

УДК 633.179:620.925:338.432:631.5

Ефективність та логістика виробництва насіння проса прутоподібного залежно від елементів агротехнології

 А. В. Ритченко,  О. В. Калініченко,  М. І. Кулик*

Полтавський державний аграрний університет МОН України, вул. Г. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 03806,
Україна, *e-mail: kulykmaksym@ukr.net

Мета. Установити ефективність виробництва насіння проса прутоподібного залежно від елементів агротехнології вирощування насінників. **Методи.** Дослідження проводили на чорноземах опідзолених середньогумусних упродовж шести років. При цьому використовували методику дослідної справи в агрономії, затверджені наукові рекомендації та методики економічної та енергетичної ефективності. Матеріалом для дослідження були українські сорти проса прутоподібного 'Зоряне' і 'Морозко' та сортозразок іноземної селекції 'Кейв-ін-рок'. Польовий експеримент поєднував вивчення цих сортів на фоні звичайної та оптимізованої технології вирощування насінників материнських рослин проса прутоподібного та їх потомства. **Результати.** Різні агротехнології мали суттєвий вплив на врожайність насіння досліджуваних сортів проса прутоподібного. Найбільший урожай насіння у середньому за роки дослідження формували насінники за оптимізованої технології вирощування материнських рослин проса прутоподібного: сорт 'Зоряне' 0,71 т/га, 'Морозко' 0,45 т/га та 'Кейв-ін-рок' 0,32 т/га, а потомства – відповідно за сортами: 0,82; 0,74 і 0,46 т/га. Відповідно на цих варіантах були й вищі показники економічної ефективності, порівняно із звичайною технологією – рівень рентабельності виробництва насіння потомства зріс до 156,0 та більше 200,0 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва насіння за оптимізованої агротехнології був у межах від 2,0 до 4,0 (для материнських рослин) та 2,8 до 4,4 (для потомства). Також розроблено логістичний ланцюг виробництва насіння та біомаси за багаторічного використання посівів проса прутоподібного. **Висновки.** Ефективність виробництва насіння проса прутоподібного значною мірою залежить від оптимізації елементів агротехнології вирощування насінників. Що передбачає: весняну сівбу насіннєвого матеріалу проводити розрахованою нормою висіву насіння залежно від його крупності за широкорядного способу сівби (міжряддя 60 см) та застосовувати щорічне весняне азотне підживлення насінників у фазі куштиння розрахунковою дозою азотних добрив (N₄₅). При цьому відмічено зростання врожайності насіння та економічної й енергетичної ефективності його виробництва.

Ключові слова: просо прутоподібне; агротехнології; урожайність; насіння; економічна ефективність; енергетична ефективність; агрологістика.

Вступ

Насьогодні, вивчення й практичне застосування альтернативних джерел енергії, на противагу непоновлюваним енергоресурсам, набуває першочергового й актуального значення. Адже наша країна значною мірою залежить від імпорту енергоносіїв, на фоні низького власного виробництва. Тому розвиток біоенергетичного сектору є пріоритетним для України на сьогодні [1–3].

У зв'язку з чим, використання рослинного енергетичного ресурсу енергетичних культур дозволить збільшити частку поновлюваних джерел енергії в ПЕК України. До таких рослин відносять: міскантус гігантський, просо прутоподібне, клони верби енергетичної та інші енергетичні рослини [4, 5]. Ці рослини в більшій мірі досліджують в якості біопаливної сировини та генерування з них теплової енергії [6, 7].

Актуальність вивчення особливостей виробництва біомаси й насіння проса прутоподібного (світчграсу) обумовлюється наступними перевагами. Вони полягають у різноплановості та

перспективності цієї енергетичної культури. Адже, як відмічають автори, вирощування світчграсу на біомасу має позитивний ефект на навколишнє природне середовище. Сюди відносять: екологічність технології (без використання пестицидів, запобігання ерозійним процесам в ґрунтах, поліпшення їх структури та зниження обсягів викидів парникових газів [8]. Окрім цього, в Україні вже наявні зареєстровані сорти, що добре адаптовані до умов вирощування та володіють високим потенціалом продуктивності [9]. Не менш важливим чинником є стабільність виробництва біомаси світчграсу: приріст її на одиницю площі та обсяг виробництва, що є сталим й прогнозованим показником. Це обумовлюється багаторічним циклом життя рослин, та високою щорічною відтворювальною здатністю фітоценозу [10, 11]. Водночас, на сьогодні товаровиробники не забезпечені достатньою кількістю насіння енергетичних культур, в т. ч. і світчграсу, що стримує їх поширення та вирощування на значних площах.

Поряд з цим, оцінка енергопродуктивності та економічної результативності виробництва продукції світчграсу має також важливе значення. Так, авторка С. М. Мандровська визначила врожайність та енергетичну ефективність світчграсу залежно від сорту за довготривалого використання енергопосівів. Встановлено, що врожайність цієї культури варіювала – від 26,5 до 32,6 т/га, а енергетичний еквівалент біомаси був у межах – від 468,3 до 588,8 ГДж/га, При цьому, авторка розраховувала й економічну ефективність виробництва світчграсу. Було встановлено, що найвищі показники рентабельності виробництва продукції у сортозразка 'Kanlow' (101,4 %), а у 'Cave-in-Rok' і у сорту 'Морозко' менше 70,0 % [12].

Інші автори отримали подібні залежності для сортів світчграсу 'Кейв-ін-рок та 'Картадж' третього-четвертих років вегетації. Ними визначено, що вартість продукції біомаси за сортами й роками склали: 11 875 і 15 390; 9595 і 13 870 грн/га, а прибуток від реалізації продукції, відповідно становив 4157 і 7381; 1974 та 5950 грн/га. Рівень рентабельності у сорту 'Кейв-ін-рок' був відповідно років 92,2 і 54,0 %, а для сорту 'Картадж' – 75,1; 26,0 %. При цьому встановлено, що вихід енергії був межах від 179,3 до 209,2 ГДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності у середньому за роки становив 3,4 і 3,0 [13].

