

УДК 664.8.039.5

Влияние обработки ускоренными электронами на изменение текстуры свежих шампиньонов в процессе холодильного хранения

Н. И. Федянина*, О. В. Карастоянова, Н. В. Коровкина, Н. С. Шишкина

**Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, г. Видное, Московская обл., Россия;*

e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>

Информация о статье

Поступила в редакцию 02.07.2020;

получена после доработки 14.09.2020

Ключевые слова:

ускоренные электроны, *Agaricus bisporus*, текстура, хранимоспособность, режимы обработки, доза облучения

Реферат

Технологии переработки и хранения пищевой продукции с применением физических методов воздействия, в частности ионизирующего и неионизирующего излучений, активно развиваются в последние годы. Одной из разновидностей ионизирующих излучений является обработка ускоренными электронами, применяемая с целью сокращения потерь, пролонгирования сроков хранения и реализации растительного сырья. В работе исследовались шампиньоны вида *Agaricus bisporus* – наиболее распространенные среди культивируемых грибов, являющиеся источником белка, содержащие полезные микро- и макроэлементы, биологически активные вещества, витамины группы В, РР, D. Изучена динамика изменения текстуры как качественного показателя хранимоспособности упакованных свежих шампиньонов в процессе холодильного хранения (при температуре +4...5 °С и относительной влажности воздуха 85–90 %) в течение 29 суток после обработки ускоренными электронами с энергией 5 МэВ в диапазоне накопленных доз от 0,8 до 3,2 кГр с дискретностью 0,4 кГр. Обработка в диапазоне доз от 3,4 кГр приводит к негативному эффекту изменения хранимоспособности и является нецелесообразной. Обработка ускоренными электронами в диапазоне доз от 0 до 3,2 кГр ведет к увеличению хранимоспособности и достигает своего экстремума при 2 кГр. При экстраполяции результатов экспериментальных данных такая тенденция отмечается предположительно до дозы 3,4 кГр. На основе экспериментальных данных получены динамики текстуры в процессе хранения после обработки ускоренными электронами, построена математическая модель зависимости предельной хранимоспособности по показателю текстуры грибов от дозы облучения и установлены режимы обработки шампиньонов.

Для цитирования

Федянина Н. И. и др. Влияние обработки ускоренными электронами на изменение текстуры свежих шампиньонов в процессе холодильного хранения. Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 3. С. 291–301. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-3-291-301.

The texture changing of fresh champignons under the influence of processing by accelerated electrons during the refrigeration storage

Natal'ya I. Fedyanina*, Olga V. Karastoyanova, Nadezhda V. Korovkina, Nataliya S. Shishkina

**Scientific Research Institute of Canning Technology – Branch of V. M. Gorbatova Federal Research Center for Food Systems of RAS, Vidnoe, Moscow Region, Russia;*

e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>

Article info

Received 02.07.2020;

received in revised 14.09.2020

Key words:

accelerated electrons, *Agaricus bisporus*, texture, storage capacity, processing modes, radiation dose

Abstract

Technologies for processing and storage of food products using physical methods of exposure, in particular ionizing and non-ionizing radiation, have been actively developing in recent years. One of the types of ionizing radiation is processing by accelerated electrons, used to reduce losses, prolong the shelf life and sale of plant materials. The work has investigated champignons of the *Agaricus bisporus* species – the most common among cultivated mushrooms, which are a source of protein, containing useful micro- and macroelements, biologically active substances, vitamins of group B, PP, D. The dynamics of changes in texture as a qualitative indicator of the storage capacity of packaged fresh champignons in the process of refrigerated storage (at a temperature of +4...5 °С and a relative humidity of 85–90 %) for 29 days after treatment with accelerated electrons with an energy of 5 MeV in the range of accumulated doses from 0.8 to 3.2 kGy with a discreteness of 0.4 kGy. Treatment in the dose range of 3.4 kGy leads to a negative effect of changing storage capacity and is impractical. Treatment with accelerated electrons in the dose range from 0 to 3.2 kGy leads to an increase in storage capacity and reaches its extremum at 2 kGy. When extrapolating the results of experimental data, such a tendency is observed presumably up to a dose of 3.4 kGy. On the basis of experimental data, the dynamics of texture during storage after processing with accelerated electrons have been obtained, a mathematical model of the dependence of the limiting storage capacity in terms of the texture of mushrooms on the radiation dose has been constructed, and the modes of processing champignons have been established.

For citation

Fedyanina, N. I. et al. 2020. The texture changing of fresh champignons under the influence of processing by accelerated electrons during the refrigeration storage. *Vestnik of MSTU*, 23(3), pp. 291–301. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-3-291-301.

Введение

Снижение потерь от порчи и повышение микробиологической безопасности растительного сырья является серьезной проблемой для увеличения хранимостоспособности продовольствия. Одним из способов решения данной проблемы является оптимизация технологий обработки растительного сырья физическими методами, а именно обработка ионизирующими излучениями: γ -излучение (Fernandes et al., 2017; Reyes-Campos et al., 2013; Лой и др., 2017), ускоренные электроны (Neal et al., 2010; Nam et al., 2019; Joshi et al., 2018), рентгеновское излучение (Alonso et al., 2007; Berger et al., 1962), ультразвук (Dellarosa et al., 2017; Lagnika et al., 2014), УФ-излучение (Aiama-or et al., 2009; Cia et al., 2007) и др.

