

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-427-437>

Поступила 27.04.2024

Поступила после рецензирования 23.09.2024

Принята в печать 26.09.2024

© Посокина Н. Е., Бессараб О. В., Карастоянова О. В., Коровкина Н. В., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА ДИНАМИКУ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МАРКЁРОВ КАЧЕСТВА ШАМПИНЬОНОВ (*AGARICUS BISPORUS*)

Посокина Н. Е., Бессараб О. В.*, Карастоянова О. В., Коровкина Н. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

Agaricus bisporus, физико-химические показатели, маркёры качества, полимерная упаковка, условия хранения

Agaricus bisporus являются наиболее распространёнными среди культивируемых грибов. Шампиньоны являются источником хитина, гликогена и минеральных веществ, а также обладают привлекательными органолептическими свойствами. Физико-химические и органолептические показатели свежих *Agaricus bisporus* при хранении претерпевают значительные изменения вследствие транспирации влаги, дыхания и окислительных процессов. Целью настоящей работы являлось исследование влияния условий хранения культивируемых шампиньонов с неокрашенным эпителием шляпки на динамику их физико-химических показателей, а также её взаимосвязь с изменением органолептических показателей. Грибы хранили в холодильных камерах при постоянных температурах +2 °C и +6 °C в полипропиленовых лотках, помещённых, в пакеты из двуосиориентированной полипропиленовой (BOPP) перфорированной плёнки и полиэтиленовой (PE) плёнки без перфорации. При всех исследованных условиях хранения характер динамики физико-химических показателей близок к линейному (за исключением влажности плодовых тел при хранении в PE-плёнке) — рассчитанные значения коэффициента корреляции Пирсона составляют от 0,67 до 0,97. Посредством двухфакторного дисперсионного анализа подтверждено влияние как упаковочного материала, так и температуры хранения на динамику содержания растворимых сухих веществ и плотности ткани гриба. При хранении в PE-плёнке без перфорации наблюдается более интенсивная отрицательная динамика этих критериев по сравнению с хранением в перфорированной BOPP-плёнке. Выявленное различие объясняется тем, что в упаковке из PE-плёнки без перфорации к концу хранения формируются условия для анаэробного дыхания — содержание кислорода снижается с 20,5% до 1,5–2,5%, что также способствует активации процессов гниения. При повышении температуры хранения наблюдается более интенсивное изменение физико-химических показателей, что связано с увеличением скорости метаболизма. Статистически подтверждена взаимосвязь динамики всех исследованных физико-химических маркёров качества с динамикой сенсорных оценок (за исключением маркёра «содержание растворимых сухих веществ» при хранении в перфорированной BOPP-плёнке при температуре 2 °C). По результатам проведённых исследований подтверждена применимость критериев «влажность плодовых тел», «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба» в качестве маркёров для оценки качества культивируемых *Agaricus bisporus*.

Received 27.04.2024

Accepted in revised 23.09.2024

Accepted for publication 26.09.2024

© Posokina N. E., Bessarab O. V., Karastoyanova O. V., Korovkina N. V., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

THE INFLUENCE OF STORAGE CONDITIONS ON THE DYNAMICS OF PHYSICO-CHEMICAL MARKERS OF CHAMPIGNON (*AGARICUS BISPORUS*) QUALITY

Natalya E. Posokina, Olga V. Bessarab*, Olga V. Karastoyanova, Nadezhda V. Korovkina

Russian Research Institute of Canning Technology, Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

Agaricus bisporus, physicochemical indicators, quality markers, polymer packaging, storage conditions

ABSTRACT

Agaricus bisporus are the most common cultivated mushrooms. Champignons are a source of chitin, glycogen and minerals, and also have attractive organoleptic properties. Physicochemical and organoleptic characteristics of fresh *Agaricus bisporus* undergo significant changes during storage due to moisture transpiration, respiration and oxidative processes. The purpose of this work was to study the influence of storage conditions of cultivated champignons with unstained cap epithelium on the dynamics of their physicochemical parameters, as well as its relationship with changes in organoleptic parameters. The mushrooms were stored in refrigerated chambers at a constant temperature of +2 °C and +6 °C in polypropylene trays placed in bags made of biaxially oriented polypropylene (BOPP) perforated film and polyethylene (PE) film without perforation. Under all storage conditions studied, the nature of the dynamics of physicochemical parameters was close to linear (with the exception of the humidity of fruiting bodies when stored in PE film) — the calculated values of the Pearson correlation coefficient ranged from 0.67 to 0.97. Using two-factor analysis of variance, the influence of both packaging material and storage temperature on the dynamics of soluble solids content and mushroom tissue density was confirmed. When stored in PE film without perforation, a more intense negative dynamics of these criteria was observed compared to storage in perforated BOPP film. The identified difference is explained by the fact that in packaging made of PE film without perforation, conditions for anaerobic respiration were formed by the end of storage — the oxygen content decreased from 20.5% to 1.5–2.5%, which also contributed to the activation of decay processes. With increasing storage temperature, a more intense change in physicochemical parameters was observed, which was associated with an increase in metabolic rate. The relationship between the dynamics of all studied physicochemical quality markers and the dynamics of sensory assessments (with the exception of the marker "content of soluble solids" when stored in a perforated BOPP film at a temperature of 2 °C) has been statistically confirmed. Based on the results of the studies, the applicability of the criteria "humidity of fruiting bodies", "content of soluble dry substances" and "density of fungal tissue" as markers for assessing the quality of cultivated *Agaricus bisporus* was confirmed.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Посокина, Н. Е., Бессараб, О. В., Карастоянова, О. В., Коровкина, Н. В. (2024). Влияние условий хранения на динамику физико-химических маркёров качества шампиньонов (*Agaricus bisporus*). *Пищевые системы*, 7(3), 427–437. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-427-437>

FOR CITATION: Posokina, N. E., Bessarab, O. V., Karastoyanova, O. V., Korovkina, N. V. (2024). The influence of storage conditions on the dynamics of physicochemical markers of champignon (*Agaricus bisporus*) quality. *Food Systems*, 7(3), 427–437. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-427-437>

1. Введение

Грибы, как дикорастущие, так и культивируемые, популярны во многих странах мира в качестве деликатеса. Среди более чем 20 видов культивируемых грибов доминирующими являются *Agaricus bisporus* (шампиньоны двуспоровые). Помимо органолептических свойств, представляет интерес их химический состав и пищевая ценность [1]. Так, шампиньоны могут рассматриваться в качестве источника полисахаридов (гликоген, хитин) и минеральных веществ (калий, фосфор и др.) [2,3,4,5].

Культивируемые *Agaricus bisporus*, характеризующиеся высокой активностью воды, относятся к категории скоропортящихся продуктов. В процессе хранения шампиньонов происходит транспирация свободной (несвязанной) влаги, в результате чего тургор плодовых тел уменьшается [6]. Также наблюдается частичное разрушение клеточных стенок вследствие окисления хитина в процессе дыхания [7,8,9]. В свежих шампиньонах содержится большое количество тирозиназы, деятельность которой приводит к ферментативному потемнению при хранении. Эти процессы отрицательно сказываются на потребительских свойствах грибов [10].

Комбинирование пониженной температуры хранения, оптимальной влажности и модифицированной газовой среды позволяет замедлить интенсивность дыхания, транспирацию влаги и скорость биохимических процессов [11,12,13].

Изменение содержания кислорода и диоксида углерода внутри упаковки обычно осуществляется путём создания пассивной модифицированной газовой среды, которая формируется за счёт естественного дыхания грибов в процессе их хранения — снижение содержания кислорода и накопление углекислого газа, за счёт чего и уменьшается интенсивность дыхания [14,15]. Однако, излишнее увеличение концентрации углекислого газа в объёме упаковки приводит к анаэробному дыханию, при котором происходит неполное окисление углеводов с накоплением спиртов, альдегидов, карбоновых кислот, оказывающих отрицательное влияние на органолептические показатели грибов [16]. Кроме того, в анаэробных условиях активизируется деятельность гнилостных микроорганизмов. Таким образом, полимерные упаковочные материалы должны обладать газопроницаемостью, достаточной для удаления избытков углекислого газа [17]. С целью торможения гнилостных процессов также важно поддержание оптимальной влажности в объёме упаковки, что обычно обеспечивается за счёт применения плёнок с необходимой паропроницаемостью [18,19]. Оптимальным вариантом упаковки для свежих культивируемых *Agaricus bisporus* является двуслоенная полипропиленовая плёнка (BOPP) с перфорацией. Такая плёнка, благодаря высокой механической прочности, обеспечивает защиту грибов от случайных повреждений. Регулирование диаметра отверстий и плотности перфорации позволяет создать оптимальные условия для влаго- и газообмена [20,21,22].

В наших прошлых исследованиях было установлено, что физико-химические и органолептические показатели шампиньонов претерпевают статистически значимые изменения в процессе хранения. С учётом полученных результатов, в качестве маркёров качества были выбраны плотность (тургор) ткани, влажность плодовых тел и содержание растворимых сухих веществ [23,24,25,26].

Также важное значение имеют потребительские свойства свежих культивируемых *Agaricus bisporus*. При хранении наблюдается заметное ухудшение их органолептических показателей [27,28]. Транспирация влаги и расходование на дыхание хитина, составляющего клеточную стенку грибов, приводит к потере тургора, к частичной деформации (сморщиванию) и к формированию пустот внутри плодовых тел шампиньонов. Действие тирозиназы влечёт за собой изменение цвета поверхности — от розовато-белого у свежих шампиньонов до жёлтого и коричневого к окончанию хранения. В процессе хранения также происходит дозревание грибов, вследствие чего наблюдается раскрытие шляпки, потемнение и размягчение гименофора (пластин), удлинение ножки [29,30,31].

Целью настоящей работы было изучение влияния условий хранения на динамику физико-химических показателей — маркёров качества культивируемых *Agaricus bisporus* с неокрашенным эпителием шляпки. Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- исследовать динамику физико-химических показателей *Agaricus bisporus* в процессе хранения при различных температурных условиях;
- исследовать динамику физико-химических показателей *Agaricus bisporus* в процессе хранения с учётом применяемых упаковочных материалов;

- исследовать взаимосвязь между динамикой физико-химических и органолептических показателей *Agaricus bisporus*.

