

Антон Юрьевич Шариков^{1✉}, Дарья Викторовна Поливановская², Елена Михайловна Серб³, Мария Валентиновна Амелякина⁴, Елена Николаевна Соколова⁵

^{1,2,3,4,5}Всероссийский НИИ пищевой биотехнологии – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, Москва, Россия

¹charikov@yandex.ru

²DashPol@mail.ru

³serbae@mail.ru

⁴masha.am@mail.ru

⁵elenaniksokolova@inbox.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЛИЗАТА ДРОЖЖЕВОЙ БИОМАССЫ В ТЕХНОЛОГИИ ЗЕРНОВЫХ ЭКСТРУДАТОВ

Цель исследования – изучить влияние добавления гидролизата дрожжевой биомассы в экструдруемую обойную пшеничную муку, используемую в качестве модельной основы, на режимные параметры экструзии – температуру и давление в камере экструдера, момент сдвига, характеризующий энергозатраты на процесс переработки смесей, и физико-химические показатели экструдированных продуктов. Перспективными ингредиентами, источниками белка, незаменимых аминокислот и других эссенциальных нутриентов являются дрожжевая биомасса и продукты ее переработки. Проведено исследование по влиянию внесения гидролизата дрожжевой биомассы на процесс экструзии обойной пшеничной муки и физико-химические свойства получаемых экструдатов. Установлено, что экструдирование с фиксированной производительностью 28 кг/ч смесей муки и высушенного гидролизата дрожжевой биомассы в количестве до 10 % не влияет значительно на режимные показатели экструзии, удельная механическая энергия при переработке смесей с гидролизатом дрожжевой биомассы незначительно превышала удельную механическую энергию экструзии муки. Незначимым было влияние внесения гидролизата дрожжевой биомассы на насыпную плотность экструдатов, коэффициент расширения, структурно-механические свойства. Анализ текстуры образцов показал, что внесение гидролизата дрожжевой биомассы значительно повысило твердость и снизило количество микроразломов в экструдатах, полученных при снижении влагосодержания и увеличении производительности экструдера, определяющие ужесточение режима экструдирования. Установлено влияние внесения гидролизата дрожжевой биомассы на аминокислотный состав экструдатов. Показано, что содержание связанных аминокислот увеличилось на 14,2 %, свободных на 412 %. Максимальный рост содержания свободных аминокислот отмечен для аланина (18 раз), лизина (15,5 раз), глутаминовой кислоты (13,7 раз). Для этих же кислот в связанном состоянии рост составил 68 %, 49 % и 20,4 %, соответственно.

Ключевые слова: экструзия, белок, пшеница, гидролизат дрожжей, режимы переработки, структурно-механические свойства

Для цитирования: Использование гидролизата дрожжевой биомассы в технологии зерновых экструдатов / А.Ю. Шариков [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12. С. 267–275. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-267-275.

Благодарности: исследование проводилось за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00100.

Anton Yurievich Sharikov^{1✉}, Daria Viktorovna Polivanovskaya², Elena Mikhailovna Serba³,
Maria Valentinovna Amelyakina⁴, Elena Nikolaevna Sokolova⁵

^{1,2,3,4,5}All-Russian All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the FRC for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russia

