

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНО-БОРОШНЯНИХ СУСПЕНЗІЙ В ПРИСУТНОСТІ ГІДРОКОЛОЇДІВ ТА БІЛКОВИХ ДОБАВОК

Галясний І. В., Гавриш Т. В., Шаніна О. М.

1. Вступ

Безглютенові продукти відіграють дуже важливу роль у профілактичному та лікувальному харчуванні людства. Першочергово це стосується хворих на целиакію, а також споживачів, що мають різноманітні розлади харчування – алергію на глютен або його непереносимість [1]. Беручи до уваги досягнення в галузі нутрігеноміки і нутрігенетики, тенденція до індивідуалізації дієт зростає. Це сприятиме збільшенню обсягів ринку спеціалізованих продуктів харчування, в тому числі безглютенових.

Хлібобулочні та кулінарні й кондитерські борошняні вироби, що не містять глютену, є одним із сегментів цього ринку. В даний час стрімко розвивається виробництво таких спеціалізованих продуктів харчування.

Зростання наразі інтересу до продуктів без глютену зумовлюється значною поширеністю целиакії, яка оцінюється як така, що охоплює щонайменше 0,5...2,0 % населення у більшості європейських країн та США [2]. Порівняно з країнами північної Америки, Європи, Японії та ін., в Україні виробництво безглютенових виробів у достатньому асортименті та обсягах, на жаль, не налагоджене. Проте, забезпечувати цю категорію людей спеціалізованими продуктами харчування потрібно постійно.

Асортимент безглютенових борошняних виробів на ринку України формується в основному за рахунок імпортової продукції, яка має досить високу вартість. Крім того, більшість доступних в країні безглютенових продуктів є борошняними кондитерськими виробами. Зрозуміло, що приготування низки харчових продуктів з виключенням глютену є в першу чергу дієтичним аспектом. Але у виробництві безглютенових хлібобулочних виробів відсутність глютену стає серйозним технологічним викликом і вимагає вирішення низки технологічних питань.

Протягом останніх десятиліть було проведено багато досліджень з метою поліпшення якості безглютенового хліба та його поживних властивостей. Проте, й досі залишаються проблеми розробки безглютенового хліба з задовільною структурою, термінами придатності та вартістю.

З огляду на вищесказане, зрозумілою стає нагальна необхідність розробки нових підходів до детоксикації глютену або отримання безглютенових композицій. Крім того, відслідковується очевидна необхідність розробки рецептур і технологій виробництва борошняних безглютенових виробів, що мають достатню якість і прийнятну ціну.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктами досліджень у роботі є:

- борошно рисове ($B_{рис}$), кукурудзяне тонкого помелу ($B_{кук}$), згідно діючої нормативної документації;
- борошняна суміш ($B_{рис}:B_{кук}$ відповідно 70 %:30 %);
- водно-борошняні суспензії.

В якості матеріалів досліджень були застосовано:

- вода дистильована;
- натрій карбоксиметилцелюлоза (КМЦ) – 0,5 %-вий розчин;
- концентрат тваринного білка (КТБ) Сканпро Т95–0,5...1,5 % до маси борошна.

При виробництві безглютенового бездріжджового тіста технологічна концепція полягає в наступному. По-перше, потрібно забезпечити максимальну піноутворюючу здатність рецептурної суміші, по-друге – максимальну стійкість такої піни протягом розміщення тіста у форми для випікання.

Процес піноутворення є складним через спільний вплив численних фізико-хімічних, фізико-механічних та інших чинників. Закономірності, якими характеризується процес утворення піни, суттєво залежать від умов проведення конкретного технологічного процесу. Безліч змінних параметрів, вплив яких не завжди піддається обліку, значно ускладнює можливість точної кількісної оцінки процесів, що протікають. Тим не менше, утворення і руйнування шару піни підпорядковується різним закономірностям залежно від поверхневих властивостей розчинів на межі з повітрям і механічних властивостей рідких прошарків між бульбашками.

Узагальнюючи вищевикладене, можна стверджувати, що для забезпечення максимальної піноутворюючої здатності та стійкості рецептурної суміші безглютенового бездріжджового тіста необхідними є дослідження впливу КМЦ та КТБ на поверхневі властивості водно-борошняних суспензій.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є визначення впливу КМЦ та КТБ на поверхневі властивості водно-борошняних суспензій з використанням борошна рисового, кукурудзяного та їх суміші.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Визначити крайовий кут (α) змочування водно-борошняних суспензій без добавок, а також в присутності 0,5 % КМЦ та 0,5...1,5 % КТБ.
2. Визначити показник формостійкості (H/D) крапель води та водно-борошняних суспензій за умов введення добавок вказаних концентрацій.
3. Встановити залежність даного показника від застосування різних видів безглютенового борошна за умов додавання добавок та без них.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Для компенсації відсутньої клейковини науковці рекомендують використовувати функціональні можливості різноманітних інгредієнтів.