2. Объекты и методы

2.1. Объекты исследования. Условия хранения

Объектами исследований являлись промышленно культивируемые шампиньоны двуспоровые (*Agaricus bisporus*) с неокрашенным эпителием шляпки среднего размера. Грибы были выращены в производственном комплексе, расположенном в Каширском районе Московской области. При подготовке к эксперименту свежие *Agaricus bisporus* подвергали визуальной инспекции, отбраковывая плодовые тела, имеющие неоднородный цвет поверхности, механические повреждения, частично или полностью раскрытую шляпку, неудаляемые загрязнения, а также значительно отличающиеся по размеру.

Грибы упаковывали в термоформованные лотки из полипропилена (PP), помещённые в пакеты из полимерной плёнки:

- перфорированной полипропиленовой двуслоенной ориентированной (BOPP);
- полиэтиленовой (PE).

Количество грибов в одной упаковке — 5 штук.

Хранение шампиньонов осуществляли в холодильной камере при постоянной температуре $2 \pm 1^\circ\text{C}$ и $6 \pm 1^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 85%. Срок хранения составлял 21 сутки. Для отслеживания динамики органолептических и физико-химических показателей в процессе хранения осуществляли выемки на 0, 3, 8, 13, 16 и 21 сутки. Количество упаковок в одной выемке, хранившихся при одной температуре и с одним видом плёнки — 2 штуки.

Было проведено 2 серии параллельных испытаний в идентичных условиях.

2.2. Содержание растворимых сухих веществ

Содержание растворимых сухих веществ в плодовых телах определяли с помощью рефрактометра Аббе (ATAGO, Япония) по методике, установленной ГОСТ ISO 2173-2013¹. Для этого грибы предварительно измельчали и экстрагировали жидкую фазу через фильтрующий материал. Полученный фильтрат наносили на призму рефрактометра и проводили измерение в соответствии с инструкцией к прибору.

2.3. Определение влажности

Влажность плодовых тел измеряли ускоренным термogrавиметрическим методом с применением нагрева инфракрасным излучением посредством анализатора влажности Sartorius MA35 (Sartorius, Германия). Измельчённую до порошкообразного состояния навеску массой 1,5–2 г наносили на предварительно взвешенный фильтр из стекловолокон. Кювету из алюминиевой фольги также предварительно взвешивали. Затем кювету вместе с подготовленной навеской помещали в держатель анализатора, устанавливали температуру нагрева 120°C и запускали измерение. Регистрация изменения массы в процессе высушивания производилась в автоматическом режиме. По достижении постоянной массы навески испытание автоматически прекращалось.

2.4. Определение плотности

Плотность (упругость) ткани гриба измеряли пенетрометрическим методом с применением пенетromетра плодового FR-5120 (Lutron, Тайвань). Измерение проводили равномерным погружением наконечника диаметром 0,2 см в срединную часть шляпки гриба в течение 2–3 секунд. Пенетрометр показывает на дисплее выраженное в килограммах усилие, оказываемое на поверхность шляпки. Плотность ткани гриба (P , кг/см²) рассчитывали по формуле:

$$P = 4N/\pi d^2 \quad (1)$$

где N — показания пенетromетра, кг;

d — диаметр наконечника, см.

2.5. Измерение газового состава

Газовый состав внутри упаковок определяли с помощью многокомпонентного газоанализатора МАГ-6 П-У (АО «Эксис», Россия), предназначенного для измерения объемной доли кислорода и диоксида углерода. Пробы из упаковки отбирали путем прокалывания плёнки и погружения пробоотборной иглы, соединенной газосбор-

¹ ГОСТ ISO 2173-2013 ««Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ» М.: Стандартинформ, 2019. — 13 с.

ной трубкой с входным штуцером прибора. Газоанализатор производит непрерывный забор газа, анализирует данные от встроенных сенсоров и индуцирует значение объемной доли газов в процентах. Результаты измерений отображаются на экране прибора. Измерение содержания кислорода производится посредством электрохимических сенсоров, пропорционально преобразующих парциальное давление газов в ток. Измерение содержания диоксида углерода производится посредством инфракрасных сенсоров, измеряющих поглощение электромагнитной волны специфической длины для анализируемого вещества.

2.6. Контроль температуры и влажности

Температуру и влажность в холодильных камерах при хранении упаковок с шампиньонами контролировали и фиксировали с помощью регистратора температуры и влажности модели DT-172 (CEM, Китай). Регистратор позволяет контролировать и фиксировать измеряемые значения в течение длительного периода времени. Показания сохраняются на компьютер через программу для чтения и переноса данных.

2.7. Исследование органолептических показателей

Органолептические показатели исследовали профилно-дескрипторным методом, в соответствии с ГОСТ ISO 16779-2017² и ГОСТ ISO 13299-2015³. Система дескрипторов была разработана по результатам исследований прошлых лет [24, 29]. Дескрипторная модель включает в себя 12 дескрипторов, объединённых в 4 кластера: «внешний вид», «цвет», «структура», «запах». Дескрипторы представляют собой органолептические характеристики шампиньонов, подверженные изменению вследствие биохимических процессов, протекающих при хранении. Дескрипторная модель представлена на Рисунке 1. Квалиметрическая шкала отражает степень наблюдаемых изменений, где оценка «5» соответствует отсутствию изменений, а оценка «0» — полной потере потребительских свойств (Таблица 1).

Для проведения испытаний была сформирована дегустационная комиссия из 7 сотрудников лаборатории. Квалиметрические оценки по каждому из испытуемых образцов фиксировали в дегустаци-

Таблица 1. Квалиметрическая шкала для органолептической оценки свежих культивируемых *Agaricus bisporus*

Table 1. Qualimetric scale for organoleptic evaluation of fresh cultivated *Agaricus bisporus*

Оценка, баллы	Описание
5	признаки порчи отсутствуют, органолептические характеристики полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 56827-2015
4	присутствуют незначительные естественные изменения, не влияющие на пригодность к употреблению
3	более выраженные естественные изменения; пригодны к употреблению или переработке
2	сильно выраженные естественные изменения; пригодны к переработке при определённых условиях
1	значительные естественные изменения; для оценки возможности переработки необходимы дополнительные испытания
0	порча, признаки гниения; непригодно для употребления и переработки

онных листах единого формата. Обработка результатов дегустации включает в себя составление органолептических профилей на основании средних оценок по кластерам «внешний вид», «структура», «цвет», «запах цельного гриба» и «запах на разрезе».

Среднюю квалиметрическую оценку для каждого из кластеров (K) рассчитывали по формуле:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i}{3} \quad (2)$$

где D_i — средняя квалиметрическая оценка по дескриптору.

Площадь полученных профилей (S_p) рассчитывали по формуле:

$$S_p = \left(0,5 \sin \frac{2\pi}{5}\right) (K_1 K_2 + K_2 K_3 + K_3 K_4 + K_4 K_5 + K_5 K_1) \quad (3)$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 — средние квалиметрические оценки по каждому из кластеров.

2.8. Статистический анализ

Статистический анализ полученных экспериментальных данных осуществляли при помощи программного обеспечения Microsoft Excel, в т. ч. посредством надстройки «Пакет анализа данных». Расчёты проводили для объединённых данных из 2 серий параллельных испытаний.

По каждой из выемок (точек) для определяемых маркёров (показателей) были рассчитаны:

- средние значения — посредством встроенной функции «СРЗНАЧ»;
- стандартные (средние квадратические) отклонения — посредством встроенной функции «СТАНДОТКЛОН.В»;
- коэффициент вариации ($V, \%$) по формуле:

$$V = \frac{\delta}{\bar{X}} \times 100\% \quad (4)$$

где δ — стандартное отклонение;

$\bar{X}$ — среднее значение.

- доверительный интервал — посредством встроенной функции «ДОВЕРИТ.НОРМ» (при доверительной вероятности 0,95).

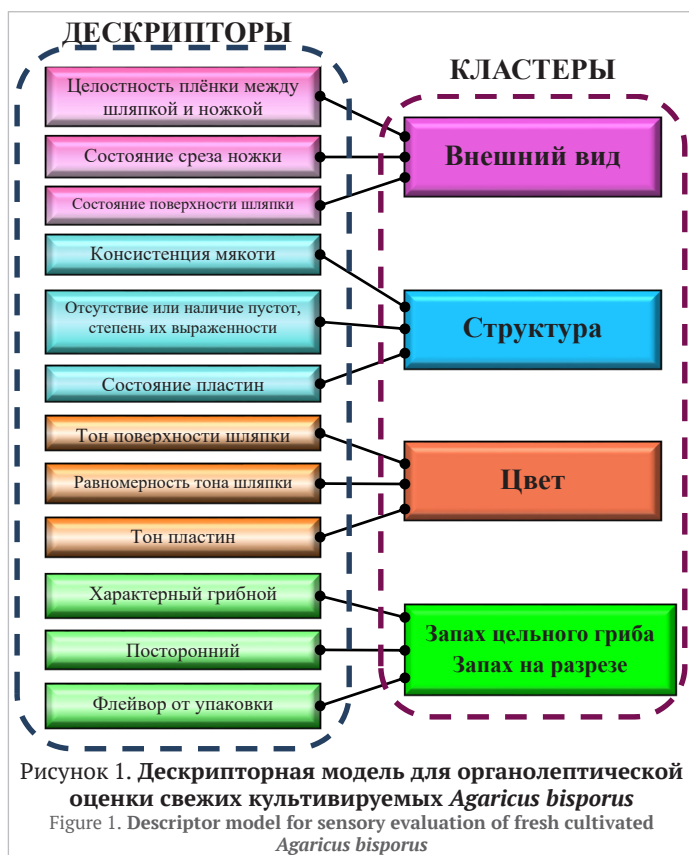
Проверку статистической значимости различий между полученными средними значениями для двух выемок (точек) проводили с помощью парного t-теста (Стьюдента) при уровне значимости 0,05, с использованием инструмента анализа данных «Парный двухвыборочный t-тест для средних».

