



Зберігання та переробка продукції

УДК 633.15:631.527.5/563.2

© 2025

ТЕРМОСТІЙКІСТЬ НАСІННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО СУШІННЯ

М.Я. Кирпа¹, О.І. Лунітько², В.М. Кирпа³

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН

²кандидат сільськогосподарських наук

Державна установа Інститут зернових культур

Національної академії аграрних наук України

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

e-mail: ¹⁻³inst_zerna@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-6893-8180, ²0000-0003-0434-1382, ³0009-0009-5751-8234

Надійшла 18.06.2025

Мета. Визначити показники, що характеризують термостійкість насіння гібридів кукурудзи, встановити оптимальні способи його сушіння зі збереженням високої схожості. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр., використовуючи такі методи: лабораторні — для визначення хімічного складу зерна і ступеня його теплового ушкодження, а також схожості залежно від режимів термічного сушіння; модельні — для проведення сушіння насіння різної вологості у різні способи; математико-статистичні — для оцінювання достовірності отриманих даних. **Результати.** Встановлено, що найточніше термостійкість насіння кукурудзи в процесі сушіння визначають уміст і співвідношення фракцій білка, тепла тріщинуватість та схожість зернівки. Зниження термостійкості та схожості супроводжується зменшенням вмісту фракції білка — альбумінів, зростанням кількості нерозчинного залишку, а також появою зерен із тепловим ушкодженням (внутрішньою тріщинуватістю). Такі зміни відбуваються за нагрівання насіння до температури 45–50 °C і залежать від його вологості, а також від швидкості вологовипаровування — зазвичай вона перевищує 0,4% за годину. **Висновки.** З метою отримання насіння з високою схожістю його сушіння рекомендується здійснювати із застосуванням температурного режиму, що забезпечує збереження вмісту водорозчинних білків — альбумінів та цілісність зернівки. Параметри сушіння качанів кукурудзи слід контролювати за температурою нагрівання зернівки та швидкістю втрати вологості. Схожість насіння як показник термостійкості рекомендується визначати методом холодного пророщування (cold-test), який досить точно характеризує життєздатність і залежність від процесу сушіння.

Ключові слова: насіння кукурудзи, сушіння, температура нагрівання, вологовипаровування, хімічний склад, теплове ушкодження, схожість.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202508-07>

Зерно кукурудзи належить до термолабільних матеріалів, що потребують особливої технології сушіння залежно від їх термостійкості. Своєю чергою, термостійкість пов'язана з низкою факторів — вмістом вільної вологи в зернині, її хімічним складом і фізико-механічними властивостями.

Термостійкість кукурудзи, як і будь-яких інших зернових культур, має важливе практичне значення в технологіях післязбиральної обробки. З урахуванням термостійкості визначають режими сушіння кукурудзи в сушарках різного типу [1, 2]. Режим сушіння характеризується максимально допустимою температурою нагрівання зерна, за якої білкові речовини залишаються у розчинному стані, тобто мають нульовий ступінь денатурації. Якщо йдеться про сушіння насіннєвої кукурудзи, то до таких речовин слід віднести білки зародка — альбуміни і глобуліни, які забезпечують механізм проростання зернівки [3, 4]. У разі денатурації білків ендосперму — глютенінів і проламінів — погіршується якість зерна продовольчо-кормового використання. Загалом незворотна денатурація білків зародка може відбуватися за температури нагрівання понад 40 °С, білків ендосперму: за температури 50 °С і вище, але залежить і від інших факторів — вологості, часу та швидкості нагрівання, стиглості зернівки або насінини.

Термостійкість характеризується не лише ступенем денатурації білкових речовин, а й рівнем теплового травмування, або фізичною цілісністю зерна. За надто інтенсивних режимів сушіння у насінинах кукурудзи з'являються мікропошкодження у вигляді внутрішніх тріщин, які по-різному можуть впливати на якість і схожість насіння [5, 6].

Отже, термостійкість зерна кукурудзи комплексно характеризують два показники: хімічний — ступінь денатурації та фізичний — рівень теплового ушкодження. Ці показники потребують проведення подальших досліджень з метою розроблення нових ефективних способів сушіння для отримання високоякісної продукції. Спосіб сушіння має бути максимально інтенсивним — лише за цієї умови можна оптимізувати процес і ефективно використовувати енергоресурси.

