

control. Similarly, the mass of leaves and root system dominated the control indicators by 3,7–29,6 % respectively. The height of plants in these accounting periods was 5,6–15,4 %, the number of productive stems was 0,6–1,3 %, and the number in the ear was 5,9–7,9 % higher than in the control. In addition, in these variants the moisture-retaining capacity of the soil increased by 2–8 %, the proportion of lumps of soil larger than 1 mm diminished by 2,5–4,9 %, the damage of plants by root rot was reduced by 1,4–2,6 %, flour with dew 0,3–0,6 %, brown rust on 0,9–1,9 % compared to control. The yield of soft winter wheat in variants with mycorrhiza drugs was 0,32–0,85 t/ha higher than in the control. At the same time, it should be determined that the use of VAM by Micofrend for its pre-treatment treatment with seeds of this culture provides better efficiency in the effects on plant growth and development and plant productivity. **Conclusions.** The use of mycorrhiza drugs Micoprand and Florobacillin for preplant application to seeds helps to improve the growth and development of soft wheat plants and increase their productivity.

Keywords: vesicular-arbuscular mycorrhizal preparations (VAM-preparations); watering of leaves; agricultural plants; bioenergetic plants; total water content.

Надійшла / Received 22.09.2019

Погоджено до друку / Accepted 07.11.2019

УДК 631.81.620.952

Енергетична ефективність вирощування сорго зернового за різних систем удобрення

К. Л. Пашинська

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: K.pashynska@gmail.com

Мета. Вивчити вплив мінеральної та альтернативної органо-мінеральної систем удобрення на енергетичну ефективність вирощування сорго зернового. **Методи.** Польовий, аналітичний і статистичний. **Результати.** Наведено результати досліджень щодо впливу систем удобрення на енергетичну ефективність вирощування сорго зернового в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому. Установлено, що застосування добрив значно підвищило енергію врожаю сорго зернового, супроводжувалось істотним зростанням енерговитрат і призвело до зниження коефіцієнта енергетичної ефективності порівняно з контролем без добрив. **Висновки.** Сорго зернове показало високу енергетичну ефективність за вирощування в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому. На природному фоні родючості рослини сорго зернового формували енергоємність біологічного врожаю – 167 ГДж/га, енерговитрати – 23,4 ГДж/га, K_{ee} – 7,1. Застосування мінеральних добрив істотно підвищило енергоємність врожаю сорго зернового, але внаслідок значного зростання енерговитрат супроводжувалось зниженням енергетичної ефективності його вирощування порівняно з контролем без добрив. За внесення мінеральних добрив 180–360 кг/га за сумою НРК енергоємність врожаю порівняно з контролем без добрив зросла на 18–46 ГДж/га, енерговитрати збільшились – на 8,3–14,7 ГДж/га, коефіцієнт енергетичної ефективності зменшився – на 1,3–1,5 одиниці. Альтернативну органо-мінеральну систему удобрення визначено енергетично продуктивнішою і ефективнішою порівняно з мінеральною. За внесення 4 т/га соломи + 180–360 кг/га НРК коефіцієнт енергетичної ефективності порівняно з внесенням лише мінеральних добрив підвищився на 0,3–0,5 за абсолютних величин 6,1–6,2. Енергетично найефективнішим визначено внесення 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$: енергоємність врожаю – 236 ГДж/га, енерговитрати – 38,8 ГДж/га, K_{ee} – 6,1 з перевагою енергоємності врожаю до контролю без добрив 69 ГДж/га.

Ключові слова: добрива; сорго зернове; енергетична ефективність.

Вступ

За умов глобального потепління сорго зернове є однією із найбільш перспективних сільськогосподарських культур з позицій отримання стабільних врожаїв зерна і як джерело біосировини для виробництва твердого та рідкого видів біопалива. Враховуючи багатоцільове призначення цієї культури та невибагливість до умов вирощування, сорго зернове має надійні перспективи для розширення посівних площ в Україні. Розроблення енергетично маловитратних технологій може стати надійним кроком щодо популяризації вирощування сорго зернового та зайняття ним належного місця у структурі аграрного виробництва [1].

