

## Yield and energy productivity of energy crops grown together in phytocenosis

D. D'omin | M. Kulyk ✉

## Article info

## Correspondence Author

M. Kulyk

E-mail:

[kulykmaksym@ukr.net](mailto:kulykmaksym@ukr.net)

Poltava State Agrarian  
University,  
1/3, Skovorody Str.,  
Poltava, 36003,  
Ukraine

**Citation:** D'omin, D., & Kulyk, M. (2023). Yield and energy productivity of energy crops grown together in phytocenosis. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (1), 18–23. doi: 10.31210/spi2023.26.01.03

Sustainable development of the energy sector is a topical issue for Ukraine today. Among the available energy sources, many scientists believe that the most affordable is the energy from plants, the so-called energy crops. These crops are biologically perennial, adapted to growing conditions, and highly productive. These plants include: willow clones (*Salix*), miscanthus (*Miscanthus*), sorghum (*Sorghum*) and switchgrass, as well as other less widespread plants. This publication will focus on the aspects of growing low spread energy crops (*Indiangrass*, *Sorghastrum nutans* (L.) Nash. and *Andropogon gerardii* Vitman) together with well-known and better studied crops: *Panicum virgatum* L., *Sorghum alnum* Parodi. In the future, this will involve the development of ergonomically sound recommendations for their cultivation for sustainable phytomass and biofuel production. The aim of our research was to determine the influence of joint cultivation of energy crops on the yield of their aboveground vegetative phytomass and the energy productivity of the crops. The general and special (experimental) research methods were applied in the field experiment. According to the approved methods and recommendations, the moisture content in phytomass was determined, raw and dry biomass yields were recorded, and the energy productivity of the crops was identified. The application of the analysis of variance and correlation made it possible to assess significant differences between the variants of the experiment. The research results allowed us to establish the variability of phytomass yield with a variety of combinations of energy crops in joint crops. In terms of the dry biomass volume, the most productive were the following grass mixtures of energy crops: Switchgrass and Indiangrass (13.1 t/ha), Switchgrass and Big bluestem (12.8 t/ha), Indiangrass and Big bluestem (12.5 t/ha). The same variants were characterized by high energy productivity, ranging from 217.6 to 224.0 GJ/ha. The dry biomass yield was at a level of the standard on the variants of joint cultivation of Switchgrass and Sorghum perennial and Indiangrass and Sorghum perennial (12.3 t/ha). Significantly lower dry biomass yield compared with control and other experimental variants was at joint cultivation of Big bluestem and Sorghum perennial (11.8 t/ha). Thus, to obtain a high biomass yield (12.5–13.1 t/ha) when growing low-energy crops together, Switchgrass and Indiangrass, Switchgrass and Big bluestem should be sown together. This will also help to obtain an energy yield in the range of 217.6–224.0 GJ per hectare.

**Keywords:** Switchgrass, Sorghum perennial, Big bluestem, Indiangrass, joint cultivation, yield, biomass, energy productivity.

