

Научная статья/Research Article

УДК 635.262:543.64

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-208-214

Евгений Дмитриевич Рожнов<sup>1✉</sup>, Марина Николаевна Школьникова<sup>2</sup>,

Анна Сергеевна Казанцева<sup>3</sup>, Елена Евгеньевна Банщикова<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийск, Алтайский край, Россия

<sup>1</sup>red.bti@yandex.ru

<sup>2</sup>shkolnikova.m.n@mail.ru

<sup>3</sup>anya.biysk12@gmail.com

<sup>4</sup>sfk\_avrora@list.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ НЕМИКРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

Цель исследования – оценить влияние условий немикробной ферментации (температуры и продолжительности) на процесс потемнения чеснока. Задачи: определить влияние температуры и продолжительности ферментации чеснока на интенсивность его потемнения, а также накопления 5-гидроксиметилфурфурола как ключевого интермедиата реакции Майяра. Объект исследования – чеснок посевной сорта Добрыня. Для получения черного чеснока головки очищали от верхних нескольких загрязненных слоев шелухи, помещали в эксикатор с водой для сохранения постоянной влажности в процессе ферментации и исключения высушивания образцов при высоких температурах ферментации. Эксикатор помещали в суховоздушный регулируемый термостат и осуществляли ферментацию чеснока при 60; 70; 80 и 90 °С в течение 12–60 сут. Процесс потемнения чеснока при ферментации можно разделить на три стадии: иницирование процесса потемнения (первые 3–6 сут ферментации); интенсивное развитие процесса потемнения (от 6 до 15 сут) и завершение процесса потемнения (в течение 3–40 сут). Внешний вид черного чеснока, полученного ферментацией при 60 °С, был неудовлетворительным, под шелухой встречались отдельные капли воды, что может привести к микробиологическому обсеменению при хранении такого продукта. Ферментация чеснока при температуре 90 °С привела к получению твердого продукта с выраженным запахом и вкусом гари. Количество 5-гидроксиметилфурфурола нарастает во всех образцах ферментируемого чеснока независимо от температуры, однако скорость реакции была выше при более высоких температурах. Нагревание при температуре 80 и 90 °С приводило к существенному увеличению скорости образования 5-гидроксиметилфурфурола и способствовало получению продукта благоприятного черного цвета с блеском, однако вкусовые характеристики этих образцов оказались менее предпочтительными по сравнению с образцами, ферментированными при 60 и 70 °С, поскольку имели неприятный горький вкус жженого сахара.

**Ключевые слова:** чеснок посевной, ферментация чеснока, черный чеснок, реакция Майяра, интенсивность потемнения чеснока, 5-гидроксиметилфурфурол

**Для цитирования:** Определение условий немикробной ферментации чеснока (*Allium sativum* L.) для использования в составе пищевых систем / Е.Д. Рожнов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 11. С. 208–214. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-208-214.

Evgeny Dmitrievich Rozhnov<sup>1</sup>✉, Marina Nikolaevna Shkolnikova<sup>2</sup>, Anna Sergeevna Kazantseva<sup>3</sup>, Elena Evgenievna Banshchikova<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Biysk, Altai Region, Russia

<sup>1</sup>red.bti@yandex.ru

<sup>2</sup>shkolnikova.m.n@mail.ru

<sup>3</sup>anya.biysk12@gmail.com

<sup>4</sup>sfk\_avrora@list.ru

## DETERMINATION OF CONDITIONS FOR NON-MICROBIAL FERMENTATION OF GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) FOR USE IN FOOD SYSTEMS