Обработку указанными физическими методами применяют в качестве фактора, оказывающего воздействие на:

- частичное или полное подавление жизнедеятельности микроорганизмов (Nam et al., 2019; Шишкина и др., 2018; 2019; Madureira et al., 2019; Чиж и др., 2011);
- задержку процессов созревания, старения растительного сырья (Шишкина и др., 2018; 2019);
- стабилизацию устойчивости (Шишкина и др., 2018; Ковальская и др., 1970; Nambeesan et al., 2018);
- сохранение физико-химических и органолептических свойств (Fernandes et al., 2017; Neal et al., 2010; Nam et al., 2019; Шишкина и др., 2018; Jiang et al., 2010; Lei et al., 2018);
- пролонгацию сроков послеуборочного хранения (Лой и др., 2017; Neal et al., 2010; Lagnika et al., 2014);
- интенсификацию технологического процесса переработки (увеличение выхода сока, замораживание, сушка и др.) (Радиационные..., 2015; Алексахин и др., 2014).

Наиболее эффективной технологией обработки растительной продукции с применением ионизирующего излучения является технология, предусматривающая воздействие на продукцию электронным излучением с энергией квантов не выше 10 МэВ. Такая обработка приводит к уменьшению поверхностной обсемененности фруктов, овощей, грибов и других продуктов, сохраняя при этом исходный вкус, аромат, текстуру, энергетическую и биологическую ценность (Reyes-Campos et al., 2013; Nam et al., 2019; Joshi et al., 2018; Alonso et al., 2007; Madureira et al., 2019; Nambeesan et al., 2018; Jiang et al., 2010; Jiang, 2013; Akram et al., 2010; Use..., 2006).

В природе существует множество видов съедобных грибов, часть из них имеет высокое коммерческое значение и промышленно культивируется (Tarlak et al., 2020). Около 45 % грибов потребляется в свежем виде, остальные подвергаются дальнейшей промышленной переработке вследствие короткого срока годности (Diamantopoulou et al., 2015; Nasiri et al., 2017; Royse, 2014; Fernandes et al., 2012; Singh et al., 2010).

Среди культивируемых шампиньонов вид *Agaricus bisporus* является наиболее распространенным (Doymaz, 2014; Moradian et al., 2018). Плодовые тела грибов данного вида отличаются приятным вкусом и широким возможностям использования при приготовлении пищи, являются источником полезных веществ, витаминов, микро- и макроэлементов, белка растительного происхождения (Nasiri et al., 2017; Royse, 2014; Fernandes et al., 2012).

После сбора урожая грибам свойственна потеря качества, которая обусловлена потемнением, раскрытием шляпки, удлинением ножки, потерей веса и изменением текстуры с повышением интенсивности дыхания (Jiang, 2013; Diamantopoulou et al., 2015; Xu et al., 2016; Zhang et al., 2018). Размягчение шампиньонов происходит в результате деградации белков и полисахаридов, потери тургора клетки, синтеза хитина в клеточных стенках и др. (Doymaz, 2014; Gormley, 2007; Zivanovic et al., 2003; Salamat et al., 2020; Palacios et al., 2011; Parentelli et al., 2007). Одной из ключевых характеристик состояния плодовых тел грибов и его изменения в процессе хранения является органолептическая оценка по показателям: цвет, текстура, внешний вид, аромат и т. д.¹ Текстура является качественным показателем хранимостоспособности шампиньонов и определяется инструментальным методом (Jiang et al., 2010; Дятлов и др., 2011).

В соответствии с этим цель исследований – подтверждение потенциальной эффективности влияния обработки ускоренными электронами на изменение текстуры свежих шампиньонов в процессе холодильного хранения.

Материалы и методы

Для получения экспериментальных данных объектами исследования служили свежие культивируемые грибы шампиньоны (*Agaricus bisporus*), выращенные в Крестьянском фермерском хозяйстве "Дон Шампиньон" (Рязанская область).

Полученные грибы были отсортированы, разложены в полипропиленовые лотки и упакованы в пакеты из ВОРП (биаксиально-ориентированный полипропилен) пленки толщиной 40 мкм с следующими параметрами: кислородопроницаемость 1325 см³/м²·24 ч·бар (23 °С), паропроницаемость 3,3 г/м²/24 ч·бар (38 °С, отн. вл. 90 %).

¹ ГОСТ Р 56827-2015. Грибы шампиньоны свежие культивируемые. Технические условия. М., 2019.

Образцы обрабатывали на ускорителе УЭЛР-10-15-С-60-1 (ООО "Теклеор", Калужская область) ускоренными электронами с регулируемой энергией электронов от 1 до 10 МэВ, средней мощностью пучка до 15 кВт и генератором энергии КИУ-147А (рис. 1, 2) (*Радиационные...*, 2019).



Рис. 1. Линейный ускоритель электронов, с использованием которого проводились исследования
Fig. 1. Linear electron accelerator used for the research



Рис. 2. Первый в России центр обработки продуктов растительного и животного происхождения потоком ускоренных электронов "Теклеор", на базе которого проводились исследования
Fig. 2. The first center in Russia for processing products of plant and animal origin by a stream of accelerated electrons "Tekleor" where the research was carried out

На основании анализа литературных данных были выбраны следующие значения параметров обработки ускоренными электронами:

- дозы облучения 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8 и 3,2 кГр;
- энергия пучка 5 МэВ.

Далее образцы хранили в холодильной камере при температуре +4...5 °С и относительной влажности воздуха 85–90 %.

Хранимоспособность по показателю текстуры контролировали по истечении 1, 3, 8, 13, 16, 21, 24 и 29 суток.

Контроль данного показателя определяли с помощью цифрового плодового пенетromетра в кг/см². Пенетрация в центр шляпки плодовых тел грибов осуществлялась цилиндрическим зондом длиной 1 см и диаметром 2 мм.

