

Управление качеством биопродукции

УДК 664.66.019

DOI: 10.14529/food160409

ОПЫТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УЧЕНЫХ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОСКОПИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Н.В. Науменко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Электронная сканирующая микроскопия является перспективным методом как для отечественных, так и зарубежных ученых в изучении структуры зерномучных товаров. Благодаря данному методу можно изучить сущность протекания биохимических и коллоидных процессов, происходящих при замесе теста, выпечке хлеба и процессах, происходящих в результате черствения хлеба. В большинстве случаев данный метод наглядно подтверждает предположения ученых, основанных на результатах химического анализа, что создает полноценную комплексную оценку происходящих процессов в процессе изготовления и хранения зерномучных товаров. Метод позволяет получить трехмерные изображения, позволяющие безошибочно идентифицировать вещества. Внедрение компьютерных технологий для улучшения качества изображения обеспечивает возможность практического применения полученных результатов в научной сфере. Полученные экспериментальные данные позволяют определить размер компонентов, их структуру и расположение, что дает возможность спрогнозировать процессы, протекающие во время хранения, а также замедлить их интенсивность. Данный метод начал использоваться как отечественными (Н.П. Козьмина, Т.Г. Богатырева, Е.В. Белавцева, С.С. Маненков и др.) так и зарубежными (R. Carl Hosenev, R. Altamirano-Fortoul, P. Hernandez-Mucoz, I. Hernando, С.М. Rosell, G.H. Gangadharappa, R. Ramakrishna, P. Prabhasankar и др.) учеными, достаточно давно, но только в последнее время качество получаемых результатов, а также возможность их сохранения и многогранного анализа позволило получить ему максимальное распространение. Статья носит аналитический характер мирового опыта исследования зерномучных товаров методом электронной сканирующей микроскопии и его применения в понимании сущности биохимических и коллоидных процессов, протекающих в процессе тестоприготовления, выпечки и хранения.

Ключевые слова: электронная сканирующая микроскопия, микроструктура теста, микроструктура хлеба.

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 исследователей, каждый фрагмент цифрового изображения может рассматриваться как комплексная информация, которая доступна для последующего изучения и анализа [6, 7].

Использование методов электронной микроскопии внесло огромный вклад в понимание протекания биохимических и коллоидных процессов, происходящих при замесе теста, выпечке хлеба и процессах, происходящих в результате черствения хлеба. Ещё

Н.П. Козьмина в 1971 году [3] приводит данные, характеризующие биохимические процессы, протекающие на последовательных стадиях приготовления хлеба. Особое место автор отводит изучению структуры извлеченного из мякиша хлеба крахмала и отмечает, что клейстеризации подвергаются в основном наружные слои его зерен. Полученные данные позволяют понять причины увеличения значения показателя «крошковатость» в процессе хранения готовых изделий. Благодаря фотографиям, полученным при использовании сканирующего микроскопа, отмечается, что денатурированная клейковинная пленка образовала тонкие тяжи, облегающие частично клейстеризованные зерна крахмала.

В настоящее время очень мало российских исследователей занимается использова-

нием передовых методов электронной сканирующей микроскопии для изучения микроструктуры теста и хлеба. Наиболее глубокие данные представлены Богатыревой Т.Г. и ее коллегами [1, 2]; в своих исследованиях они отмечают, что образцы существенно отличаются друг от друга как по размеру пор, так и по неоднородности распределения структурных элементов по всему объему. Можно выделить наличие как крупных, так и мелких пор. При этом выделяется их неравномерное распределение по всему объему структуры: на отдельных участках поры отсутствуют, на других наблюдается их большое скопление. Метод позволил выявить колебание размеров пор от 10–20 мкм до 0,1 мм.

Зарубежные ученые широко используют возможности электронной сканирующей микроскопии для выявления действия улучшителей на микроструктуру таких компонентов хлеба, как крахмал и белок, и их взаимодействие. Так, испанские ученые во главе R. Altamirano-Fortoul [8–10] провели исследование структуры корки и подкоркового слоя хлеба с добавлением улучшителей и без. В

контрольных образцах исследователи [8] отмечают для коркового слоя наличие округлых и продолговатых зерен крахмала, окруженных белковой матрицей. Влияние улучшителей выражается в увеличении размера зерен крахмала, полностью помещенных в белковую матрицу. Отмечается, что это существенно сокращает подвижность молекул белков и их способность к диффузии молекул воды. Корковый слой изделий характеризуется компактной структурой, с более высокой деформацией гранул крахмала и более развитой белковой матрицей, что замедляет процессы черствения.

