

УДК 664.644.5

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент¹

Назаренко І. А., канд. техн. наук¹

Омельницька В. О.¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: simakova@donnuet.edu.ua

ВПЛИВ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ НА ХЛІБОПЕКАРНІ ВЛАСТИВОСТІ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

UDC 664.644.5

Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹

Nazarenko I. A., PhD in Engineering sciences¹

Omelnytska V. O.¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryviy Rig, Ukraine), e-mail: simakova@donnuet.edu.ua

IMPACT OF THE DRINKING WATER QUALITY ON THE BAKERIES PROPERTIES OF THE WHEAT FLOUR

Мета. Мета статті полягає у дослідженні впливу важких металів на хлібопекарні властивості пшеничного борошна.

Методи. У процесі дослідження використано методи визначення активності амілолітичних та протеолітичних ферментів сировини.

Результати. Доведено, що катіони важких металів згубно впливають на біологічну активність протеолітичних ферментів пшеничного борошна, вони позбавляють клейковину еластичності, що може негативно відбитися на білковому каркасі тіста при його випіканні і, як наслідок, на якості готового виробу. Доказано, що вода, забруднена домішками важких металів, зокрема свинцю та нікелю, може спричинити погіршення газоутворювальної спроможності тістового напівфабрикату. Забруднення води, яку використовують для приготування тіста у процесах випікання хліба, особливо катіонами важких металів, які є інгібіторами більшості ферментів, відіграє дуже важливу роль в забезпеченні якості готового виробу, що потребує ретельного контролю її чистоти.

Ключові слова: пшеничне борошно, дріжджове тісто, протеолітичні ферменти, амілолітичні ферменти, важкі метали, катіони, вода, клейковина.

Постановка проблеми. Різні продукти з пшеничного борошна, зокрема вироби з дріжджового тіста, й особливо хліб, все ще складають основу харчування людини. Тому якість та харчова цінність хліба як продукту щоденного споживання має першорядне значення [1; 2]. Проблема харчової цінності хліба набуває особливої гостроти в ті періоди, коли з яких-небудь причин значно зменшується споживання харчових продуктів тваринного походження — яєць, молока, сиру, м'яса, тваринних жирів, та відносно зростає в дієті частка зернових продуктів, у першу чергу виробів з борошна. Зрозуміло, що в цих умовах більш одноманітного харчування проблема якості та харчової цінності хліба і можливих шляхів її підвищення стає особливо актуальною. Тому природно, що протягом багатьох років проводилися дослідження в цій галузі, які не припиняються й досі, тому що проблема не втрачає своєї актуальності й за сучасних умов [3–5]. Усі існуючі на сьогоднішній день методи підвищення харчової повноцінності хліба можна умовно розділити на дві великі групи: збагачення його комплексом цінних біологічно активних речовин та поліпшення споживчих якостей. У деяких випадках ці два шляхи збігаються, як то у випадку підвищення активності ферментного комплексу пшеничного борошна, в якому велика

Надійшла до редакції 24.10.2017 р.

© О. О. Сімакова, І. А. Назаренко,
В. О. Омельницька, 2017

роль належить амілолітичним та протеолітичним ферментам. Вони відповідають за накопичення у тісті вільних амінокислот та цукрів, формування хрусткої коричньової скоринки і взагалі відіграють першорядну роль у забезпеченні якості готового виробу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що як амілолітичні, так і протеолітичні ферменти у різних субстратах дуже чутливі до самих незначних змін у навколишньому середовищі [6]. Особливий вплив на їх активність вчиняють різні хімічні речовини — деякі з них активують ферменти, а інші — інгібують, позбавляючи ферменти активності. Одними з найвідоміших інгібіторів більшості ферментів є катіони важких металів. Якщо вони потрапляють навіть у малих кількостях до рецептурної суміші при виготовленні тіста, це може привести до погіршення якості готового виробу. При складанні рецептур тіста для виготовлення різноманітних виробів із пшеничного борошна дуже мало уваги приділяють такому важливому рецептурному компоненту, як вода, яка здебільшого береться з міської водопровідної мережі. Але зараз відомо, що протягом останніх десятиліть спостерігається постійне погіршення якості води поверхневих водоймищ, річок і, як наслідок цього, погіршення якості питної води. Це обумовлено кількома причинами. Перш за все, спостерігається зростання споживання прісної води промисловими та сільськогосподарськими підприємствами, які після забруднення використаної води викидають її в поверхневі водоймища. Особливу небезпеку викликає при цьому постачання у водоймища катіонів важких металів, як необхідних компонентів стічних вод гальваноцехів, серед яких неабияка кількість нікелю, цинку та ін. [7–10].

