



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.4

© 2022

ПОРІВНЯЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІН ЗА СЕКВЕСТРАЦІЙНОЮ ЗДАТНІСТЮ ТА АГРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ

О.В. Демиденко

доктор сільськогосподарських наук

Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Докучаєва, 13, с. Холодніанське Смілянського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна

e-mail: agrogutmys@ukr.net

Надійшла 3.06.2022

Мета. Порівняти ефективність 5- та 3 і 4-пільних сівозмін за здатністю відтворювати параметри родючості чорнозему типового та формувати високий рівень продуктивності та агроекологічної й енергетичної ефективності для умов Лівобережного Лісостепу України. **Методи.** Польовий, агрохімічний (відбір зразків і визначення загального гумусу в шарі ґрунту 0–30 см), статистично-розрахунковий (для обґрунтування достовірності отриманих результатів і розроблення статистичних моделей взаємозв'язків), агроекономічний та енергетичний (для визначення економічних і енергетичних показників різноротаційних сівозмін). Дослідження проводили на Драбівському дослідному полі в стаціонарному досліді, який закладено в 1967 р. й налічує 29 різноротаційних сівозмін. **Результати.** Між накопиченням енергії в гумусі та кормових одиницях і виходом кормових одиниць у сівозмінах зв'язок був на рівні $R=+0,45-0,48\pm 0,02$, а на одиницю зростання енергії в гумусі припадає 0,017 т/га к. од. та 0,11 ГДж/га. За сівозмін із довгою ротацією між умістом гумусу та виходом к. од. виявлено прямий кореляційний зв'язок $R=+0,45-0,50\pm 0,02$; $R^2=0,21-0,25$, а між умістом гумусу та енергоємністю к. од. зв'язок був прямим на рівні $R=+0,50-0,51\pm 0,01$; $R^2=0,25-0,27$, на одиницю зростання вмісту гумусу припадає 0,5 ГДж/га, що в 1,97 та 1,93 рази менше порівняно із сівозмінами короткої ротації. Між секвестрованим $C-CO_2$ в гумус і виходом к. од. встановлено прямий кореляційний зв'язок $R=0,51-0,52\pm 0,02$; $R^2=0,27-0,28$, а на одиницю залученого $C-CO_2$ у гумус припадає 0,017 т/га к. од. Аналогічно між $C-CO_2$ у гумусі та енергоємністю к. од. зв'язок був на рівні $R=+0,53-0,54\pm 0,02$; $R^2=0,28-0,29$, а на одиницю залученого $C-CO_2$ у гумус припадає 0,098 ГДж/га енергії в к. од. Короткоротаційні сівозміни мали вищу секвестраційну здатність і про-

дуктивність. Висновки. Застосування 3–4-пільних сівозмін призводить до зниження їхньої секвестраційної здатності, виходу кормових одиниць, недоотримання чистого прибутку, але при цьому зростає їхня енергетична ефективність, знижуються технологічні затрати на вирощування складових культур сівозмін із забезпеченням стабільної продуктивності в часі порівняно з 5-пільними сівозмінами.

Ключові слова: загальний гумус, органічний вуглець, секвестрація, енергетична ефективність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-02>

У сучасних умовах господарювання аграрний сектор України характеризується дефіцитом якісної продукції, виробництво якої можливе лише на основі перманентно зростаючої культури землеробства в часі [1]. Підвищення родючості чорноземів Лісостепу є необхідною умовою для запровадження передових агротехнологій за раціонального використання місцевих ґрунтово-кліматичних ресурсів і засобів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва [2]. Фізичні та агрохімічні властивості чорноземів змінюються під впливом запровадження технологій вирощування сільськогосподарських культур. Вони є одним із найважливіших заходів, що регулюють рівень родючості чорнозему, зокрема уміст гумусу як основний чинник культурного ведення землеробства [3]. Гумус — найважливіший показник родючості чорнозему. Органічна речовина визначає його структурно-агрегатний стан і фізико-хімічні обмінні властивості й значною мірою є джерелом живлення [4, 5]. Дослідження довгострокового впливу різноротаційних сівозмін на вміст загального гумусу в сучасних умовах поєднані із розв'язанням складних методичних проблем [6, 7]. Тому важливим заходом є виконання довготермінових стаціонарних дослідів, в яких найбільш точно можна дослідити процеси накопичення та мінералізації гумусу, спрогнозувати динаміку його зміни на найближчу перспективу, а також відпрацювати технологічні заходи його регулювання в чорноземах. Це забезпечує об'єктивну наукову інформацію, яка може бути основою для розроблення сучасних систем землеробства [8]. Крім теоретичного зацікавлення, сівозміни мають безпосередньо практичне значення, оскільки

дослідження закономірностей кількісної дії основного чинника в окремому прояві відкриває можливості для створення ефективних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню залежності змін родючості чорнозему від застосування сівозмін присвячено публікації багатьох вітчизняних і зарубіжних учених. Ними встановлено, що вміст гумусу забезпечує стійкість чорноземів до зовнішніх впливів і підтримує одну з глобальних їх функцій — біогенну [9]. Доведено, що в результаті інтенсивних процесів мінералізації гумусу під дією антропогенного навантаження чорноземи набувають ознак агрофізичної деградації [10, 11]. Застосування систем сівозмін є потужним чинником, що діє на параметри гумусного стану чорнозему та реалізацію їх потенційної родючості через її ефективну форму [3, 8]. Водночас добрива лише на 50–60% задовольняють потреби при зниженні запасів гумусу в чорноземах за вирощування сільськогосподарських культур [12].

