

УДК 631.81.620.952

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-1.11>

## ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У ЗЕРНОВИХ ЛАНКАХ СІВОЗМІНИ

**Іваніна Р.В.** – аспірант,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук

*Мета* – вивчити енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур у зернових ланках сівозміни за застосування різних систем удобрення. *Методи*: польовий, аналітичний і статистичний. *Наведено дані досліджень* щодо впливу бобових культур, доз мінеральних добрив та фонів довготривалого удобрення сівозміни на енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур у зернових ланках сівозміни. *Установлено*, що бобові культури та мінеральні добрива істотно підвищили енергію врожаю на фоні помірного зростання енерговитрат, що забезпечило зростання коефіцієнта енергетичної ефективності агротехнологій. *Введення до складу зернової ланки конюшини істотно підвищило її енергетичну продуктивність порівняно з викою ярою*. Завдяки конюшині енергія врожаю культур зернової ланки підвищилась на контролі без добрив порівняно з ланкою, де вирощували вику яру, – на 11,7 ГДж/га ланки,  $K_{ee}$  – на 0,5. *Застосування добрив*  $N_{20}P_{20}K_{20}$  на 1 га зернової ланки на фоні удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$  т гною істотно підвищило енергію врожаю сільськогосподарських культур в обох зернових ланках. *Порівняно з контролем без добрив у ланці з конюшиною енергія врожаю підвищилась на 43,1 ГДж/га, викою ярою – на 28,2 ГДж/га, за абсолютних величин – 119,8 та 93,2 ГДж/га зернової ланки відповідно*. Вища енергетична продуктивність ланки з конюшиною визначалась істотним зростанням енергії врожаю пшениці озимої та високою енергетичною продуктивністю самої конюшини. *Енергетично найефективнішим* визначено застосування в ланці з конюшиною альтернативної системи удобрення з внесенням на 1 га ланки сівозміни  $N_{20}P_{20}K_{20} +$  солома на фоні довготривалого удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43} +$  побічна продукція на 1 га сівозміної площі: енергія врожаю – 122 ГДж/га зернової ланки, енерговитрати – 19,4 ГДж/га,  $K_{ee}$  – 6,3 з перевищенням до контролю без добрив – на 45,3 ГДж/га, 6,3 ГДж/га та 0,4 відповідно.

**Ключові слова:** ланки сівозміни, добрива, енергетична ефективність.

### **Ivanina R.V. Energy efficiency of crop cultivation in crop rotation chains**

*Purpose*. To study the energy efficiency of crop cultivation in cereal rotation chains under applying different fertilizer systems. *Methods*. Field, laboratory, analytical and statistical. *Results*. Research data on the impact of legumes, rates of mineral fertilizers and fond of long-term fertilizers application in crop rotation on the energy efficiency of growing crops in cereal rotation chains are presented. It was found that legumes and fertilizers significantly increased the energy of the crop against the fond of a moderate increase in energy consumption, which ensured an increase in the energy efficiency coefficient of agro-technologies. *Conclusions*. The introduction of the clover into cereal rotation chain significantly increased its energy productivity compared to the spring vetch. At the expense of the clover, the crops energy in the cereal rotation chain increased on the control without fertilizers compared to the rotation chain where spring vetch was grown – by 11.7 GJ/ha, and  $K_{ee}$  – by 0.5. The use of  $N_{20}P_{20}K_{20}$  fertilizers per 1 ha of grain chain on the fond of fertilizer application in crop rotation  $N_{43}P_{43}K_{43} + 8.3$  tons of manure significantly increased the crop energy in both rotation chains. Compared to the control without fertilizers the energy of crops yields in the clover chain increased – by 43.1 GJ/ha, in spring vetch chain – by 28.2 GJ/ha, with absolute values – 119.8 and 93.2 GJ/ha of cereal chain, respectively. The higher energy productivity of the clover chain was determined by the significant increase in the energy of the winter wheat crop and the high energy productivity of the clover itself. The most energy efficient is found the application in the clover chain of an alternative fertilizer system with treatment for one ha of rotation chain of  $N_{20}P_{20}K_{20} +$  straw on the fond of long-term fertilization of crop rotation  $N_{43}P_{43}K_{43} +$  by-product per 1 ha of crop rotation area: harvest energy – 122 GJ/ha energy expenses – 19.4 GJ/ha,  $K_{ee}$  – 6.3 with excess to the control without fertilizers – by 45.3 GJ/ha, 6.3 GJ/ha and 0.4, respectively.