Минуло біля тридцяти років після величезної катастрофи, що тільки знало людство, яка привела до інтенсивного забруднення значної площі України. Поряд із радіоактивним дуже велику небезпеку становить забруднення навколишнього середовища важкими металами, одним із найтоксичніших серед яких є свинець. Підвищення вмісту свинцю в атмосфері України за ці роки пов'язано з тим, що саме цей метал намагалися використати на самому початку аварії на Чернобильській АЕС з метою екранування зруйнованого реактора. При цьому сотні тон свинцю випарилися й надійшли до атмосфери, а згодом — і до ґрунту.

Мета статті — дослідження впливу якості питної води на хлібопекарні властивості пшеничного борошна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нами проведені експерименти з вивчення впливу важких металів на дію як амілолітичних, так і протеолітичних ферментів пшеничного борошна. В якості об'єктів дослідження обрані два метали — свинець та нікель у формі їх солей. Активність амілаз пшеничного борошна в присутності катіонів важких металів оцінювали за кількістю утвореної в реакційній суміші мальтози — продукту глибокого оцукрювання крохмалю борошна. Експериментальні дані наведені у табл. 1.

Проведений експеримент свідчить про те, що катіон свинцю, як це й відомо з літератури [1], є найбільш сильним інгібітором ферментів-амілаз — він майже зовсім припиняє їх діяльність. Катіон нікелю теж інгібує амілази, але менш активно. Напротив, катіон кальцію — відомий активатор ферментних систем — прискорює гідроліз крохмалю амілазами борошна. Ці дані дозволяють зробити висновок, що вода, забруднена домішками важких металів, зокрема свинцю та нікелю, може спричинити погіршення газоутворювальної спроможності тістового напівфабрикату.

Вплив катіонів важких металів на протеолітичну активність ферментів пшеничного борошна оцінювали за виходом сирової та сухої клейковини при замішуванні тіста, порівнюючи вихід клейковини з тіста, яке готувалося на дистильованій воді і на воді, що вміщувала 0,05 г/л катіонів свинцю або нікелю. Слід відмітити, що білковий комплекс клейковини тіста при замішуванні піддається дії ферментів-протеаз, що гідролізують біл-

Таблиця 1 — Амілолітична активність пшеничного борошна в присутності катіонів важких металів

Катіон металу	Вміст мальтози, %
Без металу (контроль)	3,9
Ca ²⁺	4,5
Pb ²⁺	1,4
Ni ²⁺	2,1

ки до вільних амінокислот, які збагачують тісто, надають азотисте харчування дріжджам та сприяють реакції Майара, наслідком якої є утворення коричньової хрусткої скоринки готового хліба. Клейковину в експериментах відмивали з тіста після його відлежування протягом 1,5 години. Дані експерименту наведені у табл. 2.

