

УДК 664.762:664-4:519.2

В. В. Любич

к. с.-г. н.

В. В. Новіков

аспірант*

І.О. Полянецька

к. с.-г. н.

Уманський національний університет садівництва

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА ТРИКАЛЕ

Тритикале – перспективна сільськогосподарська культура, що характеризується високими круп'яними властивостями. У статті наведено результати математичної обробки експериментальних даних дослідження режимів водно-теплової обробки та луціння за допомогою програми Statistica 10 методом багатофакторного експерименту ортогональним композиційним планом другого порядку. Встановлено, що збільшення тривалості луціння істотно знижує вихід ядра та підвищує вміст мучки, тоді як

© В. В. Любич, В. В. Новіков, І. О. Полянецька

*Науковий керівник – д.т.н., професор Є. А. Дмитрук

підвищення вологості зумовлює незначний приріст виходу готового продукту. Проте, за підвищення вологості від 12 % до 16 %, кількість битого ядра зменшується.

Математично обгрунтовано, що збільшення енерговитрат внаслідок використання водно-теплової обробки не нівелюється збільшенням виходу ядра та покращенням процесу лушіння, а тому зволожувати зерно тритикале перед лушінням недоцільно. Оскільки початкова вологість сировини становить 12–14 %, залежно від умов зберігання і режимів попереднього очищення зерна, оптимальним слід вважати цей діапазон.

Розроблені математичні моделі виходу цілої крупи, мілкого і дробленого зерна і мучки рекомендовано використовувати для прогнозування виходу готового продукту під час переробки зерна тритикале.

Ключові слова: математична обробка, багатofакторний експеримент, крупа тритикалева луцена.

Постановка проблеми

Відомо, що видові особливості зерна зумовлюють режими його обробки у технологічному процесі, тому оптимізація виготовлення крупи тритикалевої лущеної є актуальним.

Дослідженнями процесів переробки зерна встановлено, що доцільно визначати вплив факторів як активних (з організованими показниками), так і пасивних (з неорганізованими показниками) експериментів. Метод багатofакторного експерименту – відомий засіб оптимізації технологічного процесу, проте потребує проведення великої кількості розрахунків. Враховуючи зростаюче використання для статистичної обробки експериментальних даних пакету прикладних програм Statistica, їх було використано для обробки даних як активного, так і пасивного експериментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах реорганізації та зміни напрямку діяльності народного господарства України. Нині перед технологами поставлено чітке завдання оптимізації режимів переробки сільськогосподарської сировини. Для раціонального використання потенціалу зерна та збільшення конкурентоспроможності готового продукту доцільно збільшувати його асортимент, а також створювати нові види продукції, що максимально задовольняють потреби сучасного споживача за умови зменшення собівартості виробництва.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності виробництва круп'яних продуктів є використання зерна високої біологічної цінності. Тритикале, порівняно із іншими зерновими культурами, характеризується високим вмістом білка (16–28 %), збалансованим за амінокислотним складом, що представлений більш цінними водорозчинними фракціями. У технології переробки зерна на крупу найвитратнішою є водно-теплова обробка. Відомо, що на її ефективність впливають особливості атомічної будови зернівки та режими лушіння зерна.

Водно-теплова обробка зерна пшениці підвищує міцність ендосперму, ефективність його лушіння, сприяє міграції речовин з периферичних частин

зерна в глибші, які залишаються в крупі, зменшує витрати крохмалю під час варіння та підвищує розсипчастість каші [1]. Відомо, що за вологості 12 % зерно тритикале має властивості пружного тіла, підвищення вологості до 16 % зумовлює перехід зерна у пластичний стан [2, 3].

Дослідженнями [4, 5, 6] встановлено, що великий вплив на фізико-механічні властивості зерна має вологість. Ефективність лушіння погіршується за підвищеної вологості зерна, а також під час переробки пересушеного зерна.