Каждую выемку осуществляли в трехкратной повторности и отсеивали статистически недостоверные данные для уменьшения статистической погрешности измерений.

Математическую обработку полученных данных проводили с использованием программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software Inc.), предназначенного для определения параметров множества различных функций, и программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation).

Массив данных, полученный в результате эксперимента, был статистически обработан на наличие грубых погрешностей, которые отсеивались по методу квартильной оценки и в соответствии с критерием Стьюдента при $\alpha \leq 0,05$.

По числовым данным для каждой экспериментальной точки устанавливали средние значения по медиане и их доверительные интервалы. Затем результаты аппроксимировали и определяли динамики текстуры, которые выражаются подобранными математическими описаниями с коэффициентами для каждой дозы облучения, а также коэффициенты детерминации, коэффициенты по критерию Фишера при $\alpha \leq 0,05$ с целью графического представления полученных данных (табл.).

Критерии выбора наиболее адекватной функции отклика при аппроксимировании данных были следующими:

- функция отклика должна адекватно отображать поведение моделируемой системы;
- квадрат коэффициента корреляции не должен быть менее 0,95;
- подобранная функция должна быть адекватна по критерию Фишера при достоверности результатов $\alpha \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

При аппроксимировании массива экспериментальных данных были получены динамики текстуры в процессе хранения грибов, обработанных ускоренными электронами (табл.).

Таблица. Математические описания и значения коэффициентов, полученных в результате аппроксимации массива экспериментальных данных для каждой дозы облучения
Table. Mathematical descriptions and values of the coefficients obtained as a result of approximating an array of experimental data for each radiation dose

Доза облучения, кГр	Математическое описание*	Кэф. детерминации	α (по Фишеру)	Коэффициенты					
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
0	$D = \frac{1}{a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2 + d \cdot \tau^3}$	0,8961	0,0550	0,0328	0,0015	-0,0001	$2,5 \cdot 10^{-6}$	–	–
0,8	$D = e^{a+b \cdot \tau + c \cdot \tau^2 + d \cdot \tau^3}$	0,9238	0,1121	3,4196	-0,0340	0,0027	$-7,0 \cdot 10^{-5}$	–	–
1,2	$D = \frac{1}{a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2 + d \cdot \tau^3}$	0,8864	0,1655	0,0327	0,0011	$-8,4 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	–	–
1,6		0,7193	0,2300	0,0334	0,0012	$-9,6 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	–	–
2,0		0,9277	0,1065	0,0332	0,0016	-0,0001	$2,5 \cdot 10^{-6}$	–	–
2,4		0,7203	0,1322	0,0342	0,0015	-0,0001	$2,9 \cdot 10^{-6}$	–	–
2,8	$D = \frac{a + c \cdot \tau + e \cdot \tau^2}{1 + b \cdot \tau + d \cdot \tau^2 + f \cdot \tau^3}$	0,9076	0,2153	3,3849	-0,0131	-0,0852	0,0019	0,0101	$3,3 \cdot 10^{-5}$
3,2	$D = \frac{1}{a + b \cdot \tau + c \cdot \tau^2 + d \cdot \tau^3}$	0,8073	0,0649	0,0345	0,0008	$-8,7 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	–	–

Примечание. * τ – продолжительность хранения.

Из таблицы следует, что при изменении дозы облучения динамики текстур описываются различными уравнениями.

В ходе определения максимально приемлемой продолжительности хранения сравнивали отклик динамики текстуры обработанных ускоренными электронами шампиньонов. Количественное значение требуемого показателя определяли по функции для контрольного варианта на момент истечения нормативного срока годности (16 суток) с условием, что дальнейшее хранение приведет к изменению значения искомого показателя в худшую сторону относительно аналогичной динамики для контроля.

Расчетные значения отклика текстуры шампиньонов аппроксимированы подгоночными функциями для каждой дозы облучения. Функция обобщенного предела хранимостепности обработанных ускоренными электронами шампиньонов в зависимости от дозы облучения имеет вид:

$$T(d) = f_D(d), \quad (1)$$

где $T(d)$ – предельное значение хранимостепности при данных значениях d , сут; $f_D(d)$ – функция предельной хранимостепности по показателю текстуры.

Результаты первичной обработки экспериментальных данных по отклику текстуры при хранении шампиньонов, обработанных ускоренными электронами различными дозами, отображены на рис. 3.

