УДК 631.417.2: 631.582.5

© 2019

DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo201987-14

О. Л. Кірілеско, доктор сільськогосподарських наук

Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ У КОРОТКОРОТАЦІЙНІ СІВОЗМІНІ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОМУ УКРАЇНИ

Представлено результати енергетичної оцінки ланки сівозміни в Лісостепу західному України, баланс гумусу в ґрунті, кругообіг азоту і рослинних решток. Встановлено, що ефективними у плані накопичення енергії є усі запропоновані системи удобрення. Доведено, що застосування мінеральних добрив у поєднанні з органічними збільшує показники К_е у 1,2 рази.

Ключові слова: *гумус, енергетична оцінка, енергетична ефективність, ланка сівозміни, система удобрення.*

Унікальність ґрунтів полягає в тому, що вони є надійним, екологічно безпечним джерелом поновлювальної енергії, яка в процесі сільськогосподарського виробництва зв'язується рослинами завдяки фотосинтезу. За раціонального використання земельних ресурсів значною мірою можна компенсувати дефіцит енергетичного балансу держави. Однак, нині, внаслідок інтенсивного використання родючості ґрунтів, а саме – неконтрольованого зменшення вмісту органічної речовини і біогенних елементів, землі сільськогосподарського призначення виснажуються, що супроводжується зниженням їхньої продуктивності та енергетичного потенціалу агроєкосистем.

Досліджуючи ґрунтово-екологічні умови росту рослин встановлюють запаси доступної енергії гумусного шару, виражені через енергетично-еквівалентну врожайність сільськогосподарських культур [4]. Наприклад, у західному Лісостепу на чорноземі опідзоленому (Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН) установлено, що на контролі вихід валової енергії з урожаєм основної та побічної продукції культур зерно-просапної сівозміни без трав сягає 183 ГДж/га (2 ГДж = 1 ц к. од.).

Зважаючи на те, що органічне сільське господарство (без застосування мінеральних добрив) є основою довгострокового і екологічно-стійкого сучасного землекористування у світі, ця проблема нині є надзвичайно актуальною [5]. Для порівняння, витрати антропогенних ресурсів у енергетичному еквіваленті за таких агротехнологій щороку становлять лише 10—12 ГДж/га (технічні засоби – 25 %, енергоносії – 35, насіння й пестициди —

40 %), а окупність 1 ГДж урожаєм сягає 8—9 ГДж/га (Кее). Однак при цьому відбуваються значні втрати ґрунтової енергії, зосередженої в органічній речовині та запасах елементів живлення – до 30 ГДж/га на рік [1]. Відповідно до закону збереження енергії без зворотне використання енергетичного потенціалу ґрунтів супроводжується їхньою енергетичною деградацією і зниженням продуктивності.

Ґрунти, на яких вирощується рослинницька продукція, забруднюються радіонуклідами, важкими металами, пестицидами, хімічними речовинами і, як наслідок, вирощена на забруднених ґрунтах продукція спричиняє у людей цілий ряд різноманітних захворювань.

Однією з умов вирішення таких проблем є перехід до передових, еколого-, ресурсо- та природозберігаючих технологій, що дасть змогу сформувати якісно новий, екологобезпечний матеріально-технічний базис, що гарантуватиме високий рівень ресурсо-екологічної безпеки країни.

Особливої актуальності при цьому набуває проблема еколого-безпечного використання земель, оскільки їх нераціональне використання в Україні в цілому і, зокрема, в Лісостепу західному призвело до зниження родючості ґрунтів, поширення ерозійних процесів, збільшення площ забруднених і деградованих земель та, як наслідок, зменшення виходу і погіршення якості сільськогосподарської продукції. Тому виникає потреба у розробці, обґрунтуванні та впровадженні заходів щодо забезпечення ефективного й екологічно безпечного їх використання.