¹charikov@yandex.ru

²DashPol@mail.ru

³serbae@mail.ru

⁴masha.am@mail.ru

⁵elenaniksokolova@inbox.ru

USING YEAST BIOMASS HYDROLYZATE IN THE GRAIN EXTRUDATE TECHNOLOGY

The purpose of research is to study the effect of adding yeast biomass hydrolyzate to extruded wheat flour, used as a model base, on the operating parameters of extrusion – temperature and pressure in the extruder chamber, shear moment, which characterizes the energy consumption for the process of processing mixtures, and physicochemical parameters of extruded products. Promising ingredients, sources of protein, essential amino acids and other essential nutrients are yeast biomass and its processed products. A study was conducted on the effect of adding yeast biomass hydrolyzate on the process of extrusion of wallpaper wheat flour and the physicochemical properties of the resulting extrudates. It has been established that extrusion with a fixed productivity of 28 kg/h of mixtures of flour and dried yeast biomass hydrolyzate in an amount of up to 10 % does not significantly affect the extrusion performance parameters; the specific mechanical energy when processing mixtures with yeast biomass hydrolyzate slightly exceeded the specific mechanical energy of flour extrusion. The effect of adding yeast biomass hydrolyzate on the bulk density of extrudates, expansion coefficient, and structural and mechanical properties was insignificant. Analysis of the texture of the samples showed that the addition of yeast biomass hydrolyzate significantly increased the hardness and reduced the number of microfractures in the extrudates obtained by reducing the moisture content and increasing the extruder productivity, which determine the tightening of the extrusion mode. The effect of adding yeast biomass hydrolyzate on the amino acid composition of extrudates was established. It was shown that the content of bound amino acids increased by 14.2 %, free by 412 %. The maximum increase in the content of free amino acids was noted for alanine (18 times), lysine (15.5 times), glutamic acid (13.7 times). For the same acids in a bound state, the increase was 68 %, 49 % and 20.4 %, respectively.

Keywords: extrusion, protein, wheat, yeast hydrolyzate, processing regimes, textural and mechanical properties

For citation: Using yeast biomass hydrolyzate in the grain extrudate technology / A.Yu. Sharikov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(12): 267–275. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-267-275.

Acknowledgments: the research was carried out by the Russian Science Foundation grant № 22-16-00100.

Введение. Биомасса спиртовых, пивных, винных и кормовых дрожжей является перспективным источником белка, незаменимых аминокислот и других эссенциальных нутриентов [1–3]. Дрожжевую биомассу можно считать альтернативой растительным и животным источникам белка благодаря ряду факторов, наиболее значимыми из которых являются химический состав, скорость синтеза белка и биологически активных веществ [3]. При этом, несмотря на то что аминокислотный профиль белков биомассы различных штаммов дрожжей несколько уступает животным белкам, по лимитирующим аминокислотам он

значимо превосходит растительные белки. В особенности это относится к лизину. Таким образом, внесение белка дрожжевой биомассы или продуктов ее переработки в продукты и корма на основе злаковых культур не только повышает их пищевую или кормовую ценность, но и имеет потенциал к росту усвояемости белка благодаря компенсации в нем дефицита лимитирующих аминокислот.

Значимый объем злаков в секторе АПК перерабатывается с использованием экструзионных технологий с получением как продуктов питания (сухие завтраки, снеки, продукты быстрого при-

готовления), так и кормов для животных. Белок зерновых культур, являющихся основой рецептур продуктов экструзионной технологии, таких как пшеница, кукуруза, рис, характеризуется несбалансированным аминокислотным составом ввиду наличия лимитирующих аминокислот [4]. Поэтому при разработке экструдированных продуктов, в том числе специализированных, с высоким содержанием белка, сбалансированного по аминокислотному составу, необходимо использование белковых ингредиентов с высоким аминокислотным скором. Рядом исследований показана перспективность внесения биомассы дрожжей и продуктов ее переработки в экструдированные смеси на основе крахмалсодержащего сырья [5–8]. Исследованы процессы экструзии крахмала пшеницы с внесением до 15 % белкового концентрата дрожжей, полученного методом щелочной экстракции [5], до 15 % лиофилизата дрожжевой биомассы [6], кукурузной муки с добавлением до 10 % автолизата дрожжевой биомассы [7], смеси кукурузной и соевой муки с добавлением до 30 % остаточной биомассы пивоваренных дрожжей [8]. По результатам исследований отмечается не только увеличение содержания белка в экструдатах, но и значимая зависимость их физических, структурно-механических свойств от дозировки ингредиентов из дрожжевой биомассы.

