

ВПЛИВ КСАНТАНУ НА СТРУКТУРУ ТІСТА ТА ЯКІСТЬ ХЛІБА З ПРОРОЩЕНОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

Самохвалова О. В., Олійник С. Г., Степанькова Г. В.

ВСТУП

Одним з ефективних шляхів покращення здоров'я населення є регулярне споживання цільнозернових продуктів, у тому числі зернового хліба, як ефективного джерела необхідних для життєдіяльності людини фізіологічно-функціональних інгредієнтів. Зерновий хліб, особливо із пророщеного зерна, суттєво переважає вироби з сортового борошна за вмістом харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин, антиоксидантів, тощо. Необхідність розробки нових та удосконалення існуючих технологій, розширення асортименту зернового хліба обумовлена доведеними численними позитивними ефектами на стан здоров'я населення багатьох країн світу. Фахівці одностайно стверджують, що регулярне споживання зернового хліба сприяє зниженню ризику виникнення онкологічних, серцево-судинних захворювань, ожиріння, цукрового діабету тощо^{1, 2, 3, 4, 5, 6}. Разом з тим, зерновий хліб, маючи очевидні переваги над виробами з сортового борошна за харчовою цінністю, за показниками якості їм поступається. Така

¹ De la Fuente-Arrillaga C., Martinez-Gonzalez M. A., Zazpe I. et al. Glycemic load, glycemic index, bread and incidence of overweight obesity in a Mediterranean cohort: the SUN project. *BMC Public Health*. 2014. № 14. P. 1091.

² Serra-Majem, L., & Bautista-Castaño, I. Relationship between bread and obesity. *British Journal of Nutrition*. (2015). № 113 (S2). P. 29–35. DOI: 10.1017/S000714514003249/

³ Qi G., Zeng S., Takashima T., Nozoe K., Shobayashi M., Kakugawa K., Murakami K., Jikihara H., Zhou L., Shimamoto F. Inhibitory Effect of Various Breads on DMH-Induced Aberrant Crypt Foci and Colorectal Tumours in Rats. *BioMed Research International*. 2015. DOI:10.1155/2015/829096/

⁴ Montonen J., Boeing H., Montonen J., Fritsche A., Schleicher E., Joost H.-G., Schulze M. B., Steffen A., Pischon T. Consumption of red meat and whole-grain bread in relation to biomarkers of obesity, inflammation, glucose metabolism and oxidative stress. *Eur. J. Nutrition*. 2013. № 52. P. 337–345. DOI 10.1007/s00394-012-0340-6

⁵ Mofidi A., Ferraro Z. M., Stewart K. A., Tulk H. M. F., Robinson L. E., Duncan A. M. The Acute Impact of Ingestion of Sourdough and Whole-Grain Breads on Blood Glucose, Insulin, and Incretins in Overweight and Obese Men. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2012. P. 9. DOI: 10.1155/2012/184710

⁶ Slavin J. Why whole grains are protective: biological mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2003. № 62 (01). P. 129–134. DOI: 10.1079/PNS2002221

відмінність, в основному, пов'язана зі зниженням хлібопекарських властивостей зерна під час замочування, особливо, якщо застосовується його пророщування. З огляду на вищенаведене, своєчасним є пошук технологічних заходів, спрямованих на покращення структури зернового тіста.

У даній роботі наведено результати аналізу шляхів удосконалення технології хліба зернового, а також представлено результати досліджень, що підтверджують доцільність застосування мікробного полісахариду ксантану для покращення якості тіста та хліба з пророщеного зерна пшениці.

1. Сучасні підходи до покращення якості зернового хліба

Технологічний процес виробництва зернового хліба відрізняється від традиційної технології хліба з борошна наявністю тривалої стадії замочування зерна. Замочування здійснюють з метою набуття зерном структурно-механічних властивостей, необхідних для подальшого подрібнення у масу, яка є основою зернового тіста. Тривалість даної стадії залежно від температури, складу замочувального середовища та бажаного стану зерна може тривати від 6 до 48 год. Для отримання диспергованої зернової маси достатньо здійснювати замочування до досягнення зерном вологості 36...48%^{7,8}. Проте з точки зору більш повного використання природного потенціалу зерна доцільним є його пророщування, спрямоване не лише на зволоження та розм'якшення зернівок, але й на активізацію та кількісне збільшення в них вмісту біологічно активних речовин⁹. Встановлено, що під час пророщування (біоактивації) покращується харчовий профіль зерна за рахунок накопичення токоферолів, вітамінів С та групи В, фенольних сполук^{10, 11, 12, 13}.

⁷ Олійник С. Г., Запаренко Г. В., Самохвалова О. В.. Технологія хліба полб'яного та пшеничного зернового з використанням ферментних препаратів. Харків : ХДУХТ, 2018. 139 с.

⁸ Махинько В. М., Махинько Л. В., Яценко О. М. Перспективи і проблеми виробництва зернового хліба. *Зберігання та переробка зерна*. 2008. № 9 (111). С. 59–62.

⁹ Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: A superior whole grain functional food? *Canadian J. Phys. and Pharm.* 2013. № 91. P. 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351.

¹⁰ Zilic S., Basic Z., Sukalovic V. H., Maksimovic V., Jankovic M., Filipovic M. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *Int. J. Food Sci. and Tech.* 2014. №. 49. P. 1040–1047.

¹¹ Yang F., Basu T., Ooraikul B. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *Int. J. Food Sci. and Nutr.* 2001. № 52. P. 319–330.

У результаті гідролітичних процесів в зерні знижується вміст крохмалю, накопичуються декстрини, моно- та дисахариди, амінокислоти, водорозчинні харчові волокна¹⁴, збільшується біодоступність мінеральних речовин, покращується перетравлюваність біополімерів зерна^{15, 16}.

Разом з тим, активне протікання протеолітичних та амілолітичних процесів під час замочування і, особливо, під час пророщування зерна призводить до погіршення хлібопекарських властивостей зерна за рахунок зменшення кількості та погіршення якості клейковини, часткового гідролізу крохмалю^{17, 18}. Крім того, зернове тісто містить значну кількість некрохмальних полісахаридів, що позиціонує зерновий хліб як одне з найпотужніших джерел харчових волокон, і суттєво впливає на формування структури хліба. Зернове тісто має підвищену в'язкість, знижену газотримувальну та водоутримувальну здатність, а хліб – малий об'єм, щільну, липку і погано розпушену

¹² Koehler P., Hartmann G., Wieser H., Rychlik, M. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *J. Agric. Food Chem.* 2007. № 55. P. 4678–4683. DOI: 10.1021/jf0633037

¹³ Hung P. V., Hatcher D. W., Barker W. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chemistry.* 2011. №. 126 (4). P. 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015

¹⁴ Hung P. V., Maeda T., Yamamoto S., Morita N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2012. № 92. P. 667–672.

¹⁵ Azeke M.A., Egielewa S.J., Eigbogbo M.U, Ihimire I. G. Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum milliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). *J Food Sci Technol.* 2011. № 48 (6). P. 724–729. DOI: 10.1007/s13197-010-0186-y

¹⁶ Singh A, Sharma S. Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2017. № 57 (14). P. 3051–3071. DOI: 10.1080/10408398.2015.1085828. PMID: 26466514.

¹⁷ Ichinose Y., Takata K., Kuwabara T., Iriki N., Abiko T., Yamauchi H. Effects of increase in .alpha.-amylase and endo-protease activities during germination on the breadmaking quality of wheat. *Food Science and Technology Research.* 2001. № 7 (3). P. 214–219. DOI: 10.3136/fstr.7.214.

¹⁸ Amany M. Sakr. Evaluation of Wheat Germination for Making Gluten-Free Bread. *Current Science International.* 2020. № 9 (4). P. 677–689.

м'якушку^{19, 20}. Такі недоліки знижують привабливість зернового хліба для споживачів і вимагають корекції.

З метою покращення реологічних властивостей зернового тіста та показників якості хліба використовуються технологічні заходи на різних стадіях його виробництва, зокрема під час замочування зерна та дозрівання зернового тіста.

Для поліпшення структурно-механічних властивостей тіста та якості зернового хліба, а також прискорення процесу його гідратації рекомендується замочувати зерно у сироватці або кефірі за температури 15...20 °C²¹. Іншими авторами²² встановлено, що гідратування зерна у воді відбувається швидше, ніж у сироватці. Скорочення тривалості замочування зерна, підвищення показників якості зернового тіста та хліба досягається також шляхом додавання у замочувальне середовище концентрованої молочнокислої закваски²³.

У разі використання слабкої пшениці для виготовлення зернового хліба покращення його органолептичних та фізико-хімічних характеристик пропонується досягати шляхом застосування вологотермічної обробки частини зерна. Це спричиняє підвищення газоутворювальної здатності зернового тіста та зменшення активності власних ферментів зерна²⁴.