*The aim of the study is to evaluate the effect of non-microbial fermentation conditions (temperature and duration) on the garlic darkening process. Objectives: to determine the effect of temperature and duration of garlic fermentation on the intensity of its darkening, as well as the accumulation of 5-hydroxymethylfurfural as a key intermediate of the Maillard reaction. The object of the study is common garlic of the Dobrynya variety. To obtain black garlic, the heads were cleaned of the upper several contaminated layers of the husk, placed in a desiccator with water to maintain constant humidity during fermentation and prevent drying of the samples at high fermentation temperatures. The desiccator was placed in a dry-air adjustable thermostat and garlic was fermented at 60; 70; 80 and 90 °C for 12–60 days. The process of garlic darkening during fermentation can be divided into three stages: initiation of the darkening process (the first 3–6 days of fermentation); intensive development of the darkening process (from 6 to 15 days) and completion of the darkening process (within 3–40 days). The appearance of black garlic obtained by fermentation at 60 °C was unsatisfactory, with individual drops of water under the husk, which may lead to microbiological contamination during storage of such a product. Fermentation of garlic at 90 °C resulted in a solid product with a distinct smell and taste of burning. The amount of 5-hydroxymethylfurfural increases in all samples of fermented garlic regardless of temperature, but the reaction rate was higher at higher temperatures. Heating at 80 and 90 °C led to a significant increase in the rate of 5-hydroxymethylfurfural formation and contributed to obtaining a product of a favorable black color with shine, however, the taste characteristics of these samples were less preferable compared to samples fermented at 60 and 70 °C, since they had an unpleasant bitter taste of burnt sugar.*

**Keywords:** garlic, garlic fermentation, black garlic, Maillard reaction, garlic browning intensity, 5-hydroxymethylfurfural

**For citation:** Determination of conditions for non-microbial fermentation of garlic (*Allium sativum* L.) for use in food systems / E.D. Rozhnov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(11): 208–214 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-208-214.

**Введение.** Потенциал традиционных растений внутрицеллюлярной поддержке организма человека обусловлен составом их биологически активных веществ. В полной мере это относится к чесноку посевному (*Allium sativum* L.) – пищевому растению семейства амариллисовых, используемому на протяжении многих веков во всех частях света как в качестве пищевого ингредиента, так и лекарственного (например в Азии), благодаря широкому спектру физиологического воздействия на организм человека [1].

В отличие от многих других овощей чеснок не имеет большого сортового разнообразия. В основном в России можно встретить головки, сос-

тоящие из белых зубчиков, покрытые светлой (иногда с фиолетовыми полосками) шелухой. Химический состав чеснока существенно отличается в зависимости от сорта и условий выращивания в конкретной климатической зоне [2, 3].

Выраженные и типичные вкус и аромат чеснока обусловлены содержанием эфирного масла – 0,23–0,74 %, а функциональные свойства – серосодержащими компонентами: аллицином, S-аллилцистеином, тиосульфатами и др., обуславливающими антиоксидантный, антибиотический и фитонцидный эффекты [4].

Обладающий острым вкусом свежий чеснок при употреблении вызывает неприятный запах

изо рта, поэтому на потребительском рынке присутствует и обработанный чеснок – соленый, маринованный и сушеный, в т. ч. в рецептурах закусок – чипсов, снежков, сухарей, хрустящего сыра, вяленого мяса, растительного и сливочного масла и т. д., широко представленных на продуктовых маркет-плейсах и розничном ритейле.

Одним из способов трансформации нативного состава и вкусо-ароматических свойств растительного сырья является ферментация. Рост спроса на рынке на ферментированные продукты отчасти объясняется растущим интересом к полезной и здоровой пище и восприятием потребителями того, что ферментация – это естественный процесс. Ферментированные продукты составляют в среднем 30 % рациона питания во всем мире [5].

В определенных условиях (повышенная температура, влажность воздуха) в свежем чесноке активизируется специфический фермент аллииназа (содержащая 5,5–6,0 % остатков нейтральных сахаров), инициирующий эндогенную ферментацию. Необходимо отметить, что аллииназа катализирует образование аллицина, обладающего широким спектром биологической активности [6]. Результат данной немикробной ферментации – обработанный чесночный продукт с измененными вкусом и ароматом черного чеснока. Зачернение фруктов и овощей – довольно популярный тренд в индустрии питания, влияющий в определенной степени на торговый ассортимент ритейла. Стоит акцентировать внимание на сути зачернения – медленного потемнения продукта в результате контролируемой реакции Майяра. Неферментативное потемнение возникает в результате многостадийных процессов, протекающих с участием аминокислот, пептидов и белков, вступающих во взаимодействие с редуцирующими сахарами.