Світовий досвід, що існує в розвинених аграрних країнах, засвідчує, що вирішення можливе шляхом впровадження біологічного землеробства, яке базується на дотриманні природних біологічних законів, вироблених природою. У ньому значно зменшуються або повністю виключаються прийоми хімізації землеробства і в той же час дотримуються землеробські закони мінімуму і повернення для досягнення закону оптимуму, при якому рослини найбільшою мірою забезпечуються умовам життя і розвитку.

Матеріал і методика досліджень. Досліджено чорнозем опідзолений середньо-суглинковий, який в орному шарі 0—30 см містить легкогідролізованого азоту 13—14 мг, рухомих форм фосфору – 9—10 мг, обмінного калію – 16—18 мг/100 г ґрунту, рН сольової витяжки – 6,5.

Схемою досліджу передбачалось вивчення шести різних варіантів системи удобрень (табл. 1) у сівозміні з таким чергуванням культур: соя – ярий ячмінь – кукурудза на зерно – кукурудза на силос – ярий ячмінь.

Сільськогосподарські культури вирощували за загальноприйнятою агротехнікою. Гній і мінеральні добрива вносили восени під оранку, згідно зі схемою досліджу. Солому заорювали після збирання попередника з розрахунку 5 т/га з компенсацією азоту 10 кг д. р. на кожну тонну.

Як сидерат використовували зелену масу гірчиці білої (висівали на початку серпня), врожайність якої становила 25 т/га. Енергетичну ефективність визначали за методикою біоенергетичної оцінки [3].

Результати досліджень. Аналіз показує, що більше азоту виноситься з ґрунту господарською частиною врожаю високопродуктивних культур – соєю і кукурудзою.

1. Схема удобрення і розміщення культур сівозміни

Варіанти удобрення	Поля сівозміни					співвідношення мінеральних добрив до органічних
	соя	ярий ячмінь	кукурудза на зерно	кукурудза на силос	ярий ячмінь	
Без добрив	—	—	—	—	—	—
Органо-мінеральна система	P ₄₅ K ₄₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	гній 30 т/га, N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	гній 30 т/га, N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1 : 19,5
Органічна система	—	—	—	гній 60 т/га	—	—
Органо-мінерально-сидеральна система	—	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , сидерат, солома	гній 30 т/га, сидерат, солома	гній 30 т/га, N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1 : 12
Органо-мінерально-сидеральна система альтернативна	—	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , сидерат, солома	гній 30 т/га, N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅ , солома	гній 30 т/га, N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ сидерат, солома	1 : 10,2
Інтенсивна органо-мінеральна система	N ₃₀ P ₄₅ K ₄₅	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	гній 30 т/га, N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	гній 30 т/га, N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1 : 20

У зерно просапній сівозміні винос азоту соєю склав у середньому за 3 роки 269,3—421,6 кг/га, кукурудзою на зерно – 239,7—340,2 кг/га. Оскільки у сої 75 % цієї кількості надійшло у результаті азотфіксації з повітря, то винос його тільки з ґрунту склав 52,0—82,0 кг/га, або порівняно з кукурудзою в 3,0—3,5 рази менше.

Відповідно до цього на полі вирощування сої мінералізація ґрунтового гумусу в три рази менша, ніж у полі обробітку кукурудзи (табл. 2). Залежно від виду культури та рівня її врожайності змінювалася і кількість повернених в ґрунт рослинних залишків як матеріалу, з якого надалі утворюється гумус.

Максимальна кількість біомаси, що надходить у ґрунт у вигляді кореневих і після збиральних залишків, спостерігається після збору врожаю кукурудзи на зерно при високій її врожайності, а мінімальне – після вирощування кукурудзи на силос.

У результаті процесу розкладання-синтезу органічних залишків у ґрунті накопичується гумус, кількість якого тим більша, чим більше в ґрунт надійшло біомаси рослин.

