



Зберігання та переробка продукції

УДК 633.15:631.
526.325/53.01

© 2024

ЕНЕРГООЩАДНЕ СУШІННЯ НАСІННЯ КУКУРУДЗИ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ

М.Я. Кирпа¹, Н.А. Боденко², В.О. Кулик³

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН

^{2,3}кандидати сільськогосподарських наук

Державна установа Інститут зернових культур НААН

вул. Вернадського Володимира, 14, м. Дніпро, 49009, Україна

e-mail: ¹⁻³inst_zerna@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-6893-8180, ²0000-0002-5881-4440, ³0000-0002-3701-8525

Надійшла 06.10.2023

Мета. Встановити особливості і техніко-технологічні показники енергоощадного сушіння насіння кукурудзи з використанням рослинного (органічного) палива, з'ясувати, як цей процес впливає на якість насіння, зокрема впродовж його подальшого зберігання. **Методи.** Лабораторні — для визначення показників сушіння та якості насіння (маси і питомої маси насінини, теплової тріщинуватості, стійкості до механічного навантаження, схожості, сили росту); польовий — для дослідження посівних і врожайних властивостей гібридів кукурудзи; математично-статистичний — для оцінювання достовірності отриманих даних. **Результати.** Виявлено закономірності процесу енергоощадного сушіння та його основні техніко-технологічні показники, якот: продуктивність камери сушарки типу СКП, її сезонна потужність, питомі витрати палива (стрижні качанів кукурудзи) й електроенергії у розрахунку на 1 т-% вологовипаровування. Визначено показники, за яких енергоощадне сушіння проходить у м'якому температурно-вентиляційному режимі — нижча за 30% тепла тріщинуватість і підвищена стійкість насінини до травмування. Порівняно з іншими способами енергоощадне сушіння покращувало посівні та врожайні властивості насіння — його схожість, силу росту, врожайність. Вперше виявлено позитивний і стимулюючий вплив енергоощадного сушіння на тривалість зберігання насіння. **Висновки.** З метою зниження енерговитрат, повної заміни традиційних видів палива рослинним та отримання високоякісного насіння кукурудзи, придатного для тривалого зберігання, сушіння рекомендується здійснювати з використанням м'якого температурно-вентиляційного режиму, а саме за температури теплоносія 36–42 °С, його відносної вологості 11–12% та експозиції, що залежить від збиральної вологості зерна. М'який режим насамперед рекомендується застосовувати для сушіння насіння з підвищеною збиральною вологістю та пошкодженого приморозками.

Ключові слова: спосіб сушіння, насіння кукурудзи, енерговитрати, показники якості, врожайність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202402-12>

Кукурудза належить до основних культур, які забезпечують найбільшу частку зерна у валовому виробництві в Україні. Її вирощування потребує виконання різних технологічних операцій та використання різних засобів механізації залежно від зони вирощування та сортового складу. Але особливої уваги потребує операція сушіння вологого насіння, оскільки під час її здійснення формується якість посівного матеріалу гібридів кукурудзи та витрачаються значні обсяги енергоматеріалів [1, 2].

Технологія та режими сушіння були свого часу розроблені на основі статичної й динамічної термостійкості насіння залежно від теплової денатурації білкових речовин [3]. В Україні технологія і режими встановлені Інструкцією з сушіння продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок, а також низкою інших регламентних документів [4, 5]. Проте встановлені норми витрати палива є досить високими, а тому потребують перегляду. Досліджували різні способи зниження витрат палива й електроенергії: двостадійне сушіння (спочатку качанів, а потім зерна); застосування рекуперації (повторне використання теплоносія), реверсування (зміна напрямку продування насипу качанів), вилучення з маси вологих качанів домішок у вигляді вилученого зерна; використання максимально допустимої температури нагріву насінини [6, 7]. Залежно від застосованого способу економія палива — як рідкого, так і газоподібного — може становити 18–29%.

Останнім часом з метою енергозбереження пропонується інший спосіб сушіння, коли як паливо використовується різний рослинний матеріал. Для цього розроблено і випробувано енергоощадний комплекс, що складається із типової кукурудзосушарки та теплогенератора потужністю 2,5 МВт [8]. Комплекс був збудований у насінних господарствах Дніпропетровської обл. (ТОВ «Агросфера», дослідне господарство «ДП «Дніпро») і використовується для сушіння качанів та зерна кукурудзи. Працює

він виключно на побічному паливі (пелета, стрижні кукурудзи, відходи зерноочищення, соломистий матеріал). Згідно з результатами виробничих випробувань, комплекс має перспективне значення, оскільки забезпечує можливість переходу на принципово інший, значно дешевший вид палива, сприяє скороченню технологічних витрат і зниженню вартості продукції — насіння кукурудзи.

