неудобрених ділянках упродовж 30 років спостерігалось інтенсивне зменшення вмісту рухомих сполук калію [13].

У процесі тривалого сільськогосподарського використання ґрунту без внесення добрив відбувається зменшення в ньому обмінного і водорозчинного калію. Так, на чорноземі опідзоленому Верхняцької дослідно-селекційної станції за 50 років сумарне вилучення калію культурами польової сівозміни у варіанті без добрив склало 5,5 т/га, або 6,8 % від загального вмісту, а запаси рухомих сполук калію в орному шарі ґрунту залишилися практично незмінними. Річна доза добрив $N_{50}P_{49}K_{57}$ давала змогу зберегти запаси валового калію в орному шарі на вихідному рівні – 2,2 %, а вміст його рухомих сполук при цьому збільшився на 15 % [14]. Таку ж закономірність одержано і у тривалому (50 років) досліді на чорноземі опідзоленому на дослідному полі Уманського НУС [4]. У чорноземі вилуженому важкосуглинковому за чотири ротації 7-пільної сівозміни за інтенсивності балансу калію 48–83 % вміст рухомих сполук калію у варіантах з мінеральною системою удобрення збільшився в шарі ґрунту 0–25 см на 36 %, а з органічно-мінеральною – на 80 % [15]. Учені пояснюють підтримання вмісту рухомих сполук калію переходом його з важкорозчинних форм. На нашу думку, ще й відбувається інтенсивне його біопереміщення з нижніх шарів ґрунту та підґрунтя.

У чорноземі опідзоленому засвоювані водорозчинні та обмінні форми калію рослинами поступово відновлюється завдяки необмінним формам [4]. За даними [16], без внесення калійних добрив вони можуть засвоювати до 75 % калію з необмінних форм від загального його винесення з ґрунту. Встановлено [17], що вилучення калію кукурудзою в 1,5–2,0 рази перевищує вміст у ґрунті його обмінних форм. При цьому коефіцієнт кореляції між урожаєм і вмістом необміннофіксованого калію був вищий ($r=0,93$), ніж між урожаєм і вмістом обмінного калію ($r=0,71$). Проте навіть у чорноземах, з високими запасами калію, процес його переходу в рухомі форми проходить повільно, що не дає змоги при інтенсивному вирощуванні сільськогосподарських культур повністю забезпечити їх калієм [18]. Припинення внесення калійних добрив у польовій сівозміні на Миронівській дослідній станції різко знижувало врожайність культур і з часом депресія врожаїв посилювалася [19].

У Правобережному Лісостепу в польовій сівозміні встановлено, що збільшення вмісту калію в чорноземі опідзоленому відбувається у разі внесення дози калійних добрив, що становить 50 % від його винесення врожаєм за умови залишення нетоварної частини врожаю на полі, а у разі її вилучення – 80 % [12]. При цьому рекомендується калійні добрива вносити під калієфільні культури, а наступні культури сівозміни будуть використовувати їх післядію.

Відмічено [20], що динаміка вмісту обмінного калію у ґрунті, зайнятому рослинами і під чистим паром була однаковою. Зменшення кількості доступного калію впродовж вегетації, на думку вчених, більше залежить від переходу в необмінні форми, ніж від поглинання рослинами. Цей факт, а також відсутність стійкості позитивної дії калійних добрив на врожай культур дає змогу зробити висновок про економічну недоцільність внесення калійних добрив.

Особливість взаємодії між рослиною, добривом, ґрунтом і погодою зумовлює складність встановлення потреби культур у калії і є вузьким місцем у системі застосування калійних добрив [21]. Нині

запропоновано низку методів розрахунку доз добрив, проте вони не забезпечують належну продуктивність культур сівозміни, оскільки були розроблені для окремих пріоритетних культур, а не для всієї сівозміни [22–24].

У тривалому досліді на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті встановлено, що поліпшення калійного стану ґрунту не пропорційне дозам калійних добрив. Подібно цій закономірності формується і продуктивність сівозміни [25]. Тому вчені роблять висновок, що класичні системи удобрення є витратними щодо досягнення бездефіцитного балансу калію.

