

# ДЛЯ БОРОШНОМЕЛІВ І ПЕКАРІВ УЖЕ З'ЯВИВСЯ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРИЛАД, ЯКИЙ ЗА ІНФОРМАТИВНІСТЮ АНАЛІЗУ ЗАМІНЮЄ ВІДРАЗУ ТРИ АНАЛОГИ

**О. РИБАЛКА,**  
доктор біологічних наук,  
завідувач відділу якості зерна  
Селекційно-генетичний інститут  
(м. Одеса)

**О. ПЛЄВЕ,**  
директор представництва компанії  
"Soctrade" (Швеція) в Одесі

Оцінка якості борошна пшениці та інших культур потребує комплексного аналізу важливих технологічних показників, що постійно змінюються у сортах зерна й партіях борошна. Для об'єктивного визначення якості помелу необхідно використовувати різні методи аналізу та прилади. Щоби отримати ряд важливих технологічних показників під час лише одного аналізу на приладі французької компанії "Шопен Текнолоджис", розроблено й впроваджено в світову практику оцінки якості борошна новий прилад під назвою "Міксолаб".

Лише в процесі одного аналізу тривалістю 45 хв. цей унікальний винахід дає змогу оцінити показники борошна, які залежать як від вмісту білка в зерні та його якості, так і від властивостей крохмалю і вуглеводно-амілазного комплексу помелу. Крім визначення впливу на якість тіста цих складових окремо, прилад також установлює їх взаємодію під час замішування та формування тіста, активність ферментів і фактичний вплив на його якість різних добавок та інгредієнтів [1].

Аби спростити інтерпретацію і розуміння результатів аналізу, прилад використовує систему "Профілер", яка створює можливість відстежувати водночас 6 графічно поданих індексів якості борошна: водопоглинальну спроможність (ВПЗ), індекси поведінки тіста при замішуванні, якості клейковини, в'язкості тіста, активності амілаз і деградації крохмалю в процесі зберігання хліба.

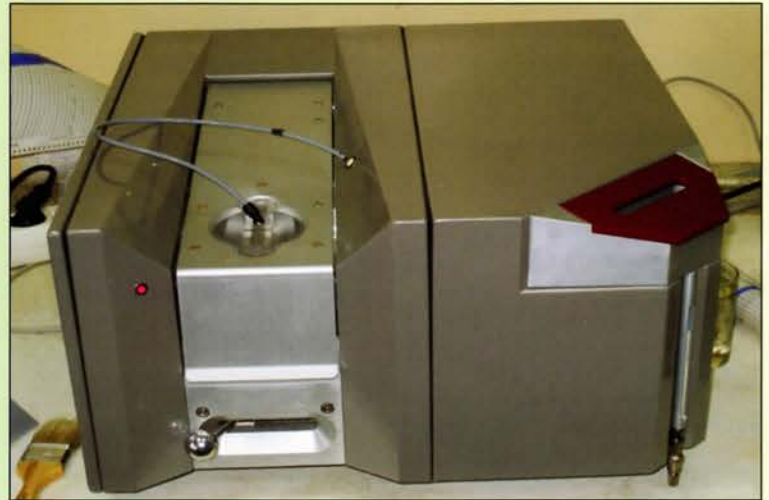
Прилад "Міксолаб" з'явився на світовому ринку в 2004 році й представлений удосконаленим раніше відомим приладом під назвою "Мультиграф". Міжнародною системою стандартизації ІСС Міксолаб офіційно визнано таким, який можна використовувати як для оцінки якості борошна, так і цілозмельеного зерна. За результатами міжнародного рінг-тестування BIPEA n°25 якості борошна за допомогою приладу "Міксолаб" при участі 13 лабораторій розроблено новий міжнародний стандарт ІСС N°173, який незабаром опублікують і він набуде чинності [2].

Одеське представництво компанії "Soctrade" (Швеція) надало нашій лабораторії для ознайомлення та випробування перший в Україні зразок приладу "Міксолаб" (див. фото). За результатами його практичної апробації ми підготуємо кілька публікацій. Оскільки нині практичних навиків роботи з таким приладом не має жодна лабораторія в Україні, мета цієї статті - ознайомлення фахівців з принципами експлуатації Міксолабу та практичною інтерпретацією результатів аналізу якості борошна.

В основі роботи приладу "Міксолаб" лежить процес приготування тіста (маса - 75 г) у спеціальному змішувачі при постійній швидкості 80 об./хв., нормованому зусиллі на лопаті  $1,1 \pm 0,07 \text{ Нм}$ , що відповідає 500 од. фаринографа, та нагріванні-охолодженні тіста під час його приготування в програмованому режимі  $30^\circ\text{C} > 90^\circ\text{C} > 50^\circ\text{C}$ . Прилад сумісний з ПК і в процесі роботи на моніторі в режимі реального часу відображається графік з кривою замішування тіста, кривими температури його й змішувача, показниками зусилля на лопаті, градуйованими значеннями температури. Він має кілька програмованих режимів аналізу якості борошна, але найбільш поширеним і прийнятним варіантом програми, спеціально розробленої для хлібопекарської промисловості, є протокол "Chopin +", характеристику якого ми в основному подаємо в цій публікації.

