



Original researches

**Formation of Soil Fertility
for Different Fertilizer Systems in Field Crop Rotation****G. M. Hospodarenko, O. D. Cherny, A. Y. Cherednik**
*Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine*Received: 21 February 2019
Revised: 28 February 2019
Accepted: 01 March 2019Uman National University of Horticulture,
Institutska Str., 1, Uman, 20305, UkraineTel.: +38-097-379-79-09
+38-096-775-07-99
+38-068-891-98-98
E-mail: hospodarenko@gmail.com
o.cherny@ukr.net
annyuryevna@gmail.com**Cite this article:** Hospodarenko, G. M.,
Cherny, O. D., & Cherednik, A. Y. (2019).
Formation of soil fertility for different fertilizer
systems in field crop rotation. *Agrology*, 2(2),
79–85. doi: 10.32819/019011

Abstract. The necessity of systematic study of the indicators of fertility parameters is determined by the changes in the soil, because under the influence of intensification, they can be within the limits of the favorable interval or beyond its limits. More objective data on this issue can be obtained in stationary experiments in the crop rotation. It was established, that prolonged (50 years) application of mineral, organic and organo-mineral fertilizer systems in the field crop rotation in the conditions of right-bank forest-steppe led to change of all agrochemical properties of chernozem of podzolized heavy clayey loam. In accordance with mineral fertilizer system, pH_{KCl} decreased by 0.9–1.4 units in comparison with the initial values (pH 6.2), for organo-mineral – by 1.0–1.1, while the organic fertilizer system showed the slightest acidification effect – by 0.9–0.8 units. In the variant without fertilizers an exchange acidity decreased by 13%. The hydrolytic acidity also changed under the influence of fertilizer. In the crop rotation, it was enlarged to 2.7–4.6 g/kg of soil, indicating the necessity for carrying out of liming. The return to soils large amount of calcium with farmyard manure restrains the process of acidification of the soil. The application of fertilizers also changed the nutrient regime of the soil. In the variant without fertilizers the nitrogen content of alkali – hydrolyzed compounds was 101 mg/kg of soil, at application of mineral fertilizers it increased by 10–24 mg/kg soil, farmyard manure – 6–25, and for their combination – 11–25 mg/kg of soil. Phosphate regime of chernozem of podzolized heavy clayey loam was well regulated. The content of mobile compounds of phosphorus and potassium was the best at organo-mineral and mineral fertilizer systems, in which there was an increase in their content, respectively, by 39–152 and 46–162 mg/kg of soil, depending on the dose of fertilizers. The cultures of field crop rotation reacted differently to both doses of fertilizers and fertilizer systems. Average yield increase of peas from application of fertilizers was insignificant – 0.5–0.8 t/ha. The yield of the clover hay was slightly influenced by the application of fertilizer systems. Yield of clover hay was higher as a result of application of organic fertilizers. In the analysis of yields of the main crop rotations – winter wheat, sugar beet and maize – the advantage of organo-mineral fertilizer system was identified. Depending on the placement of these crops in crop rotation, compared to the control where no fertilizers were applied, the average yield increases of winter wheat, irrespective of their predecessors, were 0.84–1.61 t/ha, sugar beet – 8.7–15.7, maize – 1.11–2.34 t/ha. Consequently, the application of the organo-mineral fertilizer system improves the nutrient regime of the soil and contributes to increasing the productivity of the cultures of crop rotation.

Keywords: mineral, organic, organo-mineral fertilizer systems; nutrient regime; crop rotation; productivity of crops.**Формування родючості ґрунту
за різних систем удобрення в польовій сівозміні****Г. М. Господаренко, О. Д. Черно, А. Ю. Чередник**
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

Анотація. Необхідність систематичного вивчення показників параметрів родючості обумовлена змінами в ґрунті, оскільки під впливом засобів інтенсифікації вони можуть перебувати в межах сприятливого інтервалу або за його межами. Більш об'єктивні дані з цього питання можна отримати в стаціонарних дослідах у сівозміні. Встановлено, що тривале (50-річне) застосування мінеральної, органічної та органо-мінеральної систем удобрення в польовій сівозміні в умовах правобережного Лісостепу призводило до зміни усіх агрохімічних властивостей чорнозему опідзоленого важкосуглинкового. За мінеральної системи удобрення рН_{KCl} зменшився на 0,9–1,4 одиниці порівняно з вихідними показниками (рН 6,2), за органо-мінеральної – на 1,0–1,1, а за органічної системи удобрення спостерігався найменший підкислюючий ефект – на 0,9–0,8. У варіанті без добрив обмінна кислотність зменшилася на 13%. Під впливом удобрення змінювалась і гідролітична кислотність. У сівозміні вона підвищилася до 2,7–4,6 смоль/кг ґрунту, що свідчить про необхідність проведення вапнування. Повернення в ґрунт з гноєм значної кіль-

кості кальцію стримує процес підкислення ґрунту. Застосування добрив змінювало і поживний режим ґрунту. У варіанті без добрив уміст азоту лужногідролізованих сполук становив 101 мг/кг ґрунту, за внесення мінеральних добрив він збільшився на 10–24 мг/кг ґрунту, гною – 6–25, а за їх поєднання – на 11–25 мг/кг ґрунту. Фосфатний режим чорнозему опідзоленого важкосуглинкового добре піддавався регулюванню. За вмістом рухомих сполук фосфору і калію кращими були органо-мінеральна та мінеральна системи удобрення, за яких спостерігалось підвищення їх умісту, відповідно, на 39–152 та 46–162 мг/кг ґрунту, залежно від доз добрив. Культури польової сівозміни по-різному реагували як на дози добрив, так і на системи удобрення. Приріст від добрив урожайності гороху був незначним – 0,5–0,8 т/га. Мало впливали системи удобрення і на врожайність сіна конюшини, на якій дещо краще проявлялася дія органічних добрив. При аналізі врожайності основних культур сівозміни – пшениці озимої, буряку цукрового та кукурудзи – виявлено перевагу органо-мінеральної системи удобрення. Залежно від розміщення цих культур у сівозміні, порівняно з контролем, де добрив не вносили, середні прирости врожайності пшениці озимої незалежно від попередників становили 0,84–1,61 т/га, буряку цукрового – 8,7–15,7, кукурудзи – 1,11–2,34 т/га. Отже, застосування органо-мінеральної системи удобрення покращує поживний режим ґрунту та сприяє підвищенню продуктивності культур польової сівозміни.

