

Для корреспонденции

Писков Сергей Иванович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
 Адрес: 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1
 Телефон: (8652) 33-06-60, доб. 5803
 E-mail: piskovsi77@mail.ru

Писков С.И.¹, Тимченко Л.Д.¹, Ржепаковский И.В.¹, Аванесян С.С.¹, Сизоненко М.Н.¹, Арешидзе Д.А.², Ковалев Д.А.³

Влияние способа сушки на пищевые свойства и гиполипидемический потенциал вешенки (*Pleurotus ostreatus*)

The influence of the drying method for food properties and hypolipidemic potential of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*)

Piskov S.I.¹, Timchenko L.D.¹, Rzhepakovsky I.V.¹, Avanesyan S.S.¹, Sizonenko M.N.¹, Areshidze D.A.², Kovalev D.A.³

¹ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь

² ГОУ ВО Московской области «Московский государственный областной университет», Москва

³ ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт» Роспотребнадзора, Ставрополь

¹ North-Caucasus Federal University, Stavropol

² Moscow Region State University, Moscow

³ Stavropol Anti-Plague Scientific Research Institute

Целью исследования являлось изучение влияния двух способов сушки: сублимационной и суховоздушной на некоторые пищевые свойства и гиполипидемический потенциал плодовых тел вешенки (*Pleurotus ostreatus*). Критериями оценки пищевых свойств выступали цвет, морфологическая структура, регидратационная способность, общее количество жиров, водорастворимых белков, сложных сахаров, свободных аминокислот и моносахаридов. Гиполипидемический потенциал вешенки оценивали по концентрации ловастатина и уровню антиоксидантной активности. Показано, что экстинкция водно-спиртовых экстрактов сухой вешенки при длине волны 295 нм наиболее наглядно характеризовала окраску сухих грибов, интенсивность которой у сублиматов оказалась почти вдвое меньше, чем у высушенных суховоздушным способом грибов. По гистологическим данным установлено, что суховоздушная сушка приводила к разрушению клеток вешенки и образованию плотной слоистой структуры. Условия сублимационного высушивания сохраняли упорядоченную клеточную структуру, характерную для свежих грибов, и обеспечивали ее меньшую деформацию и усадку.

Для цитирования: Писков С.И., Тимченко Л.Д., Ржепаковский И.В., Аванесян С.С., Сизоненко М.Н., Арешидзе Д.А., Ковалев Д.А. Влияние способа сушки на пищевые свойства и гиполипидемический потенциал вешенки (*Pleurotus ostreatus*) // Вopr. питания. 2018. Т. 87, № 2. С. 65–76. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10020.

Статья поступила в редакцию 25.12.2017. **Принята в печать** 26.02.2018.

For citation: Piskov S.I., Timchenko L.D., Rzhepakovsky I.V., Avanesyan S.S., Sizonenko M.N., Areshidze D.A., Kovalev D.A. The influence of the drying method for food properties and hypolipidemic potential of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. 2018; 87 (2): 65–76. doi: 10.24411/0042-8833-2018-10020. (in Russian)

Received 25.12.2017. **Accepted for publication** 26.02.2018.

С помощью рентгеновской микротомографии зарегистрировано, что лиофильно высушенные грибы имели рыхлую структуру, характеризовались равномерным объемным распределением небольших пор. Суховоздушный способ обезвоживания приводил к образованию крупных полостей. При этом доля открытых пор, выступающих вторичной технологической пористостью, после сушечной сушки составила $29,41 \pm 0,52\%$, лиофильной – $11,10 \pm 0,41\%$. Количество закрытых пор, отражающих значение истинной пористости, насчитывало соответственно $0,99 \pm 0,01$ и $1,75 \pm 0,01\%$. Показатель регидратации для вешенки, высушенной методом сублимации, составил $5,4 \pm 0,1$ против $3,2 \pm 0,1$ для образцов, полученных сушечной сушкой. Время максимального влагопоглощения составило $22,7 \pm 1,8$ и $45,3 \pm 2,9$ мин соответственно. Установлено, что условия сублимации в большей степени способствуют сохранению биологически активных белкового и полисахаридного компонентов вешенки, а сушечная сушка, напротив, за счет реакций автогидролиза обеспечивает доступность и более легкую усвояемость. По содержанию водорастворимого белка и полисахаридов сублиматы вешенки превосходят образцы, полученные сушечной сушкой, соответственно на 72,0 и 56,0%. Концентрация свободных аминокислот в образцах, высушенных сушечной и сублимационной сушкой, составила $11,60 \pm 0,31$ и $7,00 \pm 0,28\%$, а содержание глюкозы – $175,20 \pm 6,10$ и $144,0 \pm 5,70$ мг% соответственно. Показано, что условия сублимационной сушки являются оптимальными для обеспечения сохранности природного статина и антиоксидантной способности вешенки, обеспечивающих ее гиполлипидемический потенциал. Концентрация ловастатина в сублиматах составила $342 \pm 9,0$ мг/кг и достоверно превышала таковое в грибах, полученных сушечной сушкой ($190 \pm 6,0$ мг/кг); антиоксидантная активность образцов вешенки, соответственно, составила $3,83 \pm 0,02$ против $2,0 \pm 0,03$ ммоль/100 г. Проведенные исследования доказывают, что для высушивания вешенки как потенциального биологически активного сырья для получения функциональных пищевых продуктов липидкорректирующей направленности выбор способа сушки имеет принципиальное значение.

Ключевые слова: вешенка, способы сушки, пищевые свойства, функциональный пищевой продукт, гиполлипидемический потенциал, ловастатин, антиоксидантная активность

The aim of this research was to study the influence of two drying methods: freeze-drying sublimation and dry-air drying on the selected nutritional properties and hypolipidemic potential of fruiting bodies of oyster mushroom (Pleurotus ostreatus). The criteria for evaluation of the food properties were the color, the morphological structure, regidration capacity, the total level of soluble proteins, fats, polysaccharides, free amino acids and monosaccharides. Lipid-lowering potential of oyster mushroom was evaluated by the concentration of lovastatin and the level of antioxidant activity. It has been experimentally revealed that the value of optical density of hydro-alcohol extracts of dried oyster mushrooms at a wavelength of 295 nm most clearly characterized its color which intensity was almost twice less in sublimated mushrooms, than in the sample dried by dry-air method. Histological data showed that dry-air drying lead to the destruction of the mushroom cells and to the formation of a dense layered structure. Sublimation drying preserved the ordered cell structure and provided less deformation and shrinkage of the tissues. Using X-ray microtomography it was reported that freeze-dried mushrooms had uniform pore volume distribution. Dry-air dehydration method lead to the formation of larger cavities. The average percentage of the open pores was: $29.41 \pm 0.52\%$ (after dry-air method), $11.10 \pm 0.41\%$ (after freeze-drying method). Respectively the number of closed pores, which reflected the true value of porosity, was 0.99 ± 0.01 and $1.75 \pm 0.01\%$. Structural differences of the samples of the dry oyster mushroom combined with their unequal hydration ability. Indicator of rehydration for oyster mushroom dried by sublimation method was 5.4 ± 0.1 , and for samples obtained by dry-air method it was 3.2 ± 0.1 . Respectively the average time of maximum water absorption was 22.7 ± 1.8 and 45.3 ± 2.9 minutes. It was found that the freeze-drying sublimation conditions were more conducive for the preservation of the biologically active protein and polysaccharide components of oyster mushrooms and on the other hand dry-air drying method increased the nutritional value of oyster mushrooms due to the reactions of polysaccharides autohydrolysis. The number of proteins and polysaccharides of the Oyster mushrooms samples dried by dry-air method and freeze-drying method was 72.0% and 56.0% respectively. Concentrations of free amino acids and glucose in the samples dried by freeze-drying and dry-air methods were $11.60 \pm 0.31\%$; 175.20 ± 6.10 mg% and $7.00 \pm 0.28\%$; 144.0 ± 5.7 mg% respectively. It has been experimentally recorded that the conditions of freeze drying were optimal in terms of ensuring the preservation of the content of natural statin and the antioxidant capacity of oyster mushrooms that provided its hypolipidemic potential. The amount of lovastatin in an the freeze-dried samples was 342 ± 9.0 mg/kg, and was significantly higher than in the samples received by dry-air method – 190 ± 6.0 mg/kg. The level of antioxidant activity of the oyster mushrooms samples were respectively 3.83 ± 0.02 against 2.0 ± 0.03 mmol/100 g. The conducted researches proved that for the production of dry oyster mushroom as a potential biologically active feedstock for the functional food products with lipid-regulating directivity the choice of the drying method had a fundamental importance.

