УДК 664.696.2

TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING POPPING PROPERTIES OF SORGHUM GRAIN

S. Mykolenko, D. Tymchak*Dnipro State Agrarian and Economic University***Key words:**

grain sorghum,
popped sorghum,
microwave treatment,
moisture conditioning,
popping properties,
analysis of variance

Article history:

Received 17.07.2019

Received in revised form

16.09.2019

Accepted 21.11.2019

Corresponding author:

svetlana.mykolenko@
gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to study of the influence of factors of ultrahigh-frequency processing on the quality of popped sorghum depending on the varietal characteristics of grain. The peculiarities of pop properties of seven sorghum varieties grown in Ukraine such as Lan, Dniprovsky, Smotrych, Fulgus, Zernove 1247, Samaran, Kafrske were determined. ANOVA showed the predominant influence of ultrahigh-frequency processing power on the popping yield of the sorghum grain, the degree of the influence of the factor depending on the grain variety is 55–92%. Minor but significant effect on the popping yield belonged to the grain moisture for the varieties “Dniprovsky”, “Kafrske”, “Samaran”.

The bulk density of the popped sorghum predominately depended on moisture content of the sorghum grain before ultrahigh-frequency treatment, which can be varied by pre-conditioning. This factor of processing is essential for the varieties Kafrske, Zernove 1247, Samaran, Lan, Smotrich (the degree of influence is 46–97%) and does not affect the bulk density of Fulgus and Dniprovsky. The factor of ultrahigh-frequency processing power affects the bulk density of popped sorghum reliably only for the varieties Kafrske and Samaran. Volume expansion ratio of the sorghum varieties turned out to be the most irresponsible to the influence of the studied processing factors. The exceptions were Fulgus and Dniprovsky, which volume expansion ratio was significantly affected by the moisture content of the grain before processing. The most sensitive sorghum varieties to adjusting the technological factors as moisture content and ultrahigh-frequency processing power are the following varieties, which are suitable for obtaining popped sorghum in order of decreasing the level of sensitivity: Samaran → Kafrske → Fulgus → Dniprovsky. Sorghum grain of such varieties is characterized by acceptable pop properties, which, under the condition of rationally selected technological parameters of processing, allows to recommend them for obtaining popped sorghum.

DOI: 10.24263/2225-2916-2019-26-4

© С. Ю. Миколенко, Д. О. Тимчак, 2019

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПОП-ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА СОРГО

С. Ю. Миколенко, канд. техн. наук

Д. О. Тимчак

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

У статті представлено дослідження впливу факторів надвисокочастотної обробки зерна сорго на якість цільнозернового повітряного продукту залежно від сортових особливостей зерна. Визначено особливості поп-властивостей зерна сортів сорго, вирощених в Україні, зокрема Лан, Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове 1247, Самаран, Кафрське. За допомогою дисперсійного двофакторного аналізу встановлено, що переважний вплив на вихід повітряного продукту має потужність надвисокочастотної обробки зерна сорго, ступінь впливу фактора залежно від сорту зерна становить 55—92%. До варіювання технологічних факторів найбільш чутливими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський. Зерно сорго таких сортів характеризується прийнятними поп-властивостями, що за умови раціонально підібраних технологічних параметрів обробки дає змогу рекомендувати їх для отримання повітряного сорго.

Ключові слова: зернове сорго, повітряне зерно, надвисокочастотна обробка, кондиціювання, технологічні властивості, дисперсійний аналіз.

Постановка проблеми. Зернове сорго є відмінною альтернативою ячменю та кукурудзі в умовах посушливого клімату півдня і сходу України, оскільки здатне забезпечувати стійкі високі врожаї [1]. Зерна певних сортів сорго можливо використовувати як сировину для отримання поп-продуктів, тобто повітряного зерна [2]. Ринок такого роду продуктів в Україні і світі поступово розширюється. На сьогодні досить актуальною є проблема створення ресурсозберезувальних технологій харчових продуктів. При цьому використання надвисокочастотної (НВЧ) обробки для виробництва повітряного зерна є перспективним технологічним рішенням, що надає можливість не лише суттєво скоротити технологічний процес, зменшити енергетичні витрати, але й уникнути утворення небажаних побічних продуктів, забезпечуючи отримання продукту з високими органолептичними характеристиками [3]. Ефективність технологічних процесів отримання харчової продукції зумовлена головним чином особливостями сировини, що використовується при виробництві, та параметрами і режимами обробки цієї сировини.