Нашими попередніми дослідженнями визначено, що для енергетичних культур й забезпечення рентабельності виробництва: для міскантусу гігантського (59,1 %) і проса прутіподібного (61,05 %) необхідно застосовувати вдосконалену технологію вирощування. Основні елементи цієї агротехнології поєднують оптимальне розміщення рослин на площі та застосування щорічного весняного азотного підживлення посівів розпочинаючи з третього року вегетації культур [14].

Подальшими нашими дослідженнями встановлено, що вихід твердого біопалива та вихід енергії був вищим з плантацій міскантусу гігантського (вихід біомаси – 17,8–24,0 т/га, вихід енергії – від 311,9 до 419,7 ГДж/га). Вихід твердого біопалива з посівів проса прутіподібного становив 15,5–18,2 т/га, вихід енергії коливався в межах – від 266,8 до 312,2 ГДж/га. Енергетична ефективність виробництва біомаси для обох досліджуваних енергетичних культур була на середньому рівні ($K_{ee} > 4,5$) [15]. Також, у іншій публікації була обрахована ефективність виробництва біомаси світчграсу. Авторами визначено, що з економічної точки зору умовний прибуток та рентабельність виробництва зростає від застосування весняного азотного підживлення рослин за сумісної та моносівби культури [16].

Економічна ефективність виробництва продукції світчграсу розглядається у публікації О. В. Калініченко та О. Д. Плотник. Розрахунками підтверджено прибутковість за вирощування сортів світчграсу на біопаливо: 'Канлоу' – 475,99 грн/га, 'Картадж' – 420,92 грн/т та 'Аламо' – 359,52 грн/т. Авторами також виокремлені параметри та розроблені логічні агрооперації та взаємозв'язки між ними за виробництва біомаси світчграсу [17].

Таким чином, визначення особливостей агрологістики й ефективності виробництва продукції світчграсу – проса прутіподібного (насіння) залежно від сортового складу та агротехнології вирощування є актуальним питанням сьогодення.

Мета досліджень – установити ефективність виробництва насіння проса прутіподібного залежно від елементів агротехнології вирощування насінників.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження з культурою проса прутіподібне проводили в центральному Лісостепу України. В зоні нестійкого зволоження було закладено й проведено польовий експеримент.

Дослідження здійснено відповідно методики дослідної справи в агрономії із застосуванням методів математичної статистики [18, 19]. Використовували також затверджені методики й рекомендацій [20, 21] з вивчення насінневої продуктивності енергетичних культур.

Оптимізована технологія вирощування передбачала наступні агрозаходи: весняна сівба насіннєвого матеріалу сортів проса прутноподібного розрахованою нормою висіву насіння залежно від його крупності – маси 1000 насінин (у межах 5,7–7,9 кг/га) із застосуванням широкорядного способу сівби (міжряддя 60 см) та проведення весняного азотного підживлення рослин у фазі кушіння розрахунковою дозою азотного добрива (N₄₅). При цьому, розрахунок фактичної норми висіву насіння проса прутноподібного проводиться з урахуванням маси 1000 насінин.

Приклад. При запланованій густоті стояння рослин проса прутноподібного на рівні 3 млн. шт./га та маси 1000 насінин 1,0 г і з урахуванням посівної придатності насіння 76,0 % фактична норма висіву для сорту ‘Зоряне’ буде становити: $N = (3,0 \times 2,0 \times 1,0 \times 100) \div 76,0$, тобто $N = 7,9$ кг/га.

Підживлення насіннєвих посівів проса прутноподібного проводили азотним добривом дозою N₄₅, що розраховувалася з урахуванням формули удобрення культури, що має вигляд N₄₅ (P і K не зазначено). Ми вносили Карбамід – азотне добриво, що містить 46 % азоту. Скористаємося формулою і підставивши значення, отримаємо: $D = (45 \div 46) \times 100$, тобто 97,8 кг/га необхідно внести даного добрива у вигляді підживлення.

Для обрахунку показників економічної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного користувалися методикою О. В. Калініченко [22]. Основні показники: C_в – виробнича собівартість, грн/т; C_п – повна собівартість, грн/т; В_р – виручка від реалізації насіння, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації насіння, грн; Р – рівень рентабельності виробництва насіння, %.

Енергетичну ефективність виробництва насіння проса прутноподібного визначали відповідно методики [23]. Основні показники: В_{сн} – вихід схожого насіння, т/га; Е_{пр} – сукупна енергія, накопичена в насінні, ГДж/га; Е_с – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га насіннєвих посівів, ГДж/га; ЕМ – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т; П_р – енергетичний прибуток вирощування насіння, ГДж/га; К_е – коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва насіння. При цьому, враховували те, що 1 ГДж = 1000 МДж.

Додатково, до визначення показників енергетичної ефективності для визначення енергії органічних сполук в насінні використовують формулу:

$$Q_y = (Y \cdot q) \cdot (L : 100 \%),$$

де Q_y – енергія, накопичена в насінні, МДж/кг; Y – урожайність насіння, кг/га; q – вміст енергії в 1000 кг за сухої речовини, МДж; L – вміст сухої речовини в насінні, %.

Приклад: $(770 \cdot 1300) \cdot (15 : 100) = 150150$ МДж/га, або це 150,15 ГДж/га.

Результати досліджень

З урахуванням рівня насіннєвої врожайності сортів проса прутноподібного визначено ефективність (економічна та енергетична) за виробництва насіння даної культури і в залежності від агротехнології вирощування насінників.

На першому етапі дослідження було здійснено оцінювання економічної ефективності виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування материнських рослин, при цьому враховували урожайність насіння (табл. 1).