Keywords: oyster mushrooms, drying methods, food properties, functional food, hypolipidemic potential, lovastatin, antioxidant activity

Накопление данных о влиянии питания в целом и потребления отдельных пищевых продуктов в частности на организм здорового и больного человека привело в последние годы к формированию нового направления в науке о питании, связанного с изучением биотехнологии, профилактической и клинической эффективности так называемых функциональных пищевых продуктов [1–5].

Особую актуальность приобретает разработка технологических подходов к созданию функциональных пище-

вых продуктов, направленных на коррекцию различных нарушений жирового обмена, в частности гиперлипидемий, являющихся ведущим фактором риска развития ишемической болезни сердца и атеросклероза. В связи большим числом побочных эффектов препаратов гиполлипидемического действия, сегодня все более пристальное внимание уделяется алиментарной коррекции гиперлипидемических состояний. Идет постоянный поиск сырья для функциональных пищевых продуктов, обладающих гиполлипидемической активностью [6–8].

Перспективна в этом плане вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), плодовые тела которой, имея высокую пищевую ценность, содержат природный статин и целый комплекс других биологически активных веществ, обладающих гиполипидемическими свойствами [9–11]. Однако, несмотря на уже неоднократно подтвержденные данные о липидснижающей активности вешенки, не до конца освещены вопросы технологии ее переработки, в частности высушивания как одного из перспективных методов сохранения пищевых и функциональных свойств сырья. Очень мало сведений об оптимальных способах сушки вешенки как потенциального сырья для получения функциональных пищевых продуктов или их ингредиентов, в то время как различные условия обезвоживания могут неоднозначно отразиться на ее пищевых и биологических свойствах. Целенаправленных исследований влияния различных способов высушивания на сохранность гиполипидемического потенциала вешенки не проводилось, что делает вопрос его изучения весьма актуальным. В связи с этим **целью** настоящего исследования являлась оценка влияния разных способов сушки на некоторые пищевые свойства и гиполипидемический потенциал вешенки.

Материал и методы

В качестве объекта исследования использовали свежие грибы вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), закупленные в гипермаркете торговой сети г. Ставрополя (производитель ИП Изотова А.А., Ставропольский край, с. Покойное). Отбирали плодовые тела с диаметром шляпок 6,0–7,0 см темно-серого цвета.

Для высушивания вешенки использовали наиболее экономически выгодный и распространенный в пищевой промышленности способ суховоздушной сушки и способ сублимационного высушивания (лиофилизация), набирающий популярность в последние годы как предлагающий компромисс затраты – качество [12].

В связи с различиями химического состава плодовых частей грибов [13], для эксперимента отбирали только шляпки вешенки. Грибы измельчали до кусочков с размерами сторон 1,0 см и размещали в один слой на противни из нержавеющей стали. Одну часть вешенки высушивали при атмосферном давлении и температуре +55 °С в суховоздушном термостате ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское специальное конструкторско-технологическое бюро систем программного управления», РФ).

Вторую часть грибов подвергали сублимационной сушке вакуумным методом с предварительным замораживанием. Заморозку образцов производили в холодильной установке SE10-45 («TEFCOLD», Дания) при температуре -40,0 °С на протяжении 72 ч. Последующее высушивание осуществляли в лиофильной сушилке ЛС-500 («Проинтех», РФ), включающей сублиматор и вакуумную станцию. Среднее рабочее давление в камере

высушивания достигало 80,5 Па, температура конденсатора составляла -49,0 °С, нагревание образцов вешенки за весь процесс высушивания не превышало +30 °С.

Обезвоживание грибов осуществляли до остаточной влажности 6–8%. При этом продолжительность высушивания суховоздушным способом составила 16 ч, а общая длительность цикла сублимации насчитывала 26 ч.

Количество влаги в свежих и высушенных образцах вешенки измеряли с помощью анализатора влагосодержания MB 25 («Ohaus», Китай) при выбранной опции автоматического измерения с температурой нагрева до +75 °С и временем измерения 5 мин.

Готовые образцы сухой вешенки помещали в сухую, герметично закрываемую тару и хранили на протяжении эксперимента при температуре не выше +25 °С.

Для характеристики пищевых качеств сухой вешенки оценивали цвет, морфологическую структуру, регидратационную способность, содержание общего количества жиров, водорастворимых белков, полисахаридов, свободных аминокислот и глюкозы.

Исследование гиполипидемического потенциала высушенных грибов включало измерение концентрации ловастатина и определение уровня антиоксидантной активности.

Для характеристики цвета сушеных образцов грибов изучали экстинкцию водно-спиртовых вытяжек при длине волны от 285 до 400 нм, с определением спектра, наиболее наглядно характеризующего окраску сухой вешенки [14].

Микроструктурную оценку высушенных образцов вешенки проводили с помощью гистологического метода. Для этого образцы вешенки заключали в парафиновые блоки с использованием медицинского парафина Histomix («Biovitrum», РФ). Гистологические срезы толщиной 6–7 мкм производили на санном микротоме MC-2 («АТМ-практика», РФ) и окрашивали метиленовым синим.

Оценку микропрепаратов вешенки проводили с использованием лабораторного микроскопа Axio Imager 2 (A2) («Carl Zeiss Microscopy», Германия) при увеличении 400 с фиксацией изображений с помощью специализированной фотокамеры AxioCam MRc5 («Carl Zeiss Microscopy», Германия) и программного обеспечения Zena 2012 Pro.

Объемные структурные свойства образцов вешенки оценивали новейшим методом рентгеновской микротомографии с использованием компьютерного микротомографа SkyScan 1176 («Bruker», Бельгия) при следующих параметрах сканирования: ускоряющее напряжение источника рентгеновского излучения 40 кВ, ток источника рентгеновского излучения 600 мкА, фильтр не применяется, размер пикселя 8,77 мкм, томографическое вращение 180°, шаг съемки 0,3°.

Морфологический 3D-анализ образцов вешенки осуществляли с помощью программного обеспечения CTAn (версия 1.13.11.0, Bruker microCT, Бельгия).

С целью определения регидратационной способности высушенные образцы грибов взвешивали на прецизионных весах ML203E (Mettler Toledo, Китай) и погру-

жали в дистиллированную воду (1:50) при температуре +60 °С. С периодичностью 5 мин кусочки грибов извлекали и взвешивали, предварительно удаляя излишки воды с помощью фильтровальной бумаги. После того как образцы достигали постоянной конечной массы, рассчитывали их регидратационную способность как отношения массы влажного образца к массе обезвоженного [15].

Измерение количества *общих жиров* в образцах вешенки проводили гравиметрическим методом, основанным на извлечении липидов алкогольно-эфирной смесью Бюра [16], определение массовой доли *белка* осуществляли биуретовым методом [17]. Уровень *свободных аминокислот* измеряли по модифицированной методике, основанной на реакции с нингидрином в пересчете на аспарагин [18]. Определение общего количества *полисахаридов* в грибах проводили по модифицированной методике в пересчете на глюкозу [19]. Уровень моносахаридов в грибах характеризовали по содержанию свободной глюкозы посредством глюкозо-оксидазного метода [20].

Концентрацию *ловастати́на* в образцах вешенки оценивали гидроксамовым способом после предварительной экстракции ловастати́на хлороформом и его концентрирования [21, 22]. Для этого навески измельченных грибов в количестве 0,1–0,2 г в пересчете на сухое сырье экстрагировали 5,0–10,0 см³ хлороформа и фильтровали. Фильтрат упаривали с помощью роторного вакуумного испарителя RV 10 Basic V (IKA, Германия). К его остатку приливали 1,0 см³ 0,9 М спиртового щелочного раствора гидроксилamina, 5,0 см³ 5,73 мМ раствора хлорнокислого железа (III) и после доведения до pH 1,2±0,2 2 М раствором соляной кислоты проводили измерение экстинкции образовавшегося пурпурного раствора на спектрофотометре СФ-102 (ИФФ, РФ) при длине волны λ=513 нм. Расчет проводился по калибровочной кривой.