**Key words:** rotation chains, fertilizers, energy efficiency.

**Постановка проблеми.** В умовах ринкової економіки питання раціонального використання енергетичних ресурсів, впровадження енергетично ощадливих і високоефективних агротехнологій набувають особливого значення. Енергетична ефективність вирощування сільськогосподарських культур залежить від низки чинників, серед яких агрохімічні та агротехнічні заходи є визначальними в досягненні сталого енергетичного балансу [1]. Відношення енергії врожаю до понесених енергетичних витрат лежить в основі коефіцієнта енергетичної ефективності, який нині є найбільш вживаним індикатором у проведенні розрахунків енергетичного балансу [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Низка дослідників вважає, що сучасні агротехнології мають базуватись на засадах енергетичної ефективності і сталості виробництва. Енергетичні витрати, понесені через агротехнічні заходи, мають супроводжуватись високою енергетичною віддачею, забезпечувати сталість енергетичного балансу ґрунту за вмістом гумусу і поживних речовин та сприяти зростанню енергії врожаю [3; 4; 5].

Система удобрення і вдале компонування сівозмін за набором сільськогосподарських культур є одними із найдешевших і найефективніших чинників регулювання енергетичного балансу. Оптимізація системи удобрення дає змогу регулювати енергетичні потоки в системі ґрунт–рослина, визначає ефективність трансформації енергії в кінцеву врожайність, впливає на обсяги накопичення енергії у ґрунті. За оптимізації структури сівозмін енергетична ефективність добрив значно зростає, що дає змогу досягти енергетичного балансу за мінімальних енергетичних витрат [6–9].

У сучасному землеробстві з гострим дефіцитом внесення гною високої енергетичної ефективності агротехнологій на засадах сталості можна досягти за застосування таких альтернативних джерел органіки, як побічна продукція, сидерати, мергель, сапропель, тощо. Використання на добриво побічної продукції істотно зменшує обсяги виносу елементів живлення із ґрунту, забезпечує відновлення енергії гумусу, посилює трансформацію енергії поживних речовин в енергію врожаю вирощуваних культур [10; 11].

**Постановка завдання. Мета досліджень** – вивчити енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур у зернових ланках сівозміни за застосування різних систем удобрення.

Дослідження проводили в умовах стаціонарного польового дослід (2015–2019 рр.) Білоцерківської дослідно-селекційної станції, зона нестійкого зволоження Лісостепу України. Площа посівної ділянки – 228 м<sup>2</sup>, облікової – 100 м<sup>2</sup>. Розміщення варіантів у досліді – систематичне послідовне, повторність триразова.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем вилугуваний середньосуглинковий, який має таку агрохімічну та фізико-хімічну характеристику орного (0–30 см) шару: гідролітична кислотність за Каппеном – 1,71–1,80 смоль/кг ґрунту; загальний вміст гумусу за Тюрнімом – 3,6–3,8%; рухомого фосфору та калію за Чиріковим – 153–170 та 64–78 мг/кг ґрунту відповідно; лужногідролізованого азоту за Корнфілдом – 110–115 мг/кг ґрунту.

Дослідження проводили у двох ланках сівозміни: 1) ячмінь ярий із підсівом конюшини – конюшина – пшениця озима; 2) ячмінь ярий – вика яра – пшениця озима. Ячмінь ярий, конюшину, вику яру вирощували за післядії добрив, пшеницю озиму – за прямої дії та післядії добрив. У сівозміні застосовували органо-мінеральну систему удобрення: за дози добрив на 1 га ланки сівозміни N<sub>20</sub> P<sub>20</sub> K<sub>20</sub> в сіво-

зміні з 1976 р. вносили  $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$  т гною;  $N_{30}P_{20}K_{20} - N_{65}P_{43}K_{43} + 8,3$  т/га гною;  $N_{20}P_{20}K_{20} +$  солома –  $N_{43}P_{43}K_{43} +$  побічна продукція. У ланці сівозміни добрива вносили під пшеницю озиму: азот у формі амонійної селітри, фосфор – суперфосфату простого гранульованого, калій – хлористого калію з заорюванням добрив на глибину 0–30 см. Сорт пшениці озимої Ясочка – білоцерківська селекція. Агротехніка вирощування загальноприйнята для цієї зони.

