

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГРИБОВ ВЕШЕНКИ

Е. Н. Неверов, Л. В. Лифенцева, И. А. Короткий, А. Д. Тюнин, О. В. Салищева

Целью исследования является определение влияния термической обработки холодом на условия, сроки хранения и качественные показатели культивируемых грибов вешенки. Рассмотрены режимы холодильной обработки при температурах минус 30 °С и минус 60 °С (естественная конвекция), а также минус 25 °С (вынужденная конвекция). В качестве исследований использованы свежие грибы вешенки в виде сростков. Построены термограммы замораживания при данных температурных режимах для определения продолжительности процесса замораживания и термограммы размораживания сразу после процесса замораживания при комнатной температуре 20 °С с целью определения потери массы. Выявлено, что продолжительность процесса замораживания грибов вешенки при температуре минус 25 °С (вынужденная конвекция) самый непродолжительный и почти в 2–3 раза меньше, чем при других температурных режимах. Потери массы при размораживании сразу после процесса замораживания при температуре минус 30 °С оказались в 2 раза больше, чем при других рассматриваемых параметрах. Органолептические показатели грибов в процессе размораживания сразу после заморозки при всех температурных режимах не изменились. Структура грибов была упругой, не влажной. Определены органолептические показатели грибов вешенки в процессе хранения в течение 2 месяцев при температурах минус 30 °С, минус 60 °С и минус 25 °С. Было установлено, что хранение при температурных режимах минус 30 °С и минус 25 °С очень сильно влияет на органолептические показатели грибов вешенки, ее текстура была мягкой и водянистой. Температурный режим хранения минус 60 °С практически не показал никаких существенных изменений в органолептических показателях данного вида продукции.

Ключевые слова: грибы, температура, процесс замораживания, процесс размораживания, органолептические показатели, срок хранения.

Благодарности: С использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-15-2021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет» (уникальный идентификатор контракта RF 2296.61321X0032).

В последнее время большое внимание отводится тенденции роста роли грибной продукции в сфере питания. Грибы являются перспективным сырьем для производства полуфабрикатов и продукции общественного питания. Это можно объяснить вкусовыми качествами и полезными свойствами данного продукта согласно ГОСТа 31986-2012. Межгосударственный стандарт. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания [6, 7].

Большим спросом среди культивируемых грибов в России пользуется шампиньон, но в последнее время большую популярность приобрела вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), ко-

торая имеет простую технологию выращивания и высокое содержание в ней питательных веществ.

Большое количество исследований показало, что вешенки ценятся как съедобные и лекарственные ресурсы и являются одним из самых популярных продуктов для здоровья во всем мире. Вешенки содержат различные питательные вещества, необходимые человеку, такие как белки, витамины, волокна, минералы. Среди питательных веществ содержание белка выше, чем в других продуктах, и содержит все девять незаменимых аминокислот, необходимых человеку, что позволяет использовать их в качестве заменителя мясной диеты [16].



Однако вешенки легко портятся и становятся коричневыми из-за высокой метаболической активности, частоты дыхания и обезвоживания после сбора урожая. Они могут сохранить коммерческое качество только в течение 1–3 дней при температуре окружающей среды 25 °С, а при температуре от 2 до 6 °С не более 7 суток [3].

Старение грибов представляет собой окислительный процесс, который включает деградацию клеточных и субклеточных структур и макромолекул, а также мобилизацию продуктов деградации в другие части гриба [17]. Восприимчивость к окислительному стрессу зависит от общего баланса между продукцией оксидантов и антиоксидантной способностью клетки. Изменение проницаемости мембран и потеря способности удерживать растворенные вещества связаны с созреванием и последующей порчей сырья. Изменения проницаемости во время старения связаны и с одновременным снижением содержания липидов в мембранах.

В связи с увеличением объемов производства вешенки обыкновенной все более актуальными становятся вопросы ее сохранности и переработки, так как данное сырье является скоропортящимся.

К традиционным способам сохранения и переработки вешенки относятся консервирование, сушка и замораживание. Кроме традиционных методов в качестве эффективных технологий консервирования для продления срока годности и сохранения физических и питательных свойств сезонного сырья в литературе описаны методы, включающие упаковку в модифицированной газовой среде, нанесение защитного покрытия, вакуумное охлаждение, изохорную обработку, химическую обработку, обработку озонном, УФ-консервирование [18, 19, 20, 21].

