

Научная статья

УДК 641.13

DOI 10.24888/2541-7835-2024-32-41-48

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ В КРАХМАЛСОДЕРЖАЮЩЕМ СЫРЬЕ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ

Ильдирова Светлана Климентовна^{1✉}, Кусова Ирина Урузмаговна²,
Федотова Нелля Анатольевна³

^{1,2,3}Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

¹ildirovask@mgupp.ru✉

²kusovaiu@mgupp.ru

³fedotovana@mgupp.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы по решению проблемы сокращения длительности процесса производства хлебобулочных изделий за счет разработки ускоренных технологий дрожжевого теста, что позволит увеличить экономический эффект производства. Одним немаловажным фактором успешного производства хлебобулочных изделий является рациональное использование вторичного сырья, что позволит разработать безотходное производство и решить вопрос по ресурсосберегающим программам. Поэтому материал статьи является актуальным. На современном этапе наиболее распространенное направление в производстве дрожжевого теста для хлебобулочных изделий является поиск источников простых углеводов из вторичных продуктов переработки картофеля, предварительно измельченного и замороженного. Данное сырье было использовано в технологии дрожжевого теста для хлебобулочных изделий, а также исследовано и обосновано влияние низкотемпературной обработки крахмалсодержащего сырья на количественное накопление редуцирующих сахаров, таких как фруктоза, глюкоза, низкомолекулярных декстриновых веществ. Также авторами в статье представлены результаты исследования по накоплению амилозы и амилопектина в картофельном соке в зависимости от длительности низкотемпературной обработки. Определены экспериментальные зависимости количества амилозы и амилопектина от длительности выдержки вторичных продуктов переработки картофеля при различных температурах.

Ключевые слова: сахарозаменитель, крахмалсодержащее сырье, абсорбционная спектроскопия, оптическая плотность, спектральная зависимость

Для цитирования: Ильдирова С.К., Кусова И.У., Федотова Н.А. Исследование зависимости содержания полисахаридов в крахмалсодержащем сырье от длительности низкотемпературной обработки // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 2(32). С. 41-48. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-32-41-48>.

Original article

STUDY OF THE DEPENDENCE OF POLYSACCHARIDES CONTENT IN STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS ON THE DURATION OF LOW TEMPERATURE PROCESSING

Svetlana K. Ildirova^{1✉}, Irina U. Kusova², Nellia A. Fedotova³

^{1,2,3}Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

¹ildirovask@mgupp.ru✉

²kusovaiu@mgupp.ru

³fedotovana@mgupp.ru

Abstract. The issues of solving the problem of reducing the duration of the bakery production process through the development of accelerated yeast dough technologies, which will increase the economic effect of

production are discussed in this article. One important factor in the successful production of bakery products is the rational use of secondary raw materials, which will allow us to develop waste-free production and solve the issue of resource-saving programs. At the current stage the most common direction in the production of yeast dough for bakery products is the search for sources of simple carbohydrates from processed products of pre-crushed and frozen potato processing. This raw material was used in the technology of yeast dough for bakery products, and the effect of low-temperature processing of starch-containing raw materials on the quantitative accumulation of reducing sugars such as fructose, glucose, low molecular weight dextrin substances was investigated and justified. The authors also present the results of a study on the accumulation of amylose and amylopectin in potato juice, as well as how it depends on the duration of low-temperature processing. Experimental dependences of the amount of amylose and amylopectin on the duration of exposure of secondary potato processing products at different temperatures have been determined.

Keywords: sugar substitute, starch-containing raw material, absorbing spectroscopy, absorbency, spectral dependence

For citation: Ildirova S.K., Kusova I.U., Fedotova N.A. Study of the dependence of polysaccharides content in starch-containing raw materials on the duration of low temperature processing. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2024, no. 2(32), pp. 41-48. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-32-41-48>.

Введение

На сегодня хлебопекарная промышленность Российской Федерации имеет большое значение, в первую очередь для поддержки социальной стабильности в обществе, ведь ее продукция удовлетворяет потребности всех слоев населения [1]. Следует отметить, что процесс производства хлебобулочных изделий является достаточно длительным, поэтому разработка ускоренных технологий позволит значительно сократить время приготовления хлебобулочных изделий [8-10]. Наряду с этим проблема рационального использования промышленного вторичного сырья и создания безотходных технологий очень остро стоит в концепции создания ресурсосберегающих технологий [6,7].