Ключові слова: мінеральна, органічна, органо-мінеральна системи удобрення; поживний режим; сівозміна; продуктивність культур.

Вступ

Нині в Європейському Союзі прогноуються невтішні події відносно стану земельних ресурсів. Із офіційних документів підвищення вимог до функцій ґрунтів, як в Європі, так і у світі, призведе до інтенсивнішого землекористування, збільшення антропогенного навантаження на ґрунт і його деградацію. Тому в майбутньому економіка європейських країн ще більше буде залежати від земельних ресурсів і стійкого землекористування. На цьому тлі зростає роль України, як аграрної держави з родючими ґрунтами, в продовольчій безпеці Європи і світу (Yatsuk, 2013). У свою чергу для України, поряд з питанням підвищення врожайності сільськогосподарських культур, стоїть проблема збереження родючості ґрунтів (Kosolapova et al., 2016).

У підвищенні продуктивності агроценозів і відновленні родючості ґрунтів важливу роль відіграють добрива, оскільки вони впливають на агрохімічні, агрофізичні та мікробіологічні їх властивості (Russell, 2013; Geisseler & Scow, 2014). Проте інтенсивне використання ґрунтів, різке зниження доз органічних і мінеральних добрив, недотримання науково обґрунтованих систем землеробства спричинило втрати органічної речовини, збільшило частку ґрунтів з низьким умістом елементів живлення, підвищеною кислотністю та дефіцитним балансом елементів живлення (Korneyko, 2013; Mazur, 2015; Scotti et al., 2015; Nao et al., 2015). За результатами агрохімічного обстеження ґрунтів в останні 20 років уміст гумусу знизився на 0,22%, а його баланс характеризується як гостродефіцитний (–0,4... –0,8 т/га). Від’ємний баланс спостерігається по всіх елементах живлення. Ситуацію ускладнює те, що в Поліській і Лісостеповій зонах відбувається процес підкислення ґрунтів, а в Степовій – підлуження (Yatsuk, 2013).

Деградація ґрунтів відбувається практично в усіх країнах світу. Швидкість втрати родючих ґрунтів за останні 50 років збільшилася, порівняно зі середньоісторичними показниками, в 30 разів і становить 8–15 млн га на рік (Dobrovolskiy & Kust, 1996). Тому відновлення родючості ґрунту, реалізація потенційної продуктивності сільськогосподарських культур було і залишається основним завданням землеробства (Myazin & Brekhov, 2013; Tsvey, 2015; Hospodarenko et al., 2018).

Серед усіх систем удобрення особливе місце займають органічні добрива, які, здійснюючи як пряму, так і пролонговану дію на агроценози, стабілізують їх продуктивність та зберігають родючість ґрунту (Merzlaya et al., 2011; Lapa & Ivakhnenko, 2014; Lin et al., 2015; Káš et al., 2016). Завдяки їх застосуванню потреба рослин в елементах живлення задовольняється на 30–50 %. Значення органічних добрив не знижувалося і тоді, коли вносили порівняно високі дози мінеральних добрив. Наприклад, у Німеччині, Великій Британії, Голландії одночасно з внесенням великої кількості мінеральних добрив

(350–500 кг/га діючої речовини) вносять і високі дози органічних добрив (26–75 т/га). На превеликий жаль, в Україні рівень застосування органічних добрив знизився у 24 рази, а більшість науково-дослідних установ припинили дослідження з вивчення ефективності застосування органічних добрив (Balyuk et al., 2010). Утім, у найближчому майбутньому дослідження систем органічного та органо-мінерального удобрення набуватимуть особливої актуальності. У багатьох країнах світу органічні добрива використовують у виробництві екологічно безпечної продукції. Вважається, що органічне землеробство, хоча й відрізняється від традиційного більш низькою продуктивністю, але може забезпечити населення “чистими” продуктами харчування, попит на які постійно зростає, а ціна на такі продукти підвищується на 10–30% вищою (Mineyev et al., 1993; Eskov et al., 2010; Bomba & Bomba, 2018).

Питання впливу різних систем удобрення, у тому числі й біологічного спрямування, на родючість ґрунту ще недостатньо вивчені (Jat & Singh, 2017), хоча в багатьох науково-дослідних установах проводилися тривалі польові дослідження, які відображають закономірності їх дії добрив на поживний режим ґрунту та їх вплив на продуктивність сільськогосподарських культур (Zarishnyak et al., 2014; Campiglia et al., 2015). До того ж складна екологічна обстановка потребує нового підходу до вирішення проблеми відновлення родючості ґрунту й підвищення продуктивності агроценозів. Тому системи удобрення, які базуються на мінімальному застосуванні промислових мінеральних добрив і широкому впровадженні традиційних і нетрадиційних органічних добрив, дозволяють знизити хімічне навантаження на ґрунт.

З цього приводу чимале значення в регулюванні ґрунтової родючості відіграє агрохімічний моніторинг стану ґрунтів, який включає спостереження за змінами агрохімічних показників в орному та підорному шарах ґрунту, за впливом цих змін на формування кількості та якості врожаю. Моніторинг дозволяє встановити потребу рослин в елементах живлення та в інших чинниках родючості ґрунту (Koper & Piotrowska, 2003; Lukin & Chetverikova, 2010).

Оцінити агроекологічну доцільність тієї чи іншої зі систем удобрення, вибрати найбільш ефективне їх поєднання з урахуванням впливу погодних факторів на продуктивність культур та спрогнозувати зміни показників родючості ґрунту в умовах тривалих стаціонарних дослідів із застосуванням добрив у сівозмінах і стало метою нашого дослідження.