Для оптимізації мінерального живлення в польових сівозмінах і підвищення родючості сірого лісового ґрунту Правобережного Лісостепу з середніми агрохімічними показниками в господарствах рослинницького напрямі рекомендується максимально залучати нетоварну частину врожаю та вносити невисокі дози калійних добрив (K_{50}) [26].

На чорноземі типовому Лівобережного Лісостепу в польових сівозмінах на 10–15 років можуть впроваджуватися системи удобрення, які не покривають винесення калію. Можливість подальшого застосування таких систем удобрення необхідно визначати контролем основних агрохімічних показників ґрунту [27].

Незважаючи на від’ємний баланс калію на чорноземах Молдови, більшість сільськогосподарських культур не реагують на внесення калійних добрив [6]. У разі оптимальної системи удобрення потреба в калійних добривах повністю відсутня для ячменю озимого і ярого, кукурудзи на зерно і силос, гороху. Потреба у внесенні 40 кг K_2O /га встановлена для пшениці озимої, буряка цукрового, соняшнику, картоплі та овочів.

Отже, з огляду на наукові джерела, рекомендовані в довідковій літературі дози калійних добрив зазвичай не враховують залишкового вмісту у ґрунті рухомих форм калію і були розраховані за умов видалення нетоварної частини урожаю з поля. Тому в умовах енергетичної кризи важливо встановити мінімально оптимальну дозу калійних добрив, щоб не знижувати продуктивність культур сівозміни і вміст рухомих сполук калію у ґрунті. При цьому необхідно врахувати, що порівняно з азотним і фосфатним, калійний режим чорноземів важкого гранулометричного складу більш стабільний завдяки переходу калію в обмінну форму з важкорозчинних сполук і біологічного переміщення його з нижніх шарів ґрунту. Тому не завжди доцільно забезпечувати додатковий або навіть урівноважений його баланс у сівозміні.

Мета досліджень – встановити зміни якості чорнозему опідзоленого важкосуглинкового Правобережного Лісостепу та продуктивності короткоротаційної польової сівозміни у разі тривалого застосування калійдефіцитної системи удобрення на тлі заробляння у ґрунт нетоварної частини врожаю.

Серед завдань досліджень: визначення зміни фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту, структури ґрунтового вбирного комплексу, калійного режиму ґрунту у разі тривалого застосування мінеральних добрив у польовій сівозміні; встановлення впливу калійних добрив на врожайність культур і продуктивність польової сівозміни та визначення оптимальних доз калійних добрив під сільськогосподарські культури на тлі заробляння у ґрунт нетоварної частини врожаю.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження проводили у стаціонарному польовому досліді (№ 87 реєстрації НААН України) (табл. 1).

1. Схема досліді

Варіант досліді (насиченість добривами 1 га площі сівозміни)	Сівозміна			
	пшениця озима	кукурудза	ячмінь ярий	соя
Без добрив (контроль)	–	–	–	–
$N_{110}P_{60}$	$N_{150}P_{60}$	$N_{160}P_{60}$	$N_{70}P_{60}$	$N_{60}P_{60}$
$N_{110}P_{60}K_{80}$ (виробничий контроль)	$N_{150}P_{60}K_{80}$	$N_{160}P_{60}K_{110}$	$N_{70}P_{60}K_{70}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
$N_{110}P_{60}K_{40}$	$N_{150}P_{60}K_{40}$	$N_{160}P_{60}K_{55}$	$N_{70}P_{60}K_{35}$	$N_{60}P_{60}K_{30}$

Дослід закладено на дослідному полі Уманського НУС одночасно на чотирьох полях з послідовним розміщенням варіантів і триразовим повторенням. Загальна площа дослідної ділянки 110 м², облікова – 72 м². У варіанті досліді виробничого контролю доза добрив розрахована за середньорічним

господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему досліду складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити можливість зниження доз калійних добрив.

Відповідно до схеми досліду застосовували такі види мінеральних добрив: аміачна селітра, суперфосфат гранульований і калій хлористий. Фосфорні та калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення пшениці озимої. Вирощували пшеницю озиму сорту Місія одеська, ячмінь ярий сорту Командор, сою сорту Аннушка і гібрид кукурудзи ДКС 3730.

