

Оригинальная статья / Original article

УДК 623.039.8, 664.8.039

<http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-500-508>

## Повышение биологической ценности белка и увеличение сроков хранения полуфабриката из вешенки обыкновенной методом электронной стерилизации

© А.А. Дриль, Л.Н. Рождественская

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

**Резюме:** Вопрос биологической ценности белка грибов не ограничивается только изучением его состава. Он связан с проблемой его перевариваемости и усвояемости и широко обсуждается в научных кругах, в том числе в научных публикациях, рассмотренных в данной статье. В зарубежных странах распространено использование микопротеина на основе биомассы одноклеточных грибов, богатых протеином. В России в качестве альтернативного источника белка используются высшие грибы, в том числе вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*). Известно, что грибные белки при богатом аминокислотном составе усваиваются на уровне растительных белков, так как они «упакованы» в межклеточную хитиновую оболочку. Для разрушения оболочки с целью высвобождения белковой макромолекулы необходима обработка грибного сырья, проводимая различными технологическими способами. Существуют традиционные способы обработки, такие как измельчение, термическое воздействие и др. В данной же статье рассматривается электронная стерилизация полуфабрикатов как средство повышения безопасности продукта. Авторами изучено влияние ионизирующего электронного излучения на физико-химические свойства грибной продукции на примере термообработанного вакуумированного полуфабриката из вешенки обыкновенной. Применяемые дозы облучения составили 1, 3, 6 и 9 кГр. Полученные данные показали, что при облучении полуфабриката от 1 до 6 кГр в нем высвобождается большее количество белка по сравнению с необлученными образцами, а также увеличивается содержание ряда незаменимых аминокислот. Следовательно, рассматриваемый метод позволяет увеличить биологическую активность нутриентов. Ионизирующее излучение замедляет рост микроорганизмов и тем самым оказывает стерилизующий эффект, который был достигнут при дозе облучения образцов 6 кГр: патогенные микроорганизмы не были обнаружены, их рост не наблюдался в течение 21 дня. Таким образом, электронное ионизирующее излучение как часть технологического процесса переработки грибов позволяет увеличить биологическую ценность белка, препятствует размножению микроорганизмов, продлевая тем самым срок хранения грибной продукции.

**Ключевые слова:** электронная стерилизация, вешенка обыкновенная, грибной полуфабрикат, аминокислотный состав белка, ионизирующее излучение, сроки хранения

**Информация о статье:** Дата поступления 8 июля 2019 г.; дата принятия к печати 5 сентября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

**Для цитирования:** Дриль А.А., Рождественская Л.Н. Повышение биологической ценности белка и увеличение сроков хранения полуфабриката из вешенки обыкновенной методом электронной стерилизации // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 3. С. 500–508. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-500-508

## Use of electronic sterilisation to increase the biological protein value and increase the shelf life of semi-finished oyster mushroom products

© Anastasiia A. Dril, Lada N. Rozhdestvenskaya

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract:** The question of the biological value of mushroom protein is not limited to the study of its composition. In addition, the associated problem of its digestibility and assimilability is widely discussed in the scientific community, including in the scientific publications discussed in this article. Mycoprotein derived from protein-rich unicellular fungi biomass is commonly used in contemporary food-production processes. In Russia, however, an alternative source of protein consists in the higher fungi including the common oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). It is known that fungal proteins having a rich amino acid composition are absorbed at the level of plant proteins, since they are "packed" in the intercellular chitinous membrane. Various technological methods are used in the processing of raw fungi materials in order to destroy the membrane and release the protein macromolecule. These include traditional processing methods, such as grinding, thermal exposure, etc. In the present article, electromagnetic sterilisation of convenience foods is considered as a means of improving product safety. The authors studied the effect of ionising electron radiation on the physicochemical properties of mushroom products using the example of a heat-treated, vacuum-packaged, semi-finished oyster mushroom product. The applied radiation doses were 1, 3, 6 and 9 kGy. The obtained data showed that, when a semi-finished product is irradiated with a dose of 1 to 6 kGy, a greater amount of protein is released compared to unirradiated samples; moreover, that the content of a number of essential amino acids also increases. Therefore, this method allows the biological activity of the nutrients to be increased. The sterilising effect of ionising radiation was achieved with a dose of 6 kGy due to slowing the growth of microorganisms: no pathogenic microorganisms were detected and no growth was observed over a period of 21 days. Thus, electronic ionising radiation as part of the technological process of processing mushrooms allows the biological value of the protein to be increased, preventing the growth of microorganisms and thereby extending the shelf life of mushroom products.

**Keywords:** electromagnetic sterilisation, oyster mushroom, semi-finished mushroom, amino acid composition of protein, ionising radiation, shelf life

**Information about the article:** Received July 8, 2019; accepted for publication September 5, 2019; available online September 30, 2019.