У роботі²⁵ показано, що замочування зерна пшениці у плазмахімічно активованій воді сприяє скороченню тривалості цього

¹⁹ Alexandra L. Stern, Berstein J., Stephen S. Jones, Jeffrey B. Blumberg, Timothy S. Griffin. The impacts of germinating organic wheat: effects on phytic acid, resistant starch, and functional properties of flour, and sensory attributes of sourdough bread. *International Journal of Food Science and Technology*. 2021. № 56. P. 3858–3865. DOI: 10.1111/ijfs.15002.

²⁰ Пшенишнюк Г. Ф., Макарова О. В., Іванова Г. С. Інноваційні заходи підвищення якості зернового хліба. *Харчова наука і технологія*. 2010. № 1 (10). С. 75–77.

²¹ Спосіб виробництва борошняних виробів на молочних продуктах з цільного зерна пшениці: пат. 78487 Україна: МПК А21D 13/02 (2006.01). U 201209049; заявл. 23.07.12; опубл. 25.03.13. Бюл. № 6. 4 с.

²² Махинько В. М., Махинько Л. В. Підбір середовища для замочування зерна при виробництві зернового хліба. *Зберігання і переробка зерна*. 2008. № 11. С. 33–36.

²³ Спосіб виробництва борошняних виробів з цільного зерна пшениці: пат. 78488 Україна: МПК А21D 13/02 (2006.01). U 201209052; заявл. 23.07.12; опубл. 25.03.13. Бюл. № 6. 4 с.

²⁴ Пшенишнюк Г. Ф., Макарова О. В., Іванова Г. С., Костюченко І. В. Використання непродовольчого зерна пшениці в технології зернового хліба. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2009. № 36 (1). С. 198–203.

²⁵ Миколенко С. Ю., Соколов В. Ю., Пенькова В. В. Дослідження технологічних аспектів виробництва хліба із диспергованої зернової маси з

процесу до 6 год, при цьому покращуються органолептичні показники якості, збільшується на 15...20 % питомий об'єм зернового хліба, підвищується на 5...25 % комплексна оцінка його якості.

Для скорочення на 25 % тривалості процесу замочування і зниження мікробіологічного забруднення зерна полби у роботі²⁶ додавали целюлолітичні ферментні препарати Целюлад, Беталад, Ксилалад та бурштинову кислоту у якості антисептика. Коротший процес замочування зерна знижує ступінь гідролізу білку та крохмалю, що є передумовою поліпшення якості зернового хліба.

Ефект покращення структури та фізико-хімічних властивостей зернового тіста та хліба часто отримується під час вирішення завдання підвищення харчової цінності цих виробів з використанням нетрадиційної сировини. Так, підвищенню формостійкості, питомого об'єму хліба з цілого зерна пшениці сприяє внесення до складу його рецептури 25 % борошна з крихти пшеничних і вівсяних пластівців та застосування різних способів приготування тіста²⁷. Авторами²⁸ доведено, що застосування в технології зернового хліба гідролізату моллюсків з одного боку сприяє його збагаченню біологічно цінним білком та мінеральними речовинами а з іншого – веде до прискорення процесів дозрівання та стабілізації консистенції зернового тіста.

Для регулювання якості зернового хліба доцільним є застосовування поліпшувачів окисної дії, ферментних препаратів, емульгаторів та загущувачів, що спрямовані на укріплення клейковини, підвищення формо- і газоутримувальної здатності та стійкості тіста.

Відомо, що покращення структури пшеничного тіста, зазвичай, досягається за використання поліпшувачів окисної дії, зокрема, аскорбінової кислоти, що безпосередньо діє на білки клейковини,

використанням додаткової підготовки сировини. *Зернові продукти і комбікорми*. 2016. № 64.(4). С. 10–15. DOI:10.15673/gpmf.v64i4.260

²⁶ Олійник С. Г., Запаренко Г. В., Королюк К. С. Дослідження впливу ферментних препаратів на процес замочування зерна полби сорту Голіковська. *Наукові праці НУХТ*. 2015. № 4 (21). С. 218–223.

²⁷ Макарова О. В., Пшенишнюк Г. Ф., Іванова Г. С. Підвищення якості хліба на зерновій основі. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. № 4 (60). С. 38–44.

²⁸ Дейниченко Г. В., Крамаренко Д. П., Кірсєва О. І. Вивчення реологічних властивостей зернового тіста з додаванням гідролізату з моллюсків в процесі змішування та бродіння. URL: http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_131/33.pdf

зміцнюючи пшеничну клейковину за рахунок утворення дисульфідних зв'язків^{29, 30}.

Відомим шляхом поліпшення структурно-механічних властивостей пшеничного тіста, особливо із борошна зі слабкою клейковиною, є додавання ферментного препарату глюкозооксидази, що відноситься до оксидоредуктаз. глюкозооксидаза каталізує реакцію перетворення β -D-глюкози до D-глюконо- δ -лактону та перекису водню, який бере участь у процесах окиснення тілових груп білково-протеїназного комплексу³¹. У технології зернового пшеничного хліба експериментально обґрунтовано доцільність застосування глюкозооксидази разом з ферментними препаратами целюлолітичної і геміцелюлолітичної дії Целюладу і Ксилоладу, що каталізують гідроліз некрохмальних полісахаридів зернового тіста та сприяють збільшенню вмісту в ньому клейковини за рахунок руйнування білок-полісахаридних зав'язків. В результаті комплексної дії ферментів покращуються пружньо-еластичні властивості, знижується адгезія та збільшується газотримувальна здатність тіста³².

Для регулювання структурно-механічних властивостей хліба використовуються емульгатори (ефіри діацетилвинної кислоти з моно- і діацилгліцеридами тощо), які взаємодіють із білками, вуглеводами та ліпідами тіста з утворенням комплексних сполук. Встановлено, що додавання емульгаторів³³ або комплексу емульгаторів з ферментами ксиланазами³⁴ спричиняє позитивний вплив на структуру тіста і текстурні властивості цільнозернових виробів.

²⁹ Hrušková M, Novotná D. Effect of ascorbic acid on the rheological properties of wheat fermented dough. *Czech J. Food Sci.* 2003. № 21 (4). С. 137–144.

³⁰ César Baratto, Natalia Branco, Jane Mary, Lafayette Neves, Gelinski Sydnei, Mitidieri Silveira. Becker Influence of enzymes and ascorbic acid on dough rheology and wheat bread quality. *African Journal Of Biotechnology.* 2015. № 14 (46). P. 3124–3130. DOI: 10.5897/AJB2015.14931

³¹ Bonet A., Rosell C. M., Perez-Munuera I., Hernando I. Rebuilding gluten network of damaged wheat by means of glucose oxidase treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2007. DOI: 10.1002/jfsa.2846

³² Oliinyk S., Samokhvalova O., Zaparenko A., Shidakova-Kamenyuka E., Chekanov M. Research into the impact of enzyme preparations on the processes of grain dough fermentation and bread quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. №. 3/11 (81). P. 46–53.

³³ Akdogan H., Tilley M., Okkyung K. Chung. Effect of Emulsifiers on Textural Properties of Whole Wheat Tortillas During Storage. *Cereal Chem.* № 83 (6). 2006. P. 632–635. DOI: 10.1094/CC-83-0632

³⁴ Sheikholeslami Z., Mahfouzi M., Karimi M., Ghiafehdaoodi M. Modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie.*

Дієвим способом формування необхідних в'язко-пластичних і пружньо-еластичних характеристик тіста є додавання під час його приготування гідроколоїдів, таких як целюлоза, геміцелюлози, пектини, карагінани, рослинні і мікробні камеді³⁵. Серед мікробних полісахаридів важливу роль регулятора структури тіста відіграє мікробний біополімер ксантан.

2. Досвід використання ксантану для покращення якості хлібобулочних виробів

Для стабілізації структури тіста широко застосовуються мікробні полісахариди, зокрема ксантан – екзогетерополісахарид, який отримується глибинною ферментацією бактерій *Xanthomonas campestris*. Молекула гетерополісахариду складається з D-глюкози, D-манози і D-глюкуронової кислоти^{36, 37}. Важливою функціональною властивістю ксантану є здатність загущувати водні розчини за невеликих концентрацій препарату^{38, 39}. Чисельними дослідженнями^{40, 41, 42} встановлено, що завдяки своїм функціональним властивостям ксантан може ефективно застосовуватися у хлібопеченні для покращення якості хлібобулочних виробів. Його додавання сприяє поліпшенню гідрофільних і структурно-механічних характеристик дріжджового тіста, підвищенню газо-, водо- і формотримувальної здатностей

³⁵ Ferrero C. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids*. 2017. № 68. P. 15–22. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.11.044.

³⁶ Rocks J. K. Xanthan Gum. *Food Technology*. 1991. № 25. P. 476–483.

³⁷ Jansson P. E., Kenne L., Lindberg B. Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*. *Carbohydr. Res.* 1975. V. 45. P. 275–282. DOI: 10.1016/s0008-6215 (00)85885-1

³⁸ García-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A., Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*. № 18 (7), 2000. P. 549–579, ISSN 0734-9750, DOI: 10.1016/S0734-9750 (00)00050-1.

