

Научная статья

УДК 663.18

EDN CDQZUR

Технология получения микробного белка из дрожжей

Антон Павлович Неустроев¹, Сергей Леонидович Тихонов²,
Наталья Валерьевна Тихонова³

¹ Уральский государственный экономический университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

^{2,3} Уральский государственный аграрный университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

¹ anton_neustroev@bk.ru, ^{2,3} tihonov75@bk.ru

Аннотация. Разработана технология получения микробного белка на основе дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae*, состоящая из приготовления рабочего раствора в виде 10 % суспензии дрожжей; активации нуклеаз хлоридом натрия (0,1 Н) при условии кислотности не ниже 9,0 рН и температуры 40 °С в течение 60 минут; центрифугирования биомассы; отделения культуральной жидкости; внесения ферментов; высушивания и измельчения. Исследован процесс ферментативного гидролиза прессованных дрожжей протеолитическими ферментными препаратами Протосубтилин, Папаин и Бромелайн в различных дозировках (1–5 %) к общей массе сырья и воды. Условия для процесса протекания ферментации следующие: Протосубтилин (6,5 рН, 40 °С в течение 12 часов), Папаин (8,75 рН, 40 °С в течение 12 часов), Бромелайн (5,5 рН, 40 °С в течение 12 часов). В результате ферментативного гидролиза высокий выход белка (45,6 %) наблюдался при гидролизе Бромелайном в дозировке 4 %. При внесении ферментного препарата Бромелайн в количестве 5 % повышается содержание свободных аминокислот пролина, цистина и метионина в полученном белковом микробном препарате по сравнению с ферментом Протосубтилином. При внесении Папаина в дозировке 4 % увеличивается содержание аспаргиновой кислоты, лизина, гистидина, метионина по сравнению с Протосубтилином и Бромелайном. Следовательно, каждый из исследуемых ферментных препаратов, несмотря на свою специфичность, обладает разной способностью к ферментации.

Ключевые слова: технология, микробный белок, ферментативный гидролиз, аминокислотный состав

Для цитирования: Неустроев А. П., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Технология получения микробного белка из дрожжей // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 209–217.

Original article

Technology for obtaining microbial protein from yeast

Anton P. Neustroev¹, Sergey L. Tikhonov², Natalya V. Tikhonova³

¹ Ural State University of Economics, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Russia

^{2,3} Ural State Agrarian University, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Russia

¹ anton_neustroev@bk.ru, ^{2,3} tihonov75@bk.ru

Abstract. A technology of obtaining microbial protein based on yeast fungi *Saccharomyces cerevisiae* has been developed. This technology includes preparing of working solution in a form of 10% yeast suspension, activation of nucleases with sodium chloride (0.1 N) under the condi-

tion of an acidity of at least 9.0 pH and a temperature of 40 °C for 60 minutes; centrifugation of biomass; separation of culture liquid; introduction of enzymes; drying and grinding. The process of enzymatic hydrolysis of pressed yeast with proteolytic enzyme preparations Protosubtilin, Papain and Bromelain in various dosages (1–5%) to the total mass of raw materials and water has been investigated. The conditions for the fermentation process are as follows: Protosubtilin (6.5 pH, 40 °C for 12 hours), Papain (8.75 pH, 40 °C for 12 hours), Bromelain (5.5 pH, 40 °C for 12 hours). As a result of enzymatic hydrolysis, a high protein yield of 45.6% is observed at 4% Bromelain hydrolysis. When Bromelain is applied in a quantity of 5% the content of free amino acids of proline, cystine and methionine in the resulting protein microbial preparation increases in comparison with the enzyme Protosubtilin. When Papain is applied in a quantity of 4%, the content of aspartic acid, lysine, histidine, and methionine increases compared to Protosubtilin and Bromelain. Consequently, each of the studied enzyme preparations, despite its specificity, has different fermentation ability.

Keywords: technology, microbial protein, enzymatic hydrolysis, amino acid composition

For citation: Neustroev A. P., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Technology for obtaining microbial protein from yeast. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2023;17;4:209–217 (in Russ.).