Дослідження фахівців світової харчової галузі спрямовані на пошук безглютенових основних та допоміжних сировинних компонентів (гідроколідів, білкових компонентів, крохмалів, псевдозернової сировини та ін.). А також на розробку новітніх технологічних підходів, що передбачають використання ферментів, за-

стосування високого тиску, проведення гідротермічної обробки, екструдуювання та пророщування зернової та борошняної сировини, заквашування тіста та ін.

В якості найбільш розповсюджених і широко вживаних сировинних інгредієнтів застосовують рисове борошно [3] та рисовий крохмаль; кукурудзяне борошно і кукурудзяний крохмаль; картопляний крохмаль; маніоковий крохмаль; пшеничний крохмаль [4]. Як альтернативна сировина пропонуються такі: безглютенове борошно з зернових (соргове, просяне, вівсяне) [5]; безглютенове борошно з псевдозернових (гречане, амарантове, кіноа) [6].

Білки відіграють вирішальну роль у визначенні структури багатьох продуктів харчування, в тому числі безглютенового хліба [2, 7]. Через їх відмінні функціональні властивості, протеїни тваринного походження широко досліджені і використовуються в харчових системах. Деякі тваринні білки мають відмінні функціональні та органолептичні властивості, але вони тягнуть за собою більш високу вартість виробництва [8].

Білки з різних джерел (соя, горох, ячний білок та казеїн та ін.) можуть бути додані до основних безглютенових композицій [7]. Білки призводять до збільшення модуля пружності шляхом зшивання білкової мережі, посилення кольору, смаку та аромату через реакцію Майєра, поліпшення структури за допомогою покращання гелеутворення та спінювання [9].

Гідроколоїди широко використовуються в якості структуруючих агентів для імітації в'язко-пружних властивостей клейковини. Ці інгредієнти, як правило, використовуються в якості заміника глютену через їх здатність до загущення, високі водозв'язувальні і гелеутворюючі характеристики. Вони збільшують об'єм тіста, стабілізують його пінну структуру за рахунок збільшення в'язкості. Гідроколоїди також запобігають впливу водної фази на пінну структуру, покращуючи стійкість рідини в плівках, що оточують пухирці газу [10, 11].

Переважає більшість робіт присвячена перспективним питанням виробництва дріжджового безглютенового хліба з використанням дріжджів в якості розпушувачів тіста. Тому, наукових даних стосовно впливу гідроколоїдів та концентратів тваринних білків на поверхневі властивості бездріжджових пінних тістових мас у сучасних інформаційних джерелах не було знайдено.

5. Методи досліджень

Для визначення поверхневих властивостей водно-борошняних суспензій застосовано метод лежачої краплі [11]. Діаметр краплі (у декількох повторностях) дорівнював 6 ± 1 мм. Це гарантує, що крайовий кут не буде залежати від діаметра. Оскільки відомо, що в разі дуже малих крапельок значним є вплив поверхневого натягу самої рідини (тенденція до формування сферичної краплі), а в разі великих крапель починають домінувати сили гравітації. За цим методом вимірювали кут між твердою поверхнею і рідиною в точці контакту трьох фаз (рис. 1, а).

Додатково застосовували графічний метод визначення формостійкості (H/D) краплі – через співвідношення висоти краплі до її діаметру (рис 1, б).

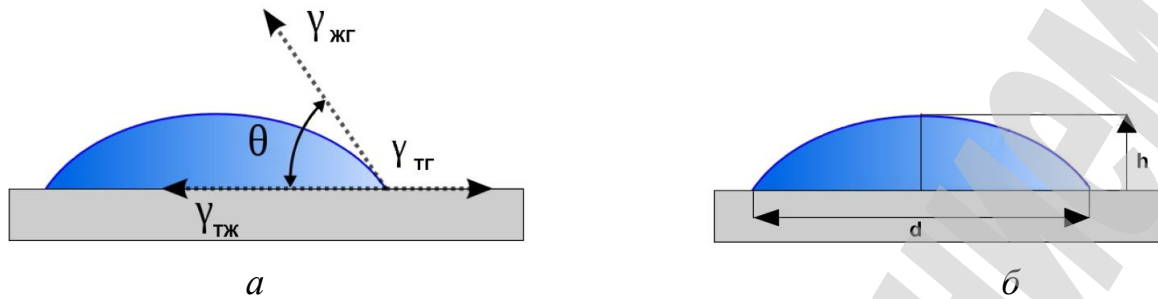


Рис. 1. Визначення: *a* – кут змочування краплі рідини; *б* – формостійкості краплі рідини

Обробку отриманих експериментальних даних здійснювали з використанням пакету прикладних програм MS Office Excel (США).

