

DOI: 10.32636/01308521.2022-(71)-2-8

УДК 633.179:631.53.01:631.559

**В. В. ДРИГА**, кандидат сільськогосподарських наук

**В. А. ДОРОНІН**, доктор сільськогосподарських наук

**Ю. А. КРАВЧЕНКО**, кандидат сільськогосподарських наук

**В. В. ДОРОНІН**, науковий співробітник

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, e-mail: [doronin1955@ukr.net](mailto:doronin1955@ukr.net)

## **ПІДГОТОВКА НАСІННЯ ПРОСА ПРУТОПОДІБНОГО (*PANICUM VIRGATUM* L.) ДЛЯ СІВБИ**

Відновловані джерела енергії є важливою альтернативою традиційним викопним енергоресурсам, кількість яких зменшується. Серед нових перспективних енергетичних рослин на особливу увагу заслуговує багаторічна злакова культура, яка належить до рослин з С<sub>4</sub> типом фотосинтезу і здатна нагромаджувати значні обсяги біомаси, – просо прутоподібне (свічграс) для виготовлення біопалива. Стримуючим чинником широкого впровадження культури у виробництво є низька схожість насіння, що зумовлено станом його спокою, який може бути спричинений пониженням активності зародка, захисною оболонкою, гормональною системою. Порушити його можна різними способами – екзогенними або ендогенними чинниками, більшість з яких ґрунтується на створенні стресових умов у період проростання насіння або ж до його початку. Одним з способів зниження біологічного спокою насіння є передпосівна підготовка.

Метою досліджень було вивчення елементів технології та розробка способу передпосівної підготовки насіння, який забезпечить достовірне підвищення його схожості.

Технологічна схема підготовки насіння проса прутоподібного виробничих партій включає такі операції: очистка від домішок – скарифікація – очистка від пилу та залишків оболонки – сортування за питомою масою – сортування за аеродинамічними властивостями. Скарифікація забезпечила збільшення енергії проростання та схожості на 7 % порівняно з контролем – без застосування цього способу підвищення якості насіння. З'ясовано, що внаслідок проведення цього заходу залежно від сортових особливостей на сортозразках різних груп стиглості та плоідності отримано достовірне підвищення енергії проростання та схожості насіння. Послідовне сортування за питомою масою та аеродинамічними властивостями забезпечило підвищення схожості на пневмостолі на 7 % за виходу насіння 55,8 %, а низькосхожого насіння з пневмостола – на 7–21 % за його виходу 16,7 %, загальний вихід становив 72,5 %.

Схема підготовки насіння проса прутоподібного, яка включає його

© Дрига В. В., Доронін В. А.,  
Кравченко Ю. А., Доронін В. В., 2022

скарифікацію, сортування за сукупністю ознак – питомою масою та аеродинамічними властивостями, є ефективною і забезпечує зниження біологічного стану спокою насіння і відповідно – достовірне підвищення схожості підготовленого до сівби насіння на 7–21 %, але не забезпечує повного вирішення зниження біологічного стану спокою насіння.

**Ключові слова:** технологічна схема, схожість, скарифікація, сортування, питома маса, аеродинамічні властивості.

**Viktoriia Dryha, Volodymyr Doronin, Yuliia Kravchenko, Volodymyr Doronin**

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets of NAAS

**Preparation of millet seeds (*Panicum virgatum* L.) for sowing**

Renewable energy sources are an important alternative to traditional fossil fuels, which are declining. Among the new promising energy plants, special attention should be paid to perennial cereals, which belong to plants with C<sub>4</sub> type of photosynthesis and are able to accumulate significant amounts of biomass – millet (switchgrass) for biofuel production. A restraining factor in the widespread introduction of crops into production is the low similarity of seeds, due to its dormancy. The state of biological dormancy of the seed can be caused by a decrease of the embryo's activity, the protective membrane, and hormonal system. It can be disturbed in various ways – by exogenous or endogenous factors, most of which are based on the creation of stressful conditions during the period of seed germination or before the beginning of its germination. One way to reduce it is pre-sowing preparation.

The aim of the research was the elements of technology study and development of pre-sowing seed preparation method, which will provide a significant increase in its germination.