Введение. Разработка, внедрение в производство и употребление обогащенных пищевых продуктов позволяют ликвидировать дефицит макро- и микронутриентов в питании человека [1].

Одним из перспективных путей решения проблемы недостатка белка в рационе человека является изучение потенциала белка микроорганизмов. Высушенные клетки микроорганизмов (водорослей, бактерий, актиномицетов и грибов), используемых в качестве пищи и кормов, известны под общим названием «микробный белок» [2–4]. Перспективность использования белка дрожжей в технологии пищевой продукции определяется тем, что различные штаммы дрожжей быстро генерируют биомассу из самых разных субстратов – от органических отходов (например, банановой кожуры) до газов (например, метана) [5].

Дрожжи способны расти на различных субстратах, они отличаются высоким содержанием протеинов (45–55 % высушенной массы), а также витаминов группы В [6]. Кроме того, они могут расти при пониженном уровне pH и очень малы по своим размерам, что облегчает их набор. Существенным плюсом является их изученность и удобство ввиду продолжительного применения в традиционной биотехнологии. Также дрожжи содержат большое количество лизина в отличие от других микроорганизмов.

Вид дрожжей, используемых для извлечения микробного белка, определяется

штаммом-гриба продуцента и средой, в которой он выращен. В качестве штамма-продуцента могут быть использованы: *Candida*, *Saccharomyces*, *Hansenula*, *Torulopsis* и др. [7, 8].

Технология получения белка из биомассы дрожжей заключается в том, что используется денуклеинизированная биомасса хлебопекарных дрожжей. Сущность технологии состоит в очистке белковой фракции с дальнейшим получением белковых изолятов [9].

Микробный белок можно получить из нового штамма дрожжей – *Metschnikowia pulcherrima* ВКПМ Y-4340. Для размножения дрожжей необходимы условия: температура 28–30 °C на пивном сусле, сусло-агар, среда Сабуро и гидролизат полисахаридов [10].

Авторами работы [11] исследована возможность применения комплексных растительных питательных сред при производстве микробного белка. В качестве продуцента микробной биомассы выбран штамм дрожжей рода *Candida Scotti*. Установлено, что для большего выхода белка требуется высокая концентрация сахара в субстрате и максимально взятое количество дрожжей на засев.

Зарубежные ученые разработали технологию производства одноклеточного белка [12]. Такой белок был получен путем культивирования соответствующих микробов на различных субстратах, таких как крахмал, кукурузные початки, сыворотка, пшеница, гидролизаты крахмала,

углеводороды, спирты, патока и жмых сахарного тростника. Основными преимуществами вышеуказанной технологии являются сокращение времени производства и возможность производства при любых климатических условиях.

Технология получения микробного белка из дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae* по сравнению с белком растительного и животного происхождения имеет свои преимущества: высокие скорость роста микроорганизмов и содержание белка в биомассе.

Тем не менее микробный белок и пищевые продукты с его использованием отсутствуют на потребительском рынке, что, возможно, связано с несовершенной технологией производства.

Цель работы состоит в совершенствовании технологии получения микробного белка из дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae* с использованием протеолитических ферментов.

Материалы и методы исследования. Для получения дрожжевой суспензии были взяты прессованные дрожжи фирмы «Люкс» (ТУ 10.89.13–038–48975583–2018). Изготовитель: ООО «САФ-НЕВА», Россия.

В качестве объекта исследований использован микробный белок, полученный из биомассы дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae*, и протеолитические ферменты (Протосубтилин, Папаин (ЕС 3.4.22.2) и Бромелайн (ЕС 3.4.22.33)).

Содержание белка определяли в соответствии с требованиями государственного стандарта ГОСТ Р 57221–2016 «Дрожжи кормовые. Методы испытаний».

Установление аминокислотного состава белкового препарата осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity II.

Результаты исследований. Для гидролиза белка дрожжевых грибов *Saccharomyces cerevisiae* нами выбраны ферментные протеолитические препараты (Протосубтилин, Папаин и Бромелайн).

Протосубтилин – бактериальный ферментный препарат, катализатор гидролиза высокомолекулярных белков. *Папаин* – полипептид, протеолитический фермент растительного происхождения, получаемый из папайи.

