

Удосконалення процесу водотеплового оброблення і луцення різних фракцій зерна тритикале під час виробництва крупи

В. В. Любич, В. В. Новіков, В. В. Желєзна, В. О. Приходько, В. В. Петренко, С. О. Хоменко, В. І. Зорунько, О. А. Балабак, В. В. Москалець, Т. З Москалець

Досліджено вплив водотеплового оброблення (зволожування зерна) та тривалості луцення на вихід і якість крупи із зерна різних фракцій тритикале. Проведено порівняльний аналіз виходу крупи і кулінарну її якість за різної вологості зерна залежно від його фракцій. Встановлено ступінь впливу досліджених чинників на вихід і якість крупи тритикалевої. Достовірним є вплив тривалості луцення, розміру зернівок тритикале та вологості зерна. Ці чинники істотно впливали на вихід і якість крупи. При цьому вплив тривалості луцення зерна був найбільшим. Найвищий вихід крупи отримано за тривалості луцення впродовж 20 с, найнижчі – за луцення 180 с.

Проведено соціальні дослідження та встановлено основні пріоритети для покупців круп'яних продуктів. Доведено, що найбільше значення під час вибору продуктів харчування споживачами приділяється кулінарним характеристиками готового продукту.

Встановлено, що оптимально луцити зерно тритикале впродовж 100 с. Застосування таких параметрів оброблення дозволяє отримати вихід крупи цілої 88,8 % з кулінарною якістю 6,7 бала. Якість крупи відповідає вимогам ДСТУ 76992015. «Крупи пшеничні. Технічні умови».

На основі досліджень встановлено, що ефективним є розділення зерна тритикале на фракції, що відрізняються за геометричними властивостями, зокрема товщиною. Визначено особливості виходу крупи залежно від фракції зерна тритикале. Застосування водотеплового оброблення зерна тритикале (зволожування до 14,0 %) дозволяє підвищити вихід крупи до 88,7 %. Оброблення фракцій, що мають товщину зерна меншу 2,4 мм забезпечує вихід крупи до 87,8 %. Вихід крупи під час луцення зерна, що має товщину більше 2,4 мм становить від 88,8 до 89,1 %.

Для виробництва крупи із зерна тритикале доцільно використовувати зерно, що має товщину 2,8 мм і більше. Оптимальна тривалість луцення становить 100 с. Для підвищення загальної кулінарної оцінки на 1 бал рекомендовано збільшувати тривалість луцення крупного зерна до 140 с. Відмінність від класичного способу полягає у використанні крупної фракції зерна з нижчою його вологістю.

Розроблені рекомендації можуть бути використані зернопереробними підприємствами під час перероблення тритикале для інтенсифікації виробництва

Ключові слова: водотеплове оброблення, луцення, фракції зерна, тритикале, вихід крупи, кулінарне оцінювання

1. Вступ

За даними Євростату [1], злакові культури – один із основних світових джерел продовольства, що становить близько 300 млн тонн щорічно. Валове виробництво зерна в Україні, за даними Держстату (2019 р.), становило 75,1 млн т [2]. Продукти перероблення зерна споживаються в усьому світі [3, 4].

Тритикале (*X Triticosecale* Wittmack) – вид зернової культури техногенного походження, отриманий гібридизацією пшениці й жита. Він був створений для поєднання господарсько-цінних властивостей батьківських форм. Висока енергія росту, холодостійкість і високий вміст білка жита й середні хлібопекарські характеристики клейковини пшениці. Ця культура має низку технологічних переваг порівняно з пшеницею та житом. Тритикале зазвичай добре розвивається в умовах абіотичного стресу порівняно з пшеницею [5]. Крім цього, тритикале характеризується високою стійкістю проти ураження основними грибовими хворобами [6]. Проте рослини не мають стійкості проти ураження *Claviceps purpurea* [5]. Біохімічні показники зерна тритикале змінюються в широкому діапазоні (табл. 1). Проте за вмістом харчових волокон (пентозами, β -глюкан) переважає зерно пшениці, жита та ячменю.

Таблиця 1

Біохімічний склад зерна, % на суху речовину [7–9]

Показник	Культура			
	Пшениця	Жито	Тритикале	Ячмінь
Крохмаль	52,1–64,5	46,5–59,7	52,7–63,9	42,3–58,1
Білок	7,6–15,8	5,6–11,3	6,8–16,0	6,7–14,3
Пентозани	3,5–7,0	5,9–10,2	9,1–14,0	5,8–7,5
Жир	1,7–2,2	1,3–2,7	1,5–2,4	1,9–3,5
β -глюкан	0,3–1,2	1,3–1,7	0,8–3,0	3,1–5,5

Зерно містить більше лізину порівняно з пшеницею [10, 11]. Вміст глютену в зерні тритикале на 20–30 % нижчий порівняно з пшеницею [12]. Зерно містить більше харчових волокон. Продукти перероблення зерна тритикале мають високу кулінарну якість [13].

Світове виробництво тритикале становить понад 20 млн т за рік, половина якого припадає на Німеччину й Польщу. Незважаючи на високі технологічні властивості зерна, борошно тритикале широко не використовують у харчовій промисловості. Значну частину зерна тритикале використовують для відгодівлі сільськогосподарських тварин [5].

Зерно тритикале має високі дієтичні властивості [14]. Складові частини зернівок позитивно впливають на кишківник, зменшують вивільнення та всмоктування глюкози, контролюють холестерин у крові. Очевидно, що продукти із зерна тритикале будуть мати подібний вплив на організм людини. Тому для того, щоб скористатися корисними харчовими властивостями, потрібно проводити дослідження якості зернопродуктів із тритикале.

Крім цього, круп'яне виробництво привабливе для інвестування за рахунок низьких ризиків капіталовкладень. Враховучи великі обсяги [2, 5] виробництва

зерна тритикале та його високі технологічні властивості, виникає необхідність пошуку раціональних способів його перероблення. Недостатня кількість інформації про круп'яні властивості зерна тритикале призводить до зменшення ефективності роботи переробних виробництв [15].

Відомий нині спосіб [18] інтесифікування технологій перероблення зерна за рахунок його фракціонування для тритикале не використовують, а рівень дослідження цього питання – недостатній. Тому пріоритетним є:

- опис механізму дії багаторазового стирання зерна різних фракцій тритикале в лушильниках періодичної дії залежно від водотеплового оброблення;
- встановлення залежностей за допомогою проведення комплексного аналізу;
- застосування достовірного органолептичного оцінювання для зменшення суб'єктивного чинника.

Удосконалення параметрів водотеплового оброблення та лушення різних фракцій зерна тритикале дозволить точніше спрогнозувати технічні показники круп'яного виробництва. Крім цього, необхідно оптимізувати вихід крупи за високих показників якості. Тому проведення відповідних наукових досліджень є актуальним.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Тритикале, нині відома в світі культура, використовується для продовольчих, кормових цілей (зелений корм, силос, сінаж, силос, сіно). Крім цього, це також енергетична культура [12].

Борошно тритикале використовують для заміни житнього в рецептурі пшенично-житнього хліба. Отримані хлібні вироби мають житній присмак ортим'язозерного типу твердості тритикале використовують для виготовлення вафель. Технологічно немає специфічних властивостей і рекомендацій, що відрізняються від пшеничного борошна [13].

Тритикале підходить для виробництва низки продуктів: торти, печиво, кекси, вафельні вироби, локшини і спагеті [14]. Проте в цих дослідженнях відсутні дослідження використання зерна тритикале для виробництва крупи. Отримання крупи і круп'яних продуктів є важливим напрямком перероблення. Крупа – сировина для виготовлення самостійних або як складова компонента продуктів, які користуються великим попитом серед населення багатьох країн [15]. Відомо дослідження, в яких тритикале застосовується окремо або в сумішах з іншими зерновими крупами для виготовлення високоякісних сніданків, приготованих екструзією або розривом зерна [16] Проте крупа ціла містить більше біологічно активних речовин порівняно з подрібненими [17].

