

УДК 635.82

## Изменение качественных характеристик культивируемых шампиньонов при хранении

Н. А. Попова

Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского,  
г. Донецк, Россия;

e-mail: [hiora75@mail.ru](mailto:hiora75@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

### Информация о статье    Реферат

Поступила  
в редакцию  
01.04.2025;

получена  
после доработки  
27.05.2025;

принята  
к публикации  
09.07.2025

### Ключевые слова:

шампиньоны,  
активность ферментов,  
аскорбиновая кислота,  
свободный тирозин,  
внутриканальное  
содержание воздуха

### Для цитирования

В условиях дефицита высококачественных белков, особенно в развивающихся странах, одним из путей решения продовольственной проблемы является культивирование грибов, в частности шампиньонов. Грибы содержат легкоусвояемый белок и биологически активные вещества, также отличаются экологической чистотой и устойчивостью к заболеваниям. В статье рассматривается динамика изменения биохимических показателей шампиньонов с разноокрашенной поверхностью шляпок (белой и коричневой) в процессе хранения. Целью работы является исследование активности оксидаз и их взаимосвязи с содержанием свободного тирозина и аскорбиновой кислоты в зависимости от цвета поверхности шляпок шампиньонов, в том числе при хранении. Установлено, что одной из критических проблем сохранности грибной продукции является активность ферментов – дифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы. Определено, что шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок имеют более рыхлую структуру ткани и, как следствие, более высокое содержание в ней воздуха (до 43 %), что обуславливает большую скорость окислительных процессов. Это приводит к более интенсивному их потемнению и ухудшению органолептических свойств грибов. В процессе хранения шампиньонов активность ферментов возрастает, содержание аскорбиновой кислоты снижается, а свободного тирозина – увеличивается. В грибах указанные процессы аналогичны при всех взятых температурных режимах, но различаются по скорости. При этом шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок имеют более высокую ферментативную активность и лучше сохраняют витамин С за счет возможного высвобождения связанной его формы. Результаты исследования акцентируют внимание на необходимости изучения в процессе хранения шампиньонов как химического состава, так и органолептических показателей для определения оптимальных сроков и условий хранения.

Попова Н. А. Изменение качественных характеристик культивируемых шампиньонов при хранении. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 429–438. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-429-438>.

## Change in the qualitative characteristics of cultured champignons during storage

Natalia A. Popova

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Russia;  
e-mail: [hiora75@mail.ru](mailto:hiora75@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

### Article info

Received  
01.04.2025;

received  
in revised form  
27.05.2025;

accepted  
09.07.2025

### Key words:

champignons,  
enzyme activity,  
ascorbic acid,  
free tyrosine,  
interstitial air content

### Abstract

In the conditions of deficiency of high-quality proteins, especially in developing countries, one of the ways to solve the food problem is cultivation of mushrooms, in particular champignons. Mushrooms contain easily digestible protein and biologically active substances, and are also environmentally friendly and resistant to diseases. The paper considers the dynamics of changes in biochemical parameters of champignons with differently colored surface of champignon caps (white and brown) during storage. The aim of the work is to study the activity of oxidases and their relationship with the content of free tyrosine and ascorbic acid depending on the color of the surface of champignons, including during storage. It has been established that one of the critical problems of the shelf life of mushroom products is the activity of enzymes – diphenol oxidase and ascorbate oxidase. It has been determined that champignons with white cap surface have a looser tissue structure and, as a result, a higher air content in it (up to 43 %), which causes a higher rate of oxidation processes. This leads to more intense darkening and deterioration of the organoleptic properties of mushrooms. During storage of champignons, enzyme activity increases, the content of ascorbic acid decreases, and free tyrosine increases. In mushrooms, these processes are similar at all temperature conditions, but differ in speed. At the same time, champignons with white caps have higher enzymatic activity and better retain vitamin C due to the possible release of its bound form. The results of the study emphasize the need to study both the chemical composition and organoleptic indicators during storage of champignons to determine the optimal storage periods and conditions.

### For citation

Popova, N. A. 2025. Change in the qualitative characteristics of cultured champignons during storage. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 429–438. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-429-438>.