Одним из способов переработки микробной биомассы, повышающих биодоступность ее внутриклеточного содержимого, является ферментативный гидролиз с использованием эндогенных ферментных систем протеолитического и β -глюканазного действия, позволяющий деформировать структуру клеточных стенок дрожжей, катализировать биоконверсию внутриклеточных полимеров, и в результате получать гидролизаты с различным биохимическим и структурно-фракционным составом [9].

Сравнительных исследований по влиянию внесения гидролизатов дрожжевой биомассы в экструдированное сырье, а также зависимости физико-химических показателей экструдатов от режимов экструзии практически не проводилось.

Цель исследования – изучить влияние добавления гидролизата дрожжевой биомассы в экструдированную обойную пшеничную муку, используемую в качестве модельной основы, на режимные параметры экструзии – температуру

и давление в камере экструдера, момент сдвига, характеризующий энергозатраты на процесс переработки смесей, и физико-химические показатели экструдированных продуктов.

Задачи: изучить влияние внесения гидролизата дрожжевой биомассы на режимные параметры экструзии обойной пшеничной муки – температуру, давление в камере экструдера, момент сдвига, определить зависимость структурно-механических и цветовых характеристик экструдатов от дозировки гидролизата дрожжевой биомассы и режимов экструзии, оценить изменение аминокислотного состава экструдатов при использовании гидролизата дрожжевой биомассы.

Объекты и методы. Объектом исследования являлся процесс экструзии смесей обойной пшеничной муки и гидролизата дрожжевой биомассы, предметом экструзии – полученные экструдаты.

В качестве модельной основы для экструдированных продуктов использовали обойный сорт муки пшеничной по ГОСТ 26574. Дрожжевой гидролизат получали путем наработки и биоконверсии биомассы промышленной расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 985-T [10]. Дрожжевую биомассу получали путем культивирования на солодовом сусле с содержанием 18 % сухих веществ (СВ) с добавлением минеральных солей (рН среды 4,6) в стационарных условиях при температуре 30 °С в течение 18 ч. По окончании ферментации биомассу отделяли центрифугированием (5000 об/мин, 10 мин) и из полученного осадка готовили 30 % водную суспензию. Гидролиз биомассы осуществляли при температуре 48–50 °С в течение 6 ч с использованием эндогенных ферментов β -глюканазного и протеолитического действия. В качестве источников ферментов β -глюканазного действия использовали ферментный препарат «Брюзайм ВGX» (Genincor) с активностью 580,0 ед. β -ГКС/см³ и протеазу «Протоферм FP» (Novozymes) с активностью 620,0 ед. ПС/см³. Высушенный гидролизат дрожжевой биомассы вносили в обойную пшеничную муку в количестве 5 и 10 %. Контролем служили экструдаты пшеничной обойной муки, полученные по идентичным режимам при влагосодержании 20 и 22 %. Используется следующая кодировка образцов: экструдат обойной пшеничной муки – ЭПМ, экс-

трудаты обойной пшеничной муки с 5 и 10 % добавлением гидролизата дрожжевой биомассы – ЭПМ5Д и ЭПМ10Д соответственно.

Смеси экструдировали с использованием двухшнекового экструдера Werner&Pfleiderer Continua 37, элементный профиль шнеков диаметром шнеков 37 мм составлял набор транспортирующих двухзаходных элементов, реверсивных и месильных элементов. Матрица экструдера была оборудована формирующей фильерой с двумя щелевидными отверстиями высотой 1,9 мм и шириной 12 мм. Скорость вращения шнеков – 250 об/мин.

Удельную механическую энергию рассчитывали по формуле [11]

$$SME = \frac{n}{n_{max} \times Kg} \times N \times M,$$

где SME – удельная механическая энергия на экструдирование, кВт ч/кг сырья; n и n_{max} – скорость вращения шнеков установленная и максимальная соответственно, об/мин; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; Kg – расход сырья, кг/ч.