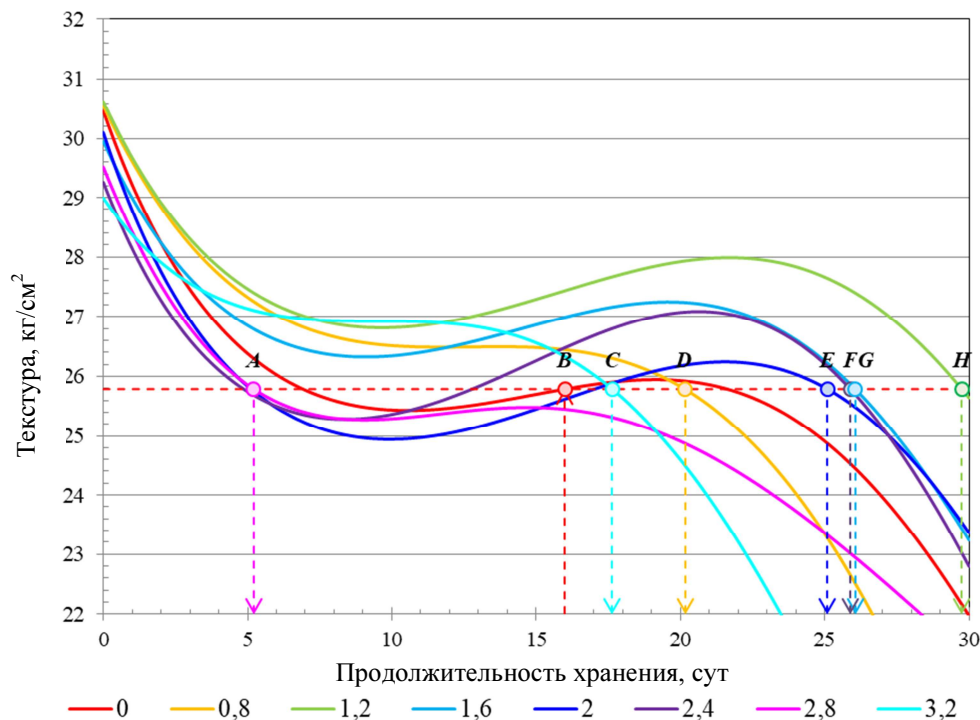


Рис. 3. Динамики текстуры в процессе холодильного хранения шампиньонов, обработанных различными дозами ускоренных электронов
Fig. 3. Texture dynamics during the refrigerated storage of mushrooms treated with various doses of accelerated electrons

Для каждой дозы облучения определено предельное значение продолжительности хранения в соответствии с предельным значением текстуры (25,79 кг/см²) на момент окончания нормативного срока годности для контрольных грибов (16 суток). В результате аппроксимации полученного массива данных было разработано в зависимости от дозы облучения математическое описание хранимостепности грибов по показателю текстуры, представленное уравнением

$$T = \frac{1}{a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3}, \quad (2)$$

где T – текстура тканей плодового тела, кг/см²; a , b , c и d – коэффициенты; x – доза облучения, Дж/м².

Предположительно, в результате физического воздействия (облучения ускоренными электронами) в растительном объекте происходит защитная реакция (активация обменных процессов, потеря влаги за счет увеличения интенсивности дыхания), что отображается на первоначальном времени уменьшения текстуры грибной ткани, затем происходит стабилизация активности обменных процессов и дыхания, поэтому размягчение останавливается. Далее за счет естественной убыли массы текстура некоторое время увеличивается, затем начинают преобладать процессы мацерации (размягчения), вследствие чего текстура на данном этапе уменьшается уже окончательно. Поэтому анализ достижения критического значения текстуры при той или иной дозе по сравнению с контролем определяли именно на этапе окончательного снижения текстуры. Исключение составляла точка A , но связано это с тем, что по ее достижению в соответствующей динамике затем отсутствовала зона нарастания текстуры, и после некоторой зоны плато текстура продолжала ухудшаться.

Полученная в ходе экстраполяции экспериментальных данных модель зависимости режимов обработки ускоренными электронами шампиньонов с дополнением доз облучения от 3,2 до 5 кГр, представлена на рис. 4.

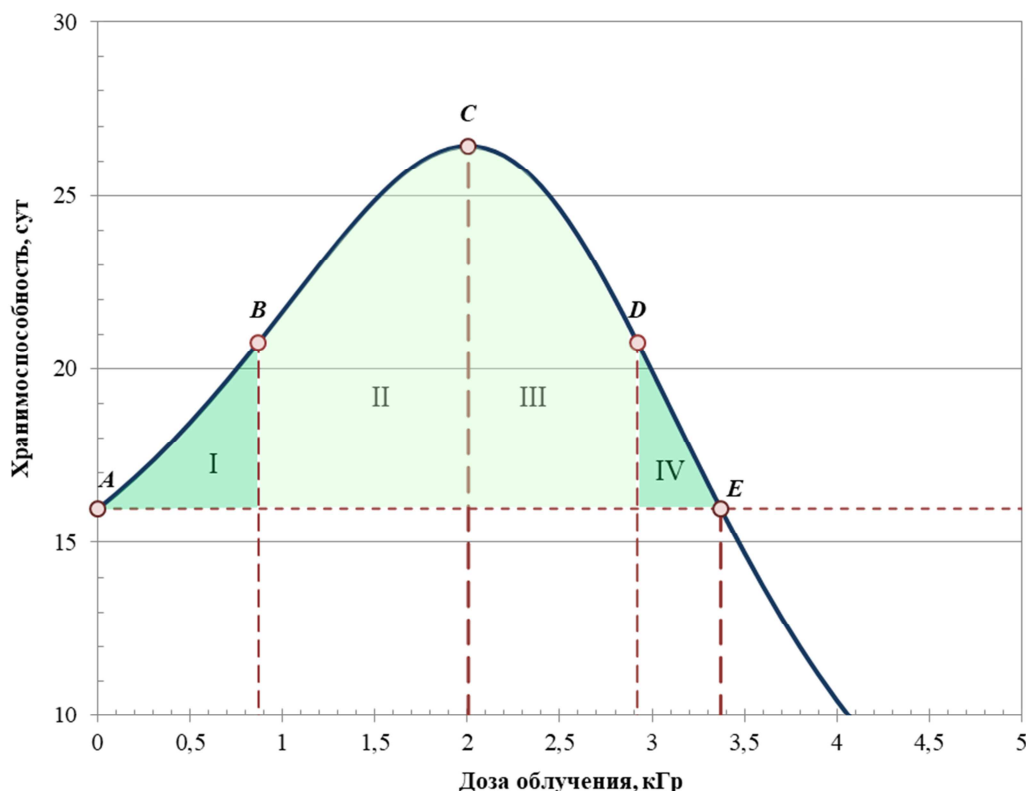


Рис. 4. Модель предельной хранимостности шампиньонов по показателю текстуры в зависимости от дозы облучения ускоренными электронами
 Fig. 4. Model of ultimate storage capacity in terms of champignon texture depending on the dose of radiation by accelerated electrons

