

DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-2-6

Оригінальна наукова стаття

УДК 581.132.1:631.89:633.11

**ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ВИРОЩУВАННЯ КОНЮШИНИ ЛУЧНОЇ
У КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ СІВОЗМІНІ****Н. І. Козак, Г. Я. Панахид**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Надія КОЗАК,
аспірантка
ORCID: 0000-0002-2809-2432

Галина ПАНАХИД,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0001-8545-2580

Для листування:

Надія КОЗАК
e-mail: k.nadia2807@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних
наук України

Отримано:
4 листопада 2024 р.
Погоджено до друку:
18 грудня 2024 р.

У статті досліджено енергетичну ефективність вирощування конюшини лучної (*Trifolium pratense* L.) у короткоротаційній сівозміні за різних систем удобрення та вапнування. Дослідження проводилися в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Вивчено вплив органічних, мінеральних добрив і вапнякових матеріалів на урожайність сухої маси, витрати сукупної енергії та вихід валової енергії з конюшинового травостою. Результати показали, що поєднання органічних і мінеральних добрив із вапнуванням забезпечує найвищий вихід валової енергії (до 238,6 ГДж/га). Урожайність сухої маси коливалася від 4,6 до 12,6 т/га залежно від рівня удобрення та вапнування. Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності (22,6 за кормового та 13,3 за кормово-сидерального способу використання) відмічено за використання мінеральних добрив в дозі N₆₅P₆₈K₆₈. Використання другого укусу конюшини лучної як сидерата знижувало вихід валової енергії та коефіцієнти енергетичної ефективності в порівнянні із кормовим використанням травостою, однак ці показники були достатньо високими й вказували на ефективність такого способу. Робота підтверджує важливість оптимізації систем удобрення для забезпечення сталого розвитку, підвищення продуктивності агроєкосистем і збереження енергоресурсів.

Ключові слова: конюшина лучна, травостій, енергетична ефективність, урожайність, удобрення, вапнування.

Energy efficiency of red clover cultivation in short rotation crop rotation

Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

About authors:

Nadiia KOZAK
ORCID: 0000-0002-2809-2432

Halyna PANAKHYD
ORCID: 0000-0001-8545-2580

For corresponding:

Nadiia KOZAK
e-mail: k.nadia2807@gmail.com

Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:

November 4, 2024

Accepted:

December 18, 2024

The article investigates the energy efficiency of red clover (*Trifolium pratense* L.) cultivation in short-rotation crop rotation under different fertilization and liming systems. The research was conducted at the Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS. The study examined the effects of organic and mineral fertilizers, as well as lime materials, on dry matter yield, total energy inputs, and gross energy output from clover grass stands. The results showed that combining organic and mineral fertilizers with liming ensures the highest gross energy output (up to 238.6 GJ/ha). Dry matter yield ranged from 4.6 to 12.6 t/ha, depending on the fertilization and liming levels. The highest coefficient of energy efficiency (22.6 for forage and 13.3 for forage and green manure method of use) was recorded for the use of mineral fertilisers at a rate of N65P68K68. Utilizing the second cut of red clover as green manure reduced the gross energy output and energy efficiency coefficients compared to forage usage; however, these indicators remained sufficiently high, demonstrating the effectiveness of this approach. This study confirms the importance of optimizing fertilization systems to ensure sustainable development, enhance agroecosystem productivity, and conserve energy resources.

Keywords: red clover, grassland, energy efficiency, yield, fertilisation, liming

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Вирощування багаторічних трав є одним з основних видів землекористування планети. На думку І. С. Доннісон та М. Д. Фразер [14] ефективне використання біомаси різних видів травостоїв, включаючи напівприродні пасовищні системи, багаторічні трави, які вирощуються для тваринництва, для енергетичних цілей, та навіть травостої з міського та напівміського середовища сприятиме збільшенню доходу навіть від економічно маргінальних пасовищ, зменшить викиди парникових газів від тваринництва та допоможе профінансувати збереження цінних лучних екосистем і ландшафтів, оскільки травостої та сумісні посіви виконують функції стабілізації екосистем [10, 11, 16, 20, 23].

В останні роки все більшої уваги набуває використання потенціалу травостоїв як альтернативного способу вироблення біоенергії [21, 27], особливо якщо їх кількість є більшою за потреби

тваринництва [13]. Проведено багато досліджень для визначення біоенергетичного потенціалу трав'яних рослин з напівприродних та сіяних травостоїв [12, 15, 18, 25]. Дослідженнями І. Мельтц та К. Хеінсоо [17] встановлено, що рослинна біомаса з природних лук з високим рівнем біорізноманіття та сіяних довготривалих травостоїв характеризується високим вмістом клітковини, низьким вмістом цукру, крохмалю та жиру. Оскільки біодеструкція сировини з високим вмістом клітковини є складним процесом це призводить до зниження виходу біогазу. Однак, за даними К. Кінг та ін. [26] звичайні сіяні види трав сільськогосподарських травостоїв, такі як пажитниця багаторічна, пажитниця багатоквіткова, тимофіївка лучна, грястиця збірна і конюшина лучна можуть мати високий біоенергетичний потенціал.