Збирання врожаю зерна й насіння проводили прямим комбайнуванням. Нетоварну частину врожаю культур сівозміни (солому, стебелиння) залишали на полі на добриво.

Відбирання ґрунтових проб і підготовку їх до аналізу проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 і ДСТУ ISO 11464:2007. У ґрунтових зразках визначали такі показники: вміст загального вуглецю за методом Тюрина в модифікації Симакова згідно з ДСТУ 4289:2004; кислотність ґрунту pH_{KCl} – на іономірі згідно з ДСТУ ISO 10390:2007; гідролітичну кислотність – за методом Каппена згідно з ДСТУ 7537:2014; вміст увібраних основ – згідно з МВВ 31–497058–007–2005; суму ввібраних основ – за методом Каппена–Гільковиця згідно з ГОСТом 27821–88; ємності катіонного обміну ґрунтом і насиченості основами – ДСТУ ISO 11260:2001; вміст азоту легкогідролізованих сполук за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7863:2015; рухомі сполуки фосфору й калію – вилученням їх розчином 0,5 Н оцтової кислоти з подальшим фотоколориметруванням за модифікованим методом Чирикова згідно з ДСТУ 4115:2002.

Для статистичної обробки результатів досліджень і визначення достовірності одержаних експериментальних даних використовували пакет стандартних програм (ПК «Agrostat», MSOffice Excel).

Результати досліджень та їх обговорення

Величина зміни реакції ґрунтового середовища та фізико-хімічних показників ґрунтів, а також зміщення потенціальної кислотності під впливом добрив залежить від багатьох чинників, які, своєю чергою, впливають на їх ефективність [28].

Дослідження свідчать, що інтенсивність тривалого застосування добрив позначилась на структурі ґрунтового вбирного комплексу чорнозему опідзоленого (табл. 2). Так, на ділянках із внесенням $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміни гідролітична кислотність у шарі ґрунту 0–20 см збільшилася з 2,78 до 3,83 смоль/кг, зменшилась сума поглинутих основ на 3,10 смоль/кг, погіршилася реакція ґрунтового середовища (на 0,3 од. pH_{KCl}). У варіантах з удобренням посилювалось погіршення цих показників, особливо у разі внесення високої дози калійних добрив.

Вважається [3, 4, 29], що найбільший вплив на вміст рухомих сполук калію у ґрунті мають його фізико-хімічні особливості, дози калійних добрив, баланс калію, структура сівозміни і особливості використання нетоварної частини урожаю. Незначне зниження вмісту рухомих сполук калію у разі низької дози калійних добрив не може бути обґрунтуванням відмови від їх застосування на чорноземах. Їх насамперед необхідно вносити під калієфільні культури з метою забезпечення збалансованого мінерального живлення [3, 4, 11].

2. Зміна фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту в шарі 0–20 см у разі тривалого (з 2010 р.) застосування мінеральних добрив у польовій сівозміні (в середньому по чотирьох полях, 2016–2018 рр.)

Варіант досліду	Вміст гумусу, %	pH_{KCl}	Нг	S	ЄКО	V, %	Вміст у ґрунті, мг/кг		
							$N_{\text{легк}}$	P_2O_5	K_2O
Перед закладанням досліду	3,81	5,80	2,78	24,8	27,6	89,9	105	106	132
Без добрив (контроль)	3,71	5,53	2,86	24,6	27,5	89,6	98	92	124
$N_{110}P_{60}$ – фон	3,85	5,53	3,33	23,3	26,6	87,5	116	113	114
Фон + K_{40}	4,04	5,48	3,70	22,8	26,2	87,0	118	113	125
Фон + K_{80}	4,09	5,43	3,83	21,7	25,9	83,7	119	112	128

Як видно з даних табл. 2, вміст рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0–20 см у всіх варіантах досліду, за винятком варіанту $N_{110}P_{60}$, залишався підвищеним, тобто більше 120 мг/кг. Отже, незважаючи на значні запаси валового калію в чорноземі опідзоленому важкосуглинковому, на ділянках без за-

стосування калійних добрив проходить зниження вмісту його рухомих сполук. Це свідчить про те, що ґрунт не встигає поповнювати засвоєний на формування врожаю вміст рухомих сполук калію.