На графике динамики хранимостности грибов (рис. 4) в зависимости от дозы облучения показаны критические точки *A*, *B*, *C*, *D*, *E*. В соответствии с представленной моделью облучение ускоренными электронами до дозы 2 кГр приводит к увеличению хранимостности, причем в зоне II (на участке *BC*) данное явление происходит наиболее эффективно (более 30 %) при обработке дозами от 0,9 кГр и достигает своего экстремума в точке *C* (до 65 %), что происходит на 26-е сутки хранения. При дальнейшем увеличении дозы облучения наблюдается снижение хранимостности в зоне III (до 30 %) при обработке дозами до 2,9 кГр с последующим достижением значения, которое соответствует контролю при обработке дозой порядка 3,4 кГр.

Следовательно, обработка дозами более 2 кГр не приводит к увеличению хранимостности, т. е. является нерациональной. Поэтому следует рассматривать область доз, при которых происходит увеличение хранимостности более чем на 30 %, а именно от 0,9 до 2 кГр.

Заключение

В результате проведенных исследований и обработки результатов были сформулированы следующие выводы:

- разработана модель динамики текстуры тканей плодовых тел шампиньонов, обработанных ускоренными электронами в процессе холодильного хранения;
- определены оптимальные режимы обработки ускоренными электронами шампиньонов с энергией квантов 5 МэВ дозами от 0,9 до 3,4 кГр, позволяющие увеличить хранимостность по показателю текстуры более чем на 30 %, причем максимальное увеличение хранимостности отмечено при обработке дозой 2,0 кГр.

Полученные результаты дают импульс для проведения дальнейших комплексных исследований с использованием других показателей качества для увеличения хранимостности шампиньонов после обработки ускоренными электронами.

Библиографический список

- Алексахин Р. М., Санжарова Н. И., Козьмин Г. В., Павлов А. Н. [и др.]. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Вестник Российской академии естественных наук. 2014. № 1. С. 78–85.
- Дятлов В. В., Попова Н. А., Медведкова И. И. Качество и безвредность шампиньонов при хранении // Товарознавчий вісник. 2011. № 3. С. 96–104.
- Ковальская Л. П., Петраш И. П., Шишкина Н. С. Влияние ионизирующих излучений на созревание плодов и их устойчивость микроорганизмам // Доклады науч.-техн. конф. по использованию ионизирующих излучений в народном хозяйстве. Тула : Приок. кн. изд-во, 1970. Вып. 3. С. 22–32.
- Лой Н. Н., Санжарова Н. И., Чиж Т. В., Щагина Н. И. [и др.]. Перспектива применения радиационных технологий для увеличения сроков хранения овощей [Электронный ресурс] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 05–26 июня 2017 г. Краснодар, 2017. С. 54–58. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf.
- Радиационные методы в переработке сельскохозяйственных культур : науч. аналит. обзор / Ю. С. Павлов, А. Н. Петров, М. В. Тришканева [и др.]. М. : Росинформагротех, 2019. 80 с.
- Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / под общ. ред. Г. В. Козьмина, С. А. Гераськина, Н. И. Санжаровой. Обнинск : ВНИИРАЭ, 2015. 399 с.
- Чиж Т. В., Козьмин Г. В., Полякова Л. П., Мельникова Т. В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности // Вестник Российской академии естественных наук. 2011. Т. 11, № 4. С. 44–49.
- Шишкина Н. С., Карастоянова О. В., Левшенко М. Т., Степанищева Н. М. [и др.]. Применение УФ-излучения для совершенствования технологии предреализационного хранения томатов // Холодильная техника. 2018. № 8. С. 50–53.
- Шишкина Н. С., Федянина Н. И., Карастоянова О. В., Левшенко М. Т. [и др.]. Повышение сохранности шампиньонов физическими методами обработки // Холодильная техника. 2019. № 9. С. 45–50.
- Aiamla-or S., Yamauchi N., Takino S., Shigyo M. Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage // Postharvest Biology and Technology. 2009. Vol. 54, Iss. 3. P. 177–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.006>.
- Akram K., Kwon J.-H. Food irradiation for mushrooms: A review // Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry. 2010. Vol. 53. P. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.3839/jksabc.2010.041>.
- Alonso M., Palou L., M. Ángel del Río, Jacas J.-A. Effect of X-ray irradiation on fruit quality of clementine mandarin cv. "Clemenules" // Radiation Physics and Chemistry. 2007. Vol. 76, Iss. 10. P. 1631–1635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.11.015>.
- Berger A., Hansen H. The preservation of thin skin potatoes with low dosage x-rays // Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung. 1962. N 117. P. 215–225.
- Cia P., Pascholati S. F., Benato E. A., Camili E. C. [et al.]. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose // Postharvest Biology and Technology. 2007. Vol. 43, Iss. 3. P. 366–373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.004>.
- Dellarosa N., Frontuto D., Laghi L., Dalla Rosa M. [et al.]. The impact of pulsed electric fields and ultrasound on water distribution and loss in mushrooms stalks // Food Chemistry. 2017. Vol. 236. P. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.105>.
- Diamantopoulou P., Philippoussis A. Cultivated mushrooms: Preservation and processing // Handbook of Vegetable Preservation and Processing / eds.: Y. H. Hui, E. Özgül Evranuz. CRC Press, 2015. P. 495–525. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19252>.
- Doymaz I. Infrared drying of button mushroom slices // Food Science and Biotechnology. 2014. Vol. 23, Iss. 3. P. 723–729. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-014-0098-0>.
- Fernandes Â., Antonio Amilcar L., Oliveira M., Beatriz P. P. [et al.]. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review // Food Chemistry. 2012. Vol. 135, Iss. 2. P. 641–650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>.
- Fernandes Â., Barreira J. C. M., Günaydi T., Alkan H. [et al.]. Effect of gamma irradiation and extended storage on selected chemical constituents and antioxidant activities of sliced mushroom // Food Control. 2017. Vol. 72, Part B. P. 328–337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.044>.
- Gormley T. R. Texture studies on mushrooms // International Journal of Food Science & Technology. 2007. Vol. 4, Iss. 2. P. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1969.tb01510.x>.
- Jiang T. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere // Postharvest Biology and Technology. 2013. Vol. 76. P. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005>.