Хотя вышеупомянутые меры могут продлить срок хранения, у каждой технологии существуют некоторые недостатки. Упаковка в модифицированной газовой среде оказывает консервирующее действие на цвет, замедляя дыхание, но приводит к накоплению воды на поверхности продукта, способствуя росту микроорганизмов и образованию слизи. Метод покрытия относительно сложен, так как технологическое действие покрытия связано не только с растворами для покрытия, но и с покрываемыми объектами. Что касается охлаждения, есть жесткие требования к условиям хранения, например,

к температуре и влажности. При озон-химической обработке будут иметь место более высокие затраты аппаратуры и реагентов, а также потери веса.

Обработка может повысить коммерческую и пищевую ценность, уменьшить деструктивное воздействие обработки на органолептические качества и остановить микробное загрязнение и порчу сырья.

Одним из наиболее распространенных и хорошо зарекомендовавших себя методов консервирования пищевых продуктов является замораживание. Замораживание снижает скорость ухудшения качества пищевых продуктов с течением времени за счет снижения микробной и ферментативной активности, окисления и дыхания. Однако медленное замораживание в большинстве случаев приводит к повреждению клеток [22].

При замораживании лед сначала образуется вне клеток. При низких скоростях замораживания вода внутри клетки диффундирует через полупроницаемую мембрану из клетки, чтобы уравновесить химический потенциал между внутренней и внешней частями клеток, что в конечном итоге приводит к обезвоживанию клеток.

При высоких скоростях замораживания происходит внутриклеточное замораживание. При обоих условиях замораживание подвергает клетки потере воды, а также увеличению концентрации растворенных веществ, что в конечном итоге может привести к повреждению клеток. Повреждение клеток в биологических тканях приводит к необратимой потере тургора, потере плотности, потере водоудерживающей способности и увеличению потери влаги при оттаивании. В конечном итоге это приводит к тому, что размороженный продукт имеет субоптимальные физические свойства, что снижает одобрение потребителей замороженных продуктов.

Таким образом, при использовании крио-консервирования сырья добиваются получения более мелких и менее повреждающих биологические клетки кристаллов льда.

Материал и методы исследования

Объектом исследования служили культивируемые грибы вешенки (*Pleurotus ostreatus*).

Для выполнения исследований использованы свежие грибы вешенки в виде ростков,

реализуемые в торговых сетях в упаковках, расфасованные массой 0,5 кг, имеющие характеристики в соответствии с требованиями Государственного стандарта Российской Федерации (ГОСТ Р) 56636-2015 «Грибы вешенки свежие культивируемые. Технические условия» [5].

Исследования проводились в научно-образовательном центре кафедры теплохладотехники Кемеровского государственного университета в 2023 г.

При замораживании температура в толще продукта достигает значений от минус 15 до минус 18 °С, и содержащаяся в продукте вода превращается в кристаллы льда. Замораживание может осуществляться в диапазоне температур от минус 18 до минус 62,5 °С с естественной или вынужденной конвекцией [1, 2].

В связи с этим были выбраны следующие температурные режимы:

- –30 °С при естественной конвекции;
- –60 °С при естественной конвекции;
- –25 °С при вынужденной конвекции.

Такие параметры обеспечивают быстрое льдообразование, в результате которого образуются мелкие кристаллы льда, не нарушающие целостность тканей продукта, а также сокращается продолжительность процесса замораживания по сравнению с рекомендованной температурой замораживания грибов минус 18 °С [4].

После замораживания сразу проводили процесс размораживания при комнатной температуре 20 °С с целью определения потери массы. Также были рассмотрены органолептические показатели гриба вешенки в процессе хранения в морозильных ларях в течение 2 месяцев при температурах –30 °С, –25 °С и –60 °С.

Эксперимент по замораживанию при температуре –30 °С (естественная конвекция) проводили в холодильном ларе марки LIBHER MED LINE. Замораживание при температуре –60 °С (естественная конвекция) в низкотемпературном ларе VESTFROST SOLUTIONS VT 78.

Замораживание при температуре –25 °С (вынужденная конвекция) проводили в универсальной стендовой лабораторной установке, со скоростью воздуха 1 м/с.