³⁹ Melton L. D., Mindt L., Rees D. A. Sanderson G. R. Covalent structure of the polysaccharide from *Xanthomonas campestris* evidence from partial hydrolysis studies. *Carbohydr. Res.* 1976. № 46 (2). P. 245–257. DOI: 10.1016/s0008-6215 (00)84296-2

⁴⁰ Tebben L., Li Y. Effect of xanthan gum on dough properties and bread qualities made from whole wheat flour. *Cereal Chemistry*. 2019. № 96 (2). P. 263–272. DOI:10.1002/cche.10118

⁴¹ Namita J., Jasvirinder S. K. Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Biopolymers for Food Design*. 2018. P. 95–123. DOI:10.1016/B978-0-12-811449-0.00004-9

⁴² Ramalingam C., Jhanu P., Shraddha M. Applications of Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2014. № 27 (1), P. 322–324.

тістових заготовок, органолептичних та фізико-хімічних характеристик виробів, подовженню термінів їх зберігання.

У результаті вивчення впливу препарату ксантану на реологічні властивості пшеничного тіста встановлено, що його введення сприяє збільшенню в'язкості тіста, його водопоглинальної здатності, покращенню структури хліба^{43,44}.

Доведено, що додавання 0,1...0,5 % ксантану сприяє підвищенню газоутримувальної здатності пшеничного тіста, підвищенню питомого об'єму хліба⁴⁵. Згідно з даними, наведеними у роботі⁴⁶, внесення 0,1...0,7 % ксантану до маси борошна веде до збільшення пружності та зниження розтяжності клейковини. Суттєве збільшення об'єму і пористості м'якушки хліба спостерігається за додавання 0,5 % мікробного полісахариду. Авторами⁴⁷ доведена доцільність використання екзополісахариду торгової марки «Ксампан» для отримання булочних виробів під час перероблення борошна зі зниженим вмістом клейковини. Його присутність в тісті в кількості 0,05...0,50 % до маси борошна забезпечує виробам більш високі органолептичні й фізико-хімічні показники якості порівняно з виробами без добавки⁴⁸.

Встановлено⁴⁹, що підвищення «сили» пшеничного борошна у присутності ксантану відбувається за рахунок зміцнення клейковини завдяки утворенню білково-полісахаридних комплексів. Вважається, що не менше 40 % клейковинного білка гліадину вступає в комплексні

⁴³ Jai Pal Singh Sidhu, Bawa A, S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *International Journal of Food Properties*. 2002. № 5 (1). P 1–11, DOI: 10.1081/JFP-120015588

⁴⁴ Sanderson G. R. Polysaccharides in foods. *Food Technol.* 1981. 35. № 7. P. 50–57.

⁴⁵ Linlaud N. E., Puppo M. C., Ferrero C. Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. 2009. *Cereal Chemistry*. № 86 (4). P. 376–382.

⁴⁶ Samokhvalova O., Chernikova Y., Oliinyk S., Kasabova K. The effect of microbial polysaccharides on the properties of wheat flour. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 6. P. 11–15. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56177.

⁴⁷ Самохвалова О. В. Використання мікробних полісахаридів у хлібопеченні. *Науковий вісник полтавського університету споживчої кооперації України. Серія «Технічні науки»*. 2004. № 2 (9). С. 69–71.

⁴⁸ Sidhu Jai Pal Singh, Bawa A, S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *J. Food Prop.* 2002. № 1. P. 1–11.

⁴⁹ Воцелко С. К., Гвоздяк Р. И., Калакура М. М., Самохвалова О. В. Вплив бактеріального полісахариду ксантану на властивості білків пшениці. *Мікробіологічний журнал*. 1996. № 3 (58). С. 71–78.

сполуки з біополімером. Вивчення механізму взаємодії полісахаридів мікробного походження і білків борошна дозволило висловити припущення про електростатичну природу утворення глікопротеїдних комплексів полісахарид-клейковина. Це, ймовірно, пов'язано також з тим, що аніонний полісахарид ксантан утворюючи нестабільні сполуки з білковими молекулами, укріплює клейковину⁵⁰.

Ксантан може бути застосовано сумісно з іншими рослинними камедями в борошняних сумішах для поліпшення їх хлібопекарських властивостей. Встановлено, що додавання камеді з *Cissus pophea* і ксантану до суміші, що містить пшеничне борошно і борошно з насіння таро, сприяє отриманню тіста і хліба з гарними реологічними властивостями⁵¹.

Досліджено⁵² вплив двох мікробних полісахаридів, а саме енпосану, що продукується бактеріями *Vacillus polymyxa* і ксампану, що продукується бактеріями *Xanthomonas campestris*. Внесення препаратів обох полісахаридів у кількості 0,1...0,7 % до маси пшеничного борошна сприяє підвищенню його «сили». Спостерігається також зміцнювальна дія на клейковину пшеничного борошна, що виявляється у підвищенні її пружності та зниженню розтяжності. За внесення енпосану та ксампану у дослідному інтервалі дозувань дещо збільшуються водопоглинальна здатність тіста і його пружність, а також зменшується розтяжність, що свідчить про зростання його міцності та стабільності. Проте вплив енпосану виражений дещо меншою мірою, ніж ксампану.

Інтерес викликають дані щодо впливу ксантану на властивості крохмалю пшеничного борошна, які доводять, що між цими двома полісахаридами відбувається взаємодія. Так, під час вивчення молекулярно-масового розподілу пшеничного крохмалю, амілози, а також амілопектину в присутності препарату відмічено утворення комплексів за рахунок структурних перетворень цих полісахаридів. В результаті взаємодії ксантану з амілози спостерігається збільшення

⁵⁰ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁵¹ Escuosp K. O., Escuoso Y. A., Lutz H., Bayer E. Incorporation of plant gums into non-wheat flours. *Adv. Food Sci.* 1999. № 5–6. С. 184–191.

⁵² Samokhvalova O., Chernikova Y., Oliinyk S., Kasabova K. The effect of microbial polysaccharides on the properties of wheat flour. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 6. P. 11–15. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56177

її молекулярної маси⁵³. Дослідження⁵⁴ також доводять, що ксантан, взаємодіючи з макромолекулярними структурами крохмалю, може змінювати його структуру. Взаємодія цього полісахариду з крохмалем приводить до утворення аморфної фази м'якушки хліба^{55, 56, 57}. У роботі⁵⁸ було виявлено, що ксантан стабілізує клейстери з крохмальною лотосу завдяки міжмолекулярним взаємодіям, сповільнюючи його ретроградацію.

Авторами⁵⁹ відзначається, що між амілозою крохмалю і камедями, в тому числі і ксантановою, відбувається взаємодія, яка призводить до зниження атакуючості крохмалю амілолітичними ферментами. Зазначається, що вплив ксантану на крохмаль пшеничного борошна також забезпечує уповільнення процесу його ретроградації, що сприяє гальмуванню процесів черствіння хлібобулочних виробів під час їхнього зберігання. Дослідники⁶⁰ вказують, що під впливом ксантану температура клейстеризації крохмалю пшениці і максимальна в'язкість борошняної суспензії, визначені за амілографом, не змінилися. Однак окремі повідомлення про вплив біополімеру на

⁵³ Воцелко С. К., Гвоздяк Р. И., Калакура М. М., Самохвалова О. В. Влияние бактериального полисахарида ксантана на властивості білків пшениці. *Мікробіологічний журнал*. 1996. № 3 (58). С. 71–78.

⁵⁴ Zheng M., Su H., You Q., Zeng S., Zheng B., Zhang Y., Zeng H. An insight into the retrogradation behaviors and molecular structures of lotus seed starch-hydrocolloid blends. 2019. *Food Chemistry*. P. 548–555. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.166>.

⁵⁵ Ferrero C., Martino M. N., Zaritzky N. E. Corn Starch-Xanthan Gum Interaction and Its Effect on the Stability During Storage of Frozen Gelatinized Suspension. *Starch – Stärke*. 1994. № 46 (8). P. 300–308. DOI: 10.1002/star.19940460805.

⁵⁶ Brennan C. S., Tan C. K., Kuri V., Tudorica C. M. The pasting behaviour and freeze-thaw stability of native starch and native starch-xanthan gum pastes. *International Journal of Food Science and Technology*. 2004. № 39 (10). P. 1017–1022. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00884.x

⁵⁷ Bourekoua H., Różyło R., Benatallah L., Wójtowicz A., Łysiak G., Zidoune M. N., Sujak A. Characteristics of gluten-free bread: quality improvement by the addition of starches/hydrocolloids and their combinations using a definitive screening design. *European Food Research and Technology*. 2017. № 244 (2). P. 345–354. DOI: 10.1007/s00217-017-29

⁵⁸ Culetu A., Denisa E. Duta M., Varzakas Th. The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Index. *Foods*. 2021. № 10 (12). P. 3121. DOI:10.3390/foods10123121

⁵⁹ Christianson D. D., Hodge J. E., Osborne D., Detroy R. W. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum and cellulose gum. *Cereal Chem*. 1981. № 6 (58). P. 513–517.

⁶⁰ Sidhu Jai Pal Singh, Bawa A, S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *J. Food Prop*. 2002. № 1. P. 1–11.