Для оценки *антиоксидантной активности* измельченный до однородного состояния материал вешенки экстрагировали бидистиллированной водой при температуре +50–60 °С в течение 3 ч с последующей фильтрацией [23]. Определение антиоксидантной активности экстракта проводилось *in vitro* с использованием тест-системы «ОксиСтат» (Институт биоорганической химии НАН, Беларусь), принцип которой состоит в одноступенчатой оценке степени восстановления антиоксидантами предварительно сформированного радикала АБТС^{•+} [2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолин-6-сульфоновая кислота)], что описано следующей схемой [24]: АБТС^{•+} + АО → АБТС + АО^{•+}.

При взаимодействии антиоксидантов с АБТС^{•+} наблюдается уменьшение экстинкции раствора катион-радикала в диапазоне длин волн 600–800 нм пропорционально концентрации и активности антиоксиданта. Измерение экстинкции проводили на спектрофотометре с использованием кювет с длиной оптического пути 1 см.

Количественную оценку общей антиоксидантной активности производили расчетным путем относительно стандартного антиоксиданта тролокс – водорастворимого аналога витамина Е, по следующим формулам:

$$1) \% \text{ ингибирования} = 100 \times (1 - \Delta A_o / \Delta A_k);$$

$$2) AA = [C_{ст}] / \% \text{ ингибирования стандарта} \times \% \text{ ингибирования пробы, где}$$

AA – антиоксидантная активность,

ΔA_o – экстинкция опытной пробы,

ΔA_k – экстинкция контрольной пробы (буфер),

C_{ст} – концентрация стандарта (тролокс).

Содержание и активность веществ выражали в пересчете на абсолютное сухое вещество сырья. Определение всех количественных параметров проводили в трехкратной аналитической повторности. Полученные результаты фиксировали в виде среднего значения ± стандартное отклонение (*M±m*) и подвергали статистической обработке с использованием критерия однофакторного дисперсионного анализа и программы Biostat (версия 4.03). О достоверности различий величин исследуемых показателей судили при *p*≤0,05.

Результаты и обсуждение

Цветность выступает одним из показателей качества готового продукта, изменение которого при высушивании может вызываться деградацией пигментов и ферментативным потемнением [25].

Результаты анализа цветности водно-спиртовых вытяжек сухих грибов вешенки показали, что экстинкция экстрактов при длине волны 295 нм наиболее наглядно характеризует окраску высушенной вешенки (табл. 1).

Визуально по цвету полученные сублимационным способом сухие образцы вешенки оказались более близки к свежим грибам. Интенсивность окраски экстрактов сублиматов была значительно ниже, чем грибов, высушенных суховоздушным способом. Это может объясняться низким содержанием кислорода в вакуумной камере лиофильной сушилки и, как следствие, менее интенсивным протеканием ферментативных реакций,

Таблица 1. Экстинкция водно-спиртовых экстрактов высушенных плодовых тел вешенки

Способ высушивания	Длина волны, нм					
	285	290	295	300	350	400
Без обработки	0,378	0,460	0,586	0,361	0,165	0,101
Сублимационная сушка	0,137	0,729	0,850	0,757	0,311	0,129
Суховоздушная сушка	0,171	0,825	1,613	1,600	0,702	0,303

которые являются основной причиной изменения цвета сухих грибов [26]. Более темная окраска образцов сухой вешенки, полученных суховоздушным способом, может также происходить и за счет реакции Майяра, протекающей между аминокислотами и сахарами при нагревании, дающей коричневый цвет [27].

Условия высушивания влияют на морфологию и микроструктуру продукта, и ее сохранение выступает важной задачей в процессе сушки, так как от ее целостности зависит ряд показателей качества [28, 29]. Происходящие микроструктурные перестройки могут оказывать влияние на процесс тепло- и массопереноса и, как следствие, приводить к биохимическим изменениям, а также влиять на степень высвобождения соединений из пищевой матрицы [30]. Поэтому для более полного представления о влиянии выбранных способов сушки на свойства вешенки проводили морфологическое изучение ее сухих образцов.

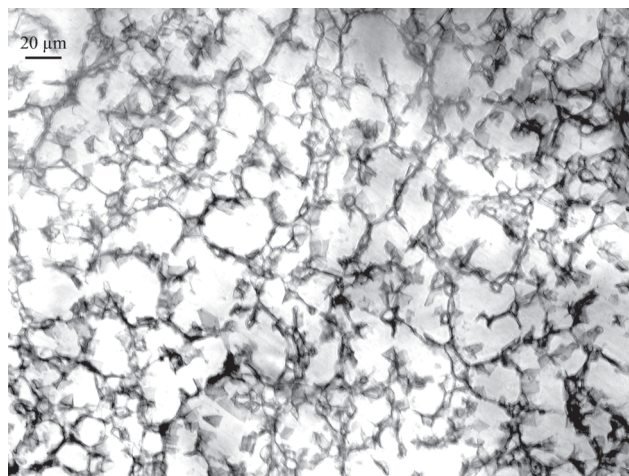
Согласно полученным гистологическим данным условия суховоздушной и сублимационной сушки неодинаково отразились на микроструктуре вешенки (рис. 1). По микропрепаратам установлено, что при суховоздушной сушке происходит сильное разрушение клеточной структуры гриба (рис. 1, Б). Для этих образцов характерно наличие корочки подсыхания и формирование плотной слоистой структуры, причиной чего может выступать неравномерное во времени удаление влаги – быстрое на начальном этапе и медленное при последующем высушивании [31].

Наблюдающаяся усадка может объясняться и термической деструкцией структурных компонентов за счет солюбилизации полимеров клеточной стенки, как это часто наблюдается при термической сушке фруктов [32].

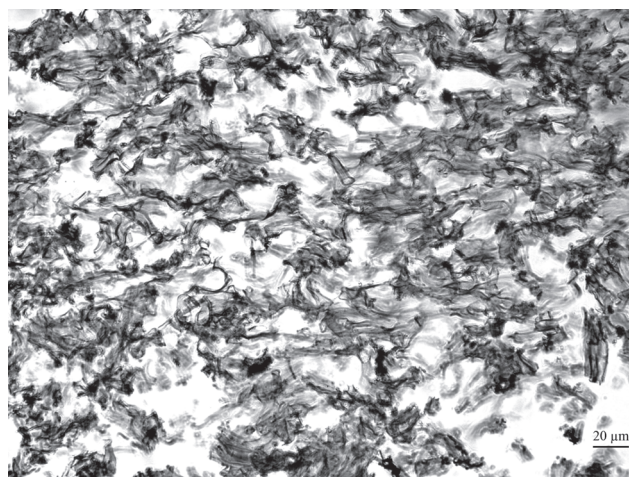
На микрофотографиях видны слипания волокон и конгломераты. Встречаются многочисленные разрывы клеточных стенок и образование микрополостей, происходящие, по ряду мнений [33, 34], вследствие возможного в процессе высушивания развития усадочного напряжения, возникающего в результате неравномерного распределения полей влагосодержания и температуры внутри продукта.

Образцы вешенки, высушенные сублимационным способом, обладали меньшей степенью деформированности (рис. 1, В). В структуре тканей сублиматов, как и свежих образцов, выделяются клеточные стенки, характеризующиеся упорядоченной структурой и размером клеток, варьирующих в пределах 15–30 мкм. Лиофилизация вешенки сопровождалась гораздо меньшей усадкой тканей грибов. Это, вероятно, связано с предварительной заморозкой, которая обеспечивает структурную жесткость замороженного продукта и тем самым предотвращает распад твердой матрицы гриба, сохраняя ее структуру. Вместе с тем в сублиматах вешенки, так же как и в образцах, высушенных суховоздушным способом, по сравнению со свежими образцами отмечалось образование микрополостей и трещин, возможно, вызываемое разрушением клеточных стенок кристаллами льда в процессе замораживания.