## Урожайність та енергопродуктивність енергетичних культур за сумісного вирощування у фітоценозі

Д. Г. Дьомін | М. І. Кулик

Полтавський державний  
аграрний університет,  
м. Полтава, Україна

Сталий розвиток енергетичного сектору для України на сьогодні є актуальним питанням. З-поміж наявних енергоджерел, на думку багатьох вчених найбільш доступним є енергія рослин, так званих – енергетичних культур. Ці культури за біологією – багаторічні, адаптовані до умов вирощування, високоврожайні. До них відносять: клони верби (*Salix*), міскантуси (*Miscanthus*), сорго (*Sorghum*) та просо пругоподібне (*Switchgrass*) та інші, менш поширені рослини. У зв'язку з чим, дана публікація буде присвячена вивченню аспектів вирощування малопоширених енергетичних культур (*Indiangrass*, *Sorghastrum nutans* (L.) Nash., та *Andropogon gerardii* Vitman) сумісно із загальновідомими, та більш вивченими культурами: *Panicum virgatum* L., *Sorghum alnum* Parodi. Що у перспективі передбачатиме розробку агрономічно-обґрунтованих рекомендацій їх вирощування для отримання сталої фітомаси та виробництва біопалив. Метою наших досліджень було визначення впливу сумісного вирощування енергокультур на врожайність їхньої надземної вегетативної фітомаси та енергопродуктивності посівів. Під час проведення польового експерименту були застосовані як загальні, так і спеціальні (експериментальні) методи досліджень. Згідно затверджених методик й рекомендацій проводили визначення вологості у фітомасі, облік врожайності сирової та сухої біомаси та визначали енергопродуктивність посівів. Застосування дисперсійного й кореляційних аналізів дало можливість провести оцінку суттєвих відмінностей між варіантами дослідження. Обґрунтовані результати досліджень дали змогу встановити мінливість врожайності фітомаси за різнопланового поєднання енергетичних культур у сумісних посівах. За обсягом сухої біомаси виокремлено найбільш врожайні травосумішки малопоширених енергетичних культур: Світчґрас та Індіанґрас (13,1 т/га), Світчґрас та Біг-блюестем (12,8 т/га), Індіанґрас та Біг-блюестем (12,5 т/га). Ці ж варіанти мали й високу енергопродуктивність – від 217,6 до 224,0 ГДж/га. На рівні контролю врожайність за сухою масою була на варіантах сумісного вирощування світчґрасу та Сорго багаторічного й Індіанґрасу та Сорго багаторічного (12,3 т/га). Суттєво меншою, порівняно з контролем та іншими варіантами дослідження врожайність сухої біомаси була за сумісного вирощування Біг-блюестему та Сорго багаторічного (11,8 т/га). Отже, для отримання високої врожайності біомаси (12,5–13,1 т/га) за сумісного вирощування малопоширених енергокультур необхідно висівати разом Світчґрас та Індіанґрас, Світчґрас та Біг-блюестем. Це також дозволить отримати вихід енергії в межах 217,6–224,0 ГДж з одного гектара.

**Ключові слова:** Світчґрас, Сорго багаторічне, Біг-блюестем, Індіанґрас, сумісне вирощування, урожайність, біомаса, енергопродуктивність.

**Бібліографічний опис для цитування:** Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Урожайність та енергопродуктивність енергетичних культур за сумісного вирощування у фітоценозі. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (1). С. 18–23.

## Вступ

Насьогодні, поряд із загальновідомими та поширеними на території нашої країни рослинами, використання нових та виробництва із них біопалива набуває актуального значення. Адже, інтродуковані, малопоширені енергокультури мають цілий спектр переваг: багаторічний цикл життя, високу продуктивність, адаптивні властивості до умов вирощування та шкідників і збудників хвороб, високу ефективність виробництва біомаси. Що також дозволить розширити різноманіття енергетичних культур для вирощування на маргінальних землях [1–3].

Окрім цього визначено, що загальновідомі енергокультури – світчграс (*Panicum virgatum* L.) й сорго багаторічне та малопоширені: сорго поникаючий (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash), бородач Жерарді (*Andropogon gerardii* Vitman) за біологією є типовими представниками родини тонконогові. Ці рослини за своїми морфологічними особливостями здатні формувати потужну надземну вегетативну масу на 2–3 рік вегетації з терміном експлуатації енергопосівів – від 7 до 15 років. Що цілком відповідає критеріям сталості виробництва рослинної біомаси, як сировини для виробництва біопалив [4].

В попередній нашій публікації ми вивчили вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних протягом 2018–2020 рр. Було встановлено, що біометричні показники рослин за висотою і густиною стеблостою мають суттєвий вплив на рівень врожайності біомаси індіанграсу (сорго поникаючого), бігблестему (Бородача Жерарді) та сорго багаторічного (трави Колумба). Було визначено, що найбільшу врожайність за сухою біомасою у монокультурі формує сорго багаторічне (8,0 т/га) й сорго поникаючий (5,0 т/га), суттєво менше – Бородача Жерарді (2,3 т/га) [5].

Зарубіжними дослідженнями встановлено, що збирання змішаних травостоїв (*Andropogon gerardii*, *Sorghastrum nutans*, *Schizachyrium scoparium*) з інтервалами від 30 до 40 днів може забезпечити високі врожаї біомаси. Що не впливало на відновлення після-сезонного відростання травостою за багаторазового його збирання. А врожайність досліджуваних культур була в межах – від 7,6 до 8,5 т/га [6].

У подібному дослідженні, в якому порівнювало врожайність енергетичних культур в штаті Міссурі: *Panicum virgatum* L., *Schizachyrium scoparium* (Michx) та *Sorghastrum nutans* L. було визначено потенціал їх продуктивності. Автори публікації встановили, що ці культури формували врожайність біомаси на рівні або вище 4,0 т/га, тоді як урожай *Tripsacum dactyloides* L. становив 3,8 т/га [7].