6. Результати досліджень

На першому етапі дослідження визначали кут змочування крапель води та водно-борошняних суспензій в присутності добавок та без них. Результати експерименту наведені на рис. 2–5, а дані їхньої обробки наведено в табл. 1.

Під час експерименту дотримували час вимірювання 10 с (однаковий для всіх зразків), оскільки навіть після нетривалого витримання зразків перед вимірюванням спричиняє зміну формостійкості краплі

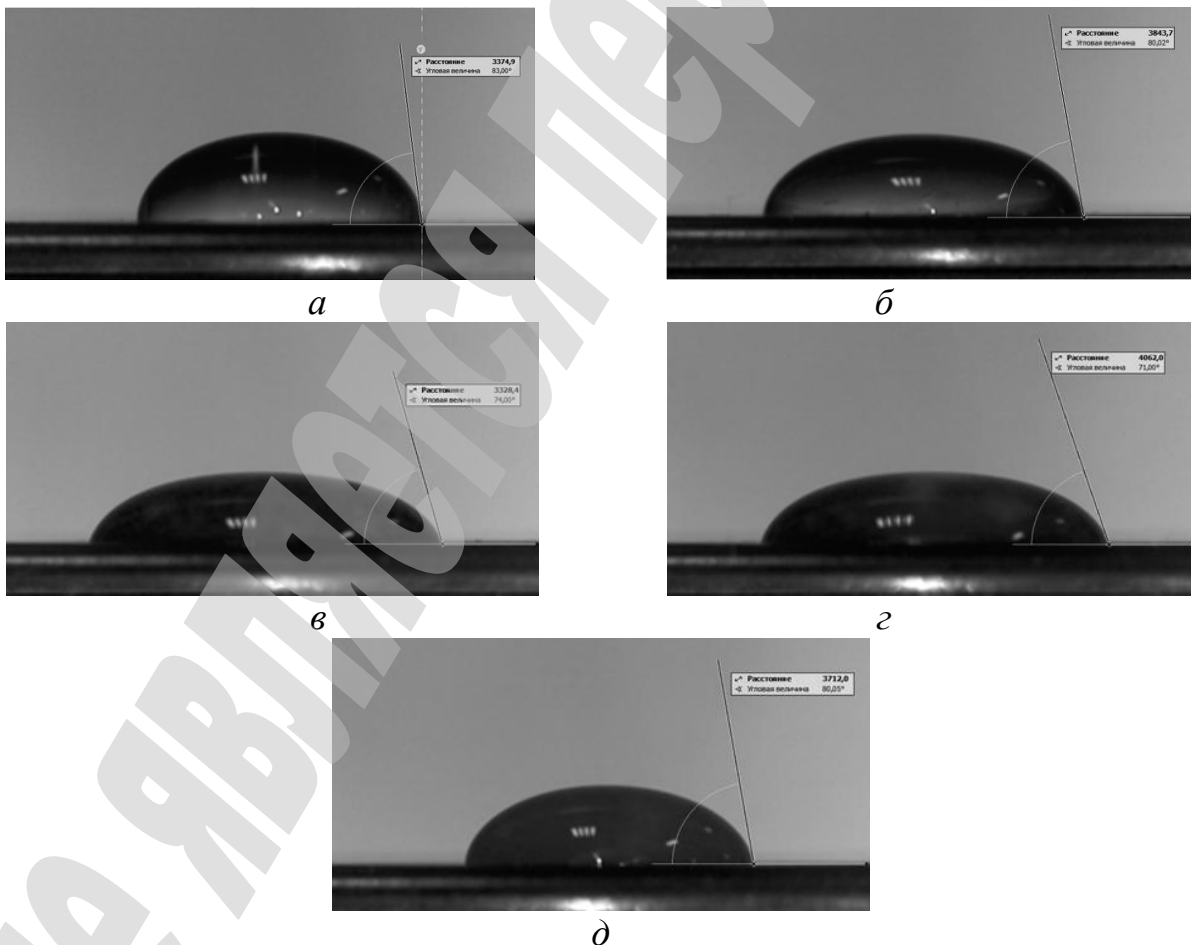


Рис. 2. Зовнішній вигляд дослідних зразків – крапель води з добавками: *a* – без добавок; *б* – 0,5 % КМЦ; *в* – 0,5 % КМЦ+0,5 % Сканпро Т95; *г* – 0,5 % КМЦ+1,0 % Сканпро Т95; *д* – 0,5 % КМЦ+1,5 % Сканпро Т95