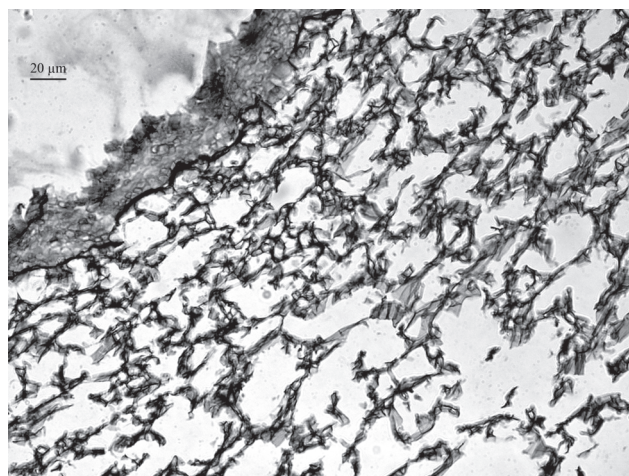
Не менее важными структурными перестройками, которые могут происходить во время процесса дегидратации и непосредственно влиять на свойства конечного продукта, являются уменьшение объема и изменение пористости [35–37]. Гистологический метод недоста-



А

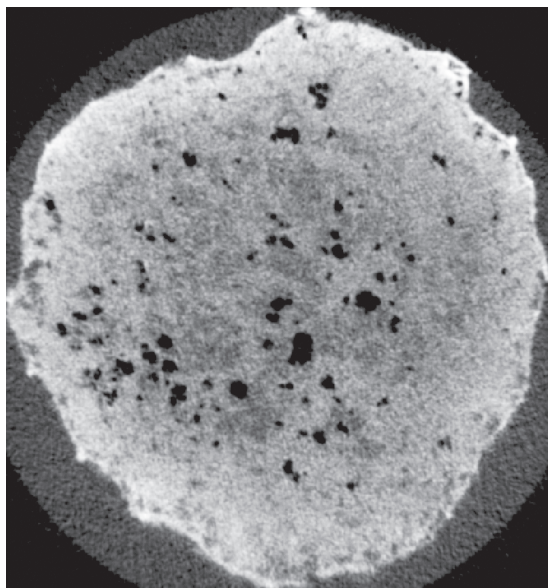


Б

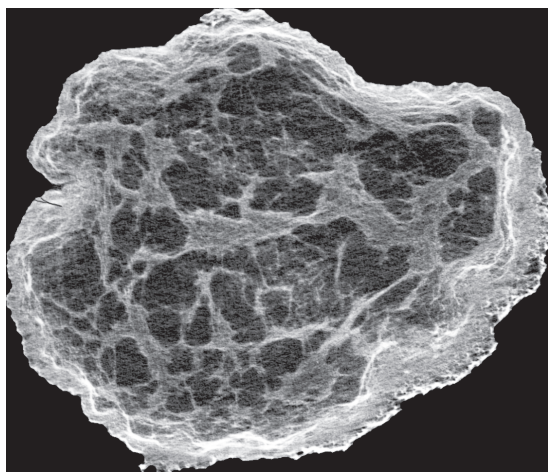


В

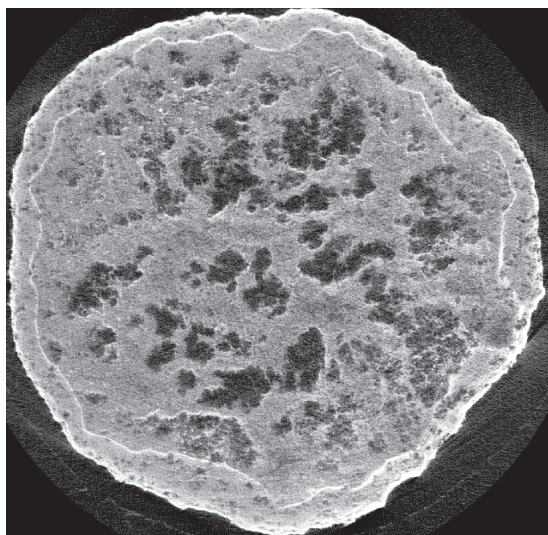
Рис. 1. Микроструктура вешенки свежей (А), после суховоздушной (Б) и сублимационной сушки (В), $\times 400$



А



Б



В

Рис. 2. Микротомографическое изображение распределения пор в образцах вешенки свежей (А), высушенной суховоздушным (Б) и сублимационным (В) способом

точно информативен для полноценной характеристики этих параметров. Поэтому для описания реальных величин пористости образцов вешенки использовали метод компьютерной микротомографии, позволяющий без разрушения материала сканировать образец рентгеновским излучением в разных плоскостях и производить последующую обработку снимков для получения трехмерной модели внешнего и внутреннего строения и автоматический расчет параметров.

Полученные с помощью рентгеновского микротомографа и программного обеспечения СТАп изображения, отражающие влияние условий сушки на состояние пористости высушенных образцов, представлены на рис. 2.

При сублимационной сушке частицы грибов в большей степени сохраняли свой первоначальный объем. Уменьшение его величин для сублиматов вешенки в среднем составило 10,3 против 46,4% у образцов высушенных суховоздушным способом.

Лиофильно высушенные грибы имели рыхлую структуру (рис. 2, В), характеризовались равномерным объемным распределением небольших пор, размеры и общее количество которых почти вдвое превышало таковые в свежей вешенке. Образцы, полученные суховоздушным способом, имели в своей структуре крупные каверны (рис. 2, Б).

Результаты количественной микротомографической оценки пористости высушенных плодовых тел вешенки представлены в табл. 2.

Структура разных образцов высушенной вешенки характеризовалась значимыми различиями в обеих системах пористости: открытой и закрытой. Столь отличающиеся параметры позволяют говорить о разных причинах возникновения пористости. Открытые поры, доля которых значительно преобладала в высушенных грибах по сравнению со свежими, явно являются дефектом сушки и выступают так называемой вторичной технологической пористостью. При этом максимальное количество открытых пор было зарегистрировано в сухих образцах, полученных суховоздушным способом.

Количество закрытых пор в сублиматах вешенки статистически не отличалось от такового в свежих образцах и почти вдвое превышало их представительство в частицах грибов, высушенных суховоздушным способом. Данная система пор, вероятно, напротив, имеет природное происхождение, а потому может характеризоваться как первичная и наиболее отражать значение истинной пористости.

Гистологически и рентгенологически зарегистрированные структурные различия образцов сухой вешенки сочетались с неодинаковой их гидратационной способностью, которая выступает своего рода мерой структурного повреждения продукта во время сушки. Выявленные у грибов, высушенных суховоздушным способом, структурный коллапс и наличие корочки подсыхания, которая может закрывать капиллярные ходы, подтверждались меньшей регидратационной способностью этих образцов.

Таблица 2. Характеристика 3D морфологических параметров свежих и высушенных плодовых тел вешенки

Способ высушивания	Доля закрытых пор, %	Доля открытых пор, %	Общая пористость, %
Без обработки	1,72±0,04	6,39±0,16	8,28±0,18
Суховоздушная сушка	0,99±0,01*	29,41±0,52*	30,10±1,15*
Сублимационная сушка	1,75±0,02 ^Δ	11,10±0,41* ^Δ	12,65±0,61* ^Δ

Примечание. Здесь и в табл. 3: * – статистически значимые отличия ($p \leq 0,05$) от показателя свежего образца; ^Δ – статистически значимые отличия ($p \leq 0,05$) от показателя образца, полученного суховоздушным способом.

Таблица 3. Некоторые показатели пищевой ценности свежих и высушенных плодовых тел вешенки ($M \pm m$)

Способ высушивания	Содержание (на массу сухого вещества), %				
	жиры	растворимый белок	свободные аминокислоты	полисахариды	глюкоза
Без обработки	3,41±0,08	7,10±0,18	0,51±0,01	28,70±0,71	0,127±0,004
Суховоздушная сушка	3,39±0,05	21,47±0,58*	11,60±0,31*	14,58±0,58*	0,175±0,006*
Сублимационная сушка	3,47±0,06	32,60±0,54* ^Δ	7,0±0,28* ^Δ	22,75±0,56* ^Δ	0,144±0,006 ^Δ

Расчетный показатель регидратации для вешенки, высушенной методом сублимации, составил $5,4 \pm 0,1$, против $3,2 \pm 0,1$ для образцов, полученных суховоздушным способом. Время максимального влагопоглощения, определяемое при температуре воды $+60^\circ\text{C}$, составило соответственно $22,7 \pm 1,8$ и $45,3 \pm 2,9$ мин.