Таблиця 2 — Вихід та якість клейковини при відмиванні її з тіста, виготовленого на воді з домішками катіонів свинцю та нікелю

Катіон металу	Вихід клейковини, %		Здатність до розтягування, см
	Сирої	Сухої	
Без металу (контроль)	33,0	10,2	6,8
Ca ²⁺	24,0	7,4	13,5
Ni ²⁺	36,0	11,1	6,8
Pb ²⁺	38,8	12,0	6,8

Наведені у табл. 2 дані експерименту свідчать про те, що вихід сирої клейковини в тісті, яке було виготовлено на воді з домішками важких металів — свинцю та нікелю, значно виріс порівняно з тістом, виготовленим на дистильованій воді. Це говорить про інгібування протеолітичних ферментів пшеничного борошна цими катіонами. Механізм дії катіонів на ферменти-протеази пов'язаний з їх реакцією з активними бічними функціональними групами білкових молекул ферментів, частіш за все, із сульфгідрильними групами SH, що порушує третинну структуру ферменту і приводить до його денатурації та втрати активності. З даних експерименту видно, що свинець є більш сильним інгібітором протеаз, що пов'язано, мабуть, з тим, що він є більш сильним окислювачем порівняно з нікелем і тому більш активно взаємодіє з групами SH, які мають відновлювальні властивості.

З метою порівняння нами був проведений експеримент з клейковиною, відмитою з тіста, виготовленого на воді з додаванням відомого активатора ферментів — катіону кальцію — також у концентрації 0,05 г/л у перерахунку на метал. Вихід клейковини різко зменшився, що говорить про прискорення дії протеолітичних ферментів під дією кальцію, який приймає участь у стабілізації третинної структури ферменту та утворенні активного фермент-субстратного комплексу. Поряд з виходом сирої ми контролювали вихід сухої клейковини та здатність її до розтягування, яка прогнозує еластичність білкового каркасу хліба при випіканні тістової заготовки. Вихід сухої клейковини має дуже важливе значення для оцінки процесів, які протікають у білковому комплексі пшеничного борошна, тому що під впливом деяких речовин може підвищуватися здібність білкових молекул до агрегування навколо них молекул води. При цьому підвищується гідратація білків клейковини, вона становиться спроможною утримувати більше зв'язаної води, і вихід сирої клейковини зростає.

У технології виготовлення виробів з пшеничного борошна такий процес дуже корисний для якості готових продуктів. У такому випадку при висушуванні відмитої сирої клейковини вся зв'язана вода елімінує і вихід сухої клейковини не відрізняється від звичайного. При висушуванні сирої клейковини, одержаної в проведених експериментах, вихід її виявляє таку ж залежність, як і вихід сирої, що повністю виключає можливість підвищеної гідратації білків тіста під дією важких металів, а залишає тільки їх дію, що інгібує ферменти. Здатність же клейковини до розтягування не змінюється в тісті, виготовленому на дистильованій воді й на воді з домішками свинцю та нікелю, і лише в присутності катіону кальцію клейковина стає удвічі еластичнішою. Ці результати підтверджують висновок про те, що важкі метали інгібують дію ферментів-протеаз, які не розчеплюють білки клейковини. Катіон же кальцію сильно активує ферменти, які при цьому починають активно гідролізувати білки до амінокислот, зменшують їх кількість та молекулярну масу, що надає клейковині слабкість. Важливим критерієм якості та хлібопекарних властивостей пшеничного борошна є здатність кульки клейковини вагою 10 г до розпливання після годинного відлежування. Дані щодо здатності клейковини, відмитої з тіста з домішками

важких металів, до розпливання наведені в табл. 3.

Наведені дані експерименту повністю узгоджуються з попередніми — клейковина під дією катіонів важких металів закріплюється, стає менш еластичною.

Дуже зручним засобом встановлення активності протеолітичних ферментів сировини є вимірювання відносної в'язкості розчинів желатину під дією препаратів, активність яких досліджується. Ми провели експеримент з вивчення відносної в'язкості розчину желатину під дією протеолітичних ферментів пшеничного борошна у присутності катіонів свинцю та нікелю. Відносну в'язкість розчинів желатину знаходили за допомогою капілярного віскозіметра ВПЖ-2 з діаметром капіляру 0,56 мм у водному термостаті. Термостатування розчинів проводили з точністю до 0,1°C. Видержування системи до початку вимірювання складало не менш 15 хвилин. Перед дослідом розчини фільтрували через фільтри Шотта. Відносну в'язкість розраховували за формулою:

$$\eta = \frac{t_{\text{розчину}}}{t_{\text{розчинника}}}, \quad (1)$$

де η — відносна в'язкість; $t_{\text{розчину}}$ — час витікання розчину, с; $t_{\text{розчинника}}$ — час витікання розчинника, с.