The technological scheme of production batches rod-shaped millet seeds preparation includes the following operations: cleaning of seeds from impurities – scarification – cleaning of seeds from dust and shell residues – sorting by specific weight – sorting by aerodynamic properties. Scarification provided an increase in germination energy and seed similarity by 7 % compared to the control – without the use of this method of improving seed quality. It was found that carrying out this measure, depending on varietal characteristics, on cultivars of different ripeness and ploidy groups, resulted in a reliable increase in germination energy and seed similarity. Consecutive sorting by specific weight and aerodynamic properties provided an increase in germination on the pneumatic table by 7 % at the output of 55.8 %, and inferior in terms of germination seeds from the pneumatic table – by 7–21 % at the output of 16.7 %, the total output was 72.5 %.

The scheme of preparation of millet seeds, which includes its scarification, sorting by a set of features – specific weight and aerodynamic properties is effective and reduces the biological dormancy of seeds and, accordingly – a significant increase in similarity of seeds prepared for sowing by 7–21 %, but does not provide complete solution to reduce the biological dormancy of seeds.

**Keywords:** technological scheme, seed germination, scarification, sorting,

specific weight, aerodynamic properties.

**Вступ.** Створення відновлюваних джерел енергії є важливою альтернативою традиційним викопним енергоресурсам, кількість яких зменшується як у світі, так і в Україні і які можуть зменшити залежність держави від традиційних видів палива [1, 14] з мінімальними впливом на довкілля та ризиком техногенних катастроф [1]. Основними складовими потенціалу є побічна продукція сільського господарства (солома, стебла та ін.) і енергетичні культури та використання біомаси рослинного походження, вирощеної на маргінальних землях [13]. Серед нових перспективних енергетичних рослин родини Злакових на особливу увагу заслуговує багаторічна злакова культура, яка здатна нагромаджувати значні обсяги біомаси за рахунок фотосинтезу – просо прутоподібне (свічграс), яка належить до рослин з C<sub>4</sub> типом фотосинтезу [5, 10, 18]. Просо прутоподібне має низьку собівартість сировини для виготовлення біопалива та високу врожайність надземної маси [4, 27], її можна вирощувати на землях малопродуктивних та непридатних для культивування інших сільськогосподарських культур [11, 15]. За даними Z. Ma, C. W. Wood, D. I. Bransby [20], з одного гектара культури можна отримати від 5 до 12 т умовного палива.

Розмноження проса прутоподібного можливе насінням і кореневищами, але найсприятливішим способом є розмноження насінням [8, 28]. Широке впровадження цієї культури у виробництво здержується низькою схожістю насіння, якому притаманний тривалий стан спокою. Адже насіння є не лише носієм генетичного потенціалу культури, а і одним з основних елементів технології її вирощування [24]. Насіння має високий рівень стану спокою, особливо відразу після його збирання. За даними М. І. Кулик та ін. [3], насіння проса прутоподібного відразу після збирання характеризується високим станом спокою.

За даними S. W. Adkins, S. M. Bellaires, D. S. Loch [6], M. Li [12], стан біологічного спокою насіння може бути спричинений пониженням активності зародка (зародок незрілий чи нерозвинений). Навколишні структури насінини (захисна оболонка – оплодень) проса прутоподібного також виступають як бар'єри для регулювання надходження кисню до зародка, що і є причиною низької схожості [22]. Більшість вчених вважають, що стан спокою в переважній більшості видів контролюється гормональною системою, а саме: наявністю абсцизової [12] та індолілоцтової кислоти і концентрацією

гіберелінової кислоти [16]. Стан спокою можна порушити різними способами – екзогенними або ендогенними чинниками, більшість з яких ґрунтується на створенні стресових умов у період проростання насіння або ж до початку його проростання [23]. Серед екзогенних чинників важливе місце посідають температурний, водний і світловий режими, серед ендогенних – фітогормональна система, що регулює метаболізм і сигналінг при переході насіння зі стану спокою до проростання [9, 23, 30]. Охолодження насіння за пониженої температури впродовж певного періоду забезпечує значне зниження його біологічного стану спокою [6], підвищена температура ґрунту від 25 до 35 °С на період сівби зумовлює збільшення польової схожості [21, 26], стратифікацію насіння – надмірне або недостатнє його зволоження [19, 28] або скарифікацію, що сприяє кращому вбиранню води, швидшому набуханню і проростанню насіння [2]. На думку А. J. Smart та L. E. Moser [25], термін біологічного спокою насіння можна зменшити шляхом ранньовесняного його висіву в вологий і непрогрітий ґрунт.