Поэтому актуальным является вопрос разработки принципиально новых ускоренных технологий хлебобулочных изделий с использованием натурального сырья.

Анализ литературных источников показал, что в последние годы широкое распространение получила разработка ускоренных технологий производства хлебобулочных изделий за счет введения дополнительных ингредиентов или дополнительных операций [2, 3, 5].

Исследуя эту проблему, мы решили сразу, как минимум, три задачи:

- рациональное использование вторичного сырья;
- поиск новой технологии получения сахарозаменителя из крахмалсодержащего сырья;
- использование полученной добавки в технологии дрожжевого теста.

Нами были проведены исследования о влиянии вторичных продуктов переработки картофеля на качественные показатели теста, и доказана эффективность их использования в среде предварительной активации дрожжей. Все исследования проводились в лаборатории Российского биотехнологического университета на протяжении последних двух лет.

Известно, что крахмал – это полисахарид, состоящий из амилозы и амилопектина, мономером которых является α -глюкоза. При взаимодействии крахмала с йодом образуются окрашенные (светопоглощающие) соединения: амилоза приобретает синюю окраску, а амилопектин – сине-фиолетовую. Содержание амилозы и амилопектина пропорциональны интенсивностям соответствующих полос поглощения [3, 4].

Целью данного исследования являлось определение содержания полисахаридов в крахмалсодержащем сырье от низкотемпературной обработки методом абсорбционной спектроскопии в видимом диапазоне длин волн.

Предметом исследования стали промышленные вторичные продукты переработки картофеля, подвергнутые замораживанию и последующей сушке.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- обоснование и исследование влияния низкотемпературной обработки на количественное накопление редуцирующих сахаров в крахмалсодержащем сырье;

- определение зависимости количества амилозы и амилопектина в картофельном соке от длительности низкотемпературной обработки;
- определение зависимости количества амилозы и амилопектина в картофельном соке при различных температурах.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в лаборатории Российского биотехнологического университета на протяжении последних двух лет (2022-2023 гг.).

Из вышеизложенного следует, что оптическая плотность пропорциональна концентрации молекул в растворе:

$$D = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \cdot \mu \cdot c \cdot x, \quad (1)$$

где

D – оптическая плотность;

I_0 – интенсивность излучения, падающего на слой вещества;

I – интенсивность излучения, прошедшего через слой вещества;

μ – молярный коэффициент поглощения;

c – концентрация вещества в растворе;

x – длина оптического пути.

Выражение (1) позволяет экспериментально определить содержание полисахаридов в картофельном соке прямым спектрофотометрическим методом в видимом диапазоне длин волн.

Для образования окрашенного соединения использовали реакцию крахмала с йодом. Образцы продуктов реакции (крахмала с йодом) изготавливали для измерений в виде плоскопараллельного слоя водной суспензии толщиной 0,1 мм, расположенного между окнами из кварца.

В случае суспензий, когда в бесцветном растворе (дисперсионная среда) находится твёрдое окрашенное вещество, распределенное в виде мельчайших частичек во взвешенном состоянии (дисперсная фаза), необходимо учитывать изменение интенсивности прошедшего излучения за счет его рассеяния частицами дисперсной фазы, а также прохождение излучения без взаимодействия с ними.

Регистрацию спектров пропускания проводили при комнатной температуре $T_{\text{комн}} = 293$ К с помощью спектрометра PGS-2 (Carl Zeiss).

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 1 приведены спектральные зависимости оптической плотности образцов: контрольного и выдержанного при температуре $T = 268$ К в течение 3, 6, 9 и 12 часов.

Из рисунка 1 видно, что в диапазоне длин волн от 340 до 850 нм спектральные зависимости оптической плотности $D(\lambda)$ образцов состоят из полос поглощения с максимумами вблизи 450, 580 и 680 нм и полос поглощения при длинах волн менее 400 и более 800 нм. С увеличением длительности выдержки образца при температуре 268 К спектральная зависимость оптической плотности при пропускании понижается, что соответствует уменьшению количества амилозы и амилопектина в образцах сока картофеля.

