

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ

УДК 663.12:602.4

ФЕРМЕНТОЛИЗАТ *Saccharomyces cerevisiae*: НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОЙ ДОБАВКИ

© 2022 г. Е. М. Сербач¹ *, Т. В. Юраскина¹, Л. В. Римарева¹,
В. А. Ревякина¹, М. Э. Медриш¹, Н. С. Погоржельская¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, 111033 Россия

*e-mail: serbae@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

После доработки 17.06.2022 г.

Принята к публикации 19.06.2022 г.

На основе разработанного алгоритма биокаталитической конверсии дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* получен ферментоллизат биомассы “Протамин К” – источника биологически активных веществ. Установлено, что основным функциональным ингредиентом “Протамин К” является триптофан, содержание которого в суточной дозе составляет около 15% от нормы физиологических потребностей. Кроме того, дополнительными факторами, обуславливающими его функциональные свойства, являются незаменимые аминокислоты с высоким аминокислотным скором, более 50% из которых находятся в свободной биодоступной форме; низкомолекулярные пептиды; эргостерин; ценные макро- и микроэлементы, такие как медь, натрий, фосфор, калий, магний и хром. Для стабилизации биологически активных соединений “Протамин К” и улучшения системы их доставки в организм человека подобраны условия инкапсуляции в полимерные матрицы. Полученные актуальные данные о биохимическом и элементном составе “Протамин К в капсулированной форме” и результаты клинических исследований подтверждают перспективность его использования в качестве биологически активной добавки, обладающей антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами, для повышения противоинфекционной защиты организма человека.

Ключевые слова: *Saccharomyces cerevisiae*, ферментоллизат, структурно-фракционный состав, функциональные ингредиенты

DOI: 10.56304/S0234275822040123

Одним из приоритетных направлений развития отечественной индустрии продуктов здорового питания, в том числе специализированной продукции, является применение натуральных пищевых ингредиентов компенсирующего действия – источников биологически активных веществ (БАВ). Известно, что причина развития социально значимых алиментарнозависимых заболеваний связана с нарушением принципов здорового питания и обусловлена в основном недостаточным по сравнению с физиологическими потребностями поступлением в организм макро- и микронутриентов [1, 2]. В последнее время все больше внимания уделяется изучению минорных биологически активных веществ пищи, играющих регуляторную роль в метаболизме человека. Включе-

ние в состав специализированной продукции функциональных пищевых ингредиентов – источников БАВ – важно также и для повышения противоинфекционной защиты организма, в том числе при лечении аллергических заболеваний [3, 4]. Использование в лечебно-профилактическом питании натуральных БАВ и функциональных ингредиентов способствует регуляции жизненно важных обменных процессов, происходящих в организме человека, и создает реальные предпосылки улучшения его физиологического состояния и укрепления системы иммунитета [1, 2].

Как было показано результатами многочисленных исследований, одним из перспективных источников пищевых и биологически активных веществ являются непатогенные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, широко применяемые в пищевой промышленности (в производствах хлеба, кваса, спирта, вина и пива) [5–8]. Биомасса дрожжей содержит

Сокращения: АКС – аминокислотный скор; БАВ – биологически активные вещества; БАД – биологически активная добавка; ФП – ферментный препарат.

незаменимые аминокислоты, витамины, эргостерин, ценные полисахариды и микроэлементы [7–10]. В последние годы дрожжи *S. cerevisiae* применяют для производства пищевого белка, низкомолекулярных пептидов и незаменимых аминокислот, витаминов группы В и D, ферментов, органических кислот, усилителей вкуса и других БАВ [5, 6, 10, 11]. С целью повышения биодоступности внутриклеточных компонентов дрожжей для действия пищеварительных ферментов широко используют биокаталитические методы [7]. Биологическая эффективность белково-аминокислотных добавок, полученных на основе ферментализатов дрожжей, подтверждена в животноводстве, птицеводстве и рыбном хозяйстве [12–14]. Однако о медико-биологических и клинических исследованиях эффективности ферментализата дрожжевой биомассы в рационах питания людей сообщений немного. Практически не исследовано влияние этих биопрепаратов на состояние пациентов с пищевой аллергией, что особенно важно, поскольку длительное соблюдение элиминационных диет способствует еще большему дефициту эссенциальных нутриентов, чем в среднем в популяции [4]. Кроме того, для дальнейших испытаний функциональных свойств ферментализатов дрожжевой биомассы необходимо уделить внимание вопросам защиты минорных БАВ дрожжей, повышения их биодоступности и биоактивности в составе пищевых систем.