- Jiang T., Jahangir M. M., Jiang Z., Lu X. [et al.]. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage // *Postharvest Biology and Technology*. 2010. Vol. 56, Iss. 3. P. 209–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.011>.
- Joshi B., Moreira R. G., Omac B., Castell-Perez M. E. A process to decontaminate sliced fresh cucumber (*Cucumis sativus*) using electron beam irradiation // *LWT*. 2018. Vol. 91. P. 95–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.034>.
- Lagnika C., Zhang M., Nsor-Atindana J., Bashari M. Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life // *Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 51. P. 3749–3757. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0904-8>.
- Lei J., Li B., Zhang N., Yan R. [et al.]. Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2018. Vol. 139. P. 99–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022>.
- Madureira J., Severino A., Cojocarú M., Garofalide S. [et al.]. E-beam treatment to guarantee the safety and quality of cherry tomatoes // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019. Vol. 55. P. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.013>.
- Moradian S., Almasi H., Moini S. Development of bacterial cellulose-based active membranes containing herbal extracts for shelf life extension of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018. Vol. 42, Iss. 3. P. e13537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13537>.
- Nam H.-A., Ramakrishnan S. R., Kwon J.-H. Effects of electron-beam irradiation on the quality characteristics of mandarin oranges (*Citrus unshiu* (Swingle) Marcov) during storage // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 286. P. 338–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.009>.
- Nambeesan S. U., Doyle J. W., Capps H. D., Starns C. [et al.]. Effect of electronic cold-pasteurization™ (ECP™) on fruit quality and postharvest diseases during blueberry storage // *Horticulturae*. 2018. Vol. 4, Iss. 3. P. 25. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae4030025>.
- Nasiri M., Barzegar M., Sahari M. A., Niakousari M. Tragacanth gum containing *Zataria multiflora* Boiss. essential oil as a natural preservative for storage of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) // *Food Hydrocolloids*. 2017. Vol. 72. P. 202–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.045>.
- Neal J. A., Booren B., Cisneros-Zevallos L., Miller R. K. [et al.]. Shelf life and sensory characteristics of baby spinach subjected to electron beam irradiation // *Journal of Food Science*. 2010. Vol. 75, Iss. 6. P. S319–S326. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01664.x>.
- Palacios I., Moro C., Lozano M., D'Arrigo M. [et al.]. Use of modified atmosphere packaging to preserve mushroom quality during storage // *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. 2011. Vol. 3, Iss. 3. P. 196–203. DOI: <https://doi.org/10.2174/2212798411103030196>.
- Parentelli C., Ares G., Corona M., Lareo C. [et al.]. Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified-atmosphere packages // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007. Vol. 87, Iss. 9. P. 1645–1652. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2848>.
- Reyes-Campos R., Sandoval-Guillen J., Bustos-Griffin E., Valdivia-Lopez M. A. Irradiation effects on the chemical quality of guavas // *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 2. P. 90–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.5.3225>.
- Royse D. J. A global perspective on the high five: *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia* and *Flammulina* // *Proceedings of 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)*, New Delhi, India, 19–22 November 2014. ICAR-Directorate of Mushroom Research, 2014. Volume I & II. P. 1–6.
- Salamat R., Ghassemzadeh H. R., Ranjbar F., Jalali A. [et al.]. The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*) // *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. Vol. 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100448>.
- Singh P., Langowski H.-C., Wani A. A., Saengerlaub S. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: A review // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010. Vol. 90, Iss. 9. P. 1393–1402. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3971>.
- Tarlak F., Ozdemir M., Melikoglu M. The combined effect of exposure time to sodium chlorite (NaClO₂) solution and packaging on postharvest quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) stored at 4 °C // *Food Science and Technology*. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.24219>.
- Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin / V. Basbayraktar, H. Halkman, P. Yucel and N. Cetinkaya // *Use of irradiation to improve the safety and quality of minimally processed fruits and vegetables : Proceedings of a Final Research Coordination Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture*, Islamabad, 22–30 July 2005. Islamabad, 2006. P. 243–272.

- Xu Y., Tian Y., Ma R., Liu Q. [et al.]. Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus* // Food Chemistry. 2016. Vol. 197, Part A. P. 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.144>.
- Zhang K., Pu Y.-Y., Sun D.-W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review // Trends in Food Science Technology. 2018. No 78. P. 72–82. doi:10.1016/j.tifs.2018.05.012.
- Zivanovic S., Buescher R., Kim S. K. Mushroom texture, cell wall composition, color, and ultrastructure as affected by pH and temperature // Journal of Food Science. 2003. Vol. 68, Iss. 5. P. 1860–1865. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12343.x>.

