

УДК 633.2:633.3

© 2021

ПРОДУКТИВНІСТЬ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН ПРИ ВИРОЩУВАННІ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТРЕБ

В.Г. Кургак¹, С.М. Слюсар²

¹доктор сільськогосподарських наук, професор

²кандидат сільськогосподарських наук

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 2 б, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: ¹kurgak_luki@ukr.net

ORCID: ¹0000-0003-2309-0128

Надійшла 9.07.2021

Мета. Провести порівняльну оцінку багаторічних трав'янистих культур за енергетичною продуктивністю біомаси та оптимізувати строки збирання для виробництва твердого біопалива. **Методи.** Польовий, лабораторний, математико-статистичний, розрахунково-порівняльний. **Результати.** Наведено результати досліджень із добору малопоширених енергетичних культур та оптимізації строків їх скошування з метою виробництва твердих видів біопалива в умовах Правобережного Лісостепу України. Найвищим лінійним ростом характеризувався травостій топінамбура 1-го року користування. Діаметр стебла енергетичних культур становив 2,8 – 16,8 мм. Найбільший діаметр стебла мали гірчаки, сіда багаторічна і топінамбур 1-го року користування. Найбільшою щільністю та енергоємністю 1 м³ сухої непресованої січки характеризувалися сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський із параметрами відповідно 125 – 138 кг/м³ і 2 – 2,56 ГДж. Оптимізовано строки скошування культур під час збирання врожаю в осінній період для виготовлення твердого біопалива за вмістом сухої речовини в біомасі. **Висновки.** Із багаторічних енергетичних культур на темно-сірих опідзолених ґрунтах найпродуктивнішими є міскантус гігантський, сильфій пронизанолистий, гірчаки Вейріха та сахалінський, сіда багаторічна, топінамбур 1-го року користування з параметрами 11,1 – 15,8 т/га сухої маси, 194 – 281 ГДж/га теплової енергії та 6 – 8,6 т/га у. п. Збиральна стиглість досліджуваних культур (за винятком щавлю кормового) для виробництва твердого біопалива настає в пізньоосінній період (10.11). Найбільш технологічними культурами для виготовлення твердого біопалива з найбільшим умістом сухої речовини (83 – 87%) у біомасі, які не потребують досушування, є сіда багаторічна, гірчак Вейріха і лофант анісовий, а найменш технологічними – топінамбур і сильфій пронизанолистий з умістом сухої речовини 52 – 60%.

Ключові слова: енергоємність, суха біомаса, тепла енергія, умовне паливо.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-06>

Україна має значний потенціал усіх видів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) (гідроенергія, енергія вітру, сонячна енергія,

енергія біомаси тощо), але найбільш доступним і економічно доцільним у наших умовах є реалізація потенціалу біомаси. Нині її

частка в енергопостачанні країни становить майже 0,5% (0,7 млн т ум. п.), водночас світове споживання біомаси як пального — майже 2 млрд т ум. п., що дорівнює майже 14% загального споживання енергоносіїв. Ці дані наочно показують ступінь залежності економіки від викопних видів палива, але доводять доцільність і перспективність розвитку відновлювальних джерел енергії [1, 2].

Частка енергії, яку отримують із біомаси в загальному обсязі відновлювальних джерел енергії, становить майже 80%. Вона й надалі залишатиметься основним і найперспективнішим джерелом альтернативної викопним видам палива енергії. Це зумовлено можливістю отримувати з біомаси паливо в будь-якому стані (рідина, газ, тверде паливо) і виробляти енергію в будь-якій формі [1, 3].

Перспективними для отримання твердого біопалива у вигляді брикетів і пелетів є енергетичні і трав'яністі рослини, які можуть давати великі прирости біомаси за відносно короткий період часу.

Виробництво енергії з відновлювальних джерел, включаючи біомасу, динамічно розвивається в більшості країн Європи, де частка біомаси в загальному споживанні енергоносіїв у європейських розвинених країнах сягає 20% [4].

Згідно з проведеними розрахунками Україна має значні потенційні можливості виробництва енергетичних рослинних біоресурсів: теоретичний потенціал біомаси — майже 50 млн т ум. п., економічно доцільний — 25–27 млн т, нетрадиційні трав'яністі багаторічні енергетичні культури (сильфій, топінамбур, міскантус тощо) — 0,60 і 0,35 млн т [5–7].