Исследователям во главе G.H. Gangadhara и его коллегам [14, 16, 17] при помощи метода электронной сканирующей микроскопии впервые удалось исследовать структуру компонентов цельнозерновой муки различной степени помола (рис. 1).

Исходя из полученных данных, авторами отмечается что гранулы крахмала компактно упакованы в агрегаты белковой матрицы. Использование более тонкого помола приводит к повреждению большей части зерен крахмала

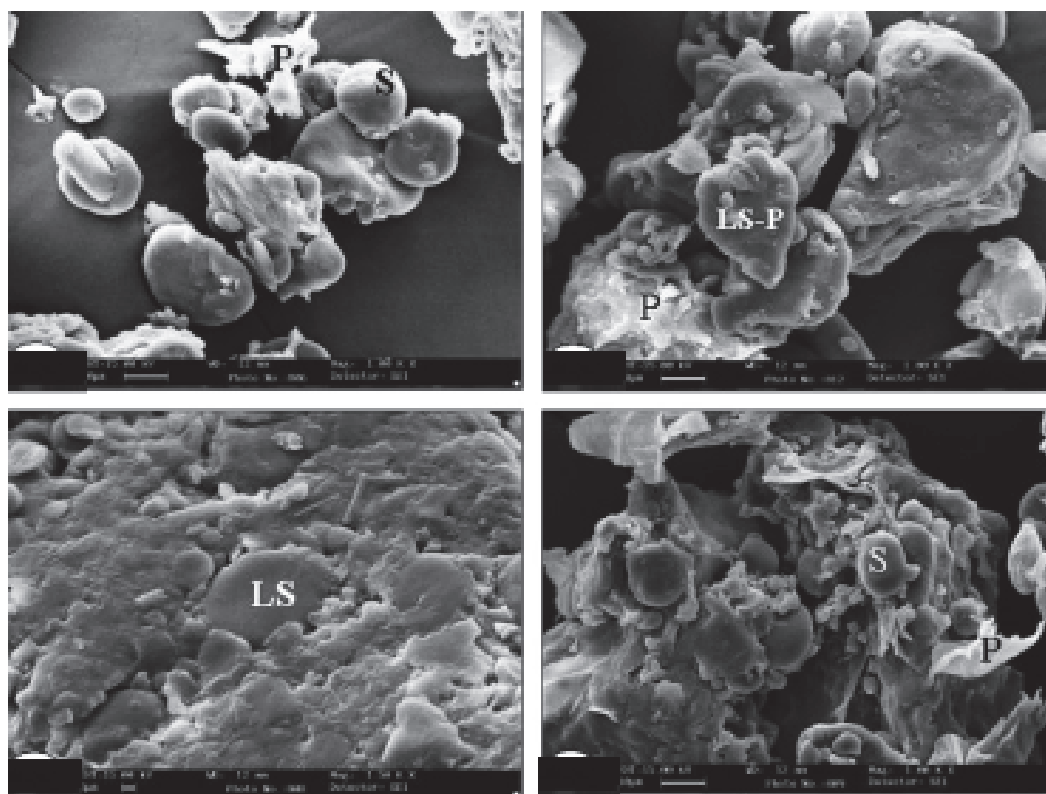


Рис. 1. Фотографии исследуемых образцов муки, полученные с использованием электронной сканирующей микроскопии: S – гранулы крахмала; LS – крупные гранулы крахмала; P – белковая матрица [14]

и увеличению водопоглотительной способности муки. Использование микрофотографий образцов позволило подобрать исследователям оптимальный способ и размер помола исследуемых образцов.

Значительный вклад в изучении микроструктуры зерна и зернопродуктов внес К. Хосни [6]. Он использовал электронную сканирующую микроскопию в изучении структуры зерна пшеницы, ячменя, проса, ржи, риса, кукурузы и др. Автором подробно приводятся результаты изучения морфологии теста до и после брожения, а также свежего хлеба. Полученные данные автор [6] описывает следующим образом: в замешанном хлебопекарном сырье присутствуют сильно гидратированные белки клейковины и составляют непрерывную фазу системы, а крахмал равномерно распределен в массе белка. Также отмечается наличие диспергированных клеток дрожжей.

Nathorna C.S. и его коллегам [15, 18–20] при помощи метода электронной сканирующей микроскопии удалось провести комплексное исследование структуры теста до выпечки и структуру мякиша хлеба (рис. 2).