Таблиця 1

Економічна ефективність виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування материнських рослин

Технологія вирощування	Сорт	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності				
			C _в	C _п	В _р	П _р	Р _{вир}
Звичайна	‘Зоряне’	0,65	15 716,50	18 772,20	67 567,5	28 880,3	259,9
	‘Кейв-ін-рок’	0,34	15 508,90	18 363,40	35 343,0	54 010,0	92,5
	‘Морозко’	0,28	15 495,50	18 245,50	29 106,0	65 162,5	59,5
Середнє за сортами		0,42	15 573,63	18 460,37	44 005,5	49 350,9	137,3
Оптимізована	‘Зоряне’	0,71	15 785,30	18 784,50	73 804,5	26 457,0	292,9
	‘Кейв-ін-рок’	0,45	15 696,30	18 387,20	46 777,5	40 860,4	154,4
	‘Морозко’	0,32	15 574,50	18 315,10	33 264,0	57 234,7	81,6
Середнє за сортами		0,49	15 685,37	18 495,60	51 282,0	41 517,4	176,3

Примітка. C_в – виробнича собівартість, грн/т; C_п – повна собівартість, грн/т; В_р – виручка від реалізації насіння, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації насіння, грн; Р – рівень рентабельності виробництва, %.

У результаті застосування оптимізованої технології вирощування материнських рослин виробнича та повна собівартість у середньому збільшилися на 111,74 грн та 35,23 грн відповідно. Проте підвищення витрат не призвело до зниження ефективності виробництва. Так, рівень рентабельності підвищився до 176,3 %.

Розглянемо ключові показники економічної ефективності виробництва насіння проса прутіподібного залежно від технології вирощування материнських рослин (рис. 1).

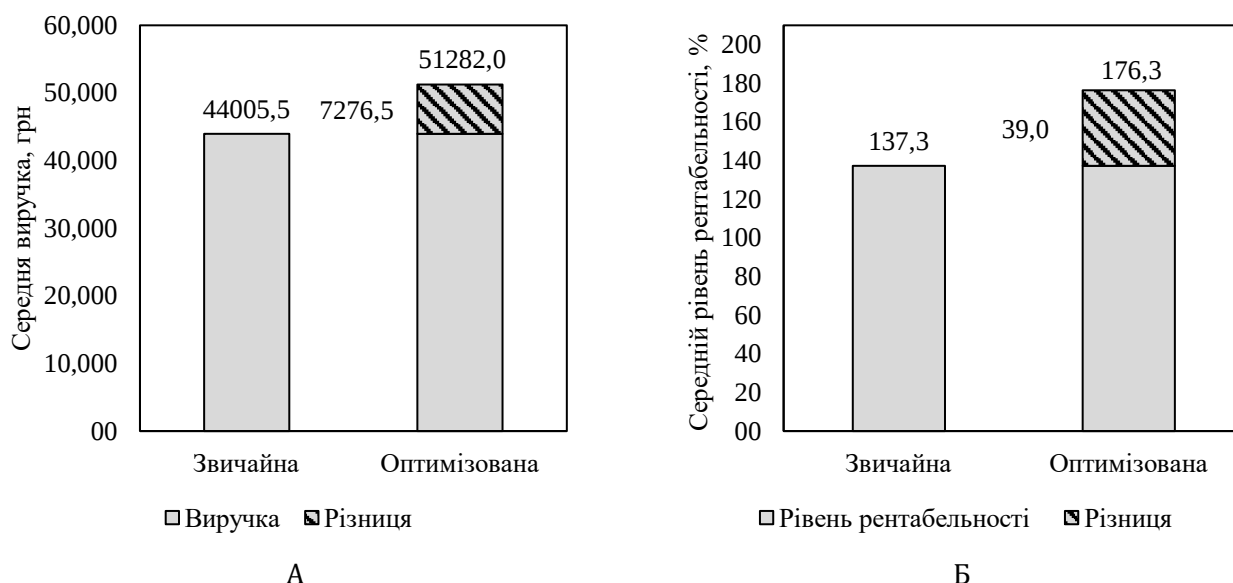


Рис. 1. Показники економічної ефективності виробництва насіння проса прутіподібного залежно технології вирощування материнських рослин:
А – виручка, Б – рівень рентабельності

Оптимізація технології вирощування материнських рослин у середньому дає змогу збільшити виручку реалізації продукції на 7276,5 грн до 51 282,0 грн за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 44 005,5 грн, а також підвищити рівень рентабельності виробництва продукції на 39,0 до 176,3 % за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 137,3 %.

Проведемо оцінювання економічної ефективності виробництва насіння сортів проса прутіподібного залежно технології вирощування потомства (табл. 2).

Таблиця 2

Економічна ефективність виробництва насіння сортів проса прутіподібного залежно технології вирощування потомства

Технологія вирощування	Сорт	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності				
			С _в	С _п	В _р	П _р	Р _{вир}
Звичайна	‘Зоряне’	0,77	15 790,50	18 790,00	80 041,5	24 402,6	326,0
	‘Кейв-ін-рок’	0,62	15 712,30	18 715,10	64 449,0	30 185,6	244,4
	‘Морозко’	0,38	15 521,40	18 522,50	39 501,0	48 743,4	113,3
Середнє за сортами		0,59	15 674,73	18 675,87	61 330,5	34 443,9	227,9
Оптимізована	‘Зоряне’	0,82	15 610,40	18 611,30	85 239,0	22 696,7	358,0
	‘Кейв-ін-рок’	0,74	15 796,60	18 800,20	76 923,0	25 405,7	309,2
	‘Морозко’	0,46	15 704,30	18 705,00	47 817,0	40 663,0	155,6
Середнє за сортами		0,67	15 703,77	18 705,50	69 993,0	29 588,5	274,3

Примітка. С_в – виробнича собівартість, грн/т; С_п – повна собівартість, грн/т; В_р – виручка від реалізації насіння, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації насіння, грн; Р – рівень рентабельності виробництва, %.

Незважаючи на збільшення виробничої та повної собівартості в середньому на 29,04 грн та 29,63 грн відповідно, впровадження оптимізованої технології вирощування потомства забезпечило зростання виручки до 69 993,0 грн. Крім того, при цьому відмічено підвищення рівня рентабельності виробництва – до 274,3 %, що свідчить про високу економічну ефективність застосування оптимізованого підходу за виробництва насіння проса прутіподібного.