## Введение

Обеспечение населения высококачественными экологически чистыми белоксодержащими продуктами питания является актуальным, поскольку белковый дефицит – проблема питания человечества<sup>1</sup>. Дефицит белка в мире оценивается в среднем в 15 млн т (Дятлов и др., 2008а). Преобладающая часть дефицита приходится на развивающиеся страны. Поиски альтернативных безвредных белоксодержащих растительных продуктов питания, в том числе высокобелковых компонентов, чрезвычайно насущны (Рождественская и др., 2024). Этим исследованиям посвящены труды как ученых, так и пробы их практического решения во многих странах мира, в том числе и в России. Одним из путей решения этого вопроса является использование культивируемых грибов. Так, с одного гектара можно получить 110 т грибов, а это 330 кг белка. Международные организации в сфере питания и здравоохранения рассматривают вопрос о культивации грибов, в частности, использовании отдельных их компонентов для борьбы с недоеданием и белковым голоданием в развивающихся странах (Салимов, 2024).

В нашей стране культивирование грибов развито, однако проблема обеспечения экологически чистой белоксодержащей безвредной растительной продукцией стоит достаточно остро, в том числе и из-за введения антироссийских санкций. Проблема признана на государственном уровне и решается в рамках государственной целевой научно-производственной программы по развитию российского грибоводства. В 2024 г. объемы производства культивируемых грибов в России уменьшились на 4 % по сравнению с 2023 г., составив 140,9 тыс. т (Хренов, 2025). Основной причиной спада стало закрытие одного из крупнейших предприятий отрасли – комплекса "Богородские овощи". В 2023 г. производство грибов в России возросло на 13,3 % по сравнению с 2022 г., достигнув исторического минимума – 145,9 тыс. т, при этом 96 % всех культивируемых грибов – это шампиньоны, а оставшиеся – преимущественно вешенка. Также культивируются менее распространенные грибы, такие как эринги, шиитаке, шимеджи и разные виды опят. Спрос на эти виды грибов в значительной степени удовлетворяется за счет импорта из Китая.

В 2023 г. количество произведенных грибов в России составило более 1 кг на человека, что в значительной мере превышает показатели предыдущих лет. В разных странах Европы и США потребление шампиньонов колеблется от 1,5 до 2 кг на человека.

Одними из сдерживающих фактором развития производства грибов в России является ограниченное количество их видов для культивирования, очень короткий срок их хранения и отсутствие развитой базы переработки. При этом основная масса культивируемых грибов приходится на шампиньоны белой расы, которые реализуются в основном в свежем виде.

Грибы характеризуются высокой пищевой ценностью, связанной с их химическим составом (Николаева и др., 2021). Короткий срок хранения свежих грибов приводит к быстрому снижению их качества и пищевой ценности (Дятлов и др., 2008б). Поэтому температурный режим хранения должен быть оптимальным (Медведкова и др., 2023). Преимущественно используются низкотемпературные режимы, тормозящие биологические процессы (Медведкова и др., 2024). Эффект хранения при низкотемпературном режиме подтвержден для многих видов растительной продукции. Используются и другие способы влияния низких температур на сохраняемость, например замораживание (Лифенцева и др., 2023). Экспериментально ведутся исследования влияния на сохраняемость шампиньонов внешнего воздействия УФ-облучения (Кондратенко, 2022). Известны разработки по использованию и нескольких условий хранения, например в радиационно-холодильной технологии, позволяющей продлить сроки хранения шампиньонов (Шишкина и др., 2020).

В процессе хранения в свежей продукции, в том числе в шампиньонах, могут появляться различные дефекты. К наиболее распространенным дефектам относится появление на кожице грибов нажимов (вмятин) как вследствие неаккуратного обращения при их сборе, укладке в тару, так и при транспортировке. В результате этого в местах нажимов верхние слои кожицы и прилегающие к ней клетки разрушаются. Свободная аминокислота тирозин, высвобождаемая под действием кислорода, окисляется с образованием темноокрашенных веществ. Они безопасны для человека, но снижают органолептические показатели качества грибов и приводят к снижению товарного сорта, что особенно ярко проявляется у шампиньонов белой расы и в меньшей степени в коричневых штаммах (Дятлов и др., 2011). Белые шампиньоны предпочтительны как для производителей из-за большей урожайности, так и для потребителей – из-за более привлекательного внешнего вида. Вместе с тем шампиньоны коричневой расы содержат больше питательных и биологически активных веществ, при производстве меньше поражаются различными заболеваниями и лучше сохраняют показатели качества.

Качество и сохраняемость свежих плодов, овощей и грибов во многом определяется интенсивностью дыхания и активностью ферментов. При этом для шампиньонов скорость снижения органолептических

<sup>1</sup> Руководство по глобальному мониторингу здорового питания, 2024. 52 с. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.ru>.