Это показывает, что условия сублимационной сушки по сравнению с суховоздушной увеличивают коэффициент и скорость водопоглощения сухой вешенки и могут обеспечивать значительное сокращение времени ее кулинарной обработки, облегчать включение в качестве пищевых ингредиентов и повышать эффективность экстракции биологически активных веществ при получении компонентов для функциональных пищевых продуктов [38].

Данные по влиянию способов сушки на показатели пищевой ценности образцов сухой вешенки, полученных разными способами дегидратации, приведены в табл. 3.

Оба способа сушки вешенки позволяют получить образцы сухих грибов с одинаковым содержанием общих липидов. При этом количество водорастворимых белков в сухой вешенке, полученной суховоздушным способом, превышало в 3 раза таковое в свежих грибах. Это, вероятно, объясняется тем, что термическая обработка вызывает деградацию большинства белков, стабилизированных слабыми связями и, как следствие, приводит к увеличению их растворимости и диффузии в раствор [39].

Вместе с тем, несмотря на меньшую температуру лиофильного высушивания, количество экстрагируемого белка из сублиматов вешенки почти 4,5 раза превышало его в экстрактах необработанных грибов и в 1,5 раза оказалось выше, чем в экстрактах грибов, высушенных суховоздушным способом. Это подтверждает ранее полученные данные [40] и объясняется изменением свойств клеточных стенок грибов при замораживании и последующей дегидратацией в вакууме, способствующих лучшему высвобождению белковых веществ. Также это может быть связано с большей активнос-

тью воды при суховоздушном способе обезвоживания грибов и, как следствие, с более интенсивно происходящими ферментативными процессами автогидролиза белков, что подтверждается достоверно значимым преобладанием на 65,7% концентрации свободных аминокислот в этих образцах вешенки по сравнению с сублиматами.

Содержание полисахаридов в грибах, высушенных суховоздушным и сублимационным способами, по сравнению со свежими образцами оказалось меньше на 49,2 и 20,7% соответственно, что подтверждает сведения о снижении полисахаридного компонента в биологических объектах при дегидратации, особенно длительной [41]. Значительная разница в количестве полисахаридов между образцами сухих грибов в пользу сублиматов может обуславливаться как более высокой температурой суховоздушного высушивания, приводящей к процессам карамелизации и реакциям меланоидинообразования [42, 43], так и меньшей активностью воды при лиофилизации и, как следствие, снижением скорости ферментативных реакций, приводящих к перевodu сложных высокомолекулярных полисахаридов в простые [44, 45]. Это логически подтверждается выявленным достоверно меньшим количеством моно- и дисахаридов в лиофильно высушенной вешенке по сравнению с образцами, полученными суховоздушным способом. Разница между данными значениями в пересчете на свободную глюкозу составила 22%.

Таким образом, сопоставляя полученные результаты, можно говорить о том, что способ сублимационного высушивания в большей степени обеспечивает сохранение белкового и полисахаридного компонентов вешенки, которые обеспечивают ее высокую биологическую активность [46, 47]. Более выраженные реакции автогидролиза, происходящие в грибах в процессе суховоздушного высушивания, характеризуют данный способ сушки как более эффективный в плане обеспечения доступности и повышения усвояемости содержащихся в плодовых телах вешенки трудноперевариваемых белков и полисахаридов.

Одними из основных показателей, определяющих гиполлипидемический потенциал вешенки, являются концентрация ловастатина и уровень антиоксидантной активности [48, 49]. Ловастатин – это природный статин, содержащийся как в мицелии, так и в плодовых телах вешенки, гиполлипидемическое действие которого основано на снижении выработки эндогенного холестерина в организме [50].

Полученные результаты количественной оценки содержания ловастатина в грибах показывают, что условия применяемых способов сушки не одинаково отразились на его сохранности. Содержание ловастатина в образцах свежей вешенки составило $348 \pm 8,7$ мг/кг, что согласуется с данными литературы [50, 51] для плодовых тел вешенки (*Pleurotus ostreatus*). Концентрация ловастатина в сублиматах не имела существенных отличий от таковой в необработанных образцах, составила $342 \pm 9,0$ мг/кг и достоверно в 1,8 раза превышала ее значение в образцах, полученных суховоздушным способом ($190 \pm 6,0$ мг/кг). Такая статистически значимая разница свидетельствует о том, что ловастатин, содержащийся в вешенке, подвергается деградации или химическим превращениям в процессе суховоздушной сушки и позволяет считать сочетания температуры, не превышающей 30 °C, и вакуума сублимации оптимальными условиями в плане обеспечения его высокой сохранности.

Антиоксидантные свойства препятствуют накоплению липоперекисей, являющихся фактором патогенеза гиперлипидемий [52]. Применение порошка высушенной вешенки в качестве диетической добавки в количестве 30 г в сутки сопровождается гиполлипидемическим эффектом за счет способности поглощать радикалы кислорода и ингибировать циклооксигеназу [53]. Данная активность вешенки обеспечивается целым комплексом входящих в ее состав веществ: фенольные соединения, полисахариды, токоферолы и стеролы [54–56]. В связи с чем в настоящем исследовании была проведена оценка суммарной антиоксидантной активности сухих грибов.

Согласно полученным данным, применяемые способы сушки оказали отрицательное влияние на антиоксидантную способность плодовых тел вешенки, что согласуется с рядом исследований [57, 58]. Измеренная *in vitro* величина антиоксидантной активности свежих грибов составила $4,10 \pm 0,04$ ммоль/100 г. Для вешенки, высушенной суховоздушным и сублимационным способами, этот показатель оказался статистически значимо ниже и насчитывал соответственно $2,0 \pm 0,03$ и $3,83 \pm 0,02$ ммоль/100 г. По мнению некоторых авторов [41], это может быть обусловлено вызванными нагреванием

процессами деструкции термолабильных веществ, отвечающих за антиоксидантную активность, в частности полисахаридов, что подтверждается результатами, приведенными выше, а также, согласно экспериментальным сведениям [55, 57], может быть связано с ферментативной деградацией антиоксидантных соединений при использовании длительных низкотемпературных способов высушивания. При этом величина антиоксидантной активности грибов, высушенных суховоздушным способом, почти вдвое оказалась меньше по сравнению с таковой лиофилизированных образцов, что позволяет характеризовать условия сублимационной сушки более щадящими по сравнению с суховоздушной в плане сохранения биологически активных веществ, обеспечивающих антиоксидантные свойства плодовых тел вешенки.

Заключение

Проведен анализ некоторых пищевых свойств и гиполлипидемического потенциала сухой вешенки, полученной двумя способами: сублимационным и суховоздушным. Выявлено, что сублимационный способ высушивания по сравнению с суховоздушным в большей степени позволяет сохранять цвет, клеточную целостность, пористость, размер и форму грибов, а также повышает регидратационную способность.

Доказано, что сублимация способствует сохранению биологически активных белкового и полисахаридного компонентов вешенки, а условия суховоздушной сушки, напротив, за счет более выраженных реакций автогидролиза могут обеспечивать доступность и легкую усвояемость сухих грибов.

Установлено, что для вешенки как биологически активного сырья для получения функциональных пищевых продуктов липидкорректирующей направленности выбор условий дегидратации как способа переработки имеет принципиальное значение. Содержание природного статина (ловастатин) и уровень суммарной антиоксидантной активности, обеспечивающие гиполлипидемический потенциал вешенки, максимально сохраняются при использовании сублимационной сушки.

Полученные результаты расширяют сведения об эффективных способах высушивания грибного сырья и могут учитываться при разработке новых функциональных пищевых продуктов на основе плодовых тел вешенки.

Исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения базовой части государственного задания (2014/216).