Встановлено, що якість зерна змінюється від умов вирощування [18, 19] та сорту [20]. Це визначає якість продуктів його перероблення. Крім цього, якість готового продукту залежить від елементів технології перероблення зерна [21]. На вихід і якість крупи істотно впливають зволоження та тривалість лушення зерна. Водотеплове оброблення – одна з технологічних операцій, яка має значний вплив на зміни фізичних властивостей зерна. Його застосування суттєво впливає на діапазон і характер змін у внутрішній структурі сировини, що переробляється [22]. Удосконалення режимів зволоження та відволоження зер-

на твердих сортів пшениці дозволяє зменшити енерговитрати технологічного процесу на 40–50 % [23]. Ефективність якого значною мірою залежить від форми зерна та інших його геометричних параметрів [22]. Проаналізовані дослідження [18–22] стосуються зерна пшениці. Крім цього, недостатньо вивчено формування кулінарної якості залежно від елементів технології перероблення. В Україні вихід крупи цілої із зерна пшениці на виробництві становить близько 60–70 % від маси зерна [24]. У роботі [25] зволоження зерна тритикале від 9,0 до 17,0 % підвищувало вихід крупи на 9,7 %. Збільшення виходу крупи сприяло нижчому вмісту кормової мучки та битого ендосперму. Проте загальний вихід крупи змінювався від 57,4 до 66,3 % залежно від вологості зерна. Низький вихід крупи зумовлено тривалим луценням зерна, що негативно впливає на біологічну цінність готового продукту.

Застосування водотеплового оброблення зерна може впливати на підвищення засвоєння окремих мікроелементів [27]. Луцення зерна менше знижує біологічну цінність готового продукту за рахунок неповного видалення оболонок. Застосування найдовшого луцення зерна повністю не забезпечує видалення оболонок, алейронового шару та зародку [28]. Відомо, що вони містять більше мікроелементів, поліфенолів, клітковини і фітохімічних сполук.

Нині частково вивчено технічні показники круп'яного виробництва та якості готових продуктів із зерна пшениці м'якої. В роботах [29, 30] розроблено схему та параметри водотеплового оброблення крупи плющеної, яка не потребує варіння методом інфрачервоного випромінювання потужністю променевого потоку 50–60 кВт/м². При цьому встановлено, що оптимальним був індекс лушіння зерна 4–5 %. Кулінарна якість плющеної крупи підвищувалась порівняно із зерном. Проте розроблені параметри водотеплового оброблення відносяться до плющеної крупи, технологічна схема якої значно відрізняється від цілої.

Встановлено, що зерно пшениці спелти оптимально луцтити упродовж 120 с. Індекс луцення при цьому становить 10,9 %. Консистенція каші під час варіння та загальна органолептична оцінка – висока (7,0–8,6 бала). Тому для зерна пшениці спелти оптимальним є індекс луцення 11–13 %. Зволоження зерна до 15–16 % та відволоження впродовж 30 хв підвищує вихід крупи на 1,5–3,0 % [31]. Проте в дослідженнях [29–31] використовували зерно пшениці та ячменю, технологічні властивості яких істотно відрізняються від тритикале. Крім цього, не досліджували особливості перероблення зерна різних фракцій.

Важливим елементом круп'яного виробництва є сортування зерна на фракції за крупністю. Фракціонування проводять для інтенсифікації роботи луцильних машин, зокрема підвищення ефективності луцення зерна. Фракціонування зерна економічно доцільно проводити на підприємствах високої продуктивності [30]. Дослідженнями встановлено, що луцення зерна тритикале окремих фракцій може підвищувати вихід крупи на 0,4–2,1 % [26].

В умовах ринкових відносин, що притаманні сучасним виробникам круп'яних продуктів, вагоме місце займає їх конкурентоспроможність, яка істотно залежить від якості готового продукту та його доступності для споживачів. Конкурентоспроможність круп'яних продуктів істотно залежить від їх зовнішнього вигляду, поживної та біологічної цінності, рівня безпечності.

Визначення рівня якості готового продукту носить суб'єктивний характер. Суб'єктивність зумовлена недоліками експертних методів оцінювання кулінарних характеристик і зовнішнього вигляду готового продукту. Тому коефіцієнти значущості, що отримані експертним методом доцільно перевіряти в умовах, наближених до ринкових, зокрема за рахунок проведення соціальних опитувань.

У роботах [23–25, 32] доведено достовірний вплив режимів лушення на вихід та кулінарну якість крупи із зерна тритикале. Вихід цілої крупи при цьому становив 77–95 % і збільшувався на 0,7–1,2 % залежно від параметрів перероблення. Проте не встановлено вплив параметрів водотеплового оброблення на вказані показники зерна різних фракцій. Крім цього, дослідження процесу лушення проводили найпростішими способами кореляційного та дисперсійного аналізів, що не дає можливість створення математичних моделей процесу.

Істотно підвищити якість та технологічні властивості продовольчого зерна можливо за використання процесу фракціонування [33, 34].

Поділ зерна на частини, які подібні за геометричними або аеродинамічними властивостями дозволяє виділити крупну фракцію підвищеної якості без істотного погіршення якості фракції середньої за розмірами. Крім цього вирівняна за геометричними ознаками зернова суміш дозволяє інтесифікувати процес лушення та водотеплового оброблення зерна.

Нині практичне застосування етапу фракціонування має у технології перероблення зерна гречки на крупу, яка характеризується формуванням шести фракцій зерна та їх окремого оброблення [35]. Негативним під час впровадження процесу фракціонування є істотне збільшення матеріалоємності процесу та енерговитрат на вироблення готового продукту. Проте за перероблення зерна гречки на крупу енерговитрати, що пов'язані з фракціонуванням є виправданими. Лише так можна мінімізувати вихід проділу та збільшити ефективність лушення зерна.

У технологіях перероблення зерна пшениці, жита та тритикале фракціонування можна застосовувати на етапі очищення зерна, проте в подальшому фракції окремо не переробляють. Проте вони істотно відрізняються за своїми властивостями. Так, у роботі [36] доведено, що біохімічний склад (вміст білка та клейковини) зерна різних фракцій істотно відрізняється. Відмінними є і технологічні властивості зерна різних фракцій (маса 1000 зерен і натура зерна). Основними рекомендаціями роботи є використання процесу фракціонування для контрольованої зміни якості зернової маси.

Обґрунтованим є доцільність використання фракціонування на етапі очиснення зерна ячменю і жита, що наведено в роботах [37, 38]. Проте технологічні властивості різних фракцій зерна вивчено недостатньо. Частково вирішено відповідне питання у роботі [39]. Доведено, що результатом проведення фракціонування зерна пшениці істотно покращуються її борошномельні властивості. Якість хліба, виготовленого із борошна, отриманого з крупної фракції зерна пшениці, була істотно вища порівняно з хлібом, виготовленим із борошна дрібної фракції. Частково розглянуто проблему перероблення зерна різних фракцій тритикале в роботах [9, 26], зокрема вивчені технологічні властивості різних фракцій зерна тритикале.

Із результатів досліджень [37, 38] випливає, що зернову масу ефективно розділяти за параметром товщини зернівки. Поділ зерна за товщиною здійснюється за використання металоштампованих пробивних сит із прямокутними отворами. Відповідні сита мають стандартну довжину отворів (20 мм) проте їх ширина варіює в широкому діапазоні.

Ефективність фракціонування, що доведена роботами [37–39], потребує додаткового вивчення для зерна 4-видового тритикале за рахунок відмінностей його властивостей від культур, що розглядали у вказаних дослідженнях. У роботах, які вивчали питання фракціонування тритикале [9, 26] не запропоновано ефективного способу застосування його поділу на фракції та їх окремого перероблення на крупу лущену максимальної кулінарної якості та привабливого зовнішнього вигляду. Нині відсутні рекомендації щодо перероблення зерна 4-видового тритикале різної крупності із врахуванням думок кінцевих споживачів аналогічних продуктів. Потребують встановлення механізми зміни виходу та кулінарної якості крупи залежно від геометричних розмірів зерна та режимів його перероблення, що є цікавим питанням з теоретичної точки зору. Вирішення виявлених недоліків дозволить вдосконалити типові технологічні процеси лущення та зволоження зерна тритикале під час вироблення крупів. Це складає передумови для трансферу отриманих технологічних рішень та їх використання в умовах діючих круп'яних заводів різної продуктивності.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження було вдосконалення режимів зволоження і лущення різних фракцій зерна тритикале за виходом і кулінарною якістю готового продукту. Це дасть можливість виробляти крупу з тритикале № 1 яка має високу кулінарну якість. Показники якості крупи будуть відповідати вимогам ДСТУ 76992015. «Крупи пшеничні. Технічні умови». Отримані результати досліджень будуть цінними для підприємств низької продуктивності.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- визначити параметри оптимізації процесу водотеплового оброблення з урахуванням соціальних досліджень потенційних споживачів крупів лущених;
- встановити вплив зволоження та лущення зерна різних фракцій тритикале на вихід крупи;
- обґрунтувати раціональні режими перероблення зерна тритикале на крупу.
- дослідити кулінарну якість крупи залежно від параметрів виробництва крупи;

4. Матеріали та методи дослідження впливу параметрів виробництва на вихід та якість крупи

4. 1. Сировина для вивчення ефективності фракціонування в технології круп'яного виробництва

Для дослідження використовували зерно чотиривидового тритикале сорту Стратег, який мав найбільший вміст білка, амінокислотний склад якого був краще збалансований порівняно із іншими зразками. Сировину вирощували в умо-

вах Правобережного Лісостепу (Навчально-виробничий відділ Уманського національного університету садівництва (м. Умань, Україна)).