Цель работы состояла в исследовании аминокислотного и минерального состава ферментализата биомассы хлебопекарных дрожжей *S. cerevisiae* для обоснования перспективы его использования в качестве биологически активной добавки (БАД) к пище.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектами исследования служили нативная и ферментативно деструктурированная биомасса хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* RCAM 01137, полученная после культивирования на солодовом сусле с содержанием 12% сухих веществ при температуре 30°C в течение 18 ч [7, 8].

Процесс биокаталитической конверсии внутриклеточных полимеров дрожжей проводили по разработанной методике с использованием ферментных препаратов (ФП): ЦеллоЛюкс-А (продукцент *Trichoderma viridae*) в качестве источника β-глюканазы (2000 ед/см³) и маннаназы (87.7 ед/см³) и ФПКП (продукцент *Aspergillus oryzae*) в качестве источника комплекса протеаз (690 ед/см³) [7]. ФП получены путем глубинного культивирования продуцентов с последующим концентрированием фильтрата культуральной жидкости методом ультрафильтрации [7, 15].

Степень гидролиза белков и полисахаридов оценивали по накоплению аминного азота методом йодометрического титрования в отсутствие солей аммония (ОФС.1.2.3.0022.15: <http://pharmacopoeia.ru/wp-content/uploads/2016/10/OFS.1.2.3.0022.15-Opredelenie-aminnogo-azota-metodami-formolnogo-jodometricheskogo-titrovaniya.pdf>) и по уровню образования растворимых редуцирующих углеводов – колориметрическим методом [16].

Содержание общего белка определяли по методу Кьельдаля на автоматической установке Vadoses (Gerhardt, Германия) по ГОСТ 32044.1-2012 “Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Кьельдаля”; спектральный анализ состава низкомолекулярных пептидов проводили методом ВЭЖХ на квадрупольной масс-спектрометрической системе Agilent 6120 (Agilent Technologies, США); состав и содержание аминокислот анализировали на хроматографической системе AZURA (KNAUER, Германия) с регистрацией компонентов на спектрофотометре Smartline UV Detector 2500 при длине волны 570 нм.

Содержание эргостерина оценивали спектрофотометрическим методом, основанном на галохромной реакции в серной кислоте; селена (Se) – флуориметрическим методом, основанном на способности 2,3-диаминонафталина избирательно образовывать комплексное соединение с четырехвалентным селеном, находящимся в форме селенит-иона; железа (Fe) и меди (Cu) – методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией на приборе Agilent 240Z (Agilent Technologies); общее содержание микроэлементов – методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре ELAN-DRC-e (PerkinElmer Inc., США) [17–19].

Статистическую обработку данных, полученных не менее чем в трех повторах, проводили с помощью программы Microsoft Excel с использованием коэффициента Стьюдента (доверительный интервал 0.95).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью повышения биодоступности внутриклеточных компонентов дрожжевой биомассы и сохранения их функциональной активности использовали ферментативные системы, катализирующие гидролиз β-глюканов и маннопротеинов клеточных стенок и белковых веществ протоплазмы в “мягких” условиях. Разработанный алгоритм биокаталитической конверсии полимеров дрожжевой клетки до растворимых низкомолекулярных пептидов, свободных аминокислот и редуцирующих углеводов [7] апробирован в производственных условиях.