**For citation:** Dril A.A., Rozhdestvenskaya L.N. Use of electronic sterilisation to increase the biological protein value and increase the shelf life of semi-finished oyster mushroom products. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2019, vol. 9, no. 3, pp. 500–508. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-500-508

## ВВЕДЕНИЕ

Функционирование живых организмов определяется содержащимися в них в ограниченном количестве незаменимыми лимитирующими веществами. В частности, к таким веществам относятся незаменимые аминокислоты, используемые в синтезе белков в организме. Биологическое значение этих аминокислот лежит в основе определения биологической ценности белков. Известно, что для их наиболее эффективного усвоения они должны содержаться в белке пищевых продуктов в определенном количестве и соотношении [1].

Для оценки качества белка существует несколько способов его определения, основанных на принципиально различных подходах. На основе учета биологической ценности белковых компонентов в научных исследованиях наиболее широкое распространение получили показатели и критерии, разработанные академиками Н.Н. Липатовым (мл.) и И.А. Роговым, основанные на развитии принципа Митчелла – Блока, позволяющие оценивать аминокислотный состав и его сбалансированность [2, 3]. К широко применяемым способам относят: коэффициент утилитарности незаменимой аминокислоты, коэффициент рациональности аминокислотного

состава, показатель сопоставимой избыточности и индекс незаменимых аминокислот.

В мировой практике для осуществления оценочных и аналитических процедур при сопоставлении различных источников пищевого белка также нашли широкое распространение и использование показатели его качества и биологической ценности.

Наиболее предпочтительным методом оценки качества белка является определение *аминокислотного коэффициента усвояемости белков* (Protein digestibility-corrected amino acid score, PDCAAS) – метод, основанный на потребностях человека к аминокислотам и его способности их переваривать. В 1993 г. Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration (FDA), США), Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) был принят рейтинг PDCAAS, откорректированный с учетом усвояемости белка [4, 5], согласно которому значение «1» является самым высоким, а «0» – самым низким. В марте 2013 г. ФАО была предложена новая усовершенствованная методика расчета биологической ценности пищевых продуктов – DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score).

sable Amino Acid Score – скор незаменимых усвояемых аминокислот). В отличие от PDCAAS, основанного на оценке усвояемости сырого белка, определенной по всему пищеварительному тракту, DIAAS определяет перевариваемость аминокислот в конце тонкой кишки, что обеспечивает более точную оценку количества аминокислот, поглощенных организмом [6].

Таким образом, многообразие оценок качества белка только подтверждает, что его ценность для организма человека определена двумя основными параметрами: сбалансированностью по содержанию незаменимых аминокислот и отношению к белковому эталону, а также эффективностью обмена и утилизацией белка организмом человека.

По данным отечественных и зарубежных ученых, усвояемость протеина находится в зависимости не только от количества и соотношения аминокислот в нем, но и от химического состава продуктов – источников белка (например, [5, 7]). Развитие систем оценки сбалансированности белка привело к разработке целого комплекса математических зависимостей, отражающих отдельные качественные оценки нутриентной сбалансированности многокомпонентных пищевых продуктов [1–3]. Эти зависимости принимаются как базовые при моделировании продуктов на основе культивируемых грибов и микопроотеина.

Микопротеин – белок, получаемый из биомассы одноклеточного грибка *Fusarium venenatum*, богатого протеином. Он имеет достаточно широкое распространение и высокую потребительскую оценку [8–11]. Однако в России технология производства микопроотеина не получила широкого распространения. Производство и потребление грибного белка традиционно основано на использовании высших грибов и продуктов их переработки из лесных и культивируемых грибов, в том числе из вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*).

Во многих странах ионизирующим излучением проводят обработку более 80 видов пище-

вых продуктов. Наиболее перспективными считаются технологии с применением электронного и гамма-излучений. Это более экологичный способ по сравнению с химической обработкой. Для многих видов продуктов определены оптимальные режимы радиационной обработки, проведены многолетние исследования безопасности их использования, разработано и внедрено радиационное оборудование. Доказано, что облучение любого пищевого продукта при дозах до 10 кГр экологически безопасно [12]. При этом отмечается различное влияние электронного и гамма-излучений на обработанный пищевой продукт, в том числе на грибное сырье [13, 14]. Компетенции радиационных технологий относительно пищевых продуктов в зависимости от дозовых характеристик ионизирующих излучений приведены в табл. 1.

Возможность использования продукта через продолжительное время после сбора урожая при условии сохранения его высокого качества – ключевой фактор для того, чтобы сделать любой пищевой продукт более прибыльным и коммерчески доступным. Увеличение срока хранения продукта принесет пользу как производителю (он получит возможность развивать рынок на большей удаленности), так и потребителям. Обработка теплом и ионизирующим излучением может полностью ингибировать или инактивировать микробный рост и в итоге позволит получить стерильные и устойчивые к хранению пищевые продукты [12, 15]. Возможно также использование натуральных экстрактов из облученного грибного сырья в качестве консервирующих агентов для продления сроков хранения пищевой продукции [16].