4. 2. Програма та методика та обладнання для дослідження круп'яних властивостей різних фракцій зерна тритикале

Дослідження проводили у лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва (м. Умань, Україна).

Процес вироблення крупи лущеної із зерна тритикале, що включає етап фракціонування був змодельований в лабораторних умовах (рис. 1).

Під час проведення досліджень зерно розділяли на 5 фракцій за використання сит із прямокутними отворами. Враховуючи особливість розділення зернової маси за геометричними розмірами, фракції отримані проходом і сходом певного сита, мали у своєму складі зерно товщиною, яка варіювала між робочими розмірами відповідних сит. Наприклад товщина зерна, отриманого проходом сита $3,2 \times 20$ і сходом сита $2,8 \times 20$ становила від 2,8 до 3,2 мм. Детальна характеристика фракцій наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика товщини різних фракцій зерна тритикале

Номер фракції	Умови отримання	Товщина зерна, мм
1	прохід сита $2,0 \times 20$	$< 2,0$
2	прохід сита $2,4 \times 20$ схід сита $2,0 \times 20$	2,0–2,4
3	прохід сита $2,8 \times 20$ схід сита $2,4 \times 20$	2,4–2,8
4	прохід сита $3,2 \times 20$ схід сита $2,8 \times 20$	2,8–3,2
5	схід сита $3,2 \times 20$	$> 3,2$

Отримані фракції обробляли згідно плану повного факторного експерименту (табл. 3)

Таблиця 3

Кроки та рівні варіювання експерименту встановлення впливу параметрів виробництва на його ефективність

Рівень	Тривалість лущення, с	Вологість, %
Мінімальний	20	12,0
0	100	13,0
Максимальний	180	14,0
Крок	80	1,0

Фактор тривалості відволожування в дослідженні не вивчали. Згідно із рекомендаціями щодо перероблення зерна пшениці було обрано режим для всіх варіантів, що включав тривалість відволожування 30 хв.



Рис. 1. Принципова схема виробництва крупи ліщеної в лабораторних умовах

Під час проведення соціальних досліджень були опитані 200 респондентів. Загальна характеристика опитаних наведена у табл. 4.

Таблиця 4
Вікова характеристика та рівень доходів респондентів

Параметр	Кількість опитаних	Відсоток опитаних
Вікова характеристика		
До 20 років	38	19
20–30 років	56	28
30–50	66	33
50 і старше	40	20
Рівень доходу		
Низький	32	16
Середній	118	59
Високий	42	21
Дуже високий	8	4

Опитування проводили рандомізовано у провідних торгових мережах та малих продуктових магазинах. Місце проведення м. Умань, Україна.

Кулінарну якість визначали за удосконаленою методикою [43]. Оцінювання проводила комісія, рівень компетентності якої був дуже високим (82 бали). Методика визначення компетентності представлена у роботі [44]. Загальну кулінарну оцінку (ЗКО) визначали за формулою:

$$\text{ЗКО} = \frac{3 + \text{С} + \text{Конс.} + \text{Конс.}_p + \text{Кол.}}{5}, \text{ бал} \quad (1)$$

де 3 – запах, бал; С – смак, бал; Конс. – консистенція, бал, Конс._p – консистенція каші під час розжовування, бал, Кол. – колір, бал.

4. 3. Статистичне оброблення експериментальних даних

Дослідження проводили у чотирьох повторюваннях, які були рандомізовані в часі. Результати обробляли за використання програм Microsoft Excel 2010 і Statistica 12 відповідно до методичних рекомендацій [40, 41].

5. Результати дослідження впливу параметрів водотеплового оброблення, лушення різних фракцій зерна тритикале на вихід та якість крупи

5. 1. Пріоритетні критерії оптимізації перероблення тритикале на круп'яні продукти

Для виявлення актуальних критеріїв оптимізації вироблення крупів лушених із зерна чотиривидового тритикале було проведено соціальне дослідження методом анкетування. Результати анкетування було узагальнено, а думки респондентів розподілені за пріоритетами від дуже низького до дуже високого. Дуже високий пріоритет стосовно поставленого питання означав першочергове

його значення під час вибору продукту. Дуже низький свідчив про невагоме або непринципове його значення.

Зовнішній вигляд крупів лущених мав важливе значення для респондентів (рис. 2). Так, 10 % опитуваних надавали переваги тільки тим продуктам, що мали привабливий зовнішній вигляд (упаковка, зовнішній вигляд круп'яних продуктів, колір продуктів тощо). Проте більшість респондентів (46 %) не звертали увагу на зовнішній вигляд крупів лущених.

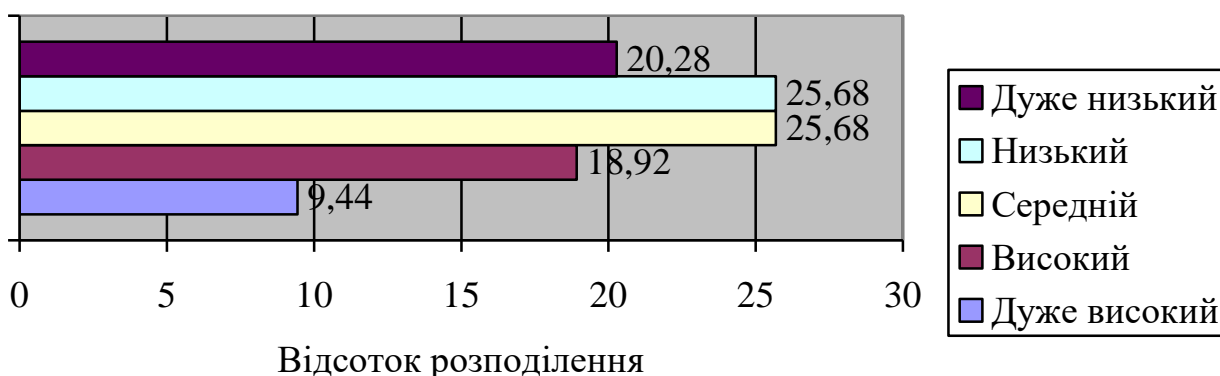


Рис. 2. Розподілення думок покупців стосовно пріоритету зовнішнього вигляду продукту при купівлі

Досить мала кількість респондентів (3 %) звертала увагу на хімічний склад крупів лущених перед їх придбанням. Більшість опитуваних не приділяла цьому чиннику істотну увагу, а 19 % споживачів ніколи не звертали увагу на хімічний склад продуктів перед їх придбанням (рис. 3).