Виділимо головні показники економічної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного залежно від технології вирощування потомства (рис. 2).

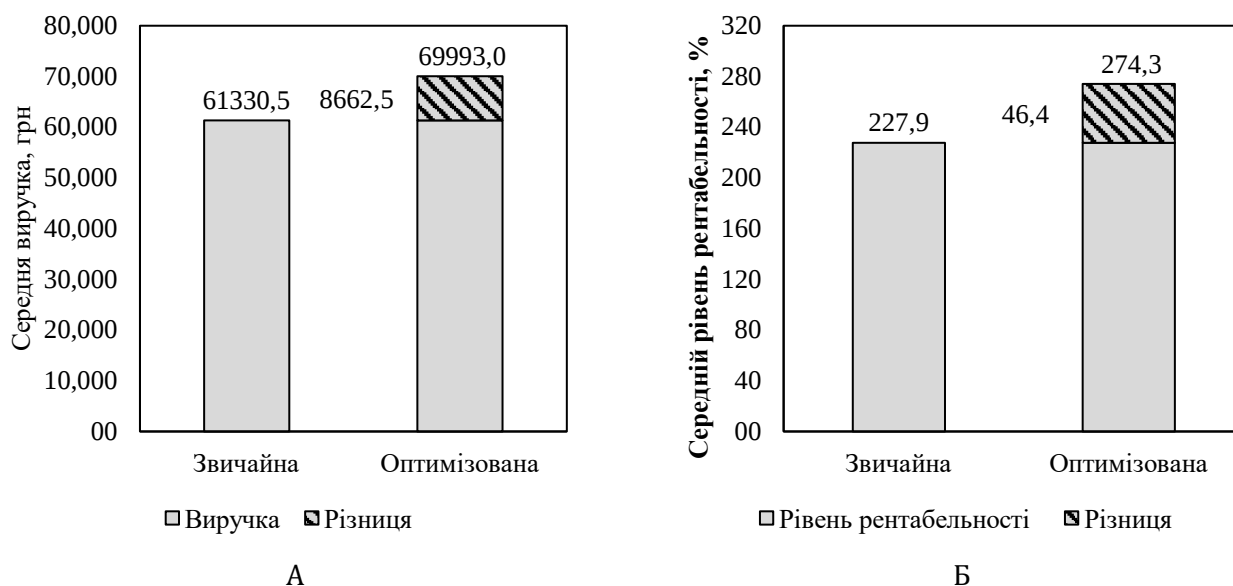


Рис. 2. Показники економічної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного залежно технології вирощування потомства:

А – виручка, Б – рівень рентабельності

За оптимізованої технології вирощування потомства вдалося в середньому збільшити виручку реалізації продукції на 8662,5 до 69 993,0 грн за оптимізованої технології, порівняно із звичайною – 61 330,5 грн, а також підвищити рівень рентабельності виробництва насіння на 46,4 до 274,3 % за оптимізованої технології, порівняно із звичайною – 227,9 %.

Розрахунок енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного за різних енергетичних витрат при тій чи іншій агротехнології виробництва проводили з урахуванням її енергоємності. Проведемо оцінювання енергетичної ефективності виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування материнських рослин (табл. 3).

Таблиця 3

Енергетична ефективність виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування материнських рослин

Технологія вирощування	Сорт	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності					
			$V_{сн}$	$E_{пр}$	E_c	EM	P_p	$K_{ее}$
Звичайна	‘Зоряне’	1,05	0,65	126,80	33,9	52,2	92,9	3,7
	‘Кейв-ін-рок’	0,55	0,34	66,30	32,2	94,7	34,1	2,1
	‘Морозко’	0,46	0,28	54,60	28,6	102,1	26,0	1,9
Середнє за сортами		0,69	0,42	82,57	31,6	83,0	51,0	2,6
Оптимізована	‘Зоряне’	1,14	0,71	138,50	34,2	48,2	104,3	4,0
	‘Кейв-ін-рок’	0,73	0,45	87,80	32,4	72,0	55,4	2,7
	‘Морозко’	0,52	0,32	62,40	31,8	99,4	30,6	2,0
Середнє за сортами		0,80	0,49	96,23	32,8	73,2	63,4	2,9

Примітка. $V_{сн}$ – вихід схожого насіння, т/га; $E_{пр}$ – сукупна енергія, накопичена в насінні, ГДж/га, E_c – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; EM – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т; P_p – енергетичний прибуток вирощування насіння, ГДж/га; $K_{ее}$ – коефіцієнт енергетичної ефективності.

За використання оптимізованої технології вирощування материнських рослин у середньому сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів збільшилися на 1,2 ГДж/га, а енергомісткість зменшилася на 9,8 ГДж/т.

Встановлено, що із зменшенням витрат енергії на агротехнологічні операції (за багаторічного циклу вирощування досліджуваних енергетичної культури на насіння) за оптимізованої агротехнології збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва насінневого матеріалу.

Виокремимо основні показники енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного залежно від технології вирощування материнських рослин (рис. 3).