Під час переробки круп'яного зерна особливе значення має різниця у вологості ядра і плівки. Чим сухіші плівки зерна, тим вони більш крихкі і легше відокремлюються від ядра порівняно з вологішим ядром. Проте, лушіння вологого зерна підвищує витрати енергії і знижує продуктивність обладнання. Відомо, що у повітряно-сушеного зерна вологість оболонки нижче вологості ядра, тому, чим сухіша оболонка, тим ефективніший процес лушіння [7].

Зволоження і відволоження зерна викликає утворення тріщин, що спричиняє ступеневий характер проникнення вологи в зернівку і розрихлення ендосперму. Більш швидке проникнення вологи з підвищенням температури наслідком порушення зв'язків води і тканин зерна внаслідок підвищення кінетичної енергії молекул [8].

Проте, відсутність наукових досліджень переробки зерна тритикале зумовлює необхідність математичного моделювання режимів зволоження та його відволоження перед лушінням як одного з найвитратніших етапів виробництва круп.

Мета, завдання та методика дослідження

Метою дослідження є удосконалення режимів водно-теплової обробки зерна тритикале під час виготовлення круп тритикалевої шліфованої.

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення круп тритикалевої лущеної. Предмет – технологічні режими процесу виготовлення круп тритикалевої лущеної.

Дослідження проводилися в умовах лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського НУС. Лушіння зерна здійснювали на лабораторному лушильнику УШЗ-1 зі швидкістю обертання робочого органу 3000 об/хв. Маса зразка для лушіння становила 150 г. Просіювання та контроль проміжних продуктів – на лабораторному розсіві марки РЛУ 1. Визначення вологості проводили термогравіметричним методом за ДСТУ 29144:2009. Математичну обробку експериментальних матеріалів здійснювали, використовуючи пакет стандартних програм Microsoft Excel 2007 і Statistica 10.

Результати дослідження

В ортогональному центральному плануванні критерієм оптимальності плану експерименту є ортогональність стовпців матриці планування. У силу ортогональності планування всі коефіцієнти рівняння регресії визначаються

незалежно один від одного. Ядро композиційного плану складає план повного факторного експерименту ПФЕ 2^n .

Для розрахунку математичної моделі багатофакторного експерименту за допомогою ППП Statistica було використано розширену матрицю плану експериментів у розкодованому вигляді, розраховану з урахуванням критерію Кохрена.

У результаті розрахунку математичної моделі отримано сумарну характеристику змінних за результатами експериментальних досліджень залежності виходу крупи лущеної F , відсоткового вмісту дробленого й м'якого зерна D і відсоткового вмісту мучки M від тривалості лушіння $T_{\text{л}}$, вологості W та тривалості відволожування $T_{\text{в}}$.

Встановлено, що отримані моделі є адекватними, відтворювальними та статистично надійними, а рівняння регресії можуть використовуватися для визначення проміжних значень. Так, розрахункове значення критерію Фішера для всіх отриманих моделей становив $p < 0,000$, тобто був менше 0,05, а коефіцієнт детермінації був вищий за 0,75, що свідчить про адекватність моделі на рівні 5% (табл. 1). На основі аналізу критерію Дарбіна–Уотсона встановлено, що гіпотеза про незалежність випадкових відхилень не відкидається, тобто автокореляція відсутня. Відповідно до критерію Стьюдента були визначені статистично важливі коефіцієнти B і виділені напівжирним шрифтом у таблицях сумарних характеристик залежних змінних.