Визначення енергетичної ефективності технологій є важливим з

кількох причин, що впливають на економічні, екологічні та соціальні аспекти розвитку суспільства. Перш за все це зниження витрат. Тобто підвищення енергетичної ефективності дозволяє зменшити споживання енергії, що знижує витрати на енергоресурси, що є особливо важливим в умовах високих цін на енергію. Накопичення валової енергії довготривалими злаковими агроecosystemами в цілому внаслідок надземної й підземної маси разом зі зміною родючості ґрунту в умовах західного Лісостепу України досягала 260,1 ГДж/га, що обумовлено не лише антропогенними затратами, а й мобілізацією в продукційні процеси природних факторів [22]. За даними Х. К. А. Амаранте та ін. [24] зростання ступеня використання невідновлюваної енергії має позитивний вплив на економічне зростання країни (Бразилії).

Енергоефективні технології допомагають підприємствам зменшити собівартість продукції, що дає конкурентні переваги. Одним із найбільш економічно затратних елементів технології є вапнування. Дослідженнями проведеними на бобово-злакових травостоях встановлено, що загальні витрати на створення травостою становили 189–191 дол. США/га, а за внесення вапна затрати зросли до 555 дол. США/га [7]. Сукупні енергетичні затрати суттєво зростають і за застосування гною, оскільки енергетичний еквівалент гною стандартної якості становить 0,42 МДж/кг [8].

Ефективніше використання енергії зменшує викиди CO₂ та інших забруднювальних речовин, сприяючи боротьбі зі зміною клімату, покращуючи навколишнє середовище і тим самим зменшуючи затрати на охорону здоров'я [19].

Отже, оцінка енергетичної ефективності технологій є основою сталого розвитку, адже вона сприяє збереженню ресурсів, підвищенню економічної ефективності та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Метою наших досліджень було визначити енергетичну ефективність вирощування конюшини лучної у короткоротаційній сівозміні за кормового та кормово-сидерального способів використання залежно від застосування органічних і мінеральних добрив та вапнування. Це дозволить товаровиробникам обрати оптимальне для себе рішення щодо способів використання конюшини лучної та вибору системи удобрення для подальшого збереження енергоресурсів та підвищення конкурентоспроможності.

Матеріали і методи. Дослідження проводилися на дослідному полі відділу агрохімії та ґрунтознавства Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН в межах стаціонарного досліді на травостої конюшини лучної (*Trifolium pratense* L.). Стаціонарний дослід розміщений у просторі на трьох полях. Повторення триразове. Розташування варіантів однарусне, послідовне. Сівозміна чотирипільна із наступним чергуванням культур: кукурудза на силос, ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної, конюшина лучна, пшениця озима. Агротехніка вирощування культур загальноприйнята для зони Лісостепу Західного. У короткоротаційній сівозміні під конюшину лучну не застосовували жодних видів удобрення чи вапнування. Її висівали під покрив ячменю ярого, а різні види удобрення та вапнування у сівозміні вносилися під попередні культури. Норма вапна розрахована за гідролітичною кислотністю – 6 т/га за дві ротації та за кислотно-основною буферністю (ДСТУ 4456:2005) – 2,5 т/га за ротацію сівозміни. В якості вапнякових матеріалів використовується вапнякове борошно (93,5 % CaCO₃). У досліді застосовується напівперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстилці, аміачна селітра (34,5 %), гранульований суперфосфат (19,5 %), калійна сіль (40 %), нітроамофоска (NPK по 16 %) (при використанні нітроамофоски вміст NPK збалансовується згідно з рівнями удобрення простими добривами).

Гній вноситься під кукурудзу на силос. Фосфорно-калійні добрива вносяться восени, азотні – під передпосівну культивуацію.

Урожайність визначали в абсолютно сухій масі суцільним методом з послідовним зважуванням з кожної ділянки, з попереднім визначенням гігроскопічної вологи висушуванням дослідного зразка вагою 0,5 кг при температурі 105 °С до постійної ваги (ДСТУ ISO 6497:2005) [1].

Енергетична оцінка проведена розрахунковим способом на основі балансу надходження, накопичення та витрат валової енергії з використанням методик

О. К. Медведовського і П. І. Іваненка [6] та А. С. Даниленко, О. А. Стахів [3]; теплотворна здатність розрахунковим методом за методикою В. М. Сінченка [4].