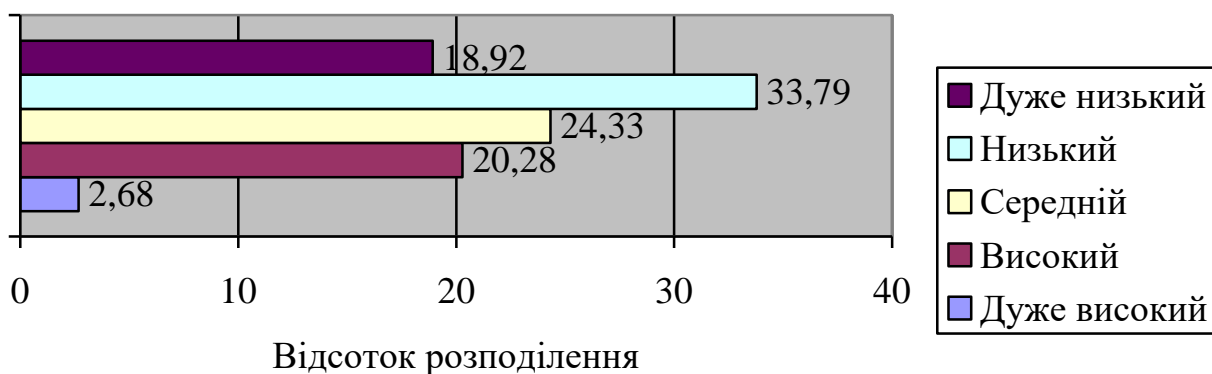


Рис. 3. Розподілення думок покупців стосовно пріоритету хімічного складу продуктів

Порівняно із зовнішнім виглядом продуктів харчування, їх органолептичні показники були найбільш вагомими під час вибору покупців. Під час проведення опитування не було виявлено респондентів, які мали дуже низький пріоритет кулінарної якості готового продукту. Низьке значення органолептичних показників продуктів харчування було виявлено у 4 % опитуваних (рис. 4).

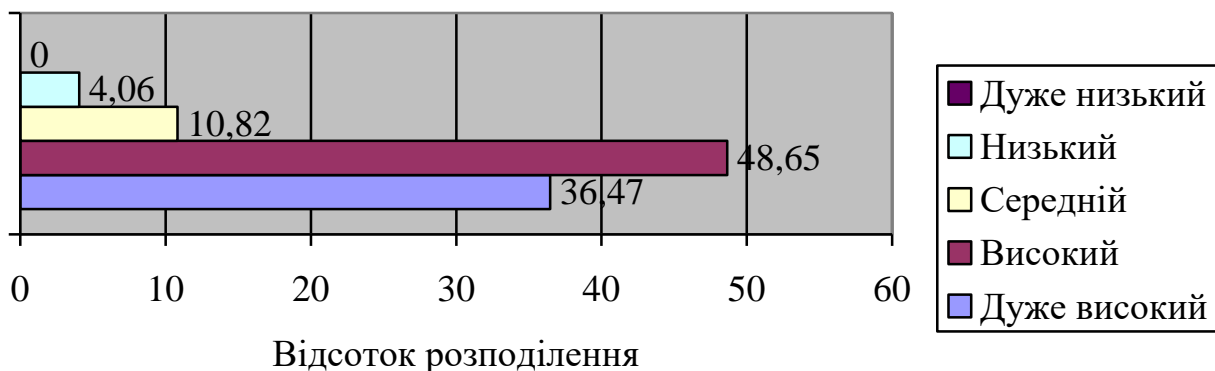
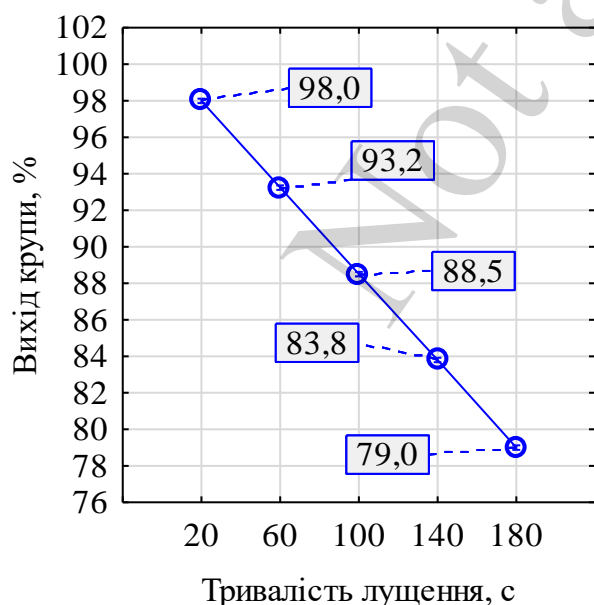


Рис. 4. Розподілення думок покупців стосовно пріоритету органолептичних властивостей продуктів

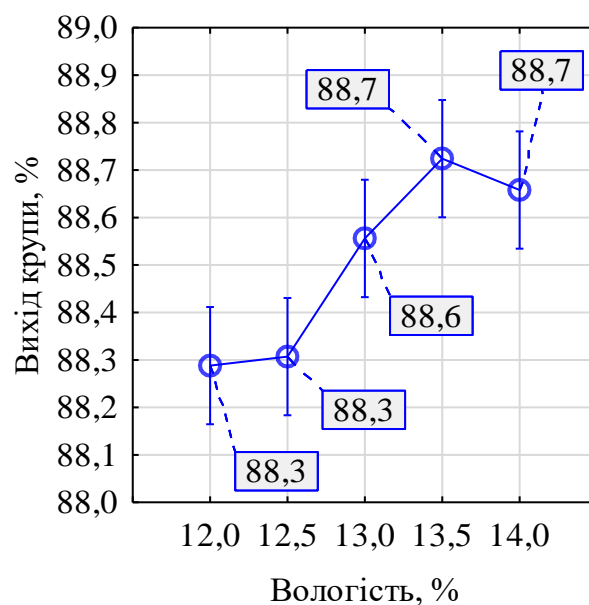
Отже, із основних чинників, що формують якість готового продукту, для кінцевого його споживача істотне значення має тільки його кулінарна характеристика. Тому обґрунтованим є вивчення залежності між різними геометричними розмірами зерна тритикале, виходом готового продукту та його кулінарними характеристиками.

5. 2. Вплив параметрів воднотеплової обробки та лушення зерна різних фракцій зерна тритикале на вихід крупи

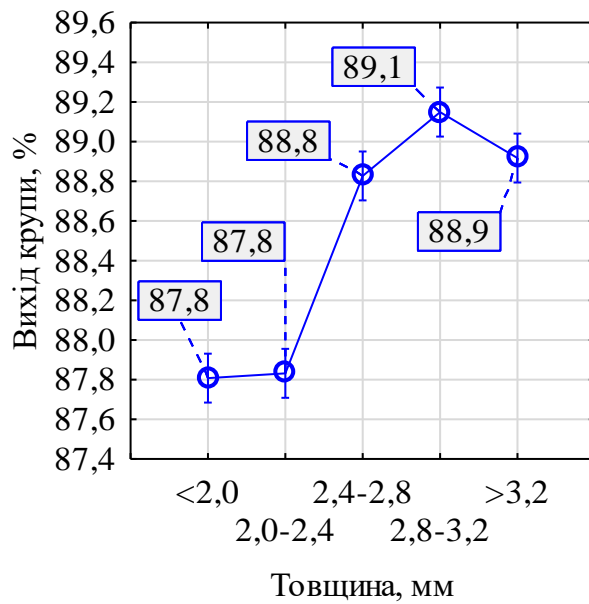
Методами дисперсійного аналізу встановлено достовірні залежності між виходом крупи та тривалістю лушення зерна, його вологістю перед лушенням та товщиною зерна, що перероблялось (рис. 5).



а



б



6

Рис. 5. Вплив початкової вологості зерна, тривалості його лушення та товщини на вихід крупи: *a* – вплив тривалості лушення; *б* – вплив вологості; *б* – вплив товщини зерна

Зволоження зерна має ступеневий характер за рахунок його анізотропності. Проникнення води до внутрішніх шарів зернівки залежить від багатьох чинників, зокрема градієнта зволоження, часу відволоження, температури води та зовнішнього середовища. Крім цього, значний вплив на перебіг процесу зволоження мають характеристики поверхневих шарів зернівки (оболонки і алейронового шару). Зерно, що мало більшу крупність, характеризувалось більшим вмістом ендосперму (рис. 6).