Відповідно до статистичного аналізу були побудовані математичні моделі, що описуються такими рівняннями регресії другого порядку:

$$F = 38,01 - 0,085T_{\text{л}} + 8,66 W + 0,09 T_{\text{в}} + 0,002 T_{\text{л}}^2 - 0,298 W^2 \quad (1)$$

$$D = 6,158 + 0,013T_{\text{л}} - 0,475W - 0,0023 T_{\text{л}}^2 \quad (2)$$

$$M = 61,989 - 0,085T_{\text{л}} - 8,66 W - 0,09 T_{\text{в}} - 0,002 T_{\text{л}}^2 + 0,298 W^2 \quad (3)$$

Відповідно до рівнянь 1–3 встановлено, що тривалість відволожування має неістотний вплив на основні показники ефективності лушіння. Для побудови площини відклику вказаних функцій цей показник був зафіксованим на оптимальному рівні ($T_{\text{в}}=0$ за вологості 12–14%, $T_{\text{в}}=30$ за вологості 12–14%).

Таблиця 1. Показники перевірки моделей на адекватність, статистичну надійність та автокореляцію

Функція	Показник					
	R	R ²	Розрах. R	F	p	DW
F	0,98	0,97	0,97	392,07	<0,0000	2,4
D	0,96	0,93	0,93	132,16	<0,0000	2,4
M	0,98	0,97	0,97	392,07	<0,0000	2,4

У результаті аналізу поверхні відгуку функцій встановлено, що збільшення тривалості лушіння істотно знижувало вихід ядра та підвищувало вміст мучки, тоді як підвищення вологості зумовлювало незначний приріст виходу ядра (рис. 1, 2). Проте кількість битого ядра зменшувалася за підвищення вологості від 12 до 16 %.

Отже, збільшення енерговитрат процесу лущіння внаслідок використання водно-теплової обробки не нівелюється збільшенням виходу ядра та покращенням процесу лущіння, а тому зволожувати зерно тритикале перед лущінням недоцільно. Так, як залежно від умов зберігання і режимів попереднього очищення зерна, початкова вологість сировини становить 12–14%, відповідно оптимальним слід вважати цей діапазон.

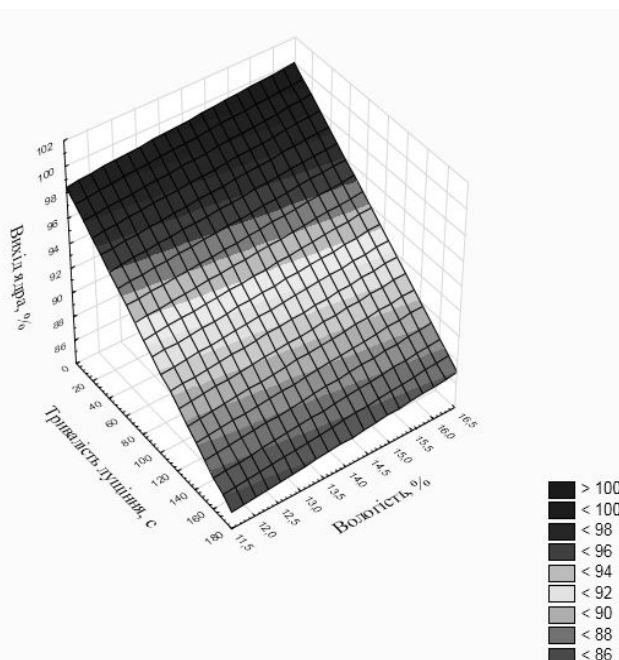
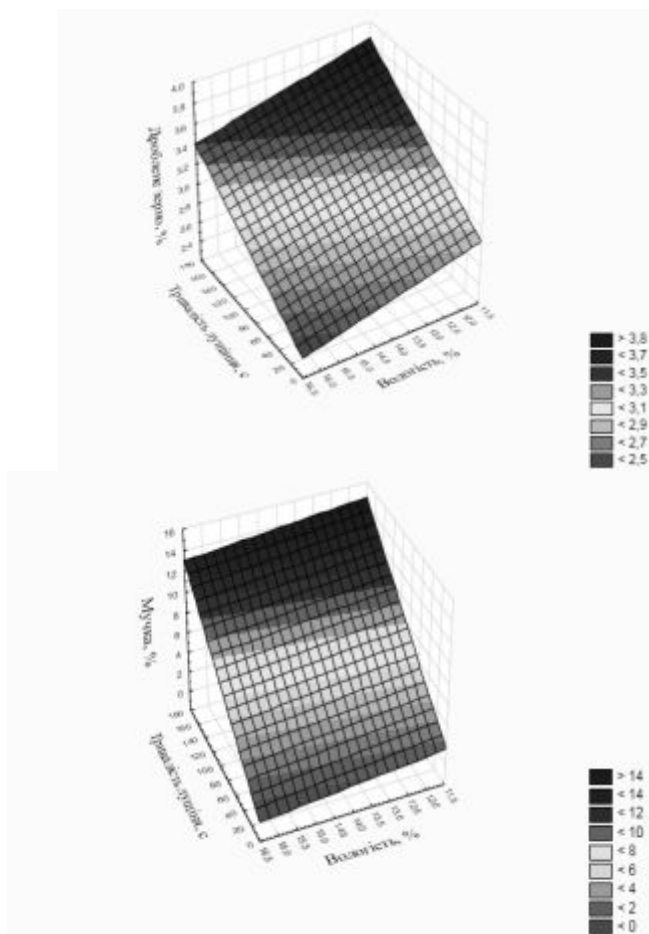