Виробництво енергії на основі нових високопродуктивних трав'янистих енергетичних культур, малопоширених в аграрному секторі України, має очевидні переваги. Вихід теплової енергії з 1 га за вирощування енергетичних культур різний [8]. Із трав'янистих енергетичних культур найбільший вихід енергії для виробництва твердих видів палива можна отримати із сорго цукрового, кукурудзи, міскантусу, світчграсу [1].

При виведенні з активного обробітку земель, розміщених в ерозійно небезпечній зоні агроландшафтів (під природні кормові

угіддя та заліснення), на частині цих площ можна вирощувати багаторічні трав'яністі культури, зокрема й малопоширені, які не лише надійно захищатимуть ґрунт від ерозії, а й стануть джерелом біосировини для виготовлення твердих видів палива (паливних брикетів, гранул тощо) у сільській місцевості [6–10].

Мета досліджень — провести порівняльну оцінку багаторічних трав'янистих культур за енергетичною продуктивністю біомаси та оптимізувати строки їх збирання для виробництва твердого біопалива.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження з вивчення енергетичної продуктивності малопоширених багаторічних трав'янистих культур проведено впродовж 2011–2016 рр. у зоні Лісостепу України на темно-сірому опідзоленому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті в ННЦ «Інститут землеробства НААН» (сmt Чабани) на фоні щорічного внесення рано навесні $N_{60}P_{60}K_{60}$. Уміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см — 2,4%; pH — 5,2; гідролітична кислотність — 4,2 мг-екв./100 г ґрунту; уміст лужногідролізованого азоту — 13,1, рухомого фосфору — 17,1, обмінного калію — 12,9 мг/100 г ґрунту.

Погодні умови в роки досліджень загалом були сприятливими для вегетації енергетичних культур. Більш сприятливими, зокрема й за кількістю опадів, вони були у весняно-літній період, менш сприятливими — в осінній. Недостатня кількість опадів за вищої від норми температури повітря в серпні та вересні негативно не вплинула на подальше формування врожаю енергетичних культур. Проте слід зазначити, що настання приморозків у жовтні призвело до припинення вегетації цих культур, що сприяло пришвидшенню зневоднення і настання збиральної стиглості в кінці місяця. В окремі роки приморозки траплялися в листопаді, що подовжувало вегетацію енергетичних культур і затримувало строки збирання їх на біопаливо.

Польові дослідження виконували згідно із загальноприйнятими методиками [11]. Облік урожаю проводили методом суцільного скошування біомаси на обліковій ділянці та зважування її в період настання збиральної стиглості для заготівлі твердих видів палива в 4-разовому повторенні. Уміст у біомасі

сухої речовини визначали під час обліку врожаю висушуванням сировини в сушильній шафі за температури 105°C.

Уміст теплової (валової) енергії (МДж) в 1 кг сухої речовини біомаси визначали згідно з ДСТУ [12] за формулою:

$$BE = 0,240СП + 0,398СЖ + 0,201СК + 0,175БЕР,$$

де СП — уміст у сухій речовині біомаси сирого протеїну, %; СЖ — сирого жиру, %; СК — сирогої клітковини, %; БЕР — уміст у сухій речовині безазотистих екстрактивних речовин, %; 0,240; 0,398; 0,201; 0,175 — постійні енергетичні коефіцієнти.

У сухій рослинній масі визначення умісту сирих протеїну, жиру і клітковини проводили методом інфрачервоної спектроскопії, уміст безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) — розрахунковим методом за ДСТУ [13].

Агрохімічні показники ґрунту визначали на початку проведення дослідів у шарі ґрунту 0–20 см за загальноприйнятими методиками: гумус — за Тюріним згідно з ДСТУ [14]; легкогідролізований лугом азот — за Корнфілдом згідно з ДСТУ [15], рухомі фосфор і калій — за Кірсановим та Мачигінім згідно з ДСТУ [16], рН (сольовий) — потенціометричним методом згідно з ДСТУ [17].

Математичну обробку одержаних експериментальних даних у досліді здійснювали методом дисперсійного аналізу [18].

Результати досліджень. Дослідження показали (табл. 1), що в середньому за 2011–2016 рр. з унесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ малопоширені енергетичні культури забезпечили одержання 5,3–15,8 т/га сухої речовини, 88–313 ГДж/га теплової енергії та 2,8–8,6 т/га ум. п.