**Цель исследования** – оценить влияние условий немикробной ферментации (температуры и продолжительности) на процесс потемнения чеснока.

**Задачи:** определение влияния температуры и продолжительности ферментации чеснока на интенсивность его потемнения, а также накопление 5-гидроксиметилфурфурола как ключевого интермедиата реакции Майяра.

**Объекты и методы.** Объектом исследования являлся чеснок посевной сорта Добрыня,

отличающийся крупным размером луковицы и зубков (средняя масса луковицы – 50–60 г, масса 1 зубка – 5–6 г). Для получения черного чеснока головки очищали от верхних нескольких загрязненных слоев шелухи, помещали в эксикатор с водой для сохранения постоянной влажности в процессе ферментации и исключения высушивания образцов при высоких температурах ферментации. Эксикатор помещали в суховоздушный регулируемый термостат и осуществляли ферментацию чеснока при 60, 70, 80 и 90 °С в течение 12–60 сут.

Для оценки интенсивности потемнения чеснока в процессе ферментации использовали метод, основанный на определении цветового различия образцов согласно методологии CIE Lab. Для количественного определения значений светлоты ( $L^*$ ), а также значений красно-зеленой ( $a^*$ ) и желто-синей ( $b^*$ ) цветовых координат в качестве эталонного образца использовали белую матовую пластину. Координаты цвета определяли по авторской методике, заключающейся в следующем: из массы ферментируемого чеснока произвольным образом отбирали 5 зубков, которые нарежали пластинками в поперечном направлении. Затем с использованием цифровой фотокамеры в белом боксе делали снимки поверхности срезов и эталонной белой пластины. Снимки обрабатывались с использованием интернет-ресурса (Image Color Picker.online. URL: <https://imagecolorpicker.online/ru>), позволяющего с помощью классического для фоторедакторов инструмента «пипетка» определить координаты цвета любой точки загруженного изображения в координатах цвета RGB. Затем, используя цветовой конвертер, определяли координаты цвета в трихроматических координатах XYZ. Далее определяли расчетные координаты  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$  согласно рекомендациям, приведенным в [7]. Интенсивность потемнения оценивали по величине цветового различия образцов, рассчитанной по формуле

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2},$$

где  $\Delta L^*$  – разница между светлотой образцов;  $\Delta a^*$  – разница между значениями координат цвета двух образцов по зелено-красной хроматической оси;  $\Delta b^*$  – разница между значениями координат цвета двух образцов по желто-синей хроматической оси.

Содержание 5-гидроксиметилфурфурола в образцах определяли спектрофотометрически (Shimadzu UV 1800, Япония) с использованием градуировочного графика согласно [8].

**Результаты и их обсуждение.** Типичным процессом, сопровождаемым ферментацию чеснока, является его неферментативное потемнение, что обусловлено протеканием реак-

ции Майяра, основными катализаторами которой, как известно, являются температура, активная кислотность и ряд других факторов [9]. На начальном этапе исследования рассматривали влияние температуры на интенсивность потемнения чеснока при ферментации. Результаты исследования представлены на рисунке 1.

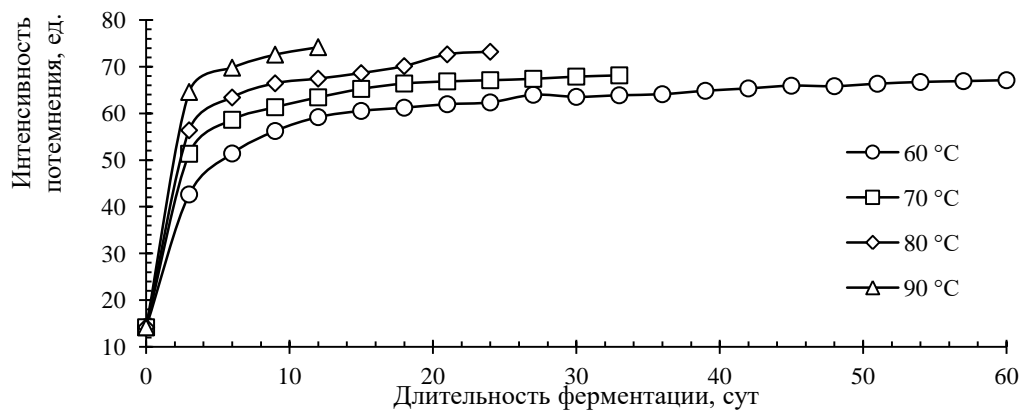


Рис. 1. Влияние продолжительности ферментации на интенсивность потемнения чеснока