**2. Баланс гумусу в ланках коротко ротаційних сівозмін (соя – ярий ячмінь – кукурудза на зерно – кукурудза на силос – ярий ячмінь),
(у середньому за 2014—2016 рр.)**

№п/п	Біологічний урожай, т/га	Загальний винос азоту, кг/га	Мінералізовано гумусу, ц/га	Відновлено гумусу, ц/га	Баланс гумусу, ц, ±
Без добрив					
1	6,58	269,3	8,32	5,40	-2,92
2	5,55	82,4	7,37	7,79	+0,42
3	19,17	239,7	28,20	15,34	-12,86
4	32,50	107,9	17,26	13,12	-4,14
5	6,93	102,8	9,24	8,06	-1,18
середнє	14,15	160,4	14,08	9,94	-4,14
Органо-мінеральна система					
1	9,60	393,4	12,16	10,88	-1,28
2	11,85	175,9	15,81	15,00	-0,81
3	27,20	340,2	40,10	29,86	-10,24
4	63,10	209,5	33,52	11,32	-22,20
5	12,00	215,8	16,00	15,30	-0,70
середнє	24,8	267,0	23,52	16,47	-7,05
Органічна система					
1	9,15	375,4	11,68	12,25	+0,57
2	9,88	146,6	13,18	13,43	+0,25
3	20,13	251,3	29,60	19,06	-10,54
4	62,50	207,5	33,20	13,13	-20,07
5	10,50	155,9	14,02	13,93	-0,09
середнє	22,43	227,3	20,34	14,36	-5,98
Органо-мінерально-сидеральна система					
1	9,75	399,8	12,48	9,75	-2,73
2	11,52	176,2	21,14	29,02	+7,88
3	26,15	326,8	52,22	67,65	+15,43
4	61,10	202,5	32,40	17,40	-15,00
5	11,55	171,4	15,41	9,42	-5,92
середнє	24,0	25,53	26,73	26,65	-0,34
Органо-мінерально-сидеральна система (альтернативна)					
1	9,83	402,5	12,48	9,75	-2,73
2	11,48	170,3	20,43	35,18	+14,75
3	25,80	322,5	51,60	66,84	+15,24
4	53,70	178,5	28,53	16,30	-12,23
5	11,33	168,1	15,11	32,52	+12,32
середнє	9,83	24,84	25,63		+5,47
Інтенсивна органо-мінеральна система					
1	10,28	421,6	13,12	10,17	-2,95
2	11,83	175,5	15,78	11,98	-3,80
3	26,18	327,2	38,52	28,44	-10,08
4	64,50	214,1	34,26	17,92	-16,24
5	12,17	180,7	16,25	12,27	-3,98
середнє	24,99	26,38	23,59	16,16	-7,43

Примітка: 1. Соя; 2. ярий ячмінь; 3. кукурудза на зерно; 4. кукурудза на силос; 5. ярий ячмінь.

Відмічена висока ефективність усіх систем удобрення (табл. 3). Найбільшу ефективність в усіх випадках проявив варіант інтенсивної органо-мінеральної системи, продуктивність кормових одиниць склав 8,91 т/га, а перетравного протеїну – 7,29 т/га.

3. Продуктивність зерна або зеленої маси культур сівозміни, т/га (у середньому за 2014—2016 рр.)

№ п/п	Варіанти удобрення	Поля сівозміни				
		соя	ярий ячмінь	кукурудза на зерно	кукурудза на силос	ярий ячмінь
1	Без добрив	2,63	2,22	7,67	32,5	2,77
2	Органо-мінеральна система	3,84	4,74	10,54	63,1	4,80
3	Органічна система	3,66	3,95	8,03	62,5	4,20
4	Органо-мінерально- сидеральна система	3,90	4,61	10,45	61,0	4,62
5	Органо-мінерально- сидеральна система альтернативна	3,93	4,59	10,32	53,7	4,53
6	Інтенсивна органо- мінеральна система	4,11	4,73	10,57	64,5	4,87