Результати та обговорення.

Урожайність сухої маси конюшини лучної залежно від удобрення та вапнування в середньому за три роки використання в сумі за перший та другий укоси коливалася в межах від 4,6 до 12,6 т/га (рис. 1). Згідно з даними статистичного аналізу НР₀₅ становила 0,470; НР₀₁ – 0,630, що вказує на значущість усіх видів удобрення та вапнування. При цьому частка впливу фактору удобрення становить 99 %.

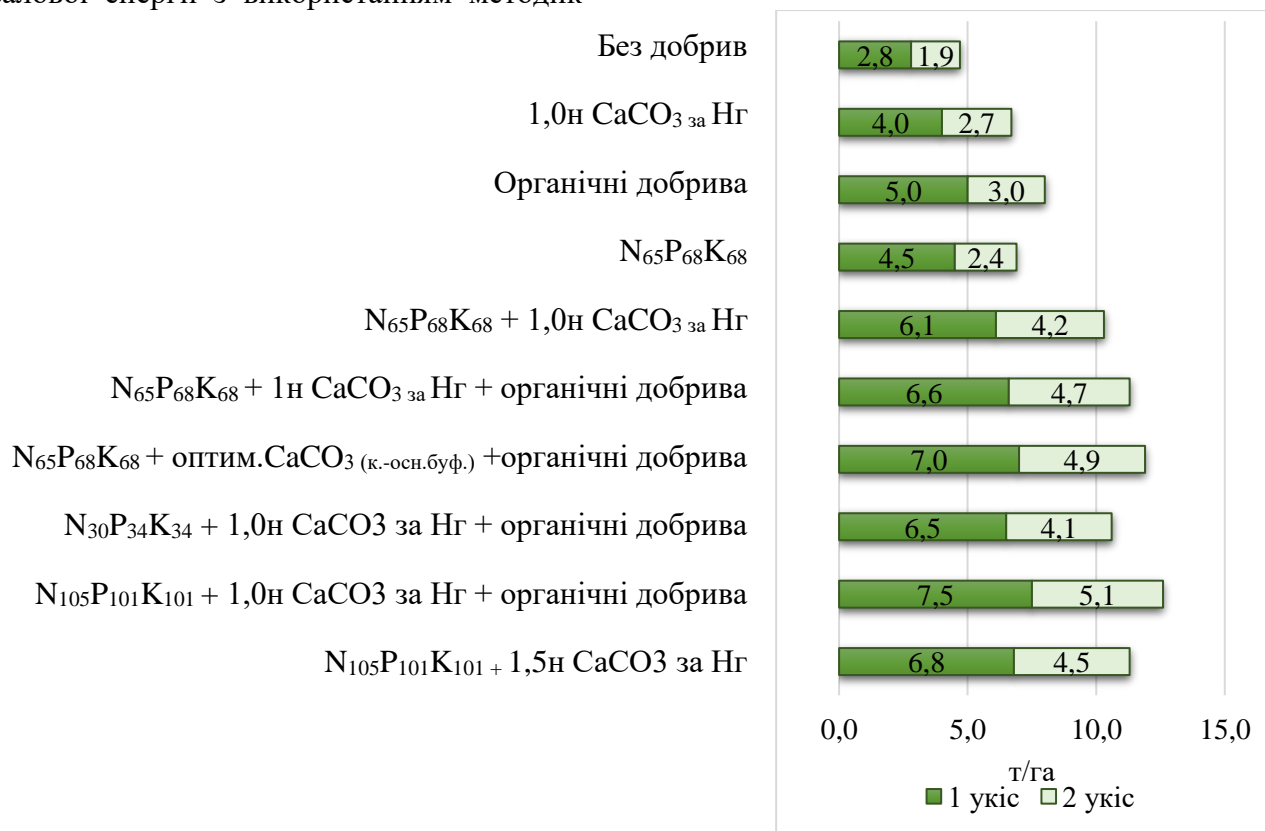


Рис. 1. Урожайність сухої маси конюшини лучної у короткоротаційній сівозміні залежно від систем удобрення і вапнування 2022–2024 рр., т/га

Внесення 6 т/га вапна забезпечило приріст сухої маси конюшини лучної в розмірі 2 т/га до неудобреного контролю, при цьому урожайність становила 6,6 т/га. За застосування мінеральних добрив урожайність становила 6,9 т/га, а за використання лише органічних добрив вона зросла до 8 т/га. Поєднане застосування мінеральних добрив (N₆₅P₆₈K₆₈) із

вапнуванням дозволило отримати 10,4 т/га сухої маси конюшини лучної, а за використання ще й органічного удобрення урожайність сухої маси становила 11,3 т/га.