За продуктивністю з 11-ти досліджуваних багаторічних культур (гірчак сахалінський, міскантус гігантський, сіда багаторічна, сильфій пронизанолистий, гірчак Вейріха, топінабур, гірчак забайкальський, щавель кормовий, золотушник пізній, гісоп лікарський, лофант анісовий) і однорічної культури (соняшник) найпродуктивнішими в середньому за 2011–2016 рр. виявилися гірчак сахалінський, сіда багаторічна і топінабур першого року користування (14,6–16,2 т/га сухої маси, 260–281 ГДж/га теплової енергії і 7,8–8,8 т/га у. п. Середнім рівнем енергетичної продуктивності характеризувалися всі гірчаки (Вейріха, забайкальський, сахалінський), сильфій пронизанолистий, топінабур, міскантус гігантський першого року користування, золотушник канадський, щавель кормовий і соняшник звичайний

1. Порівняльна енергетична продуктивність трав'янистих культур (середнє за 2011–2016 рр.)

Культура	Суха маса, т/га	Теплова енергія, ГДж/га	Умовне паливо, т/га
Гірчак Вейріха (<i>Polygonum Weyrichii</i> Fr. Schm.)	12,2	214	6,7
Гірчак забайкальський (<i>Polygonum divaricatum</i> L.)	10,0	176	5,8
Гірчак сахалінський (<i>Polygonum sachalinensis</i> L.)	14,6	260	7,8
Гісоп лікарський (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)	5,3	94	2,8
Сіда багаторічна (<i>Sida hermaphrodita</i> Rusby)	15,8	281	8,6
Сильфій пронизанолистий (<i>Silphiumperfoliatum</i> L.)	11,6	206	6,4
Топінабур (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	12,6	224	6,9
Топінабур (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) 1-го року життя	16,2	281	8,8
Міскантус гігантський 1-го року життя (<i>Miscanthus giganteus</i> J.M. Greef)	11,5	201	6,9
Лофант анісовий (<i>Agastache oeniculum</i> (Pursh) Kuntze)	5,6	98	3,1
Золотушник канадський (<i>Solidago canadensis</i> L.)	9,0	158	3,1
Щавель кормовий (<i>Rumex confertus</i> Willd.)	9,2	166	4,0
Соняшник однорічний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	11,1	194	6,0
HIP ₀₅ , т/га	0,5	—	—
Примітка. Показники продуктивності міскантусу гігантського наведено в середньому за 2011–2015 рр.			

(відповідно 9,0–12,6 т/га, 158–214 ГДж/га і 3,1–6,9 т/га у.п.), малопродуктивними були ефіроолійні й медоносні лофант і гісоп лікарський (5,3–5,6 т/га і 94–98 ГДж/га і 2,8–3,6 т/га у.п.).

У середньому за 2011–2016 рр. найперспективнішими щодо технологічності вирощування та достатньої продуктивності виявилися сіда багаторічна, топінамбур, гірчак сахалінський, сильфій пронизанолистий, гірчак Вейріха, міскантус гігантський та соняшник однорічний.

Біометричні показники травостоїв енергетичних культур перед збиранням біомаси наведено в табл. 2. Найвищим лінійним ростом в умовах цього року характеризувався травостій топінамбура 1-го року життя, середня висота рослин якого становила 3,20 м. На другому місці за висотою були гірчак сахалінський, сіда багаторічна і сильфій пронизанолистий (2,73–3,05 м), на третьому — гірчаки (Вейріха і забайкальський), топінамбур (насаджень минулих років), міскантус гігантський і соняшник (1,98–2,49 м), на останньому — гісоп лікарський і лофант анісовий (0,59–1,09 м).

Діаметр стебла енергетичних культур становив 2,8–16,8 мм. Найбільшим діаметром стебла характеризувалися гірчаки, сіда багаторічна, топінамбур насаджень 1-го

року (14,0–16,8 мм), дещо меншим — топінамбур, сильфій пронизанолистий, соняшник однорічний (11,6–12,2 мм). Найменший діаметр стебла був у гісопу лікарського і лофанта анісового. Щільність непресованої сухої січки зі стебел досліджуваних трав'янистих рослин становила 40–138 кг/м³. Найбільшою щільністю характеризувалися сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський (125–138 кг/м³), що опосередковано свідчить про їхню найвищу теплотворну здатність, найменшою — гісоп лікарський, лофант анісовий, і особливо соняшник однорічний.