Потепління клімату, як правило, сприяє зменшенню депонування $C-CO_2$ в агроекосистемах та ґрунті, що пов'язано зі зростанням інтенсивності продуктивного та деструктивного процесів: зростає швидкість розкладання органічної речовини в чорноземі, активізується ґрунтове дихання, що призводить до посилення чутливості продуктивності різних угруповань рослин до вологості ґрунту і температури повітря. За надмірного прояву зазначених процесів інтенсивність ґрунтового дихання перевищує швидкість акумуляції CO_2 атмосфери рослинами, а агроценози перетворюються на джерела викидів вуглекислоти в атмосферу [13–15].

Динаміка вмісту гумусу — складний біохімічний процес, який залежить від багатьох чинників [10]. Будь-яка зміна в насиченні сівозмін сільськогосподарськими культурами, обробітку ґрунту, внесенні добрив та їх дозуванні призводить до зміни гумусного стану чорнозему в різних ґрунтово-кліматичних зонах України [2]. Тому потрібні комплексні дослідження зміни гумусного стану чорноземів у довготермінових стаціонарних дослідках, що є актуальним і забезпечить можливість отримання точного прогнозування вмісту гумусу в чорноземі за використання різних сівозмін у Лівобережному Лісостепу України.

Мета досліджень — порівняти ефективність 5- і 3–4-пільних сівозмін за здатністю відтворювати параметри родючості чорнозему типового і формувати високий рівень продуктивності та агроекологічної і енергетичної ефективності для умов Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження виконували в Центральній частині Лівобережного Лісостепу України в довготерміновому стаціонарному досліді Драбівського дослідного поля Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції «ННЦ «Інститут землеробства НААН». Дослід розміщено на чорноземі типовому малогумусному крупнопилувато-легкосуглинковому з вмістом гумусу 3,8–4,2%, рухомого фосфору — 12–14 мг/100 г ґрунту, рухомого калію — 8–10 мг/100 г ґрунту, рН сол — 6,8–7,0.

Дослід закладено в 1976 р., реконструйовано 2000 р. Системи удобрення культур передбачають такі дози добрив: пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, пшениця яра, соя — $N_{60}P_{60}K_{60}$, горох — $N_{20}P_{40}K_{40}$, соняшник — $N_{40}P_{40}K_{40}$, буряки цукрові — $N_{100}P_{100}K_{100}$. З 2000 по 2020 р. як органічне добриво використовують усю побічну продукцію в середньому 7 т/га. Структуру сівозмін показано в табл. 1.

1. Структура посівних площ та вміст гумусу в шарі ґрунту 0–30 см у стаціонарному досліді Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН»

Шифр сівозміни	Структура сівозміни	*Уміст гумусу, %
<i>5-пільні сівозміни</i>		
4	60% — зернові (40% — ярі колосові); 20% — ріпак; 20% — горох	3,55
1	60% — зернові (40% — пшениця озима); 20% — буряки цукрові; 20% — однорічні трави	3,66
11	60% — зернові (40% — пшениця озима); 20% — ріпак; 20% — однорічні трави	3,77
11а	40% — зернові; 40% — буряки цукрові та соя; 20% — горох	3,57
4а	60% — зернові (40% — ярі колосові); 20% — буряк; 20% — горох	3,79
6	40% — зернові; 40% — технічні (соя — 20%; ріпак — 20%); 20% — горох	3,56
6а	40% — зернові; 20% — горох; 20% — буряки; 20% — кукурудза на силос	3,65
15	60% — зернові; 20% — буряки цукрові; 20% — однорічні трави	3,47
1а	60% — зернові; 20% — горох; 20% — буряки цукрові	3,67
10а	60% — зернові; 20% — буряки цукрові; 20% — однорічні трави	3,56
15а	60% — зернові; 20% — буряки цукрові; 20% — однорічні трави	3,59
10	60% — зернові (40% — кукурудза); 20% — горох; 20% — кормові	3,98
<i>3–4-пільні сівозміни</i>		
3в	50% — зернові (25% — кукурудза); 25% — буряки цукрові; 25% — трави	3,79
13а	66% — зернові (33% — ячмінь); 34% — соя	3,62
3а	66% — зернові (33% — ячмінь); 34% — горох	3,53
3б	66% — зернові (33% — пшениця яра); 34% — соя	3,65
16в	66% — кукурудза; 34% — соя	3,65

*Уміст загального гумусу станом на 2021 р. у шарі ґрунту 0–30 см.

Уміст загального гумусу визначали за І.В. Тюрніним у модифікації М.В. Сімакова (ДСТУ 4289:2004). Результати польових досліджень піддавали статистичній обробці методом дисперсійного аналізу за Б.О. Доспеховим із використанням статистичних методів: дисперсного, факторного та методу непараметричної статистики. Узагальнення результатів досліджень проводили за допомогою програми «STATISTICA-10» з використанням непараметричної статистики, кореляційного та факторного аналізів.