Мета досліджень — визначити показники термостійкості зерна, встановити техніко-технологічні параметри сушіння і нагрівання насіння гібридів кукурудзи задля збереження його високої якості та схожості.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2022–2024 рр. в лабораторії методів збереження та стандартизації зерна Державної установи Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України (ДУ ІЗК НААН). Увагу акцентували на двох основних техніко-технологічних показниках, які можуть характеризувати термостійкість насіння гібридів кукурудзи в процесі його сушіння, — хімічному складі та рівні теплового ушкодження (тріщинуватості) зернівки. Ці показники вивчали за різних режимів сушіння, а саме після застосування різних температур нагрівання і швидкостей вологовипаровування. Хімічний склад за вмістом протеїну та білкових фракцій визначали методом, запропонованим у праці [7], теплове ушкодження — за методикою, розробленою в ДУ ІЗК НААН [8]. Режими сушіння встановлювали в електросушарці, обладнаній засобами вимірювання температури і швидкості фільтрації теплоносія. Життєздатність

насіння визначали за схожістю, яку встановлювали його пророщуванням згідно з ДСТУ 4138-2002 та із застосуванням холодного тесту [9, 10]. Холодний тест полягав у пророщуванні насіння в умовах перемінних температур, зокрема понижених, що значно наближає результати лабораторного аналізу до отриманих в польових умовах. Матеріалом для досліджень слугували гібриди кукурудзи селекції ДУ ІЗК НААН, які збирали за вологості зерна 25–28%, найбільш характерної для Степу України [11]. Результати досліджень обробляли математико-статистичним методом із застосуванням електронних таблиць Excel 2010 та програмного пакета Statistica 6.0 [12].

Результати досліджень. До основних речовин у складі зерна кукурудзи слід віднести протеїн і його фракції у різних співвідношеннях. Як уже зазначалося, залежно від хімічного складу зерно може набувати різної посівної якості або продовольчо-технічної цінності. Але вплив режимів сушіння на вміст протеїну і його окремих фракцій в зерні кукурудзи насінневого і продовольчо-технічного використання залишається нез'ясованим. Встановлено лише загальну закономірність щодо настання денатурації білкових речовин та її залежності

від температури і тривалості нагрівання зерна, а також від його вологості [Козьміна Н.П., 1976].

З'ясовано, що температура сушіння істотно впливає на хімічний склад та схожість насінневого зерна кукурудзи (табл. 1). За температури в межах 40–80 °С вміст протеїну в зерні кукурудзи практично не змінювався і становив 10,2–10,3% у перерахунку на суху речовину. Вміст проламіну кукурудзи — зеїну — за різних температур також майже не змінювався і сягав 14,8–15,2% від усього білка зернівки. Однак попри фактично однаковий вміст білка і його проламінової фракції внаслідок нагрівання до різних температур значно погіршувалася життєздатність насіння за показником схожості. Якщо використовували стандартний метод пророщування, зниження схожості спостерігалось за температури сушіння 50–60 °С, якщо холодний тест — за нагрівання до температури 40–50 °С і вище.

Для встановлення причин погіршення життєздатності насіння аналізували вміст інших білкових фракцій, а саме альбумінів і глобулінів, які можуть впливати на процес проростання насінини. Автори встановили, що температурний режим сушіння насамперед впливав на вміст легкорозчинних фракцій білка

1. Вплив температури нагрівання зерна кукурудзи на його хімічний склад і схожість насіння

Температура сушіння зернівки, °С	Хімічний склад		Схожість, %	
	Протеїн, % на суху речовину	Зеїн, % протеїну	Стандартний метод	Холодний тест
Контроль*	10,2	14,9	98,0	94,0
40	10,2	15,0	98,0	92,0
50	10,3	15,2	92,0	86,5
60	10,2	14,9	90,0	60,5
70	10,3	15,2	44,0	20,5
80	10,2	14,8	30,5	5,5
HIP _{0,95} , %			4,5	4,3

*Сушіння у режимі вентилявання без підігріву повітря.

2. Вплив температурних режимів сушіння зерна кукурудзи на вміст фракцій білка і схожість насіння

Температурний режим, °С	Фракції білка, % загального азоту					Схожість, %	
	Альбуміни	Глобуліни	Проламіни	Глютеліни	Залишок	Стандартний метод	Холодний тест
Контроль	27,0	12,5	14,6	26,3	19,6	97,0	88,0
35–40	27,5	12,4	14,6	25,2	20,3	97,0	87,5
40–50	25,2	12,0	14,5	24,7	23,6	95,0	85,0
50–60	12,4	11,5	14,8	17,1	44,2	90,0	61,5
НІР _{0,95}						1,9	1,5

в зерні кукурудзи (табл. 2). За температури 40–50 °С вміст альбумінів знижувався на 8,4, а глобулінів — на 3,2% порівняно з режимом сушіння, коли температура становила 35–40 °С. З підвищенням температури до 50–60 °С вміст легкорозчинних фракцій знижувався до небажаних позначок: альбумінів — 12,4, глобулінів — 11,5%. Також спостерігалося зниження фракції глютелінів — на 32,2% після сушіння за температури 50–60 °С. Результатом трансформації білкових фракцій стали їх денатурація і поява нерозчинного залишку, кількість якого майже у два рази була вищою, ніж у контрольному варіанті.