Сведения об авторах

Писков Сергей Иванович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Ставрополь)
E-mail: piskovsi77@mail.ru

Тимченко Людмила Дмитриевна – доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая межкафедральной научно-образовательной лабораторией экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Ставрополь)

E-mail: l_timchenko@mail.ru

Ржепаковский Игорь Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Ставрополь)

E-mail: 78igor@mail.ru

Аванесян Светлана Суреновна – старший научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Ставрополь)

E-mail: s.avanesan@yandex.ru

Сизоненко Марина Николаевна – научный сотрудник межкафедральной научно-образовательной лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Института живых систем ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (Ставрополь)

E-mail: risha_veresk@mail.ru

Арешидзе Давид Александрович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией экспериментальной биологии и биотехнологии ГОУ ВО Московской области «Московский государственный областной университет» (Москва)

E-mail: nihilist78@mail.ru

Ковалев Дмитрий Анатольевич – кандидат химических наук, заместитель директора по развитию и инновациям, заведующий лабораторией биохимии ФКУЗ «Ставропольский противочумный институт» Роспотребнадзора

E-mail: alcheem@mail.ru

Литература

1. Tur J.A., Bibiloni M.M. Functional Foods // Encyclopedia of Food and Health. Elsevier, 2016. P. 157–161.
2. Москаленко И.В., Кумов А.Д. Функциональное питание в комплексной программе кардиореабилитации // Медицина и образование в Сибири. 2013. № 6. URL: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1193.
3. Павлова Г.В., Ботникова Е.А., Бывальцева В.А. Функциональные продукты в питании человека: перспективы и рекомендации по использованию // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. № 10. С. 167–173.
4. Pastrana L., Gonzalez R., Estevez N. et al. Functional foods // Food and Beverages Industry. Elsevier, 2017. P. 165–200. doi: 10.1016/B978-0-444-63666-9.00007-8.
5. Анчева И.А. Функциональное питание при беременности // Вопр. питания. 2016. № 4. С. 22–29.
6. Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Карпенко Е.В. и др. Влияние нового низкохолестеринового мясорастительного продукта на коррекцию моделированных нарушений липидного обмена у крыс // Вопр. питания. 2015. № 1. С. 80–88.
7. Родионова Н.С., Исаев В.А., Вишняков А.Б. и др. Влияние масла и муки из жмыха зародышей пшеницы на показатели липидного обмена студентов и преподавателей вуза // Вопр. питания. 2016. № 6. С. 57–63.
8. Suhaila Mohamed. Functional foods against metabolic syndrome (obesity, diabetes, hypertension and dyslipidemia) and cardiovascular disease // Trends Food Sci. Technol. 2014. Vol. 35, N 2. P. 114–128. doi: 10.1016/j.tifs.2013.11.001.
9. Щерба В.В., Паромчик И.И., Пучкова Т.А. и др. Грибы рода вешенка – ингредиенты новых физиологически функциональных пищевых продуктов // Успехи медицинской микологии / под общ. науч. ред. Ю.В. Сергеева. М., 2008. Т. IX. С. 271–272.
10. Герасименя В.П., Гумаргалиева К.З., Захаров С.В. Экстракты базидиальных грибов и их полифункциональная медико биологическая активность // под ред. В.П. Герасимени, В.Ю. Полякова. М.: Институт химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, ООО «Инбиофарм», 2014. 128 с.
11. Zhang Y., Hu T., Zhou H. et al. Antidiabetic effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* in streptozotocin-induced diabetic rats // Int. J. Biol. Macromol. 2016. Vol. 83. P. 126–132. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.045.
12. Karam M.C., Petit J., Zimmer D. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: a review // J. Food Eng. 2016. Vol. 188. P. 32–49.
13. Закутнова В.И., Левченко А.В., Закутнова Е.Б. Химический состав шляпок и ножек различных видов съедобных грибов долины Нижней Волги // Астрахан. вестн. экологического образования. 2015. № 1 (31). С. 72–75.
14. Жук Ю.Т. Консервирование и хранение грибов (биохимические основы). М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 249 с.
15. Jiang H., Zhang M., Mujumdar A.S. Microwave freeze-drying characteristics of banana chips // Drying Technol. 2010. Vol. 28, N 12. P. 1377–1384.
16. Васильева Е.А. Клиническая биохимия сельскохозяйственных животных. М.: Россельхозиздат, 1974. 192 с.
17. Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У. и др. Справочник биохимика. М.: Мир, 1991. С. 464–465.
18. Симонян А.В., Саламатов А.А., Покровская Ю.С. и др. Использование нингидриновой реакции для количественного определения α -аминокислот в различных объектах: методические рекомендации. Волгоград, 2007. 106 с.
19. Патент № 2480746 РФ. Способ количественного определения полисахаридов в траве видов рода фиалка / А.М. Мартынов, Т.Д. Даргаева. Опубл. 27.04.2013. Бюл. № 12.
20. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. и др. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Л.: Колос, 1972. 456 с.
21. Аванесян С.С., Тимченко Л.Д., Писков С.И. и др. Разработка методики количественного определения ловастатинов в плодоте теле вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) // Физико-химическая биология: материалы III международной научной Интернет-конференции. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2015. С. 32–35.
22. Аванесян С.С., Тимченко Л.Д., Писков С.И. и др. Определение ловастатинов методом тонкослойной хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15, № 5. С. 693–698.