В Україні цільнозернове повітряне зерно виробляється із розлусної кукурудзи, що в більшості випадків імпортується з-за кордону. Зерно сорго для України є новим продуктом і перспективною сировиною для виробництва таких продуктів, як сухі сніданки, зернові батончики, кондитерські вироби. Виробництво вказаної продукції може бути забезпечено вітчизняною сировиною, наприклад, сортами зернового сорго, які культивуються на Синельниківській селекційно-дослідній станції ДУ «Інститут сільського господарства степової зони НААН України». Важливим є встановлення визначальних факторів, що впливають на якість повітряного сорго. До технологічних показників якості зерна, придатного для виробництва повітряного продукту, відносяться вихід повітряного зерна, об'ємна маса і коефіцієнт розширення зернівки.

Використання в технології повітряного сорго надвисокочастотного випромінювання є досить ефективним технологічним рішенням і дає змогу прискорити вироб-

ничий процес, знизити втрати енергоносіїв і сировини [4—6]. У працях [2; 7—10] досліджено особливості технологічних якостей зерна сорго як сировини для виробництва повітряного продукту, які суттєво коливаються залежно від сортових особливостей зернового сорго. Дані щодо особливостей технологічних якостей зернового сорго, придатного для виробництва повітряного зерна для сортів і гібридів, культивованих в Україні, відсутні, що унеможливило ефективне використання такої продовольчої сировини підприємствами харчової промисловості.

Мета статті: дослідження і аналіз впливу надвисокочастотної обробки зерна сорго на якість повітряного продукту залежно від сортових особливостей зерна.

Матеріали і методи. Для проведення дослідження було використано сім сортів зерна сорго: Лан, Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове, Самаран, Кафрське, вирощених на Синельниківській селекційно-дослідній станції ДУ «Інститут сільськогосподарства степової зони НААН України». Фракційний склад зерна визначали просіюванням зерна крізь лабораторний набір сит з круглими отворами діаметром від 5 до 1 мм та зважуванням отриманих фракцій.

Вихід (%) повітряного зерна визначали як співвідношення кількості повітряного зерна, отриманого після обробки, до вихідної кількості зерна до обробки. Показник об'ємної маси (г/см^3) визначали як співвідношення маси повітряного зерна до його об'єму. Коефіцієнт розширення визначали як відношення об'єму повітряного зерна до об'єму зерна до обробки.

Для встановлення ступеня впливу регульованих факторів процесу НВЧ обробки зерна сорго для отримання повітряного продукту в експериментальних дослідженнях фактори варіювали в межах: вологість зерна сорго перед надвисокочастотною обробкою — 13—17%; потужність генератора надвисокочастотного випромінювання — 450—750 Вт. Тривалість обробки зерна сорго у серіях дослідів становила 150 хв. Результати попередніх досліджень [5] показали, що застосування більших або менших значень наведених параметрів процесу отримання повітряного зерна сорго шляхом НВЧ обробки є недоцільним через негативний вплив на якість кінцевого продукту і ефективність технологічного процесу.

Дисперсійний двофакторний аналіз було проведено з використанням пакета «Аналіз даних» у середовищі Microsoft Excel.

Результати досліджень. Сорти зернового сорго відрізняються за зовнішнім виглядом, анатомічною будовою та розмірами. Зерно досліджуваних сортів Фулгус, Зернове 1247, Самаран має коричневе забарвлення, сортів Дніпровський, Лан, Смотрич — світло-коричневе з темними плямами. Зерно сорту Кафрське відрізняється білим кольором зернівки. Крім того, всі досліджувані сорти мають різний фракційний склад (рис. 1).

Таблиця 1. Фракційний склад зерна сорго

Сорт	Фракції за розміром, %		
	Ø2 мм	Ø3 мм	Ø4 мм
Лан	0,1	26,5	73,4
Дніпровський	0,2	69,8	30,0
Смотрич	0,2	77,5	22,3
Фулгус	2,0	72,0	26,0
Зернове 1247	2,4	90,6	6,9
Самаран	4,6	94,8	0,6
Кафрське	14,5	83,7	1,8

Як видно з рис. 1, наведені сорти можна поділити на три групи: крупне сорго (Лан) з фракцією 5/4 понад 70%; середньої крупності (Дніпровський, Смотрич, Фулгус, Зернове, Самаран) з 70—95% фракції 4/3 і 0,6—30% фракції 5/4; дрібне сорго (Кафрське), що включає близько 15% фракції 3/2 та 84% зерна крупності 4/3. Слід відзначити, що більшість досліджуваних сортів і гібридів містять найбільшу частку фракції 4/3, при цьому вміст дрібного зерна 3/2 незначний і коливається в межах 0,1—4,6% (виняток – зерно сорго сорту Кафрське).