Знизити біологічний стан спокою і відповідно підвищити схожість насіння можна в процесі передпосівної його підготовки. Адже якість насіння формується зі створенням нових сортів, умов його вирощування та в процесі передпосівної обробки, що ґрунтується на видаленні домішок машинами, які працюють на основі різниці за фізико-механічними властивостями компонентів вороху. Технологія передпосівної підготовки насіння більшості сільськогосподарських культур включає низку технологічних операцій, а саме: очистку, шліфування, калібрування, сортування за аеродинамічними властивостями та питомою масою, обробку захисно-стимулюючими речовинами, інкрустацію й дражування [29]. Найчастіше для сортування використовують такі властивості, як розміри, форма, питома маса, особливості поверхні, аеродинамічні властивості (критична швидкість) тощо.

Передпосівна підготовка насіння проса прутоподібного дещо простіша, ніж підготовка насіння кукурудзи, соняшнику та буряків цукрових, яка включає багато технологічних операцій, щоб отримати насіння високої якості.

Враховуючи перспективу проса прутоподібного як біоенергетичної культури, біологічні її особливості насіння – значний стан його спокою, що призводить до зниження схожості і відповідно – польової схожості, рівномірності та повноти насіння, досліді були спрямовані на вивчення елементів технології та розробку способу

передпосівної підготовки насіння, який забезпечить достовірне підвищення його схожості, що і було метою дослідження.

**Матеріали і методи.** Експериментальну роботу виконували в лабораторії насіннезнавства, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2021 рр. з використанням лабораторного обладнання – аспіраційної колонки фірми «Петкус» (рис. 1а) та пневматичного сортувального стола фірми «Веструб» (рис. 1б).



а) аспіраційна колонка



б) пневматичний стіл

**Рис. 1. Лабораторне обладнання для сортування насіння**

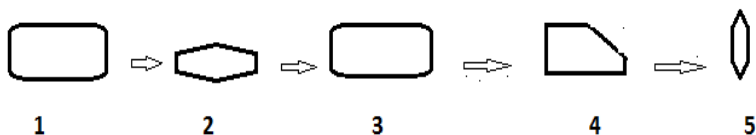
Скарифікацію насіння проводили на спеціальному обладнанні, де насіння активно перемішується між двома абразивними поверхнями, водночас відбувається його самошліфування за рахунок тертя одне об одне, а також частково по абразивній поверхні.

Визначення кількості оболонки, яку видаляли, проводили зважуванням насіння до скарифікації та після неї, попередньо видаляли пил. Схожість визначали згідно з методикою, розробленою в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, якою передбачено пророщування насіння за постійної температури 20 °С упродовж 15 діб з попереднім його охолодженням на вологому ложі за температури 10 °С упродовж 7 діб.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за допомогою дисперсійного і кореляційного аналізів за методом Фішера [17] з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.0 від компанії «StatSoft».

**Результати та обговорення.** Просо прутоподібне має відносно малі розміри насіння з високим рівнем стану спокою, тому технологічні прийоми його передпосівної підготовки мають бути спрямовані на зниження стану біологічного спокою насіння та підвищення інтенсивності проростання. До таких технологічних прийомів належать скарифікація насіння, очистка його від крупних та дрібних домішок, сортування за аеродинамічними властивостями, питомою масою та сукупністю цих ознак.

Технологічна схема підготовки насіння проса прутоподібного виробничих партій включає такі операції: очистка від домішок – скарифікація – очистка від пилу та залишків оболонки – сортування за питомою масою – сортування за аеродинамічними властивостями.



1, 3 – повітряно-решітні машини; 2 – скарифікатор; 4 – пневматичний сортувальний стіл; 5 – аеродинамічна аспіраційна колонка.

**Рис. 2. Технологічна схема підготовки насіння проса прутоподібного**

Першим етапом підготовки насіння проса прутоподібного, так як і інших культур, є його очистка від дрібних, крупних домішок, пилу та занадто дрібного насіння на повітряно-решітній машині (рис. 3).



**Рис. 3. Повітряно-решітна машина**

Очищене насіння для зниження його біологічного стану спокою направляють для проведення скарифікації з використанням скарифікатора (рис. 4а) або шліфувальної машини (рис. 4б). Скарифікація насіння – це руйнування його твердої водонепроникної поверхні оболонки та часткове її видалення механічним або термічним чи хімічним способами, що забезпечує вільний доступ води та кисню до зародка і відповідно підвищує інтенсивність його проростання [4, 9].



