



Рослинництво, кормовиробництво

УДК 577.3:633.2:636.386

© 2016

В.Г. Кургак,

*доктор сільсько-
господарських наук*

А.М. Ткаченко

*Національний
науковий центр
«Інститут
землеробства НААН»*

БІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ ФІТОЦЕНОЗІВ

Мета. Визначити біоенергетичний потенціал трав'янистих фітоценозів України та дати пропозиції щодо його реалізації.

Методи. Системний аналіз, польовий, лабораторний, економіко-математичний.

Результати. Показано біоенергетичний потенціал трав'янистих фітоценозів України та енергетичну продуктивність малопоширених багаторічних культур і різнотипних лучних травостоїв залежно від технологічних способів вирощування. **Висновки.** Багаторічні агрофітоценози (природні кормові угіддя, рослинність плавнів і боліт та енергетичні культури) є важливим резервом виробництва біопалива з біомаси. Найпродуктивніші багаторічні енергетичні культури (міскантус гігантський, сильфій пронизанолистий, гірчак Вейріха та сахалінський, сіда багаторічна, топінамбур) забезпечують одержання з 1 га 14–18 т сухої маси та 250–300 ГДж теплової енергії, поліпшені природні кормові угіддя — відповідно 4–6 т і 75–110 ГДж.

Ключові слова: багаторічні трав'янисті фітоценози, біоенергетика, біомаса, енергетичний потенціал, природні кормові угіддя, продуктивність.

Розвиток і використання на біопаливо відновлюваних джерел енергії, зокрема рослинної біомаси, відіграють важливу роль у зменшенні енергетичної залежності України. У зв'язку з подорожчанням енергетичних ресурсів обсяги відновлюваної енергії разом із біомасою успішно використовують у всьому світі. Нині майже 80% світових поставок енергоносіїв становить невідновлюване викопне паливо. За сучасних темпів споживання всіх видів традиційних енергоресурсів вистачить приблизно на 60 років [11]. За обсягами виробництва біомаса як паливо займає 4-те місце у світі. Її частка

в загальному виробництві первинної енергії — 10%. У країнах Європейського Союзу частка біомаси в загальному споживанні енергії становить 7% [9]. У лідерів країн ЄС (Латвії, Фінляндії, Швеції, Данії, Австрії) частка біомаси у валовому енергоспоживанні — 16–28%, в Україні — дещо більше 1%. Серед усіх видів біомаси частка твердої біомаси є найбільшою — 80% і залежно від країни становить 0–94%. Найбільша вона у Фінляндії.

Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання, і всі передумови для розширеного

використання на паливо. Енергетична стратегія України до 2030 р. [4] передбачає динамічне зростання обсягів використання енергії біомаси в 2030 р. до 20 млн т умовного палива (у.п.), що становитиме 10% від загального енергоспоживання. За даними Інституту теплофізики НАН України, в Україні повне використання на біопаливо енергетичних культур на площі 5 млн га дасть змогу довести виробництво енергії з біомаси до 18% від загального її споживання [2]. Економічно доцільний потенціал біомаси (без торфу) оцінюється в 34 млн т у.п./рік [1].

Аналіз літературних джерел [2, 3, 5, 6] показав, що досліджень із вивчення енергетичного потенціалу багаторічних трав'янистих фітоценозів України та розроблення заходів із підвищення їх енергетичної продуктивності донині проведено недостатньо. Актуальність вивчення цих питань підвищується через значне подорожчання невідновлюваних первинних джерел енергії та зменшення потреби у трав'яних кормах з огляду на зменшення поголів'я худоби [1, 7].

Мета досліджень — визначити біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів України та дати пропозиції щодо

його реалізації.

Методика досліджень. Дослідження проведено за загальноприйнятими польовими, лабораторними методами з використанням вимірювально-вагового, розрахунково-порівняльного, хімічного та математико-статистичного методів. Уміст валової енергії розраховували за даними хімічного складу сухої речовини біомаси [7].