Масса образцов, взятая для исследования, составляет 550±5 г. Изменение массы образцов до и после замораживания измеряли с помощью электронных весов.

Образцы грибов укладывали на поддон ровным слоем и загружали в камеры замора-

живания. В образцы гриба вешенки помещали три термопары. Одна на поверхности, вторая на расстоянии (x) от поверхности и центра продукта. Третья термопара была помещена в центр продукта.

Для фиксации температуры внутри образцов и температуры среды замораживания, а также для автоматизированного сбора данных в процессах замораживания и размораживания использовался измерительный комплекс.

Содержание общих полифенолов определяли спектрофотометрически, используя в качестве стандарта галловую кислоту, по методу Фолина-Чокальтеу [23]. С этой целью аликвотную часть разбавленного спиртового экстракта образца (1,0 см³) переносили в двух повторностях в отдельные пробирки, содержащие реагент Фолина в разведении 1/10 в воде (5,0 см³). Затем добавляли раствор карбоната натрия (4,0 см³ 7,5% мас./об.), пробирки выдерживали при комнатной температуре в течение 60 минут, после чего измеряли оптическую плотность при 765 нм относительно воды. Содержание общих фенолов выражали в эквивалентах галловой кислоты в мг/100 г сырья. Концентрацию полифенолов в образцах рассчитывали по стандартной кривой галловой кислоты в диапазоне от 10 до 50 мкг/мл (коэффициент корреляции $R^2 = 0,998$) [24].

Высокая точность экспериментальных исследований достигалась трехкратной повторяемостью всех групп исследований.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения экспериментальных исследований получены термограммы замораживания-размораживания грибов при различных режимных параметрах, которые представлены на рисунках 1–3.

Продолжительность замораживания грибов вешенки при температуре минус 30 °С (свободная конвекция) составила 1 час 33 минуты по достижении ее в центре продукта. Процесс замораживания проходил равномерно. На первой стадии охлаждения до 0 °С, который длился 20 минут, видно, что процесс отвода теплоты идет интенсивно и кривая представляет собой крутую наклонную линию. Затем понижение температуры продукта от 0 °С до минус 4 °С замедляется, и кривая замораживания переходит в пологую линию. Продолжительность второй стадии составила 55 минут. В этот период



температура охладившегося, но еще не замерзшего центрального слоя продукта соответствует криоскопической, т.е. температуре, при которой в плодах начинает образовываться лед. Длина и наклон второго участка зависят от интенсивности отвода тепла от замораживаемого продукта. Третий участок графика пока-

зывает изменение температуры продукта после вымерзания основной части воды. Здесь снова ускоряется понижение температуры от минус 4 °С до минус 32 °С в центре. По достижении температуры минус 32 °С в центре грибы вешенки сразу подвергали процессу размораживания при комнатной температуре 20 °С.

Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки в лабораторном морозильном ларе LIBHERR LGT 2325 MEDILINE при $t_{ср} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$

