

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСКОПИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПШЕНИЧНОГО ТЕСТА

**Н.В. Науменко**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Наличие микроскопических исследований и новых лабораторных методов их обработки открывают новые возможности при изучении микроструктуры пищевых продуктов. Внедрение компьютерных технологий для улучшения качества изображения обеспечивает возможность практического применения полученных результатов в научной сфере. Отмечается, что в пределах возможности микроскопического увеличения полученные изображения методом флуоресцентной микроскопии можно сравнить с теми, что получены при помощи сканирующей электронной микроскопии. Только флуоресцентная микроскопия позволяет получить цветные изображения, более четкие результаты, что позволяет идентифицировать наличие и количество вещества. В статье приводятся данные различных российских и зарубежных исследователей по исследованиям структуры теста, его влияния на дальнейшие процессы производства и сохраняемость готовых изделий. Автором приводятся собственные исследования микроструктуры пшеничного теста при помощи электронной сканирующей микроскопии. Дано подробное описание полученных результатов. Отмечается невозможность идентифицировать те или иные компоненты теста на некоторых экспериментальных снимках. Для более полной информации о структуре пшеничного теста приводятся данные по использованию флуоресцентной микроскопии исследователями S.H. Reighambardoust и M.R. Dadpour, которые описывают преимущества и информативность своего метода. Приводятся различные теории исследователей по образованию структуры теста, процессам, происходящим при его замесе и созревании. В статье отмечается, что существенный недостаток электронной сканирующей микроскопии (получение монохроматических фотографий) без выделения отдельных компонентов при исследовании пищевых продуктов можно компенсировать методом флуоресцентной микроскопии, который позволяет за счет использования разных спектров излучения компонентов определить их наличие и количественные изменения.

**Ключевые слова:** флуоресцентная микроскопия, электронная сканирующая микроскопия, микроструктура теста, обработка изображений.

Визуальные данные, полученные при помощи электронной сканирующей микроскопии имеют значительное преимущество по сравнению с другими аналитическими методами, так как они обеспечивают наличие четкого фиксированного изображения вместо численных значений приборов. С этой точки зрения каждый фрагмент цифрового изображения может рассматриваться как комплексная информация, которая доступна для последующего изучения и анализа.

Полученные результаты микрофотографирования чаще всего бывают чёрно-белыми, но наиболее перспективным методом является получение цветных результатов. При этом они могут иметь специфические характеристики, такие как оттенок, насыщенность, глу-

бину цвета и многие другие параметры, которые могут быть преобразованы в численные значения с помощью компьютерного анализа изображений и иметь большую практическую значимость [11, 12, 19]. При этом можно использовать возможности по улучшению изображения, настраивать резкость, а в дальнейшем получать картинку 3D и распечатывать ее на соответствующем принтере для более удобной работы с экспериментальным материалом.

В настоящее время очень мало исследователей занимается использованием передовых методов электронной сканирующей микроскопии для изучения микроструктуры теста.

Авторами [2, 5, 8, 10, 11, 19], а также нашими исследованиями отмечается сушест-

венный недостаток электронной сканирующей микроскопии, так как полученные результаты не всегда можно грамотно описать из-за отсутствия возможности улучшить изображение и выявить наличие отдельных компонентов системы.

Так, например, полученные нами экспериментальные данные, представленные на рис. 1, можно охарактеризовать следующим образом.

Для структуры образца характерно наличие большого количества частиц овальной формы, которые по своим характеристикам соответствуют зернам крахмала. Поверхность зерен гладкая, без трещин, бороздок и пор.

В микроструктуре образца можно отметить наличие одинакового количества как крупных, так и мелких зерен крахмала. Крахмал находится в виде зерен круглой или эллиптической формы. Отдельные зерна немного деформированы. Белковая матрица образца развита, и иногда несколько зерен среднего и мелкого крахмала покрыты сплошным слоем белка. Структура достаточно рыхлая, так как имеется большое количество воздушных полостей. В отдельных случаях можно рассмотреть структуру прерывистой белковой матрицы, которая имеет форму отростков, соединяющих между собой зерна крахмала.

Основываясь на результатах собственных исследований Карл Хосни [11] описывает полученные результаты микроскопии теста следующим образом. В замешенном хлебопекарном тесте нерастворимые, но сильно гидратированные белки клейковины составляют непрерывную фазу системы, а крахмал и пузыри воздуха – дискретные фазы. В этой водной системе даже диспергированные клетки дрожжей, которые сбраживают сахар и вырабатывают помимо прочих продуктов брожения углекислый газ, плотно заключены в белковую фракцию. Последний образуется в водной фазе и насыщает воду, но и после насыщения воды углекислым газом он продолжает вырабатываться.