Для предварительной обработки свежих грибов вешенка обыкновенная предлагается метод радиационной стерилизации, который имеет ряд преимуществ:

- увеличение сроков хранения продукта;
- возможность использования вакуумной упаковки для обработки в ней продукта;
- снижение потерь продукта;

**Таблица 1**

**Компетенции радиационных технологий относительно пищевых продуктов в зависимости от дозы ионизирующих излучений**

**Competencies of radiation technologies according to food products depending on ionizing radiation dose**

**Table 1**

Компетенция	Доза излучения, кГр	Облучаемые продукты
Продление сроков хранения	1,0–5,0	Свежая рыба, свежие ягоды, свежие грибы и т.д.
Устранение процесса гниения и уничтожения патогенных микроорганизмов	1,0–7,0	Свежие и замороженные морепродукты, замороженное мясо птицы, продукты переработки грибоводства, пряности и т.д.
Влияние на физико-химические свойства, пищевую и биологическую ценность	3,0–10,0	Полуфабрикаты, сушеные овощи и фрукты, сушеные грибы и т.д.

- сохранение в течение длительного времени свойств продукта;
- отсутствие использования химических веществ;
- изменение структурно-механических свойств продукта.

Рекомендуемая доза ионизирующего облучения для продления срока хранения свежих и переработанных грибов в разных странах (Аргентина, Китай, Хорватия, Венгрия, Израиль, Корея, Мексика, Польша, Великобритания и др.) составляет 1–3 кГр, а рекомендуемая доза для обеззараживания сушеных грибов, используемых в качестве приправы, составляет 10–50 кГр. Посредством ионизирующего излучения вешенки обыкновенной дозами 6–10 кГр ожидается повышение аминокислотной активности, повышение активности витаминов группы В, витаминов D, Е, разрушение глюкозы до β-глюканов и D<sub>3</sub>-глюкозидов, что в совокупности обеспечивает иммуностимулирующие и иммунопротекторные свойства продукта [17–20].

Целью работы являлось излучение влияния электронного ионизирующего излучения на биологическую ценность белка и микробиологические показатели полуфабриката из вешенки обыкновенной измельченной.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемые образцы полуфабриката из вешенки обыкновенной:

- № КС – контрольный образец, полуфабрикат из вешенки свежей измельченной, не подвергавшийся облучению;
- № 1С – полуфабрикат из вешенки свежей измельченной, облученный дозой 1 кГр;
- № 3С – полуфабрикат из вешенки свежей измельченной, облученный дозой 3 кГр;
- № 6С – полуфабрикат из вешенки свежей измельченной, облученный дозой 6 кГр;
- № 9С – полуфабрикат из вешенки свежей измельченной, облученный дозой 9 кГр;
- № КВ – контрольный образец, полуфабрикат из вешенки термообработанный измельченный, не подвергавшийся облучению;
- № 1В – полуфабрикат из вешенки термообработанной измельченной, облученный дозой

1 кГр;

- № 3В – полуфабрикат из вешенки термообработанной измельченной, облученный дозой 3 кГр;

- № 6В – полуфабрикат из вешенки термообработанной измельченной, облученный дозой 6 кГр;

- № 9В – полуфабрикат из вешенки термообработанной измельченной, облученный дозой 9 кГр.

В первой группе образцов свежие грибы подвергались первичной обработке, мойке, измельчению на куттере Robot Coupe R2 и упаковке в вакуумные пакеты на аппарате JEJU JDZ-260/PD.

Во второй группе образцов свежие грибы подвергались первичной обработке, мойке, нарезке, тепловой обработке в пароконвектомате A0S061EAA1, измельчению на куттере и упаковке в вакуумные пакеты.

Образцы хранили в холодильном шкафу при температуре от 0 до +6 °С.

Анализ белка в исследуемых образцах был проведен согласно колориметрическому методу Бредфорда.