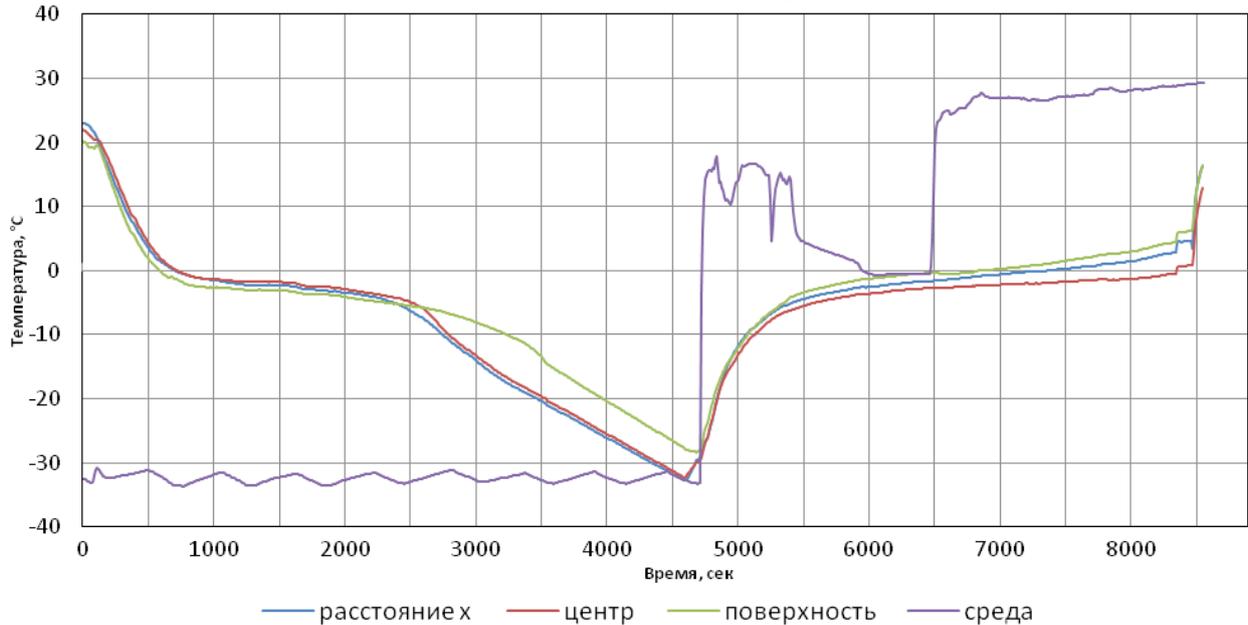


Рис. 1. Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки при температуре минус 30 °С (свободная конвекция)

Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки в низкотемпературном ларе VESTFROST SOLUTIONS VT 78 при $t_{ср} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$

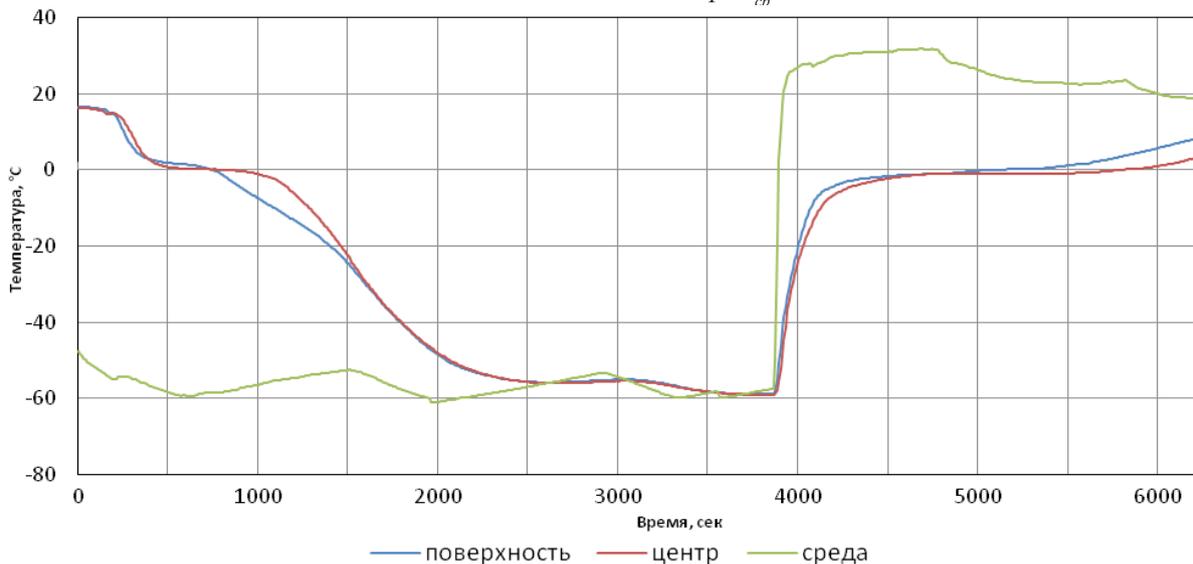


Рис. 2. Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки при температуре минус 60 °С (свободная конвекция)

Процесс размораживания до 0 °С в центре длился 1 час 02 минуты. Из термограммы видно, что в течение 30 минут температура продукта изменялась быстро от минус 32 °С до минус 5 °С, затем шло постепенное повышение температуры в течение 35 минут от минус 5 °С до 0 °С в центре.

После размораживания структура грибов была упругой, не влажной. Масса уменьшилась на 80 грамм, что соответствует 14,5% убыли массы.