23. Каниболоцкая Л.В., Федосеева А.А., Одарюк И.Д. и др. Антиоксидантная активность плодовых тел ряда съедобных грибов // Проблемы харчування, 2008. № 3–4. С. 35–38.
24. Орешко Н.А., Киселев П.А., Юрага Т.М. и др. Разработка тест-систем и определение антирадикальной активности биологических жидкостей и фармацевтических субстанций природного и синтетического происхождения // Свободные радикалы в химии и жизни : сборник тезисов докладов Международной конференции. Минск, 2015. С. 122–124.
25. Rudy S., Dziki D. et al. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) // LWT Food Sci. Technol. 2015. Vol. 63, N 1. P. 497–503. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.067.
26. Yuting Tian, Yingting Zhao, Jijun Huang et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms // Food Chem. 2016. Vol. 197, pt A. P. 714–722.
27. Izli N., Isik E. Effect of different drying methods on drying characteristics, color and microstructure properties of mushroom // J. Food Nutr. Res. 2014. Vol. 53, N 2. P. 105–116.
28. Koc B., Eren I., Kaymak Ertekin F. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying method // J. Food Eng. 2008. Vol. 85. P. 340–349.
29. Xiaoyu Li, Lu Wang, Yan Wang et al. Effect of drying method on physicochemical properties and antioxidant activities of *Hohenbuehelia serotina* polysaccharides // Process Biochem. 2016. Vol. 51, N 8. P. 1100–1108.
30. Niamnuy C., Devahastin S., Soponronnarit S. Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: a review // J. Food Eng. 2014. Vol. 123. P. 148–156.
31. Бочаров В.А., Назарова Н.Е., Зуева О.Н. Исследование некоторых способов сушки культивируемых грибов // Вестн. Мичурин. гос. аграр. ун-та. 2016. № 1. С. 89–93.
32. Sette P., Salvatori D., Schebor C. Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air- and freeze-drying // Food Bioproducts Processing. 2016. Vol. 100, pt A. P. 156–171. doi: 10.1016/j.fbp.2016.06.018.
33. Остриков А.Н., Шевцов С.А. Исследование усадки при сушке грибов подогретым паром // Изв. вузов. Пищевая технология. 2004. № 4. С. 62–63.
34. Wang H.-C., Zhang M., Adhikari B. Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation // Food Bioproducts Processing. 2015. Vol. 94. P. 507–517.
35. van Dalen G. A study of bubbles in foods by X-Ray microtomography and image analysis // Microsc. Anal. 2012. Vol. 26, N 2. P. S8–S12.
36. Цапалова И. Э., Бакайтис В. И., Кутафьева Н. П. и др. Экспертиза грибов. Качество и безопасность : учебно-справочное пособие / под ред. В.М. Позняковского. Новосибирск : Изд-во Новосибирского ун-та, 2002. 256 с.
37. Kurozawa L.E., Hubinger M.D., Kil J.P. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying // J. Food Eng. 2012. Vol. 108. P. 43–50. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.07.033.
38. Верещагин А.Л., Щеглова И.В. Сушка грибов в нестационарных условиях // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 1. С. 71–72.
39. Dehnad D., Jafari S.M., Afrasiabi M. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques // Trends Food Sci. Technol. 2016. Vol. 57, pt A. P. 116–131. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.002.
40. Arumuganathan T., Manikantan M.R., Indurani C. et al. Texture and quality parameters of oyster mushroom as influenced by drying methods // Int. Agrophys. 2010. Vol. 24. P. 339–342.
41. Hassan S.W., Umar R.A., Maishanu H.M. et al. The effect of drying method on the nutrients and non-nutrients composition of leaves of *Gynandropsis gynandra* (Capparaceae) // Asian J. Biochem. 2007. Vol. 2. P. 349–353. doi: 10.3923/ajb.2007.349.353.
42. Залетова Т.В., Терехов М.Б. Динамика изменения содержания сахаров и витамина С в сухих яблоках без проведения и после проведения предварительной очистки сырья // Вестн. Мичуринского ГАУ. 2012. № 2. С. 128–130.
43. Wang H., Zhang M., Mujumdar A.S. Comparison of three new frying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) // Drying Technol. 2014. Vol. 32, N 15. P. 1791–1802.
44. Щеглова И.В., Верещагин А.Л. Применение метода взрывного автогидролиза для повышения усвояемости грибов вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств : материалы Десятой международной научно-практической конференции / под ред. В.П. Коцюбы. Барнаул : Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 2007. С. 91–92.
45. Щеглова И.В., Верещагин А.Л., Бычин Н.В. Влияние способа сушки на морфологию грибов // Сборник докладов I межведомственной научно-практической конференции «Товароведение, экспертиза и технология продовольственных товаров». М. : Изд. комплекс МГУПП, 2008. С. 49–52.
46. Piska K., Sulkowska-Ziaja K., Muszynska B. Edible mushroom *pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) – its dietary significance and biological activity // Acta Sci. Pol. Hortoru. 2017. Vol. 16, N 1. P. 151–161.
47. Correa R.C.G., Brugnari T., Bracht A. et al. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: a review on the past decade findings // Trends Food Sci. Technol. 2016. Vol. 50. P. 103–117. doi: 10.1016/j.scienta.2013.06.026.
48. dos Santos L.F., Zanatta A.L., Soccol V.T. et al. Hypolipidemic and antiatherosclerotic potential of *Pleurotus ostreatus*, at by submerged fermentation in the high-fat diet fed rats // Biotechnol. Bioproc. Eng. 2013. Vol. 18. P. 201–208. doi: 10.1007/s12257-012-0561-9.
49. Lindequist U., Niedermeyer T.H., Julich W.D. The pharmacological potential of mushrooms // Evid. Based Complement. Alternat. Med. 2005. Vol. 2. P. 285–299. doi: 10.1093/ecam/neh107.
50. Chen S.Y., Ho K.J., Hsieh Y.H. et al. Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia // LWT Food Sci. Technol. 2012. Vol. 47. P. 274–278.
51. Gunde-Cimerman N., Cimerman A. *Pleurotus* fruiting bodies contain the inhibitor of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase-lovastatin // Exp. Mycol. 1995. Vol. 19, N 1. P. 1–6. doi: 10.1006/emyc.1995.1001.
52. Иванова И.Л., Янькова В.И., Кнышова В.В. и др. Возможности коррекции гиперлипидемий природными антиоксидантами // Бюл. физиологии и патологии дыхания. 2000. № 6. С. 22–28.
53. Schneider I., Kressel G., Meyer A. et al. Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans // J. Funct. Foods. 2011. Vol. 3, N 1. P. 17–24. doi: 10.1016/j.jff.2010.11.004.
54. Fontes Vieira P.A., Gontijo D.C., Vieira B.C. et al. Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium // LWT Food Sci. Technol. 2013. Vol. 54, N 2. P. 421–425.
55. Heleno S.A., Ferreira R.C., Antonio A.L. et al. Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland // Food Biosci. 2015. Vol. 11. P. 48–55.
56. Radzki W., Ziaja-Soltys M., Nowak J. et al. Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* mushroom // LWT Food Sci. Technol. 2016. Vol. 66. P. 27–33.
57. Duan J.-L., Xu J.-G. Effects of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of Shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) // Agric. Food Sci. Res. 2015. Vol. 2, N 2. P. 51–55. http://www.asianonlinejournals.com/index.php/AESR/
58. Kim Min-Jung, Chu Won-Mi, Park Eun-Ju. Antioxidant and antigenotoxic effects of Shiitake mushrooms affected by different drying methods // J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 2012. Vol. 41, N 8. P. 1041–1048. doi: 10.3746/jkfn.2012.41.8.104.

References

1. Tur J.A., Bibiloni M.M. Functional foods. In: Encyclopedia of Food and Health. Elsevier, 2016: 157–61.
2. Moskalenko I.V., Kuimov A.D. Functional food in a comprehensive program cardiorehabilitation. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri* [Medicine and Education in Siberia]. 2013; (6). URL: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=1193. (in Russian)
3. Pavlova G.V., Botnikova E.A., Byvaltseva V.A. Functional foods in the human diet: perspectives and recommendations on the use of. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy jurnal «Kontsept»* [Periodic scientific and methodological e-journal «Koncept»]. 2016; (10): 167–73. (in Russian)
4. Pastrana L., Gonzalez R., Estevez N., et al. Functional foods. In: Food and Beverages Industry. Elsevier, 2017: 165–200. doi: 10.1016/B978-0-444-63666-9.00007-8.
5. Ancheva I.A. Functional food during pregnancy. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2016; (4): 22–9. (in Russian)
6. Gorlov I.F., Slojenkina M.I., Karpenko E.V., et al. The impact of the new low-cholesterol meat and plant product to correct the simulated disturbances of lipid metabolism in rats. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2015; (1): 80–8. (in Russian)
7. Rodionova N.S., Isaev V.A., Vishnyakov A.B., et al. Impact of oil and flour from wheat germ meal on lipid exchange of students and university teachers. *Voprosy pitaniia* [Problems of Nutrition]. 2016; (6): 57–63. (in Russian)
8. Suhaila Mohamed. Functional foods against metabolic syndrome (obesity, diabetes, hypertension and dyslipidemia) and cardiovascular disease. *Trends Food Sci Technol*. 2014; 35 (2): 114–28. doi: 10.1016/j.tifs.2013.11.001.
9. Scherba V.V., Paromchik I.I., Puchkova T.A., et al. Fungi of the genus oyster mushroom – new ingredients physiologically functional foods. In: Yu.V. Sergeev (ed.). *Advances in medical mycology*. Moscow, 2008; IX: 271–2. (in Russian)
10. Gerasimenya V.P., Gumargalieva K.Z., Zaharov S.V. Extracts of basidiomycetes and multifunctional medical biological activity. In: V.P. Gerasimen', V.Yu. Polyakov (eds). Moscow: Semenov Institute of Chemical Physics, Infiofarm. 2014: 128 p. (in Russian)
11. Zhang Y., Hu T., Zhou H., et al. Antidiabetic effect of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* in streptozotocin-induced diabetic rats. *Int J Biol Macromol*. 2016; 83: 126–32. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.045.
12. Karam M.C., Petit J., Zimmer D., et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: a review. *J Food Eng*. 2016; 188: 32–49.
13. Zakutnova V.I., Levchenko A.V., Zakutnova E.B. The chemical composition of hats and legs of different kinds of edible mushrooms in the Lower Volga valley. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin for Environmental Education]. 2015; 1 (31): 72–5. (in Russian)
14. Juk Yu.T. Preservation and storage fungi (biochemical basis). Moscow: Legkaya i pischevaya promyshlennost', 1982: 249 p. (in Russian)
15. Jiang H., Zhang M., Mujumdar A.S. Microwave freeze-drying characteristics of banana chips. *Drying Technol*. 2010; 28 (12): 1377–84.
16. Vasileva E.A. Clinical biochemistry of farm animals. Moscow: Rossel'khozizdat, 1974: 192 p. (in Russian)
17. Doson R., Elliot D., Elliot U., et al. Directory biochemist. Moscow: Mir, 1991: 464–5. (in Russian)
18. Simonyan A.V., Salamatov A.A., Pokrovskaya Yu.S., et al. Use of ninhydrin reaction for quantitative determination of α -amino acids in various objects: methodical recommendations. Volgograd, 2007: 106 p. (in Russian)
19. Patent No. 2480746 RF. Method of quantitative determination of polysaccharides in grass species violet. In: A.M. Martynov, T.D. Dargaeva. Publ. 27.04.2013. Bull. No. 12. (in Russian)
20. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I., et al. Methods of biochemical research of plants. In: A.I. Ermakov (ed.). Leningrad: Kolos, 1972: 456 p. (in Russian)
21. Avanesyan S.S., Timchenko L.D., Piskov S.I., et al. Development of quantitative determination method for lovastatin fruiting bodies oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). In: Physico-chemical biology: materials of the III International Scientific Internet Conference. Stavropol': Publishing house StGMU, 2015: 32–5. (in Russian)
22. Avanesyan S.S., Timchenko L.D., Piskov S.I., et al. TLC determination of lovastatin. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy* [Sorption and chromatographic processes]. 2015; 15 (5): 693–8. (in Russian)
23. Kanibolotskaya L.V., Fedoseeva A.A., Odaryuk I.D., et al. The antioxidant activity of edible mushrooms fruiting bodies. *Problemi harchuvannya*. 2008; (3–4): 35–8. (in Ukrainian)
24. Oreshko N.A., Kiselev P.A., Yuraga T.M., et al. The development of test systems and the definition of anti-radical activity of biological fluids and pharmaceutical substances of natural and synthetic origin. In: Free radicals in chemistry and life: a collection of abstracts of the International Conference. Minsk, 2015: 122–4. (in Russian)
25. Rudy S., Dziki D., et al. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *LWT Food Sci Technol*. 2015; 63 (1): 497–503. doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.067.
26. Yuting Tian, Yingting Zhao, Jijun Huang, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chem*. 2016; 197 (A): 714–22.
27. Izli N., Isik E. Effect of different drying methods on drying characteristics, color and microstructure properties of mushroom. *J Food Nutr Res*. 2014; 53 (2): 105–16.
28. Koc B., Eren I., Kaymak Ertekin F. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: the effect of drying method. *J Food Eng*. 2008; 85: 340–9.
29. Xiaoyu Li, Lu Wang, Yan Wang, et al. Effect of drying method on physicochemical properties and antioxidant activities of *Hohenbuehelia serotina* polysaccharides. *Process Biochem*. 2016; 51 (8): 1100–8.
30. Niamnuy C., Devahastin S., Soponronnarit S. Some recent advances in microstructural modification and monitoring of foods during drying: a review. *J Food Eng*. 2014; 123: 148–56.
31. Bocharov V.A., Nazarova N.E., Zueva O.N. The study of some methods of drying cultivated mushrooms. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News Michurinsky State Agrarian University]. 2016; (1): 89–93. (in Russian)
32. Sette P., Salvatori D., Schebor C. Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air- and freeze-drying. *Food Bioproducts Processing*. 2016; 100 (A): 156–71. doi: 10.1016/j.fbp.2016.06.018.
33. Ostrikov A.N., Shevtsov S.A. Research on drying shrinkage mushrooms heated steam. *Izvestiya vuzov. Pischevaya tehnologiya* [News Institutes of Higher Education. Food Technology]. 2004; (4): 62–3. (in Russian)
34. Wang H.-C., Zhang M., Adhikari B. Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation. *Food Bioproducts Processing*. 2015; 94: 507–17.
35. van Dalen G. A study of bubbles in foods by X-Ray microtomography and image analysis. *Microsc. Anal*. 2012; 26 (2): S8–12.
36. Tsapalova I.E., Bakaytis V.I., Kutafeva N.P., et al. Expertise of mushrooms. Quality and safety: teaching handbook. In: V.M. Poznyakovskiy (ed.). Novosibirsk: Izdatel'stvo Novosibirskogo universiteta, 2002: 256 p. (in Russian)
37. Kurozawa L.E., Hubinger M.D., Kil J.P. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. *J. Food Eng*. 2012; 108: 43–50. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.07.033.
38. Vereschagin A.L., Scheglova I.V. Drying mushrooms in non-stationary conditions. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [The Achievements of Science and Technology of Agroindustrial Complex]. 2012; (1): 71–2. (in Russian)
39. Dehnad D., Jafari S.M., Afrasiabi M. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydra-