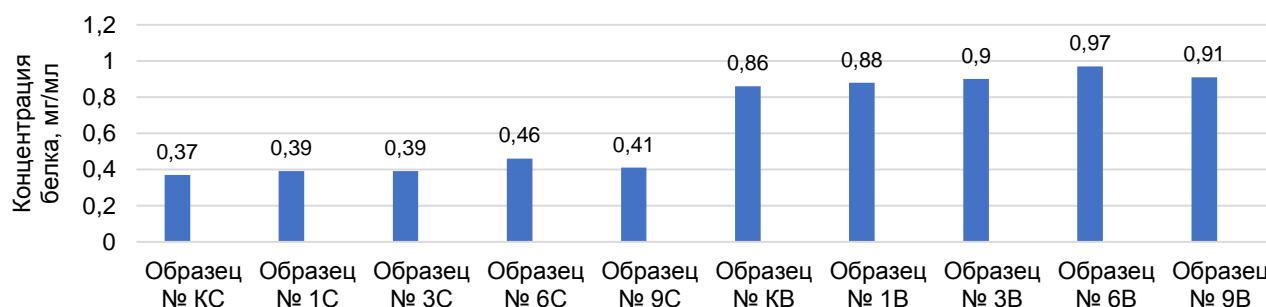
Состав белковых смесей в экстрактах, содержание и соотношение в них молекулярных масс экстрагированных в раствор полипептидов сравнивались методом электрофореза в полиакриламидном геле по Лэммли.

Содержание аминокислот было определено на аминокислотном анализаторе LA8080 (AminoSAAYA) Hitachi Hi Tech.

При определении микробиологических показателей образцов определялось количество мезофильных аэробных и факультативно-аэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15-94, содержание дрожжей и плесеней – по ГОСТ 10444.12-2013, бактерий группы картофельных палочек (БГКП, колиформы) – по ГОСТ 31747-2012. Для микробиологического анализа использовались образцы № КВ, 1В, 3В, 6В, 9В по истечению 1, 7, 14 и 21 дней хранения.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты определения содержания белка в образцах представлены на рис. 1.



**Рис. 1. Результаты определения концентрации белка в образцах вешенки обыкновенной**

**Fig. 1. Protein concentration in oyster mushroom samples**

Согласно приведенным в диаграмме данным, содержание белка в образцах полуфабриката из вешенки термообработанной (№ KB, 1B, 3B, 6B, 9B) значительно выше, чем в полуфабрикate из вешенки свежей (№ KC, 1C, 3C, 6C, 9C). В экстракт полуфабриката из вешенки термообработанной переходит больше белка, что может свидетельствовать о частичном разрушении клеток и клеточных стенок грибов в процессе термообработки. Содержание белка в экстракте грибов внутри каждой серии не меняется, следовательно, оно не зависит от облучения и дозы.

Результаты определения состава белковых смесей в экстрактах методом электрофореза приведены на рис. 2.

Условные обозначения дорожек:

1 – белок сравнения: бычий сывороточный альбумин (БСА), молекулярная масса 60 кДа;

2, 3, 4, 5 – экстракты полуфабриката из вешенки свежей (слева направо: образцы № KC, 3C, 6C, 9C)

6 – белки сравнения с молекулярной массой 94,6; 60,0; 45,0; 31,0, 21,5 и 14,4 кДа;

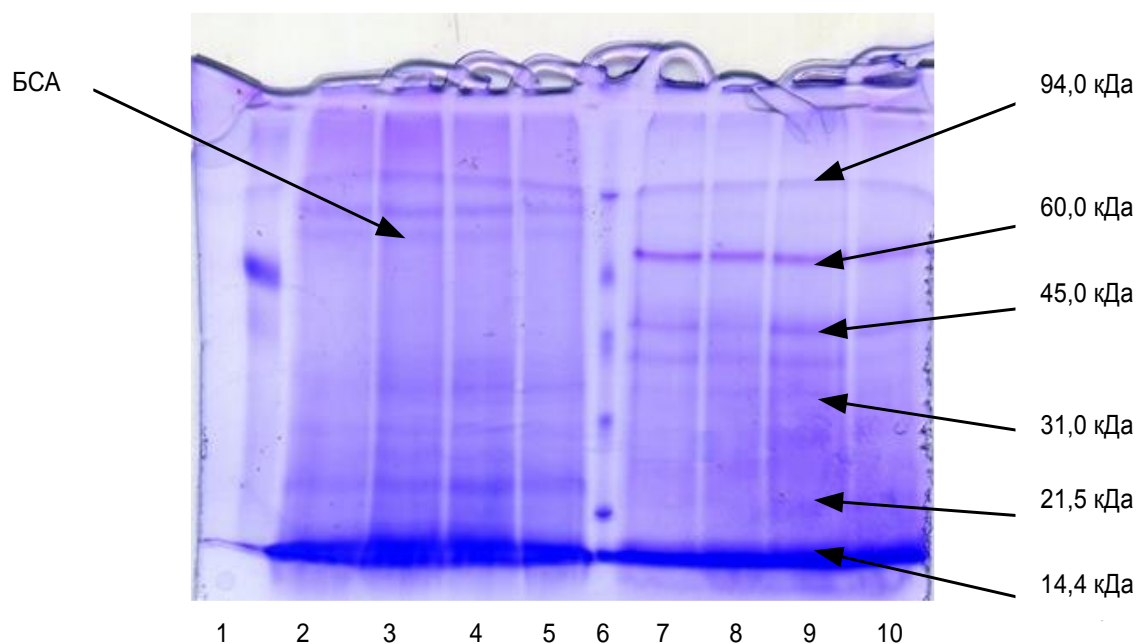
7, 8, 9, 10 – экстракты полуфабриката из термообработанной вешенки (слева направо – образцы № KB, 3B, 6B, 9B).