Результати досліджень. Статистичний аналіз гумусного стану в 5-пільних сівозмінах показав, що середній уміст гумусу в шарах ґрунту 0–20 см і 0–30 см становив 3,83% і 3,75%. Відповідно його запас — 95,8 т/га та 141,4 т/га. Секвестрованого CO₂ — C_{орг} в гумусі було 205,9 та 302,9 т/га,

запас енергії в гумусі становив 209,9 та 304,2 ГДж на 1 га. Аналогічні показники за медіанним значенням були вищими на 0,05 та 0,04%; 1,2 та 4,0 т/га; 4,4 та 2,4 т/га і 5,1 та 3,0 т/га відповідно, що свідчить про стійку тенденцію до зростання показників гумусного стану. Нормований розмах умісту гумусу в шарах ґрунту 0–20 см та 0–30 см був 0,36 та 0,26%, запасу — 8 та 10 т/га, секвестрованого вуглецю — 17 і 20 т/га, енергії в гумусі — 17 і 21 ГДж/га. Коефіцієнт варіації зазначених показників не перевищував 10%, що є слабкою варіацією показників гумусного стану (табл. 2).

Установлено, що за 5-пільних сівозмін ротацією значення параметрів гумусного стану за медіаною більшою мірою тяжіють до рівня за верхнім типовим значенням показників, за сівозмін із довгою ротацією,

2. Типізація вмісту, запасів загального гумусу, секвестрованого органічного вуглецю та запасів енергії в гумусі залежно від типу і ротаційності сівозмін в умовах Лівобережної Лісостепу України

Параметр	Статистичні нормовані показники								*Coef. Var, %
	Mean	Med	Min	Max	L _{0,1}	L _{0,25}	L _{0,75}	L _{0,95}	
			Амплітудний розмах: (Δ _a = max – min)		Нормований розмах: Δ _{50%} = L _{0,75} – L _{0,25} Δ _{10%} = L _{0,95} – L _{0,1}				
<i>5-пільні сівозміни</i>									
Гумус, % (0–20)	3,83	3,88	3,25	4,24	3,36	3,66	4,01	4,19	7,19
Гумус, % (0–30)	3,75	3,79	3,18	4,21	3,31	3,63	3,89	4,05	7,02
Гумус, т/га (0–20)	95,8	97,00	81,00	106,0	85,0	92,0	100,0	105,0	7,04
Гумус, т/га (0–30)	141,4	145,0	120,0	158,0	125,0	136,0	146,0	155,0	7,16
CO ₂ — C _{орг} (0–20)	205,9	210,0	175,0	228,0	181,0	198,0	215,0	226,0	7,13
CO ₂ — C _{орг} (0–30)	302,9	305,0	256,0	345,0	267,0	295,0	315,0	330,0	7,34
**Ен, ГДж (0–20)	209,9	215,0	175,0	252,0	182,0	199,0	216,0	230,0	8,80
**Ен, ГДж (0–30)	304,2	307,0	257,0	345,0	268,0	295,0	316,0	333,0	7,34
<i>3–4-пільні сівозміни</i>									
Гумус, % (0–20)	3,69	3,66	3,56	3,88	3,56	3,56	3,78	3,88	3,81
Гумус, % (0–30)	3,64	3,63	3,53	3,79	3,53	3,53	3,71	3,79	3,12
Гумус, т/га (0–20)	92,4	92,0	89,0	97,0	89,0	89,0	95,0	97,0	3,87
Гумус, т/га (0–30)	137,0	136,0	132,0	145,0	132,0	132,0	140,0	145,0	4,06
CO ₂ — C _{орг} (0–20)	198,8	198,0	191,0	209,0	191,0	191,0	205,0	209,0	4,09
CO ₂ — C _{орг} (0–30)	293,0	295,0	285,0	305,0	285,0	285,0	295,0	305,0	2,86
**Ен, ГДж (0–20)	199,6	199,0	192,0	210,0	192,0	192,0	205,0	210,0	3,99
**Ен, ГДж (0–30)	294,4	295,0	285,0	307,0	285,0	285,0	300,0	307,0	3,25

*Coef. Var, % — коефіцієнт варіації; **Ен, ГДж — запас енергії (0–20 см, 0–30 см); CO₂–C_{орг} — т/га.

навпаки, — до нижнього типового значення. За верхніми типовими значеннями на рівнях 50% і 10%-ої значущості вміст гумусу становив 4,01–4,19% (0–20 см) та 3,89–4,05% (0–30 см), запаси гумусу — 100–105 т/га і 146–155 т/га, секвестрованого вуглецю — 215–226 т/га і 315–330 т/га, запас енергії — 216–230 ГДж/га і 316–333 ГДж/га відповідно до шарів ґрунту.

Відзначено, що за 5-пільних сівозмін між запасами гумусу в шарі ґрунту 0–30 см та його умістом, запасом, секвестрованим вуглецем та енергією в шарі ґрунту 0–20 см встановлено прямий кореляційний зв'язок ($R=+0,86-0,88\pm 0,03$, $R^2=0,74-0,77$), а на одиницю зростання запасу гумусу припадає зростання його вмісту на 0,03%.

Між запасом гумусу в шарі 0–30 см та накопиченою енергією в шарі ґрунту 0–20 см виявлено пряму сильну кореляцію ($R=+0,73-0,79\pm 0,03$; $R^2=0,53-0,62$), а на одиницю зростання запасу гумусу припадає 1,32 ГДж/га та 2,19 ГДж/га відповідно. Між секвестрацією $C-CO_2$ в гумусі та умістом гумусу в шарах ґрунту 0–20 і 0–30 см встановлено пряму сильну кореляцію ($R=+0,79-0,86\pm 0,03$; $R^2=0,62-0,74$), а на одиницю зростання $C-CO_2$ в гумусі припадає 0,01% зростання гумусу. Між секвестрованим $C-CO_2$ у шарі ґрунту 0–30 см та запасом гумусу в шарі 0–20 см виявлено пряму сильну кореляцію ($R>0,80$), а на одиницю зростання $C-CO_2$ припадає 0,29 т/га запасу гумусу.