Дані експерименту наведені у табл. 4.

Таблиця 4 — Змінення відносної в'язкості 2 %-х розчинів желатину під дією протеаз пшеничного борошна залежно від розчинника

Розчинник	Відносна в'язкість (η)
вода	1,6
водний розчин солі свинцю ($C_{\text{Pb}} = 0,05$ г/л)	1,95
водний розчин солі нікелю ($C_{\text{Ni}} = 0,05$ г/л)	2,05
водний розчин солі кальцію ($C_{\text{Ca}} = 0,05$ г/л)	1,3

Дані, одержані в результаті експерименту, узгоджуються з попередньо одержаними — відносна в'язкість розчину желатину з добавкою пшеничного борошна без добавок катіонів важких металів значно менша порівняно з тією, яка одержана з добавками катіонів свинцю та нікелю. Напевно, ці катіони інгібують дію протеаз пшеничного борошна, які стають менш активними і більш повільно гідролізують макромолекули желатину. Катіон кальцію, як і в попередніх дослідях, проявляє дуже велику здібність активації, він прискорює процес гідролізу желатину, внаслідок чого в'язкість його розчину зменшується. Але в цьому досліді домішки катіонів свинцю значно менше гальмують процес гідролізу порівняно з катіонами нікелю. Ми пояснюємо цей факт не більшою активністю катіону нікелю як інгібітору протеаз пшеничного борошна, а додатковим процесом комплексоутворення між макромолекулою желатину та цим катіоном, що приводить до стабілізації третинної структури желатину і, як наслідок, до підвищення в'язкості його розчинів. Нікель належить до перехідних металів, які мають вакантні d-орбіталі, що надає йому можливість утворювати додаткові координаційні зв'язки з молекулами субстрату, тобто підвищує його комплексоутворювальну здібність. Цим і пояснюється найбільше зростання в'язкості розчинів желатину порівняно з домішками катіонів свинцю. Катіон же свинцю належить до р-елементів, які не мають електронних рівнів з вакантними d-орбітальми, це позбавляє його властивостей до утворення координаційних зв'язків з електронозбагаченими ділянками білкових молекул желатину.

Фактично проведені експерименти свідчать про те, що білкові молекули протеолітичних ферментів зазнають денатурації під дією катіонів важких металів. Під денатурацією розуміється будь-який процес, який порушує четвертинну, третинну і навіть вторинну структуру білкової молекули, змінює її просторову спіральну конфігурацію, не торкаючись ковалентного пептидного зв'язку. Але, незважаючи на зберігання основного скелету молекули, її біологічні властивості втрачаються. З метою вивчення денатурації білку під дією наведених катіонів металів нами була розроблена методика і проведений модельний експеримент, в якому ми спостерігали випадення осаду в 2 %-х водних розчинах яєчного альбуміну під дією цих металів. Випадення осаду характеризує протікання процесу денатурації білку, коли порушується його третинна і, частково, вторинна структура, молекула втрачає підпорядковану спіральну конфігурацію і стає хаотичним нагромадженням клубків та петель. Випадення осаду дуже зручно кількісно контролювати за зміненням оптичної щільності розчинів, яку вимірювали на фотоелектроколометрі КФК-2 у кюветах з товщиною шару 3 см при довжині хвилі 400 нм. Дані експерименту наведені в табл. 5.

Дані експерименту підтверджують факт денатурації білку катіонами важких металів, особливо свинцем, і повністю узгоджуються з даними, які одержані під час експериментів з клейковиною. Катіон кальцію сприяє стабілізації третинної структури білку, і тому прозорість розчину яєчного альбуміну підвищується.