Количество повторностей для каждой из выемок (точек), в зависимости от определяемых маркёров, представлено в Таблице 2.

Для оценки характера динамики исследованных маркёров качества были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (r_{xy}) посредством инструмента анализа данных «Корреляция».

Для маркёров, динамика которых характеризуется высокой теснотой линейной связи (при $|r_{xy}| > 0,7$; в соответствии с правилом Чеддока), а также установлены статистически значимые различия между выемками (точками) на 0 и 21 сутки, были выведены уравнения линейной регрессии, коэффициенты для которых были рассчитаны посредством инструмента анализа данных «Регрессия».

Значимость влияния вида упаковочной плёнки и температуры хранения на динамику маркёров качества *Agaricus bisporus* оценивали посредством дисперсионного анализа (ANOVA), с применением



² ГОСТ ISO 16779-2017 «Органолептический анализ. Оценка (определение и верификация) срока годности пищевой продукции» М.: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

³ ГОСТ ISO 13299-2015 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля» М.: Стандартинформ, 2016. — 28 с.

Таблица 2. Количество повторностей
Table 2. Number of repetitions

Наименование маркёра	Кол-во серий испытаний, шт.	Кол-во упаковок в одной выемке, шт.	Повторностей на 1 упаковку, шт.	Всего повторностей, шт.
Органолептические показатели ¹	2	2	35 ²	140
Содержание растворимых сухих веществ	2	2	3	12
Плотность ткани гриба	2	2	5	20
Влажность	2	2	2	8

Примечание: ¹ для каждого из дескрипторов; ² по 5 оценок от каждого из 7 дегустаторов.

инструмента «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями». В качестве данных для ANOVA использовали разность между значениями маркёров на 0 и 21 сутки (Δ_X), рассчитанную по формуле:

$$\Delta_X = \bar{X}_0 - \bar{X}_{21} \tag{5}$$

где $\bar{X}_0, \bar{X}_{21}$ — средние значения маркёров на 0 и 21 сутки хранения, соответственно.

Взаимосвязь между динамикой различных исследованных маркёров оценивали посредством инструмента анализа данных «Корреляция».

3. Результаты и обсуждение

В Таблице 3 приведены расчётные данные по исследованным физико-химическим маркёрам качества *Agaricus bisporus*; в Таблице 4 — абсолютные значения t-критерия для пар точек на 0 и 21 сутки.

Таблица 3. Физико-химические маркёры качества *Agaricus bisporus*
Table 3. Physicochemical quality markers of *Agaricus bisporus*

Сутки	Исследуемые маркёры											
	Влажность плодовых тел, %				Содержание растворимых сухих веществ, %				Плотность ткани гриба, кг/см ²			
	X _{AV} ¹	S ²	V, % ³	ε ⁴	X _{AV}	S	V, %	ε	X _{AV}	S	V, %	ε
Упаковочная плёнка — BOPP перфорированная; температура хранения t = 2 °C												
0	91,73	1,31	1,43	0,91	7,43	0,73	9,76	0,41	26,08	5,34	20,48	2,34
3	91,55	0,86	0,94	0,59	7,03	0,70	9,89	0,39	21,23	3,09	14,54	1,35
8	91,66	0,69	0,76	0,48	6,75	0,61	9,10	0,35	22,18	3,21	14,46	1,41
13	91,16	0,70	0,77	0,49	7,22	0,61	8,41	0,34	20,53	3,46	16,84	1,52
16	90,81	1,69	1,87	1,17	7,24	1,41	19,47	0,80	20,65	3,35	16,22	1,47
21	90,17	0,50	0,55	0,34	7,95	0,41	5,21	0,23	21,00	2,80	13,31	1,23
Упаковочная плёнка — BOPP перфорированная; температура хранения t = 6 °C												
0	91,73	1,31	1,43	0,91	7,43	0,73	9,76	0,41	26,08	5,34	20,48	2,34
3	92,20	0,28	0,30	0,19	6,40	0,26	4,11	0,15	21,46	2,69	12,54	1,18
8	92,16	0,54	0,59	0,38	6,03	0,42	6,90	0,24	21,89	3,22	14,71	1,41
13	91,31	0,95	1,04	0,66	6,22	0,50	8,08	0,28	21,19	3,52	16,61	1,54
16	91,67	0,72	0,78	0,50	5,73	0,29	5,11	0,17	19,33	3,59	18,55	1,57
21	91,01	1,00	1,10	0,70	6,26	0,61	9,74	0,34	17,80	3,19	17,94	1,40
Упаковочная плёнка — PE; температура хранения t = 2 °C												
0	91,73	1,31	1,43	0,91	7,43	0,73	9,76	0,41	26,08	5,34	20,48	2,34
3	91,70	0,51	0,56	0,35	6,98	0,35	4,99	0,20	21,16	3,87	18,29	1,70
8	91,67	0,75	0,81	0,52	6,84	0,63	9,19	0,36	21,54	2,19	10,15	0,96
13	92,12	0,63	0,69	0,44	6,48	0,52	8,08	0,30	19,82	2,86	14,40	1,25
16	91,88	0,57	0,62	0,39	6,50	0,36	5,60	0,21	17,99	3,28	18,25	1,44
21	92,08	0,45	0,48	0,31	6,22	0,19	3,13	0,11	17,15	3,32	19,39	1,46
Упаковочная плёнка — PE; температура хранения t = 6 °C												
0	91,73	1,31	1,43	0,91	7,43	0,73	9,76	0,41	26,08	5,34	20,48	2,34
3	92,11	0,55	0,60	0,38	6,48	0,14	2,10	0,08	21,11	3,29	15,59	1,44
8	92,19	0,41	0,45	0,29	6,22	0,19	3,05	0,11	20,11	3,63	18,05	1,59
13	92,36	0,59	0,64	0,41	5,88	0,32	5,44	0,18	17,25	3,60	20,86	1,58
16	92,89	0,50	0,54	0,34	5,31	0,55	10,27	0,31	16,16	3,84	23,74	1,68
21	93,14	0,29	0,31	0,20	5,18	0,57	11,00	0,32	14,76	3,54	23,98	1,55

Примечание: ¹ X_{AV} — среднее значение; ² S — стандартное отклонение; ³ V — коэффициент вариации; ⁴ ε — доверительный интервал.

Таблица 4. Парный t-критерий для выемок на 0 и 21 сутки
Table 4. Paired t-test for 0 and 21 day samples

Значение t-критерия	Исследуемые маркёры		
	Влажность плодовых тел, %	Содержание растворимых сухих веществ, %	Плотность ткани гриба, кг/см ²
Упаковочная плёнка — BOPP перфорированная; температура хранения t = 2 °C			
расчётное	3,95	3,67	4,03
критическое	2,36	2,20	2,09
Упаковочная плёнка — BOPP перфорированная; температура хранения t = 6 °C			
расчётное	3,97	10,03	5,99
критическое	2,36	2,20	2,09
Упаковочная плёнка — PE; температура хранения t = 2 °C			
расчётное	0,88	4,78	9,69
критическое	2,36	2,20	2,09
Упаковочная плёнка — PE; температура хранения t = 6 °C			
расчётное	3,23	6,84	11,01
критическое	2,36	2,20	2,09

Из расчётных значений коэффициента вариации (менее 33%) следует, что полученные экспериментальные данные по выемкам для каждого из физико-химических маркёров качества, представляют собой однородные совокупности. Таким образом, уровни маркёров для каждой из точек (выемок) могут быть охарактеризованы расчётным средним значением. Расчётное значение парного t-критерия для выемок на 0 и 21 сутки у всех исследованных маркёров превышает критическое значение (Таблица 4), т. е. изменения уровней маркёров в процессе хранения являются значимыми.

В Таблице 5 представлены расчётные значения коэффициентов корреляции Пирсона, указывающих на характер тесноты линейной связи физико-химических маркёров качества и продолжительности хранения *Agaricus bisporus*.

Таблица 5. Расчётные значения коэффициентов корреляции Пирсона для определения характера динамики физико-химических маркёров качества
Table 5. Calculated values of Pearson correlation coefficients for determining the nature of the dynamics of physicochemical quality markers

Условия хранения	Температура хранения, °С	r _{xy}		
		Влажность плодовых тел	Содержание растворимых сухих веществ	Плотность ткани гриба
ВОРР перфорированная	2	-0,93	-0,51	-0,70
	6	-0,73	-0,67	-0,90
РЕ	2	0,78	-0,97	-0,92
	6	0,96	-0,96	-0,96

Из расчётных значений коэффициента корреляции следует, что для всех исследованных маркёров при всех условиях хранения (за исключением маркёра «содержание растворимых сухих веществ» при хранении в ВОРР-плёнке) характерна тесная линейная взаимосвязь между уровнем маркёра и продолжительностью хранения.

Уравнения линейной регрессии для маркёра «влажность» имеют вид:

$y = -0,07x + 91,89$ (6)

$y = -0,04x + 92,11$ (7)

$y = 0,06x + 91,76$ (8)

(6) — Упаковочная плёнка — ВОРР перфорированная; температура хранения t = 2 °С;

(7) — Упаковочная плёнка — ВОРР перфорированная; температура хранения t = 6 °С;

(8) — Упаковочная плёнка — РЕ; температура хранения t = 6 °С.

На Рисунке 2 представлены графики линейной регрессии для маркёра «влажность», построенные на основании уравнений (6) — (8), а также фактическая динамика маркёра, рассчитанная на основе средних значений, представленных в Таблице 3.