При этом новые пузыри и пустоты образоваться не могут, поэтому образующийся газ направляется в уже имеющиеся пузырьки воздуха, проникая в них, он увеличивает давление. Поскольку тесто обладает вязкотекучими свойствами, образовавшийся пузырь может расширяться до тех пор, пока давление внутри и снаружи не уравнивается.

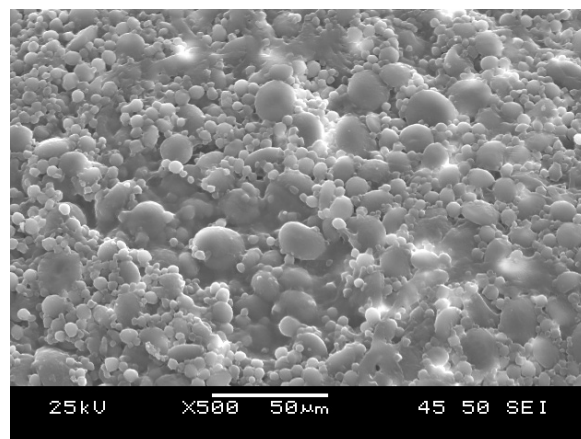


Рис. 1. Микроструктура пшеничного теста

Российскими исследователями [1, 6, 7, 9] принято считать, что углекислый газ удерживается белками клейковины, которые образуют пленку или мембрану. Тогда как американские авторы [11] подвергают эту теорию сомнениям и выдвигают гипотезу, что для удерживания углекислого газа в объеме теста никакой оболочки не требуется, поскольку он окружен водной фазой, насыщенной углекислым газом. Насыщение сохраняется благодаря дрожжам, которые постоянно вырабатывают углекислый газ.

На основании вышесказанного, сравнивая микроструктуру теста исследуемых образцов, полученных нами в экспериментальной лаборатории, можно сказать, что подтверждаются обе представленные теории.

Рядом авторов [3, 4] отмечается, что исследователям необходимо рассматривать не только теорию удерживания углекислого газа при помощи некой водной мембраны, а стоит обратить внимание на количество белка в тесте и его предел упругости. Как можно выявить в исследуемом образце, здесь присутствует выраженная развитая белковая матрица, обволакивающая зерна крахмала и хорошо удерживающая углекислый газ, что в дальнейшем положительно сказывается на удельном объеме готовых изделий.

Исследователи S.H. Peighambardoust и M.R. Dadpour [19] предложили идентифицировать клейковину и крахмал по разным спектрам излучения и получать четкие структурные детали, различимые клейковины (рис. 2). Предложенный метод флуоресцентной микроскопии, несомненно, имеет огромное преимущество перед электронной сканирующей микроскопией.

**Рис. 2. Микроструктура пшеничного теста, полученная S.H. Peighambaroust и M.R. Dadpour [19]**

Авторы [12–19] описывают, что этот способ получения результатов позволил выявить наличие грубодисперсных белковых образований в структуре теста. Отмечается, что полученные результаты были достаточно визуализируемы и доказательны, несмотря на небольшое увеличение. Также были отмечены крупные гранулы крахмала, которые привели к структурным неоднородностям теста [20–24].

На основании вышесказанного можно отметить, что существенный недостаток электронной сканирующей микроскопии (получение монохроматических фотографий) без выделения отдельных компонентов при исследовании пищевых продуктов можно компенсировать методом флуоресцентной микроскопии, который позволяет за счет использования разных спектров излучения компонентов определить их наличие и количественные изменения.

### Литература

1. Ауэрман, Л.Я. *Технология хлебопекарного производства: учебник* / Л.Я. Ауэрман. – 9-е изд., перераб. и доп. / под общей ред. Л.И. Пучковой. – СПб.: Профессия, 2003. – 316 с.

2. Богатырева, Т.Г. *Влияние пшеничных заквасок на микроструктуру теста* / Т.Г. Богатырева, Е.В. Белавцева, С.С. Маненков // *Хлебопечение России*, 2003. – № 11. – С. 13–14.

3. Нилова, Л.П. *Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 351100 «Товароведение и экспертиза товаров»* / Л. П. Нилова. – СПб., 2005.