Матеріал і методи досліджень

Об’єкт досліджень – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі з показниками: вміст гумусу (за методом Тюріна) – 3,3, рН_{сол} 6,2, гідролітична кислотність – 2,5 смоль/кг,

ступінь насиченості основами – 95%, азоту легкогідролізованих сполук (за методом Тюріна-Конової) – 48 мг/кг ґрунту та рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – 122 і 135 мг/кг, відповідно.

Дослідження проводили у тривалому (1964–2014 рр.) стаціонарному досліді кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського НУС; його основа 10-пільна польова сівозмінна з подальшим чергуванням культур (конюшина, пшениця озима, буряк цукровий, кукурудза, горох, кукурудза на силос, пшениця озима, буряк цукровий, ячмінь ярий з підсівом конюшини). Площа посівної ділянки – 180 м², облікової – 100; повторність досліду – триразова, розміщення варіантів – послідовне.

Фізико-хімічні та агрохімічні аналізи зразків ґрунту проводили за такими методиками: рН сольової суспензії за ДСТУ ISO 10390:2001; гідролітичну кислотність – ГОСТ 26212-91; уміст азоту лужногідролізованих сполук – метод Корнфілда (ДСТУ 4115:2002).

Урожай основної продукції сільськогосподарських культур обчислювали суцільним поділяночним методом. Статистичну обробку даних проводили методом дисперсійного аналізу з використанням програми “Agrostat”, MS Office Excel.

Результати

Серед багатьох складових родючості ґрунту насамперед являють інтерес показники, які найбільше впливають на продуктивність сільськогосподарських культур, зокрема вміст рухомих форм поживних речовин, кислотність та інші. Як свідчать результати досліджень, внесені в ґрунт добрива зазнавали відповідних перетворень, внаслідок чого змінювалися деякі його фізико-хімічні властивості.

Важливим інтегральним показником родючості ґрунту є його реакція на зміни. Її показники дозволяють оцінювати доступність елементів живлення рослинам; активність мікроорганізмів; сприйнятливості рослин до захворювань; потенційну шкоду культурі, яку завдають деякі гербіциди. Підвищення кислотності є однією з ознак деградації ґрунту. Наявність кислих ґрунтів виступає лімітуючим чинником одержання стабільно високих, екологічно безпечних і біологічно повноцінних урожаїв сільськогосподарських культур.

Як показали дослідження, кислотність ґрунту істотно залежала як від доз добрив, так і систем удобрення в польовій сівозміні (табл. 1).

Найістотніший вплив на кислотність ґрунту мали мінеральні добрива. Якщо під час закладання реакція ґрунтового розчину в шарі 0–20 см досліді була нейтральною, то на ді-

лянках без застосування добрив протягом 50 років змінилася до середньо кислої. Найбільші зміни кислотності відбулися за систематичного застосування лише мінеральних добрив. Підкислення було тим вище, чим була вища насиченість сівозміни мінеральними добривами. Застосування лише високих доз мінеральних добрив (варіант N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅) перетворило ґрунт на середньо кислий.

Поряд зі зміною активної кислотності аналогічно змінювалась і гідролітична, що залежало від доз добрив і систем удобрення. В сівозміні вона підвищилася до 2,3–4,6 смоль/кг ґрунту, що свідчить про необхідність проведення вапнування. При цьому наголосимо, що повернення в ґрунт з гноєм значної кількості кальцію стримує процес підкислення ґрунту.

Під впливом сільськогосподарського використання змінювався і поживний режим ґрунту. Гідролізована фракція азоту ґрунту, особливо її легкогідролізована частина, є найближчим джерелом поповнення мінеральної фракції, тому показник її вмісту в ґрунті є досить важливим у контексті діагностики.

Встановлено, що під впливом систематичного внесення добрив уміст азоту лужногідролізованої фракції зберігався порівняно з контролем на вищому рівні. Навіть за внесення низьких доз добрив відмічається вищий вміст азоту лужногідролізованих сполук. За внесення високих доз добрив уміст лужногідролізованого азоту зростав до 121–126 мг/кг і залежав від системи удобрення. Таке збільшення можна пояснити поповненням гідролізованої фракції азоту за рахунок новоутворених азотистих органічних сполук із рослинних решток, гною і плазми мікроорганізмів, які накопичуються в удобреному ґрунті в більшій кількості, ніж у контрольному варіанті. Проте зазначимо, що незалежно від удобрення забезпеченість чорнозему, опідзоленого азотом лужногідролізованих сполук, щодо здатності задовольняти в ньому потреби сільськогосподарських культур за прийнятими градаціями, залишається низькою.

Фосфатний рівень ґрунтів вважаємо показником стану їх окультуреності. Як показали дослідження, в контрольному варіанті, де добрив не вносили протягом 50 років, ґрунт мав середню здатність забезпечувати рослини фосфором. При застосуванні одинарної дози добрив за всіх систем удобрення вміст рухомих сполук фосфору був підвищеним. Середні норми добрив забезпечили високий їх уміст, а при застосуванні найвищих доз фосфорних добрив (135 кг/га д. р.) уміст рухомих фосфатів характеризувався як дуже високий (за винятком органічної системи удобрення), оскільки з гноєм у ґрунт потрапило дещо менше фосфору, ніж з мінеральними добривами.