Приріст урожайності в ньому становив близько 10—17 %. Серед агротехнічних заходів застосування добрив займає одне з основних місць у структурі витрат. Так, наприклад, за вирощування зернових культур витрати на паливо для тракторів становлять 18,5 %, у той час як на мінеральні добрива – 55,6 %, тобто більше половини [2, 3, 8]. Найвищий урожай зерна та кормових одиниць забезпечили варіанти з вирощуванням кукурудзи, а перетравного протеїну – соя (табл. 3, 4). На вирощування сільськогосподарських культур щорічно використовується велика кількість матеріально-технічних і трудових ресурсів, а отже, й антропогенної енергії. Отримання вищих та сталіших врожаїв рослинництва вимагає збільшення витрат енергії [2, 3].

В умовах зростаючого дефіциту невідновлюваних енергетичних ресурсів необхідна розробка таких агротехнологій, які б забезпечували максимальне використання агроценозом фотосинтетично активної радіації і, відповідно, зменшення енергоємності продукції.

Систематичний аналіз витраченої і накопиченої енергії дає змогу оцінити всі сільськогосподарські процеси з енергетичної точки зору і визначити ефективність технологій вирощування культур [1]. Виходячи з цього, ефективність аграрного виробництва необхідно оцінювати не лише за кількісними показниками врожайності сільськогосподарських культур, а й енергетичними витратами на їх отримання [2].

У багатьох досліджах експериментально доведено, що на інтенсивність гумусоутворення великий вплив має співвідношення між органічними та мінеральними добривами. Збільшення цього співвідношення ширше як 1 : 15 тонн органічних добрив на кілограм діючої речовини мінеральних добрив призводить до затухання ґрунтотворного процесу, уповільнення гуміфікації і, після співвідношення 1 : 20 т/кг, навіть до дегуміфікації ґрунтів.

4. Продуктивність культур сівозміни, т/га (у середньому за 2014—2016 рр.)

№ п/п	Варіанти удобрення	Поля сівозміни									
		соя		ярий ячмінь		кукурудза на зерно		кукурудза на силос		ярий ячмінь	
		кормові одиниці	перетравний протеїн	кормові одиниці	перетравний протеїн	кормові одиниці	перетравний протеїн	кормові одиниці	перетравний протеїн	кормові одиниці	перетравний протеїн
1	Без добрив	3,53	8,71	2,60	1,65	8,59	4,53	8,77	3,80	3,24	2,05
2	Органо-мінеральна система	5,15	12,71	5,55	3,51	12,19	6,42	15,78	7,38	5,62	3,55
3	Органічна система	4,91	12,12	4,62	2,93	9,0	4,74	15,62	7,31	4,92	3,11
4	Органо-мінерально-сидеральна система	5,23	12,91	5,40	3,41	11,71	6,17	15,25	7,14	5,41	3,42
5	Органо-мінерально-сидеральна система альтернативна	5,27	13,01	5,37	3,40	11,56	6,09	13,43	6,28	5,30	3,35
6	Інтенсивна органо-мінеральна система	5,51	13,61	5,54	5,50	11,73	6,18	16,13	7,55	5,70	3,60

Причина такого впливу полягає в тому, що майже всі мінеральні добрива є солями одновалентних катіонів (K^+ , NH^+ , Na^+), які диспергують гумус, приводять його в рухомість по профілю ґрунту і він прискорено розкладається мікробами. Внесення органічних добрив забезпечує утворення в ґрунті органічних колоїдів, які гасять валентність одновалентних катіонів і закріплюють їх у ґрунті. Особливо вузьке співвідношення у США (1 : 8) і Китаї (1 : 5). У наших дослідженнях у сівозмінах цей показник складає 1 : 10,2—1 : 20 (табл. 1).