Влажность ингредиентов, смесей и экструдатов измеряли на анализаторе влажности ML-50 (A&D, Япония) термогравиметрическим методом.

Содержание белка определяли методом Кьельдаля на автоматической установке для определения азота Vadopest 10 (Gerhardt, Германия) с использованием автоматического титратора DL 15 (Mettler Toledo, Швейцария), концентрацию аминного азота – методом йодометрического титрования в отсутствие солей аммония. Содержание свободных и связанных аминокислот в экструдатах определяли на хроматографе Knauer EuroChrom 2000 (Knauer, Германия) с последующим детектированием компонентов на спектрофотометре Smartline UV Detector 2 500 (Knauer) при длине волны 570 нм. Просчет аминокислот проводили методом сравнения площадей стандарта и образца [12].

Коэффициент расширения, насыпную плотность образцов оценивали по стандартным методам для экструдированных продуктов [13]. Анализ текстуры проводили с использованием текстурометра Brookfield CT3 и металлического цилиндрического зонда диаметром 3 мм. Прокол проводили на глубину 3 мм со скоростью 0,5 мм/с и триггером срабатывания 0,05 Н. Ре-

гистрировали такие параметры теста, как твердость (Н), характеризующую максимальную нагрузку, имитирующую максимальную силу, необходимую для сжатия образца между зубами, и количество микроразломов как показатель пористости [14].

Цветовые характеристики экструдатов оценивали колориметрически анализатором CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIE LAB, где L^* является характеристикой светлоты от 0 до 100, a^* – хроматическая составляющая в диапазоне от зеленого до красного, b^* – хроматическая составляющая в диапазоне от синего до желтого [11].

Статистическую обработку результатов экспериментов осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости $p < 0,05$ с использованием программы Statistica 6.0. Аналитические измерения проводили в 3–10 повторностях в зависимости от определяемого параметра.

Результаты и их обсуждение. В рамках экспериментальной работы гидролизат дрожжевой биомассы в высушенном виде вносили в обойную пшеничную муку в количестве 5 и 10 % и экструдировали с варьированием режимных параметров, условно определяемых как мягкий (влажность 22 %, производительность 28 кг/ч) и жесткий, соответствующих меньшему влажностному содержанию (20 %) и более высокой производительности по сырью (32 %). Полученные экструдаты подсушивали, определяли их химические, структурно-механические, цветовые показатели.

В таблице 1 представлены результаты экструзии и влияния дозировки гидролизата дрожжевой биомассы на температуру, крутящий момент, давление и энергетические характеристики процесса в камере экструдера.

В соответствии с полученными данными внесение дрожжевого гидролизата до 10 % на мягком режиме экструдирования (образцы 1 и 4) практически не повлияло на процесс экструдирования, изменения температуры, давления в камере экструдера, момента сдвиговых деформаций статистически незначимы при $p < 0,05$. Температура экструзии находилась в диапазоне 170–172 °С, давление – 2,7 МПа, момент сдвига 52–54 %. Снижение влажностного содержания всего на 2 % и увеличение производительности на 4 кг/ч

обусловило повышение вязкости расплава и, соответственно, значительно увеличило момент сдвига для контрольной смеси до 66 %. При этом повышения температуры экструзии не наблюдалось за счет возможной компенсации роста тепловой энергии увеличением количест-

ва нагреваемого материала в единицу времени. В меньшей степени рост момента сдвига отмечен для смеси с гидролизатом дрожжевой биомассы до 54–58 %. При этом значимых изменений ($p < 0,05$) для температуры и давления в камере экструдера не наблюдалось.