показателей качества зависит, прежде всего, от расы (цвета кожицы) и штамма. Указанные различия обусловлены следующими факторами: условиями выращивания, плотностью кожицы и внутренних тканей грибов у всех рас и штаммов. Последнее определяет рыхлость тканей и, соответственно, высокую степень аэрации грибов кислородом. При этом кислород стимулирует скорость протекания отдельных ферментативных реакций, в частности оксидаз.

Каждый из обнаруженных ферментов играет определенную роль в формировании и сохранности потребительской ценности шампиньонов. Так, под действием амилазы гликоген грибов гидролизуются до глюкозы, которая используется для дыхания. Под действием протеиназы осуществляется синтез белка. Несмотря на то что протеиназа содержится в шампиньонах, она проявляет слабую активность. Фосфатаза вовлекает в обменные процессы неорганический фосфор. Одним из самых часто исследуемых ферментов является аскорбинатоксидаза, под действием которой происходит гидролиз аскорбиновой кислоты (Иванова, 2024). Трансферазы, а именно аспартат- и аланин-, участвуют в обмене белков и утилизируют свободный аммиак до мочевины или амидов. Лактаза принимает участие в утилизации молочной кислоты. По данным исследователей, лактаза либо отсутствует в грибах, либо содержится в минимальных количествах.

Следовательно, грибы, в том числе и шампиньоны, содержат многие ферменты, которые характерны не только для растительного, но и для животного организма. Так, из сыроежки сереющей выделен фермент руссулин, обладающий свойствами сычужного фермента ренина, получаемого из желудка телят. Этот фермент незаменим в производстве сыров, поскольку способствует коагуляции белков молока и образованию сырного зерна. Особенностью грибов является не только многообразие ферментов, но и их повышенная активность, в результате чего полисахариды превращаются в нужные для грибов вещества, что является закономерным и необходимым условием для их развития.

В "дышащем" организме каждое соединение, как правило, вовлекается в обмен не одним, а несколькими путями. Этим объясняется большая гибкость и динамичность обменных процессов в продукции, быстро реагирующей на изменение условий существования (Дятлов, 2004). Преобладание какого-либо пути зависит от видовой специфики растения, его физиологического состояния и условий внешней среды. Многообразие ферментативных реакций, одновременно протекающих в живой клетке, находит отражение в изменении интенсивности дыхания и активности ферментов. Признавая результаты предыдущих исследований, следует отметить необходимость сравнительных исследований изменений качественных характеристик культивируемых шампиньонов коричневой и белой расы в процессе хранения, и прежде всего активности ферментов, аскорбиновой кислоты, свободного тирозина, внутритканевого содержания воздуха как взаимосвязанных процессов (Медведкова и др., 2015).

## Материалы и методы

Цель работы – исследование активности оксидаз и их взаимосвязи с содержанием свободного тирозина и аскорбиновой кислоты в зависимости от цвета поверхности шляпок шампиньонов, в том числе при хранении.

В качестве предмета исследований были взяты: плодовые тела шампиньонов с закрытой шляпкой штаммов SyIvan 856 (коричневая окраска поверхности шляпки) и A115 (белая окраска). Образцы хранили в нормальных условиях при температуре  $2 \pm 2^\circ\text{C}$  и при  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

В образцах определяли дифенолоксидазу и аскорбинатоксидазу (Умбрейт и др., 1951); свободный тирозин и аскорбиновую кислоту (по Прокушеву)<sup>2</sup>; изменение цвета кожицы – органолептически по ГОСТ 34958-2023 "Грибы шампиньоны свежие культивируемые"<sup>3</sup>; содержание воздуха в плодовых телах грибов – методом глубокого вакуумирования (Макашвили, 1975).

## Результаты и обсуждение

Свежие грибы – это коллоидные капиллярно-пористые тела, сложные по своей природе и по дисперсной структуре, с высоким содержанием влаги. Интенсивность газо- и парообмена капиллярно-пористых тел с внешней средой через капиллярно-пористые мембраны играет огромную роль в сохранении качества. Этот массовый обмен и скорость протекания биохимических процессов зависит от многих факторов, к основным относятся степень аэрации тканей кислородом, парциальное давление водяного пара в капиллярах и окружающей внешней среде.