Систематичне застосування калійних добрив і гною на чорноземі опідзоленому приводить до збагачення верхнього шару

Таблиця 1. Показники родючості ґрунту в шарі 0–20 см після тривалого (50 років) застосування добрив у польовій сівозміні

Варіант досліді (насиченість добривами 1 га площі сівозміни)	рН _{KCl}	N _r , смоль/кг ґрунту	Уміст, мг/кг ґрунту		
			N _{лужн}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без добрив (контроль)	5,4	2,9	101	80	116
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	5,3	3,5	111	119	135
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5,1	4,0	121	180	154
N ₁₃₅ P ₁₃₅ K ₁₃₅	4,8	4,6	125	232	168
Гній 9 т	5,3	2,7	107	105	124
Гній 13,5 т	5,4	2,5	116	125	132
Гній 18 т	5,4	2,3	121	135	153
Гній 4,5 т + N _{22,5} P _{33,7} K ₁₈	5,2	3,1	112	126	139
Гній 9 т + N ₄₅ P _{67,5} K ₃₆	5,1	3,2	119	194	148
Гній 13,5 т + N _{67,5} P _{101,2} K ₅₄	5,2	3,6	126	242	167
НІР ₀₅	0,2	0,3	6	10	7

грунту рухомими сполуками калію. У контрольному варіанті (без добрив) його вміст був найменшим і становив 116 мг/кг ґрунту. В результаті 50-річного систематичного застосування добрив вміст рухомих сполук калію в ґрунті в усіх варіантах збільшився залежно від дози добрив за мінеральної системи на 16–45%, органічної – 7–32, органо-мінеральної – на 20–44%.

Система удобрення є засобом регулювання обсягу та інтенсивності малого біологічного колообігу речовини і енергії в агрокосистемі, що порушується вилученням їх з урожаєм культур, ерозією тощо. Рівень вилучення енергії та її поповнення здебільшого визначається сівозмінною, що є способом формування структури і складу фітоценозу агрокосистеми для забезпечення максимальної продуктивності та її стабільності в часі без шкоди навколишньому природному середовищу.

Величина врожаю та якість рослинної продукції є основними показниками, які визначають рівень продуктивності сільськогосподарських культур і цінність їх продукції. Аналіз експериментальних даних показав, що добрива, за їх систематичного внесення, покращуючи поживний режим ґрунту, позитивно впливали на живлення рослин, забезпечували формування більш високого врожаю.

Як відомо, врожайність будь-якої культури, що вирощується в сівозміні, формується не лише під впливом прямої дії добрив, але і їх післядії за рахунок акумульованих поживних речовин добрив у ґрунті. Тому тривалі досліді, проведені з урахуванням післядії добрив у сівозмінах, дають повнішу характеристику їх значення у формуванні продуктивності сільськогосподарських культур та впливу на родючість ґрунту.

Встановлено, що на продуктивність окремих культур у сівозміні значно впливають як попередники, так і передпопередники, але найбільшу дію проявляють різні дози та види добрив (табл. 2).

Рвні живлення та попередники впливали на формування врожаю пшениці озимої. Після всіх попередників на ділянках, де добрив не вносили, різниця була на 0,41–1,28 т/га нижчою, ніж на удобрених.

У варіантах з внесенням добрив пшениця озима, що розміщувалася після конюшини, забезпечувала суттєві прирости врожаю. У контрольному варіанті, де добрив не вносили, вона становила 3,41 т/га. У середньому за 50 років прирости від одинарних доз добрив за органічної, мінеральної та органо-мінеральної систем були майже однаковими і перевищували

контроль на 18–23%. За органо-мінеральної системи удобрення з внесенням подвійної і потрійної доз добрив урожайність в середньому зросла на 36–42% відносно контролю і була найвищою порівняно з іншими варіантами досліді.

Підкреслимо, що в сівозміні з органічною системою удобрення, де під пшеницю озиму добрива не вносили, а гній вносили за три роки до сівби пшениці, врожайність лише частково знижувалася відносно варіантів з мінеральною та органо-мінеральною системами удобрення. Аналогічна закономірність спостерігалась і тоді, коли попередниками пшениці був горох та кукурудза на силос. Після всіх попередників урожайність за органічної системи удобрення була дещо нижчою порівняно з іншими системами удобрення, що застосовувались у сівозміні. Як зазначалося, зі збільшенням насиченості сівозміни мінеральними добривами врожайність пшениці озимої підвищувалася.

Проте при застосуванні їх високих доз приріст урожаю відносно подвійних був неістотним. Це, на нашу думку, можна обґрунтувати тим, що на високоудобрених фонах формується велика вегетативна маса, а через утримання спекотної з дефіцитом опадів погоди в окремі роки спостерігалось посилення повітряно-ґрунтової посухи, рослини випадали, створювалися несприятливі умови для формування повноцінного врожаю.

На тлі застосування добрив у польовій сівозміні кращим попередником для пшениці озимої виявилася конюшина. Порівняно з горохом і кукурудзою на силос урожайність відповідно була вищою й залежала від попередників та норм добрив, відповідно, на 0,16–0,31 й 0,51–0,63 т/га.

У середньому по досліді врожайність пшениці озимої, що розміщувалася після конюшини становила 4,8 т/га, гороху – 4,61, після кукурудзи на силос – 4,22 т/га. Стосовно систем удобрення, то по всіх попередниках кращою виявилася органо-мінеральна система удобрення.

Кукурудза добре реагувала як на дози, так і системи удобрення. В контрольному варіанті врожайність становила 4,57 т/га, а за мінеральної системи удобрення збільшувалася на 20–44%, органічної – 21–36%, органо-мінеральної – 24–51% залежно від доз добрив. Більш оптимальним для кукурудзи виявився третій рівень мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення, де в середньому за рік вносили $N_{135}P_{135}K_{135}$. За цих доз добрив формувалися врожаї 6,6 та 6,9 т/га. Значні прирости врожаю були також у варіанті досліді зі середньорічним внесенням 18 т/га гною.