Енергетичну ефективність агротехнологій розраховували за методикою О.К. Медведовського [2]. Оцінку агротехнологій проводили за коефіцієнтом енергетичної ефективності (Кее) – це відношення енергоємності врожаю до енергії технологічних витрат на його отримання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Введення конюшини до зернової ланки формувало значно вищий її енергетичний потенціал вирощуваних культур порівняно з викою ярою. Так, на контролі без добрив енергія врожаю сільськогосподарських культур у ланці з конюшиною становила 76,7 ГДж/га зернової ланки, енерговитрати – 13,1 ГДж/га, Кее – 5,9 ГДж/га, викою ярою – 65 ГДж/га, 12,1 ГДж/га та 5,4 ГДж/га відповідно. Значне зростання коефіцієнта енергетичної ефективності у ланці з конюшиною досягалося за рахунок вищої енергії врожаю конюшини (55,1 ГДж/га) порівняно з викою ярою (43,3 ГДж/га) та вищої енергії врожаю пшениці озимої – 113,3 та 85,2 ГДж/га відповідно (табл. 1).

Застосування мінеральних добрив  $N_{20}P_{20}K_{20}$  на 1 га зернової ланки на фоні удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$  т гною істотно підвищило енергетичну ефективність вирощуваних культур в обох ланках. У ланці з конюшиною енергія врожаю сільськогосподарських культур порівняно з контролем без добрив підвищилась на 43,1 ГДж/га, викою ярою – на 28,2 ГДж/га, за абсолютних величин – 119,8 та 93,2 ГДж/га зернової ланки відповідно. За прямої дії і післядії добрив енергія врожаю вирощуваних культур у ланці з конюшиною була вища на 26,6 ГДж/га зернової ланки, ніж у ланці з викою ярою, що може бути наслідком покращення азотного живлення.

За внесення добрив найбільшу енергетичну продуктивність в обох ланках сівозміни показала пшениця озима. Енергія врожаю пшениці озимої за попередника конюшини становила 167,5 ГДж/га, вики ярої – 136,3 ГДж/га зі збільшенням до контролю без добрив – на 54,2 та 51,1 ГДж/га відповідно. Застосування добрив в обох зернових ланках забезпечило однакове зростання енергії врожаю цієї культури. Однак абсолютна енергетична продуктивність пшениці озимої за попередника конюшини була на 31,2 ГДж/га вища, ніж за попередника вики ярої, що вказує на його енергетичну перевагу.

Ячмінь ярий, конюшина та вика яра в сівозміні використовували післядію добрив. На фоні удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43} + 8,3$  т/га гною енергія врожаю конюшини становила 102,7 ГДж/га, вики ярої – 43,9 ГДж/га, ячменю ярого в ланці з конюшиною – 89,1 ГДж/га, в ланці з викою ярою – 99,5 ГДж/га. Конюшина в зерновій ланці формувала енергію врожаю у 2,3 раза вищу, ніж енергія врожаю вики ярої. Натомість енергія врожаю ячменю ярого в ланці з конюшиною дещо поступалась енергії врожаю в ланці з викою ярою.

Отже, застосування добрив у ланці з конюшиною визначено більш енергетично ефективним, ніж у ланці з викою ярою. Енергетичну перевагу забезпечили значне зростання енергії врожаю пшениці озимої за попередника конюшини та висока енергетична продуктивність самої конюшини.