Одержані дані підтверджують дослідження інших учених [1, 4] які встановили, що на чорноземах типових, вилужених і опідзолених підвищення вмісту рухомих сполук калію спостерігаються при дозі калійних добрив, що покриває вилучення його з ґрунту на 75 %. Це можна пояснити також і біо-переміщенням калію з нижніх шарів ґрунту і материнської породи.

Продуктивність культур сівозміни є найбільш мінливим й інтегральним показником їхньої життє-діяльності, у якому акумулюється генетичний потенціал рослин, родючість ґрунту, погодні умови та складники технології вирощування [3]. Зазвичай рівень продуктивності пшениці озимої прямо залежить від забезпеченості азотним живленням.

Дослідження показали, що у разі внесення в польовій сівозміні повного мінерального добрива врожайність пшениці озимої в середньому за три роки становила 7,02–7,25 т/га, що на 3,45–3,68 т/га більше порівняно з ділянками без добрив (табл. 3).

3. Вплив калійних добрив на врожайність культур і продуктивність польової сівозміни, 2016–2018 рр.

Варіант досліджу	Урожайність, т/га				Продуктивність сівозміни, т з. од/га
	пшениця озима	кукурудза	ячмінь ярий	соя	
Без добрив (контроль)	3,57	4,73	3,37	1,71	3,80
N ₁₁₀ P ₆₀ – фон	6,60	10,60	5,16	2,70	6,90
Фон + K ₄₀	7,02	12,26	5,29	2,94	7,55
Фон + K ₈₀	7,25	13,07	5,42	3,02	7,85
<i>НІР</i> ₀₅	0,25–0,34	0,46–0,64	0,22–0,28	0,12–0,16	

Калійні добрива на азотно-фосфорному фоні в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 7; 12; 5 і 3 %. На чорноземі типовому Харківської області дія калійних добрив на озиму пшеницю також була неістотною, приріст урожаю на 88 % визначався дією азотних добрив [30].

Відомо, що кукурудза, навіть у разі вирощування на чорноземних ґрунтах, висуває підвищенні вимоги до умов мінерального живлення та удобрення. Як показали проведенні дослідження, найбільше вона реагує на внесення азотних і фосфорних добрив (див. табл. 3). Менший вплив на формування врожаю кукурудзи мало застосування в сівозміні калійних добрив. Внесення їх у дозі 80 кг/га д. р. на азотно-фосфорному тлі (N₁₆₀P₆₀) підвищували урожайність зерна в середньому за три роки досліджень – на 2,47 т/га або на 23 %, а внесення у дозі 40 кг д. р/га знижувало врожайність лише на 6 %.

Ячмінь ярий найінтенсивніше засвоює поживні речовини упродовж короткого проміжку часу – від фази кушіння до початку колосіння, тому добре реагує на внесення мінеральних добрив і їх післядію [31]. Проте є дані [32], що ячмінь досить стійка культура до стресових умов середовища, не проявляє депресії, але й слабо збільшує врожайність при високих дозах мінеральних добрив. Величина приросту врожайності інтенсивно зростає до рівня N₆₀P₉₀K₆₀, а потім темпи приросту різко знижуються і в інтервалі N₁₀₀P₁₅₀K₁₀₀ до N₁₆₀P₂₄₀K₁₆₀ можуть бути лише 0,1 т/га. Тому окупність 1 кг НРК приростами урожаю зерна різко зменшуються з підвищенням дози мінеральних добрив, а оптимальна перебуває в межах N_{20–60}P_{30–90}K_{20–60}.

У Східному Лісостепу на чорноземі типовому найдоцільнішим було внесення під ячмінь ярий N₄₀P₄₀K₄₀, що забезпечує найвищий приріст урожаю зерна (1,1 т/га) порівняно з окремими видами добрив, так і в разі їх парних поєднань. При цьому азотні добрива обумовили 53 % приросту урожаю від сумарної дії НРК, фосфорні – 35, а калійні – 12 %. Крім того, азотні добрива є не тільки засобом підвищення врожайності, але й необхідною передумовою (фоном) для ефективного застосування фосфорних і калійних добрив [32].