Процесс замораживания грибов вешенки при температуре минус 60 °С длился 1 час 05 минут. Из термограммы замораживания видно, что вначале в течение 14 минут идет резкое понижение температуры до 0 °С в центре, что соответствует охлаждению вешенки, а затем вырисовывается площадка, которая соответствует криоскопической температуре 0 °С ÷ -1 °С. А затем резкое понижение температуры до минус 60 °С в центре. Процесс замораживания от криоскопической температуры до минус 60 °С длился около 39 минут.

По достижении температуры минус 60 °С в центре грибы вешенки также сразу подвергали процессу размораживания при комнатной температуре 20 °С. Процесс размораживания до 0 °С в центре длился 1 час.

Из термограммы видно, что в течение 15 минут температура продукта изменялась быстро от минус 60 °С до минус 10 °С, затем шло постепенное повышение температуры в течение 45 минут от минус 10 °С до 0 °С в центре.

После размораживания масса вешенки уменьшилась на 40 грамм, что соответствовало 7,3% убыли массы. Структура была упругой, не влажной.

Процесс замораживания грибов вешенки при температуре минус 25 °С (вынужденная конвекция) длился всего 27 минут по сравнению с другими температурными режимами замораживания. Это объясняется тем, что замораживание проводили в условиях вынужденной конвекции. Из термограммы видно, что кривая замораживания представляет собой равномерное понижение температуры в течение всего времени процесса замораживания от 0 °С до минус 25 °С в центре.

Процесс размораживания до 0 °С в центре длился 25 минут. Из термограммы видно, что в течение 22 минут температура продукта изменялась быстро от минус 25 °С до минус 5 °С, затем в течение 3 минут кривая размораживания показывает вертикальную прямую линию, соответствующую повышению температуры от минус 5 °С до 0 °С в центре. После разморажи-

Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки при вынужденной конвекции $t_{cp} = -25$ °С

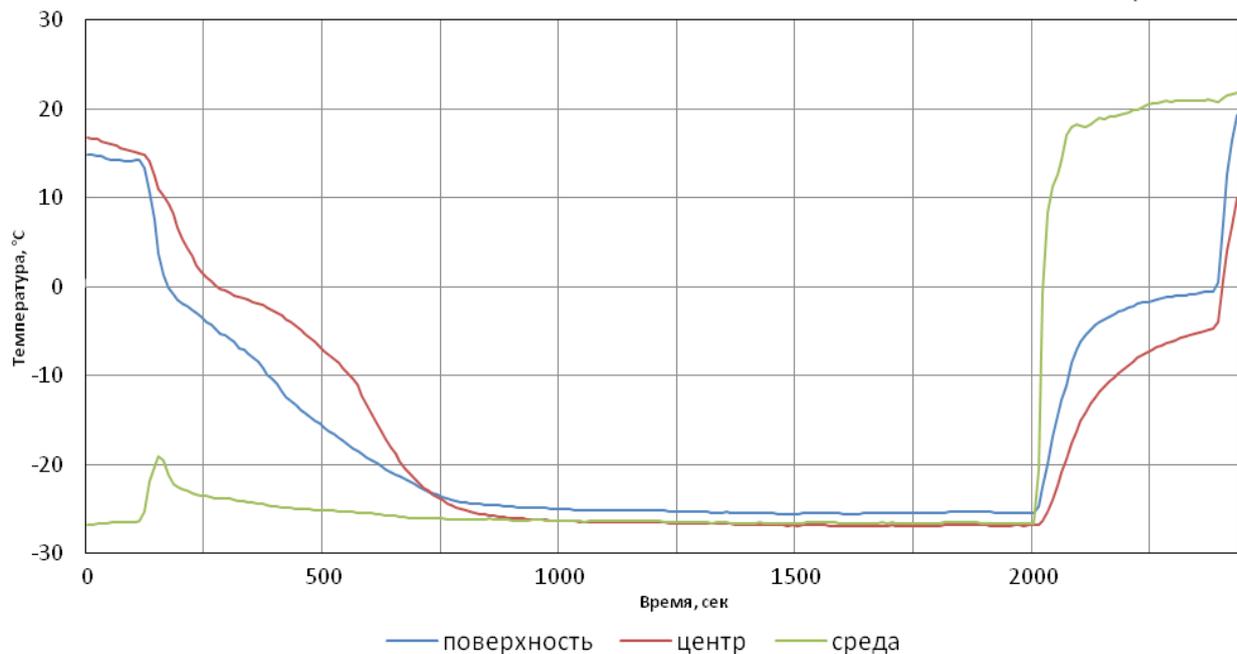


Рис. 3. Термограмма замораживания – размораживания гриба вешенки при температуре минус 25 °С (вынужденная конвекция)