References

- Aleksakhin, R. M., Sanzharova, N. I., Kozmin, G. V., Pavlov, A. N. et al. 2014. Prospects for the use of radiation technologies in the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*, 1, pp. 78–85. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V., Popova, N. A., Medvedkova, I. I. 2011. Quality and safety of champignons during storage. *Tovarovnavchij visnik*, 3, pp. 96–104. (In Russ.)
- Kovalskaya, L. P., Petrash, I. P., Shishkina, N. S. 1970. The influence of ionizing radiation on the ripening of fruits and their resistance to microorganisms. Reports *Scientific and technical indicators on the use of ionizing measurements in the national economy*. Tula, pp. 22–32. (In Russ.)
- Loy, N. N., Sanzharova, N. I., Chizh, T. V., Shchagina, N. I. et al. 2017. Prospects for the use of radiation technologies for increasing the storage time of vegetables [Electronic resource]. Proceedings of II Intern. conf. *Innovative research and development for scientific support of production and storage of environmentally safe agricultural and food products*. 05–26 June 2017. Krasnodar, pp. 54–58. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf. (In Russ.)
- Unchanging radiation methods in the processing of agricultural crops: Scientific analyt. review. 2019. Pavlov Yu. S., Petrov A. N., Trishkaneva M. V. Moscow. (In Russ.)
- Radiation technologies in agriculture and food industry. 2015. Eds. Kozmin G. V., Geraskin S. A., Sanzharova N. I. Obninsk. (In Russ.)
- Chizh, T. V., Kozmin, G. V., Polyakova, L. P., Melnikova, T. V. 2011. Radiation treatment as a technological method to increase the level of food safety. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*, 11(4), pp. 44–49. (In Russ.)
- Shishkina, N. S., Karastoyanova, O. V., Levshenko, M. T., Stepanishcheva, N. M. et al. 2018. The use of UV radiation to improve the technology of pre-implementation storage of tomatoes. *Kholodilnaya tekhnika*, 8, pp. 50–53. (In Russ.)
- Shishkina, N. S., Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V., Levshenko, M. T. et al. 2019. Increasing the safety of mushrooms by physical processing methods. *Kholodilnaya tekhnika*, 9, pp. 45–50. (In Russ.)
- Aiama-or, S., Yamauchi, N., Takino, S., Shigyo, M. 2009. Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 54(3), pp. 177–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.006>.
- Akram, K., Kwon, J.-H. 2010. Food irradiation for mushrooms: A review. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 53, pp. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.3839/jksabc.2010.041>.
- Alonso, M., Palou, L., M. Ángel del Río, Jacas, J.-A. 2007. Effect of X-ray irradiation on fruit quality of clementine mandarin cv. "Clemenules". *Radiation Physics and Chemistry*, 76(10), pp. 1631–1635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.11.015>.
- Berger, A., Hansen, H. 1962. The preservation of thin skin potatoes with low dosage x-rays. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 117, pp. 215–225.
- Cia, P., Pascholati, S. F., Benato, E. A., Camili, E. C. et al. 2007. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 43(3), pp. 366–373. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.10.004>.
- Dellarosa, N., Frontuto, D., Laghi, L., Dalla Rosa, M. et al. 2017. The impact of pulsed electric fields and ultrasound on water distribution and loss in mushrooms stalks. *Food Chemistry*, 236, pp. 94–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.105>.
- Diamantopoulou, P., Philippoussis, A. 2015. Cultivated mushrooms: Preservation and processing. Handbook of Vegetable Preservation and Processing. Eds.: Y. H. Hui, E. Özgül Evranuz. CRC Press, pp. 495–525. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19252>.
- Doymaz, I. 2014. Infrared drying of button mushroom slices. *Food Science and Biotechnology*, 23(3), pp. 723–729. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-014-0098-0>.
- Fernandes, Â., Antonio Amilcar, L., Oliveira, M., Beatriz, P. P. et al. 2012. Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 135(2), pp. 641–650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.136>.