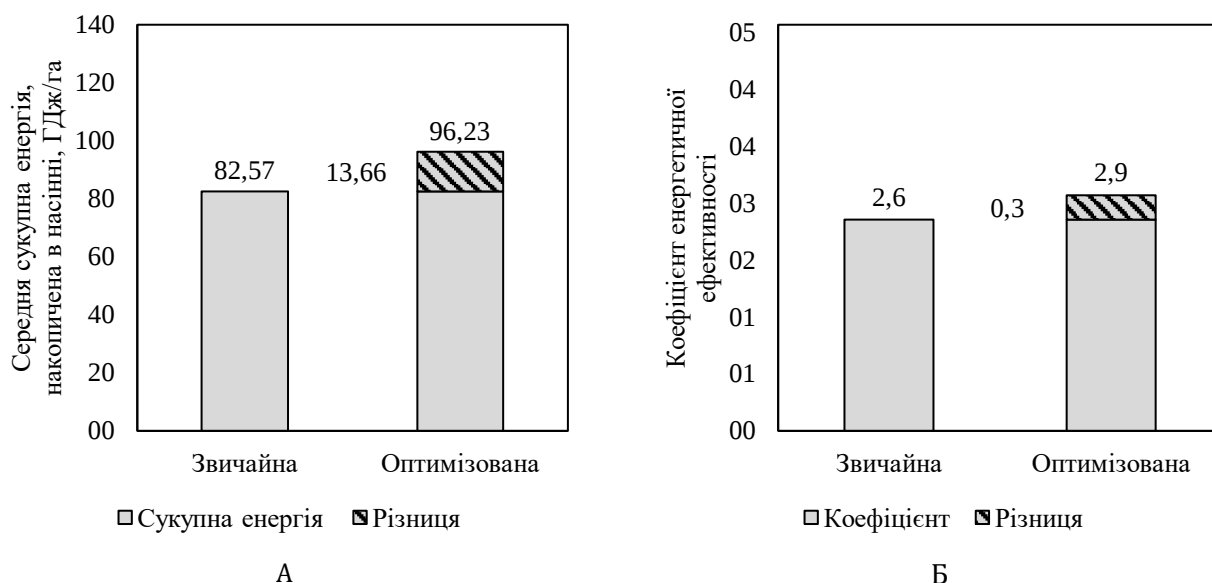


Рис. 3. Показники енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного залежно технології вирощування материнських рослин:
А – сукупна енергія, накопичена в насінні, Б – коефіцієнт енергетичної ефективності

Оптимізація технології вирощування материнських рослин у середньому дає змогу збільшити сукупну енергію, накопичену в насінні на 13,66 до 96,23 ГДж/га за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 82,57 ГДж/га, а також підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності на 0,3 до 2,9 за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 2,6.

Здійснимо оцінювання енергетичної ефективності виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування потомства (табл. 4).

Таблиця 4

Енергетична ефективність виробництва насіння сортів проса прутноподібного залежно технології вирощування потомства

Технологія вирощування	Сорт	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності					
			В _{сн}	Е _{пр}	Е _с	ЕМ	П _р	К _{ее}
Звичайна	‘Зоряне’	1,24	0,77	150,20	35,8	46,5	114,4	4,2
	‘Кейв-ін-рок’	1,00	0,62	120,90	33,5	54,0	87,4	3,6
	‘Морозко’	0,62	0,38	74,10	31,3	82,4	42,8	2,4
Середнє за сортами		0,95	0,59	115,07	33,5	61,0	81,5	3,4
Оптимізована	‘Зоряне’	1,32	0,82	159,90	36,2	44,1	123,7	4,4
	‘Кейв-ін-рок’	1,20	0,74	144,30	34,3	46,4	110,0	4,2
	‘Морозко’	0,75	0,46	89,70	32,1	69,8	57,6	2,8
Середнє за сортами		1,09	0,67	131,30	34,2	53,4	97,1	3,8

Примітка. В_{сн} – вихід схожого насіння, т/га; Е_{пр} – сукупна енергія, накопичена в насінні, ГДж/га; Е_с – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; ЕМ – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т; П_р – енергетичний прибуток вирощування насіння, ГДж/га; К_{ее} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

З-поміж сортів проса прутноподібного, поставлених на вивчення, найбільшу сукупну енергію, що накопичилася в насінні, забезпечив сорт ‘Зоряне’ – 159,90 ГДж/га за оптимізованої технології вирощування (коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,4). Суттєво нижчим цей показник був у сортів ‘Кейв-ін-Рок’ – 144,30 ГДж/га (коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,2) та ‘Морозко’ – 89,70 ГДж/га (коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,8).

Розглянемо ключові показники енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутноподібного залежно від технології вирощування потомства (рис. 4).

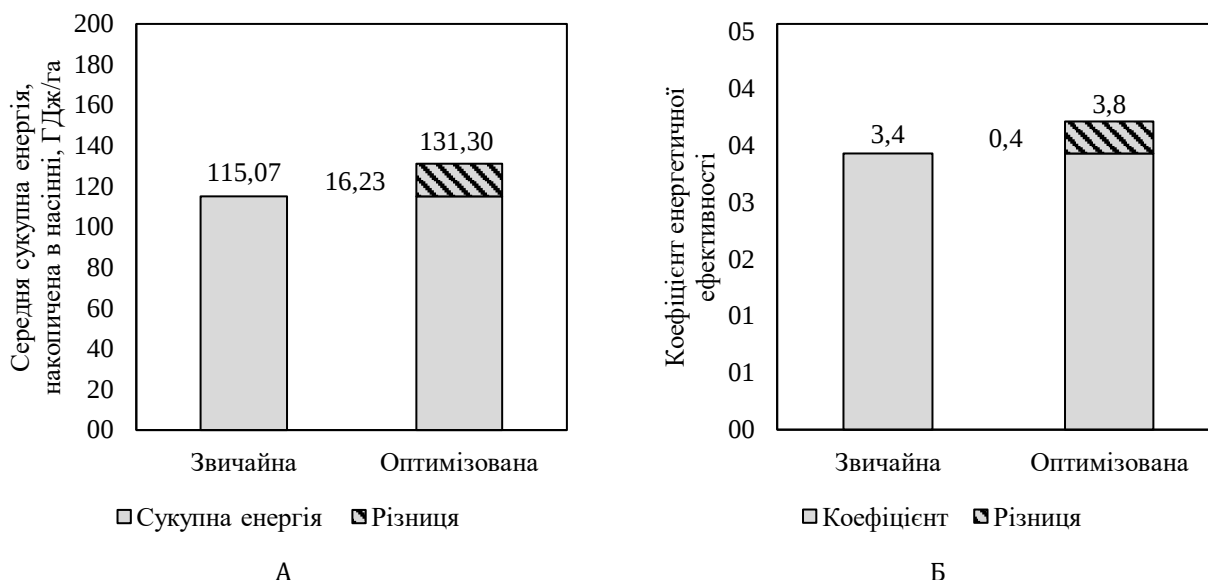


Рис. 4. Показники енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутоподібного залежно технології вирощування материнських рослин:

А – сукупна енергія, накопичена в насінні, Б – коефіцієнт енергетичної ефективності

За оптимізованої технології вирощування потомства в середньому сукупна енергія, накопичена в насінні збільшилась на 16,23 ГДж/га до 131,30 ГДж/га за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 115,07 ГДж/га, а також підвищити коефіцієнт енергетичної ефективності на 0,4 до 3,8 за оптимізованої технології, порівняно зі звичайною – 3,4.