вания структура грибов также была упругой, не влажной. Масса уменьшилась на 40 грамм, что соответствовало 7,3% убыли массы.

Согласно термограммам замораживания-размораживания можно сказать, что рассмотренные температурные режимы замораживания не влияют на качество грибов после замораживания сразу после заморозки. Грибы защищены тонкой и пористой эпидермальной структурой, которая не препятствует быстрому поверхностному обезвоживанию, и, как следствие, после разморозки сырья протекают процессы синерезиса, приводящие к потере содержания связанной и свободной влаги, значит, и убыли массы. В целом наблюдаемая потеря веса при выдержке размороженных грибов в течение часа постепенно увеличивалась со временем хранения, но не превышала 10% убыли массы для сырья, которое подвергли заморозке при температурном режиме минус 60 °С и минус 30 °С. В случае применения температурного режима заморозки минус 25 °С наблюдается меньшая влагоудерживающая способность сырья по сравнению с описанными выше режимами, потеря веса грибов достигла 16% от исходной.

Культивируемые грибы рода *P. ostreatus*, благодаря своим биологически активным соединениям, таким как полифенолы, полисахариды, витамины, каротиноиды, обладают важными антиоксидантными свойствами. Исследованы механизмы антиоксидантной и противовоспалительной активности грибов вешенки, и показана эффективность использования грибов для нейтрализации окислительного повреждения организма человека [25]. Антиоксидантный эффект и способность ингибировать свободные радикалы зависят от количества содержащихся в грибах фенольных соединений [26].

Содержание полифенолов в исходных образцах грибов вешенки составило $35,72 \pm 1,3$ мг/100 г субстрата. В образцах после заморозки уровень содержания фенолов не изменился. Было подтверждено, что криоконсервирование в указанных условиях определило сохранение максимального количества полифенольных антиоксидантных соединений в грибах, что доказывает эффективность данного способа хранения растительного сырья.

Органолептические свойства продукта в большей степени, чем химический состав и пищевая ценность, влияют на потребитель-

ские свойства и спрос. Поэтому для проведенных исследований важным аспектом было проанализировать влияние различных режимов замораживания, а также состояние грибов вешенки после хранения, именно на органолептические показатели качества, к которым относятся: внешний вид, цвет, вкус и запах, консистенция.

Нарушение режимов хранения может привести к физиологическим повреждениям (таким как метаболические нарушения и нежелательная ферментация) продукта, что в случае грибов приводит к сильному потемнению и отсутствию характерных вкусовых качеств грибов [27].

Для оценки органолептических показателей при длительном хранении и последующем их размораживании образцы помещали на два месяца в холодильные лари с температурами внутри минус 30 °С, минус 60 °С и минус 25 °С. После проводили органолептический анализ согласно ГОСТа Р 56636-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Грибы вешенки свежие культивируемые. Технические условия и ГОСТа 31986-2012. Межгосударственный стандарт. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания [6, 8].

Органолептический анализ продукции общественного питания массового изготовления включает в себя рейтинговую оценку внешнего вида, текстуры (консистенции), запаха и вкуса с использованием балльной шкалы: 5 баллов – отличное качество, 4 балла – хорошее качество, 3 балла – удовлетворительное качество и 2 балла – неудовлетворительное качество.

Органолептические показатели размороженных образцов после хранения в течение 2 месяцев представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что температурный режим хранения в течении 2 месяцев при минус 30 °С и минус 25 °С сильно влияет на органолептические показатели вешенки. Вешенка плохо держала форму, ее текстура была мягкой и водянистой. В процессе термической обработки (жарка) гриб остался водянистым, что не соответствует хорошему показателю вкусовых качеств. При температуре хранения минус 60 °С после размораживания вешенка хорошо держала форму и текстура была плотная. В процессе термической обработки (жарка) вкус и запах гриб вешенки практически не утратил своих первоначальных свойств до замораживания.