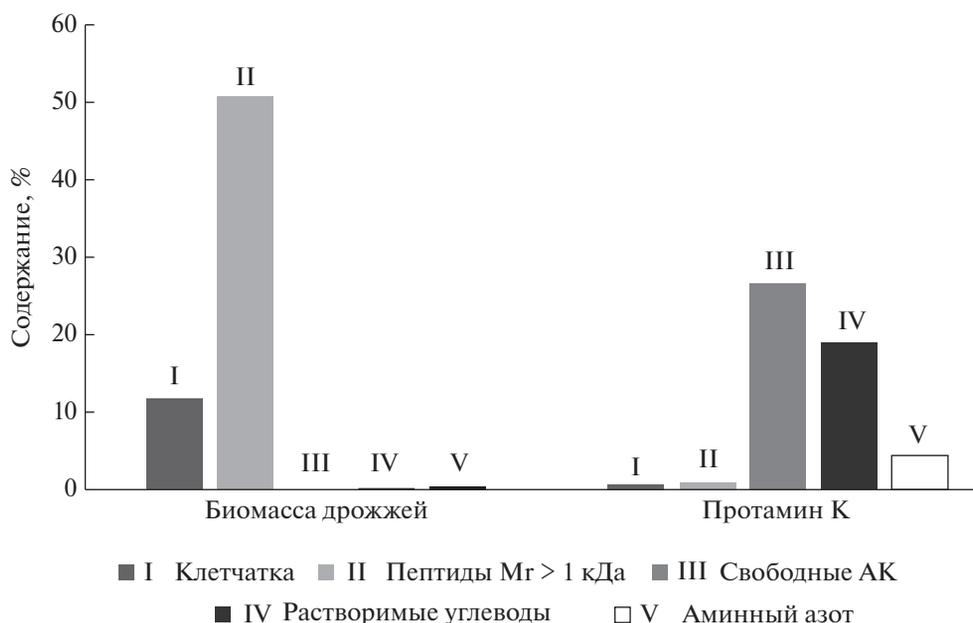


Рис. 1. Изменение биохимического состава биомассы дрожжей *S. cerevisiae* в результате ферментолиза. АК – аминокислоты; M_r – молекулярная масса.

Fig. 1. Changes in the biochemical composition of *S. cerevisiae* biomass as a result of fermentolysis. АК – amino acids; M_r – molecular weight.

Процесс ферментативной деструкции субклеточных структур дрожжей проводили в реакторе ($V = 0.5 \text{ м}^3$), снабженном мешалкой и рубашкой. Суспензию клеток (25% сухих веществ) предварительно подвергали термолизу при $80\text{--}85^\circ\text{C}$ в течение 15–20 мин – для инактивации эндогенных ферментов и стабилизации процесса. После охлаждения дрожжевой суспензии до 50°C на первом этапе для деструкции белково-полисахаридных полимеров клеточной стенки использовали ферментные препараты ЦеллоЛюкс-А и ФПКП из расчета 50.0 единиц активности (е.а.) β -глюконазы и 2.0 е.а. протеазы на 1 г сухого вещества. На втором этапе снижали температуру реакционной смеси до 40°C , увеличивали в ней содержание ФПКП до 10 е.а. протеазы/г и инкубировали 10 ч.

В результате наработан ферментолизат дрожжей *S. cerevisiae*, названный “Протамин К”, как исходное сырье для получения БАД. По сравнению с исходной биомассой в нем более чем в 10 раз сократилось содержание клетчатки и в 46 раз – пептидов с молекулярной массой (M_r) > 1000 Да; при этом повысилась концентрация аминокислот в свободной форме, растворимых углеводов и аминного азота (рис. 1).

Известно, что белок дрожжей обладает высокой биологической ценностью и характеризуется относительно хорошей сбалансированностью не-

заменимых аминокислот [5, 9, 13, 14]. Исследования аминокислотного состава “Протамин К” подтвердили, что по содержанию незаменимых аминокислот белковые продукты ферментолизата дрожжей приближаются к эталонному белку, предложенному комитетом ФАО/ВОЗ (табл. 1, рис. 2). В эталонном белке содержится такое количество и соотношение незаменимых аминокислот, которое наиболее полно удовлетворяет физиологические потребности организма человека (World Health Organization. Proteins and Amino Acids in Human Nutrition) [20–22].

Расчетный показатель аминокислотного сора (АКС), получаемый при сравнении содержания каждой незаменимой аминокислоты в белках полученного ферментолизата с ее содержанием в эталонном белке, подтверждает сохранность высокой биологической ценности белковых веществ в процессе ферментолиза дрожжевой биомассы (рис. 2). Установлено, что к лимитирующим аминокислотам относится три: лейцин, фенилаланин и метионин. При этом АКС основной лимитирующей аминокислоты – метионина – составил 55.0%, в то время как фенилаланина – 68.0%, а лейцина – 90%. АКС остальных аминокислот превышал их содержание в эталонном белке. Показано, что в составе белковых веществ ферментолизата дрожжей “Протамин К” существенно выше, чем в

Таблица 1. Биохимический состав ферментолизата дрожжей “Протамин К”
Table 1. Biochemical characteristics of yeast fermentolysate, “Protamin K”

Компоненты	Содержание в 100 г
Белок, г	51.80 ± 1.70
Незаменимые аминокислоты, % от общего содержания аминокислот	42.6 ± 1.70
Эргостерин, г	0.56 ± 0.02
Селен, мкг	21.50 ± 1.05
Хром, мкг	8.20 ± 0.28
Медь, мг	1.79 ± 0.02
Железо, мг	0.58 ± 0.03

эталонном белке, были значения АКС для таких аминокислот, как триптофан, треонин и лизин.