Зарубіжні науковці визначили, що суміші світчграсу і Індіанграсу добре підходять для сталого виробництва енергії з біомаси. Встановлено, що вимоги до азотного живлення для цих сумішей були відносно низькими, що зменшувало виробничі витрати на виробництво біомаси [8].

Результатами досліджень Т. Л. Springer із співавторами доведено ефективність вирощування світчграсу в поєднанні з іншими культурами. Вони

вивчали комплементарні види рослин як альтернативний підхід до виробництва фітомаси. Було вивчено 6 монокультур та 15 бінарних сумішей. Поєднання цих рослин дозволило збільшити врожайність біомаси до 12,3–13,6 т/га [9].

Нашими попередніми дослідженнями визначено ефективність вирощування світчграсу разом із люпином багаторічним: як в плані збільшення врожайності біомаси, так і використання для очищення ґрунтів [10].

Поряд з цим, інші науковці визначили, що застосування певного комплексу агрозаходів за вирощування енергетичних культур збільшує їх врожайність, підвищує енергопродуктивність та забезпечує більший вихід енергії [11–13].

Тому, подальше вивчення особливостей формування врожайності й пошуку шляхів збільшення обсягів біомаси та її енергопродуктивності має актуальне значення. У зв'язку з тим, що досліджень малопоширених енергокультур на території України обмаль, нами були проведені дослідження з пошуку заходів збільшення врожайності та енергопродуктивності біомаси цих культур.

## Мета дослідження

Метою дослідження є визначення впливу сумісного вирощування енергокультур на врожайність їхньої надземної вегетативної фітомаси та енергопродуктивність посівів.

Передбачено виконання наступних завдань досліді:

1. Встановити рівень врожайності надземної вегетативної маси (біомаси) за сумісного вирощування енергетичних культур.
2. Визначити енергопродуктивність різних сумішок енергокультур в розрізі варіантів досліді.

## Матеріали і методи

Дослід закладено і проведено в умовах Дніпровської області на маргінальних ґрунтах упродовж 2018–2022 років. Ґрунти дослідної ділянки мали наступні характеристики, що відповідали визначенню «маргінальні»: вміст гумусу – низький – на рівні 2,8 %, лужно-гідролізованого азоту – 105,5 мг/кг ґрунту, фосфору – 114,6 мг/кг ґрунту, рН сольове становить 6,8.

Погодні умови протягом періоду проведення досліджень характеризувалися щомісячною мінливістю як за температурою повітря, так і за кількістю опадів порівняно із середньобагаторічними показниками.

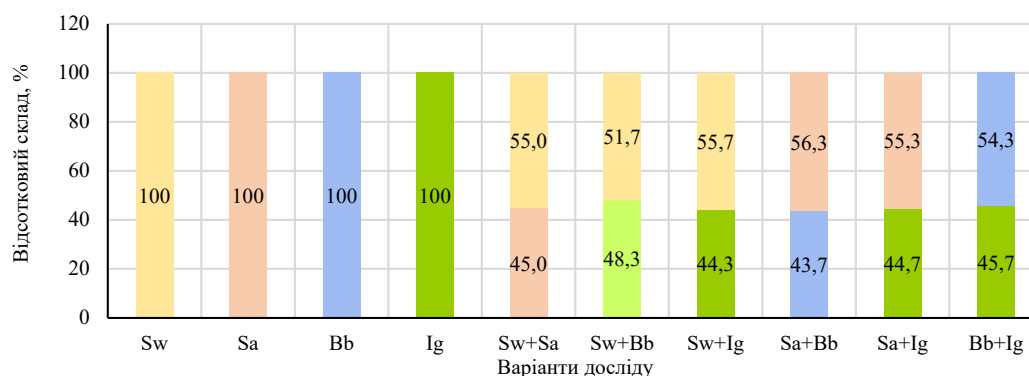
Найбільш повно погодні умови можливо охарактеризувати за гідро-термічним коефіцієнтом (ГТК). Протягом періоду вегетації енергетичних культур ГТК був мінливим: у 2018 році він становив 0,63, у 2019 – 0,81, у 2020 році – 0,92, у 2021 – 0,53, а у 2022 – 0,87. Тобто, майже в усі роки дослідження відмічали посушливі умови протягом вегетаційного періоду енергокультур, що були поставлені на вивчення.