Установлено, что имеется прямая зависимость между температурой ферментации, ее продолжительностью и интенсивностью протекания процесса потемнения чеснока. Результатом протекания реакции неферментативного потемнения чеснока является образование меланоидинов, которое связано с процессом енолизации сахаров и рацемизацией аминокислот. Как показывают результаты, представленные на рисунке 1, потемнение в образцах чеснока происходило постепенно, причем скорость потемнения образцов, ферментируемых при более высокой температуре, была интенсивней, что согласуется с рядом опубликованных данных [10]. Визуально процесс потемнения чеснока при ферментации можно разделить на три стадии:

1. *Инициирование процесса потемнения.* Протекает в зависимости от температуры в первые 3–6 сут ферментации и связано с началом развития окраски чеснока от белой до бледно-коричневой, при этом во внутренних слоях зачастую встречается неоднородность и наблюдаются белые пятна.

2. *Интенсивное развитие процесса потемнения.* Происходит в зависимости от температуры от 6 до 15 сут и сопровождается развитием темно-коричневой окраски.

3. *Завершение процесса потемнения.* Происходит в течение 3–40 сут и сопровождается медленным развитием темно-коричневой окраски до почти черной.

Как показали исследования, в результате ферментации при различных температурах изменяется конечная влажность образцов ферментированного чеснока. Так, при ферментации при 60 °C конечная влажность чеснока составила  $(51,76 \pm 0,68) \%$ ; при 70 °C –  $48,24 \pm 0,42$ ; при 80 °C –  $46,38 \pm 0,31$ , а при 90 °C –  $(44,33 \pm 0,23) \%$ . Начальное содержание влаги образцов чеснока составляло  $(56,54 \pm 1,24) \%$ . Таким образом, учитывая постоянную влажность в камере для ферментации, можно судить о том, что часть связанной влаги чеснока была израсходована на протекание биохимических реакций под действием эндогенных ферментов, что подтверждается современными представлениями о протекании реакции Майяра и сопутствующих реакций при потемнении продуктов питания. При снижении влажности до 46–45 % чеснок становился мягким и эластичным, большее снижение влажности делает чеснок твердым с плохой эластичностью. Внешний вид черного чеснока, полученного ферментацией при 60 °C, был неудовлетворительным, под шелухой встречались отдельные капли воды, что может привести к микробиологи-

чесокому обсеменению при хранении такого продукта. Ферментация чеснока при температуре 90 °С привела к получению твердого продукта с выраженным запахом и вкусом гари.

Одним из интермедиатов реакции Майяра является 5-гидроксиметилфурфурол (ГМФ) – обычный компонент сахаросодержащих продук-

тов, получаемых с использованием процессов нагревания, а абсолютное содержание ГМФ в ряде продуктов питания является нормируемым показателем [11]. Результаты определения содержания ГМФ при ферментации чеснока представлены на рисунке 2.