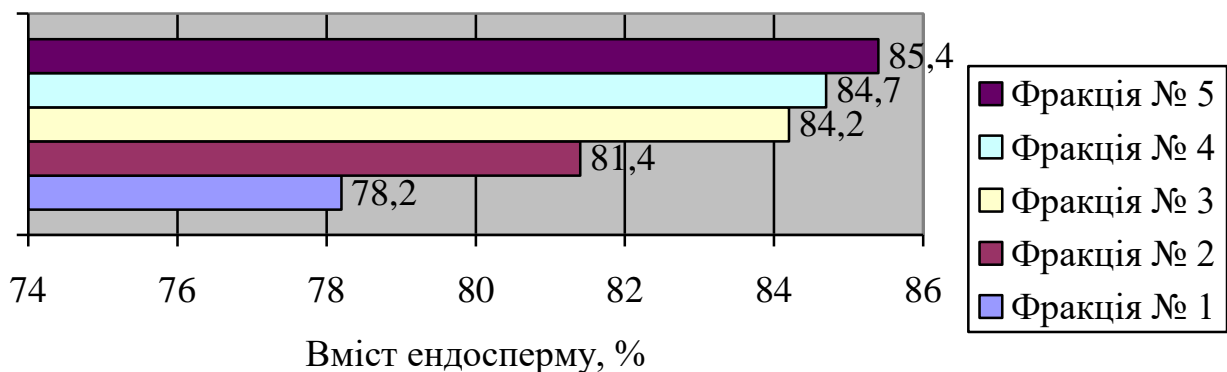


Рис. 6. Вміст ендосперму у різних фракціях зерна тритикале

Вміст оболонок був навпаки – меншим порівняно з дрібним зерном. Товщина поверхневих шарів була подібною у всіх фракціях, які досліджували, а вміст ендосперму навпаки – відрізнявся. Тому зменшення вмісту ендосперму зумовлювало пропорційне підвищення відсоткового вмісту оболонок. Ефектив-

ність застосування зволоження крупного зерна була більшою порівняно із ефективністю зволоження дрібного, оскільки товщина їх поверхневих шарів істотно не відрізнялась, проте крупне зерно мало більшу площу зовнішньої поверхні.

Найбільший вплив на вихід крупи зумовлювала тривалість луцення зерна (рис. 7).

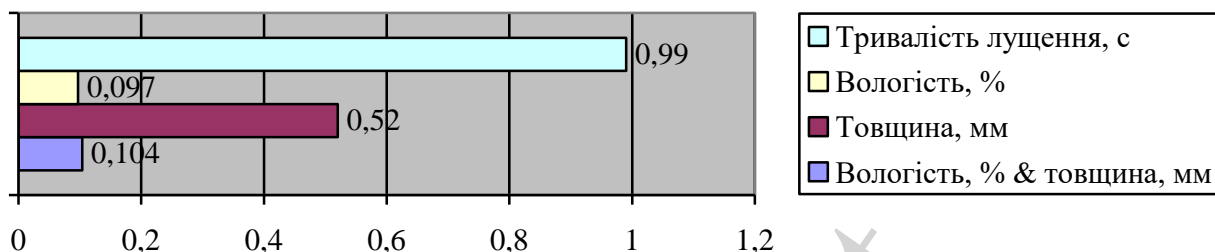


Рис. 7. Ступінь впливу параметрів водотеплового оброблення, луцення та геометричних розмірів зерна на вихід крупи

Рівень впливу товщини зерна був у 5 разів більшим порівняно із впливом його вологості перед луценням. Значення впливу зволоження підвищувалось у результаті проведення фракціонування.

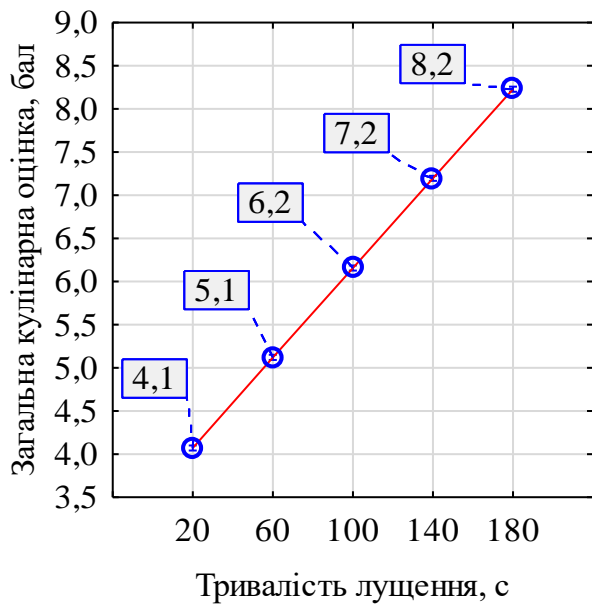
5. 3. Вплив параметрів водотеплового оброблення та луцення зерна різних фракцій зерна тритикале на загальну кулінарну оцінку крупи

Із проведених соціальних досліджень встановлено вагоме значення для кінцевого споживача кулінарних характеристик готового продукту. Додаткові витрати на проведення фракціонування зерна тритикале під час вироблення круп'яних продуктів можуть бути нівельовані вартістю готового продукту підвищеної кулінарної якості та стабільним попитом на нього.

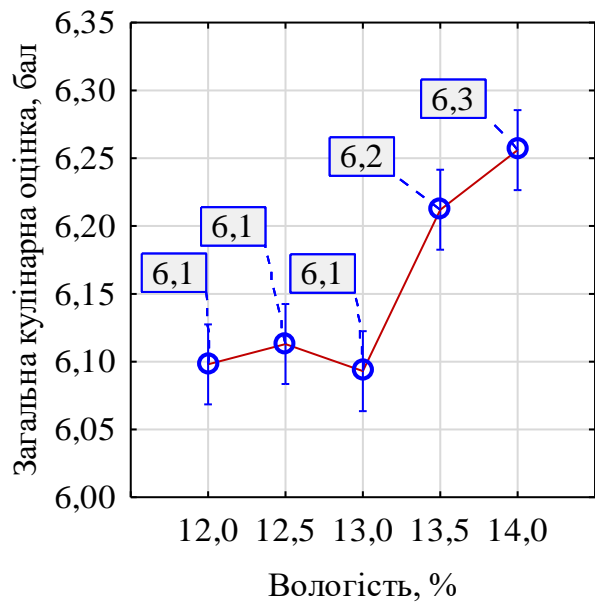
Вплив параметрів луцення, водотеплового оброблення зерна та його геометричних розмірів на загальну кулінарну оцінку крупи був подібним до впливу відповідних чинників на вихід крупи (рис. 8).

Загальна кулінарна оцінка крупи істотно підвищувалась у результаті збільшення тривалості луцення зерна (рис. 8 а). Для кулінарної якості крупів цілих лущених (типу Полтавська № 1) вагомим є вміст оболонки, проте вказаний показник не регламентовано чинним ДСТУ 7699:2015 Крупи пшеничні. Технічні умови. Значна кількість оболонки істотно збільшує тривалість приготування каші. Погіршує кулінарну якість готового продукту за показниками консистенції, консистенції під час розжовування, кольору та запаху. Тому варіанти із найбільшим ступенем зняття поверхневих шарів (максимальна тривалість луцення) мали найбільшу загальну кулінарну оцінку. Збільшення вологості зерна перед його луценням мало позитивний вплив на кулінарну якість крупи. Найкращу якість крупи зафіксовано під час перероблення крупного зерна (товщина понад 2,8 мм).

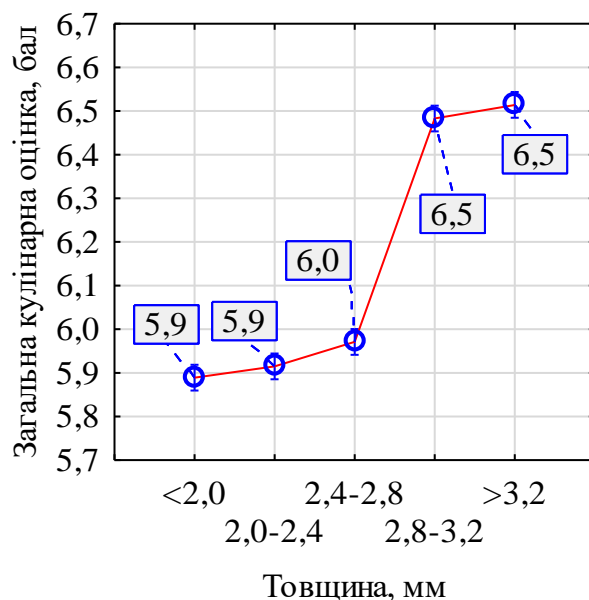
Ступінь впливу факторів на кулінарну оцінку крупи наведено на рис. 9.



a



б



в

Рис. 8. Вплив початкової вологості зерна, тривалості його лушення та товщини на загальну кулінарну оцінку крупи: *a* – вплив тривалості лушення; *б* – вплив вологості; *в* – вплив товщини зерна

Товщина зерна, його вологість перед лушенням та тривалість лушення мали більш сильний зв'язок із кулінарною оцінкою крупи порівняно із їх впливом на вихід крупи (рис. 6, 8). Спільний ефект зміни геометричних розмірів зерна та його вологості перед лушенням на кулінарну оцінку крупи був у два рази сильнішим порівняно із дією цих чинників на вихід крупи.