На рис. 1 показано типову криву замішування тіста відповідно до протоколу "Chopin +", котра складається з 5-ти послідовних фаз, кожна з яких подає конкретну інформацію про якість аналізованого продукту за певних контрольованих умов:

**Фаринограф, амілограф  
і прилад для визначення  
"числа падіння"**



**Прилад "MIXOLAB PROFILER"  
(Chopin Technologies)**

\* фаза С1 - показує якість борошна в режимі замішування (формування тіста, стабільність його та розрідження) при постійній температурі  $30^\circ\text{C}$ . Ця фаза подає параметри якості тіста, які, зазвичай, визначають на приладі "Фаринограф". Конкретні показники якості помелу, зокрема тривалість утворення тіста, стабільність та його розрідження під час замішування можна спостерігати при використанні функції приладу "Міксолаб симулятор" (Mixolab Simulator, протокол "Chopin S");

\* фаза С2 - демонструє стійкість клейковини при підвищенні температури тіста від  $30$  до  $60^\circ\text{C}$ ;

\* фаза С3 - дає уяву про якість крохмалю в процесі його желатинізації в інтервалі температур між  $60$  і  $80^\circ\text{C}$ ;

\* фаза С4 - інформує про активність амілазного комплексу тіста та його стабільність при високій і стабільній температурі (близько  $90^\circ\text{C}$ );

\* фаза С5 - характеризує процес деградації крохмалю під час охолодження тіста до температури приблизно  $50^\circ\text{C}$ .

Процесор "Міксолаб профілер" автоматично обраховує параметри аналізу тіста на кожній фазі замішування і видає індивідуально індекс, який має умовне числове значення від 0 до 9. Таким чином, результати одного аналізу подаються лише шістьма індексами (поглинання води, замішування тіста, якості клейковини +, в'язкості тіста, індексами амілаз і ретроградації), представленими графічно у вигляді шестикутника з шістьма радіальними осями для кожного індексу (рис. 2). Ці індекси розраховані на базі математичної моделі статистичного аналізу більш ніж 700 зразків борошна різного походження і якості.

Щоби краще зрозуміти фізичну суть і практичне значення кожного з шести конкретних індексів якості продукту, отриманих у результаті аналізу борошна на приладі "Міксолаб", розглянемо їх у зв'язку з деякими важливими положеннями теорії тіста. Загальну ж уяву про узгодження індексів якості приладу "Міксолаб" з фактичними показниками якості борошна, тіста й хліба подає табл. 1.

## Індекс поглинання води (Absorption)

Здатність борошна вбирати воду - це найперша характеристика, за якою судять про його якість. У термінології пекарів водопоглинальна здатність борошна (ВПЗ) означає кількість адсорбованої борошном води (у літрах) на 100 кг



помелу, аби отримати бажану консистенцію тіста ( $1,1 \pm 0,07$  Нм, або 500 од. фаринографа). **Безумовно, поняття "бажана консистенція тіста" варіює залежно від вимог даного пекаря. На практиці поведінка тіста має бути такою, що постійно відтворюється кожного замішування і забезпечує необхідну стабільність показників продукту, запобігаючи зупинці технологічної лінії.** ВПЗ борошна залежить від п'яти основних параметрів: фактичної вологості борошна, кількості та якості його білків, крохмалю нативного та uszkodженого, вмісту клітковини (пентозанів).

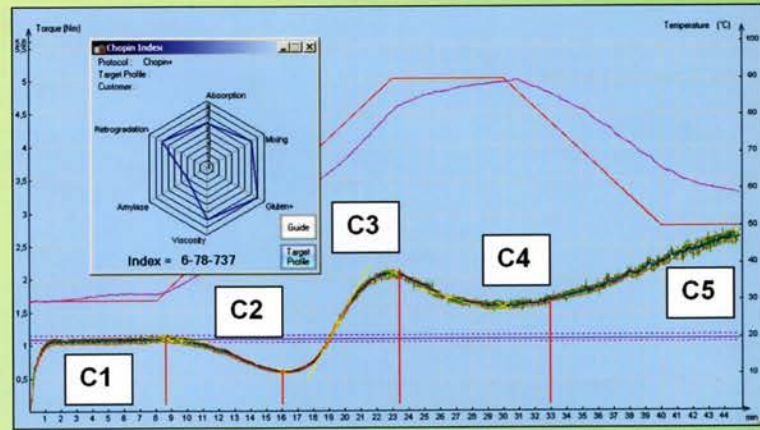
Для кожного конкретного зразка борошна частка впливу цих чинників на загальний показник ВПЗ може бути різною. Прийнято вважати, що білки борошна здатні поглинати трохи більше води від їх власної маси в загальній вазі тіста. **Можна вважати, що ВПЗ підвищиться приблизно на 1 % зі зростанням на 1 % вмісту білка в борошні [3].** Якість клейковини, а надто її кількість, впливають на ВПЗ борошна [4].

Нативний крохмаль представлений у борошні цілими (не uszkodженими) крохмальними гранулами і здатен поглинати не більше ніж у 0,4 раза своєї маси до ваги борошна [3]. Нативний крохмаль малочутливий до атаки амілазами. Але за підвищення температури при випічці нативний крохмаль желатинізується і його ВПЗ істотно зростає. Однак, помилково вважати, що нативний крохмаль відіграє незначну роль у поглинанні води борошном при замішуванні. **Адже він поглинає майже 60-70 % до маси помелу й здатний адсорбувати приблизно третину від загального об'єму води, яку збирає борошно (табл. 2).**

Окрім нативного крохмалю, в борошні завжди присутня певна кількість (5-10 %) зруйнованих під дією робочих органів млина крохмальних гранул. Ушкоджені крохмальні гранули борошна порівняно з нативними здатні поглинати значно більше води (табл. 2), тож вони більш чутливі до амілолізу. Терміни клітковина, пентозани, арабіноксилани позначають приблизно одну й ту ж фракцію борошна. Перший - клітковина - більш уживаний у контексті здорового харчування, **другий використовується у хлібопеченні, а третій застосовують у дослідних лабораторіях.** Фракція клітковини борошна здатна поглинати масу води до 10 разів більше за власну вагу [3].