властивості різних видів крохмалю доводять протилежне, що й спонукає вчених до подовження вивчення цього процесу й за нашого часу.

Автори роботи⁶¹ довели, що додавання 0,1 % різних камедей під час приготування хліба приводить до втрачання ним меншої кількості вільної вологи через 24 год з початку його зберігання. Причому, за введення ксантану волога втрачається менше, ніж за внесення к-карагенану, карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та альгінату. Встановлено також, що присутність ксантану в хлібі знижує твердість його м'якушки. Це пояснюється гарними гідрофільними властивостями біополімеру, а також його взаємодією з молекулами різних крохмалів⁶².

Результатами досліджень вітчизняних і закордонних вчених доведено, що ксантан є ефективним структуроутворювачем у тістових системах, в яких відсутня клейковина, а саме у технології безглютенових і безбілкових виробів^{63, 64, 65}.

У роботах^{66, 67} доведено, що він найбільшою мірою впливає на в'язко-пружні властивості безглютенового і безбілкового тіста порівняно з іншими гідроколомідами. Результати порівняльної оцінки

⁶¹ Guarda A, Rosell C. M., Benedito C., Galotto M. J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloid*. 2004. № 18 (2). P. 241–247. DOI:10.1016/S0268-005X(03)00080-8

⁶² Horstmann S., Belz M., Heitmann M., Zannini E., Arendt E. Fundamental Study on the Impact of Gluten-Free Starches on the Quality of Gluten-Free Model Breads. *Foods*. 2016. № 5 (4), P. 30. DOI: <http://doi.org/10.3390/foods5020030>

⁶³ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁶⁴ Crockett R., Vodovotz Ie. P. How Do Xanthan and Hydroxypropyl Methylcellulose Individually Affect the Physicochemical Properties in a Model Gluten-Free Dough. *Journal of Food Science*. 2011. № 76 (3). P. 274–282. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02088.x

⁶⁵ Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 6 (11). P. 23–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184464

⁶⁶ Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 6 (11). P. 23–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184464

⁶⁷ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

впливу на реологічні властивості безклеювинного тіста і якість хліба таких гідроколоїдів, як альгінат натрію, к-каррагенан, ксантан і оксипропілметилцелюлоза показали, що найбільший укріплюючий ефект на структуру тіста надають ксантан і альгінат натрію. Ці добавки сприяють збільшенню стабільності тіста під час бродіння, а також підвищенню водоутримувальної здатності готових виробів⁶⁸.

Підтверджено, що внесення різних гідроколоїдів, таких як гідроксипропілметилцелюлоза (ГПМЦ), карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), камедь подорожника, ріжкового дерева, гуару і ксантану сприяє підвищенню стабільності й еластичності безглютенового тіста⁶⁹. Встановлено міру зміцнюючого ефекту полісахаридів на структуру безглютенового тіста: ксантан > КМЦ > пектин > агар > β-глюкан⁷⁰.

Авторами⁷¹ показано, що додавання ксантану, енпосану або гелану в кількості 0,1% до маси готових виробів забезпечує потрібну консистенцію безклеювинного тіста для маффінів. Використання цих добавок у визначених кількостях приводить до збільшення питомого об'єму і забезпечення пористої структури виробів під час випікання. Встановлено, що в процесі зберігання зменшується кришкуватість виробів, що свідчить про сповільнення черствіння маффінів з дослідними біополімерами. Усі досліджувані мікробні полісахариди виявляють однаковий характер впливу на ті чи інші показники, але найбільшу дію виявляє ксантан, найменшу – гелан⁷².

Формування структури безбілкових дієтичних хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів, які виготовляться без

⁶⁸ Rosell C. M., Rojas J. A., Barber C. B. Influence of hydrocolloids high rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 2001. № 1. P. 75–81. DOI: 10.1016/S0268-005X(00)00054-0

⁶⁹ Maleki Gisoo, Jafar Mohammadzadeh Milani. Effect of Guar Gum, Xanthan Gum, CMC and HPMC on Dough Rheology and Physical Properties of Barbari Bread. *Food Science and Technology Research*. 2013. № 19. P. 353–358.

⁷⁰ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁷¹ Mykhaylov V. Samokhvalova O., Kucheruk Z. Kasabova K. Study of microbial polysaccharides' impact on organoleptic and physical-chemical parameters of protein-free and gluten-free floury products. *Eureka: Life Sciences, Food Science and Technology*. 2019. № 6. P. 37–43. DOI: 10.21303/2504-5695.2019.001067

⁷² Samokhvalova O., Kucheruk Z. Kasabova K., Oliinyk S. Shmatchenko N. Manufacturing approaches to making muffins of high nutritional value. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 3 (56). P. 47–51. DOI: DOI: 10.15587/2706-5448.2020.221095

пшеничного борошна, ускладнено через відсутність у тісті клейковини. У таких тістових системах необхідно використовувати структуроутворювачі, які б могли у системі замінити клейковинні білки. Вченими запропоновано⁷³ новий склад «системи безбілкового тіста» на основі кукурудзяного крохмалю з використанням ксантанової камеді. Показано, що в системі «крохмаль кукурудзяний – борошно житнє – ксантан» в співвідношенні 100: 5: (0,1...0,5) останній суттєво впливає на формування реологічних властивостей хліба безбілкового.

Значний інтерес представляють результати вивчення можливості використання ксантану в технології замороженого хліба для покращення текстури і споживчих властивостей виробів. Дослідження⁷⁴ показали, що після дефростації і випікання напівфабрикатів виробу з додаванням ксантану мали більший об'єм і кращу розпушеність порівняно з контрольними зразками. Цікаво, що додавання ксантанової камеді та її поєднання з гуаровою камеддю в замороженому хлібному тісті знижувало кількість води, що замерзає, а, відповідно і ентальпію плавлення⁷⁵.

Дослідження⁷⁶ довели, що хліб з додаванням суміші глютену і ксантану мали стабільні показники якості під час циклу заморожування-відтаювання до 90 днів. Встановлено, що стабільність глютену у присутності ксантану при заморожуванні-відтаюванні в цілому підвищувалася. Авторами робиться припущення, що ксантан і глютен утворюють більш компактні комплекси за рахунок електростатичних взаємодій, збільшується молекулярна маса білків глютену від 2×10^6 Да до 10^8 Да. Поряд з цим FTIR-спектроскопія свідчить, що при заморожуванні до 90 днів у суміші «ксантан-глютен» спостерігається більше α -спіралей (28,98 %) і менше

⁷³ Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 6 (11). P. 23–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184464

⁷⁴ Mandala G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*. 2005 № 66 (3), P. 291–300. DOI. 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.020

⁷⁵ Guinoza M. T., Chevallier S., Pessôa Filho P. A. Impact of guar and xanthan gums on proofing and calorimetric parameters of frozen bread dough. *Journal of Cereal Science*. 2008. № 48 (3). P. 741–746.

⁷⁶ Geyi Wu, Xuwei Liu, Zhuoyan Hu, Kai Wang, Lei Zhao, Impact of xanthan gum on gluten microstructure and bread quality during the freeze-thaw storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2022. № 162. ISSN 0023-6438. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113450

міжмолекулярних β -складчастих листів (9,45 %) порівняно з глютенном без добавки. Висловлюється думка, що полісахарид захищає клейковинну сітку від руйнування під час заморожування-відтаювання.

Досліджувався вплив ксантану на реологічні властивості тіста та якість хліба з цілнозернового борошна. Встановлено, що завдяки включенню ксантану підвищується водопоглинальна здатність та час утворення тіста, збільшується питомий об'єм хліба та більш ніж у 2 рази зменшується твердість м'якушки свіжого хліба, знижуються втрати вологи, в тому числі під час його зберігання⁷⁷.

Таким чином, результати аналітичного огляду сучасних шляхів використання мікробного екзополісахариду ксантану у технології хлібобулочних виробів свідчать про високу ефективність його застосування для регулювання структурно-механічних властивостей різних тістових систем. Це підтверджує доцільність проведення досліджень щодо його використання для покращення структури тіста та якості хліба з пророщеного зерна пшениці.

3. Вплив ксантану на формування структури тіста та показники якості хліба з пророщеного зерна пшениці

Метою досліджень було визначення впливу ксантану на реологічні властивості тіста, а також на органолептичні та фізико-хімічні показники якості хліба з пророщеного зерна пшениці.

У дослідженнях використовували зерно пшениці (сорт Харківська-30), що було отримано в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України (м. Харків, Україна), мікробний полісахарид ксантан (виробник "CP Kelco ApS", Данія), дріжджі хлібопекарські пресовані (ТМ «Львівські дріжджі», Україна) та сіль кухонну (ТМ Артемсіль, Україна).

Приготування дослідних і контрольних зразків тіста та хліба здійснювали таким чином. На першому етапі пророщували зерно пшениці за наступною технологією: промите зерно замочували у воді (гідромодуль 1:1,5, $t = 20 \pm 2$ °C) протягом 24 год і залишали до появи паростків (1–2 мм) за температури 20 ± 2 °C і відносної вологості повітря 90 ± 5 % протягом 24 год. Далі пророщене зерно промивали та подрібнювали на лабораторному подрібнювачі з використанням матриці з діаметром отворів 2...3 мм.