Результати досліджень. Використання рослинної біомаси багаторічних трав'янистих фітоценозів на біопаливо є альтернативним їх використанням. Аналіз ресурсу біопалива в Україні показав, що енергетичний економічно виправданий потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів — 7,05 млн т у.п./рік, що становить близько 20% від усього економічно доцільного потенціалу біомаси (солони та відходів виробництва, біоенергетичних культур, деревної біомаси, біогазу, біоетанолу тощо), — 33,92 млн т у.п. Зокрема, на природні кормові угіддя припадає 4,22 млн т у.п., або 12%, плавні і болота — 2,48, або 7%, нетрадиційні енергетичні культури — 0,35 млн т у.п., або 1%.

З енергетичних багаторічних фітоценозів на особливу увагу в Україні заслуговують природні кормові угіддя, площа яких становить близько 6,6 млн га. На відміну від попередніх

1. Вплив видового і сортового складу бобових компонентів травосумішей на продуктивність бобово-злакових сіяних травостоїв (2012–2014 рр.)

Склад траво- і сортосумішей та норми висіву насіння, кг/га	Без вапнування			Вапнований фон		
	Суша маса, т/га	Теплова енергія, ГДж/га	Умове паливо, т/га	Суша маса, т/га	Теплова енергія, ГДж/га	Умове паливо, т/га
Злаки	6,10	108,1	3,33	6,58	115,7	3,60
Злаки + конюшина лучна Полянка, 9	10,80	189,3	5,90	11,71	199,1	6,40
Злаки + конюшина лучна Полісянка, 9	10,77	179,8	5,89	11,56	204,6	6,32
Злаки + конюшина лучна Полянка, 4,5 і Полісянка, 4,5	11,51	202,9	6,29	12,02	212,2	6,57
Злаки + люцерна посівна Ольга, 10	8,05	142,2	4,40	10,52	184,6	5,75
Злаки + люцерна посівна Інтенсивна 174, 10	8,02	143,0	4,38	10,67	189,4	5,83
Злаки + люцерна посівна Ольга, 5 і Інтенсивна 174, 5	8,25	147,1	4,51	10,78	190,7	5,89
Злаки + лядвенець український і місцевий, 5	8,20	143,1	4,48	8,52	151,2	4,66
Злаки + лядвенець український і місцевий, 2,5 + конюшина лучна Полянка, 4,5	10,38	181,1	5,67	10,5	185,6	5,74
Злаки + конюшина повзуча Спринт, 5	7,82	137,0	4,27	7,98	140,4	4,36
Злаки + N ₁₂₀	10,30	180,5	5,63	10,91	185,1	5,96
Природний травостій	3,56	59,0	1,95	3,68	64,0	2,02
НІР _{0,5} т/га	0,85			0,85		

Примітка. Злаки — стоколос безостий, 10 кг/га + костриця лучна, 8 кг/га + тимофіївка лучна, 6 кг/га.

років, коли деградація лукопасовищних угідь відбувалася через значне навантаження худоби та надмірне використання лучних травостоїв, нині вона відбувається внаслідок зменшення поголів'я худоби. Луки заростають грубостебловим різотрав'ям (осотом, щавлем, стенактисом, золотарником тощо), заболочені луки часто вкриваються купинами, а ті, що межують із лісом, заростають дрібноліссям та чагарниками (заростання починається на 6–8-й рік після останнього скошування і щороку поширюється на 6–12 м від лісу) і стають малопридатними для скошування на кормові цілі, проте їхня енергетична привабливість збільшується. Їхню біомасу можна використовувати для виготовлення твердого біопалива та біогазу.

Для оцінки сучасного стану природних кормових угідь упродовж 2011–2014 рр. нами проведено їх геоботанічне обстеження в поліських районах Київської та Житомирської областей. Аналіз результатів обстеження показав, що енергетична продуктивність різних типів лучних угідь без поліпшення була дуже контрастною і становила 0,9–4,4 т сухої маси, або 17,0–78,3 ГДж теплової енергії з 1 га. Найціннішими за накопиченням біомаси були різотравно-злакові травостої на вологих низинних і заплачних луках.