Папаин представляет собой протеолитический фермент из латекса тропической папайи. Он активен при 5,0–9,0 рН и стабилен при температурах 80 или 90 °С в присутствии субстратов. Ниже 2 рН этот фермент полностью и необратимо инактивируется и остается стабильным в растворах, содержащих мочевины [13].

Бромелайн – протеолитический растительный фермент, смесь протеаз. Он составляет 30–40 % от общего количества белка фруктов и почти 90 % протеолитически активного материала плодов ананаса. Фруктовый бромелайн обладает высокой протеолитической активностью по сравнению со стеблевым бромелайном, с широким оптимумом кислотности для синтетических и белковых субстратов, хотя большинство анализов проводят при нейтральном уровне рН [14].

Технология приготовления микробного белка следующая. Приготовление рабочего раствора в виде 10 % суспензии дрожжей (100 кг прессованных дрожжей на 50 л воды).

Активацию нуклеаз проводили хлоридом натрия (0,1 Н) при условии кислотности не ниже 9,0 рН и температуры 40 °С в промежутке времени 60 минут в термостате. После процесса расщепления нуклеаз центрифугировали биомассу в течение 3 минут при 3 000 оборотах в минуту.

В результате центрифугирования отделилась культуральная жидкость и микробный белок. Отделили культуральную жидкость и ввели ферментные препараты Протосубтилин, Папаин и Бромелайн в соотношении от 2–4 % к получившейся массе белкового препарата.

Термостатировали при температуре 40 °С в течение 12 часов. Затем достали препарат из микробного белка из термостата и направили на сушку в сушильный шкаф при температуре 60–65 °С в течение 24 часов. Измельчили микробный препарат в порошкообразное состояние дисперсностью до 10 мкм.

Схема способа производства микробного препарата из дрожжей рода *Saccharomyces* представлена на рисунке 1.

Процесс ферментации проводили при различных дозировках ферментных препаратов: 1, 2, 3, 4, 5 % каждого фермента к общей массе сырья и воды.

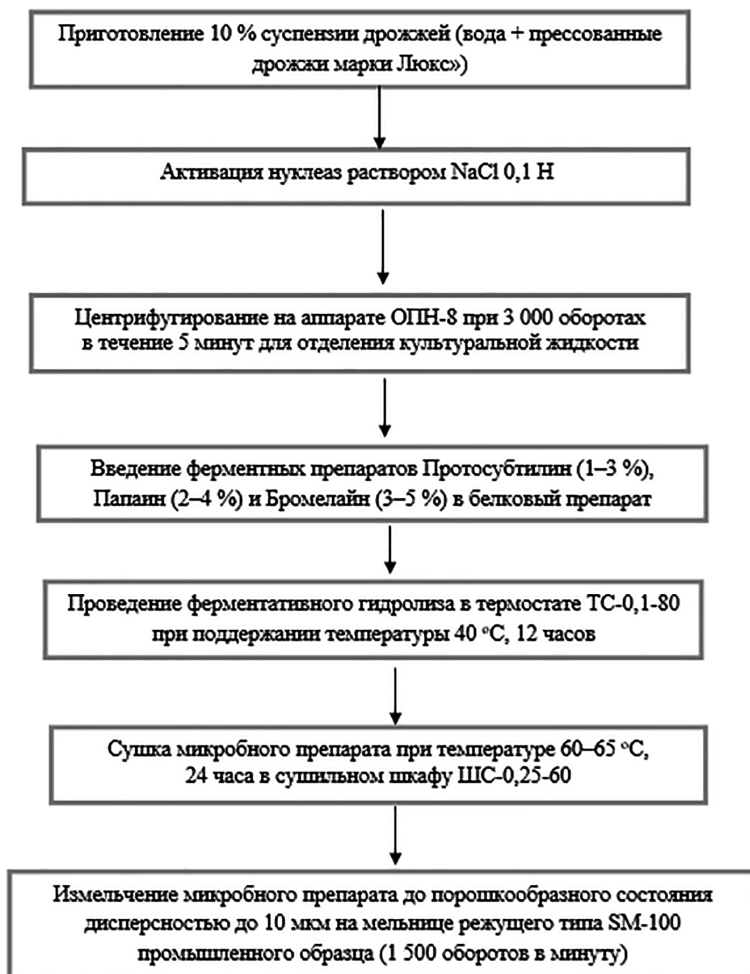


Рисунок 1 – Промышленная схема получения микробного препарата из прессованных дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae*