Установлено, что “Протамин К” является источником биологически ценного белка, содержание которого в ферментолизате составило более 50%, незаменимых аминокислот (42.6% от общего количества), эргостерина, макро- и микронутриентов (рис. 2, табл. 1 и 2).

В результате анализа элементного состава выявлено высокое содержание калия, фосфора и магния: 886.6, 771.6 и 81.3 мг в 100 г “Протамина К” соответственно (табл. 2).

Таким образом, полученные актуальные данные о биохимическом составе “Протамина К” позволяют обосновано сформировать представление о перспективности использования ферментолизата дрожжевой биомассы в качестве сырья для получения биологически активной добавки к пище – источника незаменимых аминокислот с высоким АКС, более 50% из которых находятся в свобод-

ной биодоступной форме; низкомолекулярных пептидов; эргостерина; ценных макро- и микроэлементов.

Последние годы активно развиваются исследования по разработке и применению различных систем инкапсуляции, способствующих повышению биозащиты БАВ. Метод инкапсуляции наиболее востребован для стабилизации или защиты лекарственных веществ, микроорганизмов, ферментов и клеток в полимерной матрице [23, 24]. Использование биоразлагаемых полимеров для оболочек капсул позволяет создавать препараты пролонгированного действия. Инкапсуляция активных ингредиентов в материал матрицы позволяет обеспечить систему доставки БАВ с контролируемым высвобождением, защиту активных компонентов от факторов окружающей среды и взаимодействия с другими веществами [23, 24].

Для стабилизации и защиты биологически активных веществ ферментолизата дрожжей “Протамин К” (незаменимых аминокислот, витами-

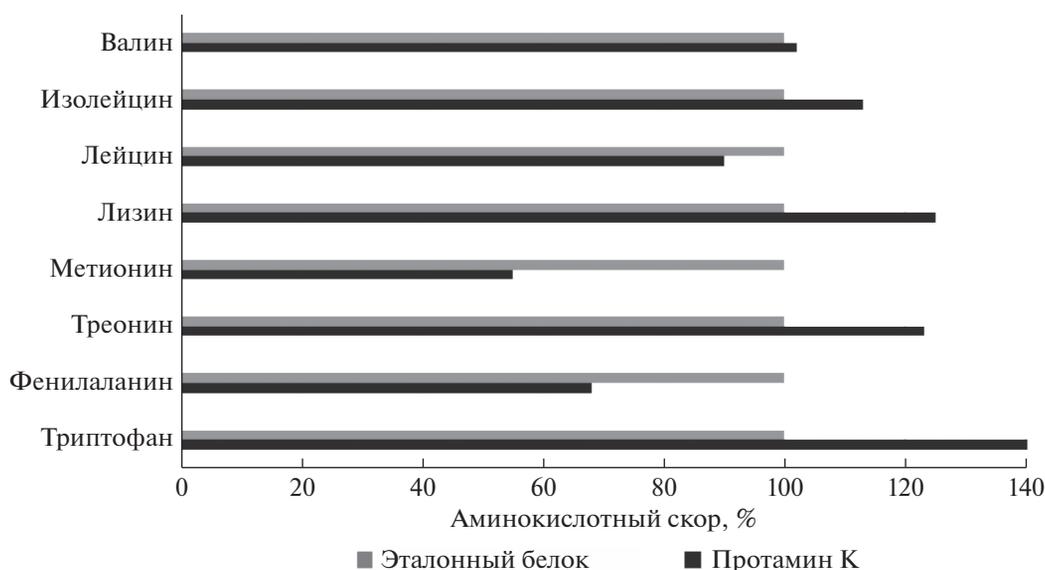


Рис. 2. Аминокислотный скор белка “Протамина К” по отношению к “идеальному” белку.
Fig. 2. Amino acid score of Protamine K proteins in relation to the “ideal” protein.