Частка листків у структурі насаджень була в межах 5–34%. Найбільша вона у золотушника канадського, гісопу лікарського, топінамбура, міскантуса гігантського та соняшнику (30–34%), найменша — у гірчаків (Вейріха, забайкальського та сахалінського), сіди багаторічної, сильфію пронизанолистого, лофанта анісового (5–22%).

Густота стеблостою досліджуваних енергетичних культур становила 14–352 шт./м². Низькорослі рослини гісоп, лофант та золотушник характеризувалися найбільшою густотою (78–352 шт./м²), найменшою (14–38 шт./м²) — високорослі рослини, особливо насаджень топінамбура поточного року,

2. Порівняльна оцінка біометричних показників малопоширених енергетичних багаторічних та однорічних культур (середнє за 2015–2016 рр.)

Культура	Висота, см	Діаметр стебла, мм	Ступінь вилягання, %	Густота травостою, шт./м ²	Частка листків, %	Маса 1 м ³ сухої січки зі стебел, кг
Гірчак Вейріха	249	16,8	50–70	34	5	115
Гірчак забайкальський	236	15,4	20–30	33	22	126
Гірчак сахалінський	305	15,6	—	38	21	103
Гісоп лікарський	59	2,8	—	352	34	73
Сіда багаторічна	275	14,6	—	50	13	128
Сильфій пронизанолистий	273	11,7	—	54	27	92
Топінамбур	221	12,2	—	21	30	138
Топінамбур 1-го року життя	320	14,0	—	14	25	106
Міскантус гігантський	220	9,3	—	63	27	125
Лофант анісовий	109	4,1	—	78	20	72
Золотушник канадський	139	5,5	—	158	30	71
Щавель кормовий	138	8,9	—	40	27	—
Соняшник однорічний	198	11,6	—	38	32	40
НІР _{0,5}	11	0,8	—	6	3	7

для якого, на відміну від старих плантацій, характерне посилене гілкування в нижній частині стебел.

Оцінка придатності досліджуваних видів до механізованого збирання з метою виготовлення твердого палива показала, що більшість досліджуваних видів енергетичних культур на фоні внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ не вилягли, що свідчить про їхню придатність до проведення цього технологічного процесу. Серед досліджуваних видів певне вилягання стебел було зафіксовано в гірчака Вейріха з нахилом 50–70%, що свідчить про певні труднощі зі збиранням. На 20–30% були нахилені стебла гірчака забайкальського та верхівки гірчака сахалінського. Отже, щодо можливого вилягання найпридатнішими для механізованого збирання виявилися гірчак сахалінський, сильфій пронизанолістий, сіда багаторічна, топінамбур і міскантус гігантський.

Аналіз вмісту сухої маси в біомасі енергетичних культур (табл. 3) показав, що на період проведення обліків (I–II декади жовтня) у 2015 р. він становив 46,6–57,4%. За цим показником біомаса потребує досушування до стандартного вмісту сухої маси (11–13%) та додаткових витрат після

збирання під час виготовлення твердого біопалива.

Найбільшим умістом сухої речовини в біомасі характеризувалися щавель, сіда багаторічна, міскантус гігантський, золотушник канадський, гірчаки (Вейріха та забайкальський) і сильфій пронизанолістий (53,3–57,4%), найменшим — топінамбур і гірчак сахалінський (46–47%).

Уміст теплової енергії в сухій біомасі енергетичних культур був у межах 17,4–18,2 МДж/кг і мало залежав від культури. На відміну від енергоємності в розрахунку на 1 кг сухої маси січки енергоємність 1 м³ сухої січки досліджуваних малопоширених культур у зв'язку з різною щільністю 1 м³ істотно різнилися і становила 1,17–2,56 ГДж/м³, що свідчить про їхню найвищу теплотворну здатність.

Аналіз визначення вмісту сухої маси в листопаді показав, що в умовах сухої і відносно теплої погоди з нічними приморозками її кількість у всіх видах енергетичних культур збільшилася на 10,3–38,8% і становила 51,5–81,1%, що свідчить про менші витрати на досушування порівняно з попереднім терміном відбирання зразків. Найбільший уміст сухої маси був у гірчаках

3. Уміст сухої маси і теплової енергії в енергетичних культурах (середнє за 2015–2016 рр.)