Если принять, что поглощение и рассеяние излучения частицами дисперсной фазы являются независимыми процессами, то с учетом поглощения дисперсионной среды измеренная спектральная зависимость оптической плотности такой системы $D_{\text{и}}(\lambda)$, рассчитанная по выражению (1), будет равна сумме спектральной зависимости оптической плотности, обусловленной светорассеянием ($D_{\text{р}}(\lambda)$), и спектральной зависимости оптической плотности, обусловленной поглощением ($D_{\text{п}}(\lambda)$):

$$D_{\text{и}}(\lambda) = D_{\text{п}}(\lambda) + D_{\text{р}}(\lambda), \quad (2)$$

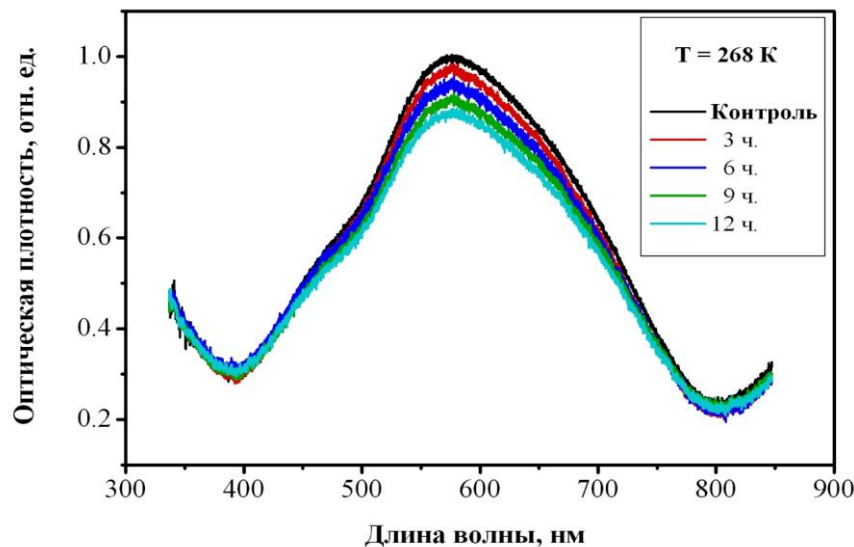


Рисунок 1. Зависимость оптической плотности образцов сока картофеля от времени выдержки

Тогда, в соответствии с выражением (2), для нахождения спектральной зависимости оптической плотности, связанной с поглощением дисперсного слоя суспензии, необходимо из измеренной спектральной зависимости оптической плотности вычесть спектральную зависимость оптической плотности, связанной с рассеянием.

С увеличением размеров частиц интенсивность рассеяния становится обратнопропорциональной длине волны в степени меньшей, чем четвертая, и на практике используют эмпирические зависимости. Например, Геллер предложил выразить оптическую плотность на длине волны λ формулой 3:

$$D = \alpha \cdot \lambda^{-n}, \quad (3)$$

где

α – константа, не зависящая от длины волны;

n – показатель степени, зависящий параметрическим образом от соотношения между размером рассеивающей частицы и длиной волны падающего света.

Разложение спектральных зависимостей оптической плотности $D(\lambda)$ выполняли при помощи линий гауссовой формы с аппроксимирующей функцией в виде:

$$y = y_0 + \frac{A}{w \cdot \sqrt{\pi}/2} \exp\left(-2 \cdot \frac{(x - xc)^2}{w^2}\right), \quad (4)$$

где

y_0 – уровень фона;

A – площадь под кривой;

w – ширина кривой на половине ее высоты;

xc – x -координата положения максимума кривой.

Тогда суммарная кривая S линий спектрального разложения будет иметь вид:

$$y = \sum_{i=1}^N \left(y_{0i} + \frac{A_i}{w_i \cdot \sqrt{\pi}/2} \exp\left(-2 \cdot \frac{(x - xc_i)^2}{w_i^2}\right) \right). \quad (5)$$

Спектральный анализ проводили в области максимальной чувствительности спектрального прибора в диапазоне длин волн от 390 до 800 нм, где измерения являются наиболее достоверными.