Важливим є встановлення залежності між секвестрованим $C-CO_2$ в шарі ґрунту 0–30 см та $C-CO_2$ в шарі 0–20 см. Зв'язок був на рівні $R>+0,80$, а на одиницю зростання $C-CO_2$ в шарі ґрунту 0–30 см припадає 0,62 од. $C-CO_2$ в шарі ґрунту 0–20 см. Між секвестрованим $C-CO_2$ в шарі 0–30 см та запасом енергії в шарах ґрунту 0–20 та 0–30 см виявлено прямий кореляційний зв'язок ($R>+0,70$), а на одиницю зростання $C-CO_2$ припадає 1,32–2,19 ГДж/га запасу енергії.

Накопичення енергії гумусу в шарі чорнозему 0–30 см корелювало з умістом гумусу на рівні прямої сильної кореляції ($R>+0,80$), а на одиницю зростання запасу енергії припадало 0,012% зростання вмісту гумусу або 0,29 т/га його запасу. Між зростанням запасу енергії гумусу в шарі чорнозему 0–

30 см та секвестраційною здатністю виявлено тісний кореляційний зв'язок ($R>+0,80$), а на одиницю зростання енергії гумусу припадало 0,63 т/га (0–20 см) та 0,63 т/га (0–30 см) одиниць залученого $C-CO_2$ в гумусі.

Аналогічну закономірність встановлено з прибутком: $R=+0,61\pm 0,02$; $R^2=0,37$, а на одиницю залученого $C-CO_2$ припадає 0,13 тис. грн/га. Між енергетичною ефективністю та рентабельністю встановлено прямий кореляційний зв'язок на рівні $R=+0,51\pm 0,02$; $R^2=0,26$, а на одиницю зростання енергетичної ефективності припадає зростання рентабельності на 0,6%. Аналогічна закономірність для прибутку $R>+0,61\pm 0,02$; $R^2>0,37$, а на одиницю зростання енергетичної ефективності припадає 0,61 тис. грн прибутку на 1 га.

Між умістом гумусу в шарах ґрунту 0–20 та 0–30 см виходом к. од. та накопиченою енергією в к. од. за короткоротаційних сівозмін встановлено прямий кореляційний зв'язок на рівні $R=+0,45-0,47\pm 0,02$; $R^2=0,20-0,22$, а на одиницю зростання вмісту гумусу припадає зростання виходу к. од. на 0,043 т/га і накопичення енергії 0,27 ГДж/га. Між секвестрацією $C-CO_2$ і виходом к. од. та накопиченням енергії в к. од. виявлено прямий кореляційний зв'язок ($R=+0,45-0,48\pm 0,02$; $R^2=0,20-0,24$), а на одиницю секвестрованого $C-CO_2$ припадає 0,018 т/га к. од. та зростання енергозапасу к. од. на 0,11 ГДж/га.

Середній вихід кормових одиниць в 5-пільних сівозмінах становив 8,24 т/га, за медіанним значенням — 8,07 т/га, що на 0,17 т/га менше. Амплітудний розмах був 4,5 т/га, нормований — 1,42 т/га за 50%-им рівнем ймовірності та 2,72 т/га за 10%-им рівнем значущості за коефіцієнта варіації 14,1% (табл. 3).

У 3–4-пільних сівозмінах середній вміст гумусу був істотно нижчим (–0,14%) порівняно з 5-пільними сівозмінами, що вплинуло на його запаси в шарах чорнозему 0–20 і 0–30 см. Секвестраційна здатність за накопиченим $C-CO_2$ в шарах 0–20 і 0–30 см також була меншою на 4,4 і 10 т/га, що вплинуло на запас енергії в гумусі, який також був меншим, ніж за 5-пільних сівозмін. Нормований розмах умісту та запасу гумусу в шарах ґрунту 0–20 і 0–30 см за 50%-ою

3. Типізація агроекономічних показників залежно від типу і ротаційності сівозмін в умовах
Лівобережного Лісостепу України

Параметр	Статистичні нормовані показники								*Coef. Var, %
	Mean	Med	Min	Max	L _{0,1}	L _{0,25}	L _{0,75}	L _{0,95}	
			Амплітудний розмах: ($\Delta_a = \max - \min$)		Нормований розмах: $\Delta_{50\%} = L_{0,75} - L_{0,25}$ $\Delta_{10\%} = L_{0,95} - L_{0,1}$				
<i>5-пільні сівозміни</i>									
Вихід к. од., т/га	8,24	8,07	6,45	10,9	6,92	7,49	8,91	9,64	14,1
Енергія, к. од., ГДж/га	49,0	48,0	38,0	65,0	41,0	44,0	55,0	57,0	14,6
Технологічні витрати, ГДж/га	157,9	190,0	57,6	218,0	60,0	83,1	207,0	217,0	40,3
Кен/еф (0–20)	2,07	1,44	1,01	4,11	1,05	1,28	3,31	4,00	55,8
Кен/еф (0–30)	2,83	1,91	1,41	5,71	1,45	1,76	4,48	5,58	56,8
Собівартість к. од., тис. грн	2,00	1,95	1,51	2,48	1,65	1,83	2,21	2,33	13,0
Рентабельність, %	177,2	179,0	88,3	214,0	146,0	160,0	193,0	213,0	17,0
Прибуток, тис. грн	29,49	30,8	18,7	34,8	21,3	27,50	33,2	34,7	16,6
<i>3–4-пільні сівозміни</i>									
Вихід к. од., т/га	8,49	7,49	6,92	10,90	6,92	7,49	9,64	10,9	20,1
Енергія, к. од., ГДж/га	50,2	44,0	41,0	65,0	41,0	44,0	57,0	65,0	20,6
Технологічні витрати, ГДж/га	67,3	61,0	57,6	83,1	57,6	60,0	75,0	83,1	16,5
Кен/еф (0–20)	3,75	3,86	3,31	4,11	3,31	3,49	4,00	4,11	9,09
Кен/еф (0–30)	5,18	5,39	4,48	5,71	4,48	4,76	5,58	5,71	10,3
Собівартість к. од., тис. грн	2,02	1,96	1,51	2,48	1,51	1,82	2,31	2,48	19,2
Рентабельність, %	162,9	179,0	88,3	212,0	88,3	146,0	189,0	212,0	29,5
Прибуток, тис. грн	28,3	30,8	21,3	34,8	21,3	21,3	33,2	34,8	23,1