Усі випробовані нами тести підтверджують той факт, що катіони важких металів згубно впливають на біологічну активність протеолітичних ферментів пшеничного борошна, вони позбавляють клейковину еластичності, що може негативно сказатися на білковому каркасі тіста при його випіканні і, як наслідок, на якості готового виробу.

Висновки. Проведені нами дослідження свідчать про те, що забруднення води, яку використовують для приготування тіста у процесах випікання хліба, особливо катіонами важких металів, які є інгібіторами більшості ферментів, відіграє дуже важливу роль в забезпеченні якості готового виробу, що потребує ретельного контролю її чистоти.

Таблиця 5 — Змінення оптичної щільності водних розчинів яєчного альбуміну в присутності катіонів металів

Катіон металу	Оптична щільність, D
Без металу (контроль)	0,05
Ca ²⁺	0,03
Ni ²⁺	0,25
Pb ²⁺	0,38

Список літератури/References

1. Аникеева, Н. В. Научное обоснование и разработка технологий хлебобулочных изделий функционального значения / Н. В. Аникеева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2012. — № 1. — С. 77–81.

Anikeeva, N. V. (2012). *Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka tekhnologiy khlebobulochnykh izdeliy funktsionalnogo znacheniya* [Scientific substantiation and development of technologies of bakery products of a functional purpose]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], no. 1, pp. 77–81.

2. Коршунова, Г. Ф. Украинское хлебопечение — перспективы развития / Г. Ф. Коршунова // Вестник Меркурия. — 2006. — № 3. — С. 10.

Korshunova, G. F. (2006). *Ukrainskoye khlebopecheniye — perspektivy razvitiya* [Ukrainian Bakery — prospects of development]. *Vestnik Merkuriya* [Bulletin of Mercury], no. 3, p. 10.

3. Симакова, О. О. Разработка способов повышения качества и пищевой ценности изделий из пшеничной муки / О. О. Симакова, Г. В. Руденко // Техника и технология пищевых производств : сборник тезисов докладов участников 6-й международной конференции студентов и аспирантов. — М. : МГУП, 2007. — С. 122.

Symakova, O. O. & Rudenko, G. V. (2007). *Razrabotka sposobov povysheniya kachestva i pishchevoy tsennosti izdeliy iz pshenichnoy muki* [Developing ways to improve the quality and nutritional value of products from wheat flour]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. Sbornik tezisev dokladov uchastnikov 6-y mezhdunarodnoy konferentsii studentov i aspirantov*

[Abstracts of the participants of the 6th International Conference of students and graduate students.]. Moscow, MGUP Publ., p. 122.

4. Семенова, Л. Я. Вплив морської капусти на якісні показники дріжджового тіста / Л. Я. Семенова // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. пр. — Донецьк : ДонНУЕТ, 2011. — № 27. — С. 239–244.

Semenova, L. Ya. (2011). *Vpliv morskoi kapusti na yakisni pokazniki drizhdzhovogo tista* [The impact of seaweed on quality indicators of dough]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Equipment and technology of food production], no. 27, pp. 239–244.

5. Семенова, Л. Я., Вплив ламінарії цукрової на якісні показники дріжджового тіста / Л. Я. Семенова // Вісник ДонНУЕТ. Технічні науки. — Донецьк : ДонНУЕТ, 2012. — Вип. № 1 (53). — С. 153–157.

Semenova, L. Ya. (2012). *Vpliv laminarii tsukrovoi na yakisni pokazniki drizhdzhovogo tista* [The impact of sugar kelp on quality indicators dough]. *Vysnik DonNUYET. Tekhnichni nauky* [Bulletin of DonNUET. Technical sciences], no. 1 (53), pp. 153–157.

6. Гридина, С. Б., Ферментативная активность зерновых культур / С. Б. Гридина, Е. П. Зинкевич, Т. А. Владимирцева, К. А. Забусова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета — 2014. — № 8. — С. 57–60.