⁷⁷ Tebben L., Li Y. Effect of xanthan gum on dough properties and bread qualities made from whole wheat flour. *Cereal Chemistry*. 2019. № 96 (2). P. 263–272. DOI:10.1002/cche.10118

Для визначення структурно-механічних властивостей тіста готували модельну систему без додавання дріжджів вологістю 47 % за рецептурною (г): зерно пшениці – 100; сіль – 1,5; ксантан – 0,1...0,4. Контрольні зразки тіста готували без додавання ксантану.

Для виготовлення хліба заміщували тісто за викладеною вище рецептурою, але з додаванням 3 % хлібопекарських пресованих дріжджів. Замішане тісто піддавали дозріванню протягом 90 хв. Виброджене тісто ділили на шматки, які потім округлювали та вистоювали протягом 30 ± 5 хв за температури 37 ± 1 °С. Хліб випікали протягом 25 ± 5 хв за температури 200 ± 20 °С. У якості контрольного використовували хліб без додавання ксантану.

Для встановлення впливу ксантану на реологічні властивості тіста з пророщеного зерна пшениці оцінювали наступні показники. Розпливання кульки тіста визначали за зміною діаметра кульки тіста масою 100 г під час її відлежування⁷⁸. Адгезію тіста вимірювали на адгезіометрі за калібрувальним графіком залежності зусилля відриву тіста $F_{\text{від}}$ від розтяжності L (см)⁷⁹. Показники модулю миттєвої пружності, модулю еластичності та пластичну в'язкість тіста визначали на плоскопаралельному еластопластометрі Толстого⁸⁰.

Структурно-механічні властивості готових виробів визначали на пенетрометрі “Labor” шляхом визначення опору (ступеня penetрації) м'якушки хліба проникаючому в неї індентору (кут 60°)⁸¹.

Органолептичні показники якості виробів оцінювали за зовнішнім виглядом, станом м'якушки, ароматом та смаком, серед фізико-хімічних досліджували показники титрованої кислотності, пористості, питомого об'єму та вологості⁸².

Обробку отриманих експериментальних даних здійснювали в середовищі електронних таблиць MS Office Excel. Експериментальні

⁷⁸ Дробот В.І. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів. Київ, «Кондор-видавництво», 2015. 972 с.

⁷⁹ Горальчук А.В., Пивоваров П.П., Грінченко О.О., Погожих М.І. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Харків : ХДУХТ, 2006. 63 с.

⁸⁰ Дробот В.І. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів. Київ, «Кондор-видавництво», 2015. 972 с.

⁸¹ Горальчук А.В., Пивоваров П.П., Грінченко О.О., Погожих М.І. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Харків : ХДУХТ, 2006. 63 с.

⁸² Geyi Wu, Xuwei Liu, Zhuoyan Hu, Kai Wang, Lei Zhao, Impact of xanthan gum on gluten microstructure and bread quality during the freeze-thaw storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2022. № 162. ISSN 0023-6438. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113450

дані обробляли статистично за методом Фішера-Стьюдента за рівня надійності 0,95. Результати досліджень розраховували як середнє не менше ніж п'яти повторностей.

Аналіз результатів досліджень свідчать, що додавання ксантану в кількості 0,1...0,4 % до маси зерна впливає на реологічні властивості зернового тіста.

Експериментальні дані визначення розпливання кульки контрольного і дослідних зразків тіста з пророщеного зерна пшениці представлено у табл. 1.

Отримані результати свідчать, що тісто з ксантаном розпливається меншою мірою, ніж контрольний зразок. Так, за рівних початкових діаметрів кульок тіста (50 мм) наприкінці експерименту показник розпливання зразків із додаванням 0,1...0,4 % ксантану був менше відносно контрольного на 6,0...14,3 %, що, свідчить про укріплення структури тіста.

Таблиця 1

**Вплив ксантану на показник розпливання кульки тіста
($n=5, p \leq 0,05, \sigma=3...5\%$)**

Найменування показника	Значення показника в зразках тіста				
	без добавки (контроль)	з додаванням ксантану, % до маси зерна			
		0,1	0,2	0,3	0,4
Діаметр кульки тіста, мм	70	60	63	62	60

На наш погляд, це може бути пов'язано зі здатністю ксантану значно зв'язувати воду, що сприяє кращому структуруванню тістової системи і меншому її розрідженню, що підтверджується даними інших науковців^{83, 84}.

За додавання ксантану на 10...21 % знижується також і міцність адгезії тіста (рис. 1), що пояснюється як його високими водопоглинальними та водоутримуючими властивостями, так і здатністю утворювати сполуки з гідроколоїдами борошна, що також сприяє зміцненню структури тіста.

⁸³ Jai Pal Singh Sidhu, Bawa A, S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *International Journal of Food Properties*. 2002. № 5 (1). P 1–11, DOI: 10.1081/JFP-120015588

⁸⁴ Linlaud N. E., Puppo M. C., Ferrero C. Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. 2009. *Cereal Chemistry*. № 86 (4). P. 376–382.

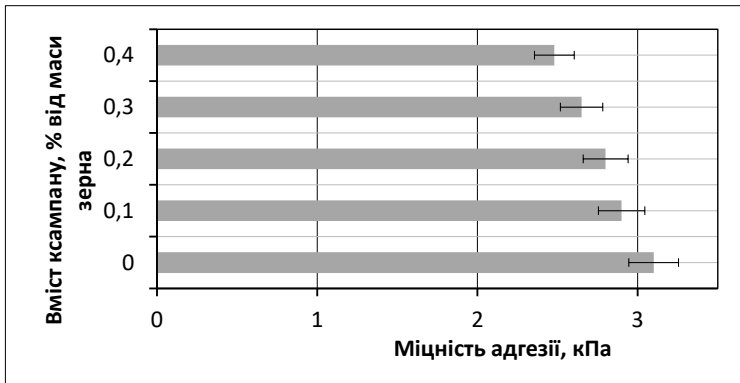


Рис. 1. Вплив ксантану на показник міцності адгезії тіста із пророщеного зерна пшениці (n=5, $p \leq 0,05$, $\sigma = 3 \dots 5$ %)

Відповідно до сучасних уявлень науковців, ксантан з білками утворюють компактні комплекси за допомогою електростатичних взаємодій⁸⁵. Використання мікробного полісахариду сприяє укріпленню клейковини⁸⁶ і утворенню міжмолекулярних зав'язків із крохмалем^{87, 88}.

Позитивний вплив ксантану на структуру тіста з пророщеного зерна пшениці підтвердився і під час дослідження його пружньо-еластичних і пластично-в'язких властивостей на еластопластометрі Толстого (рис. 2 а-в).

⁸⁵ Linlaud N. E., Puppo M. C., Ferrero C. Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. 2009. *Cereal Chemistry*. № 86 (4). P. 376–382.

⁸⁶ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁸⁷ Zheng M., Su H., You Q., Zeng S., Zheng B., Zhang Y., Zeng H. An insight into the retrogradation behaviors and molecular structures of lotus seed starch-hydrocolloid blends. 2019. *Food Chemistry*. P. 548–555. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.166>.

⁸⁸ Ferrero C., Martino M. N., Zaritzky N. E. Corn Starch-Xanthan Gum Interaction and Its Effect on the Stability During Storage of Frozen Gelatinized Suspension. *Starch – Stärke*. 1994. № 46 (8). P. 300–308. DOI: 10.1002/star.19940460805.

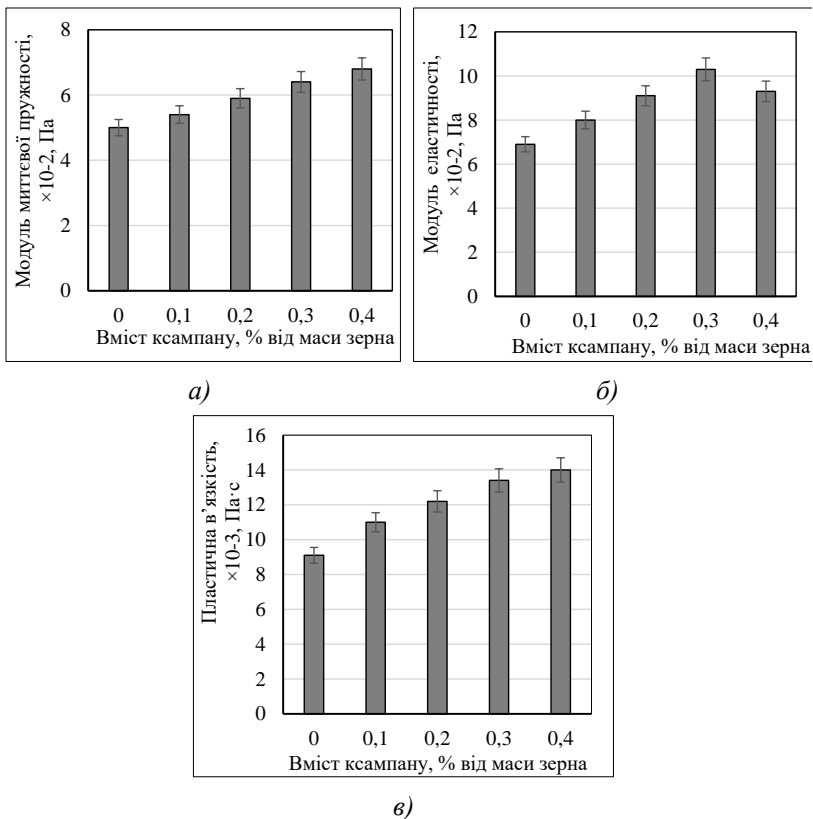


Рис. 2. Структурно-механічні характеристики тіста із пророшеного зерна пшениці:
а – модуль миттєвої пружності, б – модуль еластичності,
в – пластична в'язкість ($n=5, p \leq 0,05, \sigma=3...5\%$)