- Fernandes, Â., Barreira, J. C. M., Günaydi, T., Alkan, H. et al. 2017. Effect of gamma irradiation and extended storage on selected chemical constituents and antioxidant activities of sliced mushroom. *Food Control*, 72, Part B, pp. 328–337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.044>.
- Gormley, T. R. 2007. Texture studies on mushrooms. *International Journal of Food Science & Technology*, 4(2), pp. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1969.tb01510.x>.
- Jiang, T. 2013. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 76, pp. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005>.
- Jiang, T., Jahangir, M. M., Jiang, Z., Lu, X. et al. 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 56 (3), pp. 209–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.011>.
- Joshi, B., Moreira, R. G., Omac, B., Castell-Perez, M. E. 2018. A process to decontaminate sliced fresh cucumber (*Cucumis sativus*) using electron beam irradiation. *LWT*, 91, pp. 95–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.034>.
- Lagnika, C., Zhang, M., Nsor-Atindana, J., Bashari, M. 2014. Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life. *Journal of Food Science and Technology*, 51, pp. 3749–3757. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0904-8>.
- Lei, J., Li, B., Zhang, N., Yan, R., et al. 2018. Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 139, pp. 99–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022>.
- Madureira, J., Severino, A., Cojocar, M., Garofalide, S. et al. 2019. E-beam treatment to guarantee the safety and quality of cherry tomatoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, pp. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.013>.
- Moradian, S., Almasi, H., Moini, S. 2018. Development of bacterial cellulose-based active membranes containing herbal extracts for shelf life extension of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), pp. e13537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13537>.
- Nam, H.-A., Ramakrishnan, S. R., Kwon, J.-H. 2019. Effects of electron-beam irradiation on the quality characteristics of mandarin oranges (*Citrus unshiu* (Swingle) Marcov) during storage. *Food Chemistry*, 286, pp. 338–345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.009>.
- Nambeesan, S. U., Doyle, J. W., Capps, H. D., Starns, C. et al. 2018. Effect of electronic cold-pasteurization™ (ECP™) on fruit quality and postharvest diseases during blueberry storage. *Horticulturae*, 4(3), pp. 25. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae4030025>.
- Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A., Niakousari, M. 2017. Tragacanth gum containing *Zataria multiflora* Boiss. essential oil as a natural preservative for storage of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Hydrocolloids*, 72, pp. 202–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.045>.
- Neal, J. A., Booren, B., Cisneros-Zevallos, L., Miller, R. K. et al. 2010. Shelf life and sensory characteristics of baby spinach subjected to electron beam irradiation. *Journal of Food Science*, 75(6), pp. S319–S326. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01664.x>.
- Palacios, I., Moro, C., Lozano, M., D'Arrigo, M. et al. 2011. Use of modified atmosphere packaging to preserve mushroom quality during storage. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 3(3), pp. 196–203. DOI: <https://doi.org/10.2174/2212798411103030196>.
- Parentelli, C., Ares, G., Corona, M., Lareo, C. et al. 2007. Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified-atmosphere packages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), pp. 1645–1652. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2848>.
- Reyes-Campos, R., Sandoval-Guillen, J., Bustos-Griffin, E., Valdivia-Lopez, M. A. 2013. Irradiation effects on the chemical quality of guavas. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2, pp. 90–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.19026/ajfst.5.3225>.
- Royse, D. J. 2014. A global perspective on the high five: *Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Auricularia* and *Flammulina*. Proceedings of 8th International Conference on *Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8)*, New Delhi, India, 19–22 November 2014. ICAR-Directorate of Mushroom Research, Volume I & II, pp. 1–6.
- Salamat, R., Ghassemzadeh, H. R., Ranjbar, F., Jalali, A. et al. 2020. The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Packaging and Shelf Life*, 23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100448>.
- Singh, P., Langowski, H.-C., Wani, A. A., Saengerlaub, S. 2010. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(9), pp. 1393–1402. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3971>.
- Tarlak, F., Ozdemir, M., Melikoglu, M. 2020. The combined effect of exposure time to sodium chlorite (NaClO₂) solution and packaging on postharvest quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) stored at 4 °C. *Food Science and Technology*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.24219>.

- Use of Irradiation to Ensure the Hygienic Quality of Fresh, Pre-Cut Fruits and Vegetables and Other Minimally Processed Food of Plant Origin. 2006. Eds. V. Basbayraktar, H. Halkman, P. Yucel and N. Cetinkaya. Proceedings of a Final Research Coordination Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture *Use of irradiation to improve the safety and quality of minimally processed fruits and vegetables*, Islamabad, 22–30 July 2005. Islamabad, pp. 243–272.
- Xu, Y., Tian, Y., Ma, R., Liu, Q. et al. 2016. Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus*. *Food Chemistry*, 197, Part A, pp. 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.144>.
- Zhang, K., Pu, Y.-Y., Sun, D.-W. 2018. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science Technology*, 78, pp. 72–82. doi:10.1016/j.tifs.2018.05.012.
- Zivanovic, S., Buescher, R., Kim, S. K. 2003. Mushroom texture, cell wall composition, color, and ultrastructure as affected by pH and temperature. *Journal of Food Science*, 68(5), pp. 1860–1865. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12343.x>.

Сведения об авторах

Федянина Наталья Игоревна – ул. Школьная, 78, г. Видное, Московская обл., Россия, 142703; Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, аспирант, ст. науч. сотрудник; e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>

Natal'ya I. Fedynina – 78, Shkolnaya Str., Vidnoe, Moscow Region, Russia, 142703; Scientific Research Institute of Canning Technology – Branch of V. M. Gorbatova Federal Research Center for Food Systems of RAS, Ph.D. Student, Senior Researcher; e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>

Карастоянова Ольга Вячеславовна – ул. Школьная, 78, г. Видное, Московская обл., Россия, 142703; Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, ст. науч. сотрудник; e-mail: vnikopholod@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7247-7519>

Olga V. Karastoyanova – 78, Shkolnaya Str., Vidnoe, Moscow Region, Russia, 142703; Scientific Research Institute of Canning Technology – Branch of V. M. Gorbatova Federal Research Center for Food Systems of RAS, Senior Researcher; e-mail: vnikopholod@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7247-7519>

Коровкина Надежда Вячеславовна – ул. Школьная, 78, г. Видное, Московская обл., Россия, 142703; Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, аспирант, мл. науч. сотрудник; e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4108-5835>

Nadezhda V. Korovkina – 78, Shkolnaya Str., Vidnoe, Moscow Region, Russia, 142703; Scientific Research Institute of Canning Technology – Branch of V. M. Gorbatova Federal Research Center for Food Systems of RAS, Ph.D. Student, Junior Researcher; e-mail: shatalova@vniitek.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4108-5835>

Шишкина Наталия Сергеевна – ул. Школьная, 78, г. Видное, Московская обл., Россия, 142703; Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, аспирант, вед. науч. сотрудник, академик МАХ; e-mail: vnikopholod@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5218-2430>

Nataliya S. Shishkina – 78, Shkolnaya Str., Vidnoe, Moscow Region, Russia, 142703; Scientific Research Institute of Canning Technology – Branch of V. M. Gorbatova Federal Research Center for Food Systems of RAS, Ph.D. Student, Leading Researcher; e-mail: vnikopholod@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5218-2430>