При хранении *Agaricus bisporus* в перфорированной ВОРР-плёнке коэффициент линейной регрессии и коэффициент корреляции имеют отрицательные значения, т. е. наблюдается уменьшение влажности плодовых тел в процессе хранения. При хранении в полиэтиленовой плёнке без перфорации наблюдается положительная динамика маркёра «влажность» (уравнения (6) — (8), Таблица 5). Выявленное различие обусловлено тем, что при хранении грибов в упаковке из перфорированной плёнки влага, в т. ч. выделяющаяся при дыхании, удаляется из объёма упаковки, а в случае отсутствия перфорации — частично сорбируется тканью гриба.

Уравнения линейной регрессии для маркёра «содержание растворимых сухих веществ» при хранении в полиэтиленовой плёнке имеют вид:

$y = -0,05x + 7,28$ (9)

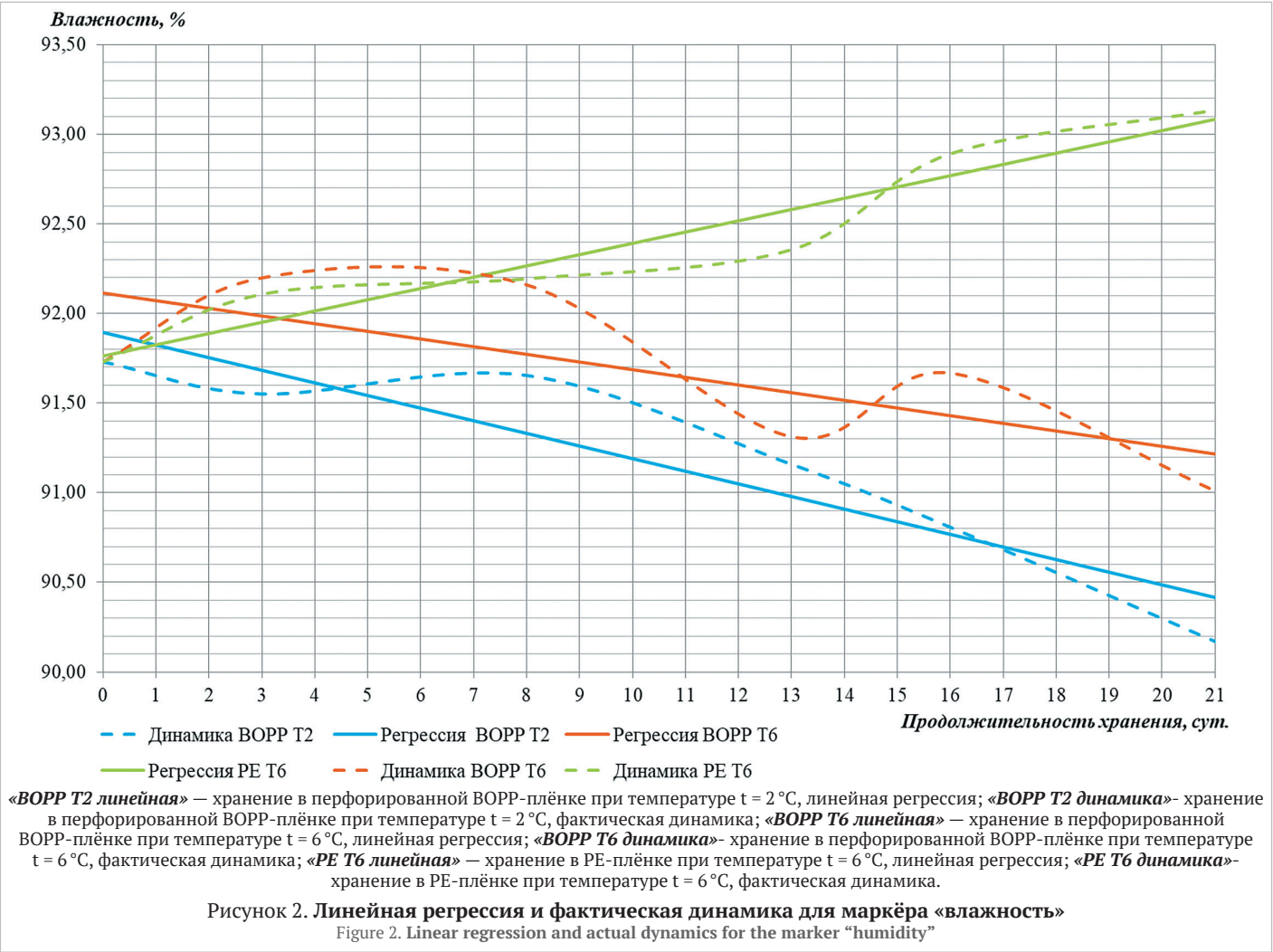
$y = -0,1x + 7,09$ (10)

(9) — температура хранения t = 2 °С

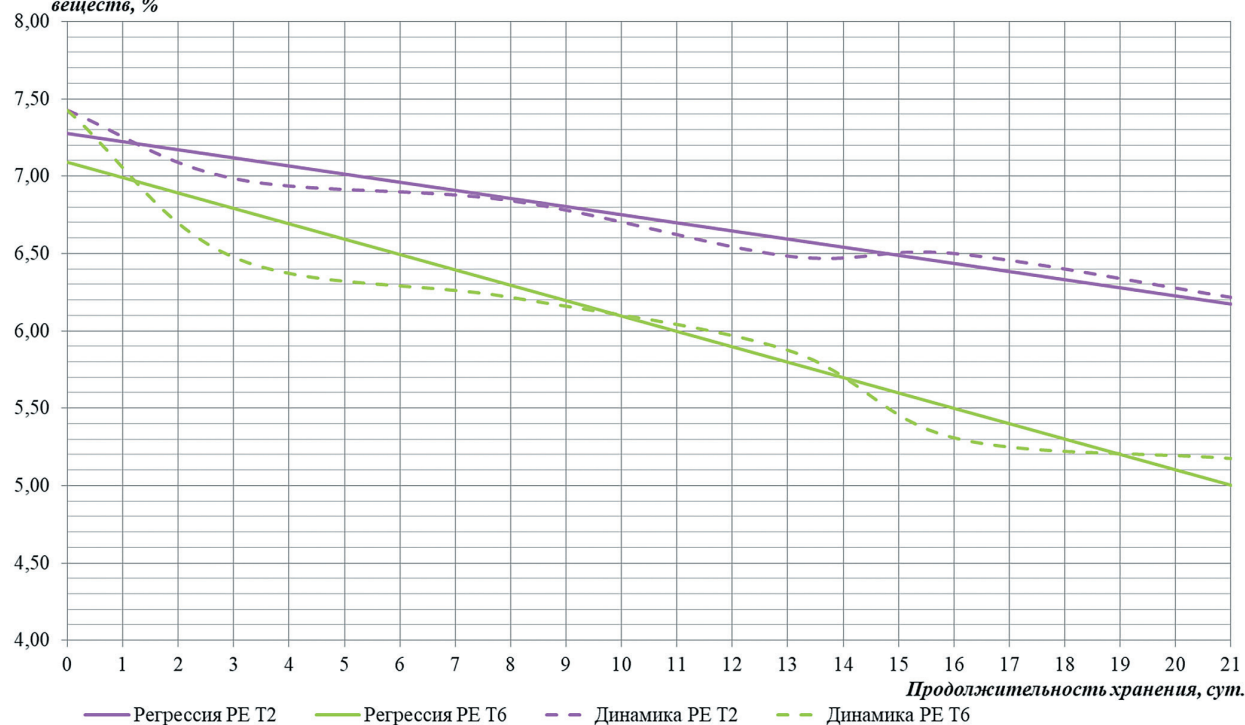
(10) — температура хранения t = 6 °С.

На Рисунке 3 представлены графики линейной регрессии для маркёра «содержание растворимых сухих веществ», построенные на основании уравнений (9) и (10), а также фактическая динамика маркёра, рассчитанная на основе средних значений, представленных в Таблице 3.

При хранении грибов в полиэтиленовой плёнке наблюдается отрицательная динамика по маркёру «содержание растворимых сухих веществ», что подтверждается расчётными значениями коэффициентов регрессии и корреляции (уравнения (9) и (10), Таблица 5). Снижение содержания растворимых сухих веществ объясняется их расходом на дыхание. Изменение содержания растворимых сухих веществ при хранении в упаковке из перфорированной ВОРР-плёнки имеет нелинейный характер (Таблица 5),



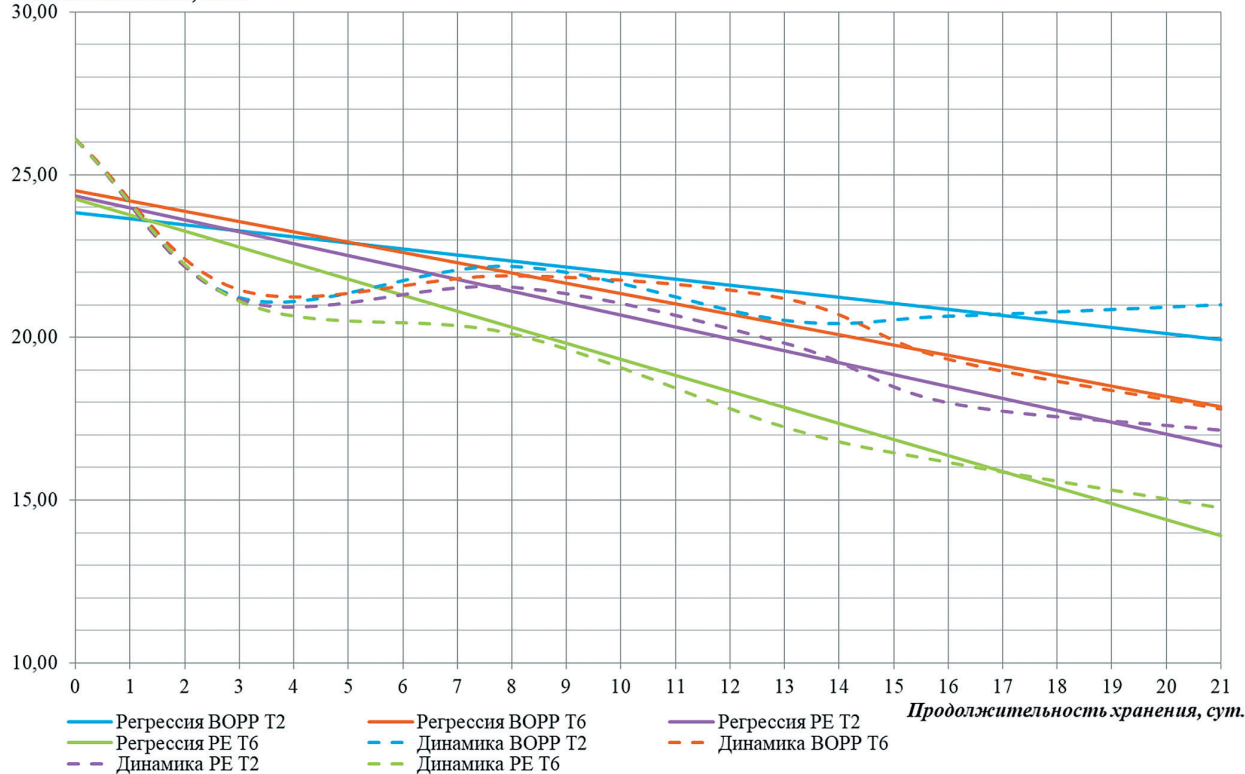
Содержание
растворимых сухих
веществ, %



«PE T2 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика; «PE T6 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика

Рисунок 3. Линейная регрессия и фактическая динамика для маркера «содержание растворимых сухих веществ»
Figure 3. Linear regression and actual dynamics for the marker “soluble solids content”

Плотность ткани, $\text{кг}/\text{см}^2$



«BOPP T2 линейная» — хранение в перфорированной BOPP-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «BOPP T2 динамика» — хранение в перфорированной BOPP-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика; «BOPP T6 линейная» — хранение в перфорированной BOPP-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «BOPP T6 динамика» — хранение в перфорированной BOPP-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика; «PE T2 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика; «PE T2 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^{\circ}\text{C}$, фактическая динамика.

Рисунок 4. Линейная регрессия и фактическая динамика для маркера «плотность ткани гриба»
Figure 4. Linear regression and actual dynamics for the marker “mushroom tissue density”

что вероятно связано с потерей массы грибов вследствие транспирации.

Уравнения линейной регрессии для маркера «плотность ткани гриба» имеют вид:

$$y = -0,19x + 23,83 \quad (11)$$

$$y = -0,32x + 24,51 \quad (12)$$

$$y = -0,37x + 24,34 \quad (13)$$

$$y = -0,49x + 24,25 \quad (14)$$

(11) — Упаковочная плёнка — ВОРР перфорированная; температура хранения $t = 2^\circ\text{C}$;

(12) — Упаковочная плёнка — ВОРР перфорированная; температура хранения $t = 6^\circ\text{C}$;

(13) — Упаковочная плёнка — РЕ; температура хранения $t = 2^\circ\text{C}$

(14) — Упаковочная плёнка — РЕ; температура хранения $t = 6^\circ\text{C}$.

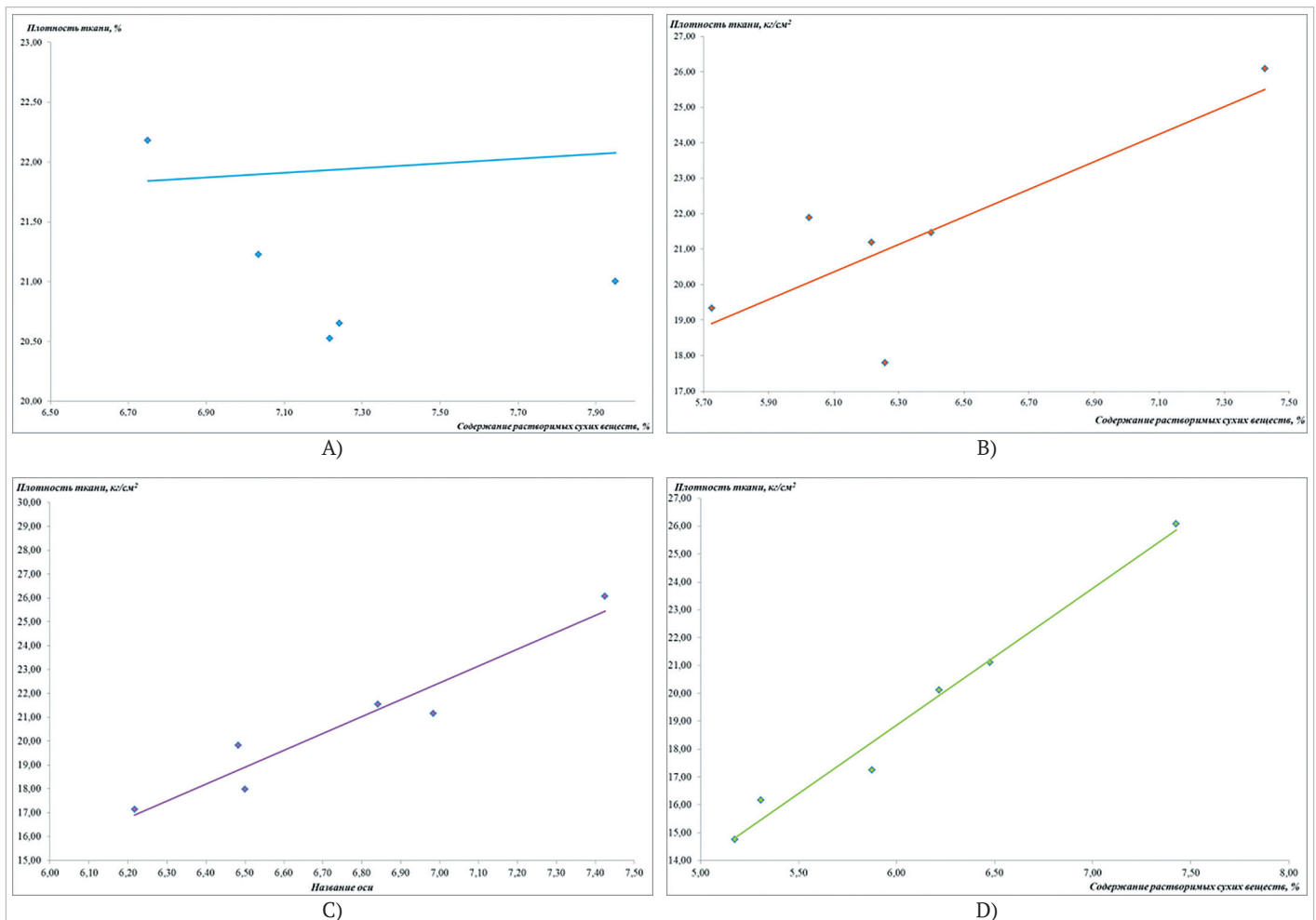
На Рисунке 4 представлены графики линейной регрессии для маркера «влажность», построенные на основании уравнений (11) — (14), а также фактическая динамика маркера, рассчитанная на основе средних значений, представленных в Таблице 3

При хранении *Agaricus bisporus* при всех исследованных условиях наблюдается отрицательная динамика плотности ткани гриба, что подтверждается рассчитанными значениями коэффициентов регрессии и корреляции (уравнения (11) — (14), Таблица 5).

Уменьшение плотности ткани при хранении объясняется расхождением на дыхание углеводов, образующих клеточную стенку грибов. Интенсивность дыхания, в свою очередь, увеличивается при повышении температуры хранения. Увеличение скорости изменения плотности ткани гриба при хранении в РЕ-плёнке можно объяснить тем, что влага, выделяющаяся вследствие дыхания, в отличие от перфорированной ВОРР-плёнки, не удаляется из объёма упаковки, а частично сорбируется плодовыми телами, что приводит к их дополнительному размягчению.

Значимое изменение текстуры (плотности, твёрдости) ткани для *Agaricus bisporus* при хранении в различных условиях, а также применение этого параметра для оценки и прогнозирования срока годности описано у нескольких авторов. У группы исследователей из Тебризского университета (Тебриз, Иран) и Института сельскохозяйственной инженерии и биоэкономики им. Лейбница (Потсдам, Германия) описано влияние предварительного охлаждения путём обдува воздухом при различных температурах и применения пассивной модифицированной газовой среды на изменение твёрдости шампиньонов в процессе хранения. Авторы сообщают, что наибольшее снижение твёрдости наблюдается у образцов, подвергнутых предварительному охлаждению, что связывают с большей потерей влаги при таком способе обработки [13]. Исследователи из Национального университета Кёнгпук (Тэгю, республика Корея) сообщают о том, что при хранении *Agaricus bisporus* в модифицированных газовых средах, содержащих N_2 , CO_2 и Ag в различных соотношениях, наблюдается значительно меньшая потеря твёрдости по сравнению с хранением в естественной атмосфере, что связано с торможением биохимических реакций вследствие пониженного содержания кислорода [11]. Группа исследователей из Объединённых Арабских Эмиратов при создании кинетических моделей на основе гиперспектральной визуализации, предназначенных для оценки послеуборочной хранимостепособности *Agaricus bisporus*, в качестве дополнительных параметров использовали изменения текстурных свойств, в т. ч. твёрдости (плотности) ткани грибов [31]. В одном из прошлых наших исследований было установлено, что показатель текстуры (плотность) целесообразно применять в качестве маркера, характеризующего деградацию ткани шампиньонов после обработки УФ-излучением и в процессе последующего хранения [23].

Результаты статистического анализа полученных экспериментальных данных (Рисунок 5, Таблица 6) подтверждают наличие тесной линейной связи (кроме хранения в перфорированной



А) — хранение в перфорированной ВОРР-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$; В) хранение в перфорированной ВОРР-плёнке при температуре $t = 6^\circ\text{C}$;
С) хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$; Д) хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$

Рисунок 5. Поле корреляции между маркерами «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба»
Figure 5. Correlation field between the markers “soluble dry matter content” and “mushroom tissue density”

Таблица 6. Расчётные значения коэффициентов корреляции Пирсона между содержанием растворимых сухих веществ и плотностью ткани гриба

Table 6. Calculated values of Pearson correlation coefficients between the content of soluble solids and the density of fungal tissue

Упаковочная плёнка	Температура хранения, °C	r_{xy}
ВОРР перфорированная	2	0,04
	6	0,80
РЕ	2	0,96
	6	0,99

ВОРР-плёнке при 2 ± 1 °C) между плотностью ткани гриба и содержанием растворимых сухих веществ.