Таблиця 2. Врожайність культур польової сівозміни залежно від доз добрив і систем удобрення (1965–2014 рр.), т/га

Варіант досліді	Конюшина (сіно)	Пшениця озима	Буряк цукровий	Кукурудза	Горох	Пшениця озима	Кукурудза на силос	Пшениця озима	Буряк цукровий	Ячмінь ярій	Картопля
Без добрив (контроль)	3,41	3,77	32,0	4,57	1,99	3,52	25,4	3,26	30,2	2,88	3,41
$N_{45}P_{45}K_{45}$	3,74	4,55	39,2	5,51	2,49	4,35	32,8	3,93	37,4	3,35	3,35
$N_{90}P_{90}K_{90}$	3,94	5,08	43,5	6,05	2,55	5,12	39,3	4,46	41,2	3,78	3,78
$N_{135}P_{135}K_{135}$	3,58	5,19	45,9	6,6	2,62	5,03	45,4	4,66	43,6	3,83	3,83
Гній 9 т	3,96	4,44	38,7	5,53	2,50	4,26	32,6	3,89	36,6	3,31	3,31
Гній 13,5 т	4,14	4,81	41,9	5,93	2,51	4,63	37,9	4,24	39,5	3,6	3,60
Гній 18 т	4,05	5,05	43,4	6,23	2,6	4,74	41,7	4,42	41,8	3,71	3,71
Гній 4,5 т + $N_{22,5}P_{33,7}K_{18}$	3,90	4,62	40,5	5,68	2,57	4,36	32,9	4,04	39,1	3,49	3,49
Гній 9 т + $N_{45}P_{67,5}K_{36}$	3,96	5,12	45,0	6,41	2,67	4,89	40,2	4,52	42,8	3,84	3,84
Гній 13,5 т + $N_{67,5}P_{101,2}K_{54}$	3,80	5,35	47,4	6,91	2,79	5,19	45,1	4,79	46,2	4,04	4,04

Примітка: у III–V ротаціях сівозміни картоплю замінено кукурудзою на силос.

Під ячмінь ярий кращими виявилися варіанти другого рівня мінеральної системи удобрення та третього рівня органо-мінеральної системи, що сприяло підвищенню його врожайності порівняно з варіантом без добрив на 31–40%. Однак внесення потрібної дози добрив за мінеральної системи удобрення істотного приросту врожайності, порівняно з подвійною, не дало. Це пояснюється тим, що рослини ячменю ярого посилено розвивали вегетативну масу і були менш стійкими до вилягання. Така ситуація у свою чергу призводила до недобору врожаю за рахунок недорозвиненого зерна та зниження процесів накопичення в ньому органічних речовин. Крім того, вилягання негативно впливало і на підсіяну під ячмінь конюшину, значна кількість рослин якої під покривом загущеної вегетативної маси ячменю гинула, а травостій формувалася зрідженим.

З усіх культур сівозміни найменше на удобрення реагувала конюшина, що пояснюється посиленням випадання рослин під покривним ячменем ярим з покращенням живлення рослин та підкисленням ґрунту під впливом тривалого застосування мінеральних добрив. Найвища врожайність сіна конюшини була за третього рівня органо-мінеральної системи удобрення – 4,04 т/га. Вирощування цієї культури тривалий час на неудообрених ділянках знижувало її врожайність на 18%.

Вважається, що горох формує високі врожаї за достатнього азотного живлення, яке забезпечується за рахунок природної родючості ґрунту, симбіотичної азотфіксації та застосування мінерального азоту добрив. Водночас є досить багато суперечливих даних щодо впливу азотних добрив на продуктивність гороху (Hospodarenko et al., 2017). Дослідженнями встановлено, що чорнозем опідзолений має високу природну і потенціальну родючість щодо культури гороху. В середньому по досліді його врожайність становила 2,53 т/га. Застосування добрив у сівозміні сприяло підвищенню врожайності гороху на 0,5–0,8 т/га. Проте його приріст від внесених у сівозміні високіх доз добрив був незначним.

Дія удобрення на врожайність буряку цукрового за п'ять ротаций сівозміни значно залежала від попередника, доз добрив і систем удобрення. Буряк цукровий найкраще реагував на сумісне внесення високіх доз органічних і мінеральних добрив. Так, за третього рівня органо-мінеральної системи удобрення формувалася найвища врожайність коренеплодів – 47,4 т/га. Приріст урожайності за рахунок добрив залежно від ланки

сівозміни становив: з кукурудзою на силос – 6,4–16,0 т/га, з конюшиною – 7,2–15,4 т/га, тобто на 21–50 % він був вищим, ніж на ділянках без добрив. Високі прирости врожаю буряку цукрового були у варіантах з органічною і мінеральною системами удобрення, але все ж дещо нижчими, ніж у варіантах досліді з органо-мінеральною системою.

Протягом двох ротаций у сівозміні вирощували картоплю, яка досить добре реагувала на внесені добрива. В середньому по досліді врожайність становила 14,8 т/га. З підвищенням доз добрив урожайність підвищувалася за мінеральної системи на 1,7–2,7 т/га, органічної – 1,4–1,9, органо-мінеральної – 2,1–3,0 т/га.

Кукурудза, як одна з основних силосних культур Правобережного Лісостепу і Північного Степу України, досить ефективно реагувала на добрива. Врожайність зеленої маси за рахунок добрив зростала на 7,2–19,7 т/га. При цьому особливої переваги серед систем удобрення в досліді не виявлено. Проте в разі внесення високіх доз добрив за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення спостерігалася тенденція до збільшення її продуктивності. Для кукурудзи на силос найбільш ефективним виявився третій рівень мінеральної системи удобрення. За органічної системи удобрення врожайність кукурудзи на силос, порівняно з іншими системами, була нижчою, але перевищувала контроль на 7,2–16,3 т/га. Стосовно інших систем удобрення, то вона збільшувалася за мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення відповідно на 29–79% й 29–77%, що свідчить про дещо кращу реакцію кукурудзи на силос у разі внесення мінеральних добрив.

Добрива, що вносили в досліді протягом 50 років, зумовили створення різних рівнів родючості ґрунту, що позитивно, але неоднаково, впливали на продуктивність культур польової сівозміни. В середньому за роки досліджень на ділянках, де добрив не вносили, продуктивність польової сівозміни була найменшою і становила 4,73 т/га (рисунок).

Зі збільшенням доз добрив вона підвищувалася за мінеральної системи удобрення на 22–44%, органічної – 21–38 і органо-мінеральної – 25–49%.