По нашим данным активность дифенолоксидазы в шампиньонах с коричневой окраской поверхности шляпок (на начало хранения) ниже (на 62 %), чем в белых (табл. 1).

<sup>2</sup> Петров К. М. Методы биохимии растительных продуктов. К. : Вища шк., 1978. 222 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 34958-2023. Грибы шампиньоны свежие культивируемые. Технические условия : утвержден Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 31 мая 2023 г. № 162-П. М., 2023. 15 с.

Таблица 1. Изменение активности дифенолоксидазы шампиньонов при хранении,  
мкл O<sub>2</sub> на 1 г/1 ч (при n = 7)

Table 1. Changes in the diphenol oxidase activity of champignons  
during storage mkl O<sub>2</sub> in 1 g/1 h (by n = 7)

| Срок хранения, сут                                  | Температура хранения, °C |                  |       |                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------|-------|------------------|
|                                                     | 0–4                      |                  | 18–22 |                  |
|                                                     | М                        | % от предыдущего | М     | % от предыдущего |
| Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 545,0                    | –                | 545,0 | –                |
| 1                                                   | 443                      | 81,3             | 701   | 118,2            |
| 2                                                   | 450                      | 101,6            | 795   | 118,8            |
| 3                                                   | 482                      | 106,9            | 972   | 127,0            |
| 4                                                   | 521                      | 106,2            | –     | –                |
| 5                                                   | 553                      | 106,3            | –     | –                |
| 6                                                   | 587                      | 105,0            | –     | –                |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 13,1                     | –                | 37,7  | –                |
| Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок      |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 882                      | –                | 882   | –                |
| 1                                                   | 660                      | 74,8             | 1 202 | 136,3            |
| 2                                                   | 629                      | 95,3             | 1 452 | 120,8            |
| 3                                                   | 675                      | 107,3            | 1 807 | 124,4            |
| 4                                                   | 718                      | 106,4            | –     | –                |
| 5                                                   | 761                      | 106,0            | –     | –                |
| 6                                                   | 803                      | 105,5            | –     | –                |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 29,3                     | –                | 53,4  | –                |

В процессе хранения при низкой температуре активность фермента через 24 ч снижается на 18–25 %. Это, на наш взгляд, обусловлено понижением температуры грибов и, соответственно, активностью фермента. Вместе с тем указанный процент снижения не соответствует правилу Ван-Гоффа, в соответствии с которым активность протекания ферментативных реакций должна снижаться в 2–3 раза на каждые 10 °C понижения температуры. Это несоответствие, очевидно, обусловлено биологическими особенностями химического состава, роста и развития грибов, в частности высоким содержанием воздуха в тканях, а значит – высокой степенью их аэрации кислородом. По нашим данным, содержание воздуха в тканях грибов у шампиньонов с коричневым цветом эпителия – 25,9 об.%, у шампиньонов с белым цветом эпителия – 43,1 об.%. Возможно, последний факт и является одной из причин различной активности дифенолоксидазы.

При дальнейшем хранении активность фермента постепенно возрастает в обоих штаммах. В целом эти процессы описываются уравнениями общего вида: при высокой температуре  $y = ax + c$ , а при пониженной  $y = ax^2 - bx + c$  с высокими коэффициентами корреляции. Тем не менее на всем протяжении хранения активность дифенолоксидазы выше в грибах с белым цветом эпителия. Возможно, это связано с разным содержанием свободного тирозина. В связи с этим нами исследовано изменение содержания свободного тирозина в грибах – как основного субстрата деятельности дифенолоксидазы (табл. 2).

Анализ приведенных данных показывает, что рост активности дифенолоксидазы сопровождается ростом содержания свободного тирозина (табл. 1 и 2). При этом темпы прироста активности фермента несколько запаздывают в сравнении со свободным тирозином, что, очевидно, связано не только с изменением содержания тирозина (рис. 1). Для определения константы скорости инактивации фермента используется кинетическая модель первого порядка. Представленная комплексная методологическая система обеспечивает строгий научно-обоснованный подход к определению кинетических параметров ферментативных процессов в соответствии с современными стандартами аналитической биохимии и химической кинетики.

При исследовании других объектов растительного происхождения установлено, что потемнение тканей связано с окислением хлоргеновой кислоты о-дифенолоксидазой, которая также дает темноокрашенные продукты (Метлицкий, 1976). Увеличение содержания тирозина возможно из фенилаланина (Ленинджер, 1976), который образуется за счет гидролиза белка (Жук, 1982).