За статистичними даними, в Україні середня продуктивність неполіпшених природних кормових угідь не перевищує 1,4–2,2 т/га

сухої маси, або 22,2–38,7 ГДж/га теплової енергії [6]. Унесення мінеральних добрив може збільшити їх продуктивність у 2–3 рази [7].

Проведені науковими установами дослідження і виробнича практика свідчать про те, що створення сіяних травостоїв із культурних видів і сортів багаторічних трав на більшості малопродуктивних природних кормових угідь у кілька разів підвищує їх продуктивність. За даними досліджень, проведених на незаливних заплачних осушених луках із дерново-глейовим супіщаним ґрунтом Київського Полісся (с. Литвинівка Вишгородського р-ну Київської обл.), продуктивність сіяних лучно-конюшино-злакових травостоїв залежно від видового і сортового складу злакових компонентів у середньому за 4 роки за виходом з 1 га сухої маси становила 4,77–10,36 т, що рівноцінно 83,4–184,8 ГДж теплової енергії, або 2,3–5,2 т у.п. Найбільшу енергетичну продуктивність забезпечили суміші сортів грятости збірної Київська рання і Наталка, костриці лучної Росинка і Сіверянка та стоколосу безостого Арсен і Геліус, які забезпечили одержання з 1 га 7,16–10,36 т сухої маси, або 129–185 ГДж теплової енергії, що в 1,3–2,4 рази більше порівняно з іншими сіяними ценозами. Унесення на сіяний злаковий травостій N₁₂₀ підвищило продуктивність угідь на 4,51–6,00 т/га сухої маси, або 78,8–108,1 ГДж/га теплової енергії, що

2. Порівняльна енергетична продуктивність та біометричні показники енергетичних культур (середнє за 2011–2014 рр.)

Культура	Продуктивність			Біометричні показники		
	Суха маса, т/га	Теплова енергія, ГДж/га	Умове паливо, т/га	Висота, см	Діаметр стебла, мм	Маса 1 м ³ сухої січки зі стебел, кг
Гірчак Вейріха	12,6	221	6,9	213	14,5	100
Гірчак забайкальський	10,8	190	6,3	240	15,7	129
Гірчак сахалінський	14,1	251	7,6	221	15,2	100
Гісоп лікарський	5,4	96	2,9	49	2,4	62
Сіда багаторічна	13,9	247	7,6	287	15,2	132
Сильфій пронизанолистий	12,6	224	6,9	284	12,2	96
Топінамбур	11,8	207	6,5	228	12,6	144
Міскантус гігантський	12,0	210	7,2	238	10,1	136
Лофант анісовий	5,7	100	3,1	78	3,1	66
Золотушник канадський	8,2	144	4,5	127	5,1	66
Щавель кормовий	10,2	184	5,6	142	8,9	–
Соняшник однорічний	12,1	201	6,7	203	11,9	42

в 1,8–2,2 раза більше порівняно з варіантами без унесення азоту. Природні травостої були в 1,7–3,4 раза менш продуктивними порівняно із сіяними.

В іншому досліді сортосуміші різних видів і нових сортів багаторічних бобових трав у бобово-злакових сумішах на тих самих заплачних осушених луках забезпечили одержання з 1 га 7,82–12,02 т сухої маси і 140,4–212,2 ГДж теплової енергії, або 4,27–6,40 т у.п., що в 1,3–1,9 раза більше порівняно зі злаковим травостоєм і 2,4–3,5 раза порівняно з природним (табл. 1). Найпродуктивнішими в цих екологічних умовах були сіяні бобово-злакові травостої з додаванням до сумішей конюшини лучної сортів Полянка або Полісянка, а на вапнованому фоні й люцерни посівної Ольга або Інтенсивна 174, які забезпечили одержання з 1 га 9,61–11,92 т сухої маси. За вапнування ґрунту продуктивність травостоїв підвищилася на 0,12–2,65 т/га сухої маси. Найкраще на вапнування реагували травосуміші з люцерною посівною.