После облучения в экстрактах грибов не наблюдается значительных изменений молекулярной массы, также облучение существенно не влияет на молекулярные массы полипептидов. В то же время две партии образцов отличаются друг от друга по составу полипептидов. В образцах полуфабриката из вешенки термообрабо-

танной наблюдается появление значительного количества полипептидов с молекулярной массой 14,4 кДа и ниже и 45,0–50,0 кДа с одновременным снижением количества полипептидов с молекулярной массой 55,0–60,0 кДа.

При облучении белки подвергается прямому и косвенному воздействию ионизирующей радиации. Когда макромолекулы находятся в жидком растворе, прямыми эффектами можно пренебречь, а косвенные эффекты преобладают. Однако в твердом состоянии белки ионизируются главным образом прямым взаимодействием. Расщепление и агрегация белков, возникающих при облучении, связаны с нарушениями вторичных и третичных белковых структур, которые вызывают реактивные группы для действия свободных радикалов (гидратированный электрон, атом водорода и гидроксильный радикал) в результате радиолиза воды (рис. 3).

На химические реакции, возникающие при воздействии электронного излучения на белки, оказывают влияние различные факторы: структура и состояние белка, условия облучения. Облучение белков может приводить к определенным постоянным изменениям, таким как деаминирование, декарбоксилирование, восстановление дисульфидных связей, окисление сульфгидрильных групп, модификация аминокислотных остатков, валентное изменение координированных ионов металлов, расщепление пептидной цепи и агрегация. Воздействие доз облучения зависит от количества поглощаемой дозы (кГр) и чувствительности белков к облучению.



**Рис. 2. Электрофореограмма экстрактов полипептидов вешенки обыкновенной**

**Fig. 2. Electrophoreogram of oyster mushrooms polypeptide extracts**

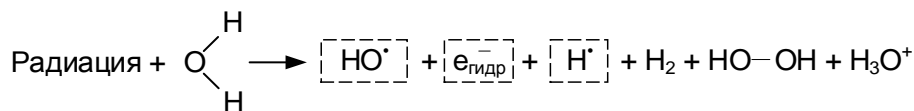


Рис. 3. Водный радиолиз

Fig. 3. Water radiolysis

Таблица 2

Содержание незаменимых аминокислот в белке вешенки обыкновенной  
 в сравнении с эталонным белком ФАО

Table 2

Content of essential amino acids in oyster mushroom protein in comparison  
 with FAO reference protein

Аминокислоты	В г аминокислоты на 100 г сырого протеина	Эталонный белок ФАО	Скор аминокислот, % к белку ФАО
Изолейцин	2,3±0,04	4,0	57,5
Лейцин	2,9±0,03	7,0	41,4
Лизин	7,1±0,03	5,5	129,1
Триптофан	1,3±0,02	1,0	130,0
Треонин	3,1±0,04	4,0	77,5
Валин	2,9±0,03	5,0	58,0
Метионин + цистин	3,4±0,04	3,5	97,1
Фенилаланин + тирозин	5,2±0,03	6,0	86,7

Таблица 3

Содержание незаменимых аминокислот в термообработанном  
 полуфабрикате вешенки в зависимости от дозы облучения

Table 3

Content of essential amino acids in thermally treated oyster mushroom  
 semi-finished product depending on irradiation dose

Аминокислоты	Образец полуфабриката				
	КВ	№ 1В	№ 3В	№ 6В	№ 9В
	Количество аминокислот, г/100 г				
Изолейцин	2,3±0,04	2,4±0,03	2,5±0,02	2,7±0,02	2,5±0,03
Лейцин	2,9±0,03	3,0±0,02	3,0±0,02	3,3±0,03	3,1±0,02
Лизин	7,1±0,03	7,1±0,03	7,1±0,02	7,3±0,02	7,2±0,03
Триптофан	1,3±0,02	1,4±0,02	1,4±0,02	1,6±0,03	1,4±0,02
Треонин	3,1±0,04	3,2±0,02	3,3±0,02	3,5±0,02	3,3±0,02
Валин	2,9±0,03	2,9±0,02	3,0±0,02	3,0±0,02	2,9±0,03
Метионин + цистин	3,4±0,04	3,4±0,03	3,5±0,02	3,5±0,02	3,4±0,02
Фенилаланин + тирозин	5,2±0,03	5,2±0,03	5,3±0,02	5,5±0,02	5,2±0,02

В табл. 2 приведен аминокислотный состав и скор вешенки обыкновенной в образце № КВ, в табл. 3 – изменение аминокислотного состава в образцах термообработанного полуфабриката вешенки в зависимости от дозы облучения.