До выпечки структура теста состояла из гладких, круглых, сферических гранул крахмала различных размеров и коагулированного белка. После выпечки некоторые крупные и мелкие гранулы четко различимы и некоторые компоненты свежего хлеба имели набухшую, слегка удлиненную форму, что связано с процессом набухания крахмала. Присутствуют крахмальные зерна почти не затронутой морфологиче-

ской структуры. Благодаря полученным трехмерным фотографиям исследователи отмечали в одних образцах наличие плотной морфологической структуры, а в других выделяли отдельные зерна крахмала [4, 5, 20].

Дополнительные качественные наблюдения микрофотографий указывали на более выраженную кластеризацию зерен гранул крахмала.

В конце периода хранения изучение микрофотографий хлеба показало нарушения в структуре мякиша хлеба. Появились неупорядоченные, нечетко различимые компоненты. Гранулы крахмала оказались более повреждены и отделены от белковой матрицы [11, 12, 13, 21].

На основании вышесказанного можно отметить, что электронная сканирующая микроскопия является перспективным методом как для отечественных, так и зарубежных ученых в изучении структуры зерномучных товаров. Благодаря данному методу можно изучить сущность протекания биохимических и коллоидных процессов, происходящих при замесе теста, выпечке хлеба и процессах, происходящих в результате черствения хлеба.

Из недостатков метода необходимо отметить, что метод необходимо использовать в совокупности с комплексными химическими исследованиями, для получения наглядного подтверждения предположения ученых, что создает полноценную комплексную оценку происходящих процессов в процессе изготовления и хранения зерномучных товаров.

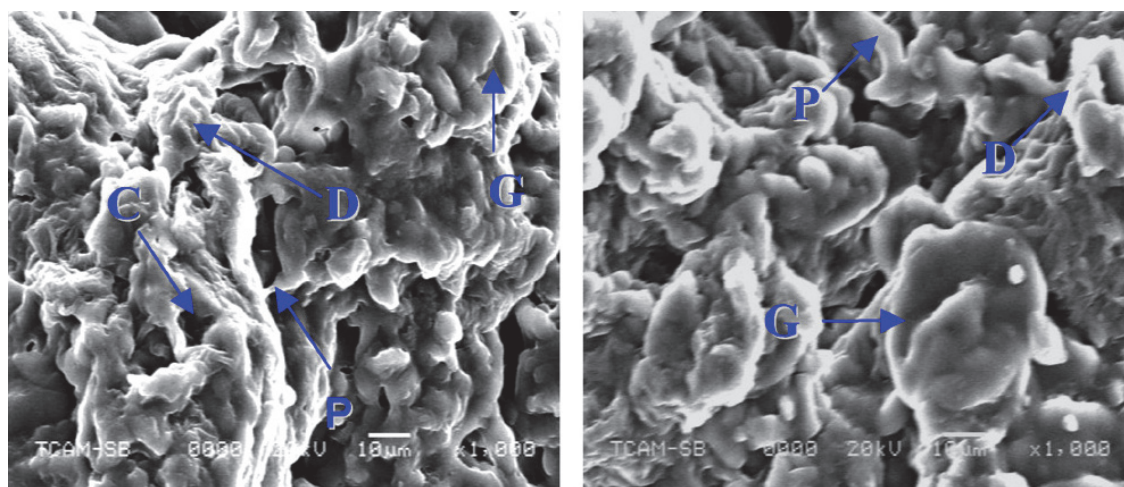


Рис. 2. Фотографии исследуемых образцов муки, полученные с использованием электронной сканирующей микроскопии: G – зерна крахмала, C – воздушная полость, P – белковая матрица, D – повреждение зерна крахмала [15]