**Таблиця 1. Зв'язок індексів якості борошна приладу "Міксолаб" з показниками якості борошна, тіста та хліба (A. Dubat, 2009)**

Індекс	Ключовий чинник впливу	Вплив на показники кінцевого продукту	Інтерпретація індексу "Міксолаб"
Індекс поглинання води	* вологість борошна * кількість і якість білка * крохмаль uszkodжений / крохмаль нативний * пентозани	Підвищена ВПЗ: - ↓ маса тіста - ↓ желатинізація - ↓ об'єм хліба - ↓ еластичність м'якушки - ↓ ризик липкого тіста - ↓ черствіння хліба	Чим вище значення індексу, тим вища ВПЗ борошна
замішування тіста	* клейковина (гліадин/глютенін) * в'язкість, еластичність, пластичність, липкість, релаксація тіста * крохмаль (нативний та uszkodжений) * пентозани	Тривалість замішування впливає на: * кількість альвеол (тісто стійке до замішування) * газотримуюча здатність (об'єм хліба) * липкість тіста	Чим більше значення індексу, тим вища стабільність і толерантність тіста до замішування
якості клейковини +	* зв'язок між молекулами глютенінів * тип хімічного зв'язку між молекулами білків	Тривалість нагрівання на початку випічки впливає на: * розрив зв'язків між молекулами білків клейковини (стійкість) * об'єм хліба	Чим більше значення індексу, тим нижче послаблення тіста на початку випічки, що вказує також на міцність зв'язків між молекулами глютеніну
в'язкості тіста	* структура крохмалю * uszkodження крохмалю * активність амілаз * доступність води * взаємодія білків * вміст ліпідів	Показник в'язкості впливає на: * липкість тіста * утримання об'єму тіста * формування м'якушки хліба * еластичність м'якушки хліба * ретроградація (черствіння) * формування скоринки хліба * хрусткість скоринки хліба	Чим більше значення індексу, тим вище значення в'язкості тіста при випічці залежно від властивостей крохмалю або активності амілаз
амілаз	* амілази (α та β) * крохмаль * гідратація	Чутливість гранул крохмалю до амілолізу впливає на: * об'єм хліба * липкість м'якушки хліба * колір скоринки хліба * черствіння хліба * еластичність м'якушки хліба * смак хліба	Чим вищий індекс, тим нижча амілолітична активність
індекс ретроградації	* амілопектин (кристалізація) * ліпіди * амیلроза (лімітована) * клейковина (лімітована)	Ретроградація впливає на: * затвердіння м'якушки хліба * м'якість скоринки хліба	Чим більший індекс, тим вища ретроградація



**Рис. 1. П'ять фаз аналізу якості борошна на приладі "Міксолаб"**

Показник ВПЗ, як відомо, відіграє надзвичайно важливу роль у хлібопекарській справі. Ступінь гідратації борошна впливає на всі технологічні процеси, особливо, механічне замішування, ваговий вихід тіста й хліба (економічний аспект), якість кінцевого продукту. Підвищена гідратація тіста знижує небажану взаємодію між білками і крохмалем борошна, покращує стан желатинізації крохмалю та еластичність м'якушки, підвищує об'єм хліба та уповільнює його черствіння. Таким чином, інтерпретуючи результати аналізу зразка борошна на графіку Міксолаб Профілер, можна вважати, що чим вищий індекс поглинання води, тим краща технологічна цінність зразка.

## Індекс замісу тіста (Mixing)

При змішуванні борошна з водою в хлібопекарському розумінні відбувається лише поглинання помелом вологи. Формується реальне тісто тільки в процесі його замішування. Мета цієї операції значно ширша, ніж просто утворення гомогенної суміші борошна з водою. Під час замішування настає момент, коли тісто набуває еластичності. Цю фазу називають утворенням (формуванням) тіста.

Основою тіста є клейковина, яка формується за участю низькомолекулярних білків гліадинів, що надають тісту розтягності, та глютенінів високої молекулярної маси, котрі роблять тісто пружним. **При замішуванні відбуваються активні окислювально-відновлювальні ферментативні процеси та проникнення в масу тіста повітряних бульбашок, які потім утворюють альвеоли та м'якушку хліба. Чим стійкіше тісто до замішування, тим більше бульбашок у ньому виникає.**

На початку формування тіста білки зерна гідратуються і набухають. На цьому етапі сили взаємодії між білками клейковини є доволі слабкими, які надалі посилюються. Одним з поширених типів взаємодії між ланцюгами молекул білків є слабкі водневі зв'язки. Посилення їх призводить до формування віско-еластичних властивостей клейковини. На цьому етапі ключову роль відіграють тіолові сульфгідрильні групи, **що утворюють дисульфідні містки як між молекулами, так і в середині молекул. Фактично, під час замішування ці зв'язки руйнуються й утворюються знову. Особливо важливе значення для тіста мають дисульфідні містки між білковими молекулами, які дають змогу утримувати протеїновий матрикс.**

Роль дисульфідних зв'язків у тісті можна легко продемонструвати шляхом додавання до борошна такого активного відновлювача, як амінокислота цистеїн, у результаті чого відразу ж знижується стабільність тіста при замішуванні. Сукупність зазначених зв'язків описує таке поняття, як консистенція тіста, або його в'язкість, еластичність, пластичність, липкість і релаксація, котрі еволюціонують у процесі замішування.