4. Нилова, Л.П. *Использование ИК-спектроскопии для изучения механизма мела-*

*ноидинообразования в обогащенных хлебоу- лочных изделиях* // Л.П. Нилова, Т.В. Пилипенко, А.А. Вытовтов, Р.А. Икрамов / *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2015. – № 2. – С. 26–30.

5. Потороко, И.Ю. *Использование электрофизических методов при производстве и контроле качества пищевых продуктов* / И.Ю. Потороко, Т.В. Пилипенко, Н.И. Пилипенко // *Товаровед продовольственных товаров*. – 2012. – № 4. – С. 33.

6. Потороко, И.Ю. *Особенности экспертной оценки пищевых продуктов, полученных на основе биомодификаций* // И.Ю. Потороко, И.В. Фекличева, В.В. Ботвинникова / *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2013. – Т. 7, № 1. – С. 170–175.

7. Потороко, И.Ю. *К вопросу о водоподготовке в технологии восстановленных молочных товаров* // И.Ю. Потороко, Н.В. Попова // *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства*. – 2013. – № 1. – С. 275–277.

8. Потороко, И.Ю. *Совершенствование реологических характеристик мясных эмульсий на основе пищевой сонохимии* / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко // *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства*. – 2013. – № 1. – С. 306–309.

9. Потороко, И.Ю. *Перспективы использования ультразвуковой кавитации в технологии обеззараживания питьевой воды для пищевых производств* // И.Ю. Потороко, Р.И. Фаткуллин, И.В. Калинина // *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства*. – 2013. – № 1. – С. 338–341.

10. Потороко, И.Ю. *Применимость метода лазерной дифракции в исследовании коллоидного состояния продуктов животного происхождения* / И.Ю. Потороко, Н.В. Попова, Л.А. Цирульниченко // *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес пространства*. – 2012. – № 1. – С. 186–188.

11. Хосни, Р.К. *Зерно и зернопродукты* / Р.К. Хосни; пер. с англ. под общ. ред. к.т.н., проф. Н.П. Черняева. – СПб.: Профессия, 2006. – 330 с.

12. Antona A.A., Lukowb O.M., Fulchera R.G. et al. *Shelf stability and sensory properties of flour tortillas fortified with pinto bean (Phaseolus vulgaris L.) flour: Effects of hydrocolloid*

addition // *LWT – Food Science and Technology*. – 2009. – Vol. 42, № 1. – P. 23–29.

13. Brennan C.S., Tan C.K., Kuri V. et. al. *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. – P. 1017–1022.

14. Cheetham N.W.N., Mashimba E.N.M. *Conformational aspects of xanthan-galactomannan gelation* // *Carbohydrate Polymers*. – 1988. – № 9. – P. 195–212.

15. Cheetham N.W.N., Mashimba E.N.M. *Conformational aspects of xanthan-galactomannan gelation: Further evidence from optical-rotation* // *Carbohydrate Polymers*. – 1991. – № 14. – P. 17–27.

16. Dea I.C.M., Morris E.R., Rees D.A. et. al. *Associations of like and unlike polysaccharides: mechanism and specificity in galactomannans, interacting bacterial polysaccharides and related* // *Carbohydrate Research*. – 1977. – № 57. – P. 249–272.

17. Garca-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A. et. al. *Xanthan gum: production, recovery, and properties* // *Biotechnology Advances*. – 2000. – Vol. 18, № 7. – P. 549–579.

18. Gurkin, S. *Hydrocolloids-Ingredients that add flexibility to tortilla processing* // *Cereal Foods World*. – 2002. – № 47. – P. 41–43.

19. Hug-Iten S., Handschin S., Conde-Petit B. et. al. *Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread* // *LWT – Food Science and Technology*. – 1999. – Vol. 32, № 5. – P. 255–260.

20. Martin M.L., Zeleznak K.J., Hosney R.C. *Mechanism of Bread Firming. Role of Starch Swelling* // *Cereal Chem*. – 1991. – Vol. 30. – № 5. – P. 498–503.

21. Morris V.J., Brownsey G.J., Ridout M.J. *Reply to role of conformation in synergistic interactions of xanthan* // *Carbohydrate Polymers*. – 1994. – № 23. – P. 139–140.

22. Ribotta P.D., Ausar S.F., Beltramo D.M. et. al. *Interactions of hydrocolloids and sonicated-gluten proteins* // *Food Hydrocolloids*. – 2005. – № 19. – P. 93–99.

23. Ozkoc S.O., Sumnu G., Sahin S. *The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens* // *Food Hydrocolloids*. – 2009. – № 23. – P. 2182–2189.