Литература

1. 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.
2. Богатырева, Т.Г. Значение кислотообразующих микроорганизмов в технологии хлебобулочных изделий из пшеничной муки // *Хлебопечение России*. – 2001. – № 11. – С. 46–53.
3. Козьмина, Н.П. Биохимия хлебопечения / Н.П. Козьмина // *Пищевая промышленность*, 1978.
4. Нилова, Л.П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров: учебное пособие / Л.П. Нилова. – СПб., 2005.
5. 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.
6. 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.
7. Alain, Le-Bail Impact of the chilling conditions on the kinetics of staling of bread / Alain Le-Bail, Guenaelle Leray, Annick Perronnet, Guillaume Roelens // *Journal of Cereal Science* 54 (2011) 13–19.
8. Altamirano-Fortoul, R. Mechanical, microstructure and permeability properties of a model bread crust: Effect of different food additives / R. Altamirano-Fortoul, P. Hernández-Mucoz, I. Hernando, C.M. Rosell // *Journal of Food Engineering* 163 (2015) 25–31.
9. 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.
10. 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.
11. Cheetham N.W.N., Mashimba E.N.M. Conformational aspects of xanthan-galactomannan gelation // *Carbohydrate Polymers*. 1988. № 9. P. 195–212.
12. 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.
13. Fernandez, U. Extended shelf life of soy bread using modified atmosphere packaging, / U. Fernandez, Y. Vodovotz, P. Courtney, M. Pascall // *J Food Prot.* 69(3) (2006) 693–698.
14. Gangadharappa, G.H. Chemical and scanning electron microscopic studies of wheat whole-meal and its streams from roller flour mill / G.H. Gangadharappa, R. Ramakrishna, P. Prabhasankar // *Journal of Food Engineering* 85 (2008) 366–371.
15. Hathorna, C.S. Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers / C.S. Hathorna, M.A. Biswasb, P.N. Gichuhia, A.C. Bovell-Benjamin // *LWT* 41 (2008) 803–815.
16. Jinglin, Yu Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat / Jinglin Yu, Shujun Wang, Jingrong Wang, Caili Li, Quanwei Xin, Wei Huang, Yan Zhang, Zhonghu He, Shuo Wang // *Food Chemistry* 172 (2015) 504–514.
17. Marcela, Sluková Application of Amylographic Method for Determination of the Staling of Bakery Products / Marcela Sluková, Miroslav Kubín, Šárka Horáčková, Josef Přihoda // *Food Analysis, Food Quality and Nutrition Czech J. Food Sci.*, 33, 2015 (6): 507–512.
18. Mari'a Eugenia Ba'rcenas Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread / Mari'a Eugenia Ba'rcenas, Cristina M. Rosell // *Food Hydrocolloids* 19 (2005) 1037–1043.
19. Pandey, A. New developments in solid-state fermentation. I, Bioprocess and products, / A. Pandey, C.R. Socool, D. Mitichell // *Proc. Biochem.* 35 (2000) 1153–1169.
20. Prabhasankar, P. Scanning electron microscopic and electrophoretic studies of the baking process of south Indian parotta – an unleavened flat bread / P. Prabhasankar, D. Indrani, Jyotsna Rajiv, G. Venkateswara Rao // *Food Chemistry* 82 (2003) 603–609.
21. Semin Ozge Ozkoc The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens / Semin Ozge Ozkoc, Gulum Sumnu, Serpil Sahin // *Food Hydrocolloids* 23 (2009) 2182–2189.

Науменко Наталья Владимировна. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), Naumenko_natalya@mail.ru

Поступила в редакцию 9 сентября 2016 г.

DOI: 10.14529/food160409

EXPERIENCE OF RUSSIAN AND FOREIGN SCIENTISTS IN THE USE OF MICROSCOPY AS A PERSPECTIVE METHOD FOR STUDYING FOOD PRODUCTS

N.V. Naumenko

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Electronic scanning microscopy is a perspective method for both Russian and foreign scientists in the studying of grain-flour goods structure. Thanks to this method, it is possible to study the main point of biochemical and colloidal processes behavior during the dough kneading, bread baking and the processes after bread becomes stale. In the majority of cases this method visually proves scientific suggestions based on the results of chemical analysis, that creates a full-fledged, complex assessment of the occurring processes while producing and storing grain-flour goods. The method allows obtaining 3D images which help unmistakably identify the substances. Computer technologies implementation for improving image quality provides the opportunity for practical use of obtained results in the scientific field. The obtained experimental data allow determining the size of the components, their structure and positioning. That provides the opportunity to forecast the processes which occur during the storage period, and also to slow down their intensity. This method has started to be used for a long time by both Russian scientists (N.P. Kozmina, T.G. Bogatyryova, E.V. Belavtseva, S.S. Manenkov et al.) and foreign scientists (R. Carl Hose-ney, R. Altamirano-Fortoul, P. Hernandez-Mucoz, I. Hernando, C.M. Rosell, G.H. Gangadharappa, R. Ramakrishna, P. Prabhasankar et al), but only in recent years has the quality of obtained results along with the opportunity of their saving and multiple analyzing allowed the method to become widely spread. This is an analytical article on the global experience of studying grain-flour goods by the method of electronic scanning microscopy and its implementation, from the essential perspective of biochemical and colloidal processes, occurring in the process of dough obtaining, baking and storing.

Keywords: electronic scanning microscopy, dough microstructure, bread microstructure.