а) скарифікатор СКР-300

б) шліфувальна машина «Нордмак»

**Рис. 4. Машини для скарифікації насіння**

Скарифікація забезпечила збільшення енергії проростання та схожості на 7 % порівняно з контролем – без застосування цього способу підвищення якості насіння ( $НІР_{0,05}$  для енергії = 2,1 %, для схожості = 2,2 %). За проведення цього заходу залежно від сортових особливостей сортозразків різних груп стиглості та плоідності (оксаплоїдний середньопізній сортозразок Кейв-ін-рок і тетраплоїдний середньостиглий Санбурст) отримано достовірне підвищення енергії проростання та схожості насіння. Ці показники якості насіння збільшилися в сортозразка Кейв-ін-рок на 5 %, Санбурст – на 4 % ( $НІР_{05}$  = для енергії 2,6 %, схожості – 2,2 %).

Після скарифікації насіння очищають від пилу та частинок оболонки на повітряно-решетній машині та проводять його послідовне сортування за питомою масою на пневматичному сортувальному столі (рис. 5б) та за аеродинамічними властивостями на аспіраційній колонці (рис. 5а).

Найефективнішим способом підвищення схожості насіння є сортування за аеродинамічними властивостями на аспіраційній колонці та питомою масою на пневматичному сортувальному столі, тому в технологічній схемі підготовки насіння проса прутноподібного ці операції є обов'язковими.



а) аспіраційна колонка

б) пневмостіл

**Рис. 5. Машини для сортування насіння з метою підвищення його схожості**

Таке сортування сприяє видаленню біологічно неповноцінного насіння, поліпшенню його посівних якостей і виділенню насіння з високими врожайними властивостями. Очистка і сортування посівного матеріалу повітряним потоком за критичною швидкістю – швидкістю потоку повітря в метрах, за якої це тіло лишається у підвищеному стані, дає змогу відокремити домішки від насіння культури без значних втрат повноцінного насіння.

Встановлено, що сортування насіння за аеродинамічними властивостями забезпечує достовірне підвищення його схожості (табл. 1).

### 1. Якість насіння проса прутоподібного залежно від сортування за аеродинамічними властивостями (середнє за 5 дослідів, 2021 р.)

Швидкість повітря в аспіраційному каналі, м/с	Вихід насіння після сортування, %	Очищене насіння		Відходи	
		схожість, %	маса 1000 насінин, г	схожість, %	маса 1000 насінин, г
Контроль	-	43	1,65	-	-
5,6	95,1	45	1,75	4	0,50
7,1	91,2	40	1,65	16	0,83
7,49	82,5	46	1,58	28	1,08
7,87	72,0	59	1,78	33	1,25
8,82	51,3	55	1,78	42	1,50
HP <sub>05</sub>		8,7	0,2	8,7	0,2



Достовірно вищу схожість насіння (59 %) порівняно з контролем отримано за його сортування зі швидкістю повітря в аспіраційній колонці 7,89 м/с, вихід очищеного насіння становив 72,0 %. За цього режиму сортування 28 % насіння потрапляло у відходи, схожість яких становила 33 % з достовірним збільшенням маси 1000 насінин порівняно з іншими режимами сортування. Підвищення якості зумовлено видаленням дуже легкого насіння, про що свідчить збільшення маси 1000 насінин.

З'ясовано, що між масою 1000 насінин та схожістю є середня кореляція, коефіцієнт кореляції становить 0,68. Отримані результати гармонізуються з дослідженнями Aiken G. E., Springer T. L. [7 ], які вказували, що крупніше насіння свічграсу за масою 1000 насінин здатне до більш швидкого проростання.

Збільшення швидкості повітря в аспіраційній колонці до 8,82 м/с не сприяло підвищенню якості насіння. Сортування за такої швидкості повітря в аспіраційній колонці фактично призвело до розподілу насіння на дві частини – очищене та відходи, які мали майже однакові показники якості. Подальше збільшення швидкості повітря в аспіраційній колонці було недоцільним.

На відміну від технологічних схем підготовки насіння інших сільськогосподарських культур, де спочатку проводять сепарацію за аеродинамічними властивостями, а потім – за питомою масою, в технологічній схемі підготовки насіння проса прутіподібного, навпаки, спочатку сортування проводять за питомою масою, а проміжну фракцію та відходи, що сходять з пневмостола, повторно сортують за аеродинамічними властивостями.