На початку замішування тісто не має когезії і легко рветься. Пізніше, з утворенням клейковини, вона поліпшується і руйнується менше. **Зниження стійкості цієї операції після піку "максимум" є результатом руйнування зв'язків у білковому матриксі клейковини. Крохмаль відіграє також важливу роль у поведінці тіста, хоча й дещо іншу порівняно з клейковинним комплексом. Під час замішування він швидше інертний, але здатний підвищувати в'язкість тіста. Окреслений процес впливає на об'єм,**



формування м'якучки хліба (утворення бульбашок повітря в масі тіста) та його текстуру. Інтерпретують індекс замішування тіста Міксолаб Профілер за аналогією з фаринографом.

Стосовно виготовлення формового хліба, то слід сказати, що подовжена тривалість утворення тіста, яка супроводжується його стабільністю, відповідає високій хлібопекарській якості. Індекс замішування тіста залежить від поведінки тіста, а надто його стабільності. Чим вищий індекс, тим вища постійність тіста в процесі замішування. Але не існує "хорошого індексу" як такого - для кожного кінцевого продукту притаманний свій індекс. Наприклад, віденські булочки потребують високого значення індексу, бісквіти - значно нижчого. Вибір певних значень індексу приготування тіста значною мірою залежать від типу промислових мішалок і формули тіста, різних добавок та інгредієнтів (табл. 3).

## Індекс якості клейковини + (Gluten+)

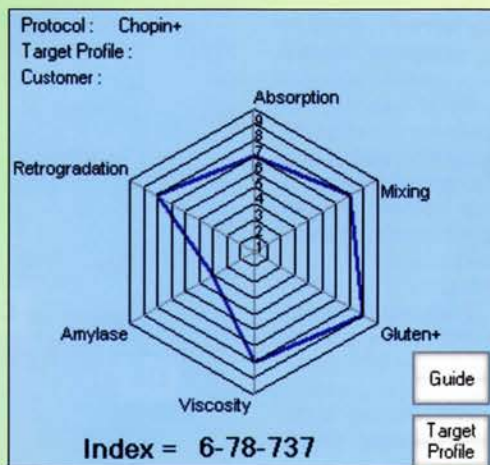
Відомо, що підвищення температури тіста призводить до зниження його в'язкості. Це явище - причина руйнування зв'язків низької енергії (водневих) між молекулами білків. Такий феномен відіграє особливу роль в інтервалі температур між 20 і 60 °C [4]. Підвищення температури та послаблення водневих зв'язків приводить до збільшення міжмолекулярних дистанцій між полярними групами. І хоча цей процес не манометричний, він відбувається при участі сотень тисяч (мільйонів) зв'язків, що спонукають до велими істотних змін віскоеластичних властивостей тіста. Цікаво, що процес послаблення і руйнації водневих зв'язків є зворотним - при зниженні температури зв'язки набувають їх оригінальної форми (рис. 4).

На рис. 3 наведено результати двох красномовних лабораторних тестів на приладі "Міксолаб". Один - за постійної температури, а інший - при підвищенні її до 50 °C з поступовим зниженням до 30 °C. Значення фази нагрівання тіста в зазначеному інтервалі температур має важливе значення для хлібопечення, особливо на початковій стадії випічки, коли температура тіста починає зростати. У цей час починають відігравати важливу роль комплекс як фізико-хімічних, так і біохімічних процесів, значення яких навіть дотепер ще достеменно не досліджено. Дуже важливо краще розуміти значення процесів у тісті, що індукуються підвищенням температури у зв'язку зі змінами складових компонентів та їх взаємодії. На ці питання Міксолаб пропонує свою відповідь.

Як інтерпретувати індекс якості клейковини +? Відомо, що під час проходження тістом інтервалу температур між 30 та 60 °C мають місце два принципово важливі феномени: 1 - крохмальні гранули починають набухати, але ще зберігають інтактну структуру і 2 - посилюється активність амілази, хоча вона на цій фазі ще доволі слабка. Послаблення консистенції тіста (рис. 3) особливо зумовлюється руйнуванням водневих зв'язків між молекулами білків, що проявляється у значеннях індексу якості клейковини + таким чином, що низькі значення індексу вказують на істотне зменшення в'язкості тіста протягом цієї фази. І, навпаки, високі значення індексу підтверджують відносну стабільність структури білкового комплексу тіста за рахунок дисульфідних і гідрофобних міжмолекулярних зв'язків.

**Таблиця 2. Розподіл часток поглинання води між компонентами борошна (A. Dubat, 2009)**

Компонент борошна	Вміст компонента (г/100 г борошна)	Поглинання води (г/г маси компонента)	Поглинання води компонентом (г/100 г маси борошна)	Частка води, поглинута компонентом (%)
Білки	12	1,3	15,6	22,8
Крохмаль нативний	57	0,4	22,8	33,3
Крохмаль ушкоджений	8	2,0	16,0	23,4
Пентозани	2	7,0	14,0	20,5



**Рис. 2. Результат (профіль, цифровий індекс 6-78-737) аналізу борошна пшениці сорту Куяльник за допомогою приладу "Міксолаб профілер"**

Існує чітка позитивна кореляційна залежність між низькими значеннями індексу та об'ємом хліба на початку випічки. З іншого боку, високі значення індексу вказують на структуру тіста, яка занадто еластична з невисокою спроможністю підвищити об'єм хліба на початку випічки. Слід наголосити на тому, що об'єм кінцевого продукту повністю не залежить від індексу якості клейковини +, але для певних видів продуктів значення цього індексу відіграє вирішальну роль, особливо на початковій фазі випічки. Окрім того, немає залежності між індексами замішування тіста та якості клейковини +. Два зразки борошна можуть мати однакові значення індексів замішування тіста й різні індекси якості клейковини +.