Согласно полученным данным и проведенным по ним расчетам, белок вешенки обыкновенной лимитирован в первую очередь по лейцину и изолейцину. В то же время вешенка богата триптофаном и лизином.

При дозе облучения от 1 до 6 кГр наблюдается прогрессия роста содержания аминокислот, при дозе 9 кГр – снижение количества аминокислот.

Результаты определения микробиологических показателей в образцах полуфабрикатов

вешенки представлены в табл. 4.

Результаты исследования показали, что воздействие ионизирующего излучения подавляет развитие и рост микроорганизмов. При повышении дозы облучения от 1 до 9 кГр заметно воздействие увеличения дозы на жизнедеятельность микроорганизмов в процессе хранения образцов до 21 дня. Таким образом, микробиологические показатели образцов с дозой облучения 6 кГр не выходят за допустимые границы в течение 21 дня хранения. Данная граница не конечна, также срок годности полуфабриката может быть продлен с повышением дозы ионизирующего облучения до допустимых 10 кГр.

**Таблица 4**

**Микробиологические показатели образцов термообработанного полуфабриката вешенки обыкновенной**

**Table 4**

**Microbiological characteristics of thermally treated semi-finished product from oyster mushroom**

Образец	Время хранения, сутки			
	1	7	14	21
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий (КМАФАнМ), ГОСТ 10444.15-94, не более $1,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г				
№ KB	$2,7 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^5$
№ 1B	$1,8 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$
№ 3B	$3,6 \cdot 10$	$5,4 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$
№ 6B	менее 10	менее 10	менее 10	менее 10
№ 9B	не обнаружены	не обнаружены	менее 10	менее 10
Дрожжи и плесени, ГОСТ 10444.12-2013, не более $1,0 \cdot 10^2$ КОЕ/г				
№ KB	$2,5 \cdot 10$	$5,1 \cdot 10$	$1,3 \cdot 10^2$	$2,6 \cdot 10^2$
№ 1B	$1,9 \cdot 10$	$3,6 \cdot 10$	$7,4 \cdot 10$	$1,5 \cdot 10^2$
№ 3B	$1,1 \cdot 10$	$2,8 \cdot 10$	$5,6 \cdot 10$	$1,2 \cdot 10^2$
№ 6B	менее 10	менее 10	менее 10	менее 10
№ 9B	не обнаружены	не обнаружены	менее 10	менее 10
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), ГОСТ 31747-2012, не допускаются в 1 г				
№ KB	не обнаружены в 1 г	не обнаружены в 1 г	не обнаружены в 1 г	не обнаружены в 1 г
№ 1B				
№ 3B				
№ 6B				
№ 9B				

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электронное ионизирующее излучение как часть технологического процесса переработки грибов вешенка обыкновенная позволяет увеличить биологическую ценность белка. Дозы радиации в диапазоне от 3 до 6 кГр влияют на изменение молекулярной структуры продукта и его структурно-механические свойства, что способствует расщеплению белков и его разложению на аминокислоты. Использование метода радиационной

стерилизации при получении грибных полуфабрикатов повышает усвояемость белковых веществ грибов, представленных сложными, труднорастворимыми структурными соединениями, улучшает растворимость конечного продукта.

Электронная стерилизация является инструментом в расширении сроков хранения грибной продукции. Дозы облучения препятствуют размножению микроорганизмов, тем самым продлевают срок хранения грибной продукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисин П.А., Мусина О.Н., Кистер И.В., Чернопольская Н.Л. Методология оценки сбалансированности аминокислотного состава многокомпонентных пищевых продуктов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. N 3 (11). С. 53–58.
2. Липатов Н.Н. Некоторые аспекты моделирования аминокислотной сбалансированности пищевых продуктов // Пищевая и перерабатывающая промышленность. 1986. N 4. С. 48–51.
3. Липатов Н.Н., Сажин Г.Ю., Башкиров О.Н. Формализованный анализ аминокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. N 8. С. 11–14.
4. Boutrif E. Recent developments in protein quality evaluation // Food, Nutrition and Agriculture. 1991. Issue 2/3. Available at: <http://www.fao.org/3/U5900t/u5900t07.htm> (accessed 28.06.2019)

5. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) – a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review // Journal of AOAC International. 2005. Vol. 88. Issue 3. P. 988–994.
6. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation, 31 March – 2 April 2011, Auckland, New Zealand. FAO Food and Nutrition Paper. Vol. 92. Rome. Food Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2013. 66 p. Available at: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf> (accessed 28.06.2019)
7. Sarwar G. The protein digestibility-corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible –proteins supplemented with limiting amino acids in rats // The Journal of Nutrition. 1997. Vol. 127. Issue 5. P. 758–764. DOI: 10.1093/jn/127.5.758
8. Denny A., Aisbitt B., Lunn J. Mycoprotein and



health // Nutrition Bulletin. 2008. Vol. 33. Issue 4. P. 298–310. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2008.00730.x