При хранении в перфорированной ВОРР-плёнке, как при температуре 2 °C, так и при 6 °C, газовый состав внутри упаковки в процессе хранения остаётся без изменений, и соответствует составу атмосферного воздуха (содержание O_2 –20,5–20,6%; содержание CO_2 –0,02–0,05%). При хранении в РЕ-плёнке снижается содержание O_2 и, соответственно, увеличивается содержание CO_2 , т. е. формируется пассивная модифицированная газовая среда (МГС). При температуре хранения 2 °C содержание O_2 изменяется с 20,6% до 2,5%, а содержание CO_2 – с 0,02% до 4,5%. При температуре 6 °C содержание O_2 на 21 сутки хранения составляло 1,5%, содержание CO_2 –6,5%.

Таким образом, при использовании упаковки из перфорированной ВОРР-плёнки на протяжении всего срока хранения поддерживаются условия для аэробного дыхания, что способствует торможению процессов гниения. При хранении в РЕ-плёнке создаются условия для анаэробного дыхания и, следовательно, активируются процессы гниения.

В Таблице 7 представлены результаты двухфакторного дисперсионного анализа (уровень значимости $\alpha = 0,05$), характеризующие влияние упаковки и температуры хранения на динамику физико-химических маркёров качества *Agaricus bisporus*.

Для всех исследованных физико-химических маркёров качества подтверждается статистически значимое влияние на их динамику как вида упаковочной плёнки (наличие / отсутствие перфорации), так и температуры хранения. При этом, влияние взаимодействия

этих факторов статистически не подтверждается. Следовательно, маркёры «влажность плодовых тел», «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба» целесообразно использовать при разработке алгоритма выбора оптимальных условий хранения *Agaricus bisporus*.

На Рисунках 6–9 представлены органолептические профили *Agaricus bisporus*, хранившихся в различных условиях.

Расчётные значения коэффициентов корреляции Пирсона для динамики площади профилей составляют от 0,94 до 0,99, что указывает на линейный характер регрессии квалиметрических оценок. Уравнения линейной регрессии площади профилей имеют вид:

$$y = -2,26x + 52,67 \tag{15}$$

$$y = -2,44x + 47,90 \tag{16}$$

$$y = -2,29x + 50,58 \tag{17}$$

$$y = -2,32x + 44,00 \tag{18}$$

(15) – хранение при температуре 2 °C в перфорированной ВОРР-плёнке;

(16) – хранение при температуре 6 °C в перфорированной ВОРР-плёнке;

(17) – хранение при температуре 2 °C в РЕ-плёнке;

(18) – хранение при температуре 6 °C в РЕ-плёнке.

На Рисунке 10 представлены графики линейной регрессии площади органолептических профилей, построенные на основании уравнений (15) – (18), а также фактическая динамика маркёра, рассчитанная на основе средних значений.

Из Рисунка 10 следует, что скорость изменения площади профилей при хранении в РЕ-плёнке выше, чем при хранении в перфорированной ВОРР-плёнке. Выявленные различия объясняются развитием процессов гниения при хранении в РЕ-плёнке ввиду скопления влаги и увеличения концентрации углекислого газа внутри упаковки. При хранении в перфорированной ВОРР-плёнке наблюдается торможение гнилостных процессов ввиду удаления избытков влаги и углекислого газа из объёма упаковки. При повышении температуры от 2 °C до 6 °C скорость изменения площади профилей увеличивается, что объясняется ускорением метаболических процессов.

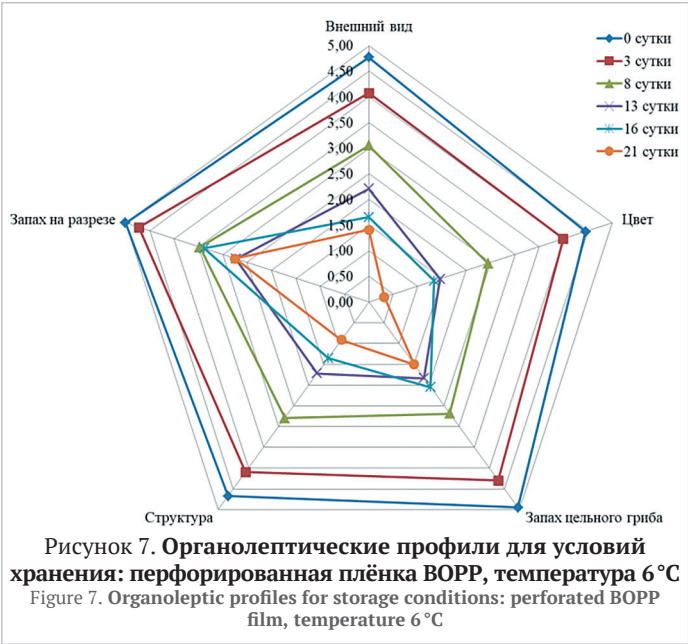
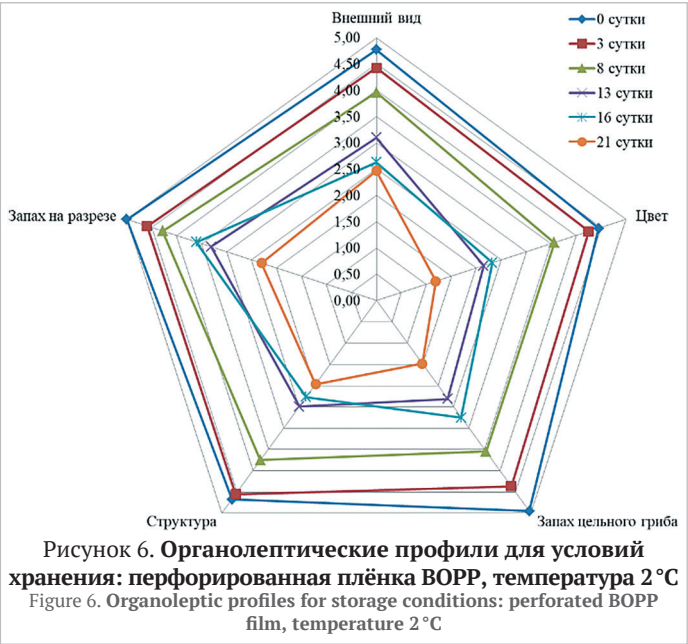
Была установлена взаимосвязь между динамикой органолептических показателей и физико-химических маркёров качества в процессе хранения *Agaricus bisporus*. В таблице 8 представлены

Таблица 7. Результаты дисперсионного анализа

Table 7. Analysis of variance

Маркёры	Факторы						F _{крит} ¹
	Упаковочная плёнка		Температура хранения		Взаимодействие		
	F _{расч} ²	Вклад, %	F _{расч}	Вклад, %	F _{расч}	Вклад, %	
Влажность плодовых тел	30,40	46,61	6,73	10,32	0,09	0,14	4,20
Содержание растворимых сухих веществ	41,95	31,35	46,18	34,51	1,68	1,25	4,06
Плотность ткани гриба	8,79	9,69	5,78	6,37	0,12	0,13	3,97

Примечание: ¹ $F_{крит}$ – критическое значение критерия Фишера; $F_{расч}$ – расчётное значение критерия Фишера.



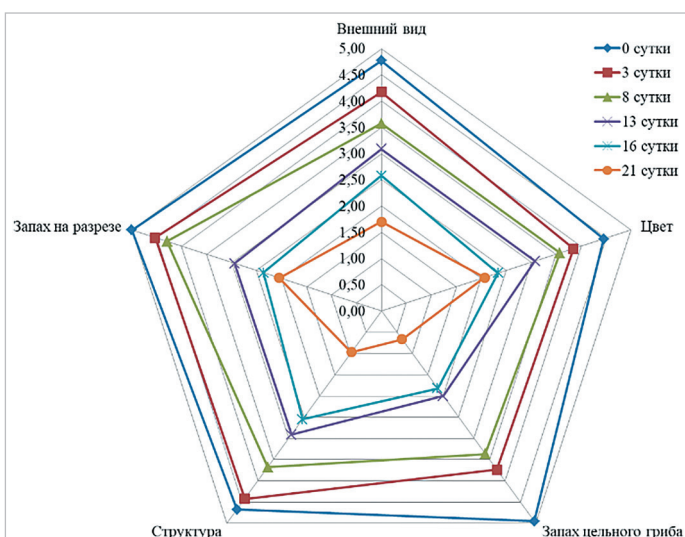


Рисунок 8. Органолептические профили для условий хранения: плёнка РЕ, температура 2 °С

Figure 8. Organoleptic profiles for storage conditions: PE film, temperature 2 °C