Однак залишається ще не вивченим вплив енергоощадного сушіння на якість насіння кукурудзи, насамперед за його тривалого зберігання. Зберігання посівного матеріалу останнім часом практикується у зв'язку з накопиченням залишків насіння у разі його неповної реалізації, а також при створенні запасів цієї культури.

Мета досліджень — визначити особливості та техніко-технологічні показники енергоощадного сушіння, яке проводиться зі спалюванням рослинних решток, виявити вплив сушіння на якість насіння кукурудзи, зокрема впродовж його зберігання.

Матеріали і методи досліджень. Об'єктом досліджень слугував енергоощадний комплекс, який складається з типової камерної кукурудзосушарки та теплогенератора потужністю 2,5 МВт. Як паливо використовували стрижні кукурудзи, отримані після обмолоту качанів. Дослідження проводили в період з 2020 по 2022 р., частину насіння щороку використовували для сівби, а решту передавали на зберігання впродовж трьох наступних років. Параметри сушіння були такими: температура робочого теплоносія — 36–42°C, відпрацьованого — 29–33°C; відносна вологість робочого теплоносія — 10–11%, відпрацьованого — 19–64%; вологість насіння на початку сушіння — 28–34%, наприкінці — 10–14% залежно від того, який гібрид використовували. Швидкість сушіння становила 0,20–0,40% за годину, тобто була близька до нормативного значення, встановленого для камерних кукурудзосушарок.

Після сушіння проводили обмолот качанів та повний цикл сепарування насіння — очищення від домішок, сортування

1. Техніко-технологічні характеристики енергоощадного комплексу для сушіння качанів кукурудзи (за даними випробувань у 2020 – 2022 рр.)

Складові комплексу	Потужність проектна, тонн качанів за сезон	Продуктивність камери, т-% за годину	Витрата на 1 т-% вологи	
			палива (стрижні кукурудзи), кг	електроенергії, кВт·год
Сушарка камерна СКП-10 Теплогенератор ТПГ-1/25	500	5,2	7,8	1,8

і калібрування на 4 посівні фракції. Фракції зберігали за дотримання вимог стандарту ДСТУ 2240 [9].

Якість насіння визначали за показниками енергії проростання, схожості, сили росту та за показниками методу холодного пророщування [10, 11]. Під час проведення польових дослідів установлювали польову схожість насіння, ріст і розвиток рослин, їх продуктивність [12]. Дані, отримані в лабораторних і польових дослідах, піддавали математичній обробці із застосуванням таблиць Excel [13].

Результати досліджень. Визначені особливості роботи комплексу енергоощадного сушіння за низкою основних техніко-технологічних показників (табл. 1). Продуктивність визначали з розрахунку на одну камеру сушарки — в середньому вона дорівнювала 5,2 т-% за годину. Показник, що характеризував витрату палива (стрижні качанів кукурудзи), становив 7,8 кг в розрахунку на випаровування вологи з 1 т качанів. Порівняно з іншими видами палива (рідке, газоподібне) він був майже втричі вищим через нижчу теплоутворювальну здібність такого палива — на рівні 11 МДж/кг. Також було дещо вищим споживання електроенергії, оскільки додатково застосовували електродвигуни, необхідні для роботи те-

плогенератора. Загальна потужність комплексу становила 500 т вологих качанів кукурудзи, тобто досягався проектний показник для сушарки типу СКП.

До основних техніко-технологічних показників процесу сушіння на комплексі енергоощадному слід також віднести параметри теплоносія — його температуру і відносну вологість. Установлено, що за спалювання стрижнів кукурудзи створювався теплоносій із температурою 36–42 °С та відотною вологістю 11–12%, який міг по-різному впливати на механічні та теплофізичні показники насіння кукурудзи (табл. 2). В наших дослідах його вплив був позитивний: після сушіння отримували насіння з дещо більшою порівняно з контролем масою 1000 насінин та їх питомою масою. Але найпозитивнішим було зменшення кількості насінин із тепловою тріщинуватістю — на 8% за абсолютним та майже на 18% — за відносним значенням порівняно з типовим сушінням, коли використовували рідке чи газоподібне паливо і відбувалось інтенсивне сушіння. Зменшення теплової тріщинуватості є результатом повільного вологовипаровування і застосування м'якого режиму сушіння, що не призводить до механічних поривів тканин в насініні, як це відбувається за

2. Вплив способів сушіння на фізико-механічні і теплофізичні показники насіння кукурудзи (на прикладі гібрида ДБ Хотин)

Сушіння	Маса 1000 насінин, г	Питома маса насіння, г/см ³	Тріщинуватість теплова, %	Навантаження на насініну критичне, кгс
Контроль*	284,0	1,4	35,0	1,85
Типове	290,0	1,5	45,0	1,88
Енергоощадне	292,0	1,5	37,0	1,96

Примітка. * Сушіння у режимі вентиляування зовнішнім повітрям.