До основних технологічних показників якості зерна, придатного для виробництва повітряного продукту, відносяться вихід повітряного зерна, об'ємна маса та коефіцієнт розширення зернівки. Отримані результати аналізу якості повітряного зерна залежно від сорту за умови досягнення максимально прийнятного значення технологічного показника наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Показники якості повітряного зерна різних сортів

Сорт	Показник		
	Вихід, %	Об'ємна маса, г/см ³	Коефіцієнт розширення
Лан	38	48	7
Дніпровський	64	89	9
Смотрич	20	68	6
Фулгус	92	66	11
Зернове 1247	56	74	12
Самаран	74	63	13
Кафрське	61	95	15

Як видно з табл. 2, вихід повітряного зерна суттєво залежить від його особливостей і коливається в межах 38—92%, сягаючи максимальних значень для сортів сорго Фулгус, Самаран, Дніпровський. Об'ємна маса повітряного зерна становить від 48 (Лан) до 95 г/см³ (Кафрське). Коефіцієнт розширення зернівки залежно від сорту зерна варіює від 6 до 15, при цьому збільшення крупності зерна негативно позначається на цьому показнику. Для сортів зернового сорго Кафрське, Самаран, Зернове 1247, Фулгус характерні максимальні значення коефіцієнта розширення зернівки.

Визначені суттєві коливання технологічних якостей зерна залежно від сортових особливостей зернового сорго збігається з напрацюваннями індійських і американських вчених [12; 14; 15], де показано, що характеристики генотипу суттєво позначаються на технологічних показниках сорго, що зумовлюють його придатність до утворення повітряного продукту. У [15] окрему увагу приділяють і умовам вирощування сортів зернового сорго у штаті Техас, що позначається на виході продукту і на коефіцієнті розширення зернівки, проте уваги параметрам процесу конвективного нагрівання не приділяється. Для отримання повітряного сорго шляхом НВЧ обробки основним фактором впливу на процес виступає початкова вологість зерна, яку в дослідженнях [11—14] варіювали в межах 12—21%, а оптимальних якостей повітряний продукт досягав за вологості 16—17% [12—14] і потужності генератора надвисокочастотного випромінювання 900 Вт під час обробки зерна. Своєю чергою, проведені дослідження [5] свідчать про неприйнятні органолептичні показники якості повітряного сорго за умови його обробки при потужності надвисокочастотного випромінювання понад 750 Вт. Встановлено [12], що найвищим є вихід повітряного зерна для сорту Mugad (81,2%), для інших

досліджених сортів показник варіював від 54,2 до 74,5% (GJ-42, Red, Nandel), коефіцієнт розширення зернівки становив 9—14,5 (найвищий для сортів Nandel і Mugađ). Такі відмінності пояснюються особливостями анатомічної будови зерна залежно від сорту. Проте, як показують наші дослідження, залежно від крупності зерна і його сортових особливостей слід проводити коректування режимів обробки зерна, а у [12] зерно сорго обробляли за однакових параметрів. Тобто відсутнім є аналіз ступеня впливу основних технологічних факторів процесу отримання повітряного продукту із зернового сорго.

Під час технологічного процесу отримання повітряного зерна шляхом НВЧ обробки до основних факторів впливу на якість кінцевого продукту належить фактор початкової вологості зерна перед обробкою, який регулюється шляхом його кондиціювання перед обробкою, та параметр НВЧ обробки — потужність магнетрону, який генерує надвисокочастотні хвилі. Оцінку впливу вказаних факторів на процес отримання повітряного зерна шляхом НВЧ обробки здійснювали шляхом дисперсійного аналізу як дослідження впливу декількох якісних змінних (факторів) на сукупність залежних кількісних змінних.

Як першу залежну кількісну змінну використовували значення виходу повітряного зерна. На рис. 1 відображено результати дисперсійного аналізу впливу факторів початкової вологості зерна і потужності НВЧ обробки на цей показник. Визначальний вплив на вихід повітряного продукту має потужність НВЧ обробки зерна сорго, ступінь впливу фактора залежно від сорту зерна становить 55—92%. Менший, проте суттєвий вплив на показник має вологість зерна для сортів Дніпровський, Кафрське, Самаран.