Таблица 2. Характеристика препарата “Ферментолизат дрожжевой ПРОТАМИН К в капсулированной форме”
Table 2. Characteristics of the product “Yeast PROTAMINE K fermentolysate in encapsulated form”

Компоненты	Содержание в препарате		
	в 100 г	в 2.4 г ^а	% ^б
Белок, г	51.8	1.24	1.5
Свободные аминокислоты и низкомолекулярные пептиды, г	50.1	1.20	—
<i>Незаменимые аминокислоты, г</i>			
Триптофан	5.4	0.129	16.1
Фенилаланин	1.5	0.036	0.12
Треонин	1.6	0.038	1.6
Метионин	0.58	0.014	0.78
Лизин	0.78	0.019	0.46
Лейцин	2.41	0.058	1.25
Изолейцин	1.44	0.035	1.7
Валин	1.64	0.039	1.6
<i>Минеральные вещества</i>			
Кальций, мг	7.50	0.18	0.018
Магний, мг	81.30	1.9	0.5
Фосфор, мг	771.60	18.5	2.6
Калий, мг	886.60	21.3	0.6
Железо, мг	0.62	0.24	0.15
Цинк, мг	1.30	0.03	0.3
Медь, мг	1.72	0.041	4.1
Марганец, мг	0.08	0.002	0.1
Молибден, мкг	4.10	0.1	0.14
Хром, мкг	8.15	0.192	0.5
Натрий, мг	1200.00	29.0	2.2

Примечание: ^а Указана суточная доза препарата. ^б Указан процент от суточной нормы потребления, согласно МР 2.3.1.0253-21 “Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации”.
Note: ^а The daily dose of the preparate is indicated. ^б The percentage of the daily norm of consumption, according to MR 2.3.1.0253-21 “Norms of physiological needs in energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation” is indicated.

нов, макро- и микронутриентов и др.) проведена инкапсуляция в полимерные матрицы, в качестве которых использовали желатиновые капсулы, состоящие из 100% желатина медицинского (ГОСТ 23058–89). Размер капсул, которые подбирали, исходя из суточной потребности организма в функциональных БАВ, содержащихся в “Протамине К” и его насыпной массы, составил 21.0–21.8 мм.

В результате наработана опытная партия “Протамин К в капсулированной форме”. Каждая капсула содержала 0.4 г “Протамин К”. Суточная потребность составила 2 капсулы × 3 раза в день, или 2.4 г “Протамин К” в сутки (табл. 2). Аналитический расчет суточной потребности, произведенный в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 “Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации”, показал, что основным функциональным ингредиентом яв-

ляется триптофан, содержание которого в суточной дозе составило около 15% от нормы физиологических потребностей. Триптофан как предшественник серотонина оказывает стрессозащитное действие, является компонентом антиоксидантной системы организма, участвует в синтезе витамина В₃ (ниацина), дефицит которого приводит к развитию аллергического дерматита [25].

Кроме того, белковые вещества БАД “Протамин К в капсулированной форме” представлены в легкоусвояемой форме в виде свободных аминокислот и низкомолекулярных пептидов, содержание которых в порции составляет 50% от общей массы (табл. 3). Биологически активные незаменимые аминокислоты и пептиды, находясь в биодоступной форме, быстро всасываются в кровь и способствуют активизации обменных процессов [5, 6, 9, 14].

Содержащийся в “Протамине К” эргостерин — как предшественник эргокальциферола, одного из витаминов группы D, участвующего в регу-

ляции иммунной системы, фосфорно-кальциевого обмена, — будет способствовать повышению сопротивляемости организма инфекциям и активизации мышечной деятельности человека [2, 14].

По-видимому, определенные функциональные свойства “Протамину К” могут придавать и содержащиеся в нем макро- и микроэлементы. Особенно это относится к меди и фосфору, которые являются биогенными элементами, а также к калию, магнию и хрому — вовлеченным в регуляцию обменных процессов [8, 14].

Проведенные клинические исследования по оценке эффективности БАД “Протамин К в капсулированной форме” при включении в рацион больных аллергическими заболеваниями позволили рекомендовать его использование в комплексной терапии атопического дерматита у детей с пищевой аллергией, соблюдающих длительное время элиминационные диеты.

Таким образом, показана возможность реализации в производственных условиях разработанного алгоритма биокаталитической конверсии дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с получением ферментолита “Протамин К”, содержащего биологически активные вещества. Результаты исследований аминокислотного и минерального состава ферментативно деструктурированной биомассы подтвердили наличие в ней биологически ценных белковых веществ в биодоступной форме, незаменимых аминокислот, макро- и микронутриентов, что позволяет обосновано сформировать предположение о перспективности использования “Протамин К” в качестве сырья для получения БАД.