## Індекс в'язкості тіста (Viscosity)

Коли температура перевищує 50-60 °C, в'язкість тіста швидко зростає у зв'язку з желатинізацією крохмалю та коагуляцією білків. Фазу желатинізації крохмалю називають однією з найважливіших трансформацій крохмалю в термінах функціональності харчових продуктів. Желатинізація крохмалю починається при температурі 55-65 °C і залежить як від ботанічного виду рослини, так і від складу крохмалю.

Дослідження свідчать, що роль крохмалю в хлібопекарських властивостях тіста вища тоді, коли температура желатинізації його підвищена. Це пояснюється тим, що зростання об'єму хліба на початковій фазі випічки призупиняється під час желатинізації крохмалю. І, чим пізніше вона настає, тим більше зростає об'єм хліба на початку випічки.

Крохмаль складається з двох компонентів - амілози та амілопектину й присутній у зерні (борошні) у вигляді гранул різних розмірів. Більші за величиною гранули желатинізуються першими. Набухання крохмалю пшениці відбувається упродовж двох фаз. Перша - в інтервалі 60-70 °C, протягом якої відбувається руйнування слабких і більш доступних зв'язків у молекулі крохмалю, друга - протягом 80-90 °C, коли руйнуються більш сильні та менш доступні зв'язки на рівні амілопектину.

Варто наголосити, що температура желатинізації крохмалю підвищується при дефіциті води в суспензії крохмалю. Коли вміст води лімітований, то її кількість цілком зв'язується крохмалем, середовище стає надто компактным, розчинність амілози знижується і вона не здатна формувати гель з водою. У екстремальному випадку, якщо вміст води вкрай недостатній, желатинізується лише певна частина крохмалю, а решта крохмальних гранул містяться у м'якучці хліба. До того ж, за дефіциту води під час випічки крохмаль забирає воду, зв'язану з білками борошна, і хліб втрачає притаманну йому структуру. У системі з достатнім вмістом води крохмаль повністю желатинізується, створюючи умови для збільшення об'єму хліба та формування нормальної структури м'якучки.

Узагалі, поведінка в процесі желатинізації крохмалю, відомого з борошна, та крохмалю у помелі досить відрізняється. Це пояснюється його взаємодією з білками та ліпідами борошна. Амілази зерна практично не атакують нативні крохмальні гранули, водночас вони активно гідролізують желатинізований крохмаль доти, доки не настає інактивація ферменту при температурі 75 °C. Оптимальна активність  $\alpha$ -амілази пшениці знаходиться між 60 і 70 °C, що відповідає періоду желатинізації крохмалю. У випадку із пророслим збіжжям, тоді активність  $\alpha$ -амілази дуже висока, що потім може негативно впливати на консистенцію желатинізованого крохмалю.

У зразку хліба структура желатинізованого крохмалю відіграє важливу роль. Без нього формування м'якучки хліба неможливе, а висока інтенсивність деградації крохмалю є причиною нестабільності м'якучки та його липкості. Роль білків борошна у формуванні м'якучки менш значима, ніж крохмалю. Було навіть продемонстровано, що м'якучка може формуватися навіть без участі білків [3].

Загалом же, формування м'якучки хліба визначають два феномени: 1 - желатинізація крохмальних гранул і 2 - коагуляція білків тіста. Під час випічки желатинізований крохмаль і білки тіста вступають у конфлікт з фіксацією води. **Уже го-**



ворилося, що нативний крохмаль поглинає кількість води не більшу, ніж 0,4 раза до його маси. Желатинізований крохмаль вбирає в 10 разів більше. З цієї причини певна частина води, зв'язаної білками, починає мігрувати у напрямки крохмалю, що желатинізується в процесі випічки. Звичайно, власне процес желатинізації крохмалю залежить від структури крохмалю, співвідношення амілоза/амілопектин, присутності емульсифікаторів, ліпідів, що значною мірою впливають на реологію крохмалю.

Крохмаль також відіграє важливу роль при формуванні скоринки хліба. Для кращого розуміння її слід ознайомитися з умовами, за яких скоринка хлібопродукту буде м'якою і ніжною або хрусткою. Хліб з якісною м'якушкою матиме м'яку та блискучу скоринку. Таку структуру можна отримати за таких умов: **а** - тісто має бути не переферментованим, **2** - желатинізація крохмалем тіста скоринки має випереджати цей процес з м'якушкою, щоби забезпечити присутність парів води для пом'якшення поверхні виробу, **3** - мінімальна температура печі має починатися з 74-75 °С. Інші умови необхідні для отримання хрусткої скоринки. Цей процес значною мірою визначається в'язкістю крохмальної фази в тісті скоринки. Чим важливіший показник в'язкості для цієї фази, тим вища ймовірність вихання при охолодженні хліба.

Таким чином, під час випічки хліба домінанта впливу на його структуру переходить від клейковини до крохмалю. Аби передбачити спрямованість цього процесу, слід контролювати параметри еволюції крохмалю при виготовленні хліба за допомогою індексу в'язкості тіста на приладі "Міксолаб".