Потрібно відзначити, що для сорту Лан обидва фактори не є визначальними щодо виходу повітряного продукту, який, як було встановлено у результаті досліджень, серед усіх сортів є одним із найнижчих і становить не більше 38%. Тому цей сорт зернового сорго використовувати для отримання повітряного продукту нецільно.

Рис. 1. Вплив технологічних факторів на вихід повітряного зерна сорго різних сортів

На відміну від виходу, об'ємна маса повітряного продукту із сорго переважно зумовлюється вологістю зерна до НВЧ обробки, яку можна змінювати попереднім кондиціюванням зерна (рис. 2).

Рис. 2. Вплив технологічних факторів на об'ємну масу повітряного сорго різних сортів

Цей фактор обробки є суттєвим для сортів Кафрське, Зернове 1247, Самаран, Лан, Смотрич (ступінь впливу — 46—97%) та не позначається на об'ємній масі зерна сортів Фулгус і Дніпровський. Фактор потужності генератора надвисоко-частотного випромінювання позначається на вищевказаному технологічному критерії якості достовірно лише для сортів Кафрське і Самаран.

Найменший відгук на зміну факторів обробки надвисоко-частотним випромінюванням зерна сорго знаходить коефіцієнт розширення зернівки (рис. 3). Виключення становлять сорти Фулгус і Дніпровський, на коефіцієнт розширення зернівки яких суттєво впливає вологість зерна до обробки. Очевидно, що цей технологічний показник якості залежить в основному від сортових особливостей зерна. Тому його значення суттєво варіюють від 7 до 15, сягаючи максимуму для зерна сорго сорту Кафрське, що відрізняється білим кольором і мінімальною часткою зерна фракції 5/4.

Рис. 3. Вплив технологічних факторів на коефіцієнт розширення сорго різних сортів

Отже, щодо зміни технологічних факторів — початкової вологості зерна і потужності генератора надвисоко-частотного випромінювання — найбільш чутли-

вими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський. Це узгоджується з результатами аналізу якості продукції, що показали вказані сорти як сорти з прийнятними поп-властивостями, для яких основні технологічні показники якості зерна варіюють в межах: вихід — 56—92%; об'ємна маса — 63—95 г/см³; коефіцієнт розширення — 9—15.

Висновки. Ефективність використання зерна сорго для отримання цілнотного повітряного продукту суттєво залежить як від сортових особливостей зерна, так і від технологічних факторів його обробки. Вихід повітряного зерна для досліджених сортів коливається в межах 38—92%, сягаючи максимальних значень для сортів сорго Фулгус, Самаран, Дніпровський. Об'ємна маса повітряного зерна становить від 48 (Лан) до 95 г/см³ (Кафрське). Коефіцієнт розширення зернівки залежно від сорту зерна варіює від 6 до 15, а для сортів зернового сорго Кафрське, Самаран, Зернове 1247, Фулгус характерні максимальні значення показника.

За допомогою дисперсійного двофакторного аналізу встановлено, що переважний вплив на вихід повітряного продукту має потужність НВЧ обробки зерна сорго. Об'ємна маса повітряного продукту із сорго в основному зумовлюється вологістю зерна до НВЧ обробки, яку можна змінювати шляхом попереднього кондиціонування зерна. Цей фактор обробки є суттєвим для сортів Кафрське, Зернове 1247, Самаран, Лан, Смотрич. Найменший відгук на зміну факторів обробки надвисокочастотним випромінюванням зерна сорго має коефіцієнт розширення зернівки, за винятком сортів Фулгус і Дніпровський, на коефіцієнт розширення зернівки яких суттєво впливає вологість зерна до обробки. Тобто до варіювання технологічних факторів — початкової вологості зерна і потужності генератора надвисокочастотного випромінювання — найбільш чутливими є такі сорти зернового сорго, придатного для отримання повітряного продукту в порядку зменшення рівня чутливості: Самаран → Кафрське → Фулгус → Дніпровський.