3. Вплив способів сушіння на показники якості насіння кукурудзи на початку і наприкінці зберігання (на прикладі ДБ Хотин)

Сушіння	Етап зберігання	Схожість, %		Сила росту		Урожайність, т/га
		Лабораторна	Польова	Сходи, %	Маса 100 ростків, г	
Контроль	Початок	94	82	83	25,4	7,3
	Наприкінці	90	76	78	20,1	6,8
Типове	Початок	96	85	85	27,1	7,5
	Наприкінці	94	80	87	23,2	7,2
Енергоощадне	Початок	97	87	88	28,4	7,9
	Наприкінці	97	85	87	25,6	7,7
	НІР ₀₅		2,7		1,2	0,25

інтенсивного режиму. У разі меншої тріщинуватості стійкість насінини до механічного навантаження була на 4,1% вищою порівняно із швидшим типовим сушінням. Загалом вплив енергоощадного сушіння на фізико-механічний стан насінини був близьким до контролю — за активного вентильовання і повільного сушіння.

Під час проведення дослідів виявлено вплив теплової тріщинуватості на стан і схожість насіння кукурудзи. Ознакою теплової тріщинуватості є наявність тріщин в області ендосперму і зародка насінини — вони розташовані під зовнішньою оболонкою і проглядаються за звичайного огляду кожної насінини або ж за допомогою лупи чи діафаноскопа. Виникає тріщинуватість через інтенсивне сушіння і, як наслідок, різну швидкість висихання окремих частин та шарів насінини. Встановлено, що така тріщинуватість не спричинює прямого зниження схожості, але призводить до механічного травмування та руйнування насіння у разі його переміщення і подальшої обробки на сепараторах, конвеєрах, норіях, що застосовуються на кукурудзообробних заводах.

Досліджувані способи сушіння також по-різному впливали на посівні та врожайні властивості насіння кукурудзи (табл. 3). Встановлено, що з усіх способів найефективнішим було енергоощадне сушіння, після якого лабораторна схожість насіння підвищувалася на 1–3%, польова — на 2–5%, сила росту за показником

«сходи» зростала на 3–5%, за показником «маса 100 ростків» — на 1,3–3,0 г, а врожайність збільшувалася на 5,1–7,6%. Позитивний вплив енергоощадного сушіння на якість насіння спостерігали і в процесі його тривалого зберігання. Наприклад, лабораторна схожість була на 3–7% вищою, польова — на 5–9%, показники сили росту за сходами — на 6–9%, за масою 100 ростків — на 2,4–5,5 г, а врожайність на 6,5–11,9% вищою, ніж за інших способів сушіння. Загалом посівні і врожайні властивості посівного матеріалу кукурудзи у процесі зберігання завжди дещо погіршуються, але після енергоощадного сушіння помітно менше.

Позитивний вплив енергоощадного сушіння відмічали ще на етапі збирання кукурудзи, пошкодженій внаслідок дії низьких температур. Дослідження показали, що за температури –3...–5 °С відбувається промороження насінини з вологістю 25% і вище, тому для поступового зниження вологості і збереження високої схожості насіння необхідно застосовувати особливо м'які режими сушіння [14]. За нашими даними, спосіб енергоощадного сушіння за температури теплоносія 36–42 °С, його відносної вологості 11–12%, експозиції 80 год забезпечує лабораторну схожість насіння в межах 95–97% та силу росту на рівні 90%. Під час проведення дослідів насіння для такого сушіння надходило після дії температури –5 °С протягом 6 год і мало вологість 32%.

Висновки

Визначено особливості та техніко-технологічні показники процесу енергоощадного сушіння насіння кукурудзи з використанням рослинних видів палива. Вперше розраховано і обґрунтовано питому втрату стрижнів качанів за їх теплоутворювальної здатності на рівні 11 МДж/кг. Досліджено вплив різних способів сушіння на фізико-механічні, теплофізичні й біологічні властивості насіння кукурудзи. Встановлено, що за енергоощадного способу насіння має нижчу теплову тріщинуватість і, як наслідок, є стійкішим до травмування. Після такого сушіння підвищуються його лабораторна (на 1–3%) та польова

(на 2–5%) схожість, зростають сила росту (на 3–5%) та врожайність (на 5,1–7,6%) порівняно з іншими способами. В процесі зберігання насіння гібридів кукурудзи перевага енергоощадного сушіння за всіма зазначеними показниками є доказовою.