Отже, найвищу продуктивність сівозміни забезпечує поєднання органічних добрив з мінеральними. Органічна система удобрення (за еквівалентного внесення азоту) поступається мінеральній, що вказує на необхідність додаткового внесення на чорноземі опідзоленому, в першу чергу фосфорних добрив.

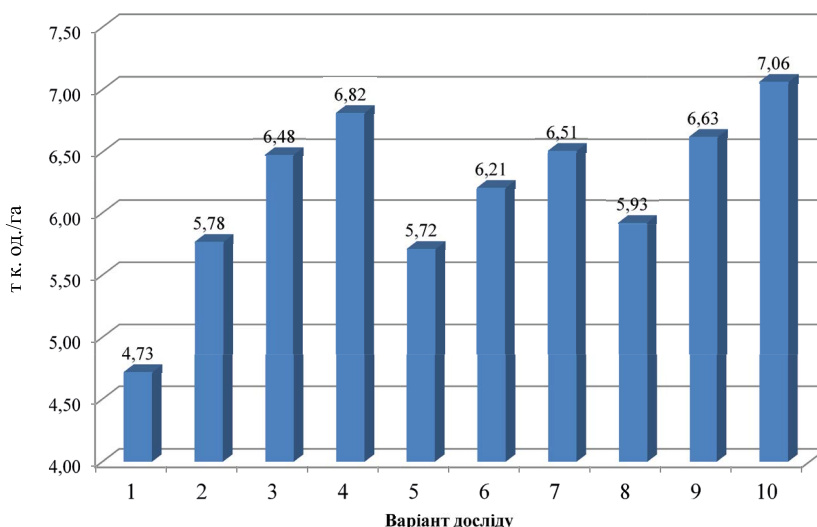


Рис. Вплив різних доз добрив і систем удобрення на продуктивність польової сівозміни (середня 1964–2014 рр.), т. к. од./га:
 1 – без добрив (контроль); 2 – $N_{45}P_{45}K_{45}$; 3 – $N_{90}P_{90}K_{90}$; 4 – $N_{135}P_{135}K_{135}$; 5 – гній 9 т; 6 – гній 13,5 т;
 7 – гній 18 т; 8 – гній 4,5 т + $N_{22,5}P_{33,7}K_{18}$; 9 – гній 9 т + $N_{45}P_{67,5}K_{36}$; 10 – гній 13,5 т + $N_{67,5}P_{101,2}K_{54}$

Обговорення

Інтенсивне землеробство тісно пов'язане з широким застосуванням засобів хімізації, що забезпечує підвищення врожайності сільськогосподарських культур, однак часто призводить до порушення рівноваги в екологічній системі (Demidenko et al., 2014). Тільки завдяки родючості ґрунтів держава за внесення мінімальних доз добрив забезпечує внутрішні продовольчі потреби і має можливість значну частину продукції експортувати на світовий ринок. Якщо це не змінити, то чітко проявляється тенденція до поступового виснаження ґрунтів, що у свою чергу призведе до їх деградації (Balayev & Tonkha, 2014; Pol'ovu, 2005).

Ще зовсім недавно за невисоких цін на мінеральні добрива більш популярною була мінеральна система удобрення. Проте, як з'ясувалося, використання мінеральних добрив у великих кількостях має не лише позитивні, але й негативні наслідки, які проявляються у поступовому забрудненні навколишнього природного середовища, погіршенні якості вирощеної продукції, наявності у ній нітратів, радіонуклідів, важких металів та інших ксенобіотиків. Проте і повна відмова від застосування мінеральних добрив в оптимальних дозах за нинішніх умов господарювання може призвести до різкого зниження врожайності культур, погіршення родючості ґрунту і від'ємного балансу елементів живлення.

Оцінити ефективність різних систем удобрення можна тільки в умовах їх застосування в сівозміні. Основою науково обґрунтованих систем застосування добрив, поряд з одержанням запланованих урожаїв товарної продукції доброї якості, має бути утримання за ротацію сівозміни бездефіцитного балансу гумусу й основних елементів живлення та проведення заходів для збереження й підвищення родючості ґрунтів (Volodin, 1989; Seraya, 2011).

Основними напрямками зниження хімічного навантаження на чорноземі і забезпечення в них землеробського закону повернення елементів живлення та органічних сполук, використаних на формування врожаю, є біологізація землеробства. Застосування екологічної й біологічної систем землеробства, за яких передбачено використання органічних добрив та побічної продукції, позитивно впливає на реакцію ґрунтового розчину, що сприяє підвищенню показників родючості ґрунту (Tanchik & Salnikov, 2014).

Підтримання оптимального рівня родючості ґрунту може бути здійснено за рахунок гною та інших органічних добрив, які в поєднанні з мінімальною кількістю мінеральних складових здатні підвищувати родючість ґрунту й забезпечувати рослини в достатній кількості елементами живлення.

За даними Balayev A. D., Tonkha O. L. (2014), у ґрунтах усіх ґрунтово-кліматичних зон України можна забезпечити бездефіцитний баланс гумусу за умови використання як органічного добрива нетоварної частини урожаю. За внесення соломи 1,2 т/га + N₁₂ + сидерати + N₇₈P₆₈K₆₈ вміст гумусу становив 4,13%, що на 0,86% більше, ніж у варіанті, де добрив не вносили.

На чорноземах типових визначено, що внесення 12 т/га гною + N₅₅P₄₅K₄₅ на 1 га сівозмінної площі дозволяє отримувати високі врожаї культури зерно-буракової сівозміни і забезпечує додатний баланс гумусу (+0,4 т/га). За цієї норми добрив одержано достовірний приріст урожайності пшениці озимої, буряку цукрового, кукурудзи на зерно і зелену масу та гороху, а її вплив на врожай конюшини і ячменю ярого був неістотним (Bohdanovych & Oliynyk, 2013).

Дослідженнями, які проводили в умовах Ставропольського краю, доведено, що за внесення розрахункової дози мінеральних добрив, навіть нетривалий час, призводило до підкислення ґрунтового розчину порівняно з біологічною системою. Обидві системи удобрення підвищували вміст рухомих сполук фосфору на 3,2–13,5 та обмінного калію на

13–40 мг/кг, проте деяку перевагу мала мінеральна система удобрення (Golosnoy et al., 2013).