Figure 1 – Industrial scheme for obtaining a microbial preparation from pressed yeast of the genus *Saccharomyces cerevisiae*

Условия для процесса протекания ферментации:

Протосубтилин (6,5 рН, 40 °С в течение 12 часов); *Папаин* (8,75 рН, 40 °С в течение 12 часов); *Бромелайн* (5,5 рН, 40 °С в течение 12 часов).

В таблице 1 представлено влияние продолжительности ферментативного гидролиза на количественное содержание белка в микробном препарате.

Наибольший выход белка (45,6 %) установлен при гидролизе белка Бромелайном в концентрации 4 % от массы субстрата. С добавлением Папаина наблюдается снижение содержания белка на 6,6 % по сравнению с Папаином с концентрацией 2 %. Внесение Протосубтилина в количестве 2 % привело к повышению

содержания белка на 1,41 % по сравнению с Протосубтилином в количестве 1 %.

Содержание аминокислот в зависимости от концентрации вносимых ферментных препаратов представлено в таблицах 2–4.

Внесение в белковый препарат протеолитических ферментов приводит к увеличению содержания свободных аминокислот. В микробном препарате выделено 17 аминокислот. Наибольшее содержание аминокислот отмечается при ферментативном гидролизе Протосубтилином в количестве 3 % (табл. 2).

При этом содержание валина было выше по сравнению с концентрацией 1 % на 10,16 %; изолейцина на 22,58; лейцина на 17,43; лизина на 8,71; метионина на

Таблица 1 – Влияние продолжительности ферментативного гидролиза на количественное содержание белка в микробном препарате

Table 1 – Effect of enzymatic hydrolysis duration on the quantitative protein content in a microbial preparation

| Показатели | Протосубтилин, % | | | Бромелайн, % | | | Папаин, % | | |
|--------------------------------------|------------------|------|------|--------------|------|------|-----------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 |
| Время ферментативного гидролиза, час | 12 | | | 12 | | | 12 | | |
| Количественное содержание белка, % | 40,39 | 41,8 | 41,2 | 43,8 | 45,6 | 42,3 | 39,0 | 39,5 | 38,7 |

Таблица 2 – Содержание аминокислот в микробном препарате в результате обработки ферментным препаратом Протосубтилин

Table 2 – Content of amino acids in microbial preparation as a result of treatment with enzyme preparation Protosubtilin

В мг/100 г (in mg/100 g)

| Название аминокислоты | Концентрация вносимого Протосубтилина, % | | |
|-----------------------|--|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Валин | 362,2 | 385,0 | 399,9 |
| Изолейцин | 305,5 | 347,6 | 374,5 |
| Лейцин | 1 520,3 | 1 600,3 | 1 785,3 |
| Лизин | 1 950,3 | 1 985,3 | 2 120,3 |
| Метионин | 198,5 | 209,5 | 219,0 |
| Треонин | 937,8 | 998,5 | 1 250,3 |
| Фенилаланин | 1 061,5 | 1 102,5 | 1 208,9 |
| Аланин | 1 025,3 | 1 080,5 | 1 100,3 |
| Аргинин | 1 034,6 | 1 058,9 | 1 096,3 |
| Аспаргиновая кислота | 1 054,6 | 1 095,3 | 1 100,9 |
| Гистидин | 843,0 | 945,2 | 1 049,3 |
| Глицин | 924,3 | 978,2 | 997,8 |
| Глутаминовая кислота | 2 145,3 | 2 162,3 | 2 198,5 |
| Пролин | 856,3 | 885,3 | 925,6 |
| Серин | 1 021,5 | 1 056,8 | 1 142,3 |
| Цистин | 86,3 | 80,3 | 85,9 |
| Тирозин | 879 | 864,2 | 865,8 |
| Всего | 16 206,3 | 16 835,7 | 17 920,8 |

10,32; треонина на 33,32; фенилаланина на 13,88; аланина на 7,31; аргинина на 5,96; аспаргиновой кислоты на 4,39; гистидина на 24,47; глицина на 7,95; глутаминовой

кислоты на 2,47; пролина на 8,09; и серина на 11,82 процентов.