Дослідження свідчать про помітний вплив доз та частоти застосування вапнякових матеріалів. Зокрема зафіксовано збільшення урожайності сухої маси на 0,9 т/га за внесення 2,5 т/га вапна

раз у ротацію в порівнянні із застосуванням 6 т/га раз у дві ротації.

Зниження дози азотних добрив наполовину зумовило зниження урожайності сухої маси на 0,6 т/га, а збільшення в півтора раза дозволило отримати на 1,3 т/га сухої маси більше. На вихід сухої маси внесення на сівозмінну площу половини норми мінеральних добрив було еквівалентно внесенню 40 т/га гною: урожайність за обох систем удобрення становила 11,3 т/га.

В першому укосі отримано 58–65 % усього урожаю, у другому відповідно

35–42 %. Найбільш рівномірно (58 % з першим укосом та 42 % з отавою) урожай сухої маси надходив за мінерального удобрення в дозі $N_{65}P_{68}K_{68}$ в поєднанні із вапнуванням та органічними добривами.

На витрати сукупної енергії спосіб використання травостою конюшини лучної не мав суттєвого значення, однак види удобрення та вапнування сильно впливали на енергетичні затрати. Сукупні енергетичні затрати енергії на вирощування конюшинового травостою без використання добрив становили 4,1 ГДж/га (табл. 1).

1. Енергетична ефективність технологій використання конюшини лучної

Удобрення сівозмінної площі	Витрати сукупної енергії, ГДж/га		Вихід валової енергії, ГДж		Коефіцієнт енергетичної ефективності	
	кормове використання	кормово-сидеральне використання	кормове використання	кормово-сидеральне використання	кормове використання	кормово-сидеральне використання
Без добрив	4,108	4,107	87,7	52,4	21,4	12,8
1,0н $CaCO_3$ за Нг	6,958	6,957	125,2	74,7	18,0	10,7
Органічні добрива	9,468	9,467	152,2	94,8	16,1	10,0
$N_{65}P_{68}K_{68}$	5,802	5,801	130,9	85,5	22,6	14,7
$N_{65}P_{68}K_{68}$ + 1,0н $CaCO_3$ за Нг	8,652	8,651	195,5	115,4	22,6	13,3
$N_{65}P_{68}K_{68}$ + 1н $CaCO_3$ за Нг + органічні добрива	14,012	14,011	214,0	125,2	15,3	8,9
$N_{65}P_{68}K_{68}$ + оптим. $CaCO_3$ (к.-осн.буф.) + органічні добрива	13,537	13,536	224,3	132,3	16,6	9,8
$N_{30}P_{34}K_{34}$ + 1,0н $CaCO_3$ за Нг + органічні добрива	13,165	13,164	201,0	122,8	15,3	9,3
$N_{105}P_{101}K_{101}$ + 1,0н $CaCO_3$ за Нг + органічні добрива	15,705	15,705	238,6	142,8	15,2	9,1
$N_{105}P_{101}K_{101}$ 1,5н $CaCO_3$ за Нг	17,130	17,130	214,6	128,8	12,5	7,5

Застосування всіх видів удобрення та вапнування сприяло збільшенню енергозатрат. Найбільш енергозатратним заходом було удобрення сівозмінної площі органічними добривами – затрати сукупної енергії зросли на 5,4 ГДж/га. За використання вапнякових матеріалів

енергозатрати зросли на 2,9 ГДж/га, а за мінерального удобрення на 1,7 ГДж/га.

Порівнюючи дози та частоту застосування вапна встановлено, що за внесення 2,5 т/га раз у ротацію затрати були нижчими на 0,5 ГДж/га в порівнянні із внесення 6 т/га раз у 2 ротації. Найбільш

енергозатратною системою удобрення (витрати сукупної енергії 17,1 ГДж/га) виявилось внесення $N_{105}P_{101}K_{101}$ в поєднанні із 9 т/га вапна раз у дві ротації.

Вихід валової енергії з конюшинового травостою коливався в межах від 52,4 до 214,6 ГДж/га і залежав як від удобрення з вапнуванням, так і від способу використання травостою. За використання зеленої маси обох укосів на корм вихід валової енергії був значно вищим і становив 87,7–214,6 ГДж/га, а за використання другого укосу на сидерат вихід валової енергії становив 52,4–128,8 ГДж/га.