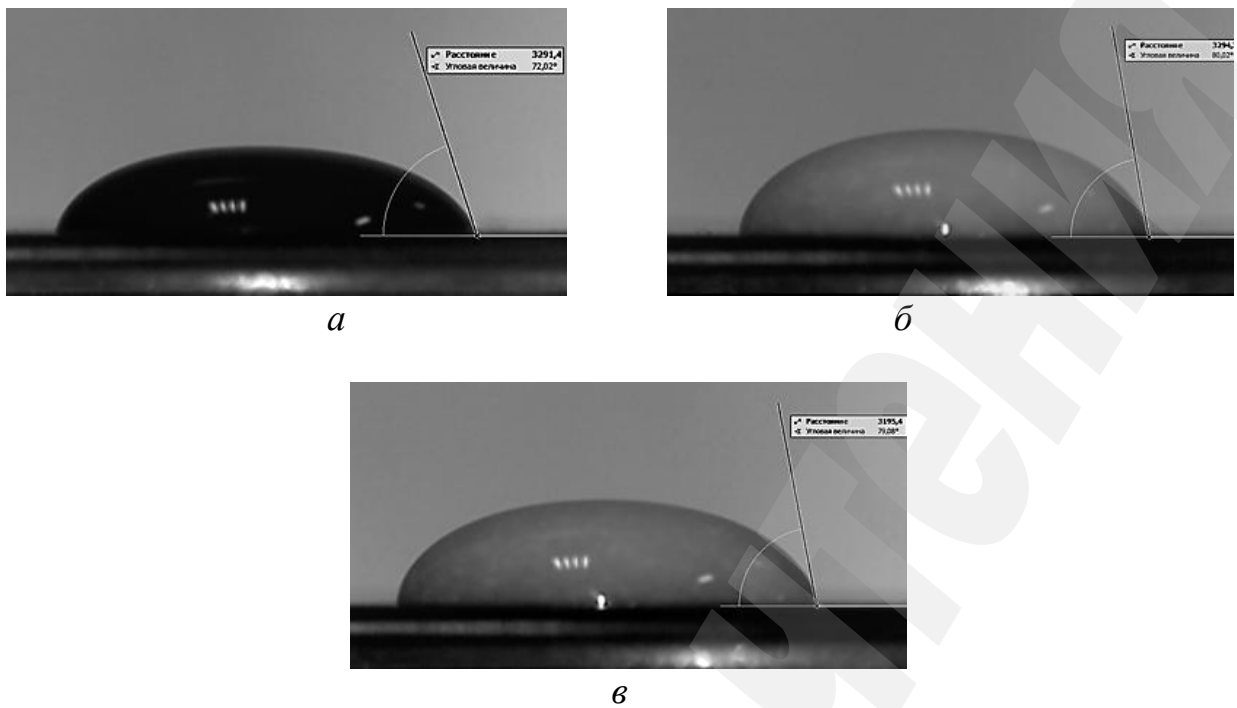


Рис. 3. Зовнішній вигляд дослідних зразків – крапель водно-борошняних суспензій з добавками: *a* – Б_{рис}; *б* – Б_{рис}+0,5 % КМЦ; *в* – Б_{рис}+0,5 % КМЦ+1,0 % Сканпро Т95