Повышение температуры хранения приводит к резкому повышению активности дифенолоксидазы. Так, через 24 ч хранения активность фермента возрастает в грибах с коричневым цветом эпителия на 18,2 %, а в грибах с белым цветом эпителия на 36 %. При дальнейшем хранении активность фермента возрастает примерно равномерно в обоих штаммах грибов. Это относится и к содержанию свободного тирозина. Вместе с тем темпы роста содержания последнего замедляются не одинаково.

Таблица 2. Изменение содержания свободного тирозина в грибах при хранении, мг/100 г сухой массы (при  $n = 7$ )  
Table 2. Change in the content of free tyrosine in mushrooms during storage, mg/100 g of dry weight

| Срок хранения, сут                                  | Температура хранения, °С |                  |              |                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------|--------------|------------------|
|                                                     | 0–4                      |                  | 18–22        |                  |
|                                                     | М                        | % от предыдущего | М            | % от предыдущего |
| Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок |                          |                  |              |                  |
| На начало                                           | 35,3 ± 1,76              | –                | 35,3 ± 1,76  | –                |
| 1                                                   | 40,3 ± 1,10              | 114,2            | 57,4 ± 2,87  | 162,6            |
| 2                                                   | 47,1 ± 2,36              | 116,8            | 76,7 ± 3,83  | 133,6            |
| 3                                                   | 60,4 ± 3,47              | 128,2            | 97,5 ± 4,87  | 127,1            |
| 4                                                   | 79,2 ± 4,21              | 131,1            | –            | –                |
| 5                                                   | 99,7 ± 4,93              | 125,9            | –            | –                |
| 6                                                   | 115,8 ± 5,78             | 116,1            | –            | –                |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 3,49                     | –                | 3,34         | –                |
| Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок      |                          |                  |              |                  |
| На начало                                           | 65,9 ± 3,29              | –                | 65,9 ± 3,29  | –                |
| 1                                                   | 76,4 ± 3,82              | 115,9            | 94,7 ± 4,78  | 143,7            |
| 2                                                   | 97,2 ± 4,89              | 127,2            | 147,0 ± 7,30 | 155,2            |
| 3                                                   | 117,4 ± 5,89             | 120,8            | 189,2 ± 9,41 | 128,7            |
| 4                                                   | 143,0 ± 7,24             | 121,8            | –            | –                |
| 5                                                   | 178,9 ± 8,93             | 125,1            | –            | –                |
| 6                                                   | 208,1 ± 10,41            | 116,3            | –            | –                |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 6,39                     | –                | 6,12         | –                |