Таблиця 1

**Енергетична ефективність вирощування культур у зернових ланках  
за різних систем удобрення, БЦДСС, 2015–2019 рр.**

Внесено добрив на 1 га ланки сівозміни	Показник	Одиниця виміру	Ячмінь ярий 2015–2017 рр.	Конюшина 2016–2018 рр.	Вика яра 2016–2018 рр.	Пшениця озима 2017–2019 рр.	У середньому на 1 га ланки сівозміни
Без добрив	Енергоємність врожаю	ГДж/га	$\frac{61,8}{66,5}$	55,1	43,3	$\frac{113,3}{85,2}$	$\frac{76,7}{65,0}$
	Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	$\frac{12,4}{13}$	8,6	8,3	$\frac{18,2}{15,1}$	$\frac{13,1}{12,1}$
	Кое		$\frac{5,0}{5,1}$	6,4	5,2	$\frac{6,2}{5,6}$	$\frac{5,9}{5,4}$
N <sub>20</sub> , K <sub>20</sub>	Енергоємність врожаю	ГДж/га	$\frac{89,1}{99,5}$	102,7	43,9	$\frac{167,5}{136,3}$	$\frac{119,8}{93,8}$
	Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	$\frac{14,6}{15,5}$	13,5	8,4	$\frac{29,9}{26,2}$	$\frac{19,3}{16,7}$
	Кое		$\frac{6,1}{6,4}$	7,6	5,2	$\frac{5,6}{5,2}$	$\frac{6,2}{5,6}$
N <sub>20</sub> , P <sub>20</sub> , K <sub>20</sub> + солома пшениці	Енергоємність врожаю	ГДж/га	96,1	106,9	-	162,9	122
	Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	14,9	13,6	-	29,6	19,4
	Кое		$\frac{6,5}{95,2}$	7,9	-	5,5	6,3
N <sub>30</sub> , P <sub>20</sub> , K <sub>20</sub>	Енергоємність врожаю	ГДж/га	$\frac{97,3}{140}$	98,2	38,1	$\frac{146,2}{140}$	$\frac{113,2}{91,8}$
	Енерговитрати на 1 га	ГДж/га	$\frac{15,3}{15,9}$	13	8,1	$\frac{28,8}{27,4}$	$\frac{19}{17,1}$
	Кое		$\frac{6,2}{6,1}$	7,6	4,7	$\frac{5,1}{5,1}$	$\frac{6,0}{5,1}$

Примітка: в чисельнику – ланка з конюшиною, в знаменнику – ланка з викою ярою

Внесення добрив  $N_{20}P_{20}K_{20}$  на 1 га ланки сівозміни супроводжувалось зростанням енерговитрат порівняно з контролем без добрив на 4,6–6,2 ГДж/га, що зумовлено додатковими витратами на внесення добрив та витратами на збирання додаткового врожаю. У ланці з конюшиною енерговитрати були вищі, ніж у ланці з викою ярою на 2,6 ГДж/га і становили, відповідно, 19,3 та 16,7 ГДж/га ланки сівозміни.

Найвищі енергетичні витрати в обох зернових ланках спостерігали за вирощування пшениці озимої 26,2–29,9 ГДж/га, тоді як вирощування ячменю ярого супроводжувалось енергетичними витратами 14,6–15,5, конюшини – 13,5, вики ярої – 8,4 ГДж/га.

Мінеральні добрива істотно підвищили енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур у зернових ланках. За дози добрив  $N_{20}P_{20}K_{20}$  на 1 га ланки сівозміни з внесенням у сівозміні  $N_{43}P_{43}K_{43}$  + 8,3 т гною коефіцієнт енергетичної ефективності ( $K_{ee}$ ) порівняно з контролем без добрив у ланці з конюшиною зріс на 0,3, викою ярою – на 0,2 і становив 6,2 та 5,6 відповідно. Ланка з конюшиною визначена значно енергетично ефективнішою, ніж ланка з викою ярою.

В обох зернових ланках енергетично неефективним визначено збільшення дози азотних добрив із 20 до 30 кг/га на фоні 40-річної практики удобрення сівозміни  $N_{65}P_{43}K_{43}$  + 8,3 т/га гною на 1 га сівозмінної площі. Внесення вищої дози азотних добрив супроводжувалось зменшенням коефіцієнта енергетичної ефективності у ланці з конюшиною з 6,2 до 6,0, викою ярою – з 5,6 до 5,1 на фоні абсолютних показників енергії врожаю –113,2 та 91,8 ГДж/га відповідно, енерговитрат – 19 та 17,1 ГДж/га ланки сівозміни.