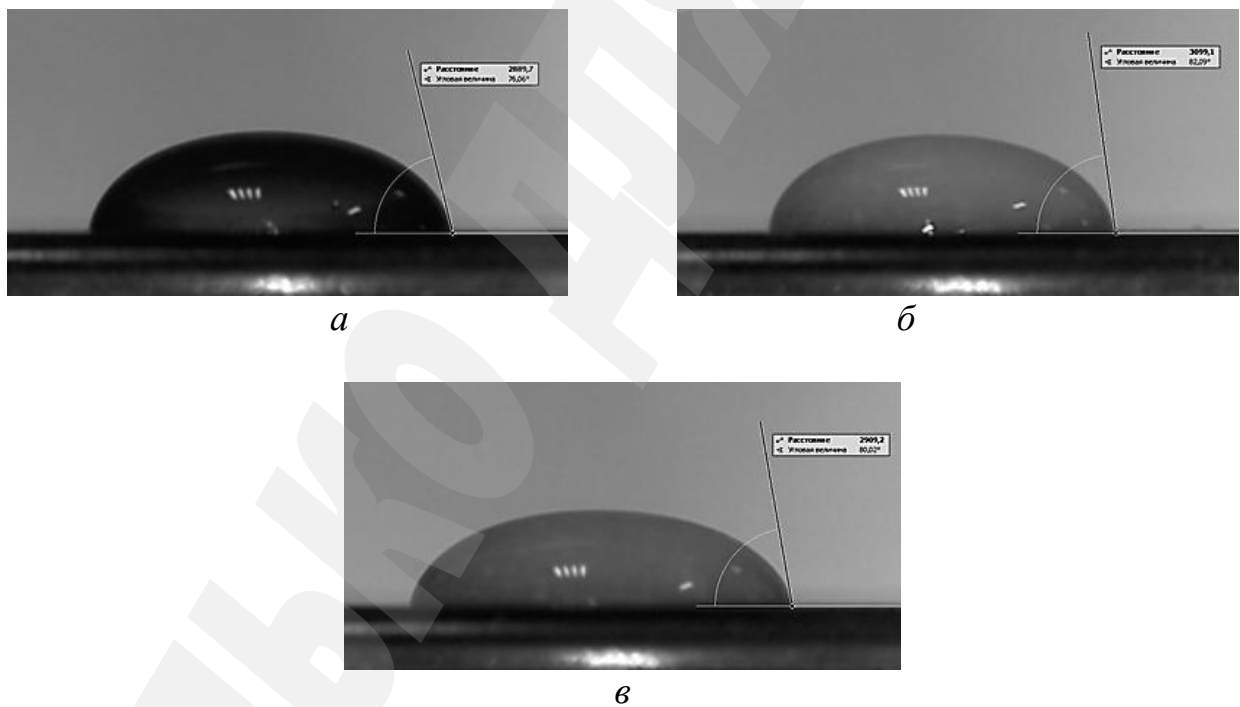


Рис. 4. Зовнішній вигляд дослідних зразків – крапель води з добавками: *a* – Б_{кук}; *б* – Б_{кук}+0,5 % КМЦ; *в* – Б_{кук}+0,5 % КМЦ+1,0 % Сканпро Т95

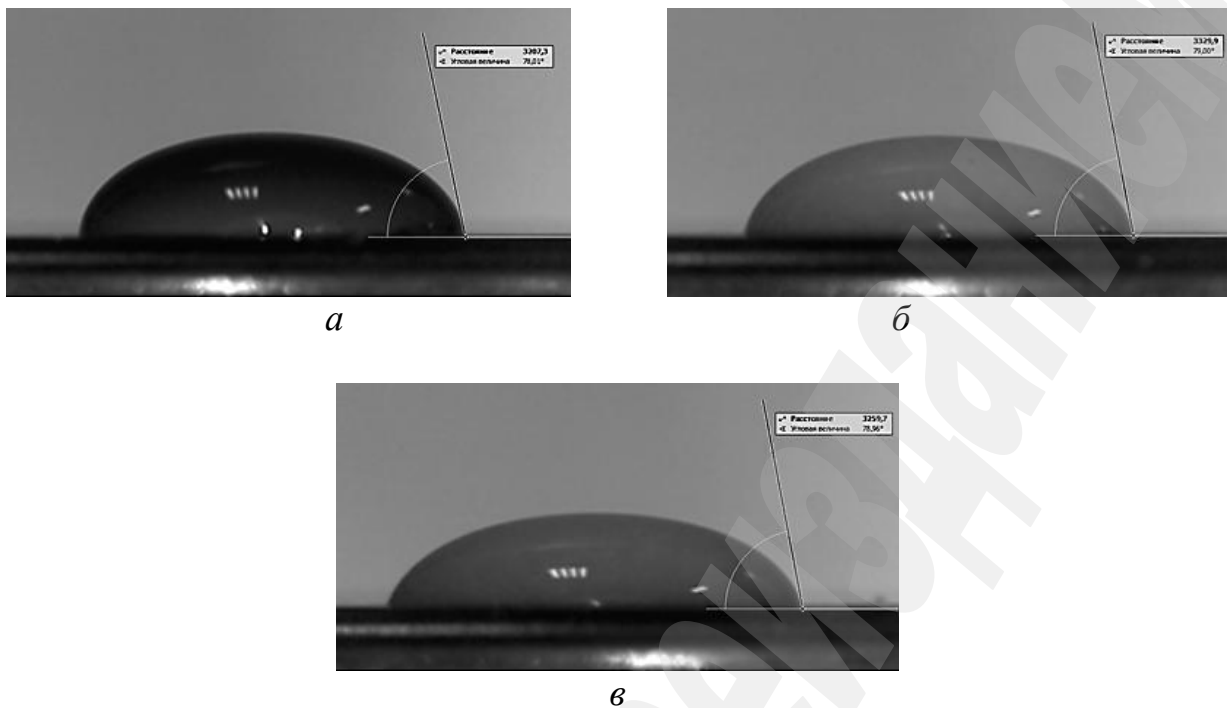


Рис. 5. Зовнішній вигляд дослідних зразків – крапель води з добавками:
a – Б_{рис}/Б_{кук} 70/30; *б* – Б_{рис}/Б_{кук} 70/30+0,5 % КМЦ; *в* – Б_{рис}/Б_{кук} 70/30+0,5 % КМЦ+1,0 % Сканпро Т95