Заорана зелена маса рослин є не тільки джерелом поживних речовин, а й поповнення запасів гумусу в ґрунті, який утворюється в результаті процесів мінералізації-гуміфікації сидеральної маси. Для кількісного визначення накопичення гумусу в ґрунті при заорюванні на добриво зеленої маси рослин треба враховувати характер і особливості використання з цієї маси азоту вирощуваної культурою сівозміни та закріплення його в ґрунті у вигляді гумінових сполук.

Зелене добриво надає майже такий же вплив на величину врожайності, як і гній. Це може бути пояснено тим, що при розкладенні багатою азотом свіжої маси молодих рослин, активізуються ґрунтово-біологічні процеси і гумус ґрунту піддається більш сильній його мінералізації з боку цих процесів. Виходячи з цих даних і розробок [1, 2, 7], ми розраховали

коефіцієнт гуміфікації сирової біомаси зеленого добрива, заорюваної наприкінці цвітіння, який дорівнює (виходячи зі змісту в сидерати сухої речовини і співвідношення C : N) 0,025, тобто з 100 ц сирової біомаси утворюється 2,5 ц гумусу. Зазначений коефіцієнт усереднений, так як його величина істотно змінюється в бік збільшення або зменшення в залежності від ступеня зрілості рослини (строку оранки) вмісту в біомасі сидерата сухої речовини і азоту, співвідношення вуглецю і азоту (C : N) і навіть глибини загортання зеленого добрива.

Сільське господарство України використовує все більше сировини та енергії, з кожним роком збільшуються його матеріальні й енергетичні ресурси. Витрати енергії на виробництво одиниці маси с.-г. продукції постійно зростають (упродовж XX століття – у 8—10 разів), оскільки створення додаткової одиниці врожаю забезпечується за рахунок вкладень енергії, носієм якої є не тільки органічні й мінеральні добрива, а й усі фактори родючості, які активно впливають на ріст і розвиток рослин. Не випадково, що за нинішнього рівня виробництва для підвищення врожайності, наприклад, зернових значно збільшуються енерговитрати на техніку, добрива, пестициди, меліорацію, набагато перевищуючи нормативи.

У зв'язку з цим виникла необхідність приступити до вивчення і запровадження в агропромисловому комплексі України енергетичного аналізу, який застосовують уже в сільському господарстві США та Європи.

Особливість розвитку землеробства на сучасному етапі свідчить про те, що збільшення врожайності в 2—3 рази супроводжується збільшенням витрат енергії на одиницю продукції в 10—50 разів [3, 6, 8]. Це дає підстави розглядати виробництво продуктів харчування як енергетичну проблему.

Динамічне зростання енергетичної ціни продуктів харчування з урахуванням невикористання значної частини енергоресурсів, екологічних обмежень ставлять раціональне використання енергії в ряд найважливіших завдань сучасного землеробства.

При цьому не слід розуміти цю проблему вузько, тільки з позиції економіки в сфері технічних витрат. В агропромисловому комплексі, де головним виробничим ресурсом є земля, удосконалення структури енерговитрат можна досягнути не тільки регулюванням застосування матеріально-технічних ресурсів, але й за рахунок раціональнішого використання потенціалу культурних рослин, кліматичних, мікрокліматичних, ґрунтових умов [2, 3].

Кожна технологія потребує різних витрат енергії. Для того, щоб оцінити доцільність застосування на практиці технологічного процесу чи його окремих елементів з енергетичної точки зору, необхідно здійснити кількісну оцінку їх біоенергетичної ефективності.

На виробництво продукції рослинництва витрачаються матеріальні, енергетичні і трудові ресурси. Для розрахунку сукупної енергії, витраченої на цей процес, використовуються енергетичні еквіваленти, які показують

витрати прямої і опосередкованої енергії на одиницю спожитих предметів і засобів праці, а також витрати енергії живої праці за одиницю часу.

Такий підхід дає змогу рекомендувати для практики найоптимальнішу з енергетичної точки зору технологію. Крім того, бажано проводити аналіз складових сукупної енергії, яка витрачається на виробництво певної рослинницької продукції за визначеною нами енергоекономічною технологією з метою пошуку додаткових резервів енергозбереження.