Найвищу енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур спостерігали в ланці з конюшиною за застосування альтернативної системи удобрення ( $N_{20}P_{20}K_{20}$  + солома на 1 га ланки сівозміни) на фоні довготривалого удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43}$  + побічна продукція: енергія врожаю – 122 ГДж/га зернової ланки, енерговитрати – 19,4 ГДж/га,  $K_{ee}$  – 6,3.

### Висновки і пропозиції.

1. Введення до складу зернової ланки багаторічних бобових трав істотно підвищило її енергетичну продуктивність. За рахунок конюшини енергія врожаю культур зернової ланки порівняно з ланкою, де вирощували вику яру, підвищилась на контролі без добрив – на 11,7 ГДж/га ланки,  $K_{ee}$  – на 0,5 ГДж/га.

2. Енергетична ефективність вирощування культур у зернових ланках значно зростала за застосування добрив. Внесення  $N_{20}P_{20}K_{20}$  на 1 га ланки сівозміни на фоні удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43}$  + 8,3 т гною підвищило енергію врожаю сільськогосподарських культур порівняно з контролем без добрив у ланці з конюшиною – на 43,1 ГДж/га, викою ярою – на 28,2 ГДж/га, за абсолютних величин –119,8 та 93,2 ГДж/га зернової ланки відповідно. Вища енергетична продуктивність ланки з конюшиною визначалась істотним зростанням енергії врожаю пшениці озимої та високою енергетичною продуктивністю конюшини.

3. Енергетично найефективнішим визначено вирощування сільськогосподарських культур у ланці з конюшиною за застосування альтернативної системи удобрення ( $N_{20}P_{20}K_{20}$  + солома на 1 га ланки сівозміни) на фоні довготривалого удобрення сівозміни  $N_{43}P_{43}K_{43}$  + побічна продукція: енергія врожаю – 122 ГДж/га зернової ланки, енерговитрати – 19,4 ГДж/га,  $K_{ee}$  – 6,3 ГДж/га з перевищенням до контролю без добрив –на 45,3 ГДж/га, 6,3 ГДж/га та 0,4 ГДж/га відповідно.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Рогальський С.В. Відтворення енергетичного потенціалу ґрунту у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 4. С. 75–76.
2. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 205 с.
3. Сінченко В.М. Ефективність сучасного землеробства на основі його енергетичного базису. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 14–17.
4. Jokiniemi T., Mikkola H., Rossner H., Talgre L., Lauringson E., Hovi M. and Ahokas J. Energy savings in plant production. *Agronomy Research Biosystem Engineering*. 2012. Special Issue 1. Pp. 85–96.
5. Woods J., Williams A., Hughes J. K., Black M., and Murphy R. Energy and the food system. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2010. 27. 365(1554). Pp. 2991–3006. DOI: 10.1098/rstb.2010.0172
6. Цвей Я.П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційних сівозмін. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2011. Вип. 12. С. 46–55.
7. Бука А.Я., Друженко А.В. Енергетична оцінка застосування добрив у Лівобержному Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 3. С. 13–15.
8. Gellings C.W., Parmenter K.E. Energy efficiency in fertilizer production and use. *Efficient Use and Conservation of Energy*. Oxford, 2004. Pp. 121–136. URL: <http://www.eolss.net>
9. Helikson H.J. The energy and economics of fertilizers. *Energy Efficiency and Environmental News*. Gainesville, University of Florida, 1991. Pp. 17–29.
10. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення в сучасному землеробстві. Рівне : Волинські обереги, 2007. 320 с.
11. Mehlhart G., Bakas I., Herczeg M., Strosser P., Rynikiewicz C., Agenais A., Bergmann T., Mottschall M., Köhler A., Antony F., Bilsen V., Greeven S., Debergh P. and Hay D. Study on the Energy Saving Potential of Increasing Resource Efficiency. *Final Report, Study prepared for the European Commission, Directorate General Environment*. Brussels. 2016. URL: [http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/final_report.pdf)