Як показали проведенні дослідження, врожайність ячменю ярого змінювалась від 3,37 до 5,42 т/га залежно від доз і поєднань добрив у польовій сівозміні (див. табл. 3). Систематичне застосування добрив у сівозміні сприяло підвищенню врожайності зерна на 1,79–2,05 т/га залежно від варіанту досліджу. При цьому варто зазначити, що в середньому за три роки проведення досліджень у варіанті досліджу Фон + K₄₀ відмічено лише тенденцію до зниження врожайності. Тобто ячмінь ярий може ефектив-

но використовувати післядію добрив, унесених від попередників і не потребує високих доз калійних добрив.

Приріст урожайності від калійних добрив, що вносяться в сівозміні в дозі 80 кг/га д. р., на азотно-фосфорному фоні становив 5 %. Тому система застосування добрив під ячмінь ярий передовсім повинна бути направлена на оптимізацію азотного і фосфорного живлення рослин.

Застосування мінеральних добрив у сівозміні підвищувало врожайність сої на 0,99–1,31 т/га або на 58–76 % залежно від варіанту досліду. При цьому найбільші її прирости були отримані у разі внесення повного мінерального добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$), а зниження частки калійного складника до 30 кг д. р/га істотно не впливало на врожайність сої.

Калійні добрива на азотно-фосфорному тлі ($N_{110}P_{60}$) в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню продуктивності сівозміні на 8 %. Подальше підвищення дози калійних добрив з 40 до 80 кг/га д. р. підвищувало її продуктивність лише на 4 %.

Висновки

1. Використання чорнозему опідзоленого для вирощування польових культур при різному агрохімічному навантаженні не змінює ємності ГВК, але спричиняє його структурну перебудову. Перед закладанням досліду ємність ГВК у шарі 0–20 см на 10,1 % визначається іонами водню, за середньорічного внесення $N_{110}P_{60}K_{80}$ упродовж восьми років їх частка підвищилась до 14,8 %.

2. Інтенсивність удобрення сільськогосподарських культур позначилась на структурі ґрунтового вбирного комплексу. На ділянках із внесенням $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміні гідролітична кислотність у шарі ґрунту 0–20 см збільшилася з 2,78 до 3,83 смоль/кг, зменшилась сума поглинутих основ на 3,10 смоль/кг, погіршилася реакція ґрунтового середовища (на 0,3 од. рН_{KCl}). У варіантах зі внесенням калійних добрив посилювалось погіршення цих показників.

3. Від особливостей застосування добрив у польовій сівозміні залежить калійний режим ґрунту. На ділянках без добрив вміст рухомих сполук калію у ґрунті зменшився порівняно з вихідним значенням на 6 %, а в разі внесення $N_{110}P_{60}$, $N_{110}P_{40}$ і $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміні – відповідно на 14; 5 і 3 %.

4. Тривале (з 2010 р.) застосування мінеральних добрив у дозі $N_{110}P_{60}K_{80}$ на 1 га площі сівозміні у середньому за 2016–2018 рр. сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої на 3,68 т/га, кукурудзи – на 8,34, ячменю ярого – на 2,05 і сої на 1,31 т/га, врожайність на контролі без добрив відповідно становила 3,57 т/га; 4,73; 3,37 і 1,71 т/га. При цьому калійні добрива на азотно-фосфорному тлі в дозі 40 кг/га д. р. сприяли підвищенню врожайності пшениці озимої, кукурудзи, ячменю ярого та сої відповідно на 7; 12; 5 і 3 %, а продуктивність сівозміні підвищилась на 8 %. Подальше підвищення дози калійних добрив до 80 кг/га д. р. підвищувало її продуктивність лише на 4 %.

5. Для забезпечення продуктивності польової сівозміні на рівні 7,55 т з. од/га необхідно щорічно на 1 га площі сівозміні вносити калійні добрива в дозі 40 кг/га д. р. (під пшеницю озиму 40, кукурудзу – 55, ячмінь ярий – 35 і сою – 30) на тлі $N_{110}P_{60}$ і заробляння у ґрунт нетоварної частини урожаю.

Перспективи подальших досліджень. Оскільки відбулося лише дві ротації чотирирічної сівозміни, то вивчення динаміки показників якості ґрунту та продуктивності культур за умови залишення на полі на добриво нетоварної частини урожаю упродовж тривалішого терміну є перспективним напрямом досліджень.