За порівняння внесення лише одного виду удобрення встановлено, що найвищий вихід валової енергії забезпечують органічні добрива – 152,2 ГДж/га за кормового використання та 94,8 ГДж/га за кормово-сидерального. Поєднання різних видів удобрення та вапнування сприяло підвищенню виходу валової енергії. Найвищі показники (238,9 ГДж/га за кормового використання та 142,8 за кормово-сидерального) отримано за поєднання мінеральних добрив в дозі $N_{105}P_{101}K_{101}$ з органічними добривами та внесенням 6 т/га раз у дві ротації. Слід зазначити, що високі показники валової енергії (224,3 та 132,3 ГДж/га відповідно) забезпечило застосування $N_{65}P_{68}K_{68}$ разом з органічними добривами та внесенням вапна в дозі 2,5 т/га раз у ротацію.

Для визначення енергоефективності вирощування конюшини лучної було визначено коефіцієнт енергетичної ефективності. Враховуючи те, що при вирощуванні конюшини лучної немає побічної продукції то можемо використовувати універсальний показник, який визначається як відношення виробленої енергії до витраченої енергії [5], за методикою українських науковців [2, 3, 6] цей показник називається як коефіцієнт енергетичної ефективності технології.

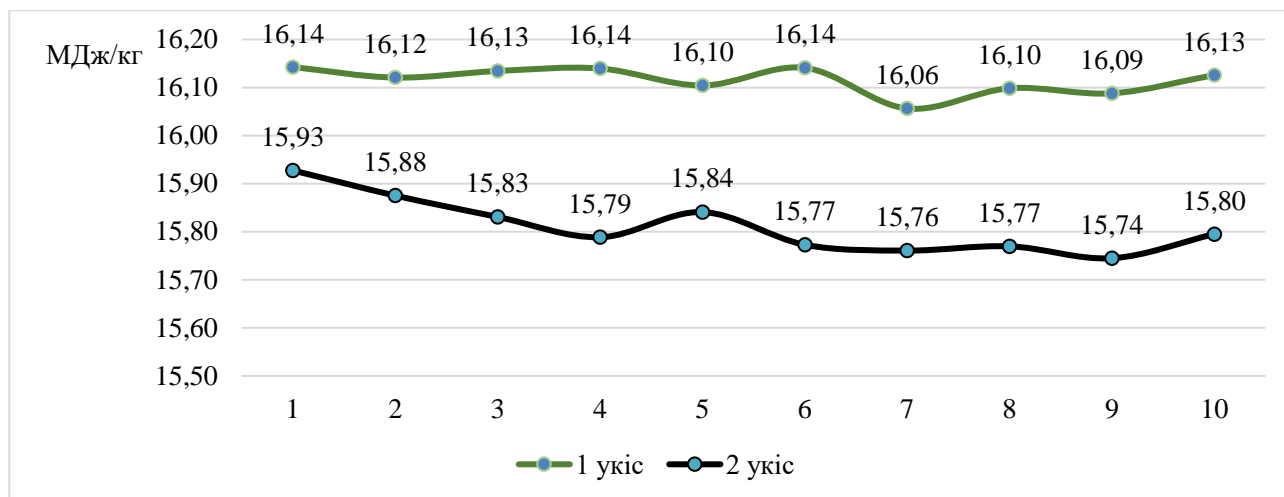
За даними Ю. О. Тараріко [9], якщо енергетичний коефіцієнт (відношення

виробленої енергії до загальних витрат антропогенної енергії) менше ніж 2 – ефективність дуже низька, 2–4 – ефективність низька, 4–6 – ефективність середня, 6–8 – ефективність висока та більше ніж 8 – дуже висока. Використовуючи цю шкалу, та аналізуючи отримані дані можна стверджувати, що усі досліджувані системи удобрення мають високу ефективність, оскільки за кормового використання коефіцієнт енергетичної ефективності коливався в межах 16,1–21,4, а за кормово-сидерального – 7,5–12,8.

Найменші коефіцієнти енергетичної ефективності зафіксовано за внесення мінеральних добрив в дозі $N_{105}P_{101}K_{101}$ в поєднанні із вапнуванням в дозі 9 т/га раз у дві ротації, що зумовлено великим затратами на дану технологію. Найвищі показники енергетичної ефективності відмічено за застосування лише мінеральних добрив: коефіцієнт енергетичної ефективності за кормового використання становив 22,6, а за кормово-сидерального – 14,4, що перевищило навіть неудобрений травостій, затрати на який були мінімальними.

За порівняння технологій, які забезпечили високі показники урожайності й містили всі види удобрення найбільш енергетично-ефективною виявилась система удобрення сівозмінної площі в якій поєднали мінеральні добрива в дозі $N_{65}P_{68}K_{68}$ з органічними та проводили вапнування в дозі 2,5 т/га раз у ротацію – коефіцієнт енергетичної ефективності становив 16,6 за кормового використання та 9,8 за кормово-сидерального.