З представлених на рисунку 2а даних видно, що додавання 0,1...0,4 % ксантану сприяє зростанню модуля миттєвої пружності тіста на 8,0...36,0 %. Слід зазначити, що модуль еластичності тіста (рис. 2б) за додавання 0,1...0,3 % ксантану збільшується на 16,0...49,0 % відносно контрольного зразка. За подальшого збільшення дозування добавки до 0,4 % поліпшуючий ефект знижується, але модуль еластичності тіста залишається вищим, ніж у контрольного зразка. Показник пластичної в'язкості тіста з мікробним полісахаридом у всьому дослідному діапазоні також підвищується (рис. 2в). Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень

інших вчених щодо впливу ксантану на реологічні властивості різних видів тіста. Так, дані, отримані з використанням альвеографа Шопена, свідчать про підвищення еластичності тіста з пшеничного борошна за додавання ксантану у кількості 0,1...0,3 % і зниження її за збільшення дозування до 0,5 %, що співпадає з отриманими результатами. За допомогою методів фаринографії та реометрії також доведено підвищення еластичності та в'язко-пружних властивостей безглютенового тіста з використанням рисового борошна⁸⁹. У роботі⁹⁰ на еластопластометрі Толстого встановлено покращення пружно-еластичних та пластично-в'язких властивостей безбілкового тіста із збільшенням кількості ксантану від 0,3 до 0,5 % до маси кукурудзяного крохмалю.

Тенденція позитивного впливу ксантану на структуру тіста прослідковувалася і під час аналізу структурно-механічних властивостей дослідних і контрольного зразка хліба (рис. 3).

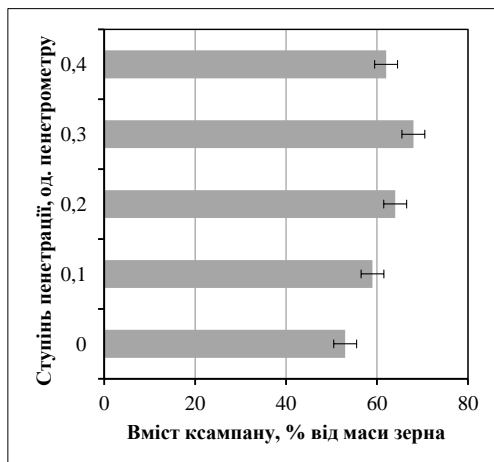


Рис. 3. Вплив ксантану на ступінь пенетрації м'якушки хліба

⁸⁹ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁹⁰ Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O., Goriainova I., Rogovaya A., Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European J. Enterp. Technol.* 2019. № 6. P. 23–32. DOI 10.15587/1729-4061.2019.184464

З рисунку видно, що внесення 0,1...0,3 % ксантану сприяє підвищенню ступеню penetрації м'якушки хліба на 11,0...28,0 %, що зумовлюється збільшенням пружньо-еластичних характеристик тіста. За додавання 0,4 % ксантану цей показник дещо знижується, хоча його значення перевершує таке у контрольного зразка.

У табл. 2 наведені результати визначення фізико-хімічних і органолептичних показників якості контрольних та дослідних зразків хліба з прощеного зерна.

Таблиця 2

Показники якості зернового хліба з ксантаном

Показник	Хліб без добавок (контроль)	Хліб з додаванням ксантану, % до маси зерна			
		0,1	0,2	0,3	0,4
Титрована кислотність, град	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Вологість, %	45,0	45,5	45,7	46,0	46,1
Пористість, %	54	56	58	60	57
Питомий об'єм, см ³ /100 г	190	210	230	250	230
Зовнішній вигляд хліба: – поверхня скоринки	шорохувата, із незначними тріщинами, незначно випукла	шорохувата, без тріщин, випукла			шорохувата, без тріщин, менш випукла
– колір скоринки	світло-коричневий				
Стан м'якушки	нееластична, із нерівномірною крупною пористістю	еластична, із рівномірною крупною пористістю	еластична, із рівномірною дрібною пористістю	менш еластична, із рівномірною дрібною пористістю	
Смак і запах	властиві зерновому хлібу, без сторонніх присмаків і запахів				

Показано, що ксантан не впливає на показник титрованої кислотності хліба. Порівняно з контрольним зразком дослідні вироби з додаванням 0,1...0,4 % ксантану характеризуються вищими показниками пористості та питомого об'єму на 5,1...11,0 % і 15,7...31,6 % відповідно. Найкращі результати досягаються за

внесення 0,3 % ксантану. Спостерігається також і зростання вологості хліба за мірою збільшення кількості ксантану в тісті (табл. 2), що забезпечується високими водопоглинальною та водоутримувальною здатністю даного гідроколоїда. Такого роду закономірності щодо зміни фізико-хімічних показників хліба у присутності ксантану відмічені у роботах інших авторів під час вивчення його впливу на якість хліба з цільнозернового борошна⁹¹, хліба, виготовленого з замороженого тіста, перепічок⁹², безбілкових та безглютенових виробів^{93, 94}.

Результати дослідження органолептичних показників якості зернового хліба показали, що за внесення ксантану виробу характеризується кращим станом поверхні та м'якушки. Ці вироби відрізнялися також більш випуклою та гладкою поверхнею без підривів і тріщин, у той час як у контрольних зразків спостерігалися незначні тріщини. За внесення ксантану м'якушка зернового хліба порівняно з контрольним зразком мала кращу еластичність, більш рівномірну і розвинену пористість. Змін кольору скоринки, смаку і запаху хліба у присутності ксантану в дослідному інтервалі дозувань не виявлено.

Таким чином, додавання ксантану сприяє покращенню структурно-механічних характеристик тіста з пророщеного зерна пшениці та фізико-хімічних і органолептичних показників якості випечених виробів.

ВИСНОВКИ

1. Зерновий хліб, особливо з пророщеного зерна, завдяки повному використанню морфологічних складових та біоактивації процесів в зернівці має підвищений вміст багатьох біологічно активних речовин, особливо токоферолів, вітамінів С та групи В, фітоестрогенів,

⁹¹ Tebben L., Li Y. Effect of xanthan gum on dough properties and bread qualities made from whole wheat flour. *Cereal Chemistry*. 2019. № 96 (2). P. 263–272. DOI:10.1002/cche.10118

⁹² Maleki Gisoo, Jafar Mohammadzadeh Milani. Effect of Guar Gum, Xanthan Gum, CMC and HPMC on Dough Rheology and Physical Properties of Barbari Bread. *Food Science and Technology Research*. 2013. № 19. P. 353–358.

⁹³ Lazaridou A., Duta, D., Papageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>

⁹⁴ Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products, *Eastern-European J. Enterp. Technol.* 2019. № 6. P. 23–32. DOI. 10.15587/1729-4061.2019.184464

фенольних сполук тощо. Регулярне споживання такого хліба зменшує ризик виникнення низки хвороб та позитивно позначається на життєвому тонусі людей в цілому. Проте тривалий процес замочування і, особливо, пророщування зерна спричиняє зниження його хлібопекарських властивостей. За показниками якості зерновий хліб поступається виробам з сортового борошна, що потребує корегування.

2. Результати огляду закордонних і вітчизняних джерел літератури щодо використання мікробного полісахариду ксантану в технології хлібобулочних виробів свідчать про його ефективність як структуроутворювача в різних борошняних системах, що відкриває перспективи для його застосування в технології хліба з пророщеного зерна пшениці.

3. У результаті проведених експериментів доведено, що внесення ксантану в кількості 0,1...0,4 % сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста з пророщеного зерна пшениці, а саме зниженню його адгезії, посиленню пружньо-еластичних і пластично-в'язких властивостей.

4. У присутності ксантану в дослідному інтервалі дозувань хліб з пророщеного зерна має більш розвинуту структуру, еластичну м'якушку із рівномірною дрібною пористістю. Також у дослідних зразках хліба спостерігається дещо більша вологість, зростання показнику пористості на 5,1...11,0 % і питомого об'єму – на 15,7...31,6 % порівняно зі зразками хліба без добавок. Найкращі показники якості мали зразки хліба з додаванням 0,3 % ксантану.