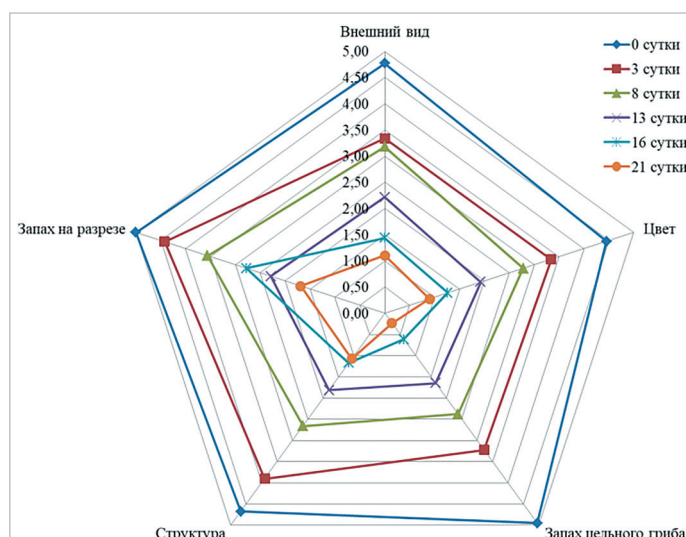
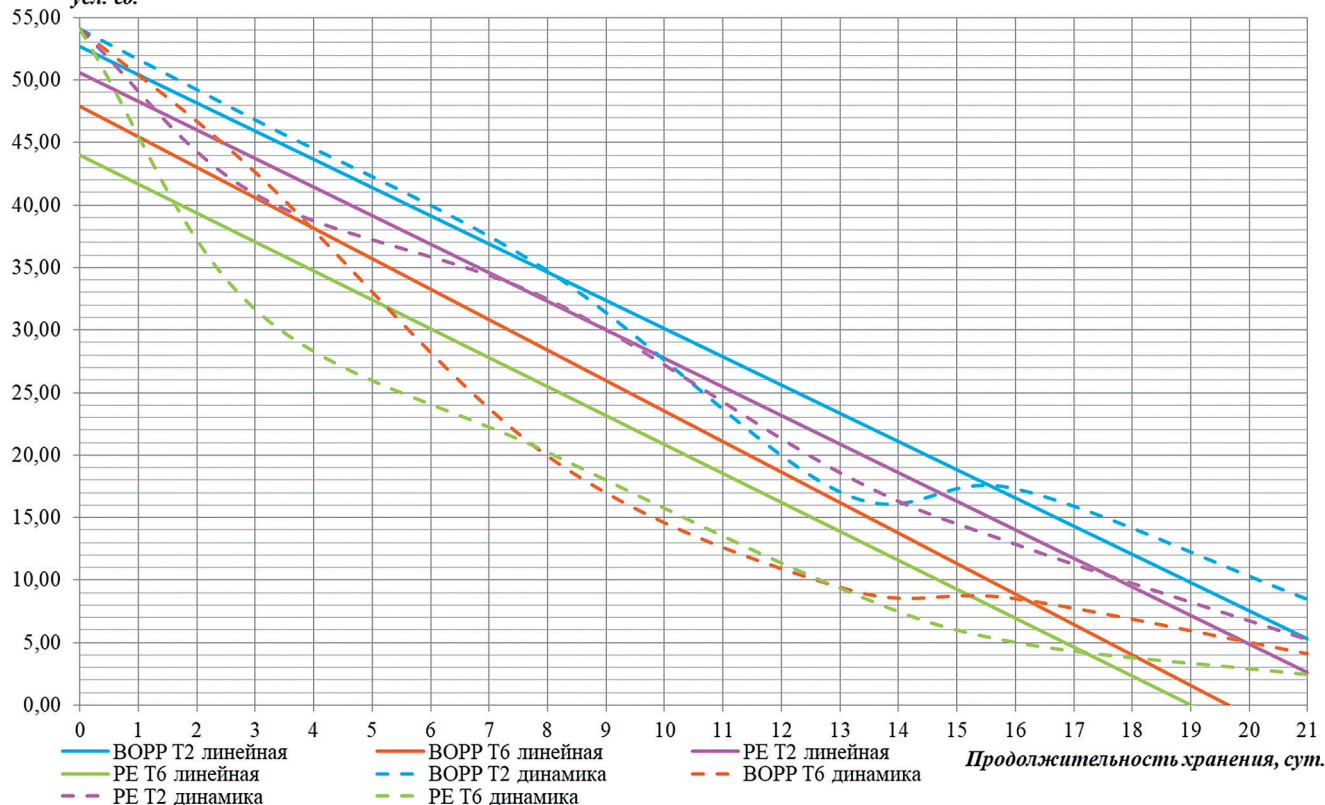


Рисунок 9. Органолептические профили для условий хранения: плёнка РЕ, температура 6 °С

Figure 9. Organoleptic profiles for storage conditions: PE film, temperature 6 °C

Площадь профилей,
усл. ед.



«BORP T2 линейная» — хранение в перфорированной BORP-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$, линейная регрессия; «BORP T2 динамика» — хранение в перфорированной BORP-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$, фактическая динамика; «BORP T6 линейная» — хранение в перфорированной BORP-плёнке при температуре $t = 6^\circ\text{C}$, линейная регрессия; «BORP T6 динамика» — хранение в перфорированной BORP-плёнке при температуре $t = 6^\circ\text{C}$, фактическая динамика; «PE T2 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 2^\circ\text{C}$, фактическая динамика; «PE T6 линейная» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^\circ\text{C}$, линейная регрессия; «PE T6 динамика» — хранение в РЕ-плёнке при температуре $t = 6^\circ\text{C}$, фактическая динамика.

Рисунок 10. Линейная регрессия и фактическая динамика площади органолептических профилей

Figure 10. Linear regression and actual dynamics of the area of organoleptic profiles

расчётные значения коэффициента корреляции Пирсона для пар «сенсорные характеристики — маркёры качества» при различных условиях хранения.

Для маркёра «влажность» выявлена тесная корреляция с сенсорными характеристиками при всех условиях хранения: расчётное значение коэффициентов Пирсона (0,59–0,97) указывает на линейный характер взаимосвязи между квалитетными оценками и этим показателем. Для маркёра «плотность ткани гриба» линей-

ная взаимосвязь с квалитетными оценками также установлена при всех условиях хранения — значения расчётного коэффициента корреляции составляют 0,65–0,99. Для маркёра «содержание растворимых сухих веществ» также характерна линейная взаимосвязь с сенсорными оценками (значения коэффициента Пирсона — от 0,69 до 1,00), за исключением хранения в перфорированной плёнке BORP при 2°C , что можно объяснить отсутствием линейной взаимосвязи между этим маркёром и продолжительностью хранения (Таблица 5).

Таблица 8. Расчётные значения коэффициентов корреляции Пирсона между сенсорными характеристиками и физико-химическими маркерами качества

Table 8. Calculated values of Pearson correlation coefficients between sensory characteristics and physicochemical quality markers

Кластеры / маркёры	Влажность	Растворимые сухие вещества	Плотность ткани
Плётка ВОРР перфорированная; T = 2 °C			
Внешний вид	0,91	0,47	0,72
Цвет	0,92	0,58	0,65
Запах цельного гриба	0,88	0,49	0,72
Структура	0,88	0,48	0,68
Запах на разрезе	0,93	0,62	0,66
Площадь профилей	0,88	0,44	0,74
Плётка ВОРР перфорированная; T = 6 °C			
Внешний вид	0,64	0,77	0,89
Цвет	0,71	0,69	0,86
Запах цельного гриба	0,63	0,77	0,84
Структура	0,68	0,74	0,87
Запах на разрезе	0,65	0,69	0,76
Площадь профилей	0,59	0,81	0,85
Плётка РЕ; T = 2 °C			
Внешний вид	0,73	0,97	0,93
Цвет	0,70	0,95	0,95
Запах цельного гриба	0,81	0,99	0,95
Структура	0,78	0,93	0,86
Запах на разрезе	0,81	0,95	0,91
Площадь профилей	0,77	0,99	0,95
Плётка РЕ; T = 6 °C			
Внешний вид	0,97	0,99	0,99
Цвет	0,96	0,99	0,99
Запах цельного гриба	0,96	1,00	0,99
Структура	0,92	0,97	0,97
Запах на разрезе	0,88	0,92	0,95
Площадь профилей	0,90	0,98	0,99

Наличие тесной линейной взаимосвязи между динамикой сенсорных характеристик и продолжительностью хранения *Agaricus bisporus* (коэффициент корреляции — 0,90–1,00) также показано в нашей ранее опубликованной статье [32].

Таким образом, подтверждена применимость показателей «содержание растворимых сухих веществ», «плотность ткани гриба» и «влажность» как маркёров изменения качества шампиньонов в процессе хранения в различных условиях.

4. Выводы

1. Динамика исследованных критериев оценки (маркёров) качества *Agaricus bisporus* «влажность плодовых тел», «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба» в процессе хранения имеет линейный характер, либо близкий к линейному (расчётный коэффициент корреляции Пирсона составляет от 0,51 до 0,96).
2. При разработке алгоритма выбора оптимальных условий хранения *Agaricus bisporus* целесообразно применение исследованных критериев (маркёров): влажность плодовых тел, содержание растворимых сухих веществ, плотность грибной ткани, т. к. они в полной мере характеризуют изменение качества грибов в процессе хранения.
3. Подтверждено статистически значимое влияние упаковочного материала на динамику критериев (маркёров) качества грибов «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба». При хранении в упаковке из полиэтиленовой (РЕ) плёнки наблюдается более интенсивное снижение уровня этих критериев. Это связано с формированием условий для анаэробного дыхания и накоплением выделяющейся влаги, что приводит к активизации процессов гниения. При хранении в перфорированной плёнке из ориентированного полипропилена (ВОРР) поддерживаются условия для аэробного дыхания и транспирации влаги, что способствует торможению процессов гниения.
4. Выявлено влияние температуры хранения на динамику критериев (маркёров) качества грибов «содержание растворимых сухих веществ» и «плотность ткани гриба»: при увеличении температуры хранения наблюдается более интенсивное снижение уровня этих критериев, что связано с увеличением интенсивности дыхания и, следовательно, скорости метаболизма.
5. Установлена корреляционная зависимость между динамикой органолептических и физико-химических показателей, что подтверждает применимость параметров «содержание растворимых сухих веществ», «плотность ткани гриба» и «влажность» в качестве маркёров качества *Agaricus bisporus*.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Kalač, P. (2012). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 209–218. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5960>

2. Rizzo, G., Goggi, S., Giampieri, F., Baroni, L. (2021). A review of mushrooms in human nutrition and health. *Trends in Food Science and Technology*, 117, 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.025>

3. Muszyńska, B., Grzywacz-Kisiełewska, A., Kała, K., Gdula-Argasińska, J. (2018). Anti-inflammatory properties of edible mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 243, 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.149>