Фаза С3 має таку особливість: протягом неї вступають у дію більше фізико-хімічних і біохімічних чинників, ніж упродовж попередніх фаз, зокрема: послаблення ролі клейковини й посилення крохмалю, міграція води у напрямки від клейковини до крохмалю. Максимальна в'язкість тіста залежить від впливу двох незалежних чинників: **желатинізації крохмалю та його атаки ендегенними чи екзогенними амілазами**. В'язкість зростає, бо крохмаль желатинізується, а амілоза зв'язує гранули. Водночас, активність амілаз стає максимальною між 60 і 75 °С, що знижує в'язкість тіста. Цей процес, як відомо, лежить в основі визначення індексу Хагберга-Пертена ("число падіння"). Низькі значення індексу Хагберга-Пертена характерні для пророслого зерна.

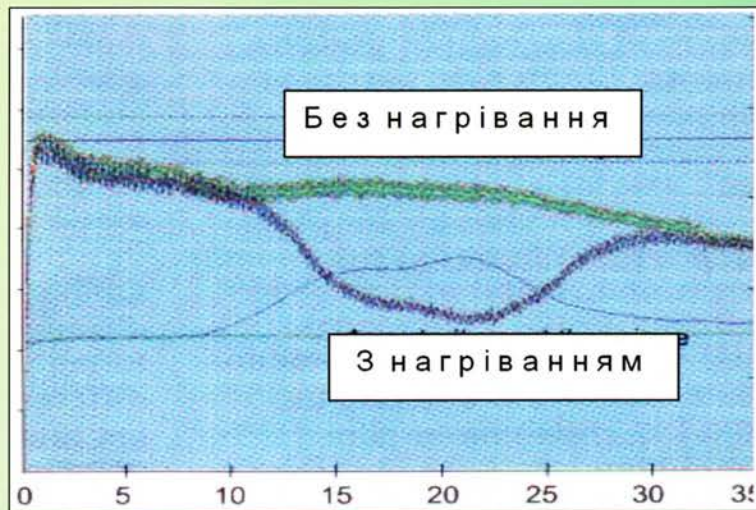
Отже, визначення індексу в'язкості тіста за приладом "Міксолаб" таке. Чим нижчий індекс, тим вища резистентність тіста проти атаки амілазами. Це спостереження підтверджують високі значення показника "число падіння" Хагберга-Пертена. За такої конфігурації випливає: низький індекс в'язкості тіста зумовлений не високою амілазною активністю, а особливостями структури крохмалю. **Індекс в'язкості тіста часто оцінюється тим, що пов'язаний з індексом стійкості крохмалю проти атаки амілазами.**

## Індекс стійкості крохмалю проти атаки амілазами (індекс амілаз) (Amylases)

Активність амілази в зерні традиційно визначається "числом падіння" Хагберга-Пертена за допомогою амілографа або швидкого віскоаналізатора (RVA). Функцією амілази є деградація крохмалю. У борошні пшениці присутні два типи амілаз:  $\alpha$ -амілаза та  $\beta$ -амілаза. Простіше ферментативний гідроліз крохмалю амілазами можна вважати такими, коли  $\alpha$ -амілаза розщеплює крохмаль до більш-менш довгих ланцюгів глюкози (декстринів), які потім трансформуються  $\beta$ -амілазою до мальтози. Остання, в свою чергу, слугує "горючим" матеріалом для дріжджів.

**Таблиця 3. Залежність між типом призначення борошна за фаринографом та індексом замішування на приладі "Міксолаб" (A. Dubat, 2009)**

Тип тіста за фаринографом	Призначення	Індекс замішування тіста за Міксолабом
слабке	кондитерські вироби, крекери, локшина з пшениці Софт	1-3
середнє	крекери, локшина, чапати, хліб низького об'єму	2-4
сильне	подовий хліб, локшина з твердозерної пшениці, здоба, хліб високого об'єму	4-6
екстра-сильне	поліпшувач слабкого тіста	> 6



**Рис. 3. Вплив температури (фаза С2) на віскоеластичні властивості тіста (A. Dubat, 2009)**

У здоровому зерні пшениці  $\beta$ -амілаза присутня в достатній кількості, яка необхідна для хлібопечення, тоді як вміст  $\alpha$ -амілази обмежений. Тому на практиці пекарі додають до борошна препарати  $\alpha$ -амілази або солод, щоби скоригувати необхідний рівень активності фермента.  $\alpha$ -амілаза пшениці інактивується при 70-80 °С (з максимумом активності при 60-70 °С), грибна амілаза - за 60-70 °С й бактеріальна амілаза - при 90 °С. Ушкоджені під час помелу зерна крохмальні гранули гідролізуються амілазами значно швидше, ніж неушкоджені.