*Coef. Var, % — коефіцієнт варіації параметра.

значущістю в 3–4-пільних сівозмінах був лише звуженим, як і всі показники гумусного стану: секвестраційна здатність за C–CO₂ та запас енергії в гумусі, що властиво й нормованому розмаху за 10%-им рівнем значущості. Установлено, що в сівозмінах із 3–4-пільною ротацією коефіцієнт варіації вмісту і запасу гумусу в 1,76–2,3 раза менший, ніж у 5-пільних сівозмінах. Коефіцієнт варіації секвестраційної здатності змінюється за встановленою закономірністю. Запас енергії гумусу в шарах ґрунту мав коефіцієнти варіації вдвоє менші порівняно з 5-пільними сівозмінами.

Енергоємність кормових одиниць у середньому становила 49 ГДж/га, за медіаною — 48 ГДж/га, амплітудний розмах —

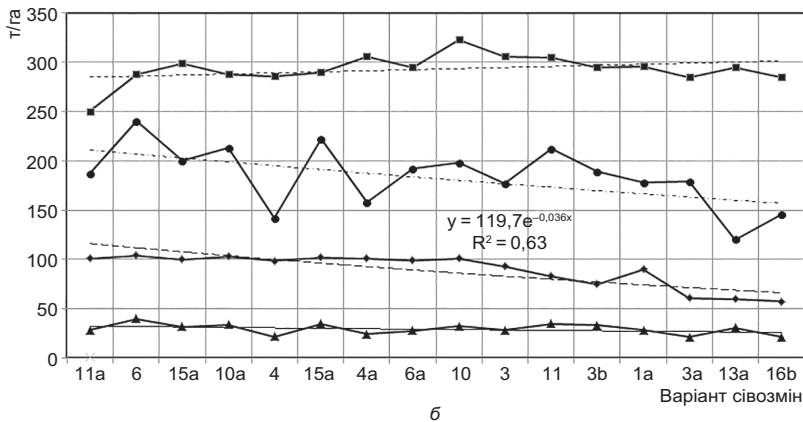
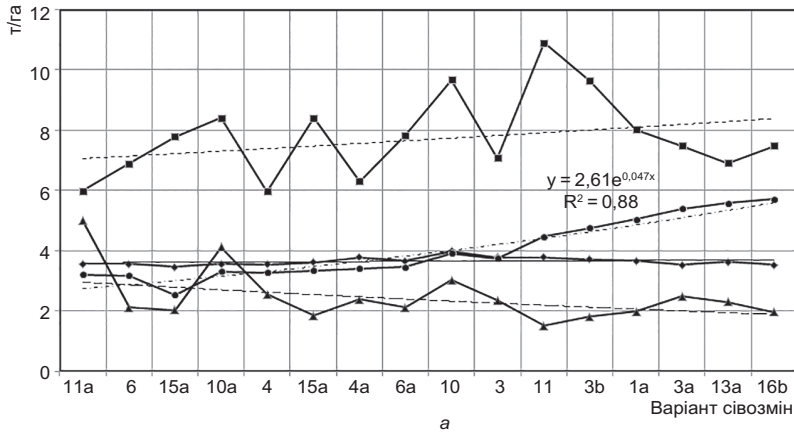
27 ГДж/га, нормований (за 50%-им рівнем значущості) — 11 ГДж/га, за 10%-им рівнем значущості — 16 ГДж/га за коефіцієнта варіації 14,6%. Середній рівень технологічних витрат (Тв) був 158 ГДж/га, за медіанного значення — 190 ГДж/га. Амплітудний розмах Тв становив 160 ГДж/га, нормований (50%) — 124 ГДж/га та 157 ГДж/га (10%) за коефіцієнта варіації 40,3%. Собівартість к. од. у середньому по 5-пільних сівозмінах становила 2 тис. грн, за медіаною — 1,92 тис. грн, амплітудний розмах собівартості — 0,97 тис. грн, нормований — 0,38 тис. грн (50%) та 0,68 тис. грн (10%) за коефіцієнта варіації >10%. Середня рентабельність становила 177,2% за медіанного значення 179%, амплітудний розмах

рентабельності — 126%, нормований розмах — 33 (50%) і 67% (10%) за коефіцієнта варіації 17% (див. табл. 3).