Кут змочування (крайовий кут) є основною характеристикою змочування. Це кут нахилу поверхні рідини до змоченої поверхні твердого тіла. Сама ж рідина завжди знаходиться всередині крайового кута. Вершина кута змочування знаходиться на лінії змочування, яка проходить крізь лінію контакту трьох фаз. Характеристики кута змочування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики кута змочування (n=3, P≤0.05)

Вид і кількість добавки	Характеристики кута змочування							
	вода		вода/Б _{рис}		вода/Б _{кук}		вода/Б _{рис} /Б _{кук}	
	$\alpha, ^\circ$	$\sin\alpha$	$\alpha, ^\circ$	$\sin\alpha$	$\alpha, ^\circ$	$\sin\alpha$	$\alpha, ^\circ$	$\sin\alpha$
Без добавок	83	0,993	72	0,951	76	0,970	78	0,978
0,5 % КМЦ	80	0,985	80	0,985	82	0,990	79	0,982
0,5% КМЦ+0,5 % Сканпро Т95	74	0,961	–	–	–	–	–	–
0,5 % КМЦ+1,0 % Сканпро Т95	71	0,946	79	0,982	80	0,985	79	0,982
0,5% КМЦ+1,5 % Сканпро Т95	80	0,985	–	–	–	–	–	–

На наступному етапі досліджень визначали показник формостійкості крапель води та водно-борошняних суспензій за умов введення добавок на рис. 6, 7.

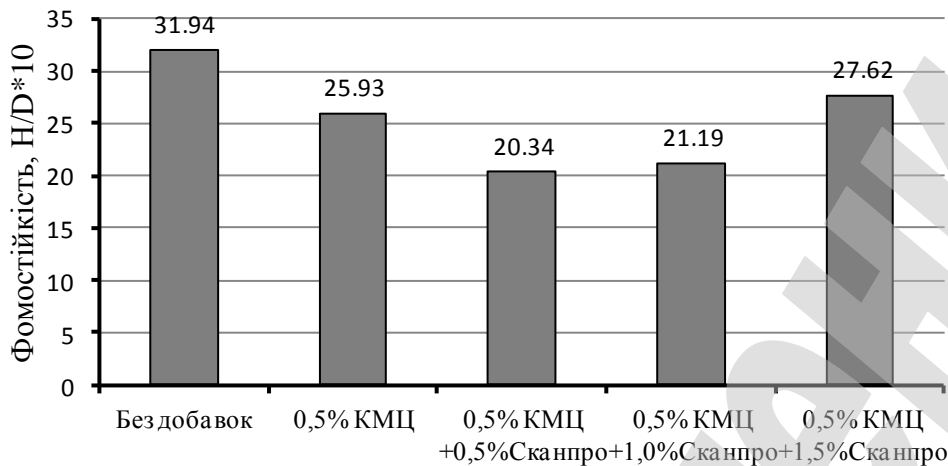


Рис. 6. Формостійкість крапель досліджуваних зразків води з добавками

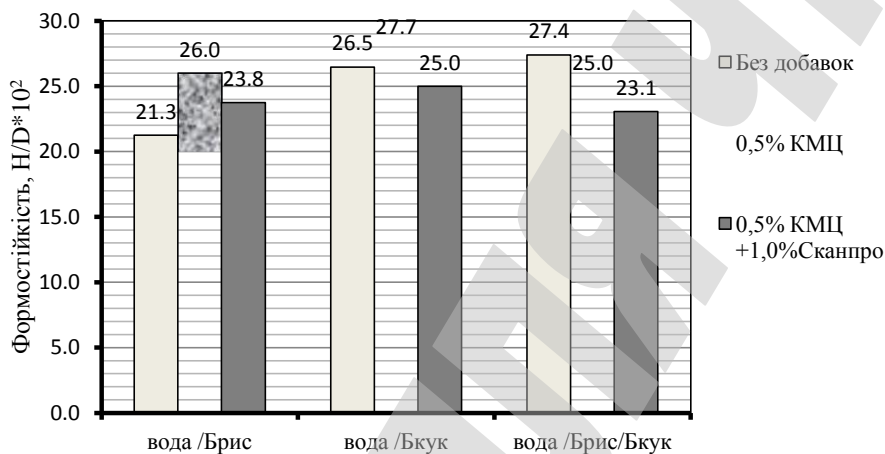


Рис. 7. Формостійкість крапель досліджуваних зразків водно-борошняних суспензій з добавками