Практичний інтерес мають такі показники як накопичення енергії на 1 га сівозмінної площі, енергетична продуктивність сівозміни. Найбільш ефективний агроценоз у цьому плані забезпечує органічна система удобрення ланки сівозміни (табл. 5), де даний показник по основній продукції відповідно складає 9876 МДж/га залежно від культури, у той час як по інших сівозмінах він у середньому в 1,5—2,0 рази менший.

Подібна тенденція зберігається і за визначення цього показника з урахуванням побічної продукції. У цілому за сівозміну (табл. 5) найменша енергетична цінність врожаю й мінімальних витрат антропогенної енергії у варіанті без добрив (контроль) K_{ee} були найвищими – 7,4.

5. Вплив добрив на продуктивність та біоенергетичну ефективність у ланках короткоротаційних сівозмін (соя – ярий ячмінь – кукурудза на зерно – кукурудза на силос – ярий ячмінь) (у середньому за 2014—2016 рр.)

Варіанти удобрення	Продуктивність сівозмін, т/га				Затрати сукупної енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
	Сухой речовини	Кормових одиниць	перетравного протеїну	Обмінної енергії		
Без добрив	5,30	5,21	4,15	5,92	7,99	7,40
Органо-мінеральна система	7,05	8,78	6,71	9,93	18,2	5,46
Органічна система	7,09	7,80	6,04	8,69	9,88	8,80
Органо-мінерально-сидеральна система	6,84	8,59	6,61	9,64	18,2	5,30
Органо-мінерально-сидеральна система альтернативна	7,36	8,17	6,43	9,22	15,0	6,15
Інтенсивна органо-мінеральна система	8,06	8,94	7,29	9,99	15,8	6,30

Високий вихід енергії урожаю та значення K_{ee} (8,80) забезпечила органічна система удобрення, що свідчить про високу ефективність застосування цих добрив. Всі інші системи удобрення за енергетичною ефективністю були практично рівноцінними.

Висновки. Використання надлишків соломи на добриво в поєднанні з внесенням мінеральних добрив і зеленого добрива є істотним джерелом збільшення запасів гумусу в ґрунті.

За результатами досліджень енергетичної ефективності систем удобрення у короткоротаційній зерно-просапній сівоzmіні Лісостепу західного з чергуванням культур: 1. Соя; 2. ярий ячмінь; 3. кукурудза на зерно; 4. кукурудза на силос; 5. ярий ячмінь встановлено, що найвищу енергетичну ефективність за ротацію сівоzmіни забезпечило застосування органічної системи удобрення, а найвищу продуктивність – інтенсивна органо-мінеральна система.

Бібліографічний список

1. Лыков А. М. Органическое вещество и плодородие дерново-подзолистых почв в условиях интенсивного земледелия / А. М. Лыков. – Автореф. дис. д-ра. с.-х. наук. – М., 1976. – 60 с.
2. Лыков А. М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне / А. М. Лыков. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 142 с.
3. Методика біоенергетичної оцінки систем землеробства і агротехнологій – К. 2000. – 48 с.
4. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
5. Медведев В. В. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства / В. В. Медведев, М. В. Лісовий. – Харків: Штрих. 2001. – 100 с.
6. Смаглій О. Ф. Енергетична оцінка агроєкосистем: навчальний посібник / О. Ф. Смаглій, А. С. Малиновський, А. Т. Кардашов та ін. – Житомир: Волинь, 2004. – 132 с.
7. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И. В. Тюрин. – М.: Колос, 1965. – 320 с.
8. Энергетическая эффективность возделывания сельскохозяйственных культур: Методические рекомендации. – Волгоград, 1985. – 30 с.

*Надійшла до редколегії 16. 05. 2019 року
Рецензенти С. Ф. Антонів, кандидат сільськогосподарських наук*