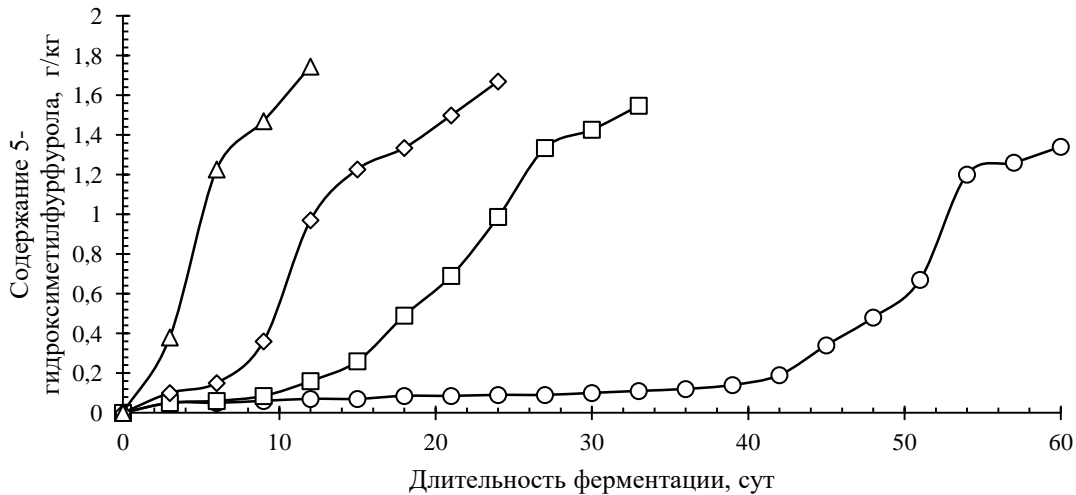


Рис. 2. Динамика содержания 5-гидроксиметилфурфуола в чесноке при ферментации

Было установлено, что содержание ГМФ коррелирует с нарастанием цвета в чесноке при его ферментации. Как показали проведенные исследования, количество ГМФ нарастает во всех образцах ферментируемого чеснока независимо от температуры, однако скорость реакции была выше при более высоких температурах. В образце чеснока, ферментируемого при 60 °С, в первые 40 сут. процесса нарастание ГМФ было незначительным и составило 0,14 г/кг. Нагревание при температуре 80 и 90 °С приводило к существенному увеличению скорости образования ГМФ и способствовало получению продукта благоприятного черного цвета с блеском, однако вкусовые характеристики этих образцов оказались менее предпочтительными по сравнению с образцами, ферментированными при 60 и 70 °С, поскольку имели неприятный горький вкус жженого сахара.

**Заключение.** Таким образом, экспериментально установлено, что в результате ферментации при различных температурах изменяется конечная влажность образцов ферментированного чеснока. Так, при ферментации при 60 °С конечная влажность чеснока составила  $(51,76 \pm$

$0,68)$  %; при 70 °С –  $48,24 \pm 0,42$ ; при 80 °С –  $46,38 \pm 0,31$ , а при 90 °С –  $(44,33 \pm 0,23)$  %. При снижении влажности до 46–45 % чеснок становился мягким и эластичным, большее снижение влажности делает чеснок твердым с плохой эластичностью. Внешний вид черного чеснока, полученного ферментацией при 60 °С, был неудовлетворительным, под шелухой встречались отдельные капли воды, что может привести к микробиологическому обсеменению при хранении такого продукта. Количество ГМФ нарастало во всех образцах ферментируемого чеснока независимо от температуры, однако скорость реакции была выше при более высоких температурах. Нагревание при температуре 80 и 90 °С приводило к существенному увеличению скорости образования ГМФ и способствовало появлению неприятного горького вкуса жженого сахара. Как показали результаты исследования, изменение содержания ГМФ при ферментации чеснока можно будет рассматривать в качестве одного из контрольных показателей для прогнозирования скорости образования черного цвета.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Tahir Z., et al. Comparative study of nutritional properties and antioxidant activity of raw and fermented (black) garlic // International Journal of Food Properties. 2022. Vol. 25, № 1. P. 116–127.*
2. *Елисеева Т., Ямпольский А. Чеснок (лат. *Allium sativum*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2019. Т. 1, № 7. С. 11–22.*
3. *Shang A., et al. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.) // Foods. 2019. Vol. 8. № 7. Article: 246.*
4. *Javed M., et al. Garlic as a potential nominee in functional food industry // Herbs and Spices-New Processing Technologies. IntechOpen, 2021.*
5. *Shiferaw Terefe N., Augustin M.A. Fermentation for tailoring the technological and health related functionality of food products // Critical reviews in food science and nutrition. 2020. Vol. 60. № 17. P. 2887–2913.*
6. Биологически активные вещества белковой природы с антифунгальным и ростстимулирующим эффектами, выделенные из чеснока посевного (*Allium sativum* L.) / О.Г. Куликова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 705–713.
7. ISO/CIE 11664-4:2019(F) Colorimétrie – Partie 4: Espace chromatique L\*a\*b\* CIE 1976. 9 p.
8. *Zappalà M., Fallico B., Arena E., Verzera A. Methods for the determination of HMF in honey: A comparison // Food Control. 2005. Vol. 16. P. 273–277.*
9. *Sun Y., Lin L., Zhang P. Color development kinetics of Maillard reactions // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. Vol. 60. № 9. P. 3495–3501.*
10. *Wen-Qiong W., et al. Effect of temperature and pH on the gelation, rheology, texture, and structural properties of whey protein and sugar gels based on Maillard reaction // Journal of Food Science. 2021. Vol. 86. № 4. P. 1228–1242.*
11. *Echavarría A.P., et al. Fruit juice processing and membrane technology application // Food Engineering Reviews. 2011. Vol. 3. P. 136–158.*