Повышенное накопление для изучаемых аминокислот отмечается при фер-

ментативном гидролизе Папаином при внесении ферментного препарата в соотношении 4 % (табл. 3).

Наибольшее содержание лизина на 48,45 % установлено по сравнению с Папаином концентрацией 2 %; метионина на 49,09; аспаргиновой кислоты на 68,94; гистидина на 31,57; пролина на 31,88 %. Отмечается снижение содержания лейцина на 4,91 % при внесении дозировки ферментного препарата Папаин в количестве 4 % по сравнению с Папаином концентрацией 3 %.

Повышенное накопление отмечается в микробном препарате при ферментативном гидролизе Бромелайном в концентрации 5 %. Так, метионина выше на 24,04 %, пролина и цистина – на 100 % (табл. 4).

Заключение. Каждый из исследуемых ферментных препаратов, несмотря на свою специфичность, обладает разной способностью к ферментации. Следовательно, из всех принятых к рассмотрению образцов наиболее эффективным ферментным препаратом следует считать Бромелайн.

При разработке промышленной схемы получения микробного препарата из дрожжевых грибов усовершенствована технология путем внесения протеолитических ферментов Протосубтилин, Папаин и Бромелайн. В результате ферментативного гидролиза наибольшее содержание по аминокислотному составу и выходу количественного белка наблюдается у ферментного препарата Бромелайн.

Таблица 3 – Содержание аминокислот в микробном препарате в результате обработки ферментным препаратом Папаин

Table 3 – Content of amino acids in microbial preparation as a result of treatment with enzyme preparation Papain

В мг/100 г (in mg/100 g)

| Название аминокислоты | Концентрация вносимого Папаина, % | | |
|-----------------------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 2 | 3 | 4 |
| Валин | 1 056,7 | 1 083,9 | 1 120,4 |
| Изолейцин | 1 235,6 | 1 189,4 | 1 358,9 |
| Лейцин | 1 843,3 | 1 954,2 | 1 752,7 |
| Лизин | 2 056,7 | 3 172,8 | 3 053,2 |
| Метионин | 209,8 | 256,9 | 312,8 |
| Треонин | 1 120,9 | 1 356,7 | 1 398,5 |
| Фенилаланин | 1 156,8 | 1 217,9 | 1 359,5 |
| Аланин | 1 149,5 | 1 204,3 | 1 478,4 |
| Аргинин | 1 124,2 | 1 210,4 | 1 287,8 |
| Аспаргиновая кислота | 1 432,7 | 2 320,6 | 2 420,5 |
| Гистидин | 854,2 | 997,6 | 1 123,9 |
| Глицин | 1 167,5 | 1 217,4 | 1 287,5 |
| Глутаминовая кислота | 2 672,0 | 2 789,5 | 2 985,4 |
| Пролин | 965,4 | 763,2 | 1 273,2 |
| Серин | 1 267,9 | 1 379 | 1 515,7 |
| Цистин | 45,2 | 98,5 | 110,3 |
| Тирозин | 976,3 | 998,2 | 1 027,5 |
| Всего | 20 334,7 | 23 165,5 | 24 886,2 |

Таблица 4 – Содержание аминокислот в микробном препарате в результате обработки ферментным препаратом Бромелайн

Table 4 – Content of amino acids in microbial preparation as a result of treatment with enzyme preparation Bromelain