На болотах і в плавнях, де основним енергетичним ресурсом є торф, зарості очерету та іншої водної рослинності, економічно доцільний енергетичний потенціал становить відповідно 0,40 і 2,00 млн т у.п. Енергетична продуктивність заростей очерету в середньому — близько 8–10 т сухої маси, або 4,4–5,5 т у.п.

Порівняльну енергетичну оцінку нетрадиційних багаторічних культур в умовах північної частини Лісостепу з метою

виготовлення твердого біопалива проведено на темно-сірих опідзолених ґрунтах ДП ДГ «Чабани ННЦ «Інститут землеробства НААН». Дослідження показали (табл. 2), що в середньому за 2011–2014 рр. за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ малопоширені енергетичні культури забезпечили одержання 5,4–14,1 т/га сухої маси, 96–251 ГДж/га теплової енергії та 2,9–7,6 т/га у.п.

Найпродуктивнішими з багаторічних культур виявилися міскантус гігантський, сильфій пронизанолистий, гірчак Вейріха та сахалінський, сіда багаторічна, топінамбур та соняшник однорічний. Найменш продуктивними були лофант анісовий і гісоп лікарський, які є ефіроолійними культурами.

Найвищим лінійним ростом характеризувалися травостої сіди багаторічної і сильфію пронизанолістого (284–287 см), гірчак сахалінський і забайкальський, міскантус гігантський, топінамбур або соняшник бульбистий (221–240 см), найнижчим — гісоп і лофант (49–78 см).

Діаметр стебла енергетичних культур становив 3,1–15,7 мм. Найбільший діаметр мали гірчак, сіда багаторічна, топінамбур першого року користування, дещо менший — топінамбур, сильфій пронизанолистий, соняшник однорічний. Найменший діаметр стебла був у гісопа лікарського і лофанта анісового.

Щільність, виражена масою 1 м³ непресованої сухої січки зі стебел досліджуваних трав'янистих рослин, становила 42–144 кг. Найбільшою щільністю характеризувалися сіда багаторічна,

3. Уміст сухої маси і теплової енергії в енергетичних культурах (2011–2014 рр.)

Культура	Уміст сухої маси за різних строків скошування, %			Уміст теплової енергії в сухій січці	
	10.10	1.11	10.11	МДж/кг	ГДж/м ³
Гірчак Вейріха	42,3	81,1	86,5	17,7	1,77
Гірчак забайкальський	48,4	73,1	78,2	18,0	2,32
Гірчак сахалінський	42,2	63,9	68,8	17,9	1,79
Гісоп лікарський	51,6	65,3	72,0	18,2	1,13
Сіда багаторічна	51,1	77,4	84,1	17,7	2,34
Сильфій пронизанолистий	29,1	51,5	56,2	18,0	1,73
Топінамбур	36,3	55,9	60,0	17,8	2,56
Міскантус гігантський	44,1	62,8	70,3	17,4	2,37
Лофант анісовий	47,7	77,9	83,0	18,1	1,19
Золотушник канадський	52,1	62,4	79,0	17,7	1,17
Щавель кормовий	51,6	–	–	18,0	–
Соняшник однорічний	39,0	60,7	77,3	17,8	0,75

Примітка. Щавель кормовий є ранньостиглою культурою, тому дозрівання і збиральна стиглість на біопаливо настають за досягання насіння.

4. Енергетична продуктивність сільфію пронизанolistого залежно від добрив (середнє за 2011–2014 рр.)