Система удобрення на думку багатьох вчених є найбільш ефективним заходом у забезпеченні високої харчової та енергетичної продуктивності сорго зернового [2–3]. Оптимізація та ефективне застосування добрив здатні забезпечити високу біологічну продуктивність, істотно зменшити енергетичні витрати, що створює основи для популяризації його вирощування [4]. Базовим індикатором оцінки енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур є співставлення енергії врожаю до енерговитрат [5].

Ряд дослідників вважає, що сучасні агротехнології мають бути спрямовані на мінімізацію енергетичних витрат, стабілізацію енергетичного потенціалу ґрунтів і досягнення максимальної енергетичної продуктивності врожаю [6–8].

Формування сталого енергетичного балансу у ланцюгу ґрунт–рослина має стати основою сучасного виробництва. За умов дефіциту традиційного органічного добрива гною, енергетичний баланс агротехнологій має забезпечувати широке застосування на добриво побічної продукції, поживних сидератів та місцевих природних джерел органічної сировини. Вдале поєднання альтернативних органічних і мінеральних добрив, оптимізація їх елементного складу є ключем до підвищення енергетичної ефективності агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур [9–10].

Мета досліджень – вивчити вплив мінеральної та альтернативної органо-мінеральної систем удобрення на енергетичну ефективність вирощування сорго зернового на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому в умовах достатнього зволоження зони Лісостепу.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах тимчасового польового досліді Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції упродовж 2017–2019 рр. Площа посівної ділянки становить 75 м², облікової – 50 м². Розміщення варіантів у досліді – систематичне послідовне, повторність чотириразова.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем вилугуваний легкосуглинковий, має таку агрохімічну і фізико-хімічну характеристику 0–30 см шару: рН сольове – 5,9–6,4; гідролітична кислотність за Каппеном – 1,09–1,26 смоль/кг ґрунту; сума увібраних основ за Каппеном-Гільковіцем – 23,8–27, смоль/кг ґрунту; загальний вміст гумусу за Тюрнімом – 4,0–4,2 %; лужногідролізованого азоту – 120–127 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору та калію за Чиріковим – відповідно 136–157 і 78–84 мг/кг ґрунту.

Під сорго зернове застосовували мінеральні добрива у дозах від 180 до 360 за сумою NPK (мінеральна система удобрення) та мінеральні добрива на фоні 4 т/га соломи пшениці озимої (альтернативна органо-мінеральна система удобрення). Добрива вносили з осені під глибоку оранку у шар 0–30 см: азот у формі амонійної селітри, фосфор – суперфосфату простого гранульованого, калій – хлористого калію. Гібрид сорго зернового – ‘Дніпровський 39’. Агротехніка вирощування загальноприйнята для даної зони.

Енергетичну ефективність агротехнологій розраховували за методикою О. К. Медведовського [2]. Оцінку агротехнологій проводили за коефіцієнтом енергетичної ефективності (*K_{ee}*), який відображає відношення енергоємності врожаю до енергії технологічних витрат на його отримання.

Результати досліджень

Результати досліджень показали, що сорго зернове є енергетично привабливою культурою для широкого вирощування в Україні. За умов достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому сорго зернове формувало енергетичну ємність біологічного врожаю – 167 ГДж/га за величини енерговитрат – 23,4 ГДж/га, що забезпечило високу енергетичну ефективність його вирощування за показника K_{ee} – 7,1 (табл. 1).

Таблиця 1

Енергетична ефективність вирощування сорго зернового за різних систем удобрення, (середнє за 2017–2019 рр.)

№ вар.	Варіант	Енергоємність врожаю, ГДж/га	Енерговитрати на 1 га, ГДж/га	K_{ee}
1	Без добрив (контроль)	167	23,4	7,1
2	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	185	31,7	5,8
3	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	203	34,8	5,8
4	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	213	38,1	5,6
5	Солома 4 т/га	176	23,7	7,4
6	Солома 4 т/га + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	201	32,3	6,2
7	Солома 4 т/га + N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	215	35,0	6,1
8	Солома 4 т/га + N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	236	38,8	6,1

Застосування добрив у посівах сорго зернового визначено ефективним заходом підвищення його енергетичної продуктивності. Внесення альтернативного органічного добрива соломи пшениці озимої незначно підвищило порівняно з контролем без добрив енергоємність врожаю сорго зернового і супроводжувались досить незначним зростанням енергетичних витрат: енергоємність врожаю – 176 ГДж/га, енерговитрати – 23,7 ГДж/га, K_{ee} – 7,4 зі зростанням до контролю без добрив – відповідно на 9 ГДж/га, 0,3 ГДж/га та 0,3.