В мг/100 г (in mg/100 g)

| Название аминокислоты | Концентрация вносимого Бромелайна, % | | |
|-----------------------|--------------------------------------|---------|---------|
| | 3 | 4 | 5 |
| Валин | 1 998,3 | 1 592,7 | 1 985,7 |
| Изолейцин | 1 825,7 | 1 507 | 1 709,3 |
| Лейцин | 2 597 | 1 976,3 | 2 375,3 |
| Лизин | 3 841,7 | 2 340 | 3 385,3 |
| Метионин | 347,7 | 270,7 | 431,3 |
| Треонин | 1 798,3 | 1 397,7 | 1 740,3 |
| Фенилаланин | 1 366,7 | 1 261 | 1 553 |
| Аланин | 1 474,3 | 1 557,7 | 1 728,7 |
| Аргинин | 1 452,7 | 1 459 | 1 661,3 |
| Аспаргиновая кислота | 2 737,7 | 1 691,7 | 2587 |
| Гистидин | 1 000 | 873 | 1 169,3 |
| Глицин | 1 485,3 | 1 183 | 1 412 |
| Глутаминовая кислота | 4 202,3 | 3 411,3 | 3 726,7 |
| Пролин | 591 | 1 091,7 | 1 938,7 |
| Серин | 1 632 | 1355 | 1 609,7 |
| Цистин | 39,7 | 136,3 | 141,7 |
| Тирозин | 1 218,7 | 1 025,3 | 1 257,7 |
| Всего | 29 609 | 24 129 | 30 413 |

Список источников

1. Патент № 2447669 С1 Российская Федерация. Способ получения бифидосодержащего кисломолочного продукта, обогащенного пребиотиком : № 2010152654/10 : заявл. 22.12.2010 : опубл. 20.04.2012 / Решетник Е. И., Уточкина Е. А., Пакусина А. П. Бюл. № 11. 8 с.

2. Upadhyaya S., Tiwari Sh., Arora N. K., Singh D. P. Microbial Protein: a valuable component for future food security // *Microbes and Environmental Management*. 2016. No. 7. P. 21. DOI: 10.13140/RG.2.1.1775.8801.

3. Решетник Е. И., Грибанова С. Л., Егоров Д. В., Грицов Н. В. Использование растительного сырья при производстве кисломолочных продуктов для специализированного питания // *Индустрия питания*. 2021. Т. 6. № 4. С. 39–46. DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-4-4.

4. Решетник Е. И., Уточкина Е. А. Разработка технологии ферментированного молочно-растительного напитка с функциональными свойствами // *Техника и технология пищевых производств*. 2011. № 2 (21). С. 53–56. EDN: NYGVHX.

5. Mayson B., Robert I. J., Lori G., Geoff B. Industrial production of microbial protein products // *Current Opinion in Biotechnology*. 2022. Vol. 75. P. 102707.

6. Carranza-Méndez R. C., Chávez-González M. L., Sepúlveda-Torre L., Aquilar N. C., Govea-Salas M., Ramos-González R. Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis* // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2022. Vol. 40. P. 102298.
7. Matassa S., Boon N., Pikaar I., Verstraete W. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint // *Journal Microbiological Biotechnology*. 2016. No. 9. P. 68–75.
8. Karim A., Gerliani N., Aider M. *Kluyveromyces marxianus*: an emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology // *International Journal of Food Microbiology*. 2020. Vol. 333. P. 108818. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108818.
9. Гапоян А. Г., Красноштанова А. А. Выделение белковых изолятов из дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в условиях комплексной переработки // *Успехи в химии и химической технологии*. 2020. № 11. С. 10–12. EDN: UNOITM.
10. Патент № 2707046 С1 Российская Федерация. Штамм дрожжей *Metschnikowia pulcherrima* – продуцент микробного белка и спирта : № 2018138154 : заявл. 29.10.2018 : опубл. 21.11.2019 / Цугкиев Б. Г., Хозиев А. М., Цугкиева В. Б. Бюл. № 33. 5 с.
11. Омарова К. М., Омарова М. С. Биотехнология получения микробного белка на комплексном растительном сырье // *Сетевое издание Большого Алтайского совета ректоров вузов*. 2016. № 2. С. 65–68.
12. Ositadinma U. A review of microbial protein production: prospects and challenges // *Journal Fuw Trends in Science and Technology*. 2016. No. 1. P. 182–185.
13. Пенджиев А. М. Научный обзор: целебные особенности дынного дерева // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2016. № 5. С. 20–27.
14. Штонда О. А., Тканка М. О. Zastosuvannja roslinnih fermentiv pri virobniectvi marinovanih m'jasnih napivfabrikativ // *Научный взгляд в будущее*. 2017. № 06–02. С. 39–43. DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-2-097.