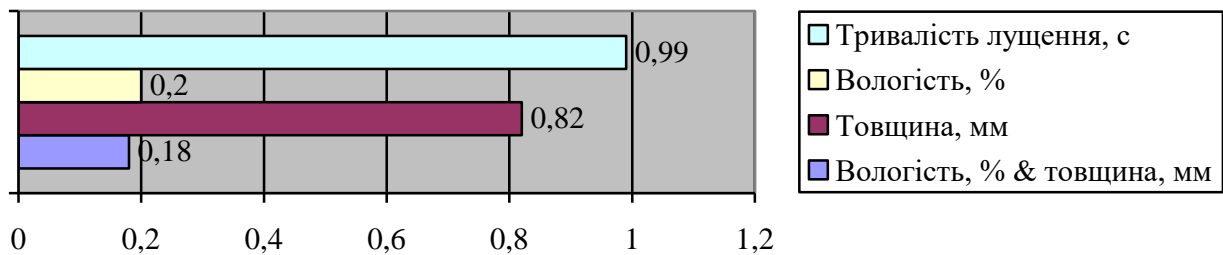


Рис. 9. Ступінь впливу параметрів водотеплового оброблення, лущення та геометричних розмірів зерна на загальну кулінарну оцінку крупи

5. 4. Раціональні режими перероблення різних фракцій зерна тритикале на крупу луцену

Вибір оптимальних режимів перероблення зерна тритикале проводили за результатами побудови узагальненої функції бажаності. Узагальненена функція бажаності включала вплив всіх вагомих чинників на вихід та кулінарну оцінку готового продукту. Умовами оптимізації були пошук режимів для отримання найбільшого виходу крупи за найкращої кулінарної якості. Обмеженням була мінімальна кількість балів загальної кулінарної оцінки. До розгляду приймали тільки варіант, кулінарна оцінка яких була більшою за 5 бала, що відповідало задовільній якості крупи.

За результатами статистичного оброблення встановлено, що на 55 % задовольняє поставлені вимоги лущення крупного зерна (товщина більше 2,8 мм) упродовж 100 с (рис. 10). Позитивний ефект матиме зволоження зерна перед лущенням до 14,0 %. Враховуючи низький ступінь впливу фактора зволоження зерна тритикале перед лущенням, існує можливість проведення лущення за його фактичної вологості від 13,0 до 14,0 %. Виключення водотеплового оброблення з технології перероблення зерна тритикале на крупи луцені доцільно для нових підприємств низької продуктивності, оскільки дозволить істотно скоротити капіталовкладення та супутні ризики.

Враховуючи вагоме значення кулінарної якості продуктів, для споживачів, доцільним є збільшення загальної тривалості лущення зерна на 40 с (до 140 с). Це дозволяє підвищити загальну кулінарну оцінку крупи за незначного зменшення її виходу (рис. 10).

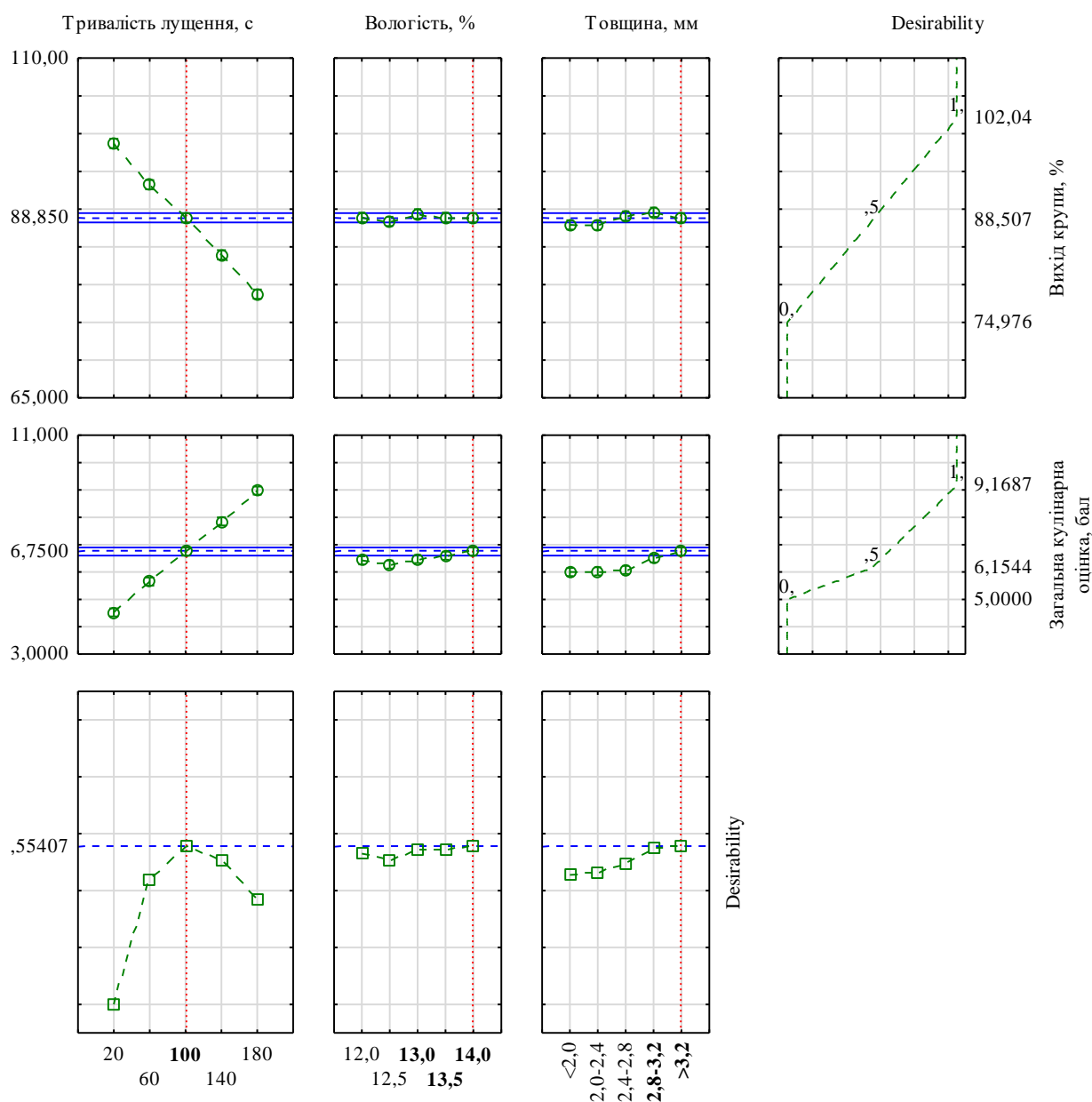


Рис. 10. Узагальнена функція бажаності процесу виробництва крупів із різних фракцій зерна тритикале

6. Обговорення результатів дослідження перероблення зерна тритикале на крупу лущену

Значна кількість опитаних респондентів (52,7 %) приділяють малу увагу хімічному складу продуктів, що вони купують (рис. 3). З них 18,9 % опитаних взагалі не цим питанням не цікавляться. Загальна кількість респондентів, які купують готовий продукт тільки після ознайомлення з його хімічним складом та біологічної цінності становить менше 2,6 %. На протизвагу низькій увазі до біологічної цінності продуктів харчування, їх зовнішній вигляд та кулінарна якість мають першочерговий пріоритет. Такі тенденції розподілення думок респондентів свідчать про низьку обізнаність споживачів у питаннях харчування, що вимагає посиленої роботи у відповідному напрямку.