Внаслідок денатурації (переважно альбумінів) відбувалося погіршення життєздатності насіння гібридів кукурудзи за показником лабораторної схожості. У разі стандартного методу пророщування за температури сушіння 50–60 °С вона знижувалася до 90,0%, а у разі холодного тесту за температури сушіння 40–50 °С — до 85%.

Показником термостійкості насіння гібридів кукурудзи, як уже зазначалося, може слугувати рівень його теплового uszkodження, а саме поява різних теплових мікротравм. Мікротравми — це внутрішні тріщини, що виникли в зерні внаслідок впливу швидкого термічного сушіння і вологовипаровування. Встановлено, що сушіння насіння кукурудзи з рівнем випаровування вологи не

більш як 0,35% за годину не призводить до його теплового uszkodження (табл. 3). Зі збільшенням швидкості вологовипаровування до 0,40–0,45% за годину теплове травмування насіння зростає у 2,0–2,2 рази, досягаючи рівня 56,5%. Відповідно до ступеня травмування змінювалася схожість насіння: вона знижувалася до 90% у разі стандартного методу пророщування і до 75% у разі холодного тесту.

Теплове uszkodження виникає і під час сушіння зерна продовольчо-кормового використання. Сушіння здійснюється в спеціальних зерносушарках, де підтримуються підвищена температура і певна швидкість вологовипаровування. Швидкість вологовипаровування контролюється. Наприклад, у сушарці шахтного типу вологість зерна кукурудзи за один пропуск через сушильну камеру має знижуватися на 4–5%. Встановлено залежність між швидкістю сушіння зерна і рівнем його теплового uszkodження. За швидкості вологовипаровування понад 5% за годину збільшується вміст тріщинуватих зерен, знижується їх схожість. Кількість таких зерен значно зростає за швидкості сушіння 6,0–6,5% за годину; схожість насіння за використання стандартного методу пророщування становить 30,9%, а у разі методу холодного тесту — 10,5%.

Отже, фактор температури нагрівання зерна, пов'язаний із температурою

3. Вплив швидкості сушіння зерна кукурудзи на рівень його теплового ушкодження і схожість насіння

Зерно	Швидкість сушіння за вологовипаровування, % за годину	Рівень теплового ушкодження за вмістом тріщинуватих зерен, %	Схожість насіння, %	
			Стандартний метод	Холодний тест
Насіннєве	0,20–0,25	25,8	95,0	94,0
	0,30–0,35	28,4	94,0	93,5
	0,40–0,45	56,5	90,0	75,0
Продовольчо-кормове	4,0–4,5	55,9	89,5	76,0
	5,0–5,5	65,2	54,0	30,5
	6,0–6,5	87,8	30,9	10,5
HIP _{0,95}			3,5	4,1

теплоносія, є найважливішим у технології сушіння, оскільки впливає як на хімічний склад, так і на фізико-механічний стан зернівки. Слід зауважити, що температурний режим сушіння насіння кукурудзи унормовано в інструкціях і регламентах, але співвідношення між температурою нагрівання зерна та температурою теплоносія не встановлено. Проте воно має дуже важливе значення для насіннєвої кукурудзи, яку сушать у багатокамерних сушарках зі значним коливанням температури в окремих камерах.

Автори досліджували вплив низки техніко-технологічних чинників на температурний режим сушіння насіння кукурудзи в типових камерних сушарках. Найістотніше на нього впливали вологість зерна і стрижнів кукурудзи, висота насипу качанів у камерах, швидкість фільтрації теплоносія та напрям його руху, місце розташування камери в сушарці. Виявлено, що температурний режим є обернено залежним від вологості

зерна, а тому за вищої вологості температура нагрівання має знижуватись. Зі зменшенням висоти насипу качанів у сушарці і збільшенням інтенсивності фільтрації теплоносія відбувається швидке нагрівання та зростає температура качанів. Значний вплив на процес має розташування сушильної камери відносно паливно-вентиляційного відділення сушарки. Встановлено, що у віддалених камерах відбувається інтенсивніша фільтрація теплоносія в насипі качанів і підвищується температура їх нагрівання. Залежно від різних чинників різниця між температурою теплоносія і температурою нагрівання насіння в окремих камерах кукурудзосушарок варіює в межах 2–10 °С. Різниця збільшується на початку сушіння та зменшується наприкінці цього процесу, в міру нагрівання качанів. Отже, задля оптимізації і контролю температурного режиму має бути вдосконалена технологія сушіння насіння кукурудзи на основі термометрії в усіх камерах кукурудзосушарки.