Установлено, что основным функциональным ингредиентом БАД “Протамин К в капсулированной форме” является триптофан, содержание которого в суточной дозе составило более 15% от нормы физиологических потребностей. Кроме того, дополнительными факторами, обуславливающими его функциональные свойства, являются присутствующие в БАД незаменимые аминокислоты с высоким АКС, половина из которых находятся в свободной биодоступной форме; низкомолекулярные пептиды; эргостерин; ценные макро- и микроэлементы, такие как медь, натрий, фосфор, калий, магний и хром.

Полученные актуальные данные о биохимическом и элементном составе БАД и результаты клинических исследований подтверждают перспективность его использования в качестве биологически активной добавки, обладающей антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами, для повышения противомикробной защиты организма, в том числе для больных аллергическими заболеваниями.

Исследование выполнено за счет средств субсидии на выполнение Государственного задания по теме “Технология получения капсулированной формы БАВ для больных аллергическими заболеваниями и оценка их эффективности” (№ 0410-2020-002).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тутьельян В.А., Никитюк Д.Б., Батуринов А.К., Васильев А.В., Гаптаров М.М.Г., Жилинская Н.В., Жминченко В.М., Камбаров А.О., Коденцова В.М., Кравченко Л.В., Кулакова С.Н., Лашина Н.В., Мазо В.К., Соколов А.И., Суханов Б.П., Хотимченко С.А. Нутриом как направление “главного удара”: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи. *Вопросы питания*, 2020, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
2. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рисник Д.В., Никитюк Д.Б., Тутьельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы. *Вопросы питания*, 2017, 86(4), 113–124. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>
3. Luthringer C.L., Rowe L.A., Vossenaar M., Garrett G.S. Regulatory monitoring of fortified foods: identifying barriers and good practices. *Glob. Health Sci. Pract.*, 2015, 3, 446–461. <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-15-00171>
4. Ревакина В.А. Проблема пищевой аллергии на современном этапе. *Вопросы питания*, 2020, 89(4), 186–192. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10052>
5. Yamada E.A., Scarbieri V.C. Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) protein concentrate: preparation, chemical composition, and nutritional and functional properties. *J. Agr. Food Chem.*, 2005, 53(10), 3931–3936. <https://doi.org/10.1021/jf0400821>
6. Серба Е.М., Рачков К.В., Орлова Е.В., Оверченко М.Б., Римарева Л.В., Поляков В.А. Исследование фракционного состава биокорректоров пищи из дрожжевой биомассы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2013, 11, 18–21.
7. Серба Е.М., Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Шелехова Н.В., Погорельская Н.С., Абрамова И.М. Биотехнологические аспекты получения функциональных ингредиентов на основе конверсии биомассы *Saccharomyces cerevisiae* 985-Т. *Биотехнология*, 2020, 36, 34–41. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-4-34-41>
8. Серба Е.М., Соколова Е.Н., Римарева Л.В., Фурсова Н.А., Волкова Г.С., Курбатова Е.И., Юраскина Т.В., Абрамова И.М. Перспективные расы хлебопекарных дрожжей для получения пищевых ингредиентов, обогащенных селеном и хромом. *Вопросы питания*, 2020, 89(6), 48–57. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10078>
9. Меледина Т.В., Морозов А.А., Давиденко С.Г., Терновский Г.В. Дрожжи — продуценты глутатиона. *Техника и технология пищевых производств*, 2020, 50(1), 140–148. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-140-148>
10. Юраскина Т.В., Соколова Е.Н., Фурсова Н.А., Андреева С.С., Серба Е.М. Инновационные биотехнологические подходы при получении пищевых ингредиентов на основе обогащенных микроорганизмов. *Пищевая промышленность*, 2021, 9, 64–66. <https://doi.org/10.52653/PP1.2021.9.9.029>
11. Банницына Т.Е., Туан Л.А., Канарский А.В. Применение дрожжей и продуктов их переработки в пищевой промышленности. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 2015, 4, 47, 176–183.
12. Chang C.-L., Kao T.-H. Antiobesity effect of brewer's yeast biomass in animal model. *J. Functional Foods*,