Прибуток у середньому становив 29,5 тис. грн за медіанного значення 30,8 тис. грн та амплітудного розмаху 16,1 тис. грн, нормованого — 5,7 тис. грн (50%) та 13,4 тис. грн (10%) за коефіцієнта варіації 16,6%. У 5-пільних сівозмінах коефіцієнт енергетичної ефективності (Кен/еф) за середнім значенням був на рівні Кен/еф=2,07–2,83, за медіанного значення Кен/еф=1,44–1,91. Амплітудний розмах становив $\Delta_k=3,10-4,30$, нормований $\Delta_{т(50\%)}=2,03-2,72$ (0–20 см) та

$\Delta_{н(10\%)}=2,95-4,13$ за коефіцієнта варіації 55,8–56,8%.

За 3–4-пільних сівозмін вихід к. од. мав тенденцію до зростання порівняно з 5-пільними сівозмінами, хоча в к. од. накопичувалася однакова кількість енергії — 49–50 ГДж/га. Технологічні витрати на вирощування культур в 3–4-пільних сівозмінах скоротилися в 2,35 раза за зростання коефіцієнтів Кен/еф до рівня Кен/еф=3,75–5,18, що значно вище, ніж за 5-пільних сівозмін. При цьому собівартість, рентабельність вирощування продукції та чистий прибуток залишалися на однаковому рівні.



Ранжування 3–5-пільних сівозмін за секвестраційною здатністю а та агроенергетичною ефективністю б: а: —●— гумус, % (0–30 см); —○— Кен/еф (0–30); ---- експоненціальна (вихід к. од., т/га) (0–30 см); —■— експоненціальна (гумус, %) (0–30 см); —▲— вихід, к. од., т/га; —◇— собівартість, к. од., тис. грн; ---- експоненціальна (Кен/еф, 0–30) ---- експоненціальна (собівартість к. од., тис. грн); б: —■— CO_2-C_{opr} (0–30); —○— рентабельність, %; ---- експоненціальна (CO_2-C_{opr} (0–30)); ---- експоненціальна (рентабельність, %); —◇— технологічні витрати, ГДж/га; —▲— прибуток, тис. грн; ---- експоненціальна (технологічні витрати, ГДж/га); —■— експоненціальна (прибуток, тис. грн)

Коефіцієнти варіації виходу к. од. за 3–4-пільних сівозмін були вищими в 1,4 раза, а варіації технологічних витрат — меншими в 2,44 раза. Коефіцієнти енергетичної ефективності мали варіацію в 5,5–6,2 раза меншу, а такі показники економічної ефективності, як собівартість, рентабельність і прибуток мали стійку тенденцію до зростання варіабельності в 1,36–1,73 раза, що пов'язано зі звуженням нормованого розмаху за 50- і 10%-им рівнями значущості та амплітудним розмахом показників економічної ефективності.

Розрахунок парних коефіцієнтів кореляції між параметрами гумусного стану і складовими енергетичної й агрономічної ефективності за сівозмін різної ротації показав, що за 5-пільних сівозмін була обмежена кількість достовірних кореляційних зв'язків — 10% від загальної кількості в матричному полі, за 3–4-пільних таких зв'язків було 96%, що у 9,7 раза більше. Причому зв'язків оберненої дії було 12%, прямої — 20%, що свідчить про високий рівень збалансованості порівняно з 5-пільними сівозмінами.

Ранжування сівозмін за коефіцієнтом енергетичної ефективності дає змогу провести аналіз їхньої ефективності. Так, вдалося згрупувати 5-пільні сівозміни (варіант 11а до 11) та 3–4-пільні сівозміни (варіант 3в до 16в). У загальному ряду тренд продуктивності був зростаючим в інтервалі 5-пільних сівозмін, в інтервалі 3–4-пільних сівозмін продуктивність за виходом к. од. знижувалася, але за зростаючої енергетичної ефективності сівозмін, яка була максимальною за 3–4-пільних сівозмін: $Ken/ef > 4,0$, за 5-пільних сівозмін $Ken/ef \leq 4,0$. За спадним трендом змінювалася собівартість к. од. за 3–4-пільних сівозмін і становила майже 2 тис. грн за 1 т (рисунок).

Технологічні затрати були в оберненій залежності до Ken/ef ($R = -0,83$). При цьому секвестраційна здатність за станом $C-CO_2$ в загальному ряду була зростаючою, але за умов 3–4-пільних сівозмін вона набула спадного характеру і знижувалася при 300 т/га $C-CO_2$ в гумусі.

При цьому рентабельність виходу к. од. у загальному ряду мала спадний тренд, найбільш інтенсивним він був за 3–4-пільних сівозмін: від 180 до 150%, що впливало

4. Факторне навантаження та прив'язка параметрів гумусного стану чорнозему та агроенергетичної ефективності сівозмін для умов Лівобережного Лісостепу України