Добриво	Продуктивність			Біометрія		Окупність 1 кг добрив сухою масою, кг
	Суха маса, т/га	Теплова енергія, ГДж/га	Умовне паливо, т/га	Висота стебла, см	Діаметр стебла, мм	
Без добрив	6,6	119	3,9	197	7	–
N ₆₀	8,7	153	5,2	200	10	35
N ₁₂₀	11,7	207	6,5	252	13	43
N ₁₈₀	13,7	242	8,2	303	15,5	39
P ₆₀ K ₆₀	7,5	133	4,5	220	11	8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,4	189	6,2	240	13	21
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	13,5	240	7,4	250	15	29
N ₁₈₀ P ₆₀ K ₆₀	14,6	261	8,8	294	16	27
НІР ₀₅ , т/га	0,84					

топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський (129–144 кг), що опосередковано свідчить про їх найвищу теплотворну здатність, найменшою — гісоп лікарський, лофант анісовий і, особливо, соняшник однорічний.

Більшість досліджуваних видів енергетичних культур на фоні внесення N₆₀P₆₀K₆₀ не вилягли, що свідчить про їх добру придатність для механізованого скошування, подрібнення стебел і підбирання біомаси. Часткова полеглисть із нахилом стебел на 20–50° від вертикалі була в гірчаків, найбільше в гірчака Вейріха.

Переважає більшість досліджуваних видів енергетичних культур є пізньостиглими, за винятком щавлю кормового та соняшнику однорічного, і тому збиральна стиглість за вмістом сухої маси для виготовлення твердого біопалива настає в пізньоосінній або навіть зимовий період. У наших дослідженнях уміст сухої маси в різних культурах станом на 10.10 був 37,3–52,1%, 01.11 її уміст становив 51,5–81,1, 10.11 — 52,3–86,5% (табл. 3). За вмісту сухої маси понад 80% досушувати січку під час виготовлення твердого біопалива вже не потрібно. У наших досліджах станом на 10.11 цього рівня уміст сухої маси сягнув у гірчака Вейріха, наблизився до цього рівня уміст сухої маси сіди багаторічної і лофанта анісового. Найменшим умістом сухої маси характеризувалися сільфію пронизанolistий і топінамбур (56,2–60,0%), що свідчить про те, що необхідно під час збирання збільшувати витрати на досушування біомаси для зберігання у вигляді січки та в технологічному циклі виготовлення пілетів чи гранул.

Уміст теплової енергії в сухій біомасі малопоширених енергетичних культур становив 17,4–18,2 МДж/кг і мало залежав від культури.

Енергоємність 1 м³ сухої січки досліджуваних енергетичних культур у зв'язку з різною щільністю 1 м³ істотно різнилася і була 1,13–2,56 ГДж/м³. Найбільшою енергоємністю 1 м³ сухої січки характеризувалися сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський, що свідчить про їх найвищу теплотворну здатність, а найменшою — гісоп лікарський, лофант анісовий і, особливо, соняшник однорічний.

Одним з основних факторів підвищення продуктивності енергетичних культур є застосування мінеральних добрив. Реакцію культур на внесення мінеральних добрив вивчали на прикладі сільфію пронизанolistого. Аналіз результатів досліджень показав, що продуктивність сільфію пронизанolistого, плантацію якого закладено близько 30-ти років тому, залежно від варіантів удобрення за збором сухої маси становила 6,6–14,6 т/га, теплової енергії — 119–261 ГДж/га та умовного палива — 3,9–8,8 т/га. Найбільш діючим виявився азот. Порівняно з варіантом без добрив збір сухої маси з 1 га на різних фонах фосфорних і калійних добрив від унесення N₆₀ збільшився на 2,1–2,9 т, або в 1,3–1,4 раза, N₁₂₀ — 5,1–6,0 т, або в 1,8 раза, N₁₈₀ — 7,1 т, або в 2,2 раза. Проте окупність 1 кг азоту приростом урожаю сухої маси була найбільшою за внесення N₆₀ (41–61 кг), за внесення N₁₂₀ і N₁₈₀ — відповідно 30–52 і 33–44 кг.