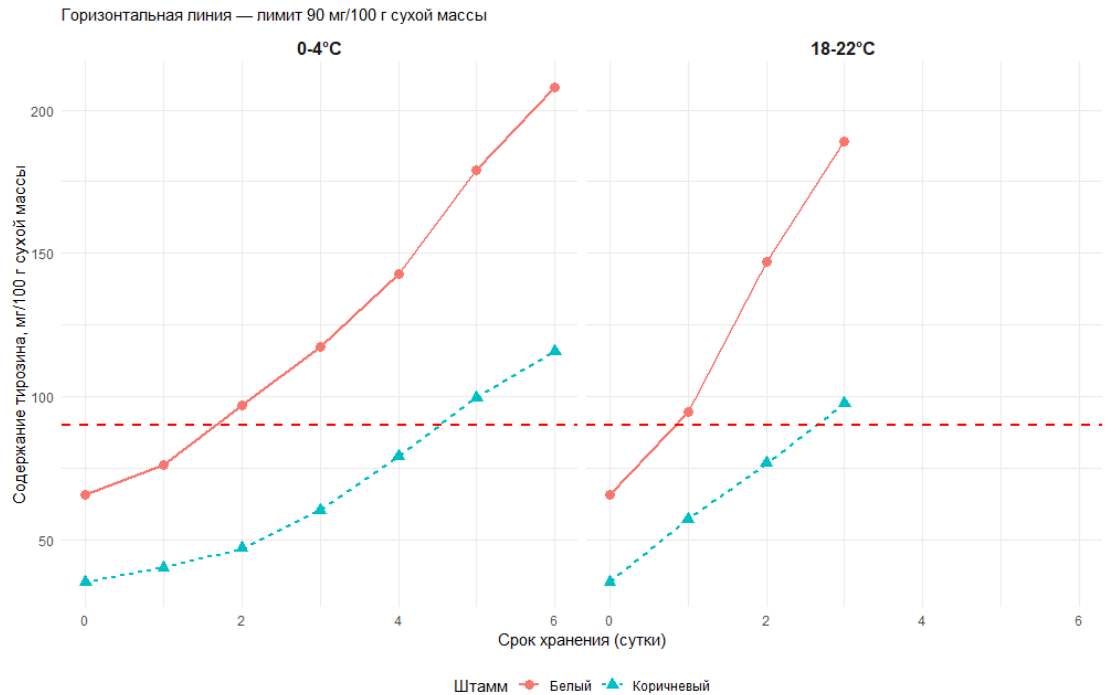


Рис. 1. Изменение содержания свободного тирозина в грибах при хранении  
Fig. 1. Changes in the content of free therosin in mushrooms during storage

Одним из критериев биологической активности свежих грибов является наличие аскорбиновой кислоты. При этом содержание последней при хранении зависит от активности аскорбинатоксидазы.

По результатам исследований активность фермента в зависимости от штамма заметно различается (табл. 3). Установлено, что на начало хранения активность аскорбинатоксидазы в грибах с коричневым цветом эпителия на 25 % ниже, чем в грибах с белым цветом эпителия.

Таблица 3. Изменение активности аскорбинатоксидазы шампиньонов при хранении, мкл O<sub>2</sub> на 1 г/1 ч (при n = 7)  
Table 3. Changes in the activity of ascorbate oxidase of champignons during storage, mkl O<sub>2</sub> in 1 g/1 h (by n = 7)

| Срок хранения, сут                                  | Температура хранения, °C |                  |       |                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------|-------|------------------|
|                                                     | 0–4                      |                  | 18–22 |                  |
|                                                     | М                        | % от предыдущего | М     | % от предыдущего |
| Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 397,0                    | –                | 397,0 | –                |
| 1                                                   | 218,2                    | 55,0             | 537,5 | 135,4            |
| 2                                                   | 221,1                    | 101,4            | 573,5 | 106,7            |
| 3                                                   | 239,7                    | 108,4            | 621,8 | 108,4            |
| 4                                                   | 252,1                    | 105,2            |       |                  |
| 5                                                   | 268,8                    | 106,6            |       |                  |
| 6                                                   | 287,0                    | 106,8            |       |                  |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 10,8                     | –                |       | –                |
| Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок      |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 530,3                    | –                | 530,3 | –                |
| 1                                                   | 269,2                    | 50,8             | 800,3 | 150,9            |
| 2                                                   | 297,8                    | 110,6            | 900,5 | 112,5            |
| 3                                                   | 330,1                    | 110,8            | 955,1 | 106,1            |
| 4                                                   | 355,9                    | 107,8            | –     | –                |
| 5                                                   | 382,7                    | 107,5            | –     | –                |
| 6                                                   | 419,1                    | 109,5            | –     | –                |
| НСР <sub>05</sub>                                   | 18,5                     | –                | 31,9  | –                |

В процессе дальнейшего хранения темпы активности оксидазы в грибах с коричневым цветом эпителия ниже, чем с белым.

На рис. 2 представлена зависимость натурального логарифма активности фермента аскорбинатоксидазы (в мкл O<sub>2</sub> на г/ч) от срока хранения (сут) в грибах с белым цветом эпителия при температуре 0–4 °C. Период хранения отображается на оси абсцисс (0–6 сут), на оси ординат – значения ln(A), где A – абсолютная активность фермента, измеренная экспериментально в определенный момент времени. Точки на графике соответствуют логарифмическим преобразованиям фактических данных, тогда как прямая линия отображает результат линейной регрессии, построенной по модели первого порядка инактивации:  $\ln(A) = \ln(A_0) - k \cdot t$ .