Сортування насіння за сукупністю ознак – питомою масою та аеродинамічними властивостями – є ефективнішим способом його підготовки. При сортуванні насіння за питомою масою на пневмостолі воно розділяється на три фракції: високої схожості, підготовлене до сівби; проміжна фракція, яка направляється на повторне сортування, та відходи.

Встановлено, що навіть низької схожості (14 %) насіння за сортування на пневмостолі забезпечило її збільшення на 7 % порівняно з контролем ( $HP_{05} = 5,2$  %) за його виходу 55,8 % (табл. 2).

Водночас частина насіння (9,0 %) та те, що потрапило у відходи, мало занадто низьку схожість. У проміжну фракцію надійшло 21,5 % насіння, яке згідно зі схемою роботи пневмостола направляється на повторне сортування на пневмостолі. Але такого насіння недостатньо, щоб рівномірно розподілити на робочій поверхні пневмостола, що

забезпечує ефективне його сортування.

## 2. Якість насіння при сортуванні його за питомою масою, %

Відбирання насіння з пневмостола	Схожість	Вихід насіння
Контроль – без сортування	14	-
Високої якості	21	55,8
Малосхоже	9	9,0
Проміжна фракція (повторне сортування)	17	21,5
Відходи	11	13,7
HP <sub>05</sub>	5,2	-

За нашою схемою підготовки насіння проса прутоподібного для підвищення його схожості повторне сортування насіння низької схожості з пневмостола проводять на аспіраційній колонці за аеродинамічними властивостями. Доведено, що такий захід забезпечив підвищення схожості на 13–21 % (табл. 3).

## 3. Якість насіння при сортуванні за аеродинамічними властивостями, %

Насіння, відібране з пневмостола	Схожість насіння		Вихід насіння
	до сортування	після сортування	
Малосхоже	9	22	7,5
Проміжна фракція	17	33	7,5
Відходи	11	32	2,2
HP <sub>05</sub>	5,2	7,4	-

Поряд з підвищенням схожості додатково отримано 16,7 % якісного насіння для сівби. Тобто за сортування за сукупністю ознак загальний вихід насіння проса прутоподібного становив 72,5 % (55,8 % за сортування на пневмостолі та 16,7 % – на аспіраційній колонці).

**Висновки.** Схема підготовки насіння проса прутоподібного, яка включає його скарифікацію, сортування за сукупністю ознак – питомою масою та аеродинамічними властивостями – є ефективною і забезпечує зниження біологічного стану спокою і відповідно достовірне підвищення схожості підготовленого до сівби насіння на 7–21 % та його виходу – до 72,5 %.

Але цей захід не забезпечує повного вирішення зниження біологічного стану спокою насіння, тому потрібно продовжити пошук його причин для управління цим явищем і розробки технології отримання насіння високої якості.

**Список використаної літератури**

1. Доронін А. В. Формування конкурентоспроможності альтернативних видів пального в контексті стратегії розвитку АПК України. *Зб. наук. праць ІБКіЦБ*. 2013. Вип. 19. С. 181–187.
2. Дрига В. В. Якість насіння проса прутноподібного (*Panicum virgatum* L.) залежно від режиму його скарифікації. *Зб. наук. праць Білоцерківського НАУ : Агробіологія*. 2020. Вип. 1. С. 35–41.
3. Кулик М., Рій О., Крайсвітній П. Насіннева продуктивність проса лозоподібного (*Panicum virgatum* L.) другого року вегетації. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер.: Агронімія*. 2013. Вип. 17 (2). С. 215–219.
4. 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 (88). С. 11–17.
5. Щербаківа Т. О., Рахметов Д. Б. Особливості будови пагонів проса прутноподібного (*Panicum virgatum* L.) в умовах інтродукції в Правобережному Лісостепу та Поліссі України. *Plant Varieties Studying and protection*. 2017. Т. 13, № 1. С. 85–88.
6. Adkins S. W., Bellaires S. M., Loch D. S. Seed dormancy mechanismus in warm season grass species. *Euphytica*. 2002. V. 126, № 1. P. 13–20. DOI: 10.1023/A1019623706427.
7. Aiken G. E., Springer T. L. Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *J. Range Manage.* 1995. V. 48. P. 455–458.
8. Beaty E. R., Engel J. L., Powell J. D. Tiller development and growth in switchgrass. *J. Range Manage.* 1978. V. 31. P. 361–365.
9. Bewley J. D., Black M. Seeds: Physiology of Development and Germination. Berlin : Springer Science +