Останнім часом все більше постає питання альтернативного використання біомаси отриманої з травостоїв. Тому було вираховано теплотворну здатність конюшини лучної. Теоретичні розрахунки показали, що урожай першого укосу характеризуються вищою теплотворною здатністю в порівнянні із другим укосом і становив 16,06–16,14 МДж/кг (рис. 2).



*Примітка: 1 – без добрив; 2 – 1,0н CaCO₃ за Нг; 3 – органічні добрива; 4 – N₆₅P₆₈K₆₈; 5 – N₆₅P₆₈K₆₈ + 1,0н CaCO₃ за Нг; 6 – N₆₅P₆₈K₆₈ + 1,0н CaCO₃ за Нг + органічні добрива; 7 – N₆₅P₆₈K₆₈ + оптим. CaCO₃ (к.-осн.буф.) + органічні добрива; 8 – N₃₀P₃₄K₃₄ + 1,0н CaCO₃ за Нг + органічні добрива; 9 – N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁ + 1,0н CaCO₃ за Нг + органічні добрива; 10 – N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁ + 1,5н CaCO₃ за Нг.

Рис. 2. Теплотворна здатність урожаю конюшини лучної за використання її біомаси в якості твердого біопалива, МДж/кг

Вища теплотворна здатність урожаю першого укосу пояснюється вищим вмістом зольних елементів у біомасі. Це підтверджено також дослідженнями В. М. Сінченка [4]. Найвищим цей показник (16,4 МДж/кг) був у біомасі, яка вирощувалася або без удобрення, або за використання мінеральних добрив в дозі N₆₅P₆₈K₆₈, або за поєднання цієї ж дози мінеральних добрив із вапнуванням та органічними добривами.

У другому укосі вміст сирової золи був значно вищим, що обумовило зниження теплотворної здатності біомаси. Найвищим цей показник (15,93 МДж/кг) був у біомасі отриманої без застосування будь-якого виду удобрення та вапнування.

Висновки. Найвища енергоефективність вирощування конюшини лучної в короткоротаційній сівозміні досягається при застосуванні комбінованих систем удобрення, що включають органічні та мінеральні добрива разом із вапнуванням. Поєднання органічних і мінеральних добрив з вапнуванням у дозі 2,5 т/га раз на ротацію

забезпечує коефіцієнт енергетичної ефективності на рівні 16,6 за кормового використання та 8,9 за кормово-сидерального при виході валової енергії 224,3 ГДж/га, та врожайності сухої маси 11,9 т/га.

Найвищий коефіцієнт енергетичної ефективності спостерігається при використанні помірних доз мінеральних добрив (N₆₅P₆₈K₆₈) і становить 22,6 та 13,3 залежно від способу використання. Використання конюшини лучної як зеленого добрива знижує вихід валової енергії, однак сприяє збереженню і покращенню родючості ґрунтів, що важливо для забезпечення стійкого розвитку агроєкосистем.

Оптимізація систем удобрення і вапнування у короткоротаційній сівозміні дозволяє не лише підвищити енергоефективність технологій вирощування конюшини лучної, але й забезпечити збереження енергетичних ресурсів та стабільність агроєкосистем у довгостроковій перспективі.

Список використаної літератури

1. Бабич А. О., Кулик М. Ф., Макаренко П. С. Методика проведення дослідів з кормовиробництва і годівлі тварин. К. : Аграрна наука, 1998. 80 с.