Ефективним заходом підвищення енергоємності врожаю сорго зернового визначено внесення мінеральних добрив. За дози добрив N₆₀P₆₀K₆₀ енергоємність врожаю сорго зернового порівняно з контролем без добрив підвищилась на 18 ГДж/га. При цьому енерговитрати на внесення добрив зросли на 8,3 ГДж/га, що порушило паритет у співвідношенні на користь витратної складової енергетичного балансу і супроводжувалось падінням коефіцієнта енергетичної ефективності порівняно з контролем без добрив на 1,3 одиниці. Мінеральні добрива, істотно підвищивши енергетичну продуктивність сорго зернового, але внаслідок істотного зростання енерговитрат енергетична ефективність його вирощування знизилась.

Енергетично виправданим за вирощування сорго зернового визначено збільшення дози мінеральних добрив у 1,5–2 рази. За дози добрив N₉₀P₉₀K₉₀ енергія врожаю порівняно з N₆₀P₆₀K₆₀ зросла – на 18 ГДж/га, дози N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ – на 28 ГДж/га і супроводжувалась стабілізацією K_{ee} на рівні 5,6–5,8 одиниць. Сорго зернове в умовах даної ґрунтово-кліматичної зони добре реагувало на посилене мінеральне живлення, де внесення підвищених доз мінеральних добрив визначено енергетично виправданим.

Енергетично стабільнішим і ефективнішим визначено застосування мінеральних добрив поєднано з альтернативним органічним добривом соломою пшениці озимої. Незначне зростання енергетичних витрат на застосування соломи і істотне зростання енергоємності біологічного врожаю забезпечили альтернативному органо-мінеральному добриву енергетичну перевагу. За поєднаного застосування мінеральних і соломи коефіцієнт енергетичної ефективності порівняно з внесенням лише мінеральних добрив підвищився на 0,3–0,5 і знаходився в межах 6,1–6,2.

Найбільш енергетично продуктивним і ефективним визначено внесення 4 т/га соломи + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀: енергоємність врожаю – 236 ГДж/га, енерговитрати – 38,8 ГДж/га, K_{ee} – 6,1.

Порівняно з дозою $N_{60}P_{60}K_{60}$ внесеного на фоні 4 т/га соломи енергоемність врожаю зросла на 35 ГДж/га за показника K_{ee} – 6,2 з падінням на 0,1. Застосування подвійної дози мінеральних добрив ($N_{120}P_{120}K_{120}$) на фоні 4 т/га соломи визначено енергетично доцільним і виправданим.

Висновки

Сорго зернове є енергетично ефективною культурою за вирощування в умовах достатнього зволоження на чорноземі вилугуваному легкосуглинковому. На природному фоні родючості рослини сорго зернового формували енергоемність біологічного врожаю – 167 ГДж/га, енерговитрати – 23,4 ГДж/га, K_{ee} – 7,1.

Мінеральні добрива у посівах сорго зернового визначено ефективним засобом підвищення енергоемності врожаю на фоні загального падіння його енергетичної ефективності. За внесення мінеральних добрив 180–360 кг/га за сумою NPK енергоемність врожаю порівняно з контролем без добрив зросла на 18–46 ГДж/га, енерговитрати збільшились – на 8,3–14,7, коефіцієнт енергетичної ефективності зменшився – на 1,3–1,5 одиниці.

Альтернативна орґано-мінеральна система удобрення була більш енергетично продуктивною і привабливою під сорго зернове, ніж мінеральна. За внесення 4 т/га соломи + 180–360 кг/га NPK коефіцієнт енергетичної ефективності порівняно з внесенням лише мінеральних добрив підвищився на 0,3–0,5 за абсолютних величин 6,1–6,2.

Енергетично найефективнішою системою удобрення визначено внесення 4 т/га соломи + $N_{120}P_{120}K_{120}$: енергоемність врожаю – 236 ГДж/га, енерговитрати – 38,8 ГДж/га, K_{ee} – 6,1 з перевагою енергоемності врожаю до контролю без добрив 69 ГДж/га.