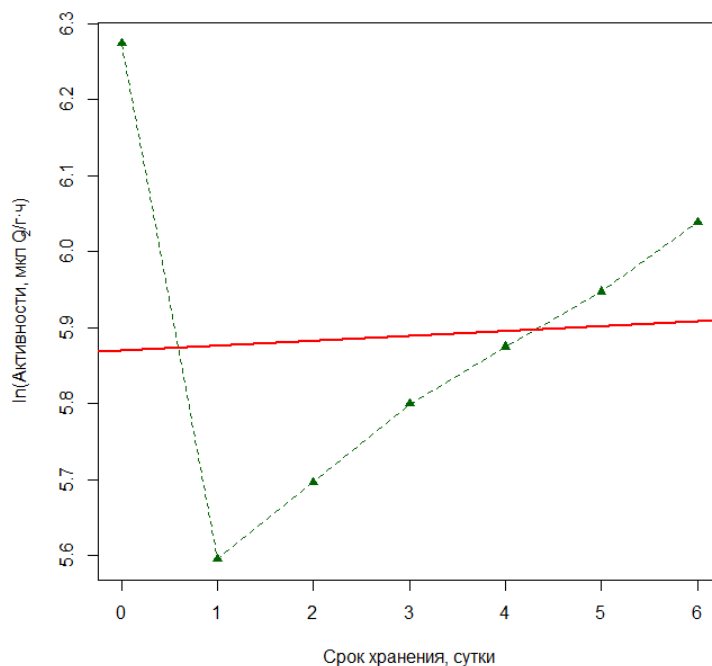


Рис. 2. Логарифм активности аскорбинатоксидазы (белый штамм, при t = 0–4 °C)

Fig. 2. Logarithm of activity (white strain, at t = 0–4 °C)

В результате анализа графика можно сделать вывод, что ферментативная активность уменьшается экспоненциально, что согласуется с кинетикой первого порядка. На основании линейного уравнения вычислена константа скорости инактивации фермента ( $k$ ), равная  $0,074 \text{ сут}^{-1}$ . Это указывает на достаточно стабильное снижение ферментативной активности в условиях холодильного хранения. Величина коэффициента детерминации модели ( $R^2 = 0,996$ ) подтверждает высокую степень соответствия эмпирических данных предложенной модели инактивации.

Таблица 4. Изменение содержания аскорбиновой кислоты шампиньонов при хранении мг/100 г сухой массы (при  $n = 7$ )

Table 4. Changes in the ascorbic acid content of champignons during storage, mg/100 g of dry weight (at  $n = 7$ )

| Срок хранения, сут                                  | Температура хранения, °C |                  |       |                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|------------------|-------|------------------|
|                                                     | 0–4                      |                  | 18–22 |                  |
|                                                     | М                        | % от предыдущего | М     | % от предыдущего |
| Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 85,9                     | –                | 85,9  | –                |
| 1                                                   | 88,6                     | 103,2            | 79,4  | 92,4             |
| 2                                                   | 85,7                     | 99,0             | 75,5  | 95,1             |
| 3                                                   | 80,9                     | 95,7             | 71,0  | 94,1             |
| 4                                                   | 75,0                     | 94,2             | –     | –                |
| 5                                                   | 70,4                     | 91,6             | –     | –                |
| 6                                                   | 64,9                     | 89,7             | –     | –                |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 3,93                     | –                | 3,89  | –                |
| Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок      |                          |                  |       |                  |
| На начало                                           | 107,8                    | –                | 107,8 | –                |
| 1                                                   | 113,9                    | 105,7            | 98,4  | 91,3             |
| 2                                                   | 106,8                    | 93,8             | 93,0  | 94,5             |
| 3                                                   | 102,0                    | 95,5             | 87,5  | 94,0             |
| 4                                                   | 96,5                     | 94,6             | –     | –                |
| 5                                                   | 90,7                     | 93,9             | –     | –                |
| 6                                                   | 84,1                     | 92,7             | –     | –                |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 4,50                     | –                | 4,83  | –                |

С точки зрения физиологии и биохимии, снижение активности аскорбинатоксидазы в условиях охлаждения свидетельствует о замедлении внутриклеточных окислительно-восстановительных процессов, обусловленных ферментативной деградацией или денатурацией белковой структуры фермента. Понимание закономерностей инактивации ферментов при хранении грибов имеет большое прикладное значение для сохранения антиоксидантных свойств и товарного качества их плодовых тел.