Аналізуючи дані, наведені на рис. 6, слід надати наступні пояснення. По-перше, запропоновані добавки-поліпшувачі структури загалом зумовлюють зниження формостійкості, найбільшою мірою – в разі сумісного застосування. Показник H/D контрольного зразка дорівнює 32, а в присутності 0,5 % КМЦ з добавками 0,5...1,0 % КТБ – 20...21. Такі дані свідчать про можливість утворення поліпшеної пінної структури тіста завдяки зменшенню поверхневого натягу досліджуваних зразків. Пояснити зниження ефективності КТБ в кількості 1,5 % можна зворотнім підвищенням поверхневого натягу рідкої фази тіста (це підтверджує зростання показника H/D до 27,6), що відбувається через можливі процеси драглеутворення за такої кількості добавки.

Аналіз формостійкості крапель водно-борошняних суспензій (рис. 4–7) свідчить про те, що існує певна невідповідність експериментальних даних теоретичним міркуванням. Тобто, якщо H/D для $B_{рис}$ дорівнює 21,3, $B_{брук}$ – 26,5, то для борошняної суміші у співвідношенні $B_{рис}/B_{брук}$ 70/30 він повинен мати значення між цими двома показника (за правилом пропорційності – 22,8). Проте, таке твер-

дження відповідало б дійсності, якщо між цими видами борошна у водно-борошняній суспензії не було б жодної взаємодії. Реально цей показник для борошняної суміші зростає до 27,4. Тобто, поверхневий натяг водно-борошняної суспензії з борошняної суміші зростає. Вважаємо, що це є наслідком міжмолекулярної взаємодії між водорозчинним білками борошна рисового та кукурудзяного (оскільки у рідку фазу суспензії переходять саме білки водорозчинної фракції).

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. Серед сильних сторін даного дослідження необхідно відмітити те, що отримані дані вказують на позитивний вплив КМЦ та КТБ на поверхневі властивості водно-борошняних суспензій. Запропоновані добавки-поліпшувачі структури загалом зумовлюють зниження формостійкості, найбільшою мірою – в разі сумісного застосування, що вказує на утворення поліпшеної пінної структури безглютенового бездріжджового тіста.

Weaknesses. Слабкі сторони даного дослідження пов'язані з тим, що виробництво тваринного білка в 10 разів дорожче, ніж рослинного. Як наслідок, за останнє десятиліття кількість досліджень функціональних властивостей рослинних білків суттєво зросли. Функціональність рослинних білків часто є недостатньою через їх низьку розчинність у водному середовищі, яка є найпоширенішою у харчових продуктах, зокрема, хлібобулочних.

Opportunities. Специфіка виробництва бездріжджового безглютенового тіста шляхом збивання полягає в тому, що отримана пінна структура піддається небажаним зовнішнім впливам, що приводять до зниження її стійкості.

До таких факторів варто віднести перемішування збитої суміші з борошном і розміщення тіста у форми. В таких умовах важливо не тільки одержати пінну систему з заданими характеристиками, але й зберегти їх протягом технологічного процесу.

Для розвитку цього напрямку досліджень необхідно комплексно дослідити піноутворювальну здатність та стійкість піни до руйнування структури безглютенового тіста.

Threats. Складнощі у впровадженні отриманих результатів можуть бути пов'язані з тим, що наявність глютену, а також його залишків у безглютеновому хлібі, не допускається. Тому виробникам для виробництва безглютенової продукції необхідно на етапі розробки технології безглютенових хлібобулочних виробів враховувати доброякісність та безпечність вхідної сировини, високі експлуатаційні характеристики обладнання, санітарно-гігієнічні норми та правила, високий професіоналізм персоналу.

8. Висновки

1. Визначено, що показник кута змочування при дослідженні зразків на воді в присутності КМЦ та КТБ знижується: вода без добавок – 83°, вода + 0,5 % КМЦ – 80°, вода + 0,5 % КМЦ + 0,5 % Сканпро Т95 – 74°, вода + 0,5 % КМЦ + 1,0 % Сканпро Т95 – 71°. Зменшення кута змочування, за умов введення добавок, свідчить про зменшення поверхневого натягу, що в свою чергу, сприятиме поліпшенню пінної структури бездріжджового безглютенового тіста під тістоведенням.