24. Slavin J.L., Greenberg N.A. *Partially hydrolyzed guar gum: clinical nutrition uses* // *Nutrition*. – 2003. – № 19, iss. 6. – P. 549–552.

**Науменко Наталья Владимировна.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko\_natalya@mail.ru

*Поступила в редакцию 15 ноября 2015 г.*

---

DOI: 10.14529/food150403

## THE USE OF MICROSCOPY AS A PERSPECTIVE METHOD TO STUDY A MICROSTRUCTURE OF WHEAT DOUGH

**N.V. Naumenko**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The microscopic studies and new laboratory methods of their processing open up new possibilities when the microstructure of food products is examined. The introduction of computer technology for improvement of image quality provides a possibility of practical use of the obtained results in the scientific field. It's noted that in the context of microscopic enlargement the received images using the method of fluorescence microscopy can be compared with the pictures, which are taken with the help of electron scanning microscopy. Only fluorescence microscopy enables one to get colour images, more accurate results, which help to identify the presence and a substance amount. The paper presents data of different Russian and

foreign scholars on the dough structure, its effect on further processes of production and storage qualities of finished goods. The author presents his own studies on the microstructure of wheat dough with the help of electron scanning microscopy. The detailed description of the received results is given. The author emphasizes that it's impossible to identify one or another dough components in some experimental pictures. For more detailed information about the structure of wheat dough the data on the use of fluorescence microscopy according to S.H. Peighamardoust and M.R. Dadpour, which describe advantages and information value of their method, are given. Different theories on formation of dough structure, processes happening during its mixing and maturation are mentioned. It's noted that a fundamental defect of electron scanning microscopy (receiving monochromatic images) without selecting separate components in the course of food products examination can be compensated by the method of fluorescence microscopy, which helps owing to different spectral emission of components to determine their presence and quantitative changes.

**Keywords:** fluorescence microscopy, electron scanning microscopy, dough microstructure, image processing.

### References

1. Auerman L.Ya. *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of bread production]. Translated from English. St. Petersburg, Professiya Publ., 2003. 316 p.
2. Bogatyreva T.G., Belavtseva E.V., Manenkov S.S. Vliyanie pshenichnykh zakvasok na mikrostrukturu testa [Effect of wheat leaven on the dough microstructure]. *Khlebopechenie Rossii* [Bread baking in Russia], 2003, no. 11, pp. 13–14.
3. Nilova L.P. *Tovarovedenie i ekspertiza zernomuchnykh tovarov* [Merchandising and examination of cereal and flour products]. St. Petersburg, 2005.
4. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A., Ikramov R.A. Ispol'zovanie IK-spektroskopii dlya izucheniya mekhanizma melanoidinoobrazovaniya v obogashchennykh khlebobulochnykh izdeliyakh [The use of infrared spectroscopy for examination of a mechanism of melanoidin formation in enriched bakery products]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2015, no. 2, pp. 26 – 30.
5. Potoroko I.Yu., Pilipenko T.V., Pilipenko N.I. Ispol'zovanie elektrofizicheskikh metodov pri proizvodstve i kontrole kachestva pishchevykh produktov [The use of electrophysical methods when producing and controlling the quality of food products]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov* [Food commodity expert], 2012, no. 4, p. 33.
6. Potoroko I.Yu., Feklicheva I.V., Botvinnikova V.V. Features of expert assessment of food products derived from biomodification. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 170–175. (in Russ.)
7. Potoroko I.Yu., Popova N.V. K voprosu o vodopodgotovke v tekhnologii vosstanovlennykh molochnykh tovarov [On water treatment in the technology of rehydrated dairy products]. *Torgovo-ekonomicheskije problemy regional'nogo biznesa prostranstva* [Trade and economic problems of regional business space], 2013, no. 1, pp. 275–277.
8. Potoroko I.Yu., Tsirul'nichenko L.A. Sovershenstvovanie reologicheskikh kharakteristik myasnykh emul'siy na osnove pishchevoy sonokhimii [Improvement of rheological properties of meat emulsions on the basis of food sonochemistry]. *Torgovo-ekonomicheskije problemy regional'nogo biznesa prostranstva* [Trade and economic problems of regional business space], 2013, no. 1, pp. 306–309.
9. Potoroko I.Yu., Fatkullin R.I., Kalinina I.V. Perspektivy ispol'zovaniya ul'trazvukovoy kavitatsii v tekhnologii obezzarzhivaniya pit'evoy vody dlya pishchevykh proizvodstv [Prospects of using ultrasonic cavitation in the technology of drinking water disinfection for food production]. *Torgovo-ekonomicheskije problemy regional'nogo biznesa prostranstva* [Trade and economic problems of regional business space], 2013, no. 1, pp. 338–341.
10. Potoroko I.Yu., Popova N.V., Tsirul'nichenko L.A. Primenimost' metoda lazernoy difraktsii v issledovanii kolloidnogo sostoyaniya produktov zhivotnogo proiskhozhdeniya [Applicability of the method of laser diffraction in the study on colloidal state of products of animal origin]. *Torgovo-ekonomicheskije problemy regional'nogo biznesa prostranstva* [Trade and economic problems of regional business space], 2012, no. 1, pp. 186–188.
11. Khosni R.K. *Zerno i zernoprodukty* [Grain and grain products]. Translated from Engl. St. Petersburg, Professiya Publ., 2006. 330 p.