Дослід закладено й проведено згідно методики дослідної справи в агрономії [14] за схемою двофакторного експерименту із рослинами енергетичних культур: світчграс (*Panicum virgatum*L.), сорго багаторічне (*Sorghum almum Parodi*), сорговник поникаючий (*Sorghastrum nutans (L.) Nash*), Біг-блуестем – бородач Жерарді (*Andropogon gerardii Vitman*).

За проведення експерименту ми застували: загальнонаукові методи, так і спеціальні методи, в т.ч.: польовий – визначення взаємодії енергокультур з умовами вирощування; ваговий – визначення врожайності біомаси енергетичних культур; лабораторно-аналітичний – визначення енергоемності біомаси енергетичних культур, розрахунковий – встановлення енергопродуктивності посівів енергетичних культур. Також був застосований математично-статистичний аналіз отриманих результатів досліджень (дисперсійний метод). Він полягав у визначенні суттєвої різниці між варіантами досліду згідно НІР при 5% рівні значущості.

Варіанти досліду поєднували:

- Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль),
- Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль),
- Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль),
- Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль),
- Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5),
- Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6),
- Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7),
- Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8),
- Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9),
- Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).



**Рис. 1.** Структура фітоценозу у польовому досліді, 2018–2022 рр.

*Примітки:* Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль); Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль); Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль); Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль); Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5); Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6); Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7); Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8); Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9); Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).

Варіанти у кожному повторенні розміщували рендомізованим методом (табл. 1).

**Таблиця 1**

Схематичне зображення варіантів у польовому досліді

Ig	Sw+Ig	Ig	Sa
Bb+Ig	Bb	Sa+Bb	Sw+Ig
Sw+Bb	Sa+Ig	Sw	Bb
Sw	Sw+Sa	Sw+Sa	Sw+Bb
Sa+Bb	Sa	Sw+Bb	Sa+Bb
Sw+Ig	Sw	Bb	Sw+Sa
Sa+Ig	Sa+Bb	Bb+Ig	Sw
Bb	Ig	Sa+Ig	Bb+Ig
Sw+Sa	Sw+Bb	Sw+Ig	Sa+Ig
Sa	Bb+Ig	Sa	Ig
1 повторення	2 повторення	3 повторення	4 повторення

*Примітки:* Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль); Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль); Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль); Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль); Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5); Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6); Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7); Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8); Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9); Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).

У наших дослідженнях врожайність так званої «сирої» (фітомаси) та «сухої» (біомаси) надземної маси енергетичних культур визначали після закінчення вегетації рослин [15].

Енергопродуктивність біомаси енергетичних культур розраховували відповідно методики [16]. Статистичний обрахунок даних досліду здійснювали відповідно методичних вказівок [17].

### Результати та їх обговорення

За результатами багаторічних досліджень встановлено, що сумісне вирощування енергетичних культур дозволяє оптимізувати структуру фітоценозу і найбільш доцільно використати площу. Це сприяє рівномірному розподілу рослин у відсотковому складі, інтенсивнішому росту й розвитку енергетичних культур, затіненню й витісненню ними бур'янів (рис. 1).

Визначено, що одновидові посіви енергетичних культур займали 100 % склад, тоді як у сумісних посівах відмічалось варіювання за даним показником – від 43,7 до 55,7 % залежно від складу травосумішки. Що пов'язуємо із природньою

конкуренцією рослин за світло та поживні речовини при розміщенні їх сумісно на одній площі.

Оптимізація видового складу у сумісних посівах енергетичних культур впливає на рівень врожайності біомаси рослинних компонентів за роками досліджень (табл. 2).

**Таблиця 2**

Урожайність біомаси енергетичних культур (т/га), 2018–2022 рр.