Найбільше від унесення добрив змінювалися висота і діаметр стебла, які становили відповідно 197–303 см і 7–16 мм. Найвищими ці показники були за внесення N₁₈₀.

Висновки

Багаторічні агрофітоценози (природні кормові угіддя, плавні й болота та енергетичні культури) є важливим резервом трав'яної маси для виробництва біопалива. Їх економічно доцільний енергетичний потенціал сумарно в Україні становить близько 7 млн т у.п., або 20% від усієї біомаси, яка може бути використана на паливо. Енергетична продуктивність 1 га неполіпшених природних кормових угідь залежно від їх типу становить 1,4–3,6 т сухої маси, або 0,75–1,95 т у.п. З додаванням бобових трав до травосумішей або внесенням мінеральних добрив продуктивність їх підвищується в 1,5–3,5 раза.

Продуктивність кращих багаторічних енергетичних культур становить 10–14 т/га сухої маси, або 5,5–7,5 т/га у.п. Найпродуктивнішими з них є сільфій пронизанолістий, гірчак Вейрїха та сахалінський, сіда багаторічна та міскантус гігантський. Енергоємність 1 кг сухої маси багаторічних трав'янистих фітоценозів становить 17–18 МДж і мало залежить від культури, а 1 м³ сухої непресованої січки енергетичних культур — 1,13–2,56 ГДж. Найбільшою енергоємністю і теплотворною здатністю січки характеризуються сіда багаторічна, топінамбур, міскантус гігантський, гірчак забайкальський.

Бібліографія

1. Біоенергетичний потенціал багаторічних трав'янистих фітоценозів/В.Г. Кургак, А.М. Левковський, Г.В. Єфремова, О.Ю. Лещенко//Зб. наук. пр. Ін-ту біоенерг. культур і цукр. буряк. НААН. — К., 2013. — Вип. 19. — С. 63–68.
2. Гелетуха Г.Г. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні/Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, Е.М. Олійник//Промислова теплотехніка. — 2013. — Т. 35. — № 4. — С. 5–15.
3. Думич В.В. Техніко-технологічні заходи для закладання енергоплантацій свічграсу в умовах Полісся України/В.В. Думич, Г.І. Журба, В.Л. Курило//Зб. наук. пр. Ін-ту біоенерг. культур і цукр. буряк. НААН. — К., 2013. — Вип. 19. — С. 37–42.
4. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Директива Кабінету Міністрів № 145 від 15 березня 2006.
5. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур/М. Роїк, В. Курило, М. Гументик та ін.//Вісн. Львів. НАУ. — 2011. — № 15(2).
6. Ефективність впливу способів захисту від бур'янів на ріст і розвиток рослин міскантуса в умовах західної частини Лісостепу України/М.Я. Гументик, О.Б. Хіврич, В.М. Квак, О.І. Замойський//Зб. наук. пр. Ін-ту біоенерг. культур і цукр. буряк. НААН. — К., 2013. — Вип. 19. — С. 24–27.
7. Кургак В.Г. Лучні агрофітоценози/В.Г. Кургак. — К.: ДІА, 2010. — 374 с.
8. Методи визначення енергоємності і поживності. — К.: Держспоживстандарт України, 2009. — 15 с.
9. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (Досвід Польщі для України)/Р. Титко, В. Калініченко. — Варшава: QWG, 2010. — 15 с.
10. Шевчук Р.В. Вплив азотних добрив на врожайність сільфії пронизанолістої за вирощування на тверде біопаливо/Р.В. Шевчук, Г.Ф. Ровна, К.І. Кір'янчук//Зб. наук. пр. Ін-ту біоенерг. культур і цукр. буряк. НААН. — К., 2013. — Вип. 19. — С. 121–123.
11. Bioenergy Research: Advances and Applications, 1st Edition/V.K. Gupta, M.G. Gupta, M.G. Tuohy, C.P. Kubicek, J. Saddler. — Oxford, 2014.

Надійшла 2.06.2015.