Таким чином, нами підтверджена думка, що сортимент та агротехнологія вирощування насінників проса прутоподібного впливає на ефективність виробництва його насіння. При цьому необхідно враховувати менеджмент посівів, на основі оптимізації операцій логістичного ланцюга виробництва як насіння, так і біомаси проса прутоподібного (рис. 5).

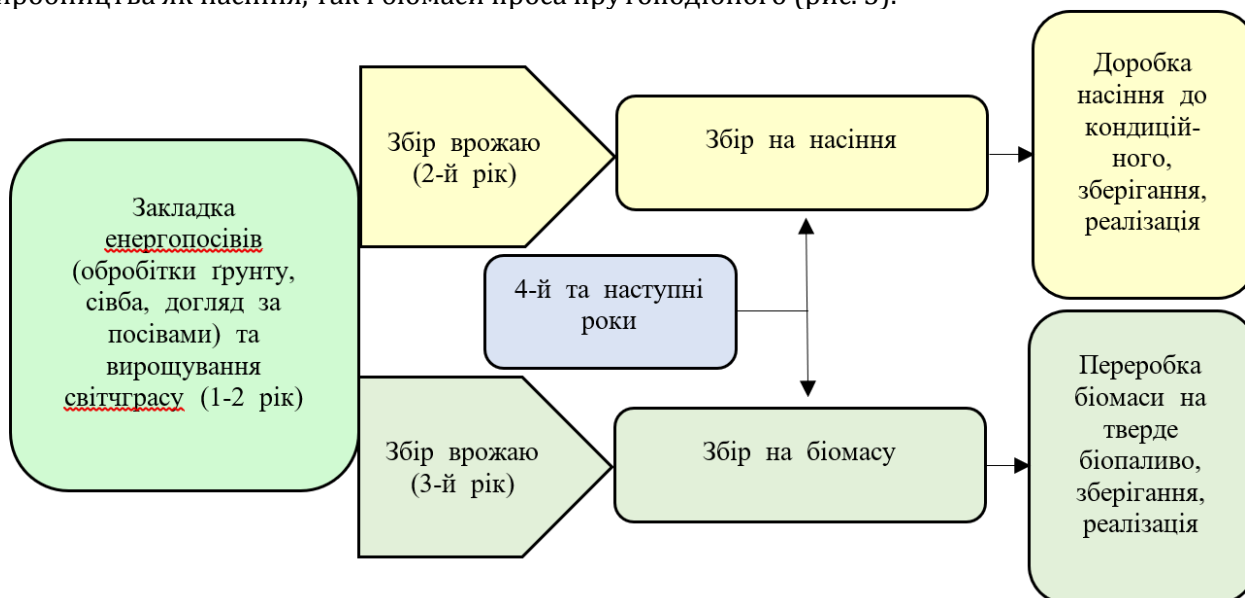


Рис. 5. Логістичний ланцюг виробництва біомаси та насіння проса прутоподібного за багаторічного використання енергопосівів

Логістичний ланцюг виробництва насіння та біомаси передусім передбачатиме: закладку енергопосівів та вирощування проса прутоподібного протягом одного-двох років для укорінення рослин. В подальшому – збір врожаю насіння (на другий рік) та біомаси (на третій рік), в послідовні роки – щорічний збір як біомаси, так і насіння. Після чого проводять відповідні операції для доробки насіннєвого матеріалу: підсушування, очищення й сортування, закладають його на зберігання та в подальшому використовують насіння для розширення власних площ енергопосівів (для отримання біомаси), або для реалізації.

Висновки

1. Найбільшу врожайність насіння потомства світчграсу отримали за оптимізованої агротехнології вирощування насінників: для сорту 'Зоряне' – на рівні 0,82 т/га, 'Кейв-ін-рок' – 0,74 т/га, істотно менше – для сорту 'Морозко' – 0,46 т/га.

2. Економічна та енергетична ефективність виробництва насіння проса прутоподібного значною мірою залежить від агротехнології вирощування як материнських рослин, так і потомства. Запровадження оптимізованих елементів агротехнології забезпечило суттєве зростання врожайності, а також підвищенню економічної та енергетичної ефективності виробництва насіння.

3. Використання оптимізованої технології забезпечило в середньому зростання виручки до 51 282,0 грн для материнських рослин та 69 993,0 грн для потомства, збільшення рівня рентабельності до 176,3 % для материнських рослин та 274,3 % для потомства. Найвищу сукупну енергію, накопичену в насінні в середньому становить 96,23 ГДж/га для материнських рослин та 131,30 ГДж/га для потомства, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,9 для материнських рослин та 3,8 для потомства. Зважаючи на вищенаведене, підтверджено доцільність та ефективність застосування оптимізованої агротехнології при вирощуванні насінників проса прутоподібного.

4. Розроблений логістичний ланцюг виробництва біомаси й насіння проса прутоподібного – від закладки енергопосівів до раціонального використання отриманої продукції (біомаси й насіння) за багаторічного циклу використання культури.