Gridina, S. B., Zinkevich, Ye. P., Vladimirtseva, T. A. & Zabusova, K. A. (2014). *Fermentativnaya aktivnost zernovykh kultur* [The enzymatic activity of cereals]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State University], no. 8, pp. 57–60.

7. Теплая, Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г. А. Теплая // Астраханский вестник экологического образования. — 2013. — № 1 (23). — С. 182–192.

Teplaya, G. A. (2013). *Tyazhelyye metally kak faktor zagryazneniya okruzhayushchey sredy* [Heavy metals as a factor of environmental pollution]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan bulletin of ecological education], no. 1 (23), pp. 182–192.

8. Сімакова, О. О. Вплив води на якість хліба / О. О. Сімакова // Swordl. Технічні науки. — Одеса : Купрієнко, 2012. — Том 10. — С. 88–90.

Simakova, O. O. (2012). *Vpliv vody na yakist khliba* [Effect of water on quality of dough]. *Swordl. Tekhnichni nauky* [Swordl. Technical Sciences]. Odessa, vol. 10, pp. 88–90.

9. Сімакова, О. О. Роль качества питьевой воды в производстве хлеба / О. О. Сімакова, Р. П. Никифоров // Вісник ДонНУЕТ. Технічні науки. — Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2015. — Вип. № 2 (63). — С. 98–104.

Simakova, O. O. & Nikiforov R. P. (2015). *Rol' kachestva pit'yevoiy vody v proizvodstve khleba* [The role of the quality of drinking water in the production of bread]. *Visnik DonNUET. Tekhnichni nauky* [Bulletin of DonNUET, Technical sciences], no. 2 (63), pp. 98–104.

10. Буденный М. М. Потребителю о питьевой воде / М. М. Буденный, В. В. Агарков, В. Н. Леньшин. — Х. : Фактор, 2010. — 112 с.

Budennyi, M. M., Agarkov, V. V. & Lenshin, V. N. (2010). *Potrebitelyu o pityevoj vode* [For customer about drinking water]. Kharkiv, Faktor Publ., 112 p.

Цель. Цель статьи заключается в исследовании влияния тяжелых металлов на хлебопекарные качества пшеничной муки.

Методы. В процессе исследования использованы методы определения активности амилолитических и протеолитических ферментов сырья.

Результаты. Доказано, что катионы тяжелых металлов отрицательно влияют на биологическую активность протеолитических ферментов пшеничной муки, они лишают клейковину эластичности, что может негативно сказаться на белковом каркасе теста при его выпекании и, как следствие, на качестве готового изделия. Доказано, что вода, загрязненная примесями тяжелых металлов, в частности свинца и никеля, может способствовать ухудшению газоудерживающей способности тестового полуфабриката. Загрязнение воды, которую используют для приготовления теста в процессах выпечки хлеба, особенно катионами тяжелых металлов, которые являются ингибиторами большинства ферментов, игра-

ет очень важную роль в обеспечении качества готового изделия, что требует тщательного контроля ее чистоты.

Ключевые слова: пшеничная мука, дрожжевое тесто, протеолитические ферменты, амилолитические ферменты, тяжелые металлы, катионы, вода, клейковина.

Objective. The purpose of the article is to study the effect of heavy metals on the baking quality of wheat flour.

Methods. In the process of the research, methods for determining the activity of amylolytic and proteolytic enzymes of raw materials were used.

Results. It proved that heavy metal cations adversely affect the biological activity of proteolytic enzymes of flour, they deprive gluten of elasticity, which may adversely affect the protein frame of the dough by baking, and as a result, the quality of the finished product. It is proved that the water is contaminated by impurities of heavy metals, particularly lead and nickel, can worsen the gas-retaining ability of the semi-finished dough. The pollution of water, which is used for the preparation of the dough during the bread baking, particularly heavy metal cations, which are inhibitors of most enzymes, plays a very important role in ensuring the quality of the finished product that requires careful monitoring of its purity.

Key words: wheat flour, yeast dough, proteolytic enzymes, amylolytic enzymes, heavy metals, cations, water, gluten.