Рис. 1. Поверхні відгуку функції виходу крупи лущеної залежно від водно-теплової обробки та тривалості лущіння

Висновки та перспективи подальших досліджень

Експериментальні дослідження дали можливість встановити оптимальні режими водно-теплової обробки зерна тритикале за виготовлення крупи тритикалевої лущеної. Оптимально лущити зерно тритикале за вологості 12–14% без додаткового зволоження. Математичний опис відповідних процесів за ортогональним композиційним планом другого порядку та отримані рівняння квадратичної регресії підтверджують правильність вибраних технологічних режимів.



вихід дробленого і дрібного зерна

мучка

Рис. 2. Поверхні відгуку функції залежно від водно-теплової обробки та тривалості лущіння

Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення впливу струмів високої частоти на вихід та якість проміжних продуктів із зерна тритикале нових сортів та розширення асортименту круп'яних продуктів цієї культури.

Література

1. Нуруллин Э. Г. Разработка основ теории и машин пневмо-механического шелушения зерна крупяных культур : автореф. дис. на соискание научной степени д. т. н. / Э. Г. Нуруллин. – Казань, 2005. – 35 с.

2. Чумаченко Ю. Д. Снижение энергозатрат процесса крупобразования зерна тритикале / Ю. Д. Чумаченко // Зернові продукти і комбіорма. – 2012. – № 2. – С. 35–37.

3. Чусова А. Е. Получение и исследование α - и β -амилаз тритикалевого солода для использования его в пивоварении: автореф. дис. на соискание научной степени к. т. н. / А. Е. Чусова. – Воронеж, 1997. – 18 с.

4. Абрамов С. Ю. Влияние влажности и температуры зерна на эффективность его переработки: автореф. дис. на соискание научной степени к. т. н. / С. Ю. Абрамов. – М., 1984. – 22 с.

5. Анискин В. И. Гигроскопические свойства зерна различных культур / В. И. Анискин. – М. : Колос, 1967. – 86 с.

6. Белиловская А. С. Изменение структурно-механических свойств зерна в результате ГТО / А. С. Белиловская // Тезисы докл. ВНИИЗ. – 1960. – № 4. – С. 34–40.

7. Шкапов Е. И. Совершенствование технологии диспергирования зерна для производства хлебоулучшителей: автореф. дис. на соискание научной степени к. т. н. / Е. И. Шкапов. – М., 2002. – 26 с.

8. Каминский В. Д. Влияние водно-тепловой обработки зерна гречихи на пищевую ценность и микрофлору крупы / В. Д. Каминский, М. Б. Бабич, С. Е. Шувалов // Хранение и переработка зерна. – 2000. – № 12. – С. 36–37.