АНОТАЦІЯ

Ефективним шляхом покращення харчового статусу людини є регулярне споживання цільнозернового хліба, особливо з пророслого зерна як доступного джерела необхідних для життєдіяльності фізіологічно-функціональних інгредієнтів. Такий хліб характеризується високим вмістом некрохмальних полісахаридів, вітамінів, мінеральних та інших необхідних незамінних поживних речовин, особливо токоферолів, вітамінів С та групи В, фітоестрогенів, фенольних сполук, кількість яких збільшується за рахунок біоактивації під час пророщування зерна.

Разом з тим, активне протікання ферментативних процесів під час пророщування зерна призводить до погіршення реологічних властивостей тіста і отримання хліба з невеликим об'ємом, щільною, липкою і погано розпушеною м'якушкою. Тому розробка та вдосконалення технологій хліба з пророслого зерна є досить актуальною. Доведено, що мікробний полісахарид ксантан, що продукується бактеріями

Xanthomonas campestris є ефективним структуроутворювачем в різних борошняних системах, і позитивно впливає на формування структури тіста, а також текстурних і споживчих властивостей випечених виробів.

Експериментально доведено, що внесення ксантану в кількості 0,1...0,4 % сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста з пророщеного зерна пшениці, а саме зниженню його адгезії, посиленню пружньо-еластичних і пластично-в'язких властивостей. Присутність ксантану приводить до отримання хліба з пророщеного зерна з більш розвиненою структурою, еластичною м'якушкою із рівномірною дрібною пористістю і більшим питомим об'ємом. Для виготовлення хліба з найкращими показниками якості раціональним є застосування 0,3 % ксантану.

Література

1. De la Fuente-Arrillaga C., Martinez-Gonzalez M. A., Zazpe I. et al. Glycemic load, glycemic index, bread and incidence of overweight obesity in a Mediterranean cohort: the SUN project. *BMC Public Health*. 2014. № 14. P. 1091.

2. Serra-Majem, L., & Bautista-Castaño, I. Relationship between bread and obesity. *British Journal of Nutrition*. (2015). № 113 (S2). P. 29–35. DOI:10.1017/S0007114514003249/

3. Qi G., Zeng S., Takashima T., Nozoe K., Shobayashi M., Kakugawa K., Murakami K., Jikihara H., Zhou L., Shimamoto F. Inhibitory Effect of Various Breads on DMH-Induced Aberrant Crypt Foci and Colorectal Tumours in Rats. *BioMed Research International*. 2015. DOI: 10.1155/2015/829096/

4. Montonen J., Boeing H., Montonen J., Fritsche A., Schleicher E., Joost H.-G., M. B. Schulze, Steffen A., Pischon T. Consumption of red meat and whole-grain bread in relation to biomarkers of obesity, inflammation, glucose metabolism and oxidative stress. *Eur. J. Nutrition*. 2013. № 52. P. 337–345. DOI 10.1007/s00394-012-0340-6.

5. Mofidi A., Ferraro Z. M., Stewart K. A., Tulk H. M. F., Robinson L. E., Duncan A. M. The Acute Impact of Ingestion of Sourdough and Whole-Grain Breads on Blood Glucose, Insulin, and Incretins in Overweight and Obese Men. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2012. P. 9. DOI: 10.1155/2012/184710.

6. Slavin J. Why whole grains are protective: biological mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2003. № 62(01). P. 129–134. DOI: 10.1079/PNS2002221

7. Олійник С. Г., Запаренко Г. В., Самохвалова О. В. Технологія хліба полб'яного та пшеничного зернового з використанням ферментних препаратів. Харків : ХДУХТ, 2018. 139 с.

8. Махинько В. М., Махинько Л. В., Яценко О. М. Перспективи і проблеми виробництва зернового хліба. *Зберігання і переробка зерна*. 2008. № 9(111). С. 59–62.

9. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: A superior whole grain functional food? *Canadian J. Phys. and Pharm.* 2013. № 91. P. 429–441. DOI: 10.1139/cjpp-2012-0351.

10. Zilic S., Basic Z., Sukalovic V. H., Maksimovic V., Jankovic M., Filipovic M. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *Int. J. Food Sci. and Tech.* 2014. №. 49. P. 1040–1047.

11. Yang F., Basu T., Ooraikul B. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *Int. J. Food Sci. and Nutr.* 2001. № 52. P. 319–330.

12. Koehler P., Hartmann G., Wieser H., Rychlik, M. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *J. Agric. Food Chem.* 2007. № 55. P. 4678–4683. DOI: 10.1021/jf0633037.

13. Hung P. V., Hatcher D. W., Barker W. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chemistry*. 2011. №. 126(4). P. 1896–1901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.12.015.

14. Hung P. V., Maeda T., Yamamoto S., Morita N. Effects of germination on nutritional composition of waxy wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012. № 92. P. 667–672.

15. Azeke M.A, Egielewa S.J, Eigbogbo M.U, Ihimire I. G. Effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum milliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). *J Food Sci Technol*. 2011. № 48(6). P. 724–729. DOI: 10.1007/s13197-010-0186-y.

16. Singh A, Sharma S. Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2017. № 57(14). P. 3051–3071. DOI: 10.1080/10408398.2015.1085828. PMID: 26466514.

17. Ichinose Y., Takata K., Kuwabara T., Iriki N., Abiko T., Yamauchi H. Effects of increase in .alpha.-amylase and endo-protease activities during germination on the breadmaking quality of wheat. *Food Science and Technology Research*. 2001. № 7(3). P. 214–219. DOI: 10.3136/fstr.7.214.

18. Amany M. Sakr. Evaluation of Wheat Germination for Making Gluten-Free Bread. *Current Science International*. 2020. № 9(4). P. 677–689.

19. Alexandra L. Stern, Berstein J., Stephen S. Jones, Jeffrey B. Blumberg, Timothy S. Griffin. The impacts of germinating organic wheat: effects on phytic acid, resistant starch, and functional properties of flour, and sensory attributes of sourdough bread. *International Journal of Food Science and Technology*. 2021. № 56. P. 3858–3865. DOI: 10.1111/ijfs.15002.

20. Пшенишнюк Г. Ф., Макарова О. В., Іванова Г. С. Інноваційні заходи підвищення якості зернового хліба. *Харчова наука і технологія*. 2010. № 1(10). С. 75–77.

21. Спосіб виробництва борошняних виробів на молочних продуктах з цільного зерна пшениці : пат. 78487 Україна : МПК А21D 13/02 (2006.01). У 201209049 ; заявл. 23.07.12 ; опубл. 25.03.13. Бюл. № 6. 4 с.

22. Махінько В. М., Махінько Л. В. Підбір середовища для замочування зерна при виробництві зернового хліба. *Зберігання і переробка зерна*. 2008. № 11. С. 33–36.

23. Спосіб виробництва борошняних виробів з цільного зерна пшениці : пат. 78488 Україна : МПК А21D 13/02 (2006.01). У 201209052 ; заявл. 23.07.12 ; опубл. 25.03.13. Бюл. № 6. 4 с.

24. Пшенишнюк Г. Ф., Макарова О. В., Іванова Г. С., Костюченко І. В. Використання непродовольчого зерна пшениці в технології зернового хліба. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2009. № 36(1). С. 198–203.

25. Миколенко С. Ю., Соколов В. Ю., Пенькова В. В. Дослідження технологічних аспектів виробництва хліба із диспергованої зернової маси з використанням додаткової підготовки сировини. *Зернові продукти і комбікорми*. 2016. №. 64.(4). С. 10–15. DOI: 10.15673/gpmf.v64i4.260

26. Олійник С. Г. Запаренко Г. В., Королюк К. Є. Дослідження впливу ферментних препаратів на процес замочування зерна полби сорту Голіковська. *Наукові праці НУХТ*. 2015. № 4(21). С. 218–223.

27. Макарова О. В. Пшенишнюк Г. Ф., Іванова Г. С. Підвищення якості хліба на зерновій основі. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. № 4 (60). С. 38–44.