4. Лисицын А. Б., Чернуха И. М., Никитина М. А. (2023). Разработка персонализированного рациона питания методом структурной оптимизации. *Пищевые системы*, 6(1), 64–71. [Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Nikitina, M. A. (2023). Development of a personalized diet using the structural optimization method. *Food Systems*, 6(1), 64–71. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-64-71>

5. El-Ramady, H., Abdalla, N., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P. et al. (2022). Edible mushrooms for sustainable and healthy human food: Nutritional and medicinal attributes. *Sustainability*, 14(9), Article 4941. <https://doi.org/10.3390/su14094941>

6. Zhang, K., Pu, Y.-Y., Sun, D.-W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science and Technology*, 78, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>

7. Li, Y., Ding, S., Kitazawa, H., Wang, Y. (2022). Storage temperature effect on quality related with cell wall metabolism of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) and its modeling. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, Article 100865. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100865>

8. Guo, Y., Chen, X., Gong, P., Deng, Z., Qi, Z., Wang, R. et al. (2023). Recent advances in quality preservation of postharvest golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(12), 5647–5658. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12603>

9. Priss, O., Yevlash, V., Zhukova, V., Kiurchev, S., Verkholtantseva, V., Kalugina, I. et al. (2017). Investigation of the respiration rate during storage of fruit vegetables under the influence of abiotic factors. *EUREKA: Life Sciences*, 6, 10–15. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00494>

10. Pretzler, M., Rempel, A. (2024). Mushroom tyrosinase: Six isoenzymes catalyzing distinct reactions. *ChemBioChem*, 25(14), Article e202400050. <https://doi.org/10.1002/cbic.202400050>

11. Park, D. H., Park, J. J., Olawuyi, I. F., Lee, W. Y. (2020). Quality of White mushroom (*Agaricus bisporus*) under argon- and nitrogen-based controlled atmosphere storage. *Scientia Horticulturae*, 265, Article 109229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109229>

12. Djekic, I., Vunduk, J., Tomašević, I., Kozarski, M., Petrovic, P., Niksic, M. et al. (2017). Application of quality function deployment on shelf-life analysis of *Agaricus bisporus* Portobello. *LWT*, 78, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.036>

13. Salamat, R., Ghassemzadeh, H. R., Ranjbar, F., Jalali, A., Mahajan, P., Herppich, W. B. et al (2020). The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Packaging and Shelf Life*, 23, Article 100448. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100448>

14. Han Lyn, F., Maryam Adilah, Z. A., Nor-Khaizura, M. A. R., Jamilah, B., Nur Hanani, Z. A. (2020). Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Food Packaging and Shelf Life*, 23, Article 100451. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100451>

15. Ghidelli, C., Pérez-Gago, M. B. (2017). Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(4), 662–679. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1211087>

16. Ухарцева, И. Ю., Цветкова, Е. А., Гольдаде, В. А. (2019). Полимерные упаковочные материалы для пищевой промышленности: классификация, функции и требования (обзор). *Пластические массы*, 9–10, 56–64. [Ukhartseva, I. Yu, Tsvetkova, Ye. A., Gol'dade, V. A. (2019). Polymer packaging materials for the food industry: Classification, functions and requirements. *Plastic Masses*, 9–10, 56–64. (In Russian)] <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-56-64>

17. Chen, C., Chen, W., Dai, F., Yang, F., Xie, J. (2022). Development of packaging films with gas selective permeability based on poly(butylene adipate-co-terephthalate)/poly(butylene succinate) and its application in the storage of white

- mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Food and Bioprocess Technology*, 15(6), 1268–1283. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02794-4>
18. Батаева, Д. С., Грудистова, М. А., Насыров, Н. А., Стаханова, О. А. (2022). Упаковка как важнейший элемент обеспечения срока годности пищевой продукции. *Все о мясе*, 3, 40–43. [Bataeva, D. S., Grudistova, M. A., Nasyrov, N. A., Stakhanova, O. A. (2022). Packaging as an important element for ensuring food shelf life. *Vsyo o Myase*, 3, 44–47. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-3-44-47>
 19. Zhou, Z., Han, P., Bai, S., Ma, N., Fang, D., Yang, W. et al. (2022). Caffeic acid-grafted-chitosan/poly(lactic acid) film packaging enhances the postharvest quality of *Agaricus bisporus* by regulating membrane lipid metabolism. *Food Research International*, 158, Article 111557. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111557>
 20. Qu, P., Zhang, M., Fan, K., Guo, Z. (2020). Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1811635>
 21. Ahmed, M. E. M., Mohamed, M. A. A., AlBallat, I. A., Nomir, K. A. I. (2020). Effect of packaging type and perforation rate on storability and quality of common beans pods: — A — physical properties. *Menoufia Journal of Plant Production*, 5(9), 451–463. <https://doi.org/10.21608/mjppf.2020.172386>
 22. Lwin, H. P., Lee, J., Lee, J. (2022). Perforated modified atmosphere packaging differentially affects the fruit quality attributes and targeted major metabolites in bell pepper cultivars stored at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, 301, Article 111131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111131>
 23. Кондратенко, В. В., Посокина, Н. Е., Федянина, Н. И., Карастоянова, О. В., Коровкина, Н. В. (2022). Показатели качества *Agaricus bisporus* после обработки УФ-излучением. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 762–774. [Kondratenko, V. V., Posokina, N. E., Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V. (2022). Quality indicators of *Agaricus bisporus* after ultraviolet treatment. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 762–774. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>
 24. Посокина, Н. Е., Бессараб, О. В., Карастоянова, О. В., Протункевич, И. В. (2022). Разработка алгоритма сенсорного анализа для оценки срока годности королевских шампиньонов с применением лексикона дескрипторов. *Пищевая промышленность*, 10, 84–89. [Posokina, N. E., Bessarab, O. V., Karastoyanova, O. V., Protunkevich, I. V. (2022). Development of a sensory analysis algorithm for assessing the shelf life of royal champignons using a lexicon of descriptors. *Food Industry*, 10, 84–89. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.10.1019>
 25. Walkowiak-Tomczak, D., Idaszewska, N., Bieńczyk, K., Kómocho, W. (2020). The effect of mechanical actions occurring during transport on physicochemical changes in *Agaricus bisporus* mushrooms. *Sustainability*, 12(12), Article 4993. <https://doi.org/10.3390/su12124993>
 26. Xiao, K., Liu, Q., Wang, L., Zhang, B., Zhang, W., Yang, W. et al. (2020). Prediction of soluble solid content of *Agaricus bisporus* during ultrasound-assisted osmotic dehydration based on hyperspectral imaging. *LWT*, 122, Article 109030. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109030>
 27. Song, Y., Hu, Q., Wu, Y., Pei, F., Kimatu, B. M., Su, A. et al. (2018). Storage time assessment and shelf-life prediction models for postharvest *Agaricus bisporus*. *LWT*, 101, 360–365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.020>
 28. Aisala, H., Laaksonen, O., Manninen, H., Raittola, A., Hopia, A., Sandell, M. (2018). Sensory properties of Nordic edible mushrooms. *Food Research International*, 109, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.059>
 29. Посокина, Н. Е., Бессараб, О. В., Карастоянова, О. В., Коровкина, Н. В. (2022). Применение дескрипторно-профильного метода для органолептической оценки хранимостоспособности грибов *Agaricus Bisporus*. *Вестник КрасГАУ*, 7, 154–163. [Posokina, N. E., Bessarab, O. V., Karastoyanova, O. V., Korovkina, N. V. (2023). The description-profile method application for the organoleptic assessment of the storage capability of *Agaricus bisporus* mushrooms. *Bulliten KrasSAU*, 7, 154–163. (In Russian)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-154-163>
 30. Wang, J., Chen, J., Hu, Y., Hu, H., Liu, G., Yan, R. (2017). Application of a predictive growth model of *Pseudomonas* spp. for estimating shelf life of fresh *Agaricus bisporus*. *Journal of Food Protection*, 80(10), 1676–1681. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-17-055>
 31. Nazir, A., Aldhaheer, M., Mudgil, P., Marpu, P., Kamal-Eldin, A. (2022). Hyperspectral imaging based kinetic approach to assess quality deterioration in fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Food Control*, 131, Article 108298. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108298>
 32. Посокина, Н. Е., Бессараб, О. В., Карастоянова, О. В., Коровкина, Н. В. (2024). Влияние условий хранения и упаковочных материалов на сенсорные характеристики шампиньонов двуспоровых (*Agaricus bisporus*). *Пищевая промышленность*, 3, 80–85. [Posokina, N. E., Bessarab, O. V., Karastoyanova, O. V., Korovkina, N. V. (2024). The influence of storage conditions and packaging materials on the sensory characteristics of *bisporus* champignons (*Agaricus bisporus*). *Food Industry*, 3, 80–85. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.3.3.015>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Посокина Наталья Евгеньевна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-926-367-75-07 E-mail: n.posokina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7857-6785 Бессараб Ольга Владимировна — старший научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-963-726-13-27 E-mail: o.bessarab@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7485-0698 * автор для контактов Карастоянова Ольга Вячеславовна — научный сотрудник, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-926-784-77-30 E-mail: o.karastoianova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7247-7519 Коровкина Надежда Вячеславовна — лаборант-исследователь, лаборатория технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл., Видное, Школьная ул., 78 Тел.: +7-977-447-73-45 E-mail: n.korovkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4108-5835	Natalia E. Posokina, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-926-367-75-07 E-mail: n.posokina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7857-6785 Olga V. Bessarab, Senior Researcher, Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-963-726-13-27 E-mail: o.bessarab@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7485-0698 * corresponding author Olga V. Karastoyanova, Researcher, Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-926-784-77-30 E-mail: o.karastoianova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7247-7519 Nadezhda V. Korovkina, Laboratory Assistant-Researcher, Laboratory of Food Canning Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Preservation Technology 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Moscow region, Russia Tel.: +7-977-447-73-45 E-mail: n.korovkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4108-5835
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.