Таблица 1

Режимные параметры экструдирования зерновых смесей с гидролизатом дрожжевой биомассы

Номер образца	Смесь	Производительность, кг/ч	Влажность, %	Температура, °С	Момент сдвига, %	Давление, МПа	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг
1	ЭПМ	28	22	170±2	52±2	2,7±0,2	0,088±0,003
2	ЭПМ	32	20	170±2	66±3	3,0±0,3	0,097±0,004
3	ЭПМ5Д	28	20	173±3	54±3	2,7±0,2	0,091±0,005
4	ЭПМ10Д	28	22	172±2	54±2	2,7±0,3	0,091±0,003
5	ЭПМ10Д	32	20	172±3	58±3	3,0±0,3	0,085±0,004

При рассмотрении энергетических аспектов отмечено, что с ужесточением режима для обойной муки значение удельной механической энергии увеличилось с 0,088 до 0,097 кВт·ч/кг, что соответствует теории и практике эксплуатации экструзионной техники. Для экспериментальной смеси с ужесточением режима удельная механическая энергия снизилась с 0,091 до 0,085 кВт·ч/кг, что связано с тем, что приращению производительности по сырью соответ-

ствует меньшее, чем в случае с контрольной смесью, приращение по моменту сдвига, что, возможно, обусловлено наличием в гидролизате дрожжевой биомассы компонентов, снижающих трение в камере экструдера при ужесточении режима.

В таблице 2 представлены результаты зависимости структурно-механических и цветовых характеристик от режимов экструзии и дозировки гидролизата дрожжевой биомассы.

Таблица 2

Изменение структурно-механических и цветовых характеристик экструдатов

Номер образца	Насыпная плотность, г/дм ³	Коэффициент расширения	Твердость, Н	Кол-во микроразломов	L	a	b
1	241,8±8,9	3,5±0,2	39,4±3,4	6,7±0,6	52,1±2,9	5,6±0,8	20,8±0,7
2	164,5±6,4	3,6±0,3	27,4±2,7	9,7±0,6	55,2±2,3	4,9±0,7	20,3±0,9
3	236,2±8,8	3,4±0,2	32,3±3,2	7,2±0,3	51,4±2,7	7,7±1,1	24,4±1,4
4	248,9±9,8	3,2±0,2	36,3±3,2	6,9±0,4	48,6±2,1	8,9±0,7	25,1±0,6
5	253,9±9,5	3,3±0,2	35,2±1,0	8,3±0,3	49,1±3,1	8,9±1,0	25,3±1,3

Внесение гидролизата дрожжевой биомассы не оказало значимого влияния ($p < 0,05$) на насыпную плотность экструдатов, полученных при влажности 22 %, значение этого показателя составило 241,8–248,9 г/дм³. При более жестком режиме экструзии при влажности 20 % добавление дрожжевого гидролизата в экструдруемое сырье значимо ($p < 0,05$) увеличивало насыпную плотность со 164,5 до 236,2 г/дм³ и до 253,9 г/дм³ для образцов с 5 и 10 % гидролизата соответственно. Для коэффициента расширения экструдатов, определенного в диапазоне 3,2–3,6, значимых изменений в зависимости от факторов внесения гидролизата дрожжевой биомассы и изменения режимов экструзии отмечено не было.

Внесение гидролизата дрожжевой биомассы до 10 % при экструдировании смеси влажностью 22 % статистически не оказало влияния на показатели твердости и количества микроразломов, при экструзии смеси влажностью 20 % отмечено значимое повышение твердости образцов с 27,4 до 35,2 Н ($p < 0,05$), количество микроразломов снизилось с 9,7 до 8,3, что, возможно, связано со снижением трения в системе «сырье–шнеки–камера экструдера» за счет добавления гидролизата дрожжевой биомассы, соответствующим снижением интенсивности взрывного испарения воды и увеличением плотности экструдатов. Ужесточение режима экструдирования повысило количество микроразломов с 6,7 до 9,7 для контрольной и с 6,9 до 8,3 для экспериментальной смесей, что характеризует повышение пористости образцов.