Пример разложения спектральной зависимости оптической плотности $D(\lambda)$ контрольного образца, выдержанного при температуре $T = 268$ К в течение 12 часов, приведен на рисунке 2.

Сплошными линиями показаны линии разложения спектральной зависимости оптической плотности контрольного образца. Пунктирными линиями показаны линии разложения спектральной зависимости оптической плотности образца, выдержанного при температуре $T = 268$ К в течение 12 часов.

На рисунке 2 видно, что в диапазоне длин волн от 390 до 800 нм спектральные зависимости оптических плотностей $D(\lambda)$ образцов разлагаются на линии 1, 2 и 3.

Параметры линий разложения спектров контрольного образца приведены в таблице 1.

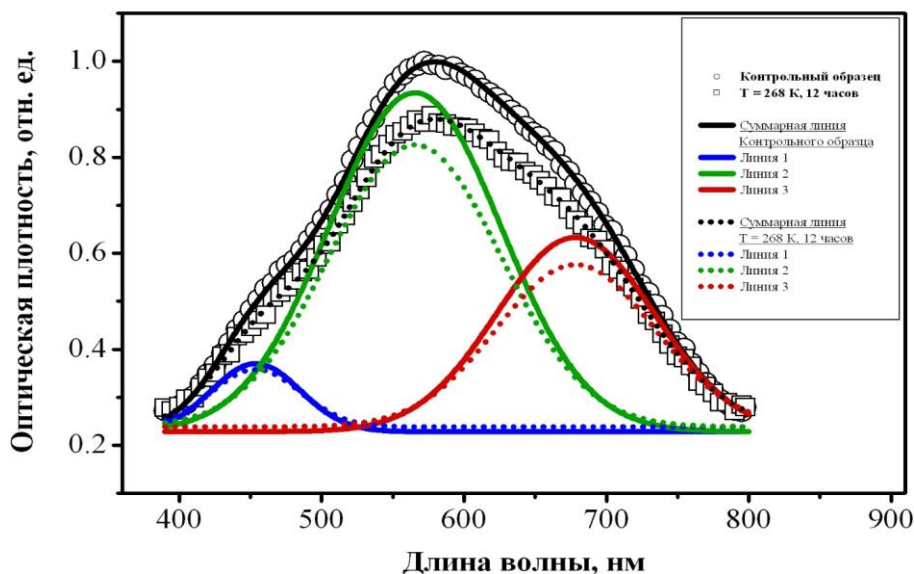


Рисунок 2. Разложение спектральной зависимости оптической плотности $D(\lambda)$ контрольного образца, выдержанного при температуре $T = 268$ К в течение 12 ч

Линия 2 (максимум при 565.62078 нм в табл. 1) на рисунке 2 отнесена к полосе поглощения комплексов амилопектина, а линия 3 (максимум при 678.33333 нм в табл. 1) – к полосе поглощения комплексов амилозы. Поскольку количества амилозы и амилопектина пропорциональны интенсивностям соответствующих линий, то становится возможным экспериментальное определение содержания амилозы и амилопектина в картофельном соке в зависимости от длительности выдержки картофеля при данной температуре. Образец с неизвестным содержанием амилопектина и амилозы сравнивался с эталонным образцом с известной концентрацией.

Таблица 1. Параметры линий разложения спектров контрольного образца

Параметр	Линия 1	Линия 2	Линия 3
y_0		0.22856	
x_c	453.9748	565.62078	678.33333
w	62.11596	120.43943	111.07838
A	11.04372	106.58256	56.32813

Изменение содержания амилозы и амилопектина в зависимости от длительности выдержки вторичных продуктов переработки картофеля при температурах 268, 255 и 233 К приведены на рисунке 3.