Таблица 1 – Органолептические показатели размороженных образцов после хранения в течение 2 месяцев

| Наименование показателя | Результаты исследований | | |
|-------------------------|--|--|--|
| | Хранение гриба вешенки при минус 30 °С | Хранение гриба вешенки при минус 25 °С | Хранение гриба вешенки при минус 60 °С |
| Форма | 3 | 3 | 5 |
| Состояние поверхности | 4 | 3 | 5 |
| Вид на разрезе | 3 | 3 | 5 |
| Цвет | 4 | 5 | 4 |
| Запах и вкус | 3 | 3 | 5 |
| Текстура | 3 | 3 | 4 |

Выводы

Термограммный анализ показал, что продолжительность процесса замораживания грибов вешенки при температурном режиме 25 °С (вынужденная конвекция) в 2–3 раза меньше, чем при других рассматриваемых температурных режимах.

Результаты размораживания образцов сразу после замораживания показали, что органолептические показатели грибов вешенки при всех температурных режимах не изменились. Это говорит о том, что температурные режимы не влияют на качество размороженного продукта сразу после замораживания. Но потеря массы оказалась в 2 раза больше в процессе замораживания при температуре минус 30 °С по сравнению с другими рассматриваемыми параметрами.

В процессе хранения в течение 2 месяцев было установлено, что хранение при температурах минус 30 °С и минус 25 °С очень сильно влияет на органолептические показатели грибов вешенки после разморозки и в процессе термической обработки.

Температурный режим хранения минус 60 °С практически не показал никаких сильных изменений в органолептических показателях данного вида продукции после разморозки и в процессе термической обработки.

На основании вышеизложенного можно рекомендовать наиболее рациональный режим замораживания и хранения исследуемых образцов при минус 60 °С (свободная конвекция).

Список литературы

1. Балаболин, Д. Революционная система акустической заморозки / Д. Балаболин, И. Кли-

машевский // Империя Холода. Всероссийский аналитический журнал. – 2017. – С. 38–42.

2. Гинзбург, В. Скоростное охлаждение и шоковая заморозка / В. Гинзбург // Империя Холода. Всероссийский аналитический журнал. – 2015. – С. 25–29.

3. Вишневецкий, М. В. Лекарственные грибы. Большая энциклопедия / М. В. Вишневецкий. – Москва : Эксмо, 2014. – С. 14.

4. Дриль, А. А. Перспективы разработки продукции общественного питания на основе культивируемых грибов вешенка обыкновенная / А. А. Дриль, Л. А. Маюрникова, Л. Н. Рождественская // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 71–81.

5. Поленов, А. Б. Большая энциклопедия грибника. Съедобные и несъедобные. Собираем и готовим / А. Б. Поленов. – Москва : АСТ, 2021. – С. 113.

6. Наумова, Н. Л. Оценка потребительских свойств и показателей безопасности свежих вешенок, культивируемых на предприятиях Челябинской области / Н. Л. Наумова, А. В. Бучель // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 39. – № 4. – С. 138–144.

7. Закутнова, В. И. Методика исследования грибов рода *pleurotus* в Астраханской области (на примере вешенки обыкновенной) / В. И. Закутнова, Н. В. Володина, Е. Б. Закутнова // Астраханский вестник экологического образования. – 2017. – № 1. – С. 86–90.

8. Emilin Renita, R. Optimization of freeze drying of oyster mushroom and composition of extruded snack incorporated with oyster mushroom flour using response surface methodology / R. Emilin Renita, S. Elizabeth Amudhini Stephen // International Journal of Engineering and



Advanced Technology. – 2019. – Vol. 8. – Iss. 3. – P. 251–256.

9. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on the quality preservation of *Pleurotus eryngii* / T. Li, J.-W. Lee, L. Luo [et al.] // Applied Biological Chemistry. – 2018. – Vol. 61. – Iss. 3. – P. 257–265.

10. Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms / S. Marçal, A. S. Sousa, O. Taofiq [et al.] // Trends in Food Science and Technology. – 2021. Vol. 110. – P. 418–431. – DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.007.