Внесение дрожжевого гидролизата и увеличение ее содержания в смеси изменяло цветовые характеристики экструдатов, уменьшалась светлота образцов L, увеличивались значения хроматических составляющих: а – в сторону

красного цвета, b – в сторону желтого цвета. Отклик на ужесточение режима экструдирования в аспекте изменения цвета значимо ($p < 0,05$) коснулся только контрольного образца, повысилась светлота и снизилась хроматическая составляющая а – в сторону от красного к зеленому (зеленая составляющая находится в отрицательной области системы координат). Хроматическая составляющая b не изменилась для обоих видов смесей.

В таблице 3 представлено сравнение аминокислотного профиля белков экструдатов без и с добавлением 10 % гидролизата дрожжевой биомассы. Ферментализат дрожжей является перспективным ингредиентом для пищевой промышленности, источником биологически ценного белка, содержание которого составляет более 50 %, незаменимых аминокислот (42,6 % от общего количества) [2]. Внесение гидролизата дрожжевой биомассы в экструдруемое сырье увеличило содержание связанных аминокислот в экструдате на 14,2 %, свободных – на 412 %. Максимальный рост содержания свободных аминокислот отмечен для аланина с 0,027 до 0,513 мг/г экструдата, лизина с 0,063 до 1,040 мг/г, глутаминовой кислоты с 0,141 до 2,086 мг/г. Для этих же аминокислот в связанном состоянии увеличение содержания составило 68, 49 и 20,4 % соответственно. В экструдированных продуктах с добавлением гидролизата дрожжевой биомассы детектированы свободные аминокислоты лейцин (0,658 мг/г), валин (0,366 мг/г), пролин (0,362 мг/г), фенилаланин (0,299 мг/г), серин (0,248 мг/г), метионин (0,191 мг/г), изолейцин (0,137 мг/г), тирозин (0,057 мг/г), которые не были определены при анализе экструдата без добавления ферментализата.

Таблица 3

Изменение аминокислотного состава в экструдатах, мг/г образца

Аминокислота (АК), мг/г образца	Гидролизат дрожжевой биомассы		ЭПМ		ЭПМ10Д	
	своб. АК	связ. АК	своб. АК	связ. АК	своб. АК	связ. АК
1	2	3	4	5	6	7
Аспарагин	1,211	49,722	0,168	4,790	0,490	8,555
Треонин	4,309	16,326	0,272	3,160	0,813	4,186
Серин	1,883	19,587	–	6,249	0,248	6,703
Глутаминовая кислота	24,934	57,092	0,141	13,733	2,086	16,534
Пролин	–	30,536	–	9,958	0,362	11,336
Глицин	0,698	15,202	0,022	4,739	0,145	6,515

1	2	3	4	5	6	7
Аланин	4,229	20,454	0,027	1,795	0,513	3,016
Цистеин	–	–	–	–	–	–
Валин	4,594	12,846	–	2,958	0,366	4,446
Метионин	1,586	5,315	–	0,796	0,191	0,735
Изолейцин	1,722	10,952	–	1,695	0,137	3,061
Лейцин	2,275	21,031	–	5,764	0,658	7,096
Тирозин	0,634	5,899	–	0,664	0,057	0,949
Фенилаланин	1,230	13,176	–	4,366	0,299	5,187
Гистидин	6,253	8,747	0,304	5,324	1,457	5,449
Лизин	2,843	22,952	0,063	4,043	1,040	6,040
Триптофан	4,203	31,840	1,265	34,605	3,664	30,353
Аргинин	5,035	12,959	0,196	3,671	0,262	3,480
Всего	67,638	354,635	2,458	108,310	12,789	123,641