References

1. Babych A. O., Kulyk M. F., Makarenko P. S. Methodology for conducting experiments on feed

2. Гарькавий А. Д., Спірін А. В. Конкурентоспроможність технологій і машин : навч. посіб. Вінниця : ВДАУ Тірас, 2003. 68 с.
3. Даниленко А. С., Стахів О. А. Методика енергетичної оцінки ефективності аграрного природокористування на осушених землях. Рівне : РДТУ, 2000. 76 с.
4. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / за загальною редакцією В. М. Сінченка. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. 340 с.
5. Ключ С. В. Оцінка енергоефективності вирощування зернових культур для виробництва біопалива. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2013. № 3. С. 12–15. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kiem_2013_3_5.
6. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 205 с.
7. Панахид Г. Я., Коник Г. С., Стасів О. Ф. Економічна оцінка моделей технологій створення та використання бобово-злакових травостоїв. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. V. 3. P. 221–234. <https://are-journal.com/are/article/view/345/259>.
8. Тараріко М. Ю. Економічна та енергетична ефективність систем відтворення агроекологічних функцій радіоактивно забруднених дерново-опідзолених ґрунтів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25 (7). С. 278–283. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_7/46.pdf.
9. Тараріко Ю. О. Енергозберігаючі агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агресурсного потенціалу України. Київ : ДІА, 2011. 575 с.
10. Amaleviciute-Volunge K., Slepeliene A., Butkute B. Methane yield of perennial grasses as affected by the chemical composition of their biomass. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2020. Vol. 107, No. 3. P. 243–248 <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.031>.
11. Bioenergy from permanent grassland. Biogas / A. Prochnow et al. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. P. 4931–4944. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.070>.
12. Biomass from landscape management of grassland used for biogas production: Effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yield / C. Herrmann et al. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. P. 549–566. <https://doi.org/10.1111/gfs.12086>.
13. Changes in the area of permanent grassland and its implications for the provision of bioenergy: Slovakia as a case study / M. Kizeková et al. *Grass and Forage Science*. 2018. Vol. 73 (1). P. 218–232. <https://doi.org/10.1111/gfs.12333>.
14. Donnison I. S., Fraser M. D. Diversification and use of bioenergy to maintain future grasslands. *Food and Energy Security*. 2016. Vol. 5 (2). P. 67–75. <https://doi.org/10.1002/fes3.75>.
- production and animal feeding. K. : Ahrarna nauka, 1998. 80 p.
2. Harkavyy A. D., Spirin A. V. Competitiveness of technologies and machines : a textbook. Vinnytsya : VDAU Tiras, 2003. 68 p.
3. Danylenko A. S., Stakhiv O. A. Methodology of energy assessment of the efficiency of agricultural nature use on drained lands. Rivne : RDTU, 2000. 76 p.
4. Energy willow: technology of cultivation and use / edited by V. M. Sinchenko. Vinnytsya : TOV «Nilan-LTD», 2015. 340 p.
5. Klyus S. V. Assessment of energy efficiency of growing grain crops for biofuel production. *Kompresorne i enerhetychne mashynobuduvannia*. 2013. No. 3. P. 12–15. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kiem_2013_3_5.
6. Medvedovskiy O. K., Ivanenko P. I. Energy analysis of intensive technologies in agricultural production. Kyiv : Urozhay, 1988. 205 p.
7. Panakhyd H., Konyk H., Stasiv O. Economic evaluation of models of establishment and use technologies of legume-grass. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. V. 3. P. 221–234. <https://are-journal.com/are/article/view/345/259>.
8. Tarariko M. Yu. Economic and Energy Efficiency of the Restoration System of Radioactively Contaminated Sod-podzolic Soils Agroecological Functions. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy*. 2015. Vol. 25 (7). P. 278–283. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_7/46.pdf.
9. Tarariko Yu. O. Enerhozberihayuchi ahroekosystemy Energy-saving agroecosystems. Assessment and rational use of the agricultural resource potential of Ukraine. Kyiv : DIA, 2011. 575 p.
10. Amaleviciute-Volunge K., Slepeliene A., Butkute B. Methane yield of perennial grasses as affected by the chemical composition of their biomass. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2020. Vol. 107, No. 3. P. 243–248 <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.031>.
11. Bioenergy from permanent grassland. Biogas / A. Prochnow et al. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. P. 4931–4944. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.070>.
12. Biomass from landscape management of grassland used for biogas production: Effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yield / C. Herrmann et al. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. P. 549–566. <https://doi.org/10.1111/gfs.12086>.
13. Changes in the area of permanent grassland and its implications for the provision of bioenergy: Slovakia as a case study / M. Kizeková et al. *Grass and Forage Science*. 2018. Vol. 73 (1). P. 218–232. <https://doi.org/10.1111/gfs.12333>.
14. Donnison I. S., Fraser M. D. Diversification and use of bioenergy to maintain future grasslands. *Food and Energy Security*. 2016. Vol. 5 (2). P. 67–75. <https://doi.org/10.1002/fes3.75>.

15. Energy potential for combustion and anaerobic digestion of biomass from low-input high-diversity systems in conservation areas / K. Van Meerbeek et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015. Vol. 7. P. 888–898. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12208>.

16. Environmental Impact and Economic Benefits of Biofuel Production / G. Sahoo et al. *Bio-Clean Energy Technologies*. 2022. Vol. 1. P. 349–378. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8090-8_16.

17. Melts I., Heinsoo K. Seasonal dynamics of bioenergy characteristics in grassland functional groups. *Grass and Forage Science*. 2015. Vol. 70. P. 49–63. <https://doi.org/10.1111/gfs.12155>.

18. Melts I., Heinsoo K., Ivask M. Herbage production and chemical characteristics for bioenergy production by plant functional groups from semi-natural grasslands. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 67. P. 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.037>.