- tion techniques. *Trends Food Sci Technol.* 2016; 57 (A): 116–31. doi: 10.1016/j.tifs.2016.09.002.
40. Arumuganathan T., Manikantan M.R., Indurani C., et al. Texture and quality parameters of oyster mushroom as influenced by drying methods. *Int Agrophys.* 2010; 24: 339–42.
 41. Hassan S.W., Umar R.A., Maishanu H.M., et al. The effect of drying method on the nutrients and non-nutrients composition of leaves of *Gynandropsis gynandra* (Capparaceae). *Asian J Biochem.* 2007; 2: 349–53. doi: 10.3923/ajb.2007.349.353.
 42. Zalyotova T.V., Terehov M.B. Dynamics of changes in the content of sugars and vitamin C in dry apples without conducting and after the pre-treatment of raw materials. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News Michurinsky State Agrarian University]. 2012; (2): 128–30. (in Russian)
 43. Wang H., Zhang M., Mujumdar A.S. Comparison of three new frying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Drying Technol.* 2014; 32 (15): 1791–802.
 44. Scheglova I.V., Vereschagin A.L. Application of explosive autohydrolysis to improve the digestibility of mushrooms oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). In: V.P. Kotsyuba (ed.). *Modern problems of technology and technology of food production: materials of the 10th International Scientific and Practical Conference.* Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2007: 91–2. (in Russian)
 45. Scheglova I.V., Vereschagin A.L., Byichin N.V. Influence of the drying on the morphology of the fungi. In: *Collection of reports of the 1st Interdepartmental scientific-practical conference "Commodity research, examination and technology of food products"*. Moscow: Izdatelskiy kompleks MGUPP, 2008: 49–52. (in Russian)
 46. Piska K., Sulkowska-Ziaja K., Muszynska B. Edible mushroom *pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) – its dietary significance and biological activity. *Acta Sci Pol Hortoru.* 2017; 16 (1): 151–61.
 47. Correa R.C.G., Brugnari T., Bracht A., et al. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: a review on the past decade findings. *Trends Food Sci Technol.* 2016; 50: 103–17. doi: 10.1016/j.scienta.2013.06.026.
 48. dos Santos L.F., Zanatta A.L., Soccol V.T., et al. Hypolipidemic and antiatherosclerotic potential of *Pleurotus ostreatus*, at by sub-merged fermentation in the high-fat diet fed rats. *Biotechnol Bioproc Eng.* 2013; 18: 201–8. doi: 10.1007/s12257-012-0561-9.
 49. Lindequist U., Niedermeyer T.H., Julich W.D. The pharmacological potential of mushrooms. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2005; 2: 285–99. doi: 10.1093/ecam/neh107.
 50. Chen S.Y., Ho K.J., Hsieh Y.H., et al. Contents of lovastatin, γ -aminobutyric acid and ergothioneine in mushroom fruiting bodies and mycelia. *LWT Food Sci Technol.* 2012; 47: 274–78.
 51. Gunde-Cimerman N., Cimerman A. *Pleurotus* fruiting bodies contain the inhibitor of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase-lovastatin. *Exp Mycol.* 1995; 19 (1): 1–6. doi: 10.1006/emyc.1995.1001.
 52. Ivanova I.L., Yankova V.I., Knyshova V.V., Loenko Yu.N. Correction of hyperlipidemia natural antioxidants. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin Physiology and Pathology of Respiration]. 2000; (6): 22–8. (in Russian)
 53. Schneider I., Kressel G, Meyer A., et al. Lipid lowering effects of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in humans. *J Funct Foods.* 2011; 3 (1): 17–24. doi: 10.1016/j.jff.2010.11.004.
 54. Fontes Vieira P.A., Gontijo D.C., Vieira B.C., et al. Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. *LWT Food Sci Technol.* 2013; 54 (2): 421–5.
 55. Heleno S.A., Ferreira R.C., Antonio A.L., et al. Nutritional value, bioactive compounds and antioxidant properties of three edible mushrooms from Poland. *Food Biosci.* 2015; 11: 48–55.
 56. Radzki W., Ziaja-Soltys M., Nowak J., et al. Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* mushroom. *LWT Food Sci Technol.* 2016; 66: 27–33.
 57. Duan J.-L., Xu J.-G. Effects of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of Shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*). *Agric Food Sci Res.* 2015; 2 (2): 51–5. <http://www.asianonlinejournals.com/index.php/AESR/>
 58. Kim Min-Jung, Chu Won-Mi, Park Eun-Ju. Antioxidant and anti-genotoxic effects of Shiitake mushrooms affected by different drying methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2012; 41 (8): 1041–8. doi: 10.3746/jkfn.2012.41.8.104.