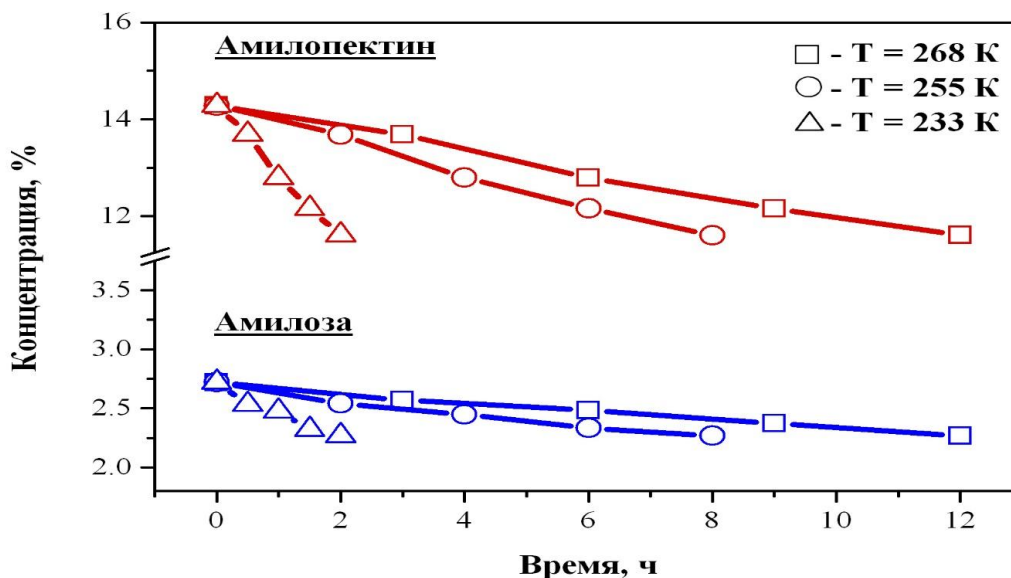


Рисунок 3. Содержание амилозы и амилопектина в картофельном соке в зависимости от длительности низкотемпературной обработки

В результате анализа спектров пропускания суспензий продуктов реакции картофельного сока с йодом определены экспериментальные зависимости количества амилозы и амилопектина в зависимости от длительности выдержки картофеля при температурах 268, 255 и 233 К.

Выводы

1. В диапазоне длин волн от 340 до 850 нм спектральные зависимости оптической плотности $D(\lambda)$ образцов состоят из полос поглощения с максимумами вблизи 450, 580 и 680 нм и полос поглощения при длинах волн менее 400 и более 800 нм.
2. Определена зависимость влияния температуры на редуцирующие сахара: чем ниже температура предварительной обработки, тем интенсивнее проходит процесс распада крахмальных полисахаридов с образованием глюкозы, мальтозы и низкомолекулярных декстринов. В результате анализа спектров пропускания суспензий продуктов реакции картофельного сока с йодом определено, что наибольшее количество амилозы и амилопектина в зависимости от длительности выдержки картофеля при температуре 268 К.
3. Образовавшиеся конечные продукты распада крахмальных полисахаридов выступают в качестве субстанции для активизации дрожжевых клеток на стадии брожения при производстве дрожжевого теста.
4. Было доказано, что предварительная активация дрожжей позволяет значительно сократить процесс образования и расстойки дрожжевого теста за счет введения в дрожжевую суспензию субстанции, состоящей из глюкозы, мальтозы и низкомолекулярных декстринов.

Список источников

1. Васюкова А.Т. и др. Влияние составных компонентов рецептуры на качество дрожжевого теста / А.Т. Васюкова, Т.С. Жилина, О.А. Хлебникова, А.И. Беленков, В.Ф. Пучкова // Известия ТСХА. 2013. № 5. С. 101-113.
2. Вершинина О.Л. Новая технология улучшенных хлебобулочных изделий с использованием муки, полученной из овсяного корня / О.Л. Вершинина, Ю.Ф. Росляков, В.В. Гончар // Инновационные технологии в пищевой промышленности. 2015. С. 28-31.

3. Зайцева Т.Н. Физико-химические показатели теста для мучных кулинарных изделий, обогащенного мукой грецкого ореха / Т.Н. Зайцева, Е.Е. Ходакова, Ю.В. Мироманова // Молодой ученый. 2016. № 12 (116). С. 275-278.

4. Золотова Ю.А. Основы аналитической химии / Ю.А.Золотова // Практическое руководство под редакцией Ю.А. Золотова. Москва: Высшая школа, 2004. 135 с.