Продукти перероблення зерна тритикале можуть якісно розширити асортимент круп'яних продуктів за рахунок високого вмісту білка, що збалансований за амінокислотним складом. Крім цього, тритикале володіє природним захистом від значої кількості хвороб, а тому потребує спрощеної агротехнології. Менше засобів захисту порівняно із пшеницею істотно підвищує рівень його безпечності. Створює передумови для вироблення цільнозернових продуктів або продуктів із підвищеним вмістом клітковини.

Збільшення тривалості луцення тритикале за різної початкової вологості (від 12,0 % до 14,0 %) сприяло істотному зменшенню виходу крупи (рис. 5, а). Це пояснюється дією абразивних робочих органів луцильника та силами тертя, що виникають в зерновій масі під час її оброблення. У результаті відбувається інтенсивне стирання поверхневих шарів. Вихід крупи зменшується, а вихід супутніх продуктів (дрібка, мучка) навпаки – підвищується.

Збільшення вологості від 12,0 до 13,5 % сприяло підвищенню виходу крупи на 0,4 % (рис. 5, б). Достовірного збільшення виходу крупи за подальшого підвищення вологості до 14,0 % зафіксовано не було. Поверхневі шари зерна за вологості, що наближається до рівноважної (14,0 %) мають більшу еластичність порівняно із сухим зерном. Крім цього, властивості оболонки та ендосперму у результаті зволоження більш відмінні. Це зумовлює зменшення кількості супутніх продуктів під час луцення. Стирання периферійних шарів зерна відбувається більш рівномірно.

За використання ідентичних режимів зволоження та відволоження зерна тритикале перед луценням, найменший вихід крупи зафіксовано під час луцення фракції № 1 (товщина <2,0 мм) і № 2 (товщина 2,0–2,4 мм) (рис. 5, в). Можна зробити припущення, що зменшення крупності зерна сприяло більш щільному його укладанню. Це збільшувало площу контакту між зернинами та інтенсифікувало їх тертя між собою. Найбільший вихід крупи зафіксовано під час перероблення фракції із товщиною зерна 2,8–3,2 мм (рис. 5, в). Під час перероблення зерна із найбільшою крупністю (фракція № 5) було отримано на 0,2 % менший вихід крупи порівняно із фракцією № 4 (товщина 2,8–3,2 мм) (рис. 5, в). Зменшення виходу крупи під час перероблення крупного зерна тритикале відбувалось внаслідок збільшення кількості дрібки (відбитих під час луцення частин зародку, алеїронового шару чи ендосперму). Це може свідчити про наявні відмінності показника твердості зерна різної крупності. Проте відповідне твердження потребує додаткових досліджень.

Результати досліджень свідчать (рис. 6), що фракціонування зерна тритикале має позитивний ефект на вихід крупи. Процес фракціонування є безперервним у часі, для його здійснення застосовують типове устаткування, що є поширеним у переробній галузі. Маючи більший вплив на вихід крупи із зерна тритикале (рис. 6), фракціонування може бути альтернативою проведення водотеплового оброблення на підприємствах низької промисловості. Традиційні способи водотеплового оброблення, що застосовують під час вироблення крупів луцених мають низку недоліків:

– періодичність;

– залежність від умов навколишнього середовища (зменшення температури повітря вимагає збільшення часу відволожування, або додаткового підігрівання зерна та води);

– необхідність налаштування процесу для конкретної сировини.

Режими водотеплового оброблення зерна (холодне кондиціювання) тритикале перед лушенням не могли істотно вплинути на фізико-хімічні властивості зерна (денатурацію білків, клейстеризацію крохмалю, міграцію вітамінів із периферійних частин зерна в ендосперм), оскільки були проведені без додаткового підведення теплоти (нагрівння води) та характеризувались низькою тривалістю відволожування. Тому зміна кулінарних властивостей у результаті зволожування зерна та його фракціонування може бути пояснена інтенсифікацією зняття поверхневих шарів під час лушення, які істотно погіршували якість готового продукту.

Дослідження впливу крупності зерна на кулінарну якість отриманого продукту свідчать про перспективність впровадження відповідного процесу у виробництво. Виділення та окреме перероблення крупного зерна тритикале дозволить отримати продукт підвищеної кулінарної якості. Розширить асортимент продуктів перероблення тритикале.

Удосконалені режими технології перероблення можна використовувати для зерна тритикале сорту Стратег або з іншими, які мають подібні технологічні властивості. Перероблення зерна сортів тритикале з іншими технологічними властивостями потребують окремого удосконалення. Крім цього, розроблені режими передбачають застосування зерна тритикале з високим вмістом білка. Перероблення зерна з низьким вмістом білка буде сприяти отриманню продуктів задовільної якості.

Питання фракціонування зерна тритикале є актуальним та має практичне значення для сучасної зернопереробної ромисловості. Виявлений ефект від проведення фракціонування зерна перед лушенням свідчить про можливість реалізації запропонованих способів перероблення на виробництві. Проте потребує подільшого вивчення встановлення економічних показників модернізації виробництва, що пов'язано із інтеграцією процесу фракціонування. Помітний вплив процесу фракціонування зерна перед лушенням, що зволожували до рівня рівноважної вологості (14,0 %) дає можливість припустити про аналогічний його вплив під час лушення зерна тритикале, що мають більший градієнт зволожування. Потребує подальшого вивчення впливу тривалості відволожування на ефективність круп'яного виробництва у поєднанні із фактором фракціонування, оскільки цьому чинику не приділено достатньої уваги (тривалість відволожування була однаковою для всіх зразків та становила 30 хв). Перспективним є подальше дослідження круп'яних властивостей різних фракцій зерна нових сортів тритикале.

7. Висновки

1. Визначено параметри оптимізації процесу водотеплового оброблення з урахуванням соціальних досліджень потенційних споживачів крупів лушених.

Під час вибору крупи лущеної пріоритет має кулінарна її якість. Значно менше звертають уваги на зовнішній вигляд і хімічний склад.

2. За вологості 12,0–14,0 % зерна тритикале різних фракцій найбільший вплив на вихід крупи зумовлює тривалість лущення. Вплив різних фракцій зерна та зволоження на вихід крупи був меншим, проте істотним. Застосування зволоження зерна (на 2,0 %) тритикале фракції 2,0–2,4×20 дозволяє підвищити вихід крупи від 82,3 до 83,4 %. Водотеплове оброблення фракції зерна 2,8–3,2×20 забезпечує вихід крупи 84,0–85,0% за тривалості лущення впродовж 140 с.

3. Кулінарна якість крупи істотно залежить від тривалості лущення. Параметри водотеплового оброблення впливають на кулінарну якість найменше. Кулінарна якість крупи, отримана із зерна розміром 2,0–2,4 мм становить 6,9–7,0 бала, а в крупній фракції (2,8–3,2 мм) – 7,1–7,9 бала.

4. У технології виробництва крупи із тритикале оптимально зволожувати зерно фракції 2,8–3,2×20 до вологості 14,0 % з тривалістю лущення 100 с. Застосування таких параметрів оброблення дозволяє отримати 88,8 % крупи цілої з кулінарною оцінкою 6,7 бала за дев'ятибальною шкалою, що відповідає задовільному результату. Істотне покращення кулінарної оцінки крупи (на 1 бал), досягається збільшенням загальної тривалості їх лущення до 140 с. При цьому вихід крупи знижується в середньому на 4,7 % (до 83,8 %).