- 2019, 55, 255–262.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.027>
13. Serba E.M., Rimareva L.V., Overchenko M.B., Ignatova N.I., Tadzhibova P.Y., Zorin S.N. Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects. *Foods and Raw Materials*, 2020, 8(2), 268–276.
<https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-268-276>
 14. Serba E.M., Rimareva L.V., Yuraskina T.V., Sokolova E.N., Revyakina V.A. Biomedical and biotechnological aspects of the production of functional ingredients based on yeast biomass. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 848, 012208.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012208>
 15. Серба Е.М., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Кривова А.Ю., Курбатова Е.И., Соколова Е.Н., Римарева Л.В. Многоцелевое использование гриба *Aspergillus oryzae* – продуцента комплекса гидролаз для пищевой промышленности. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, 2018, (5), 29–33.
 16. Поляков В.А., Абрамова И.М., Полыгалина Г.В., Римарева Л.В., Корчагина Г.Т., Пискарева Е.Н. Инструкция по техно-химическому и микробиологическому контролю спиртового производства. Москва: ДеЛипринт, 2007, 479 с.
 17. Куркин В.А., Правдивцева О.Е., Балагозян Э.А. Способ количественного определения стерина в корневищах с корнями крапивы двудомной. Патент RU 2599014, опублик. 10.10.2016.
 18. Голубкина Н.А. Флуориметрический метод определения Se. *Журнал аналитической химии*, 1995, 50(5), 492–497.
 19. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. *Методические указания МУК 4.1.1483-03*. Москва, Минздрав России, 2003, 56 с.
 20. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint. WHO/FAO/UNU//expert consultation. *World Health Organ. Tech. Rep. Series* 2007, 935, 265 p. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43411/WHO_TRS_935_eng.pdf?ua=1.
 21. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation. *FAO FOOD AND NUTRITION PAPER* 2013, 92, 1–66.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26369006/>.
 22. Wolfe R. The role of dietary protein in optimizing muscle mass, function and health outcomes in older individuals. *Br. J. Nutr.*, 2012, 108(Suppl. 2), S88–S93.
<https://doi.org/10.1017/S0007114512002590>
 23. Калинина И.В., Потороко И.Ю., Фаткуллин Р.И., Науменко Н.В., Сонавэйн Ш. Наноэмульсии, полученные с применением ультразвука, как способ инкапсуляции биологически активных веществ. *Дальневосточный аграрный вестник*, 2018, 3(47), 88–95.
<https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-13062>
 24. Kalinina I.V., Potoroko I., Sonawane S.H. Sonochemical encapsulation of taxifolin into cyclodextrine for improving its bioavailability and bioactivity for food. *Encapsulation of Active Molecules and Their Delivery System*, 2020, 85–102.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819363-1.00005-3>
 25. Попович Ю.А., Федотов В.П. Роль триптофана и его метаболитов в патогенезе атопического дерматита у больных различных возрастных групп. *Дерматовенерология. Косметология. Сексопатология*, 2015, 1–2, 16–19.

***Saccharomyces cerevisiae* Enzymatic Hydrolysate: Scientific and Practical Substantiation of its Use as a Biologically Active Supplement**

**E. M. Serba^{a, #}, T. V. Yuraskina^a, L. V. Rimareva^a,
 V. A. Revyakina^a, M. E. Medrish^a, and N. S. Pogorzhelskaya^a**

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology, Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, 111033 Russia

[#]e-mail: serbae@mail.ru

Abstract—Based on the developed algorithm for the biocatalytic conversion of the *Saccharomyces cerevisiae* yeast, a biomass enzymatic hydrolysate called *Protamine K* has been produced. Protamine K is a source of biologically active substances, the main functional ingredient of which is tryptophan. The content of this amino acid in a daily dose of the product is about 15% of the physiological requirements. An additional factor that determines functional properties of the Protamine K is a high essential amino acid score; more than 50% of these compounds are present in free bioavailable form. Protamine K also contains low-molecular peptides, ergosterol, valuable macro- and trace elements, such as copper, sodium, phosphorus, potassium, magnesium and chromium. In order to stabilize the Protamine K biologically active substances and improve the system for their delivery to the human body, the conditions for encapsulation in polymer matrices were selected. The obtained data on the biochemical and elemental composition of the Protamine K encapsulated form and the results of clinical studies suggest that it is promising for use as a dietary supplement with antioxidant and immunomodulatory properties. The supplement could be used to increase the anti-infective protection of humans.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, enzymatic hydrolysate, fractional composition, functional ingredients