References

1. Medvedev, V. V., Plisko, I. V., Nakisko, S. H., & Titenko, H. V. (2018). *Soil degradation in the world, the experience of its prevention and overcoming*. Kharkiv: Styl'na Tipohrafiia [In Ukrainian].
2. Marschner, P. (Ed.) (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press
3. Hospodarenko, H. M. (2019). *Ahrokhimiia*. Kyiv: TOV «SIK HRUP UKRAINA» [In Ukrainian].
4. Nikitina, O. V. (2017). *Zmina kaliinoho stanu chornozemu opidzolenoho za tryvalohe zastosuvannia dobriv u polovii sivozmini v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. Candidate's tyesis*. Kharkiv [In Ukrainian].
5. Prokoshev, V. V., & Derjugin, I. P. (2000). *Kalij i kalijnye udobrenija* Moskva: Ledum [In Russian].
6. Krupenikov, I. A. (2008). *Chernozemy. Vozniknovenija, sovershenstvo, tragedija degradacii, puti ohrany i vozrozhdenija*. Kishinev: Pontos [In Russian].

-
7. Safoora, A. (2010). Influence of different potassium fertilizer sources on sunflower production. *19 th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World (16-18), 1–6 August 2010*. Brisbane – Australia.
 8. Bernardi, A. C., Gimenez, L. M., & Machado, P. L. O. A. (2011). Variable-Rate Application (VRA) of potassium fertilization for soybean in Brazil. *Electronic International Fertilizer Correspondent. Quarterly correspondent from IPI. International potash institute*, 27, 14–18.
 9. Hristenko, A. A. (2018). Plodorodie pochv Ukrainy i jeffektivnost' udobrenij. *Agrohimija i truntoznavstvo (specvipusk)*, 2, 234–235 [In Russian].
 10. Köster, W. (1990). Nährstoffbilanzen landwirtschaftlich genutzter Boden und Auswirkungen auf die Düngung. *Wasser + Boden*, 42 (5), 330–360.
 11. Nosov, V. V. (2002). Znachenie kalijnyh udobrenij dlja sohraneniya jekologicheskogo ravnovesija. *Plodorodie*, 2, 28–30 [In Russian].
 12. Hospodarenko, H. M. (2001). Rozrobka ta obhruntuvannia intehrovanoi systemy udobrennia v polovii sivozmini na chornozemi opidzolenomu Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. *Doctor's tyesis*. Kyiv [In Ukrainian].
 13. Tsvei, Ya. P. (2015). Formuvannia rodiuchosti gruntu v korotkorotatsiinykh sivozminakh Lisostepu. *Zemlerobstvo*, 1, 56–59 [In Ukrainian].
 14. Martynovich, L. I., & Martynovich, N. N. (1992). Vlijanie 50-letnego primenenija organicheskikh i mineral'nyh udobrenij na plodorodie chernozema opodzolenogo Central'noj Lesostepi Pravoberezh'ja USSR. Soob. 4. Vlijanie sistemacheskogo primenenija udobrenij na kalijnyj rezhim pochvy v zernosveklivichnom sevooborote. *Agrohimija*, 6, 23–28 [In Russian].
 15. Ivojlav, A. V., & Malova, A. V. (1993). Vlijanie osnovnyh vidov udobrenij i ih sochetanij pri dlitel'nom primenenii na urozhajnost' kul'tur, kachestvo produkcii i agrohimicheskie pokazateli chernozema vishhelochennogo. *Agrohimija*, 3, 25–38 [In Russian].
 16. Kulakovskaja, T. N. (1990). *Optimizacija agrohimicheskoy sistemy pochvenogo pitaniya rastenij*. Moskva: Agropromizdat [In Russian].
 17. Oniani, O. G. (1981). *Agrohimija kalija*. Moskva: Nauka [In Russian].
 18. Fateev, A. I. (2002). *Lokal'nyj sposob vneseniya udobrenij. Pochveno-agrohimicheskie aspekty*. Harkov [In Russian].
 19. Getmanec, A. Ja., Gvinenko, N. V., & Gubenko, V. A. (1973). *Vlijanie dlitel'nogo primenenija udobrenij na plodorodie pochv i produktivnost' sevooborotov. Rezul'taty poluvekovogo sravnitel'nogo izuchenija vlijaniya navoza i mineral'nyh udobrenij na plodorodie moshhnogo slabovyshhelochennogo chernozema i produktivnost' kul'tur sveklivichnogo sevooborota: Vypusk IV*. Moskva: Kolos [In Russian].
 20. Gapienko, A. A., & Sychevskij, M. E. (2000). Rezul'taty tridcatipjatiletnego izuchenija jeffektivnosti kalijnyh udobrenij v polevyh sevooborotah Predgornogo Kryma. *Nauchnye trudy Krymskogo GAU*, 66, 79–83. [In Russian].
 21. Hristenko, A. A., Miroshnichenko, N. N., & Gladkih, E. Ju. (2013). *Rekomendacii po jeffektivnomu ispol'zovaniju kalijnyh udobrenij na pochvah Ukrainy*. Har'kov [In Russian].
 22. Gamajunova, V. V., & Filip'ev, I. D. (1997). Opređenje doz udobrenij pod sel'skohozjajstvenye kul'tury v uslovijah orosheniya. *Visnik Agrarної Nauki*, 5, 15–19 [In Russian].
 23. Litvak, Sh. I. (2012). Sistemnyj pohod k agrohimicheskim issledovanijam. *Plodorodie*, 2, 12–14 [In Russian].
 24. Hospodarenko, H. M. (2020). *Praktykum z ahrokhimii*. Kyiv: TOV «SIK HRUP UKRAINA» [In Ukrainian].
 25. Dehodiuk, S. E., Shtupun, N. V., & Chernyshenko, I. I. (2002). Transformatsiia kaliuu v dernovo-pidzolistomu grunti Polissia pry udobrenni. *Ahrokhimii i Gruntoznavstvo (spetsvypusk)*, 203–205 [In Ukrainian].
 26. Kyrychenko, A. V. (2015). Transformatsiia spoluk fosforu u siromu lisovomu grunti za riznykh system udobrennia kultur polovoi sivozminy v Pravoberezhnomu Lisostepu. *Candidate's thesis*. Kharkiv [In Ukrainian].