9. Edwards D.G., Cummings J.H. The protein quality of mycoprotein // Proceedings of the Nutrition Society. 2010. Vol. 69. Issue OCE4. P. E331. DOI: 10.1017/S0029665110001400

10. Wiebe M. Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption // Applied Microbiology and Biotechnology. 2002. Vol. 58. Issue 4. P. 421–427. DOI: 10.1007/s00253-002-0931-x

11. Williamson D.A., Geiselman P.J., Lovejoy J., Greenway F., Volaufova J., Martin C.K., Arnett C., Ortego L. Effects of consuming mycoprotein, tofu or chicken upon subsequent eating behaviour, hunger and safety // Appetite. 2006. Vol. 46. Issue 1. P. 41–48. DOI: 10.1016/j.appet.2005.10.007

12. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина и Н.И. Санжаровой. Обнинск: Ид-во ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.

13. Fernandes A., Barreira J.C.M., Antonio A.L., Martins A., Ferreira I.C.F.R. Triacylglycerols profiling as a chemical tool to identify mushrooms submitted to gamma or electron beam irradiation // Food Chemistry. 2014. Vol. 159. P. 399–406. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.035

14. Mami Y., Peyvast G., Ziaie F., Ghasemnezad M., Salmanpour V. Improvement of shelf life and postharvest quality of white mushroom by electron beam irradiation // Journal of Food Processing and Preservation. 2014. Vol. 38. Issue 4. P. 1673–1681. DOI: 10.1111/jfpp.12129

15. Zhang K.X., Pu Y.Y., Sun D.W. Recent ad-

vances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review // Trends in Food Science & Technology. 2018. Vol. 78. P. 72–82. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.05.012

16. Abdeldaiem M.H.M., Ali H.G.M., Hassani M.F.R. Extending the shelf life of refrigerated beef balls using methanol extracts of gamma-irradiated mushrooms // Fleischwirtschaft. 2016. Vol. 96. Issue 11. P. 107–114.

17. Cardoso R.V.C., Fernandes Â., Barreira J.C.M., Verde S.C., Antonio A.L., González-Paramás A.M., Barros L., Ferreira I.C.F.R. Effectiveness of gamma and electron beam irradiation as preserving technologies of fresh *Agaricus bisporus* Portobello: A comparative study // Food Chemistry. 2019. Vol. 278. P. 760–766. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.116

18. Kortei N.K., Odamtten G.T., Obodai M., Wiasekwangyan M., Addo E.A. Influence of low dose of gamma radiation and storage on some vitamins and mineral elements of dried oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) // Food Science & Nutrition. 2017. Vol. 5. Issue 3. P. 570–578. DOI: 10.1002/fsn3.432

19. Tejedor-Calvo E., Morales D., Marco P., Venturini M.E., Blanco D., Soler-Rivas C. Effects of combining electron-beam or gamma irradiation treatments with further storage under modified atmospheres on the bioactive compounds of *Tuber melanosporum* truffles // Postharvest Biology and Technology. 2019. Vol. 155. P. 149–155. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2019.05.022

20. Теплякова Т.В., Косогова Т.А., Ананько Г.Г., Бардашева А.В., Ильичева Т.Н. Противовирусная активность базидиальных грибов. Обзор литературы // Проблемы медицинской микологии. 2014. Т. 16. N 2. С. 15–25.

## REFERENCES

1. Lisin P.A., Musina O.N., Kister I.V., Chernopolskaya N.L. Evaluation of sound amino acid composition of multifood. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013, no. 3 (11), pp. 53–58. (In Russian)

2. Lipatov N.N. Some aspects of amino acid balance modeling. *Pishchевaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'*. 1986, no. 4, pp. 48–51. (In Russian)

3. Lipatov N.N., Sazhinov G.Yu., Bashkirov O.N. Formalized analysis of amino and fatty acid balance of raw materials, promising for the design of baby food with specified nutritional adequacy. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2001, no. 8, pp. 11–14. (In Russian)

4. Boutrif E. Recent developments in protein quality evaluation. *Food, Nutrition and Agriculture*. 1991, issue 2/3. Available at: <http://www.fao.org/3/U5900t/u5900t07.htm> (accessed 28.06.2019)

5. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) – a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *Journal of AOAC International*. 2005, vol. 88, issue 3, pp. 988–994.

6. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation, 31

March – 2 April 2011, Auckland, New Zealand. FAO Food and Nutrition Paper, vol. 92. Rome. Food Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2013, 66 p. Available at: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf> (accessed 28.06.2019)

7. Sarwar G. The protein digestibility-corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible –proteins supplemented with limiting amino acids in rats. *The Journal of Nutrition*. 1997, vol. 127, issue 5, pp. 758–764. DOI: 10.1093/jn/127.5.758

8. Denny A., Aisbitt B., Lunn J. Mycoprotein and health. *Nutrition Bulletin*. 2008, vol. 33, issue 4, pp. 298–310. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2008.00730.x

9. Edwards D.G., Cummings J.H. The protein quality of mycoprotein. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2010, vol. 69, issue OCE4, pp. E331. DOI: 10.1017/S0029665110001400

10. Wiebe M. Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2002, vol. 58, issue 4, pp. 421–427. DOI: 10.1007/s00253-002-0931-x



11. Willamson D.A., Geiselman P.J., Lovejoy J., Greenway F., Volaufova J., Martin C.K., Arnett C., Ortega L. Effects of consuming mycoprotein, tofu or chicken upon subsequent eating behaviour, hunger and safety. *Appetite*. 2006, vol. 46, issue 1, pp. 41–48. DOI: 10.1016/j.appet.2005.10.007

12. *Radiatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaistve i pishchevoi promyshlennosti* [Radiation technologies in agriculture and food industry]. Ed. by G.V. Koz'min, S.A. Geras'kin, N.I. Sanzharova. Obninsk: Russian Institute of Radiology and Agroecology Publ., 2015, 400 p.

13. Fernandes A., Barreira J.C.M., Antonio A.L., Martins A., Ferreira I.C.F.R. Triacylglycerols profiling as a chemical tool to identify mushrooms submitted to gamma or electron beam irradiation. *Food Chemistry*. 2014, vol. 159, pp. 399–406. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.035

14. Mami Y., Peyvast G., Ziaie F., Ghasemnezad M., Salmanpour V. Improvement of shelf life and postharvest quality of white mushroom by electron beam irradiation. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014, vol. 38, issue 4, pp. 1673–1681. DOI: 10.1111/jfpp.12129

15. Zhang K.X., Pu Y.Y., Sun D.W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, vol. 78, pp. 72–82. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.05.012

16. Abdeldaiem M.H.M., Ali H.G.M., Hassani M.F.R. Extending the shelf life of refrigerated beef balls using methanol extracts of gamma-irradiated mushrooms. *Fleischwirtschaft*. 2016, vol. 96, issue 11, pp. 107–114.

17. Cardoso R.V.C., Fernandes Â., Barreira J.C.M., Verde S.C., Antonio A.L., González-Paramás A.M., Barros L., Ferreira I.C.F.R. Effectiveness of gamma and electron beam irradiation as preserving technologies of fresh *Agaricus bisporus* Portobello: A comparative study. *Food Chemistry*. 2019, vol. 278, pp. 760–766. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.116

18. Kortei N.K., Odamtten G.T., Obodai M., Wiafe-Kwangyan M., Addo E.A. Influence of low dose of gamma radiation and storage on some vitamins and mineral elements of dried oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Food Science & Nutrition*. 2017, vol. 5, issue 3, pp. 570–578. DOI: 10.1002/fsn3.432

19. Tejedor-Calvo E., Morales D., Marco P., Venturini M.E., Blanco D., Soler-Rivas C. Effects of combining electron-beam or gamma irradiation treatments with further storage under modified atmospheres on the bioactive compounds of *Tuber melanosporum* truffles. *Postharvest Biology and Technology*. 2019, vol. 155, pp. 149–155. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2019.05.022

20. Teplyakova T.V., Kosogova T.A., Anan'ko G.G., Bardasheva A.V., Il'icheva T.N. Antiviral activity of basidiomycetes. Review of literature. *Problemy meditsinskoi mikologii*. 2014, vol. 16, no. 2, pp. 15–25. (In Russian)

#### **Критерии авторства**

Дриль А.А. и Рождественская Л.Н. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Дриль А.А. и Рождественская Л.Н. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

#### **Contribution**

Anastasiia A. Dril and Lada N. Rozhdesvenskaya carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Anastasiia A. Dril and Lada N. Rozhdesvenskaya have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Дриль Анастасия Александровна**, старший преподаватель кафедры технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет,  
✉ e-mail: drilnaska@gmail.com

**Рождественская Лада Николаевна**, к.э.н., доцент, заведующая кафедрой технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет,  
e-mail: lada2006job@mail.ru

#### **AUTHORS' INDEX**

**Anastasiia A. Dril**, Senior Lecturer, Technology and Organization of Food Industries Department, Novosibirsk State Technical University,  
✉ e-mail: drilnaska@gmail.com

**Lada N. Rozhdestvenskaya**, Ph.D. (Economics), Associate Professor, Head of Technology and Organization of Food Industries Department, Novosibirsk State Technical university,  
e-mail: lada2006job@mail.ru