References

1. Bogatyreva T.G., Belavtseva E.V., Manenkov S.S. [The influence of wheat leaven on the dough microstructure]. *Khlebopechenie Rossii* [Baking in Russia], 2003, no. 11, pp. 13–14. (in Russ.)
2. Bogatyreva T.G. [The role of acid-forming bacteria in the technology of bakery products obtained from wheat flour]. *Khlebopechenie Rossii* [Baking in Russia], 2001, no. 11, pp. 46–53. (in Russ.)
3. Koz'mina N.P. [Breadmaking biochemistry]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 1978. (in Russ.)
4. Nilova L.P. *Tovarovedenie i ekspertiza zernomuchnykh tovarov* [Merchandising and inspection of grain-flour goods]. St. Petersburg, 2005.
5. Potoroko I.Yu., Popova N.V., Tsirul'nichenko L.A. [Usability of laser diffraction method in the colloidal state of animal products research.]. *Torgovo-ekonomicheskie problemy regional'nogo biznes prostranstva* [Trade and economic issues of regional business space], 2012, no. 1, pp. 186–188. (in Russ.)
6. Khosni R.K. *Zerno i zernoprodukty* [Grain and grain products]. St. Petersburg, 2006. 330 p.
7. Alain Le-Bail, Guenaelle Leray, Annick Perronnet, Guillaume Roelens. Impact of the chilling conditions on the kinetics of staling of bread. *Journal of Cereal Science*, 54 (2011) 13–19. DOI: 10.1016/j.jcs.2010.10.007

8. Altamirano-Fortoul R., Hernbndez-Musoz P., Hernando I., Rosell C.M. Mechanical, microstructure and permeability properties of a model bread crust: Effect of different food additives. *Journal of Food Engineering*, 163 (2015) 25–31. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.04.019
9. 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
10. 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
11. 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
12. 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
13. Fernandez U., Vodovotz Y., Courtney P., Pascall M. Extended shelf life of soy bread using modified atmosphere packaging. *J Food Prot.*, 69(3) (2006) 693–698.
14. Gangadharappa G.H., Ramakrishna R., Prabhasankar P. Chemical and scanning electron microscopic studies of wheat whole-meal and its streams from roller flour mill. *Journal of Food Engineering*, 85 (2008) 366–371. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.07.018
15. Hathorna C.S., Biswasb M.A., Gichuhia P.N., Bovell-Benjamina A.C. Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT*, 41 (2008) 803–815. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.06.020
16. Jinglin Yu., Shujun Wang, Jingrong Wang, Caili Li, Quanwei Xin, Wei Huang, Yan Zhang, Zhonghu He, Shuo Wang. Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat. *Food Chemistry*, 172 (2015) 504–514. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.070
17. Marcela Sluková, Miroslav Kubín, Šárka Horáčková, Josef Přihoda. Application of Amylographic Method for Determination of the Staling of Bakery Products. *Food Analysis, Food Quality and Nutrition Czech J. Food Sci.*, 33, 2015 (6): 507–512. DOI: 10.17221/184/2015-cjfs
18. Mari'a Eugenia Ba'rcenas, Cristina M. Rosell. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*, 19 (2005) 1037–1043. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2005.01.005
19. Pandey A., Socool C.R., Mitichell D. New developments in solid-state fermentation. I, Bioprocess and products. *Proc. Biochem.*, 35 (2000) 1153–1169. DOI: 10.1016/s0032-9592(00)00152-7
20. Prabhasankar P., Indrani D., Rajiv Jyotsna, Venkateswara Rao G. Scanning electron microscopic and electrophoretic studies of the baking process of south Indian parotta – an unleavened flat bread. *Food Chemistry*, 82 (2003) 603–609. DOI: 10.1016/s0308-8146(03)00017-7
21. Semin Ozge Ozkoc, Gulum Sumnu, Serpil Sahin. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens. *Food Hydrocolloids*, 23 (2009) 2182–2189. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2009.04.003

Natalia V. Naumenko. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Food and Biotechnology Department, South Ural State University, Naumenko_natalya@mail.ru

Received 9 September 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Науменко, Н.В. Опыт отечественных и зарубежных ученых в использовании микроскопии как перспективного метода для изучения пищевых продуктов / Н.В. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2016. – Т. 4, № 4. – С. 80–85. DOI: 10.14529/food160409

FOR CITATION

Naumenko N.V. Experience of Russian and Foreign Scientists in the Use of Microscopy as a Perspective Method for Studying Food Products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 80–85. (in Russ.) DOI: 10.14529/food160409