Використана література

1. Каражбей Г. М. Стан і перспективи сорго зернового в Україні. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 101. С. 37–42
2. Wortmann C. S., Ferguson R. B. Nutrient management suggestion for grain sorghum. *Bulletin of Nebraska University*. 2013. P. 206–215.
3. Ермохин Ю. И., Бобренко И. А. Комплексная диагностика минерального питания растений сорговых культур. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2017. №3. С. 18–24.
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. P. 85–96.
5. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 205 с.
6. Рогальський С. В. Відтворення енергетичного потенціалу ґрунту у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2001. № 4. С. 75–76.
7. 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. http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/final_report.pdf
8. Цвей Я. П. Біоенергетична оцінка продуктивності різноротаційних сівозмін. *Збірник наукових праць ІБКЦБ*. 2011. Вип. 12. С. 46–55.
9. Іваніна В. В. Енергетична ефективність агротехнологій в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 6. С. 5–11.
10. Сінченко В. М. Ефективність сучасного землеробства на основі його енергетичного базису. *Вісник аграрної науки*. 2004. № 11. С. 14–17.

References

1. Karazhbei, G. M. (2012). Status and prospects of grain sorghum in Ukraine. *Selektisia i nasinnytsvo* [Breeding and Seed Production], 101, 37–42. [in Ukrainian]
2. Wortmann, C. S., & Ferguson, R. B. (2013). Nutrient management suggestion for grain sorghum. *Bulletin of Nebraska University*, 206–215.
3. Yermokhin Yu. I., Bobrenko I. A. (2017). Comprehensive mineral nutrition diagnosis of plants of sorghum crops. *Elektronnyi nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* [Electronic scientific and methodological journal of Omsk State University], 3(10), 18–24. [in Russian]
4. Jokiniemi, T., Mikkola, H., Rossner, H., Talgre, L., Lauringson, E., Hovi, M., & Ahokas, J. (2012). Energy savings in plant production. *Agronomy Research Biosystem Engineering*, 1, 85–96.
5. Medvedevskiy, O. K., & Ivanenko, P. I. (1988). *Energetychnyi analiz intensyvnnykh tekhnologii v silskogospodarskomu vyrobnytsvi*. [Energy analysis of intensive technologies in agricultural production]. Kiev: Harvest, 205. [in Ukrainian]
6. Rogalskiy, S. V. (2001). Reproduction of soil energy potential in the forest-steppe. *Visnyk agrarnoi nauky* [Bulletin of agrarian science], 4, 75–76. [in Ukrainian]
7. 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., & Hay, D. (2016). Study on the Energy Saving Potential of Increasing Resource Efficiency. *Final Report, Study prepared for the European Commission, Directorate General Environment*. Brussels.
http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/final_report.pdf
8. Tsvey, Ya. P. (2011). Bioenergetic evaluation of productivity of rotational rotations. *Zbirnyk naukovykh prats IBKTSB* [Collection of Scientific Papers of the IBCSB], 12, 46–55. [in Ukrainian]
9. Ivanina, V. V. (2016). Energy efficiency of agrotechnologies in different crop rotations. *Visnyk agrarnoi nauky* [Bulletin of agrarian science], 6, 5–11. [in Ukrainian]
10. Sinchenko, V. M. (2004). Efficiency of modern agriculture on the basis of its energy basis. *Visnyk agrarnoi nauky* [Bulletin of agrarian science], 11, 14–17. [in Ukrainian]

УДК 631.81.620.952

Пашинская К. Л. Энергетическая эффективность выращивания сорго зернового при различных системах удобрения // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2019. Вып. 27. С. 61–66.

Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03110, Украина, e-mail: K.pashynska@gmail.com

Цель. Изучить влияние минеральной и альтернативной органоминеральной систем удобрения на энергетическую эффективность выращивания сорго зернового. **Методы.** Полевой, аналитический и статистический. **Результаты.** Приведены результаты исследований влияния систем удобрения на энергетическую эффективность выращивания сорго зернового в условиях достаточного увлажнения на черноземе выщелоченном легкосуглинистом. Установлено, что применение удобрений значительно повысило энергию урожая сорго зернового, сопровождалось существенным ростом энергетических затрат и привело к снижению коэффициента энергетической эффективности по сравнению с контролем без удобрений. Выводы. Сорго зерновое показало высокую энергетическую эффективность при выращивании в условиях достаточного увлажнения на черноземе выщелоченном легкосуглинистом. На природном фоне плодородия растения сорго зернового формировали энергоёмкость биологического урожая – 167 ГДж/га, энергетические затраты – 23,4 ГДж/га, *К_{ее}* – 7,1. Применение минеральных удобрений существенно повысило энергоёмкость урожая сорго зернового, но вследствие значительного роста энергетических затрат сопровождалось снижением энергетической эффективности его выращивания по сравнению с контролем без удобрений. При внесении минеральных удобрений 180–360 кг/га по сумме НРК энергоёмкость урожая по сравнению с контролем без удобрений выросла на 18–46 ГДж/га, энергетические затраты увеличились – на 8,3–14,7 ГДж/га, коэффициент

енергетической эффективности уменьшился – на 1,3–1,5 единицы. Альтернативную органоминеральную систему удобрения определено энергетически более продуктивной и эффективной по сравнению с минеральной. При внесении 4 т / га соломы + 180–360 кг / га NPK коэффициент энергетической эффективности по сравнению с внесением только минеральных удобрений повысился на 0,3–0,5 при абсолютных величинах 6,1–6,2. Энергетически эффективным определено внесение 4 т/га соломы + $N_{120}P_{120}K_{120}$: энергоёмкость урожая – 236 ГДж/га, энергетические затраты – 38,8 ГДж/га, K_{ee} – 6,1 с преобладанием энергоёмкости урожая к контролю без удобрений на 69 ГДж/га.

Ключевые слова: удобрения; сорго зерновое; энергетическая эффективность.

UDC 631.81.620.952

Pashynska, K. L. (2019). Energy efficiency of grain sorghum cultivation under different fertilizer systems. *Nauk. pracì Inst. bioenerg. kul't. cukrov. burâkiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 27, 61–66. [in Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: K.pashynska@gmail.com

Purpose. To study the influence of mineral and alternative organic-mineral fertilizer systems on energy efficiency of grain sorghum cultivation. **Methods.** Field, analytical and statistical. **Results.** The results of studies on the effect of fertilizer systems on the energy efficiency of growing grain sorghum under conditions of sufficient moisture on loam leached black soil were presented. It was found that the use of fertilizers significantly increased the energy of the grain sorghum yield, was accompanied by a significant increase in energy consumption and led to a decrease in energy efficiency compared to the control without fertilizers. **Conclusions.** Grain sorghum has shown high energy efficiency for growing in conditions of sufficient moisture on the loamy leached black soil. On the natural fertility background grain sorghum plants formed the energy capacity of biological yield – 167 GJ/ha, energy consumption – 23,4 GJ/ha, K_{ee} – 7,1. The use of mineral fertilizers significantly increased the energy capacity of the grain sorghum yield, but due to the significant increase in energy consumption was accompanied by a decrease in energy efficiency of its cultivation compared to the control without fertilizers. With the application of mineral fertilizers 180–360 kg/ha in the amount of NPK, the energy capacity of the crop yield compared to the control without fertilizers increased by 18–46 GJ/ha, energy consumption increased – by 8,3–14,7 GJ/ha, the energy efficiency coefficient decreased – by 1,3–1.5 units. The alternative organic-mineral fertilizer system has been determined to be more energy productive and more efficient than the mineral one. With the application of 4 t/ha of straw + 180–360 kg/ha of NPK, the energy efficiency compared to the application of only mineral fertilizers increased by 0.3–0.5 for absolute values of 6.1–6.2. Application of 4 t/ha of straw + $N_{120}P_{120}K_{120}$ was defined the most energy efficient: yield of the crop – 236 GJ/ha, energy consumption – 38,8 GJ/ha, K_{ee} – 6,1 with the advantage of energy capacity of the crop yield to control without fertilizer by 69 GJ/ha.

Keywords: fertilizers; sorghum grain; energy efficiency.

Надійшла / Received 18.09.2019

Погоджено до друку / Accepted 05.11.2019