Варіанти	Рік вегетації			Середнє за роки	Прибавка до контролю
	перший (2018-2020 рр.)	другий (2019-2021 рр.)	третій (2020-2022 рр.)		
Sw	9,3	12,8	14,9	12,3	-
Sa	8,1	12,9	13,5	11,5	-
Bb	6,2	7,8	10,7	8,2	-
Ig	7,8	10,4	11,2	9,8	-
Sw+Sa	9,5	13,0	14,4	12,3	0,0
Sw+Bb	9,6	13,8	14,9	12,8	0,5
Sw+Ig	10,1	14,3	15,0	13,1	0,8
Sa+Bb	8,3	13,4	13,6	11,8	0,3
Sa+Ig	9,5	13,2	14,1	12,3	0,5
Bb+Ig	7,6	11,3	12,5	10,5	2,3
НІР <sub>05</sub>	0,05	0,03	0,06	0,25	

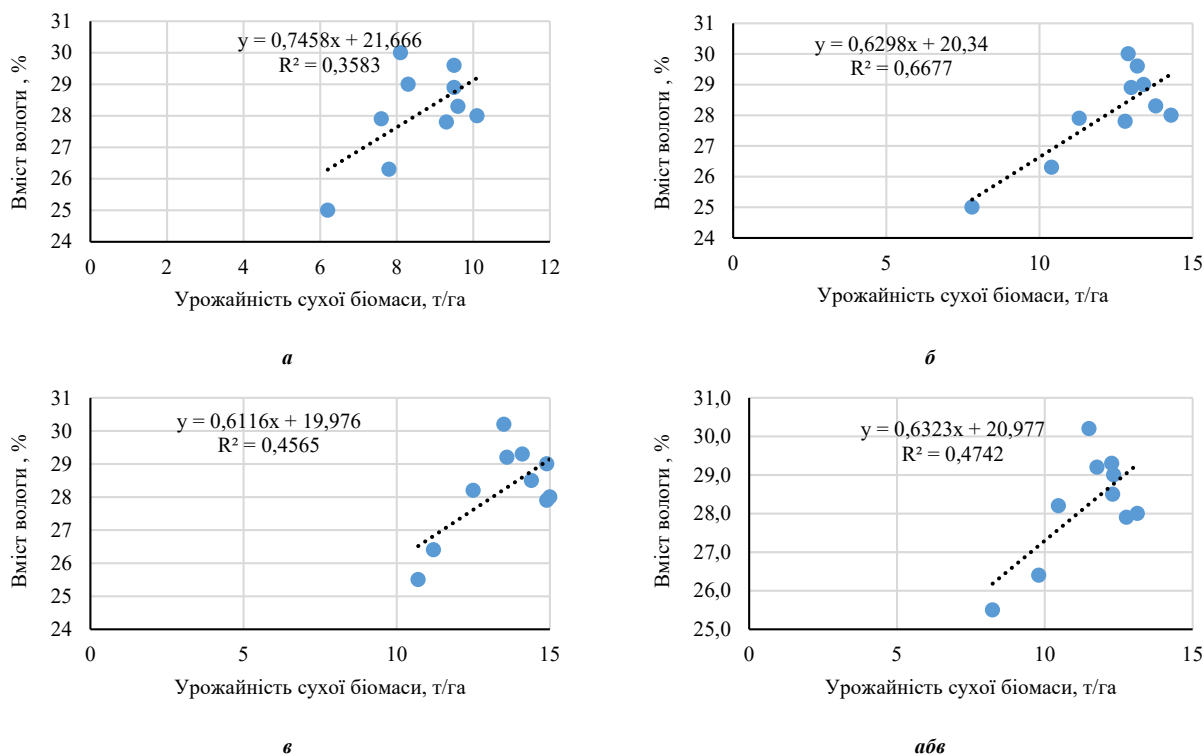
*Примітки:* Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль); Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль); Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 3, ум. контроль); Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль); Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5); Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блуестему (варіант 6); Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7); Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блуестему та сорго багаторічного (варіант 8); Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9); Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 10).

3-поміж варіантів дослідження, порівняно із одновидовими посівами, найбільшу прибавку врожаю забезпечило сумісне вирощування Bb+Ig (2,3 т/га). Але на цих варіантах дослідження, порівняно з іншими формувалася суттєво нижча врожайність біомаси (10,5 т/га).

Найбільшу врожайність надземної вегетативної маси за сухою речовиною забезпечили варіанти

сумісного вирощування Sw+Ig – на рівні 13,1 т/га (прибавка 0,8 т/га) та Sw+Bb – 12,8 т/га (прибавка 0,5 т/га). На рівні стандарту (в межах НІР<sub>05</sub>) врожайність за сухою масою була на варіантах: Sw+Sa – 12,3 т/га та Sa+Bb – 11,8 т/га.

Вміст вологи у фітомасі на час збору врожаю має істотний вплив на рівень врожайності за сухою біомасою (рис. 2).