Висновки

Визначено чинники, які найточніше характеризують термостійкість зерна кукурудзи в процесі сушіння: хімічний склад, теплова тріщинуватість і схожість насіння. Хімічний склад визначається вмістом

протеїну, співвідношенням фракцій білка та ступенем їх денатурації (втратою розчинності). Особливим чином на нього впливає фракція легкокорозчинних білків — альбумінів, денатурація яких може відбуватися за

температури нагрівання зернівки в межах 40–50 °C залежно від її вологості, що призводить до зниження схожості насіння.

Теплова тріщинуватість визначається рівнем теплового ушкодження у вигляді внутрішніх тріщин у зернівці внаслідок надто швидкого вологовипаровування за інтенсивного сушіння. Встановлено, що теплова тріщинуватість за швидкості сушіння качанів насіннєвого призначення зростає до не менш як 0,40% за годину, а у разі сушіння продовольчо-кормового зерна — до 6,0–6,5% за годину. Якщо кількість мікротріщин у насінні

кукурудзи перевищує 50%, то це сигналізує про погіршення його якості та схожості.

Показник схожості у технологіях сушіння насіння кукурудзи слід визначати за методом холодного пророщування, результати якого подібні до отриманих у польових умовах. З огляду на результати проведених досліджень рекомендується удосконалити технологію сушіння насіння кукурудзи в багатокамерних кукурудзосушарках завдяки контролюванню в окремих камерах температури його нагрівання та швидкості вологовипаровування.

Курпа М.¹, Lupitko O.², Курпа 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, ²0000-0003-0434-1382, ³0009-0009-5751-8234

Heat resistance of seeds of corn hybrids and features of their drying

Goal. To determine the indicators characterizing the heat resistance of seeds of corn hybrids, establish optimal methods of drying them while maintaining high germination. **Methods.** The research was conducted during 2022–2024, using the following methods: laboratory — to determine the chemical composition of the grain and the degree of its thermal damage, as well as the similarity depending on the modes of thermal drying; model — to dry seeds of different humidity in different ways; mathematical and statistical — to assess the reliability of the data obtained. **Results.** It was determined that the most accurate heat resistance of corn seeds during drying could be established by the indices of the content and ratio of protein fractions, thermal fracturing, and germination of grains. The decrease in heat resistance and

similarity was accompanied by a decrease in the content of protein fraction — albumins, an increase in the amount of insoluble residue, as well as the appearance of grains with thermal damage (internal fracturing). Such changes occurred when the seeds were heated to a temperature of 45–50°C, and depended on their humidity, as well as on the rate of moisture evaporation, which usually exceeded 0.4% per hour. **Conclusions.** To obtain seeds with high germination, it is recommended to dry them using a temperature regime that ensures the preservation of the content of water-soluble proteins — albumins, and the integrity of the grain. The drying parameters of corn heads should be controlled by the heating temperature of the grain and the rate of loss of humidity. Seed germination as an indicator of heat resistance is recommended to be determined by cold germination (cold test), which quite accurately characterizes the viability and dependence on the drying process.

Key words: corn seeds, drying, heating temperature, moisture evaporation, chemical composition, heat damage, germination.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202508-07>

Бібліографія

1. Claumann C.A., Cancelier A., Silva A. et al. Fitting semi-empirical during models using a tool based on wavelet neural

networks Modelling a maize drying process. *Journal of Food Process Engineering*. 2017. 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. *Journal of Stored Products Research*. 2018. 78. P. 1–10. doi: 10.1016/j.jspr.2018.05.007

3. *Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок.* Київ: АК «Хліб України», 1997. 72 с.

4. *Кобець А.С., Чурсінов Ю.О., Черних С.А.* та ін. *Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна.* Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2014. 614 с.

5. *Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Аназевич В.І.* Сушіння зерна: підручник. Київ: Либідь, 1997. 352 с.

6. *Грник М.Л., Миронюк С.К., Аніскін В.І.* *Механізація і автоматизація післязбиральної обробки зерна.* Київ, Урожай, 1976. 152 с.

7. *Кирпа М.Я., Станкевич Г.М., Стюрко М.О.* *Кукурудза: збирання,*

сушіння, якість: моногр. Одеса: КП ОМД, 2015. 150 с.

8. *Кирпа М.Я., Стюрко М.О.* Терmostійкість та схожість насіння гібридів кукурудзи залежно від режимів їх сушіння. *Селекція і насінництво: міжвід. наук. зб.* 2014. 106. С. 127–133.

9. *Гродзинський А.М., Гродзинський Д.М.* *Короткий довідник по фізіології рослин: вид. 2-ге, випр. і доп.* Київ: Наукова думка, 1973. 591 с.

10. *Кирпа М.Я.* *Методологія визначення якості насіння зернових культур. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2016. 10. С. 20–25.

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

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