Використана література

1. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. Вид. 2-ге, доп. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с. URL: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/monograph2024.pdf>

2. Альтернативна енергетика: шляхи законодавчого стимулювання / за заг. ред. Т. Є. Харитонові та Х. А. Григор'євої. Луцьк : Вежа-Друк, 2023. 520 с. URL: <https://hdl.handle.net/11300/27409>

3. Кубатко О., Калініченко Л., Треус А., Лінь Д., Міщенко Я. Альтернативна енергетика як напрямок енергетичної стійкості країни. *Підприємництво та інновації*. 2024. № 32. С. 64–70. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/32.10>

4. Kulyk M. I., Taranenko A. O., D'omin D. G., Rozhko I. I. 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*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2022. P. 132–160. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-203-6-6>

5. Каленська С. М., Рахметов Д. Б., Новицька Н. В. та ін. Енергетичні та сировинні рослині ресурси. Київ : НУБіП України, 2022. 274 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9473>

6. Поїк М. В., Сінченко В. М., Іващенко О. О. та ін. Міскантус в Україні. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2019. 256 с. <https://doi.org/10.47414/978-617-7804-11-5>

7. Пришляк Н. В. Потенційні можливості вирощування біоенергетичної сировини на виробництво твердого біопалива. *Агросвіт*. 2021. № 1–2. С. 33–45. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.1-2.33>

8. Вольвач О. В., Жигайло О. Л., Колосовська В. В., Ярмолінський О. Ю. Агрокліматична оцінка перспектив вирощування світчграсу (*Panicum virgatum*) в лісостепових областях за умов зміни клімату. *Екологічні науки*. 2022. № 3. С. 123–130. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.20>

9. Сиплива Н. О., Кулик М. І., Рожко І. І., Ритченко А. В. Аналіз сортових ресурсів енергетичних культур в Україні. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Т. 31, № 1. С. 55–62. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.10>

10. Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. London : Earthscan, 2010. 516 p. <https://doi.org/10.4324/9781849774789>

11. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 1. С. 11–17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01>

12. Мандровська С. М. Продуктивність агрофітоценозів проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L.) за довготривалого використання. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. Вип. 29. С. 168–176. <https://doi.org/10.47414/nr.29.2021.244460>

13. Калетнік Г. М., Мазур В. А., Браніцький Ю. Ю., Мазур О. В. Оптимізація технологічних прийомів вирощування проса лозовидного (світчграс) для умов Лісостепу правобережного. Вінниця : Друк, 2020. С. 160. URL: <https://repository.vsau.org/getfile.php/27379.pdf>

14. Кулик М. І., Сиплива Н. О., Рожко І. І. Урожайність та ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 104. С. 149–160.

15. Kulyk M., Kalynychenko O., Pryshliak N., Pryshliak V. Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11, No 5. P. 1040–1053. [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5\(45\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5(45).02)
16. Калініченко О. В., Кулик М. І. Економічна ефективність вирощування проса прутноподібного (світчґрасу) в умовах Лісостепу України. *Економіка агропромислового виробництва*. 2018. № 11. С. 19–28. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201811019>
17. Калініченко О. В., Плотник О. Д. Економічна ефективність виробництва культури світчґрасу в Україні. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Економічні науки*. 2011. Т. 1., Вип. 2. С. 136–141.
18. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33532>
19. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії. Кн. 2. Статистична обробка результатів досліджень. / за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 352 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533>
20. Курило В. Л., Гументик М. Я., Гончарук Г. С. та ін. Методичні рекомендації з проведення основного та передпосівного обробітків ґрунту і сівби проса лозовидного. Київ: ІБКіЦБ. 2012. 28 с.
21. Кулик М. І., Рахметов Д. Б., Курило В. Л. Методика проведення польових та лабораторних досліджень з просом прутноподібним (*Panicum virgatum* L.). Полтава: РВВ ПДАА, 2017. 24 с.
22. Калініченко О. В., Кулик М. І. Науковий твір «Експрес-аналіз економічної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 93178 від 18.10.2019).
23. Калініченко О. В., Кулик М. І. Науковий твір «Методичні засади оцінки енергетичної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 93177 від 18.10.2019).

References

1. Kudria, S. O. (Ed.). (2024). *Renewable energy sources* (2nd ed., rev. and enl.). Institute of Renewable Energy of NASU. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/monograph2024.pdf> [In Ukrainian]
2. Kharytonova, T. Ye., & Hryhorieva, Kh. A. (Eds.). (2023). *Alternative energy: Ways of legislative stimulation*. Vezha-Druk. <https://hdl.handle.net/11300/27409> [In Ukrainian]
3. Kubatko, O., Kalinichenko, L., Treus, A., Lin, D., & Mishchenko, Y. (2024). Alternative energy as a direction of energy sustainability of the country. *Entrepreneurship and Innovation*, 32, 64–70. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/32.10> [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. In *Development trends of the world agriculture in the XXIst century: the view of the modern scientific community* (pp. 132–160). Baltija Publishing. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-203-6-6> [In Ukrainian]
5. Kalenska, S. M., Rakhmetov, D. B., Novytska, N. V., Mokriienko, V. A., Harbar, L. A., Yunyk, A. V., Antal, T. V., Honchar, L. M., Karpenko, L. D., & Pylypenko, V. S. (2022). *Energy and raw plant resources*. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9473> [In Ukrainian]
6. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., Hanzhenko, O. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Fuchylo, Ya. D., Honcharuk, H. S., Furman, V. A., Suslyk, L. O., Makukh, Ya. P., Remeniuk, S. O., Ivanina, V. V., Fursa, A. V., Bondar, V. S., Bekh, N. S., ... Katelevskyi, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. Komprint. <https://doi.org/10.47414/978-617-7804-11-5> [In Ukrainian]
7. Pryshliak, N. (2021). Potential possibilities of growing bioenergy crops for the production of solid biofuels. *Agrosvit*, 1–2, 33–45. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.1-2.33>
8. Volvach, O., Jigaylo, O., Kolosovska, V., & Yarmolinsky, O. (2022). Agroclimatic assessment of prospects for growing switchgrass (*Panicum virgatum*) in forest-steppe regions in the context of climate change. *Ecological Sciences*, 42(3), 123–130. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.20> [In Ukrainian]
9. Syplyva, N., Kulyk M., Rozhko I., & Rytchenko A. (2025). Analysis of energy crops assortment in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28(1), 55–62. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.10> [In Ukrainian]
10. El Bassam, N. (2010). *Handbook of Bioenergy Crops*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849774789>
11. Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy cultures of the family of thin-skinned in the conditions of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 11–17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01> [In Ukrainian]
12. Mandrovskaya, S. M. (2021). Productivity of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) agrophytocenoses for long-term use. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 168–176. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244460> [In Ukrainian]