Параметр	5-пільні			3-пільні	
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₁	F ₂
Гумус, % (0–20 см)	0,91	0,13	-0,09	-0,97	-0,11
Гумус, % (0–30 см)	0,96	-0,02	0,20	-0,96	-0,17
Гумус, т/га (0–20 см)	0,92	0,14	-0,10	-0,96	-0,16
Гумус, т/га (0–30 см)	0,96	-0,05	0,21	-0,97	-0,11
CO ₂ -C _{орг} (0–20 см)	0,89	0,17	0,22	-0,96	-0,16
CO ₂ -C _{орг} (0–30 см)	0,24	-0,40	-0,25	-0,90	-0,31
Ерег, ГДж (0–20 см)	0,41	-0,06	-0,82	-0,96	-0,17
Ерег, ГДж (0–30 см)	0,94	-0,14	0,23	-0,94	-0,24
Вихід к.од., т/га	0,37	-0,83	-0,02	-0,92	0,31
Енергія, к. од., ГДж/га	0,37	-0,83	-0,02	-0,93	0,29
Технологічні витрати, ГДж/га	-0,17	-0,59	-0,08	-0,96	0,17
Ken/ef (0–20)	0,51	-0,06	-0,77	0,93	-0,23
Ken/ef (0–30)	0,83	0,15	0,25	0,93	-0,23
Собівартість к. од., тис. грн	0,09	0,30	0,55	0,80	-0,15
Рентабельність, %	-0,23	-0,84	0,28	-0,59	0,75
Прибуток, тис. грн	-0,15	-0,84	0,25	-0,87	-0,41
Expl. Var	6,75	3,51	2,05	13,39	1,37
Prp. Totl	0,42	0,22	0,13	0,84	0,09

на отримання чистого прибутку, який за 3–4-пільних сівозмін знижувався на 25 тис. грн з 1 га.

Автори [15, 16] зазначали, що прямий функціональний зв'язок, виявлений між факторним навантаженням та F_1-F_2 , не забезпечує високого рівня саморегуляції гумусного стану. Обернено функціональні зв'язки, виявлені між факторними навантаженнями та F_1-F_2 , забезпечують високий рівень саморегуляції гумусного стану, який сприяє зростанню запасу органічної речовини, секвестрації оксиду карбону та енергії гумусу чорнозему.

Факторне навантаження економічних показників (рентабельність і прибуток) за 5-пільних сівозмін мало прив'язку по F_2 і було на рівні оберненої сильної кореляції

($R > -0,70$), тоді як факторне навантаження за виходом к. од. та їхньою енергоємністю по F_2 було на рівні $R > -0,80$. Факторне навантаження гумусного стану з фактором F_1 було на рівні сильної оберненої кореляції ($R = -0,81 - 0,97 \pm 0,02$, $R^2 = 0,65 - 0,95$) за загальної дисперсії ($F_1 + F_2$) 56 % (табл. 4).

У 3–4-пільних сівозмінах факторне навантаження показників гумусного стану та економічної ефективності мало прив'язку по головному фактору F_1 за оберненою сильною кореляцією ($R = -0,93 - 0,97$), тоді як Кеф та собівартість мали прив'язку за коефіцієнтом кореляції за прямим кореляційним зв'язком ($R = 0,83 - 0,93$) із загальним рівнем дисперсності 84 проти 42% за 5-пільних сівозмін, що вдвічі більше.

Висновки

Між накопиченням енергії в гумусі та кормових одиницях і виходом кормових одиниць у сівозмінах зв'язок був на рівні $R = +0,45 - 0,48 \pm 0,02$, а на одиницю зростання енергії в гумусі припадає 0,017 т/га к. од. та 0,11 ГДж/га. За сівозмін із довгою ротацією між умістом гумусу та виходом к. од. виявлено прямий кореляційний зв'язок $R = +0,45 - 0,50 \pm 0,02$; $R^2 = 0,21 - 0,25$, а між умістом гумусу та енергоємністю к. од. зв'язок був прямим на рівні $R = +0,50 - 0,51 \pm 0,01$; $R^2 = 0,25 - 0,27$, на одиницю зростання умісту гумусу припадає 0,5 ГДж/га, що в 1,97 і 1,93 рази менше порівняно із сівозмінами короткої ротації.

Між секвестрованим $C-CO_2$ в гумус та виходом к. од. встановлено прямий кореляційний зв'язок $R = 0,51 - 0,52 \pm 0,02$; $R^2 = 0,27 - 0,28$, а на одиницю залученого

$C-CO_2$ у гумус припадає 0,017 т/га к. од. Аналогічно між $C-CO_2$ у гумусі та енергоємністю к. од. зв'язок був на рівні $R = +0,53 - 0,54 \pm 0,02$; $R^2 = 0,28 - 0,29$, а на одиницю залученого $C-CO_2$ у гумус припадає 0,098 ГДж/га енергії в к. од. Короткоротаційні сівозміни мали вищу секвестраційну здатність і продуктивність.

Отже, застосування 3–4-пільних сівозмін призводить до зниження їхньої секвестраційної здатності, виходу кормових одиниць, недоотримання чистого прибутку, але при цьому зростає їхня енергетична ефективність, знижуються технологічні затрати на вирощування складових культур сівозміни із забезпеченням стабільності продуктивності в часі порівняно з 5-пільними сівозмінами.

Demydenko O.

Cherkasy state agricultural research station of NSC «Institute of Agriculture of NAAS», 13 Dokuchayeva Str., vil. Kholodnianske, Smily district, Cherkasy oblast, 20731, Ukraine; e-mail: agrogumys@ukr.net

Comparative efficiency of short crop rotations by sequestration capacity and agro-energy productivity

Goal. To compare the effectiveness of 5-, 3-, and 4-field crop rotations in terms of their ability to reproduce the fertility parameters of typical chernozem and to form a high level of productivity and

agroecological and energy efficiency for the conditions of the Left-Bank Forest Steppe of Ukraine.