ЛІТЕРАТУРА

1. Understanding the diversity in yield potential and stability among commercial sorghum hybrids can inform crop designs / Clarke S. J. [et al.] // *Field crops research*. — 2019. — Vol. 230. — P. 84—97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.010>.
2. Saravanabavan S. N. Effect of popping on sorghum starch digestibility and predicted glycemic index / S. N. Saravanabavan, M. M. Shivanna, S. Blattacharya // *Journal of Food Science and Technology*. — 2013. — Vol. 50. — № 2. — P. 387—392. doi: 10.1007/s13197-011-0336-x.
3. Черкасова Э. И. Применение СВЧ-энергии в производстве крупяной продукции / Э. И. Черкасова // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. — 2013. — № 1. — С. 32—37.
4. Physico-functional, thermo-pasting and antioxidant properties of microwave roasted sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] / Sharanagat V. S. [et al.] // *Journal of cereal science*. — 2019. — Vol. 85. — P. 111—119. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.013>.
5. Tymchak D. O. Production of popped sorghum with using microwave treatment / D. O. Tymchak, S. Yu. Mykolenko, Y. Y. Kuianov // *Зернові продукти і комбікорми*. — 2018. — Vol. 18. — № 2. — P. 15—20. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.950>.
6. Куянов Ю. Ю. Технологічні аспекти отримання «зірваних» зерен НВЧ-випромінюванням / Ю. Ю. Куянов, С. Ю. Миколенко // *Харчова промисловість*. — 2017. — № 22. — С. 40—48.
7. Інноваційні методи обробки продовольчої сировини: монографія / Миколенко С. Ю. [та ін.]. — Дніпро: Журфонд. — 2017. — 224 с.

8. Mishra G. Popping and puffing of cereal grains: a review/ G. Mishra, D. C. Joshi, B. K. Panda // Journal of grain processing and storage. — 2014. — Vol. 1. — № 2. — P. 34—46.
9. Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum / Mohapatra D. [et al] // Food Chemistry. — 2019. — Vol. 271. — P. 129—135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.196>.
10. Effects of popping on the endosperm cell walls of sorghum and maize / Parker M.L. [et al] // Journal of Cereal Science. — 1999. — Vol. 30. — P. 209—216. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1999.0281>.
11. Sharma V. Process development for puffing of sorghum / V. Sharma, P. S. Champawat, V. D. Mudgal // International journal of current research and academic review. — 2014. — T. 2. — № 1. — C. 164—170.
12. Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum / Gayatri M. [et al] // Journal of cereal science. — 2015. — Vol. 65. — P. 19—24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.001>.
13. Mishra G. Optimization of pretreatments and process parameters for sorghum popping in microwave oven using response surface methodology / G. Mishra, D. C. Joshi, D. Mohaparta // Journal of food science and technology. — 2015. — T. 52. — № 12. — C. 7839—7849. doi:10.1007/s13197-015-1898-9.
14. Gaul J. A. Effect of moisture content and tempering method on the functional and sensory properties of popped sorghum / J. A. Gaul, P. Rayas-Duarte // Cereal chemistry. — 2008. — T. 85. — № 3. — C. 344—350. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-85-3-0344>.
15. Pugh N. Heritability of popping characteristics in sorghum grain / N. Pugh, J. M. Awika, W. L. Rooney // Crop science. — 2017. — Vol. 57. — № 1. — C. 71—77. doi:10.2135/cropsci2016.04.0250.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОП-СВОЙСТВА ЗЕРНА СОРГО

С. Ю. Мыколенко, Д. О. Тимчак

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет

В статье исследовано влияние факторов сверхвысокочастотной обработки зерна сорго на качество цельнозернового воздушного продукта в зависимости от сортовых особенностей зерна. Установлены особенности поп-свойств зерна сортов сорго, выращенных в Украине, а именно Лан, Днепропетровский, Смотрич, Фулгус, Зерновое 1247, Самаран, Кафрское. С помощью дисперсионного двухфакторного анализа установлено, что преобладающее влияние на выход воздушного продукта имеет мощность сверхвысокочастотной обработки зерна сорго, степень влияния фактора в зависимости от сорта зерна составляет 55—92%. По чувствительности к варьированию технологических факторов сорта зернового поп-сорго располагаются в следующем порядке: Самаран → Кафрское → Фулгус → Днепропетровский. Зерно сорго таких сортов характеризуется приемлемыми поп-свойствами и при условии рационально подобранных технологических параметров обработки может быть использовано для получения воздушного сорго.

Ключевые слова: зерновое сорго, воздушное зерно, сверхвысокочастотная обработка, кондиционирование, технологические свойства, дисперсионный анализ.