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают перспективность использования экструзии для глубокой переработки смесей зернового сырья и продуктов переработки микробной биомассы. Внесение гидролизата биомассы промышленной расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 985-T в экструдированную обойную пшеничную муку позволило значительно повысить содержание связанных и свободных аминокислот. Для лимитирующих аминокислот белка пшеницы лизина и треонина отмечен рост свободных аминокислот лизина с 0,063 до 1,040 мг/г и с 0,272 до 0,813 мг/г соответственно, в связанной форме – с 4,043 до 6,040 мг/г и с 3,160 до 4,186 мг/г соответственно. Общее увеличение содержания свободных и связанных аминокислот составило 412 и 14,2 %. Установлено, что экструдирование смесей обойной пшеничной муки и гидролизата дрожжевой биомассы не влияет значительно на режимные показатели экструзии, такие как температура и давление в камере экструдера. Более значимым фактором является влияние управляющих параметров процесса – снижения влагосодержания и увеличения производительности, что приводит к ужесточению режима экструзии, повышает значение момента сдвига для контрольного и экспериментального образцов, но при этом для смеси с гидролизатом дрожжевой биомассы отмечено снижение удельной механической энергии. Внесение гидролизата дрожжевой биомассы в экструдированное на мягком режиме сырье не оказывает значимого влияния на насыпную плотность экструдатов, коэффициент расширения, структурно-механические свойства. Анализ текстуры образцов, полученных при жестком режиме, показал, что внесение

гидролизата дрожжей повысило твердость и снизило количество микроразломов.

Список источников

1. Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects / E.M. Serba [et al.] // Foods and Raw Materials. 2020. 8(2). P. 268–276. DOI: 10.21603/2308-4057-2020-2-268-276
2. Ферментализат *Saccharomyces cerevisiae*: научно-практическое обоснование использования в качестве биологически активной добавки / E.M. Серба [и др.] // Биотехнология. 2022. Т. 38, № 4. С. 107–113. DOI: 10.56304/S0234275822040123.
3. Yeast Protein as an Easily Accessible Food Source / M.E. Jach [et al.] // Metabolites. 2022 Jan 11;12(1):63. DOI: 10.3390/metabo12010063. PMID: 35050185; PMCID: PMC8780597.
4. Lai C.S., Davis A.B., Hosney R.C. Effect of yeast protein concentrate and some of its components on starch extrusion // Cereal Chemistry. Vol. 62, № 4, 1985. P. 293–300.
5. Lai C.S., Davis A.B., Hosney R.C. Effect of whole yeast and various fractions on some properties of extruded starch // Cereal Chemistry. Vol. 62. № 6. 1985. P. 423–427.
6. Alvim I.D., Sgarbieri V.C., Chang Y.K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivatives and casein // Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002, 22(2). P. 170–176.
7. Olumurewa J. A.B., Oladele J.O. Single Screw Extrusion Processing of Enriched Snacks at Various Levels of Brewers Spent Yeast and Soybean Meal // Canadian Journal of Agricul-