11. Antioxidant Activity of Indigenous Edible Mushrooms / NG. Puttaraju, SU. Venkateshaiah, SM. Dharmesh [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2006. – Vol. 54. – P. 9764–9772. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf0615707>.

12. Anshu, S. Effect of Pretreatments and Drying on the Quality of Oyster Mushrooms / S. Anshu, B. Anju // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 7 (4). – P. 93–101. – DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2018.704.011>.

13. Khalloufi, S. Water activity of freeze dried mushrooms and berries / S. Khalloufi, J. Giasson, C. Ratti // Canadian Agricultural Engineering. – 2000. – Vol. 42 (1). – P. 51–56.

14. Bashir, N. Impact of different drying methods on proximate and mineral composition of oyster mushroom (*Pleurotus florida*) / N. Bashir, M. Sood, JD. Bandral. – 2020. – Vol. 19 (3). – P. 656–661.

15. Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom / R. Shams, J. Singh, KK. Dash, AH. Dar // Applied Food Research. – 2022. – Vol. 2. – P. 100084. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100084>.

16. Wang, Q. UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) / Q. Wang, L. Chu, L. Kou // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 380–385. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.019>.

17. Tao, F. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions / F. Tao, M. Zhang, H.-q. Yu // Journal of Food Engineering. – 2007. – Vol. 79. – Iss. 4. – P. 1302–1309. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.011>.

18. Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) / F. Han Lyn, Z. A. Maryam Adilah, M. A. R. Nor-Khaizura [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2020. – Vol. 23. – P. 100451. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100451>.

19. Zheng L., Vacuum cooling for the food industry a review of recent research advances / L. Zheng, D.-W. Sun // Trends in Food Science and Technology. – 2004. – Vol. 15. – Iss. 12. – P. 555–568. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.09.002>.

20. Advantages of isochoric freezing for food preservation: A preliminary analysis / G. Năstase, P. A. Perez, A. Șerban [et al.] // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2016. – Vol. 78. – P. 95–100. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.08.026>.

21. Wang Q., UV-C Treatment maintains quality and delays senescence of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) / Q. Wang, L. Chu, L. Kou // Scientia Horticulturae. – 2017. – Vol. 225. – P. 380–385. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.019>.

22. Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing / C. Bilbao-Sainz, A. Sinrod, M. J. Powell-Palm [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2019. – Vol. 52. – P. 108–115. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.016>.

23. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventos // Methods Enzymol. – 1999. – Vol. 299. – P. 152–178.

24. Vamanu, E. In Vitro Antimicrobial and Antioxidant Activities of Ethanolic Extract of Lyophilized Mycelium of *Pleurotus ostreatus* PQMZ91109 / E. Vamanu // Molecules. – 2012. – Vol. 17 (4). – P. 3653–3671. – DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules17043653>.

25. Dai J., Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties / J. Dai, R. J. Mumper // Molecules. – 2010. – Vol. 15 (10). – P. 7313–7352. – DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>.

26. In-vitro and in-vivo antioxidant effects of the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* / T. Jayakumar, P. A. Thomas, J. R. Sheu, P. Geraldine. // Food Research International. – 2011. – Vol. 44. – Iss. 4. – P. 851–861. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.015>.

27. Effects of Active Modified Atmosphere Packaging on Postharvest Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinula edodes*) Stored at Cold Storage / Y. E. Jing-jun, L. I. Jian-rong, H. A. N. Xiao-xiang [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. – 2012. – Vol. 11 (3). – P. 474–482. – DOI: 10.1016/S2095-3119(12)60033-1.

Неверов Евгений Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет.
E-mail: neverov42@mail.ru.

Лифенцева Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры теплохладотехники, Кемеровский государственный университет.
E-mail: milka61-08@mail.ru.

Короткий Игорь Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплохладотехники, Кемеровский государственный университет.
E-mail: krot69@mail.ru.

Тюнин Аркадий Дмитриевич, старший преподаватель кафедры теплохладотехники, Кемеровский государственный университет.
E-mail: arkasha_67@mail.ru.

Салищева Олеся Владимировна, д-р техн. наук, доцент, заведующая кафедрой общей и неорганической химии, Кемеровский государственный университет.
E-mail: salishchevaov@mail.ru.

* * *