**References**

1. Doronin A. V. Formation of competitiveness of alternative fuels in the context of the development strategy of the agro-industrial complex of Ukraine. *Zb. nauk. prats IBKiTsB*. 2013. Issue 19. P. 181–187.
2. Dryha V. V. Quality of millet seeds (*Panicum virgatum* L.) depending on the mode of its scarification. *Zb. nauk. prats Bilotserkivskoho NAU : Ahrobiolohiia*. 2020. Issue 1. P. 35–41.
3. Kulyk M., Rii O., Kraisivitnij P. Seed productivity of vine millet (*Panicum virgatum* L.) in the second year of vegetation. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser.: Ahronomiia*. 2013. Issue 17 (2). P. 215–219.
4. Kurylo V. L., Rakhmetov D. B., Kulyk M. I. Biological features and yield potential of energy crops of the Poaceae family in the conditions of Ukraine. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2018. Issue 1 (88). P. 11–17.
5. Shcherbakova T. O., Rakhmetov D. B. Features of the structure of shoots of rod millet (*Panicum virgatum* L.) in terms of introduction in the Right Bank Forest-Steppe and Polissia of Ukraine. *Plant Varieties Studying and protection*. 2017. Vol. 13, No 1. P. 85–88.
6. Adkins S. W., Bellaires S. M., Loch D. S. Seed dormancy mechanismus in warm season grass species. *Euphytica*. 2002. Vol. 126, No 1. P. 13–20. DOI: 10.1023/A1019623706427.
7. Aiken G. E., Springer T. L. Seed size distribution, germination, and emergence of 6 switchgrass cultivars. *J. Range Manage.* 1995. Vol. 48. P. 455–458.
8. Beaty E. R., Engel J. L., Powell J. D. Tiller development and growth in switchgrass. *J. Range Manage.* 1978. Vol. 31. P. 361–365.
9. Bewley J. D., Black M. Seeds: Physiology of Development and Germination. Berlin : Springer Science + Business Media, LLC, 1994. 401 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8>.
10. Breaking seed dormancy of

- Business Media, LLC, 1994. 401 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1002-8>.
10. Breaking seed dormancy of switchgrass (*Panicum virgatum* L.): A review / E. Kimura et al. *Biomass and bioenergy*. 2015. 80. P. 94–101.
  11. Buxton Switchgrass biomass production in the Midwest USA: Harvest and nitrogen management / K. P. Vogel et al. *Agronomy Journal*. 2002. V. 93, No 3. P. 413–420.
  12. Different seed dormancy levels imposed by tissues covering the Cupaniopsis Zoysia grass (*Zoysia Japonica* Steud) / Li M. et al. *Seed Science and Technology*. 2010. V. 38, No 2. P. 320–331.
  13. Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine / Taranenko A. et al. *Acta Agrobot*. 2019. V. 72 (3). P. 1786. DOI: <https://doi.org/10.5586/aa.1786>.
  14. Efficiency of Optimized Technology of Switchgrass Biomass Production for Biofuel Processing / Kulyk M. et al. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11 (1). P. 173–185. DOI: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.1\(41\).20](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.1(41).20).
  15. Evaluation physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels / McLaughlin S. B. et al. *Bioenergy 96: Proceedings of the Seventh National Bioenergy Conference*, Sept. 15–20, Nashville, Tennessee, 1996. V. 1. P. 1–8.
  16. Finch-Savage W. E., Leubner-Metzger G. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 2006. Vol. 171, No 3. P. 501–523.
  17. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
  18. Impact of the soil and climate conditions on the formation of the crop yield and germinating power of the switchgrass (*Panicum virgatum* L.) seeds / M. Kulyk et al. *Journal of Research and Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 63 (4). P. 101–105. URL: [http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018\\_4\\_KR\\_K.pdf](http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018_4_KR_K.pdf) (last accessed: 25.04.2022).
  19. Investigating seed dormancy in switchgrass (*Panicum virgatum* L.): understanding the physiology and