## References

1. *Tahir Z., et al. Comparative study of nutritional properties and antioxidant activity of raw and fermented (black) garlic // International Journal of Food Properties. 2022. Vol. 25, № 1. P. 116–127.*
2. *Eliseeva T., Yampol'skij A. Chesnok (lat. *Allium sativum*) // Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii. 2019. T. 1, № 7. S. 11–22.*
3. *Shang A., et al. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.) // Foods. 2019. Vol. 8. № 7. Article: 246.*
4. *Javed M., et al. Garlic as a potential nominee in functional food industry // Herbs and Spices-New Processing Technologies. IntechOpen, 2021.*
5. *Shiferaw Terefe N., Augustin M.A. Fermentation for tailoring the technological and health related functionality of food products // Critical reviews in food science and nutrition. 2020. Vol. 60. № 17. P. 2887–2913.*
6. Биологически активные вещества белковой природы с антифунгальным и ростстимулирующим эффектами, выделенные из чеснока посевного (*Allium sativum* L.) / O.G. Kulikova [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016. T. 51, № 5. S. 705–713.
7. ISO/CIE 11664-4:2019(F) Colorimétrie – Partie 4: Espace chromatique L\*a\*b\* CIE 1976. 9 p.
8. *Zappalà M., Fallico B., Arena E., Verzera A. Methods for the determination of HMF in honey: A comparison // Food Control. 2005. Vol. 16. P. 273–277.*
9. *Sun Y., Lin L., Zhang P. Color development kinetics of Maillard reactions // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. Vol. 60. № 9. P. 3495–3501.*
10. *Wen-Qiong W., et al. Effect of temperature and pH on the gelation, rheology, texture, and structural properties of whey protein and sugar gels based on Maillard reaction // Journal of Food Science. 2021. Vol. 86. № 4. P. 1228–1242.*
11. *Echavarría A.P., et al. Fruit juice processing and membrane technology application // Food Engineering Reviews. 2011. Vol. 3. P. 136–158.*

Информация об авторах:

**Евгений Дмитриевич Рожнов**<sup>1</sup>, профессор кафедры пищевой инженерии, доктор технических наук

**Марина Николаевна Школьникова**<sup>2</sup>, профессор кафедры технологии питания, доктор технических наук, доцент

**Анна Сергеевна Казанцева**<sup>3</sup>, магистрант кафедры биотехнологий

**Елена Евгеньевна Банщикова**<sup>4</sup>, аспирант кафедры технологии питания

Data on authors:

**Evgeny Dmitrievich Rozhnov**<sup>1</sup>, Professor at the Department of Food Engineering, Doctor of Technical Sciences

**Marina Nikolaevna Shkolnikova**<sup>2</sup>, Professor at the Department of Food Technology, Doctor of Technical Sciences, Docent

**Anna Sergeevna Kazantseva**<sup>3</sup>, Master's student at the Department of Biotechnology

**Elena Evgenievna Banshchikova**<sup>4</sup>, postgraduate student at the Department of Food Technology