27. Dotsenko, O. V. (2013). Vplyv tryvaloho zastosuvannia dobryv na ahrokhimichni pokaznyky chornozemu typovoho ta efektyvnist resursnooshchadnykh system udobrennia. *Candidate's thesis*. Kharkiv [In Ukrainian].

28. Hospodarenko, H. M., Prokopchuk, I. V., Cherny, O. D., Boiko, V. P. (2019). Zmina fizyko-khimichnykh pokaznykiv chornozemu opidzolenoho v sivozmini zalezho vid riznoho udobrennia. *Naukovi Horyzonty*, 7 (80), 56–62 [In Ukrainian].

29. Tsvei, Ya. P., & Mazur, H. M. (2001). Osoblyvosti vplyvu systemy udobrennia tsukrovykh buriakiv na fond obminnoho kaliu chornozemu vyluhovanoho. *Ahroekologichnyi Zhurnal*, 2, 55–57 [In Ukrainian].

30. Kozakov, A. A., & Zalizovs'kij, V. S. (1976). Stepen' vlijanija azota, fosfora i kaliya udobrenij na ozimuju pshenicu v uslovijah moshhnyh chernozemov USSR. *Agrohimija*, 2, 63–67 [In Russian].

31. Hospodarenko, H. M., & Stasinievych, O. Yu. (2006). Urozhainist i yakist zerna sortiv yarocho yachmeniu za tryvaloho zastosuvannia dobryv u polovii sivozmini. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomor'ia*, 4 ((37)1), 39–40 [In Ukrainian].

32. Miroshnychenko, M. M. (Red.). (2010). *Upravlinnia yakistiu zerna yachmeniu*. Kharkiv: Kharkivskiyi NAU im. V. V. Dokuchaieva [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 15.01.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Бойко В. П. Продуктивність польової сівозміни у разі калій-дефіцитної системи удобрення. *Вісник ПДАА*. 2021. № 1. С. 28–36.

© Господаренко Григорій Миколайович, Мартинюк Андрій Тимофійович,
Бойко Василь Петрович, 2021