Переважаюча більшість учених вважають, що в сучасних умовах удобрення сільськогосподарських культур повинно здійснюватися за рахунок зменшення кількості мінеральних і збільшення використання органічних добрив (Tanchik, 2009). Основними джерелами поповнення поживних речовин ґрунту повинні стати гній, гноївка, пташиний послід, торф, компости, солома, зелені та інші місцеві органічні добрива в поєднанні з невеликою кількістю мінеральних та насиченням сівозміни бобовими культурами, які здатні збагачувати ґрунти на азот та інші поживні речовини, а також підвищувати доступність елементів живлення рослинам.

Висновки

За тривалого застосування добрив у польовій сівозміні залежно від доз добрив і систем удобрення створюється певний поживний режим ґрунту. Незалежно від систем удобрення (органічна, мінеральна, органо-мінеральна) відбувається поступове підкислення ґрунту. Щодо вмісту рухомих сполук, то найбільше піддаються регулюванню фосфатний режим, потім калійний, але при цьому витрачається велика кількість калійних добрив. Розробляючи систему удобрення для польової сівозміни, особливу увагу необхідно звертати на азотну складову, оскільки чорнозем опідзолений має низьку здатність забезпечувати сільськогосподарські культури азотом. На продуктивність культур польової сівозміни більше впливають дози добрив, ніж системи удобрення. Оцінювання загальної продуктивності сівозміни показало, що мінеральні та органічні добрива в рівних дозах за азотом однаковою мірою збільшували вихід кормових одиниць з гектара сівозмінної площі. За органо-мінеральної системи удобрення продуктивність сівозміни була вищою.

References

- Balayev, A. D., & Tonkha, O. L. (2014). Vidnovlennya rodyuchosti chornozemiv Lisostepu v suchasnomu zemlerobstvi [Restoration of Fertility of Chernozem Forest-Steppe in Modern Agriculture]. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Agronomy*, 195(1), 14–19 (in Ukrainian).
- Balyuk, S. A., Medvedyev, V. V., Tarariko, O. H., Hrekov, V. O., Balayev, A. D. (2010). Natsional'na dopovid' pro stan rodyuchosti hruntiv Ukrainy [National Re-port on the state of soil fertility in Ukraine]. Kyiv, 2010, 112 (in Ukrainian).
- Bohdanovych, R. P., & Oliynyk, V. S. (2013). Balans humusu ta vrozhaynist' kul'tur za riznykh variantiv udobrennya v umovakh Pravoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [Som balance and crop productivity as effected by fertilizing variants in the Right-bank Forest-steppe of Ukraine]. *Visnyk of Kharkiv National Agrarian University*, 1, 56–59 (in Ukrainian).
- Bomba, M. Y., & Bomba, M. I. (2018). Experience and scientific support of biological agriculture in modern economic conditions. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 1, 3–8. doi: [10.31395/2310-0478-2018-1-3-8](https://doi.org/10.31395/2310-0478-2018-1-3-8)
- Campiglia, E., Mancinelli R., De Stefanis E., Pucciarmati S., & Radicetti E. (2015). The long-term effects of conventional and organic cropping systems, tillage managements and weather conditions on yield and grain quality of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the Mediterranean environment of Central Italy. *Field Crops Research*, 176, 34–44. doi: [10.1016/j.fcr.2015.02.021](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.021)
- Demidenko, O. V., Shapoval, I. S., Tonkha, O. L., Velychko, V. A., & Boyko, P. I. (2014). Humusnyy stan chornozemu typovoho za riznykh sposobiv obrobittu v ahrotsenozakh Livoberezhnogo Lisostepu [Humus chernozem state typical for different methods of cultivation in agrocenoses of the Left Bank Forest-steppe]. *Visnyk of Agrarian Science*, 4, 58–62 (in Ukrainian).