Methods. Field, agrochemical (to sample and determine the total humus in the soil layer of 0–30 cm), statistical calculation (to justify the reliability of the results and develop statistical models of correlations), agro-economic and energy (to determine the economic and energy indicators of different crop rotations). The research was carried out on the Drabiv experimental field in a stationary experiment, which was established in 1967 and included 29 different crop rotations. **Results.** Between the accumulation of energy in humus and fodder units, and the output

of fodder units in crop rotations, the correlation was at the level of $R=+0.45...0.48\pm 0.02$, and per unit of growth of energy in humus accounted for 0.017 t/ha of f.u. and 0.11 GJ/ha. For a long-term crop rotation, between the content of humus and the output of f.u. a direct correlation $R=+0.45...0.50\pm 0.02$ was fixed, $R^2=0.21-0.25$; and between the content of humus and the energy intensity, the correlation was direct at the level of $R=+0.50...0.51\pm 0.01$, $R^2=0.25-0.27$; per unit increase of humus content was 0.5 GJ/ha, which was 1.97 and 1.93 times less compared to short-term crop rotations. Between the sequestered in the humus C-CO₂ and the output of f.u. a direct correlation $R=0.51...0.52\pm 0.02$ was fixed, $R^2=0.27-0.28$, and per unit value involved in humus C-CO₂ accounted for 0.017 t/ha of f.u. Similarly, between C-CO₂ in humus and the

energy intensity of f.u. the correlation was at the level of $R=+0.53...0.54\pm 0.02$, $R^2=0.28-0.29$; and per unit value involved in humus C-CO₂ accounted for 0.098 GJ/ha of energy in f.u. Short-term crop rotations had higher sequestration capacity and productivity. **Conclusions.** The use of 3-, and 4-field crop rotations leads to a decrease in their sequestration capacity, the output of fodder units, as well as a lack of net profit. But at the same time, their energy efficiency increases, and the technological costs for growing the component crops of crop rotations decrease with the provision of stable productivity over time compared to 5-field crop rotations.

Key words: total humus, organic carbon, sequestration, energy efficiency.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-02>

Бібліографія

1. Тараріко О.Г. Формування збалансованих систем землекористування та охорони ґрунтів у контексті глобальних змін клімату. *Шляхи підвищення ефективності використання землі в сучасних умовах*; за ред. В.Ф. Камінського. Київ: ВП «Едельвейс». 2016. С. 24–34.

2. Коваленко Н.П. Становлення та розвиток науково-організаційних основ застосування вітчизняних сівозмін у системах землеробства (друга половина XIX — початок XXI ст.): монографія. Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 490 с.

3. Усенко В.И., Усенко С.В., Литвинцева Т.А. Содержание гумуса в выщелоченном черноземе в зависимости от севооборота, системы обработки почвы и удобрений в лесостепи юга Западной Сибири. *Земледелие*. 2020. № 6. С. 18–21. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10604

4. Bulgakov V., Hamzalo I., Adamchuk V. et al. Dynamics of The Humus Content Under Different Chernozem Treatment Conditions. *J. of Ecological Engineering*. 2022. № 23(6). P. 118–128. doi: 10.12911/22998993/147862

5. Балаєв А.Д., Тонха О.Л., Піковська О.В. та ін. Гумусованість і фізико-хімічні властивості чорноземів Лісостепу за мінімалізації обробітків і біологізації системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 11(812). С. 24–31. doi: 1110.31073/agrovisnyk2020-03

6. Бойко П.І., Коваленко Н.П., Блащук М.І., Демиденко О.В. Залежність зміни вмісту гумусу у чорноземі Лівобережного Лісостепу України від застосування сівозмін, удобрення та обробітку ґрунту. *Young Scientist*. 2018. № 5 (57). С. 1–3.

7. Бойко П.І., Коваленко Н.П. Методика сучасних і перспективних досліджень у землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 2. С. 11–17.

8. Сайко В.Ф., Бойко П.І. Сівозміни у землеробстві України; за ред. В.Ф. Сайка, П.І. Бойка. Київ: Аграрна наука, 2002. 148 с.

9. Булигін С.Ю., Дегтярьов В.В., Крохін С.В. Гумусний стан чорноземів України. *Вісник аграрної науки*. 2007. № 2. С. 13–16.

10. Демиденко О.В., Шаповал І.С., Бойко П.І., Литвінов Д.В. Структура сівозмін і родючість чорноземів зони Лісостепу. *Землеробство*. Київ, 2016. Вип. 2(91). С. 12–17.

11. Boyko P., Litvinov D., Demidenko O. et al. Prediction humus level of black soils of forest-steppe Ukraine depending on the application of crop rotation, fertilization and tillage international. *International J. of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2019. V. 9. P. 155–162.

12. Громовик А.И. Многолетняя динамика содержания гумуса в черноземе выщелоченном в условиях длительного применения удобрений. *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: химия, биология, фармация. 2012. № 1. С. 71–76.

13. Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Myakshina T.N. Change in pedogenic carbon stocks under different types and duration of agricultural management practices in the central Russian forest steppe. In: M. Oelbermann, ed., *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. 2014. Wageningen Academic Publishers. 33–52. doi: 10.3920/978-90-8686-788-2_2

14. Демиденко О.В., Шаповал І.С., Бойко П.І., Литвінов Д.В. Кругообіг органічного вуглецю в агроценозах різноротаційних сівозмін. Зб. наук. праць ННЦ «ІЗ». Київ: ВП «Едельвейс», 2017. Вип. 2. 200 с.

15. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. Москва: Мир, 1979. 512 с.

16. Пляцук Л.Д., Черныш Е. Ю. Синергетика: нелинейные процессы в экологии: монография. Сумы: Сумской государственной университет, 2016. 229 с.