13. Kaletnik, H. M., Mazur, V. A., Branitskyi, Yu. Yu., & Mazur, O. V. (2020). *Optimization of technological methods for growing broomcorn millet (switchgrass) under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe*. Druk. <https://repository.vsau.org/getfile.php/27379.pdf> [In Ukrainian]
14. Kulyk, M. I., Syplyva, N. A., & Rozhko, I. I. (2018). Productivity and efficiency of biomass production of energy crops depending on the elements of cultivation technology. *Tavria Scientific Bulletin*, 104, 149–160. [In Ukrainian]
15. Kulyk, M., Kalynychenko, O., Pryshliak, N., & Pryshliak, V. (2020). Efficiency of Using Biomass from Energy Crops for Sustainable Bioenergy Development. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 11(5), 1040–1053. [https://doi.org/10.14505//jemt.v11.5\(45\).02](https://doi.org/10.14505//jemt.v11.5(45).02)
16. Kalinichenko, O., & Kulyk, M. (2018). Economic efficiency of rod-shaped millet (switchgrass) cultivation within the forest-steppe of Ukraine. *Ekonomika APK*, 11, 19–28. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201811019> [In Ukrainian]
17. Kalynychenko, O. V., & Plotnyk, O. D. (2011). Economic efficiency of switchgrass production in Ukraine. *Scientific Works of Poltava State Agrarian Academy. Economic Sciences*, 1(2), 136–141. [In Ukrainian]
18. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshstop, E. A. (2016). *Research work in agronomy. Book 1: Theoretical aspects of the research case*. Maidan. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33532> [In Ukrainian]
19. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., Kalenska, S. M., Puzik, L. M., Popov, S. I., Muzafarov, N. M., Bukhalo, V. Ya., & Kryshstop, Ye. A. (2016). *Research work in agronomy. Book 2: Statistical processing of research results*. Maidan. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/33533> [In Ukrainian]
20. Kurylo, V. L., Humentyk, M. Ya., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., Kaskiv, V. V., Maksymenko, O. V., & Mandrovskaya, S. M. (2012). *Guidelines for primary and pre-sowing soil cultivation and sowing of broomcorn millet*. IBCSB NAAS. [In Ukrainian]
21. Kulyk, M. I., Rakhmetov, D. B., & Kurylo, V. L. (2017). *Methodology for field and laboratory research of switchgrass (Panicum virgatum L.)*. RVV PDAA. [In Ukrainian]
22. Kalynychenko, O. V., & Kulyk, M. I. (2019). *Express analysis of the economic efficiency of growing energy crops in the Forest-Steppe of Ukraine* (Copyright certificate No. 93178, October 18, 2019). [In Ukrainian]
23. Kalynychenko, O. V., & Kulyk, M. I. (2019). *Methodological principles for evaluating the energy efficiency of growing energy crops in the Forest-Steppe of Ukraine* (Copyright certificate No. 93177, October 18, 2019). [In Ukrainian]

UDC 633.179:620.925:338.432:631.5

Rytchenko, A. V., Kulyk, M. I.*, & Kalinichenko, O. V. (2025). Efficiency and logistics of switchgrass seed production depending on agro-technological elements. *Advanced Agritechnologies*, 13(2). <https://doi.org/10.47414/na.13.2.2025.339554> [In Ukrainian]

Poltava State Agrarian University, Ministry of Education and Science of Ukraine, 1/3 Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine, e-mail: kulykmaksym@ukr.net

Purpose. To determine the efficiency of switchgrass seed production as influenced by agro-technological elements applied in seed stand cultivation. **Methods.** The study was conducted over six years on medium-humus podzolized chernozem soils. The methodology of experimental research in agronomy, approved scientific recommendations, and methods for assessing economic and energy efficiency were applied. The research material included the Ukrainian switchgrass cultivars 'Zoriane' and 'Morozko', as well as the foreign cultivar 'Cave-in-Rock'. The field experiment evaluated these cultivars under both conventional and optimized agro-technological practices for cultivating seed stands of maternal switchgrass plants and their progeny. **Results.** It was established that different agro-technological practices had a significant effect on the seed yield of the studied switchgrass cultivars. On average, over the years of the study, the highest seed yields were obtained under the optimized cultivation technology of maternal switchgrass plants: 0.71 t/ha for 'Zoriane', 0.45 t/ha for 'Morozko', and 0.32 t/ha for 'Cave-in-Rock'. The corresponding seed yields of their progeny were 0.82, 0.46, and 0.74 t/ha, respectively. These variants also demonstrated higher economic efficiency compared to the conventional technology: the profitability level of progeny seed production reached up to 156.0 and over 200.0 %. The energy efficiency coefficient of seed production under the optimized agro-technology ranged from 2.0 to 4.0 for maternal plants, and from 2.8 to 4.4 for their progeny. Additionally, a logistics chain for seed and biomass production from long-term switchgrass stands was developed. **Conclusions.** It was established that the efficiency of switchgrass seed production largely depends on optimizing agro-technological elements in seed crop cultivation. This includes spring sowing of seed material at a calculated seeding rate based on seed size, using a wide-row sowing method with 60 cm row spacing, and applying annual spring nitrogen fertilization of seed stands at the tillering stage with a calculated nitrogen dose (N₄₅). This approach resulted in increased seed yield, as well as improved economic and energy efficiency of production.

Keywords: switchgrass; agrotechnologies; yield; seed; economic efficiency; energy efficiency; agrologistics.

Надійшла / Received 09.07.2025
Погоджено до друку / Accepted 05.08.2025