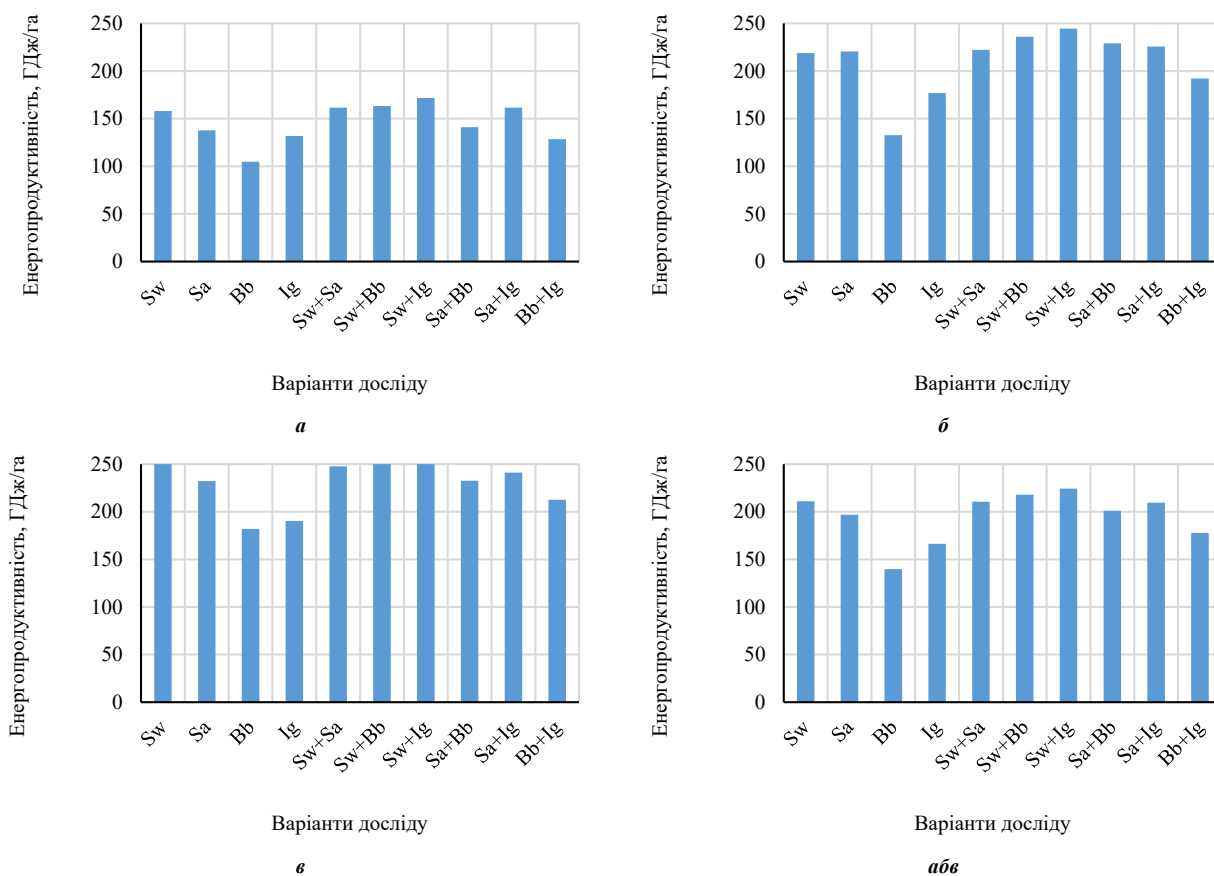


**Рис. 2.** Зв'язок між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси за усіма видами посіву, 2018–2022 рр.

*Примітки:* а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, абв – за три роки дослідження.

Встановлено, що вміст вологи у фітомасі та врожайність сухої біомаси енергетичних культур у середньому за роки дослідження на 47,0 % мають взаємозалежність за коефіцієнтом апроксимації ( $R^2 = 0,47$ ).

Після визначення вмісту енергії в сухій біомасі (що була в межах 16,9–17,2 МДж/кг), було розраховано енергопродуктивність посівів енергетичних культур на різних варіантах досліду в розрізі років (рис. 3).



**Рис. 3.** Енергопродуктивність біомаси енергетичних культур (ГДж/га), 2018–2022 рр.

*Примітки:* а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, абв – за три роки дослідження.