Температура випікання відіграє важливу роль у формуванні структури м'якушки хліба. **Беручи до уваги оптимальну температуру для активності й температуру денатурації (інактивації) амілаз, слід вважати критичним період від початку желатинізації крохмалю та інактивації амілази. У разі використання грибною  $\alpha$ -амілазою пшениці, цей період короткий, ніж у випадку з натуральною  $\alpha$ -амілазою пшениці.**

Активність амілаз впливає на ряд біохімічних систем тіста, що, врешті, позначається і на якості кінцевого продукту. Отже:

- \* підвищення об'єму хліба пов'язане з оптимальною активністю амілаз, які поставляють мальтозу для дріжджів, а ті, в свою чергу, продукують  $\text{CO}_2$ , як фактор підйомної сили тіста та покращення пористості м'якушки;

- \* надто висока активність амілаз під час випічки призводить до надлишкового утворення декстринів, руйнування структури та липкості м'якушки;

- \* **коричневе забарвлення скоринки хліба є також результатом активності амілаз, акумулювання відновлених глюкозидів, які слугують субстратом реакцій карамелізації та Мелларда;**

- \* подовження періоду черствіння хліба досягають використанням у процесі випічки більш термотолерантних бактеріальних амілаз (вища температура інактивації). Але в разі передозування цих амілаз, ймовірний ризик руйнування структури м'якушки та його липкості. Нові препарати амілаз (мальтогенні), які використовують у хлібопеченні, є термочутливими, хоча й здатними подовжити "життя хліба на полиці" без ризику виникнення його липкості;

- \* **активність амілаз позначається на смаку хліба. Це результат прискорення реакцій карамелізації та Мелларда, в результаті яких у м'якушці та скоринці синтезуються речовини, що надають хлібу його характерного присмаку.**

Необхідний рівень амілазної активності залежить від системи та рецептури хлібобулочних виробів. Одні сорти хліба є толерантними до високої амілазної активності, а інші - ні. Прилад "Міксолаб" дає можливість чітко визначити індекс амілазної активності. Він особливо важливий для зразків борошна з низькою амілазою активності (гіподіастатичні). Тоді як низькі значення індексу зразків борошна вказують на високу амілазну активність (гіпердіастатичні).

Проведені дослідження показали високу кореляційну залежність між значеннями показника "число падіння" Хагберга-Пертена та індексом приладу "МІКСОЛАБ" з використанням цільнозмеленого зерна ( $R^2 = 0,8397$ ). Отже, значення індексів вище 5 вказують на слабку амілазну активність зразка борошна, 3-4 - підтверджують високу активність амілаз, а індекси 2 і нижче притаманні зразкам з гіпервисокою активністю амілаз. **Тому-то й легко вивести математичну модель, яка даватиме змогу спрогнозувати значення**



"числа падіння" Хагберга-Пертена з урахуванням індексів в'язкості та амілаз. Користуючись залежністю між "числом падіння" (y) та індексом амілаз (x) приладу "МІКСОЛАБ" ( $y = 25,751x + 146,08$ ), легко передбачити ЧП у разі визначення індексу амілаз за згаданим приладом.

## Індекс ретроградації (Retrogradation)

Звичайний хліб складається приблизно з 50 % крохмалю, 40 % води й 7 % білка. При зберіганні в ньому відбувається низка перетворень, котрі характеризуються терміном "черствіння", в основі якого лежить явище кристалізації крохмалю, желатинізованого під час випічки. Черствіння окреслюють науковим визначенням "ретроградація". Крім крохмалю, ретроградація стосується також змін на рівні білків борошна. Однак, домінуючу роль під час неї все ж відіграє крохмаль.

У процесі охолодження хліба відбувається агломерація крохмалю, або ініціація зон кристалізації крохмалю. Затвердіння борошна при черствінні залежить, передусім, від кристалізації амілопектину і меншою мірою від амілози. Хоча вона й сприяє кристалізації амілопектину.

Швидкість кристалізації крохмалю залежить від температури. Вона повільна між 50 і 25 °C і швидка - при 0°C. У замороженому продукті кристалізація практично не відбувається. Важливим чинником ретроградації є присутність у тісті ліпідів, однак тип їх впливає на цей процес по-різному. Клейковина тіста також позначається на процесі кристалізації шляхом взаємодії білків з крохмалем. Помічено, що хліб з високобілкового борошна високої якості черствіє повільніше. І, навпаки, в низькобілковому тісті інтеграція білок-крохмаль активніша, а черствіння швидше.

І, насамкінець, міграція води в напрямі від м'якушки до скоринки під час зберігання хліба також робить істотний вклад у черствіння та затвердіння хліба. Так, при середньому вмісті вологи 12 % у скоринці й 45 - у м'якушці, після 100 годин зберігання вологість скоринки підвищується з 12-15 до 28 %, тоді як м'якушка втрачає не більше 1,5 % вологи. Зона, близька до скоринки, позбавляється вологості від 45 до 32 %. Звичайно ж, динаміка цих показників залежить і від способу зберігання хліба.

А тепер розглянемо варіанти використання приладу "МІКСОЛАБ" у хлібопекарській та борошномельній практиці. Масштабні дослідження, виконані компанією "Chopin Technologies" та її партнерами, показали: кожний продукт з помелу пшениці передбачає низку своїх, характерних для нього показників якості (профіль), які можна визначити протягом 45 хв. на приладі "МІКСОЛАБ" упродовж аналізу. На рис. 4 показано характерні профілі борошна для виготовлення круасанів (6А), двох видів формового хліба (6Б,В) і багетів (6Г).

Хлібопекарське чи борошномельне підприємство може легко самостійно створити характерний профіль-стандарт борошна для кожного свого продукту. Для цього треба визначити профіль щонайменше 10 партій помелу, які найбільш відповідають технологічним вимогам даного виробу. Для кожного індексу слід визначити середнє значення та мінімум-максимум відхилення від середніх, які також виражають двома серіями цифр.

Наприклад, межі індексів для виготовлення французьких багетів будуть виглядати 3-57-754 і 5-68-876, а для круасанів 1-15-672 та 2-37-783. Згідно з визначеним профілем-стандартом хлібопекарське підприємство може без ризику порушення технології закуповувати борошно для виготовлення даного продукту. А млинзавод, установивши типові профілі-стандарти борошна для тих чи інших продуктів, зможе формувати помел відповідної якості.