Література

1. Agriculture, Forestry and Fishery Statistics. 2016 Edition (2016). Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: <http://doi.org/10.2785/147560>
2. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах у 2019 році. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/pvzu/arch_pvxu.htm
3. Burdo, O., Bandura, V., Zykov, A., Zozulyak, I., Levtrinskaya, J., Marenchenko, E. (2017). Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11 (88)), 34–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108843>
4. Iorgachova, K., Makarova, O., Khvostenko, K. (2018). Effect of flour made from waxy wheat on the structural–mechanical properties of dough for hardtacks without sugar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (11 (95)), 63–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143053>
5. Furman, B. J. (2016). Triticale. Reference Module in Food Science. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00019-6>
6. Киселева, М. И., Коломиец, Т. М., Пахолкова, Е. В., Жемчужина, Н. С., Любич, В. В. (2016). Дифференциация сортов озимой мягкой пшеницы (*triticum aestivum* L.) по устойчивости к наиболее вредоносным возбудителям грибных болезней. *Сельскохозяйственная биология*, 51 (3), 299–309. doi: <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2016.3.299rus>
7. Morales-Osorio, A., Gutierrez Martinez, M. de G., Osorio Avalos, J., Robles Jimenez, L. E., González Ronquillo, M., Castelan Ortega, O. A. (2018). Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale varieties

(x Triticosecale Wittmack) preserved by silage or hay. *Acta Agronómica*, 67 (3), 431–437. doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.68127>

8. Daribayeva, G., Magomedov, G. O., Iztaev, B., Zhexenbay, N., Tyussyupova, B. (2019). Preparation of triticale flour by ion-ozone treatment for pasta quality improvement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11 (100)), 64–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174805>

9. Любич, В. В., Полянецька, І. О., Новіков, В. В. (2014). Фізичні властивості зерна тритикале озимого залежно від його розмірів. *Наукові праці ОНАХТ*, 1 (46), 23–26. URL: <http://journals.uran.ua/swonaft/article/view/40508/36683>

10. Mergoum, M., Singh, P. K., Peña, R. J., Lozano-del Río, A. J., Cooper, K. V., Salmon, D. F., Gómez Macpherson, H. (2009). Triticale: A “New” Crop with Old Challenges. *Cereals*, 267–287. doi: https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9_9

11. Kaplan, M., Kökten, K., Akçura, M. (2014). Determination of silage characteristics and nutritional values of some triticale genotypes. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1 (2), 102–107. URL: https://www.researchgate.net/publication/301549379_Determination_of_Silage_Characteristics_and_Nutritional_Values_of_Some_Triticale_Genotypes

12. Tiefenbacher, K. F. (2017). Technology of Main Ingredients – Water and Flours. *Wafer and Waffle*, 15–121. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809438-9.00002-8>

13. Wrigley, C., Bushuk, W. (2017). Triticale: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. *Cereal Grains*, 179–194. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100719-8.00008-5>

14. Salmon, D. F., Mergoum, M., Macpherson, H. (2004). Triticale production and management. *FAO Plant Production and Protection Paper*. No. 179, 27–36.

15. Laskowski, W., Górská-Warsewicz, H., Rejman, K., Czeczotko, M., Zwolińska, J. (2019). How Important are Cereals and Cereal Products in the Average Polish Diet? *Nutrients*, 11 (3), 679. doi: <https://doi.org/10.3390/nu11030679>

16. Liubych, V., Novikov, V., Polianetska, I., Usyk, S., Petrenko, V., Khomenko, S. et. al. (2019). Improvement of the process of hydrothermal treatment and peeling of spelt wheat grain during cereal production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (11 (99)), 40–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170297>

17. Lorenz, K., Lee, V. A., Jackel, S. S. (1977). The nutritional and physiological impact of cereal products in human nutrition. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8 (4), 383–456. doi: <https://doi.org/10.1080/10408397709527227>

18. Petrenko, V., Liubich, V., Bondar, V. (2017). Baking quality of wheat grain as influenced by agriculture systems, weather and storing conditions. *Romanian Agricultural Research*, 34, 69–76. URL: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183008263>

19. Hospodarenko, H., Prokopchuk, I., Nikitina, O., Liubych, V. (2019). Assessment of the Contamination Level of a Podzolized Chernozem with Nuclides in

a Long-term Land Use. Agriculture (Pol'nohospodárstvo), 65 (3), 128–135. doi: <https://doi.org/10.2478/agri-2019-0013>

20. Osokina, N., Liubych, V., Novak, L., Pushkarova-Bezdil, T., Priss, O., Verkholantseva, V. et. al. (2018). Elucidation of the mechanism that forms breadbaking properties of the spelt grain. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (11 (92)), 39–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126372>

21. Panasiewicz, M. (2007). Influence of hydrothermal processes on final moisture content of barley grain. Pol. J. Food Nutr. Sci., 57 (2A), 129–135.

22. Jones, D., Chinnaswamy, R., Tan, Y., Hanna, M. (2000). Physicochemical properties of ready to eat breakfast cereals. Cereal Foods World, 45 (4), 164–168.

23. Дмитрук, Є. А., Любич, В. В., Новіков, В. В. (2015). Вихід крупи плющеної із зерна тритикале залежно від ступеня його лушчення та режиму водно-теплової обробки. Зернові продукти і комбікорми, 1 (59), 23–27. doi: <https://doi.org/10.15673/2313-478x.59/2015.51151>

24. Любич, В. В., Новіков, В. В., Полянецька, І. О. (2015). Математичне моделювання водно-теплової обробки зерна тритикале. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету, 1 (2), 385–391.

25. Dulaev, V. G. (1999). Scientific and technical aspects of creating a new generation of grain products with a given content of basic nutrient and biologically active substances. Storage and processing of agricultural raw materials, 1, 25–27.

26. Любич, В. В., Новіков, В. В. (2014). Фракционный состав зерна тритикале озимого и его технологические характеристики в зависимости от сорта. Вестник Прикаспия, 1 (4), 21–24.

27. Fredlund, K., Bergman, E.-L., Rossander-Hulthén, L., Isaksson, M., Almgren, A., Sandberg, A.-S. (2003). Hydrothermal treatment and malting of barley improved zinc absorption but not calcium absorption in humans. European Journal of Clinical Nutrition, 57 (12), 1507–1513. doi: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601718>

28. Brouns, F., Hemery, Y., Price, R., Anson, N. M. (2012). Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects, and Potential Food Use. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52 (6), 553–568. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.589540>

29. Filatov, V. V. (2010). Modern processes, apparatuses and technologies for processing grain and cereals with infrared energy supply. Storage and processing of agricultural raw materials, 10, 19–24.

30. Куропаткина, О. В., Андреева, А. А., Кирдяшкин, В. В. (2014). Технология производства готовых к употреблению пшеничных хлопьев. Хлебопродукты, 3, 54–56.

31. Osokina, N., Lyubich, V., Vozian, V. (2016). Output and quality of cereals from wheat spelled depending on husk index. Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality, 1, 341–345.

32. Дмитрук, Є. А., Любич, В. В., Новіков, В. В. (2014). Вплив вологості зерна тритикале озимого та тривалості відволоження на вихід ядра. Наукові праці ОНАХТ, 46 (1), 19–23.

33. Кандроков, Р. О. и др. (2011). Фракционирование твердой пшеницы на фотоэлектронном сепараторе F 5.1. Хлебобулочные изделия, 8 (1), 48–49.
34. Тарасенко, А. П. и др. (2012). Фракционирование зернового вороха на решетках. Сельскохозяйственные машины и технологии, 5 (1), 26–29.
35. Марьин, В. О., Верещагин, А. О. (2011). Повышение эффективности фракционирования зерна гречихи. Хлебобродукты, 6 (1), 54–55.
36. Пасынкова, Е. Н. и др. (2012). Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы при его фракционировании. Агрофизика, 4 (1), 25–33.
37. Пасынков, А. В., Андреев, В. Л., Завалин, А. А., Пасынкова, Е. Н. (2013). Изменение показателей качества зерна озимой ржи при его фракционировании. Достижения науки и техники АПК, 9 (1), 36–40.
38. Пасынков, А. В., Завалин, А. А., Пасынкова, Е. Н., Скоробогатых, Н. А. (2017). Изменение показателей качества зерна пивоваренного ячменя при его фракционировании. Российская сельскохозяйственная наука, 4, 12–16.
39. Личко, Н. М., Личко, А. К. (2007). Фракционирование по аэродинамическим свойствам – один из путей улучшения технологических достоинств зерна озимой пшеницы. Известия ТСХА, 4 (1), 82–92.
40. Літун, П. П., Кириченко, В. В., Петренкова, В. П., Коломацька, В. П. (2009). Систематичний аналіз в селекції польових культур. Харків, 351.
41. Царенко, О. М., Злобін, Ю. А., Скляр, В. Г., Панченко, С. М. (2000). Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології. Суми, 200.
42. Liubych, V., Polyanetska, I. (2015). Quality of cereals grain of spelt wheat depending on the index its unhusking and water-heat processing. Bulletin of the Uman National Horticultural University, 2, 34–38.
43. Liubych, V., Novikov, V., Polianetska, I., Usyk, S., Petrenko, V., Khomenko, S. et. al. (2019). Improvement of the process of hydrothermal treatment and peeling of spelt wheat grain during cereal production. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (11 (99)), 40–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170297>