Sw – одновидові посіви світчграсу (варіант 1, контроль); Sa – одновидові посіви сорго багаторічного (варіант 2, ум. контроль); Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 3, ум. контроль); Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 4, контроль); Sw+Sa – сумісні посіви світчграсу та сорго багаторічного (варіант 5); Sw+Bb – сумісні посіви світчграсу та Біг-блюестему (варіант 6); Sw+Ig – сумісні посіви світчграсу та індіанграсу (варіант 7); Sa+Bb – сумісні посіви Біг-блюестему та сорго багаторічного (варіант 8); Sa+Ig – сумісні посіви індіанграсу та сорго багаторічного (варіант 9); Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 10).

Результати досліджень переконливо доводять, що сумісне вирощування світчграсу і індіанграсу (Sw+Ig), порівняно із одновидовими посівами (Sw) значно збільшує кількість енергії, отриманої із одного гектара – на 13,1 ГДж/га, на варіанті 6 (Sw+Bb) – на 6,9 ГДж/га, на варіанті 8 (Sa+Bb) – на 4,1 ГДж/га, на варіанті 9 (Sa+ Ig) – на 12,6 ГДж/га, на варіанті 10 (Bb+Ig) – на 11,4 ГДж/га. На інших варіантах досліду за сумісного вирощування енергокультур отримали енергопродуктивність на рівні контролю.

Результати наших досліджень знайшли своє підтвердження у публікаціях інших авторів, за результатами яких визначено ефективність вирощування енергетичних культур у одновидових та сумісних посівах. При цьому, відзначається екологічний ефект вирощування енергетичних культур [18], збільшення їх врожайності [19–21] та енергопродуктивності посівів [22] за різного розміщення рослинних компонентів у фітоценозах.

Це цілком збігається із розробленню нами моделлю створення штучних фітоценозів. Що

дозволяє проводити меліорацію з використанням енергетичних культур на основі агроекологічного моніторингу та агрономічного обґрунтування їх вирощування [23].

## Висновок

1. Встановлено, що розміщення енергетичних культур в сумісних посівах світчграсу й Біг-блюестему (Sw+Bb), світчграсу й індіанграсу (Sw+Ig) та сорго багаторічного й індіанграсу (Sa+Ig) дозволяє збільшити загальну врожайність за сухою біомасою, відповідно до 12,8, 13,1 та 12,3 т/га.

2. На основі енергоємності біомаси (16,9–17,2 МДж/кг), що залежала від вмісту вологи у фітомасі та рівня врожайності біомаси визначено, що найбільшу кількість енергії можна отримати від сумісного вирощування світчграсу й індіанграсу (224,2 ГДж/га) та світчграсу й Біг-блюестему (218,0 ГДж/га).

*Перспективи подальших досліджень* полягатимуть у встановленні шляхів поліпшення якості

біомаси малопоширених культур для біопаливного використання.

### Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

### References

1. Humentyk, M. Ya. (Red.). (2018). *Vyroshchuvannia bioenerhetychnykh kultur*. Kyiv: Komprint [in Ukrainian]
2. Rakhmetov, D. B. (2011). *Teoretychni ta prykladni aspekty introdukciyi roslyn v Ukrayini: monografiya*. Kyiv: Agrar Media Grup [in Ukrainian]
3. Roik, M. V., Hanzhenko, O. M., Fuchylo, Ya. D., & Kvak, V. M. (2019). Ekonomichni aspekty vyroshchuvannia bahatorichnykh enerhetychnykh kultur. *Bioenerhetyka*, 1 (13), 4–7. [in Ukrainian]
4. Kulyk, M. I., Taranenko, A. O., D'omin, D. G., & Rozhko, I. I. (2022). Agroecological aspects of rare energy crops growing in order to produce sustainable plant biomass. *Development trends of the world agriculture in the XXIst century: the view of the modern scientific community: Scientific monograph*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing".
5. Rozhko, I., D'omin, D., & Kulyk, M. (2021). Influence of plant biometrics on biomass yield of introduced rare energy crops. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2, 114–123. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14>
6. Temu, V., Rude, B., & Baldwin, B. (2014). Nutritive value response of native warm-season forage grasses to harvest intervals and durations in mixed stands. *Plants*, 3 (2), 266–283. <https://doi.org/10.3390/plants3020266>
7. Angima, S. D., Kallenbach, R. L., & Riggs, W. W. (2009). Optimizing hay yield under lower nitrogen rates for selected warm-season forages. *Electronic Journal of Integrative Biosciences*, 7, 1–6.
8. Mulkey, V. R., Owens, V. N., & Lee, D. K. (2008). Management of warm-season grass mixtures for biomass production in South Dakota USA. *Bioresource Technology*, 99 (3), 609–617. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.035>
9. Springer, T. L., Aiken, G. E., & McNew, R. W. (2001). Combining ability of binary mixtures of native, warm-season grasses and legumes. *Crop Science*, 41(3), 818–823. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.413818x>
10. Kulyk, M., Galytskaya, M., Plaksienko, I., Kocherga, A., & Mishchenko, O. (2020). Switchgrass and lupin as phytoremediation crops of contaminated soil. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Proceedings SGEM 2020, Ecology, Economics, Education and Legislation*. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/5.1/s20.098>
11. Lemus, R., Charles Brummer, E., Lee Burras, C., Moore, K. J., Barker, M. F., & Molstad, N. E. (2008). Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*, 32 (12), 1187–1194. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.02.016>
12. Miesel, J. R., Jach-Smith, L. C., Renz, M. J., & Jackson, R. D. (2017). Distribution of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) above-ground biomass in response to nitrogen addition and across harvest dates. *Biomass and Bioenergy*, 100, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.012>
13. Kulyk, M. I., Kurylo, V. L., & Kalinichenko, O. V. (2019). Urozhainist ta enerhetychna efektyvnist vyrobnytstva vidnovliuvanoi roslynnoi syrovyny enerhetychnykh kultur. In: Kulyk, M. I., & Kalinichenko, O. V. (reds.). *Optymalni enerhetychni systemy z urakhuvanniam naiavnogo potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii u Lisostepu Ukrainy: kolektyvna monohrafiya*. Poltava [in Ukrainian]
14. Moiseichenko, V. F., & Yeshchenko, V. O. (1994). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii*. Kyiv: Vyscha shkola [in Ukrainian]
15. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., & Kurylo, V. L. (2017). Methodology of conducting field and laboratory researches with switchgrass (*Panicum virgatum* L.). Poltava [in Ukrainian]
16. Dubrovin, V. O., Holub, H. A., Drahniiev, S. V., Heletukha, H. H., Zheleznaia, T. A., Kucheruk, P. P., Matveiev, Yu. B., Kudria, S. O., Zabarnyi, H. M., & Masliukova, Z. V., 2013. *Metodyka uzahalnenoj otsinky tekhnichno-dosiazhnoho enerhetychnoho potentsialu biomasy*. Kyiv: TOV.«Viol-prynt [in Ukrainian]
17. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidnykh danykh v paketi Statistica 6: Metodychni vkazivky*. Kyiv [in Ukrainian]
18. Delucia, E. H., Heckathorn, S. A., & Day, T. A. (1992). Effects of soil temperature on growth, biomass allocation and resource acquisition of *Andropogon gerardii* Vitman. *New Phytologist*, 120 (4), 543–549. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01804.x>
19. McKone, M. J., Lund, C. P., & O'Brien, J. M. (1998). Reproductive biology of two dominant prairie grasses (*Andropogon gerardii* and *sorghastrum nutans*, Poaceae): male-biased sex allocation in wind-pollinated plants? *American Journal of Botany*, 85 (6), 776–783. <https://doi.org/10.2307/2446412>
20. Weik, L., Kaul, H. -P., Kübler, E., & Aufhammer, W. (2002). Grain Yields of perennial grain crops in pure and mixed stands. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188 (5), 342–349. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2002.00580.x>
21. Jungers, J. M., DeHaan, L. R., Betts, K. J., Sheaffer, C. C., & Wyse, D. L. (2017). Intermediate wheatgrass grain and forage yield responses to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 109 (2), 462–472. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0438>
22. Roik, M. V., Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., & Hanzhenko, O. M. (2011). Rol i miste fitoenerhetyky v palyvno-enerhetychnomu kompleksi Ukrainy. *Tsukrovi Buriaky*, 1, 6–7. [in Ukrainian]
23. Kulyk, M., D'omin, D., & Rozhko, I. (2021). Reclamation of marginal lands using rare energy crops. *European Vector of Development of the Modern Scientific Researches*. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-077-3-27>

### ORCID

D. D'omin  <https://orcid.org/0000-0002-2421-0729>  
M. Kulyk  <https://orcid.org/0000-0003-0394-5846>



2023 D'omin D. and Kulyk M. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.