Культура	Уміст						
	сухої маси за різних строків скошування, %					теплової енергії в сухій січці	
	09.09	28.09	23.10	01.11	10.11	МДж/кг	ГДж/м ³
Гірчак Вейріха	47,3	49,7	55,0	81,1	86,5	17,7	1,77
Гірчак забайкальський	33,1	42,7	53,3	73,1	78,2	18,0	2,32
Гірчак сахалінський	33,8	42,3	47,2	63,9	68,8	17,9	1,79
Гісоп лікарський	32,1	42,3	49,7	65,3	72,0	18,2	1,13
Сіда багаторічна	46,7	51,7	58,4	77,4	84,1	17,7	2,34
Сильфій пронизанолістий	23,6	31,3	53,4	51,5	56,2	18,0	1,73
Топінамбур	36,7	46,5	48,3	55,9	60,0	17,8	2,56
Топінамбур 1-го року життя	38,2	42,4	46,6	47,6	52,3	17,4	2,00
Міскантус гігантський	41,4	44,5	56,9	62,8	70,3	17,4	2,37
Лофант анісовий	42,5	44,5	47,7	77,9	83,0	18,1	1,19
Золотушник канадський	36,4	46,5	56,8	62,4	79,0	17,7	1,17
Щавель кормовий	53,2	—	—	—	—	17,8	0,75
Соняшник однорічний	43,2	45,2	57,4	60,7	77,3	17,9	0,74
НІР _{05, %}	—	—	3,5	—	—	0,6	0,08

Вейріха і забайкальського, сіди багаторічної та лофанта анісового (73,1–81,1%), що підтверджує можливість підбирання їхньої біомаси в цей період для виготовлення твердого біопалива без досушування. Проведений аналіз 07.11.2014 р. через 4 дні після попереднього відбирання зразків у день скошування травостоїв показав, що за теплої і сухої сонячної погоди вміст сухої маси збільшився на 5–17% і становив 52,3–86,5%. Закономірність умісту сухої маси зберігалася з попереднім обліком.

Найменшим умістом сухої маси характеризувалися сильфій пронизанолистий і топінамбур (особливо 1-го року життя (56,2–60,0%)), що свідчить про необхідність досушування біомаси в технологічному циклі виготовлення пілетів чи гранул під час збирання.

Уміст теплової енергії в сухій біомасі малопоширених енергетичних культур був у межах 17,4–18,2 МДж/кг і мало залежав від культури. Дещо більшим умістом

теплової енергії в 1 кг сухої біомаси характеризувалися гісоп і лофант, меншим — топінамбур і міскантус. На відміну від енергоємності в розрахунку на 1 кг сухої маси січки енергоємність 1 м³ сухої січки досліджуваних енергетичних культур у зв'язку з різною щільністю 1 м³ істотно різнилася і становила 1,13–2,56 ГДж/м³. Найбільшу енергоємність 1 м³ сухої січки мали сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський (2,00–2,56 ГДж), що свідчить про їхню найвищу теплотворну здатність, найменшу — гісоп лікарський, лофант анісовий і, особливо соняшник однорічний (0,75–1,19 ГДж). Гірчаки Вейріха, сахалінський та сильфій пронизанолистий за цим показником займали середнє положення.

Отже, визначені нами як перспективні енергетичні культури за продуктивністю під час збирання у фазі дозрівання насіння відповідають технічним вимогам і є придатними для використання на тверде біопаливо.

Висновки

Із багаторічних енергетичних культур на темно-сірих опідзолених ґрунтах найпродуктивнішими є міскантус гігантський, сильфій пронизанолистий, гірчаки Вейріха та сахалінський, сіда багаторічна, топінамбур перших 2–3-х років користування з параметрами 11,1–15,8 т/га сухої маси, 194–281 ГДж/га теплової енергії та 6,0–8,6 т у. п.

Збиральна стиглість досліджуваних культур (за винятком щавлю кормового) для виробництва твердого біопалива настає в пізньоосінній період (10.11). Найбільш технологічними культурами для виготовлення твердого біопалива з найбільшим умістом сухої речовини (83–87%) в біомасі, які не потребують досушування, є сіда багаторічна, гірчак Вейріха і лофант анісовий, найменш

технологічними — топінамбур і сильфій пронизанолистий з умістом сухої речовини 52–60%.

Найвищими є топінамбур першого року користування, сіда багаторічна, гірчак сахалінський, сильфій пронизанолистий із середньою лінійною висотою 2,73–3,20 м, найнижчими — гісоп лікарський і лофант анісовий (0,59–1,09 м). Діаметр стебла енергетичних культур становить 2,8–16,8 мм. Найбільший діаметр мали гірчаки, сіда багаторічна і топінамбур 1-го року користування.