12. Antona A.A., Lukowb O.M., Fulchera R. G. et. al. Shelf stability and sensory properties of flour tortillas fortified with pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of hydrocolloid addition. *LWT – Food Science and Technology*, 2009, vol. 42, no. 1, pp. 23–29. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.06.005
13. Brennan C.S., Tan S.K., Kuri V. et. al. The pasting behaviour and freeze-thaw stability of native starch and native starch-xanthan gum pastes. *International Journal of Food Science and Technology*, 2004, no. 39, pp. 1017–1022. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00884.x
14. Cheetham N.W.N., Mashimba E.N.M. Conformational aspects of xanthan-galactomannan gelation. *Carbohydrate Polymers*, 1988, no. 9, pp. 195–212. DOI: 10.1016/0144-8617(88)90025-2
15. Cheetham N.W.N., Mashimba E.N.M. Conformational aspects of xanthan-galactomannan gelation: Further evidence from optical-rotation. *Carbohydrate Polymers*, 1991, no. 14, pp. 17–27. DOI: 10.1016/0144-8617(90)90004-c
16. Dea I.C.M., Morris E.R., Rees D.A. et. al. Associations of like and unlike polysaccharides: mechanism and specificity in galactomannans, interacting bacterial polysaccharides and related. *Carbohydrate Research*, 1977, no. 57, pp. 249–272. DOI: 10.1016/s0008-6215(00)81935-7
17. Garca-Ochoa F., Santos V.E., Casas J.A. et. al. Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 2000. Vol. 18, no. 7, pp. 549–579. DOI: 10.1016/s0734-9750(00)00050-1
18. Gurkin S. Hydrocolloids-Ingredients that add flexibility to tortilla processing. *Cereal Foods World*, 2002, no. 47, pp. 41–43.
19. Hug-Iten S., Handschin S., Conde-Petit V. et. al. Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread. *Food Science and Technology*, 1999, vol. 32, no. 5, pp. 255–260. DOI: 10.1006/fstl.1999.0544
20. Martin M.L., Zeleznak K.J., Hosney R.C. Mechanism of Bread Firming. Role of Starch Swelling. *Cereal Chem.*, 1991, vol. 30, no. 5, pp. 498–503.
1. Morris V.J., Brownsey G.J., Ridout M.J. Reply to role of conformation in synergistic interactions of xanthan. *Carbohydrate Polymers*, 1994, no. 23, pp. 139–140. DOI: 10.1016/0144-8617(94)90040-X
2. Ribotta P.D., Ausar S.F., Beltramo D.M. et. al. Interactions of hydrocolloids and sonicated-gluten proteins. *Food Hydrocolloids*, 2005, no. 19, pp. 93–99. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2004.04.018
3. Ozkoc S.O., Sumnu G., Sahin S. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 2009, no. 23, pp. 2182–2189. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2009.04.003
4. Slavin J.L., Greenberg N.A. Partially hydrolyzed guar gum: clinical nutrition uses. *Nutrition*, 2003, no. 19, iss. 6, pp. 549–552. DOI: 10.1016/s0899-9007(02)01032-8

**Naumenko Natalia Vladimirovna**, Candidate of Science (Engineering), associate professor, Expertise and quality control of food production, South Ural State University, Chelyabinsk, Naumenko\_natalya@mail.ru

*Received 15 November 2015*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Науменко, Н.В. Использование микроскопии как перспективного метода для изучения микроструктуры пшеничного теста / Н.В. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3, № 4. – С. 17–22. DOI: 10.14529/food150403

### FOR CITATION

Naumenko N.V. The Use of Microscopy as a Perspective Method to Study a Microstructure of Wheat Dough. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 17–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/food150403