5. Изучение потенциала обогащающих ингредиентов в технологии хлебобулочных изделий с улучшенными экологическими характеристиками / Н.М. Дерканосова, О.А. Василенко, С.А. Шеламова, Ю.Н. Пономарева // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельском производстве: сборник национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2020. С. 21-24.

6. Орешенкова Е.Г. Спектральный анализ / Е.Г. Орешенкова. Москва: Высшая школа. 1982. 358 с.

7. Патент РФ 2486754. Способ предварительной активации прессованных дрожжей для приготовления теста / Хмелевская А.В., Швеиц Д.В., Темираев Р.В. и др. // Заявл. 12.12.2011, опубл. 10.07.2013.

8. Патент РФ 2325057. Способ улучшения качества пшеничного хлеба и хлебобулочных изделий / Медведев А.Е., Мелешкина Е.П., Меньшенин А.И. // Заявл. 24.11.2005, опубл. 27.05.2007.

9. Патент РФ 2352117. Способ приготовления дрожжевого теста / Лутошина Л.А., Старых В.С., Ликстанов М.И. // Заявл. 20.01.2006, опубл. 20.04.2009.

10. Разработка рецептур хлебобулочных изделий с улучшенным химическим составом / Т.Н. Тертычная, Е.А. Высоцкая, И.В. Мажулина, В.С. Агибалова // Наука, образование и инновации в современном мире. 2018. С. 153-157.

References

1. Vasyukova A.T. et al. The influence of the constituent components of the formulation on the quality of yeast dough. A.T. Vasyukova, T.S. Zhilina, O.A. Khlebnikova, A.I. Belenkov, V.F. Puchkova. News TSKhA, 2013, no. 5, pp. 101-113.

2. Verzhinina O.L., Roslyakov Yu.F., Gonchar V.V. New technology of improved bread and bakery products using flour obtained from oat root. Innovative technologies in the food industry, 2015, pp. 28-31.

3. Zaitseva T.N., Khodakova E.E., Miromanova Yu.V. Physico-chemical parameters of the temperature for flour culinary products enriched with walnut flour. Young scientist, 2016, no. 12 (116), pp. 275-278.

4. Zolotova Yu.A. Fundamentals of analytical chemistry. Practical guide edited by Yu.A. Zolotov. Moscow: Higher School Publ., 2004. 135 p.

5. Studying the potential of enriching ingredients in the technology of bakery products with improved environmental characteristics. N.M. Derkanosova, O.A. Vasilenko, S.A. Shelamova, Yu.N. Ponomareva. Collection of the national scientific and practical conference: Mechanization and automation of technological processes in agriculture production, 2020, pp. 21-24.

6. Oreshenkova E.G. Spectral analysis. Moscow: High school Publ., 1982. 358 p.

7. Patent of the Russian Federation 2486754. A method of preliminary activation of compressed yeast for dough preparation. Khmelevskaya A.V., Shvets D.V., Temiraev R.V. et al. Application 12.12.2011, publ. 10.07.2013.

8. Patent of the Russian Federation 2325057. A method for improving the quality of wheat bread and bakery products. Medvedev A.E., Meleshkina E.P., Menshenin A.I. Application 24.11.2005, publ. 27.05.2007.

9. Patent of the Russian Federation 2352117. The method of preparing yeast dough. Lutoshkina L.A., Starykh V.S., Likstanov M.I. Application 20.01.2006, publ. 20.04.2009.

10. Development of recipes for bakery products with improved chemical composition. T.N. Tertychnaya, E.A. Vysotskaya, I.V. Mazhulina, V.S. Agibalova. Science, education and innovations in the modern world, 2018, pp. 153-157.

Информация об авторах

С.К. Ильдирова – кандидат технических наук, доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса;

И.У. Кусова – кандидат технических наук, заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса;

Н.А. Федотова – кандидат технических наук, доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса.

Information about the authors

S.K. Ildirova – Candidate of technical sciences, associate professor at the department of food industry, hotel business and service;

I.U. Kusova – Candidate of technical sciences, head of the department of food industry, hotel business and service;

N.A. Fedotova – Candidate of technical sciences, associate professor at the department of food industry, hotel business and service.