19. Nexus between trade, CO₂ emissions, renewable energy, and health expenditure in Pakistan / I. Ullah et al. *The International journal of health planning and management*, 2020. 35 (4), 818–831. <https://doi.org/10.1002/hpm.2912>.

20. Perennial biomass feedstocks enhance avian diversity / B. A. Robertson et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2011. Vol. 3. P. 235–246. <http://news.msu.edu/media/documents/2011/01/207b0463-17ac-4c31-b03f-c925f84b3566.pdf>.

21. The biomass and biogas productivity of perennial grasses / A. Kryzeviciene et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2012. Vol. 99 (1). P. 17–22. https://www.researchgate.net/publication/286063626_The_biomass_and_biogas_productivity_of_perennial_grasses.

22. The impact of natural factors and the interaction of anthropogenic resources on the productivity and energy potential of grasslands / H. Panakhyd et al. *Journal of Central European Agriculture*, 2022. Vol. 23 (2). P. 391–402. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.2.3431>.

23. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production / K. Heinsoo et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. Vol. 37. P. 86–92. https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/1/13/Heinsoo-melts-sammul-holm.pdf.

24. The relationship between economic growth, renewable and nonrenewable energy use and CO₂ emissions: empirical evidences for Brazil / J. C. A. Amarante et al. *Greenhouse Gases: Science and Technology*. 2021. 11 (3). P. 411–431. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ghg.2054>.

25. Tilvikiene V., Slepeliene A., Kadziulien Z. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Grass and Forage Science*, 2018. 73. P. 206–217. <https://doi.org/10.1111/gfs.12306>.

26. Yield and chemical composition of five common grassland species in response to nitrogen fertiliser

15. Energy potential for combustion and anaerobic digestion of biomass from low-input high-diversity systems in conservation areas / K. Van Meerbeek et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015. Vol. 7. P. 888–898. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12208>.

16. Environmental Impact and Economic Benefits of Biofuel Production / G. Sahoo et al. *Bio-Clean Energy Technologies*. 2022. Vol. 1. P. 349–378. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8090-8_16.

17. Melts I., Heinsoo K. Seasonal dynamics of bioenergy characteristics in grassland functional groups. *Grass and Forage Science*. 2015. Vol. 70. P. 49–63. <https://doi.org/10.1111/gfs.12155>.

18. Melts I., Heinsoo K., Ivask M. Herbage production and chemical characteristics for bioenergy production by plant functional groups from semi-natural grasslands. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 67. P. 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.037>.

19. Nexus between trade, CO₂ emissions, renewable energy, and health expenditure in Pakistan / I. Ullah et al. *The International journal of health planning and management*, 2020. 35 (4), 818–831. <https://doi.org/10.1002/hpm.2912>.

20. Perennial biomass feedstocks enhance avian diversity / B. A. Robertson et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2011. Vol. 3. P. 235–246. <http://news.msu.edu/media/documents/2011/01/207b0463-17ac-4c31-b03f-c925f84b3566.pdf>.

21. The biomass and biogas productivity of perennial grasses / A. Kryzeviciene et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2012. Vol. 99 (1). P. 17–22. https://www.researchgate.net/publication/286063626_The_biomass_and_biogas_productivity_of_perennial_grasses.

22. The impact of natural factors and the interaction of anthropogenic resources on the productivity and energy potential of grasslands / H. Panakhyd et al. *Journal of Central European Agriculture*, 2022. Vol. 23 (2). P. 391–402. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.2.3431>.

23. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production / K. Heinsoo et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. Vol. 37. P. 86–92. https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/1/13/Heinsoo-melts-sammul-holm.pdf.

24. The relationship between economic growth, renewable and nonrenewable energy use and CO₂ emissions: empirical evidences for Brazil / J. C. A. Amarante et al. *Greenhouse Gases: Science and Technology*. 2021. 11 (3). P. 411–431. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ghg.2054>.

25. Tilvikiene V., Slepeliene A., Kadziulien Z. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Grass and Forage Science*, 2018. 73. P. 206–217. <https://doi.org/10.1111/gfs.12306>.

application and phenological growth stage / C. King et al. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2012. V. 62. P. 644–658. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.687055>.

27. Zhu P., Xiao L., Yang S. Effect of harvesting time on biomass and combustion quality of *Miscanthus lutarioriparius* in Dongting lake area. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2024. Vol. 52 (2). 13575. <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/13575>.

26. Yield and chemical composition of five common grassland species in response to nitrogen fertiliser application and phenological growth stage / C. King et al. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*. 2012. V. 62. P. 644–658. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.687055>.

27. Zhu P., Xiao L., Yang S. Effect of harvesting time on biomass and combustion quality of *Miscanthus lutarioriparius* in Dongting lake area. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2024. Vol. 52 (2). 13575. <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/13575>.