- Applications in Agricultural Engineering*. 2018. V. 63 (4). P. 101–105. URL: [http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018\\_4\\_KRK.pdf](http://www.pimr.poznan.pl/biul/2018_4_KRK.pdf) (last accessed: 25.04.2022).
19. Investigating seed dormancy in switchgrass (*Panicum virgatum* L.): understanding the physiology and mechanisms of coat-imposed seed dormancy / Denise V. D. et al. *Industrial Crops and Products*. 2013. V. 45. P. 377–387.
20. Ma Z., Wood C. W., Bransby D. I. Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*. 2001. Vol. 20, Issue 6. P. 413–419.
21. Parrish D., Fike J. H. The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *CRCCRR Rev. Plant. Sci.* 2005. Vol. 24, Issue 5/6. P. 423–459. DOI: 10.1080/07352680500316433.
22. Peters T. J., Moomaw R. S., Martin A. R. Herbicides for postemergence control of annual grass weeds in seedling forage grasses. *Weed Sci.* 1989. V. 37. P. 375–379.
23. Regulation of wheat seed dormancy by after-ripening is mediated by specific transcriptional switches that induce changes in seed hormone metabolism and signaling / Liu A. et al. *PLoS One*. 2013. Vol. 8, Issue 2. e 56570. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056570>.
24. Seed Germination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) depending on its Biological peculiarities / Doronin V. et al. *Plant Archives*. 2020. V. 20, No. 2. P. 7493–7496.
25. Smart A. J., Moser L. E. Morphological development of switchgrass as affected by planting date. *Agron. J.* 1997. V. 89. P. 958–962.
26. Stratification in switchgrass seed is reversed and hastened by drying / Shen Z. et al. *Crop Sci.* 2011. V. 41. P. 1546–1551. URL: <https://www.agronomy.org/publications/cs/articles/41/5/1546> (last accessed: 09.06.2011).
- mechanisms of coat-imposed seed dormancy / Denise V. D. et al. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol. 45. P. 377–387.
20. Ma Z., Wood C. W., Bransby D. I. Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass. *Biomass and Bioenergy*. 2001. Vol. 20, Issue 6. P. 413–419.
21. Parrish D., Fike J. H. The biology and agronomy of switchgrass for biofuels. *CRCCRR Rev. Plant. Sci.* 2005. Vol. 24, Issue 5/6. P. 423–459. DOI: 10.1080/07352680500316433.
22. Peters T. J., Moomaw R. S., Martin A. R. Herbicides for postemergence control of annual grass weeds in seedling forage grasses. *Weed Sci.* 1989. Vol. 37. P. 375–379.
23. Regulation of wheat seed dormancy by after-ripening is mediated by specific transcriptional switches that induce changes in seed hormone metabolism and signaling / Liu A. et al. *PLoS One*. 2013. Vol. 8, Issue 2. e 56570. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056570>.
24. Seed Germination of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) depending on its Biological peculiarities / Doronin V. et al. *Plant Archives*. 2020. Vol. 20, No. 2. P. 7493–7496.
25. Smart A. J., Moser L. E. Morphological development of switchgrass as affected by planting date. *Agron. J.* 1997. V. 89. P. 958–962.
26. Stratification in switchgrass seed is reversed and hastened by drying / Shen Z. et al. *Crop Sci.* 2011. V. 41. P. 1546–1551. URL: <https://www.agronomy.org/publications/cs/articles/41/5/1546> (last accessed: 09.06.2011).
27. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop / Sanderson M. A. et al. *Bioresource Technology*. 1994. No 56. P. 83–93.
28. Switchgrass variety choice in Europe / Elbersen H. W. et al. *Aspects of Applied Biology*. 2001. Vol. 65. P. 21–28.
29. Technology of Preparation of Seeds of Rod-Shaped Millet (*Panicum virgatum* L.)

27. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop / Sanderson M. A. et al. *Bioresource Technology*. 1994. № 56. P. 83–93.
28. Switchgrass variety choice in Europe / Elbersen H. W. et al. *Aspects of Applied Biology*. 2001. V. 65. P. 21–28.
29. Technology of Preparation of Seeds of Rod-Shaped Millet (*Panicum virgatum* L.) / V. Doronin et al. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25, Issue 4. P. 10656–10664.
30. Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination / Shu K. et al. *Mol. Plant*. 2016. V. 69. P. 34–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>.

Отримано 25.04.2022

Погоджено до друку 12.05.2022