Прилад "МІКСОЛАБ" також може успішно вирішувати питання оптимізації сумішей для поліпшення даної партії борошна за комплексом показників якості відповідно до профілей-стандартів або визначати вплив різних інгредієнтів і добавок (сухої клейковини, солоду, ферментативних препаратів) та їх дозування при оптимізації якості партії борошна, що потребує поліпшення.

Таким чином, МІКСОЛАБ ПРОФІЛЕР є інноваційним інструментом, що дає змогу визначити комплекс показників якості борошна протягом 45 хв. упродовж аналізу. Він допомагає кваліфікувати борошно за шістьма показниками в умовних величинах від 0 до 9 за такими характеристиками: потенційна ВПЗ борошна, поведінка тіста при замішуванні, якість клейковини, взаємодія крохмаль/амілази, ре-

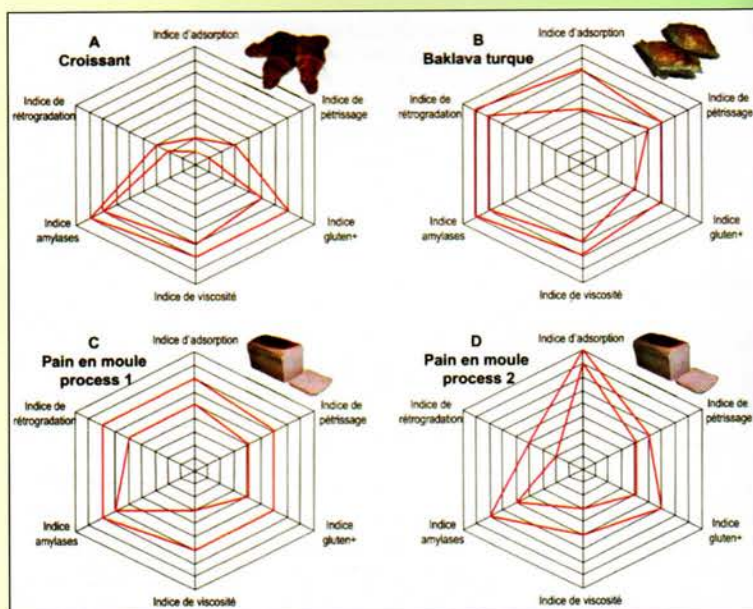


Рис. 4. Профілі (мінімум-максимум) якості борошна для круасанів (А), турецької баклави (В), формового хліба за двома рецептурами (С,Д) (А.Дубат, 2009)

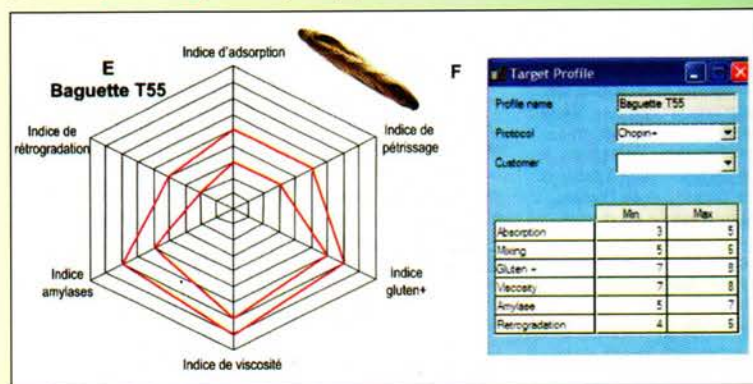


Рис. 5. Профілі (мінімум-максимум) якості борошна для багетів (Е) (А.Дубат, 2009)

зистентність крохмалю проти дії амілаз (проросле зерно), ретроградація крохмалю (швидкість черствіння хліба під час зберігання). А ще підібрати бажаний профіль борошна за комплексом показників якості для виготовлення даного продукту або оптимізувати показники, за якими борошно не відповідає технологічним вимогам чи рецептурі виготовлення продукту.

Прилад "МІКСОЛАБ ПРОФІЛЕР" особливо рекомендується для використання у хлібопекарській та борошномельній промисловості України, де сьогодні, окрім показників вмісту білка, клейковини та ІДК, практично відсутні сучасні лабораторні засоби об'єктивного визначення хлібопекарської якості борошна. Цей прилад фізично замінює водночас три прилади: фаринограф, прилад для визначення "числа падіння" (ЧП) та амілограф. А за інформативністю аналізу МІКСОЛАБ ПРОФІЛЕР переважає ці три аналоги разом взяті.

Як показали випробування в нашій лабораторії, прилад "МІКСОЛАБ" є також незамінним інструментом для порівняння якості борошна різних сортів пшениці та комплексній оцінці їх якості під час селекції. Цій темі будуть присвячені наші наступні публікації.

### Використана література.

1. Dubat A. Le mixolab Profiler: un outil complet pour le controle qualite des bles et des farines. Industries des Cereales, 2009, № 161, p. 11 - 26.
2. ICC №173, 2008. Whole meal and flour from T. aestivum - Determination of rheological behavior as a function of mixing and temperature increase. ICC. Standard. Vienna.
3. Sluimer P. Principle of bread making, functionality of raw material and process steps. Amer. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, Etat-Unis, 2005.
4. Cauvian S., Young L. Technology of bread making, Thomson Publishing, Padstow, UK, 1998.