References

1. Reshetnik E. I., Utochkina E. A., Pakusina A. P. Method for producing bifido-containing fermented milk product enriched with prebiotic. *Patent RF, No. 2447669 C1 patenton.ru* 2012 Retrieved from <https://patenton.ru/patent/RU2447669C1> (Accessed 10 August 2023) (in Russ.).
2. Upadhyaya S., Tiwari Sh., Arora N. K., Singh D. P. Microbial Protein: a valuable component for future food security. *Microbes and Environmental Management*, 2016;7:21. DOI: 10.13140/RG.2.1.1775.8801.
3. Reshetnik E. I., Griбанова S. L., Egorov D. V., Gricov N. V. Plant materials use in the production of fermented milk products for specialized nutrition. *Industriya pitaniya*, 2021;6:4:39–46 (in Russ.). DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-4-4.
4. Reshetnik E. I., Utochkina E. A. Fermented plant milk drink with functional characteristics: technology development. *Tehnika i tehnologija pishhevih proizvodstv*, 2011;2(21):53–56 (in Russ.). EDN: NYGVHX.
5. Mayson B., Robert I. J., Lori G., Geoff B. Industrial production of microbial protein products. *Current Opinion in Biotechnology*, 2022;75:102707.
6. Carranza-Méndez R. C., Chávez-González M. L., Sepúlveda-Torre L., Aquilar N. C., Govea-Salas M., Ramos-González R. Production of single cell protein from orange peel residues by *Candida utilis*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2022;40:102298.
7. Matassa S., Boon N., Pikaar I., Verstraete W. Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Journal Microbiological Biotechnology*, 2016;9: 68–75.
8. Karim A., Gerliani N., Aider M. *Kluyveromyces marxianus*: an emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology. *International Journal of Food Microbiology*, 2020;333: 108818. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108818.
9. Гапоян А. Г., Красноштанова А. А. Extraction of protein isolates from yeast *Saccharomyces Cerevisiae* under conditions of multistage treatment. *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*, 2020;11:10–12. EDN: UNOITM (in Russ.).

10. Tsugkiev B. G., Khoziev A. M., Tsugkiewa V. B. Yeast strain *Metschnikowia pulcherrima* – microbial protein and alcohol producer. Patent RF, No. 2707046 C1 patenton.ru 2019 Retrieved from <https://patenton.ru/patent/RU2707046C1> (Accessed 10 August 2023) (in Russ.).
11. Omarova K. M., Omarova M. S. Biotechnology for obtaining microbial protein from complex plant raw materials. *Setevoe izdanie Bol'shogo Altajskogo soveta rektorov vuzov*, 2016;2:65–68 (in Russ.).
12. Ositadinma U. A review of microbial protein production: prospects and challenges. *Journal Fuw Trends in Science and Technology*, 2016;1:182–185.
13. Pendzhiev A. M. Scientific review: curative features of melon tree. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*, 2016;5:20–27 (in Russ.).
14. Shtonda O. A., Tkanka M. O. Use of vegetative enzymes in the production of marinated meat semis. *Nauchnyj vzgljad v budushhee*, 2017;06-02:39–43 (in Ukrain.). DOI: 10.21893/2415-7538.2017-06-2-097.

© Неустроев А. П., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., 2023

Статья поступила в редакцию 08.10.2023; одобрена после рецензирования 24.11.2023; принята к публикации 30.11.2023.

The article was submitted 08.10.2023; approved after reviewing 24.11.2023; accepted for publication 30.11.2023.

Информация об авторах

Неустроев Антон Павлович, ассистент кафедры пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет, anton_neustroev@bk.ru;

Тихонов Сергей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры пищевой инженерии аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет, tihonov75@bk.ru;

Тихонова Наталья Валерьевна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой пищевой инженерии аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет

Information about authors

Anton P. Neustroev, Assistant of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics, anton_neustroev@bk.ru;

Sergey L. Tikhonov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University, tihonov75@bk.ru;

Natalya V. Tikhonova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.