- Dobrovolskiy, G. V., & Kust, G. S. (1996). Degradatsiya pochv – “tikhiy krizis planet”. [The degradation of soils is a “silent crisis of the planet”]. Nature, Moscow (in Russian).
- Eskov, A. I., Tarasov, S. I., & Tamonova, N. A. (2010). Rezul'taty mnogoletnikh issledovaniy effektivnosti posledeystviya bespodstilochnogo navoza. [Results of long-term studies of the effectiveness of the after-treatment of non-poultry manure]. Fertility, 1, 10–11 (in Russian).
- Geisseler, D., & Scow, K. M. (2014). Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – a review. Soil Biology and Biochemistry, 75, 54–63. doi: [10.1016/j.soilbio.2014.03.023](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023)
- Golosnoy, Y. V., Yesaulko, A. N., & Sigida, M. S. (2013). Vliyaniye sistem udobreniya na agrokhimicheskiye svoystva chernozoma vyshchelochennogo v zone neustoychivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraya. [The influence of fertilizer systems on the agrochemical properties of chernozem leached in the zone of unstable moistening in the Stavropol Territory]. Fertility, 72(3), 4–5 (in Russian).
- Hao, X., Ma, X., Zhou, B., & Gao, Z. (2015). Characteristics of crop yield and nutrient balance under different long-term fertilization practices in black soil. Nongye Gongcheng Xuebao, 31(16), 178–185. doi: [10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.024](https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.16.024)
- Hospodarenko, H. M., Nevlad, V. I., Prokopchuk, I. V., & Prouopchuk, S. V. (2017). Symbiotychna azotfiksiatsiya ta vrozhay [Symbiotic nitrogen fixation and yield]. Sochins'kyy M. M., Uman' (in Ukrainian).
- Hospodarenko, H. M., Prokopchuk, I. V., Prokopchuk, S. V., & Trus, O. M. (2018). Humus content in a podzolized chernozem after a long-term application of fertilizers in a field crop rotation. Agronomy Research, 16(3), 728–736. doi: [10.1515/AR.18.080](https://doi.org/10.1515/AR.18.080)
- Jat, L. K., & Singh, Y. V. (2017). Short-term Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties and Enzyme Activities in Rice Production. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(2), 185–194. doi: [10.20546/ijcmas.2017.602.025](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.602.025)
- Káš, M., Mühlbachová, G., Kusá, H., & Pechová, M. (2016). Soil phosphorus and potassium availability in long-term field experiments with organic and mineral fertilization. Plant Soil Environ, 62(12), 558–565. doi: [10.17221/534/2016-PSE](https://doi.org/10.17221/534/2016-PSE)
- Koper, J., & Piotrowska, A. (2003). Application of biochemical index to define soil fertility depending on varied organic and mineral fertilization, 6(1).
- Korneyko, N. Y. (2013). Monitorynh kyslotnosti pakhotnykh pochv Belhorodskoy oblasti [Monitoring of the acidity of the arable soils of the Belgorod region] Advances in modern science, 9, 152–154 (in Ukrainian).
- Kosolapova, A., Yamaltdinova, V., Mitrofanova, E., Fomin, D., & Teterlev, I. (2016). Biological activity of soil depending on fertilizer systems. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 22(6), 921–926.
- Lapa, V. V., & Ivakhnenko, N. N. (2014). Produktivnost' sevooborotov, balans elementov pitaniya i izmeneniye plodorodiya derno-podzolistoy supeschany pochvy pri dlitel'nom primenenii udobreniy [Productivity of crop rotations, nutrient balance, and soil fertility changes on loamy sandy soddy-podzolic soil under long-term fertilization]. Plodorodiye, 5(80), 5–8.
- Lin, Z., Chang, X. H., Wang, D. M., Zhao, G. C., & Zhao, B. Q. (2015). Long-term fertilization effects on processing quality of wheat grain in the North China Plain. Field Crops Research, 174, 55–60. doi: [10.1016/j.fcr.2015.01.008](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.008)
- Lukin, S. V., & Chetverikova, N. S. (2010). Monitoring plodorodiya pakhotnykh pochv lesostepnoy zony Tsentrol'no-Chernozemnogo rayona [Monitoring of fertility of the arable soils of the forest-steppe zone of the Central and Black Earth region]. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 1, 71–73. (in Russian).
- Mazur, H. A. (2015). Zalezhnist' produktyvnosti ahrotsenozu vid rivnyia rodyuchosti gruntu [Dependence of productivity of agroecosystem on the level of soil fertility]. Agriculture, 1, 82–88 (in Ukrainian).
- Merzlaya, G. Y., Yes'kov, A. I., & Tarasov S. I. (2011). Deystviye i posledeystviye sistem udobreniya s ispol'zovaniyem navoza. [Effect and aftereffect of fertilizer systems using manure]. Fertility, 3, 16–19 (in Russian).
- Mineyev, V. H., Debretseni, B. Y., & Mazur, G. A. (1993). Biologicheskoye zemledeliye i mineral'nyye udobreniya. [Biological agriculture and mineral fertilizers]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Myazin, N. G., & Brekhov, P. T. (2013). K voprosu monitoringa plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya. [On the issue of monitoring the fertility of agricultural land]. Agriculture, 6, 8–10 (in Russian).
- Pol'ovyy, V. M. (2005). Osoblyvosti ahrokhimichnoyi dehradatsiyi hruntu zalezhno vid udobrennya [Features of agro-chemical degradation of soil depending on fertilization]. Visnyk of Agrarian Science, 3, 23–25 (in Ukrainian).
- Russell, E. J. (2013). Soil conditions and plant growth. Forgotten Books, England and Wales, London.
- Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., & Rao, M. A. (2015). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. J. Soil Sci. Plant Nutrition, 15(2), 333–352. doi: [10.4067/s0718-951620150050-00031](https://doi.org/10.4067/s0718-951620150050-00031)
- Seraya, T. M. (2011). Vliyaniye sistem udobreniya na produktivnost' sevooborota i izmeneniye agrokhimicheskikh pokazateley derno-podzolistoy legkosuglinistoy pochvy. [The influence of fertilizer systems on the productivity of crop rotation and the change of agrochemical indices of sod-podzolic lightweight soil]. Agrochemistry, 11, 17–24 (in Russian).
- Tanchik, S. P. (2009). Efektyvnist' system zemlerobstva v Ukraini [Efficiency of agricultural systems in Ukraine]. Visnyk of Agrarian Science, 12, 5–11 (in Ukrainian).
- Tanchik, S. P., & Salnikov, S. M. (2014). Vplyv system zemlerobstva na dynamiku pokaznykiv rodyuchosti gruntu ahrofitosenozu buryakiv tsukrovykh. [The impact of farming systems in the dynamics of indicators of soil fertility in agrofitosenose sugar beet]. Visnyk of Poltava State Agrarian Academy, 3, 46–49 (in Ukrainian).
- Tsvey, Y. P. (2015). Formuvannya rodyuchosti gruntu v korotkorotatsiynnykh sivozminakh Lisostepu. [Formation of soil fertility in short-rotation crop rotations of forest-steppe]. Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk “Zemlerobstvo”, 1, 56–59 (in Ukrainian).
- Volodin, V. M. (1989). O rasshirenom vosproizvod-tve pochvennogo plodorodiya. Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki [On Extended Reproduction of Soil Fertility]. Visnyk of Agricultural Science, 6, 33–40 (in Ukrainian).
- Yatsuk, I. P. (2013). Mistse i rol' hruntiv u kontseptsiyi funktsionuvannya noosfery za V. I. Vernadskym. [Place and role of soils in the concept of the operation of the noosphere in V. I. Vernadsky]. Visnyk KhNUU, 1, 269–273 (in Ukrainian).
- Zarishnyak, A. C., Balyuk, S. A., & Lisovyy, M. V. (2014). Statsonarni pol'ovi doslidy Ukrainy [Stationary field test-trials of Ukraine]. Agrarian Science, Kyiv (in Ukrainian).