2. Встановлено, що запропоновані добавки-поліпшувачі структури загалом зумовлюють зниження формостійкості, найбільшою мірою – в разі сумісного застосування. Так, показник формостійкості контрольного зразка (вода) дорівнює 32, а в

присутності 0,5 % КМЦ з добавками 0,5...1,0 % КТБ – 20...21. За умов введення КТБ в кількості 1,5 % спостерігається підвищення поверхневого натягу рідкої фази тіста (показник H/D до 27,6). Пояснити зниження ефективності КТБ в кількості 1,5 % можна через можливі процеси драглетування за такої кількості добавки.

3. Визначено, що показник H/D для $B_{рис}$ дорівнює 21,3, $B_{кук}$ – 26,5, $B_{рис}/B_{кук}$ 70/30 – 27,4. За правилом пропорційності показник H/D для зразка $B_{рис}/B_{кук}$ 70/30 повинен бути – 22,8 за умов, якщо між цими видами борошна у водно-борошняній суспензії не було б жодної взаємодії. Припускаємо, що це є наслідком міжмолекулярної взаємодії між водорозчинним білками борошна рисового та кукурудзяного.

Таким чином, експериментальними дослідженнями підтверджено, що поверхневий натяг водно-борошняної суспензії з борошняної суміші зростає, що є наслідком міжмолекулярної взаємодії між водорозчинним білками $B_{рис}$ та $B_{кук}$. Наявність КМЦ та КТБ у водно-борошняній суспензії з борошняної суміші знижує показник формостійкості краплі, що пов'язано зі зменшенням показника її поверхневого натягу.

Література

1. Shewry P. R., Hey S. J. Do we need to worry about eating wheat? // Nutrition Bulletin. 2016. Vol. 41, No. 1. P. 6–13. doi:[10.1111/nbu.12186](https://doi.org/10.1111/nbu.12186)
2. Reilly N. R., Green P. H. R. Epidemiology and clinical presentations of celiac disease // Seminars in Immunopathology. 2012. Vol. 34, No. 4. P. 473–478. doi:[10.1007/s00281-012-0311-2](https://doi.org/10.1007/s00281-012-0311-2)
3. Rheological properties of gluten-free bread formulations / Demirkesen I. et al. // Journal of Food Engineering. 2010. Vol. 96, No. 2. P. 295–303. doi:[10.1016/j.foodeng.2009.08.004](https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2009.08.004)
4. Analysis of ingredient lists of commercially available gluten-free and gluten-containing food products using the text mining technique / Do Nascimento A. B. et al. // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2012. Vol. 64, No. 2. P. 217–222. doi:[10.3109/09637486.2012.718744](https://doi.org/10.3109/09637486.2012.718744)
5. Marston K., Khouryieh H., Aramouni F. Evaluation of sorghum flour functionality and quality characteristics of gluten-free bread and cake as influenced by ozone treatment // Food Science and Technology International. 2014. Vol. 21, No. 8. P. 631–640. doi:[10.1177/1082013214559311](https://doi.org/10.1177/1082013214559311)
6. Torbica A., Hadnadev M., Dapcevic T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour // Food Hydrocolloids. 2010. Vol. 24, No. 6–7. P. 626–632. doi:[10.1016/j.foodhyd.2010.03.004](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.004)
7. Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic / Ziobro R. et al. // Food Hydrocolloids. 2013. Vol. 32, No. 2. P. 213–220. doi:[10.1016/j.foodhyd.2013.01.006](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.006)
8. Lusk J. L., Norwood F. B. Some Economic Benefits and Costs of Vegetarianism // Agricultural and Resource Economics Review. 2009. Vol. 38, No. 2. P. 109–124. doi:[10.1017/s1068280500003142](https://doi.org/10.1017/s1068280500003142)
9. Ronda F., Villanueva M., Collar C. Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein // LWT – Food Science and Technology. 2014. Vol. 59, No. 1. P. 12–20. doi:[10.1016/j.lwt.2014.05.052](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.052)
10. Dickinson E. Food emulsions and foams: Stabilization by particles // Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2010. Vol. 15, No. 1–2. P. 40–49. doi:[10.1016/j.cocis.2009.11.001](https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.11.001)
11. Gorelov V. O., Dranchuk M. M. Vymiryuvannya poverkhnevoho natyahu chystykh ridyn i rozchyniv metodom lezhachoyi krapli // Metody ta pryklady kontrolyu yakosti. 2003. Vol. 10. P. 31–35.