Найбільшою щільністю та енергоємністю 1 м³ сухої непресованої січки характеризувалися сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський із параметрами 125–138 кг і 2,00–2,56 ГДж відповідно.

Kurhak V.¹, Sliusar S.²

NSC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b Mashynobudivnykiv Str., Chabany village, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: ¹kurhak_luki@ukr.net

Productivity of perennial herbal plants when grown for energy needs

Goal. To carry out a comparative assessment of perennial grasses on the energy productivity of biomass and optimize harvesting times for the production of solid biofuels. **Methods.** Field, laboratory, mathematical and statistical, computational and comparative. **Results.** The results of researches on the selection of uncommon energy crops and

optimization of terms of their mowing for production of solid types of biofuels in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine are given. The highest linear growth was characterized by the Jerusalem artichoke grassland of the 1st year of use. The diameter of the stem of energy crops was 2.8–16.8 mm. The largest diameter of the stem had stagger bushes, perennial mallow, and Jerusalem artichoke of the 1st year of use. The highest density and energy consumption of 1 m³ of dry unpressed wood was characterized by perennial mallow, Jerusalem artichoke, giant miscanthus, Transbaikalian stagger bush with parameters of 125–138 kg/m³ and 2–2.56 GJ, respectively. The terms of mowing crops during harvesting in the autumn period for the production of solid biofuels according to the dry matter content in biomass have been optimized. **Conclusions.** Of the perennial energy crops on dark gray soils, the most productive

are: giant miscanthus, *Silphium perfoliatum* L., Weirich and Sakhalin stagger bushes, perennial mallow, Jerusalem artichoke of the 1st year of use with the parameters of 11.1–15.8 t/ha of dry weight, 194–281 GJ/ha of warm energy and 6–8.6 t/ha of equivalent fuel. Harvest maturity of the studied crops (except for fodder sorrel) for the production of solid biofuels occurs in the late autumn period (10.11). The most technological crops for the production of solid biofuels with the highest dry matter content (83–87%) in biomass that do not require drying are: perennial mallow, Weirich stagger bush and *Lophanthus anisatus*. And the least technological crops are Jerusalem artichoke and *Silphium perfoliatum* L. with a dry matter content of 52–60%.

Key words: energy consumption, dry biomass, thermal energy, conventional fuel.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-06>

Бібліографія

1. Гелетука Г.Г., Жбесзна Т.А., Жовмір М.М. та ін. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2010. Т. 32. № 6. С. 58–65.
2. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance) OJ L 140, 5.6.2009. P. 16–62 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, ER, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV) Special edition in Croatian: Chapter 15 V. 011. P. 39–85.
3. Тутко Р., Калініченко В. Відновлювальні Джерела Енергії (Досвід Польщі для України). Варшава: QWG, 2010. С. 401–455.
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р. Київ. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року.
5. Директива Кабінету Міністрів № 145 від 15 березня 2006 р. Енергетична стратегія України на період до 2030 р.
6. Кургак В.Г., Левковський А.М., Єфремова Г.В., Лещенко О.Ю. Біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 2013. Вип. 19. С. 63–67.
7. Kurhak V.H., Tkachenko M.A., Asanishvili N.M. et. al. Energy productivity of uncommon herbs for solid fuel manufacturing. *Ukrainian J. of Ecology*. 2021. № 1. P. 299–305. doi: 10.15421/2021_45
8. Кургак В.Г., Ткаченко А.М. Біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 2. С. 15–20.
9. Kurgak V.G. Panasyuk S.S., Asanishvili N.M. et. al. Influence of perennia legume on the productivity of meadow phytocenoses. *Ukrainian J. of Ecology*. 2020. № 6. P. 310–315. doi: 10.15421/2020_298
10. Petrychenko V., Kurgak V., Rybak S. Bio-energy potential of meadows of Ukraine. EGF at 50: *The Future of European Grasslands/Pr. of 25th Gen. Meeting of the Europ. Grassland Federation*. Aberystwyth, Wales., 2014. P. 143–145.
11. Методика проведення дослідів по кормовиробництву; за ред. А.О. Баби́ча. Вінниця. 1994. 87 с.
12. ДСТУ 8066:2015. Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 12 с.
13. ДСТУ 4674:2006. Сіно. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 15 с.
14. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
15. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
16. ДСТУ 4115-2002 ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чірікова. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 10 с.
17. ДСТУ ISO 10390:2001. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:1994, IDT). Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Колос, 1979. 416 с.