- ture and Crops. 2020. № 5. P. 124–137. DOI: 10.20448/803.5.2.124.137.
8. Биотехнологические аспекты получения функциональных ингредиентов на основе конверсии биомассы *Saccharomyces cerevisiae* 985-T / Е.М. Серба [и др.] // Биотехнология. 2020. Т. 36, № 4, С. 34–41. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-34-41.
 9. Перспективные расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с термотолерантными и осмофильными свойствами для спиртового производства / М.Б. Оверченко [и др.] // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. № 4. С. 26–29.
 10. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack / P. Ainsworth [et al.] // J. Food Eng., 2007, 81, P. 702–709.
 11. ГОСТ 34230-2017. Продукция соковая. Определение свободных аминокислот методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М., 2018. 19 с.
 12. Исследование влияния гранулометрического состава экструдруемой смеси на процесс экструзии и качество многокомпонентных снеков / В.И. Степанов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 4. С. 129–134.
 13. Van Hecke E., Allaf K., Bouvier J.M. Texture and structure of crispy-puffed food products. Part II: Mechanical properties in puncture. Journal of texture studies. 1998. 6. P. 617–632. DOI: 10.1111/j.1745-4603.1998.tb 00189.x.
 4. Lai C.S., Davis A.B., Hosney R.C. Effect of yeast protein concentrate and some of its components on starch extrusion // Cereal Chemistry. Vol. 62, № 4, 1985. P. 293–300.
 5. Lai C.S., Davis A.B., Hosney R.C. Effect of whole yeast and various fractions on some properties of extruded starch // Cereal Chemistry. Vol. 62. № 6. 1985. P. 423–427.
 6. Alvim I.D., Sgarbieri V.C., Chang Y.K. Development of extruded mixed flours based on corn flour, yeast derivatives and casein // Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002, 22(2). P. 170–176.
 7. Olumurewa J. A.B., Oladele J.O. Single Screw Extrusion Processing of Enriched Snacks at Various Levels of Brewers Spent Yeast and Soybean Meal // Canadian Journal of Agriculture and Crops. 2020. № 5. P. 124–137. DOI: 10.20448/803.5.2.124.137.
 8. Biotehnologicheskie aspekty polucheniya funkcional'nyh ingredientov na osnove konversii biomassy *Saccharomyces cerevisiae* 985-T / E.M. Serba [i dr.] // Biotehnologiya. 2020. T. 36, № 4, S. 34–41. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-34-41.
 9. Perspektivnye rasy drozhzhej *Saccharomyces cerevisiae* s termotolerantnymi i osmofil'nymi svojstvami dlya spirtovogo proizvodstva / M.B. Overchenko [i dr.] // Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij. 2013. № 4. S. 26–29.
 10. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack / P. Ainsworth [et al.] // J. Food Eng., 2007, 81, P. 702–709.
 11. GOST 34230-2017. Produktiya sokovaya. Opredelenie svobodnyh aminokislott metodom vysoko`effektivnoj zhidkostnoj hromatografii. M., 2018. 19 s.
 12. Issledovanie vliyaniya granulometricheskogo sostava `ekstrudiruemoj smesi na process `ekstruzii i kachestvo mnogokomponentnyh snekov / V.I. Stepanov [i dr.] // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2016. № 4. S. 129–134.
 13. Van Hecke E., Allaf K., Bouvier J.M. Texture and structure of crispy-puffed food products. Part II: Mechanical properties in puncture. Journal of texture studies. 1998. 6. P. 617–632. DOI: 10.1111/j.1745-4603.1998.tb 00189.x.

References

1. Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects / E.M. Serba [et al.] // Foods and Raw Materials. 2020. 8(2). P. 268–276. DOI: 10.21603/2308-4057-2020-2-268-276
2. Fermentolizat *Saccharomyces cerevisiae*: nauchno-prakticheskoe obosnovanie ispol'zovaniya v kachestve biologicheskii aktivnoj dobavki / E.M. Serba [i dr.] // Biotehnologiya. 2022. T. 38, № 4. S. 107–113. DOI: 10.56304/S0234275822040123.
3. Yeast Protein as an Easily Accessible Food Source / M.E. Jach [et al.] // Metabolites. 2022 Jan 11;12(1):63. DOI: 10.3390/metabo1201063. PMID: 35050185; PMCID: PMC8780597.

Статья принята к публикации 03.07.2023 / The article accepted for publication 03.07.2023.

Информация об авторах:

Антон Юрьевич Шариков¹, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, кандидат технических наук

Дарья Викторовна Поливановская², младший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий

Елена Михайловна Серба³, заместитель директора, доктор биологических наук, член-корреспондент Российской академии наук

Мария Валентиновна Амелякина⁴, старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, кандидат технических наук

Елена Николаевна Соколова⁵, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и биологически активных добавок, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Anton Yurievich Sharikov¹, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Candidate of Technical Sciences

Daria Viktorovna Polivanovskaya², Junior Researcher, Junior Researcher, Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies

Elena Mikhailovna Serba³, Deputy Director, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

Maria Valentinovna Amelyakina⁴, Senior Researcher, Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, Candidate of Technical Sciences

Elena Nikolaevna Sokolova⁵, Leading Researcher, Department of Biotechnology of Enzymes, Yeasts, Organic Acids and Dietary Additives, Candidate of Biological Sciences