28. Дейниченко Г. В., Крамаренко Д. П., Кіреєва О. І. Вивчення реологічних властивостей зернового тіста з додаванням гідролізату з моллюсків в процесі замішування та бродіння. URL: http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_131/33.pdf

29. Hrušková M, Novotná D. Effect of ascorbic acid on the rheological properties of wheat fermented dough. *Czech J. Food Sci.* 2003. № 21(4). C. 137–144.
30. César Baratto, Natalia Branco, Jane Mary, Lafayette Neves, Gelinski Sydney, Mitidieri Silveira. Influence of enzymes and ascorbic acid on dough rheology and wheat bread quality. *African Journal Of Biotechnology.* 2015. № 14(46). P. 3124–3130. DOI: 10.5897/AJB2015.14931
31. Bonet A., Rosell C. M., Perez-Munuera I., Hernando I. Rebuilding gluten network of damaged wheat by means of glucose oxidase treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2007. DOI: 10.1002/jsfa.2846.
32. Oliinyk S., Samokhvalova O., Zaparenko A., Shidakova-Kamenyuka E., Chekanov M. Research into the impact of enzyme preparations on the processes of grain dough fermentation and bread quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. №. 3/11(81). P. 46–53.
33. Akdogan H., Tilley M., Okkyung K. Chung. Effect of Emulsifiers on Textural Properties of Whole Wheat Tortillas During Storage. *Cereal Chem.* № 83(6). 2006. P. 632–635. DOI: 10.1094/CC-83-0632
34. Sheikholeslami Z., Mahfouzi M., Karimi M., Ghiafehdavoodi M. Modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie.* 2020. № 139. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110794
35. Ferrero C. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids.* 2017. № 68. P. 15–22. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.11.044.
36. Rocks J. K. Xanthan Gum. *Food Technology.* 1991. № 25. P. 476–483.
37. Jansson P. E., Kenne L., Lindberg B. Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*. *Carbohydr. Res.* 1975. V. 45. P. 275–282. DOI: 10.1016/s0008-6215(00)85885-1
38. García-Ochoa F., Santos V.E, Casas J.A, Gómez E. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances.* № 18(7), 2000. P. 549–579, ISSN 0734-9750, DOI: 10.1016/S0734-9750(00)00050-1.
39. Melton L. D., Mindt L., Rees D. A. Sanderson G. R. Covalent structure of the polysaccharide from *Xanthomonas campestris* evidence from partial hydrolysis studies. *Carbohydr. Res.* 1976. № 46(2). P. 245–257. DOI: 10.1016/s0008-6215(00)84296-2

40. Tebben L., Li Y. Effect of xanthan gum on dough properties and bread qualities made from whole wheat flour. *Cereal Chemistry*. 2019. № 96(2). P. 263–272. DOI:10.1002/cche.10118
41. Namita J., Jasvirinder S. K. Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Biopolymers for Food Design*. 2018. P. 95–123. DOI: 10.1016/B978-0-12-811449-0.00004-9.
42. Ramalingam C., Jhanu P., Shraddha M. Applications of Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2014. № 27(1), P. 322–324.
43. Jai Pal Singh Sidhu, Bawa A. S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *International Journal of Food Properties*. 2002. № 5(1). P 1–11. DOI: 10.1081/JFP-120015588
44. Sanderson G. R. Polysaccharides in foods. *Food Technol.* 1981. 35. № 7. P. 50–57.
45. Linlaud N. E., Puppo M. C., Ferrero C. Effect of Hydrocolloids on Water Absorption of Wheat Flour and Farinograph and Textural Characteristics of Dough. 2009. *Cereal Chemistry*. № 86(4). P. 376–382.
46. Samokhvalova O., Chernikova Y., Oliinyk S., Kasabova K. The effect of microbial polysaccharides on the properties of wheat flour. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 6. P. 11–15. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56177.
47. Самохвалова О. В. Використання мікробних полісахаридів у хлібопеченні. *Науковий вісник полтавського університету споживчої кооперації України. Серія «Технічні науки»*. 2004. № 2 (9). С. 69–71.
48. Sidhu Jai Pal Singh, Bawa A. S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *J. Food Prop.* 2002. № 1. P. 1–11.
49. Воцелко С. К., Гвоздяк Р. И., Калакура М. М., Самохвалова О. В. Вплив бактеріального полісахариду ксантану на властивості білків пшениці. *Мікробіологічний журнал*. 1996. № 3(58). С. 71–78.
50. Lazaridou A., Duta, D., Parageorgiou M., Belc, N., Biliaderis C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 2007. № 79 (3). P. 1033–1047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
51. Escuosp K. O., Escuoso Y. A., Lutz H., Bayer E. Incorporation of plant gums into non-wheat flours. *Adv. Food Sci.* 1999. № 5–6. С. 184–191.
52. Zheng M., Su H., You Q., Zeng S., Zheng B., Zhang Y., Zeng H. An insight into the retrogradation behaviors and molecular structures of lotus seed starch-hydrocolloid blends. 2019. *Food Chemistry*. P. 548–555. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.166>.

53. Ferrero C., Martino M. N., Zaritzky N. E. Corn Starch-Xanthan Gum Interaction and Its Effect on the Stability During Storage of Frozen Gelatinized Suspension. *Starch – Stärke*. 1994. № 46(8). P. 300–308. DOI: 10.1002/star.19940460805.

54. Brennan C. S., Tan C. K., Kuri V., Tudorica C. M. The pasting behaviour and freeze-thaw stability of native starch and native starch-xanthan gum pastes. *International Journal of Food Science and Technology*. 2004. № 39(10). P. 1017–1022. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00884.x

55. Bourekoua H., Różyło R., Benatallah L., Wójtowicz A., Łysiak G., Zidoune M. N., Sujak A. Characteristics of gluten-free bread: quality improvement by the addition of starches/hydrocolloids and their combinations using a definitive screening design. *European Food Research and Technology*. 2017. № 244(2). P. 345–354. DOI: 10.1007/s00217-017-29

56. Culetu A., Denisa E. Duta M., Varzakas Th.. The Role of Hydrocolloids in Gluten-Free Bread and Pasta; Rheology, Characteristics, Staling and Glycemic Index. *Foods*. 2021. № 10(12). P. 3121. DOI: 10.3390/foods10123121

57. Christianson D. D., Hodge J. E., Osborne D., Detroy R. W. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum, guar gum and cellulose gum. *Cereal Chem*. 1981. № 6(58). P. 513–517

58. Sidhu Jai Pal Singh, Bawa A. S. Dough characteristics and baking studies of wheat flour fortified with xanthan gum. *J. Food Prop*. 2002. № 1. P. 1–11.

59. Guarda A, Rosell C. M., Benedito C., Galotto M. J. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloid*. 2004. № 18 (2). P. 241–247. DOI:10.1016/S0268-005X(03)00080-8

60. Horstmann S., Belz M., Heitmann M., Zannini E., Arendt E. Fundamental Study on the Impact of Gluten-Free Starches on the Quality of Gluten-Free Model Breads. *Foods*. 2016. № 5(4), P. 30. DOI: <http://doi.org/10.3390/foods5020030>

61. Crockett R., Vodovotz Ie. P. How Do Xanthan and Hydroxypropyl Methylcellulose Individually Affect the Physicochemical Properties in a Model Gluten-Free Dough. *Journal of Food Science*. 2011. № 76 (3). P. 274–282. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2011.02088.x

62. Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 6(11). P. 23–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.184464

63. Rosell C. M., Rojas J. A., Barber C. Benedito. Influence of hydrocolloids high rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 2001. № 1. P. 75–81. DOI:10.1016/S0268-005X(00)00054-0

64. Maleki Gisoo, Jafar Mohammadzadeh Milani. Effect of Guar Gum, Xanthan Gum, CMC and HPMC on Dough Rheology and Physical Properties of Barbari Bread. *Food Science and Technology Research*. 2013. № 19. P. 353–358

65. Mykhaylov V. Samokhvalova O., Kucheruk Z. Kasabova K. Study of microbial polysaccharides' impact on organoleptic and physical-chemical parameters of protein-free and gluten-free floury products. *Eureka: Life Sciences, Food Science and Technology*. 2019. № 6. P. 37–43. DOI: 10.21303/2504-5695.2019.001067

66. Samokhvalova O., Kucheruk Z. Kasabova K., Oliinyk S. Shmatchenko N. Manufacturing approaches to making muffins of high nutritional value. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 3(56). P. 47–51. DOI: DOI: 10.15587/2706-5448.2020.221095

67. Mandala G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*. 2005 № 66(3), P. 291–300. DOI. 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.020

68. Guinoza M. T, Chevallier S., Pessôa Filho P. A. Impact of guar and xanthan gums on proofing and calorimetric parameters of frozen bread dough. *Journal of Cereal Science*. 2008. № 48(3). P. 741–746.

69. Geyi Wu, Xuwei Liu, Zhuoyan Hu, Kai Wang, Lei Zhao, Impact of xanthan gum on gluten microstructure and bread quality during the freeze-thaw storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 2022. № 162. ISSN 0023-6438. DOI:10.1016/j.lwt.2022.113450

70. Дробот В. І. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів. Київ, «Кондор-видавництво», 2015. 972 с.

71. Горальчук А. В., Пивоваров П. П., Грінченко О. О., Погожих М. І. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик. Харків : ХДУХТ, 2006. 63 с.

72. Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O., Goriainova I., Rogovaya A., Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern-European J. Enterp. Technol.* 2019. № 6. P. 23–32. DOI 10.15587/1729-4061.2019.184464.

73. Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products, *Eastern-*

Information about the authors:

Samokhvalova Olga Volodymyrivna,

Professor at the Department
of Technology of Grain Products and Confectionery
State Biotechnological University
44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Oliinyk Svitlana Georgiivna,

Professor at the Department
of Technology of Grain Products and Confectionery
State Biotechnological University
44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine

Stepankova Galyna Viacheslavivna,

Associate Professor at the Department
of Technology of Grain Products and Confectionery
State Biotechnological University
44, Alchevskykh str., Kharkiv, 61002, Ukraine