Енергоощадне сушіння із м'яким температурно-вентиляційним режимом рекомендується застосовувати насамперед у випадку збирання й обробки насіння кукурудзи, пошкодженого приморозками. За температури теплоносія 36–42 °С, його відносної вологості 11–12% та експозиції 80 год лабораторна схожість насіння становить 95–97%, сила росту — 85–90%.

Курпа М.¹, Bodenko N.², Kulyk V.³

State Enterprise «Institute of Grain Crops of NAAS», 14 Volodymyr Vernadskyi Str., Dnipro, 49009, Ukraine; e-mail: ¹⁻³inst_zerna@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-6893-8180, ²0000-0002-5881-4440, ³0000-0002-3701-8525

Energy-saving drying of corn seeds and its influence on seed quality

Goal. To establish the features and technological indicators of energy-saving drying of corn seeds using vegetable (organic) fuel, to find out how this process influences the quality of the seeds, in particular during its further storage.

Methods. Laboratory — to determine the indicators of drying and quality of seeds (weight and specific gravity of seeds, thermal cracking, resistance to mechanical stress, germination, growth strength); field — to study the sowing and yield properties of corn hybrids; mathematical-statistical — to assess the reliability of the obtained data.

Results. The regularities of the energy-saving drying process and its main technical and technological indicators were revealed, such as the productivity of the SKP-type dryer chamber, its seasonal capacity, the specific consumption of

fuel (corn cobs), and electricity per 1 t-% of moisture evaporation. The parameters at which energy-saving drying takes place in a mild temperature and ventilation mode were determined — thermal cracking lower than 30% and increased seed resistance to injury. Compared to other methods, energy-saving drying improved the sowing and yield properties of seeds — their germination, growth strength, and yield capacity. For the first time, a positive and stimulating effect of energy-saving drying on the duration of seed storage was revealed. **Conclusions.** To reduce energy consumption, completely replace traditional types of fuel with vegetable ones, and obtain high-quality corn seeds suitable for long-term storage, drying is recommended to be carried out using a mild temperature and ventilation regime, namely at a coolant temperature of 36–42°C, its relative humidity 11–12% and exposure, which depends on the moisture content of the grain. The soft mode is primarily recommended for drying seeds with high moisture content and those damaged by frost. **Key words:** drying method, corn seeds, energy consumption, quality indicators, productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202402-12>

Бібліографія

1. Claumann C.A., Cancelier A., Silva A. et al. Fitting semi-empirical drying models using a tool based on wavelet neural networks: Modelling a maize drying process. *J. of Food Process Engineering*. 2017. N 41. P. 1–12. doi: 10.1111/jfpe.12633

2. Suleiman R., Bern C.J., Brumm T.J., Rosentrater K.A. Impact of moisture content and maize weevils on maize quality during hermetic and non-hermetic

storage. *J. of Stored Products Research*. 2018. N 78. P. 1–10. doi: 10.1016/j.jspr.2018.05.007

3. Гірник М.Л., Миронюк С.К., Аніскін В.І. Механізація і автоматизація післязбиральної обробки зерна. Київ: Урожай, 1976. 152 с.

4. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: підручник. Київ: Либідь, 1997. 352 с.

5. *Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок.* Одеса – Київ, 1997. 72 с.

6. *Алейников В.И.* Комплексное совершенствование процесса сушки в шахтных и камерных зерносушилках. *Наукові праці ОДАХТ.* 2002. Вип. 24. С. 28–31.

7. *Кирпа М.Я., Кулик В.О.* Енергоощадні прийоми у технологіях сушіння насіння кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2016. № 11. С. 82–87.

8. *Кирпа М.Я., Кулик В.О.* Новий енергоощадний комплекс для сушіння насіння кукурудзи. *Вісник аграрної науки.* 2019. № 4. С. 60–66. doi: 10.31073/agrovisnyk201904-09

9. *ДСТУ 2240-93.* Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості (технічні умови). [Чинний від 1993-01-01]. Київ: Держстандарт України, 1994. 75 с.

10. *ДСТУ 4138-2002.* Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2000-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

11. *Кирпа М. Я.* Методологія визначення якості насіння зернових культур. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2016. № 10 С. 20–25.

12. *Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М.* та ін. *Методика проведення польових дослідів з кукурудзою.* Дніпропетровськ, 2008. 27 с.

13. *Леснікова І.Ю., Харченко Є.М.* Основи роботи і вирішення задач сільського господарства в середовищі електронних таблиць EXCEL. Дніпропетровськ: Пороги, 2002. 147 с.

14. *Кирпа М.Я., Стасів О.Ф., Боденко Н.А., Лавриненко Ю.О.* Вплив проморожування насіння гібридів кукурудзи на його якість. *Аграрні інновації.* 2020. № 3. С. 82–86. doi: 10.32848/ agrar.innov.2020.3.14