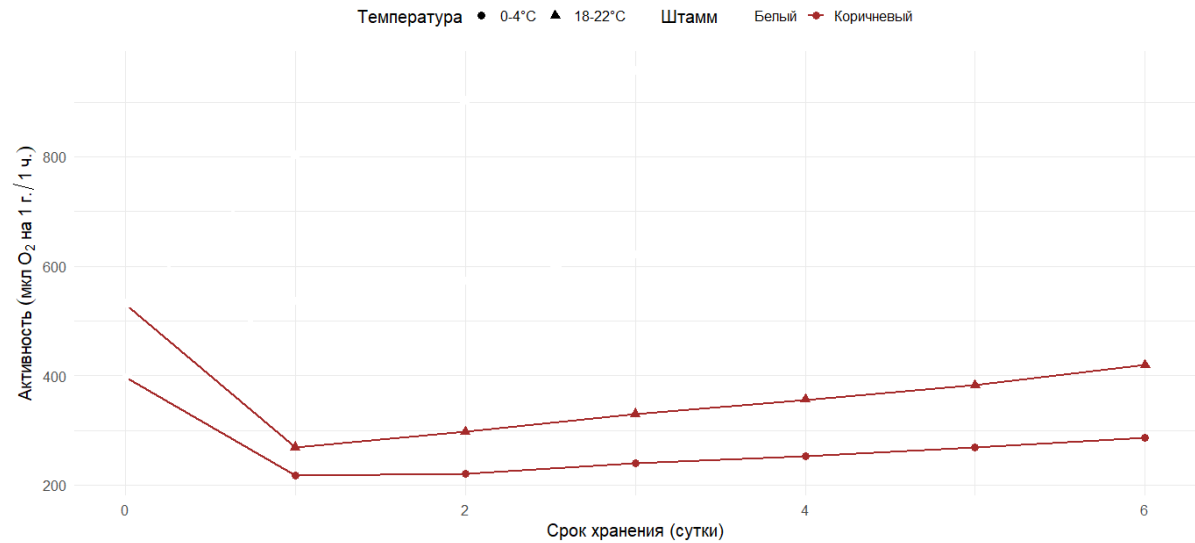


Рис. 3. Изменение активности аскорбинатоксидазы шампиньонов при хранении  
Fig. 3. Changes in the activity of ascorbin oxidase of champignons during storage

Таким образом, представленный график демонстрирует надежный аналитический инструмент оценки стабильности ферментативной активности в хранении пищевых субстратов и может быть использован для сравнения между штаммами, температурными режимами и технологическими факторами.

Это соответственно должно отразиться на содержании аскорбиновой кислоты в различных штаммах грибов (табл. 4).

Из приведенных данных (табл. 3 и 4, рис. 3) следует, что активность аскорбинатоксидазы грибов на первые сутки хранения в условиях охлаждения снижается, а при последующем хранении постепенно возрастает. При этом на конец хранения (6 сут) количество последнего компонента осталось соответственно: в грибах с коричневым цветом эпителия 75,5 %, с белым цветом эпителия – 78,0 % от первоначального содержания. Активность фермента на конец хранения снизилась: в грибах с коричневым цветом эпителия на 27,7 %, а в грибах с белым цветом эпителия – на 21,0 %. Таким образом, в грибах с белым цветом эпителия остаточная активность ферментов (на одну и ту же дату хранения) выше, чем в грибах с коричневым цветом эпителия. Некоторое превышение остаточного содержания аскорбиновой кислоты в шампиньонах с белым цветом эпителия (на 2,5 %) по сравнению с шампиньонами с коричневой окраской поверхности шляпок обусловлено, возможно, высвобождением у первых связанной формы аскорбиновой кислоты.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют заключить:

- одной из причин быстрого ухудшения органолептических показателей качества и снижения содержания аскорбиновой кислоты в шампиньонах является активность дифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы, активность которых в грибах с коричневой окраской поверхности шляпки ниже, чем с белой;
- рост активности ферментов к концу хранения связан, очевидно, с повышением степени аэрации тканей кислородом из-за ослабления консистенции, что обусловлено транспирационными потерями влаги;
- активность ферментов при всех температурных режимах имеет четкую тенденцию к росту;
- содержание свободного тирозина при всех температурах растет, а содержание аскорбиновой кислоты снижается.

Исходя из этого, для обоснования срока хранения шампиньонов разных штаммов необходимы комплексные исследования изменения не только их химического состава, но и органолептических показателей качества. Именно такому аспекту хранения шампиньонов разных штаммов и будут посвящены дальнейшие исследования, позволяющие рекомендовать сроки и оптимальные условия хранения.

### Благодарности

Автор благодарит научного руководителя, доктора технических наук, профессора В. В. Дятлова за постановку и проведение экспериментальных исследований.

### Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Дятлов В. В., Медведкова И. И., Попова Н. А. Экологически чистые растительные продукты в питании населения // Управление торговлей – теория, практика, инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию Российского университета кооперации, г. Москва, 27–28 марта 2008 г. М. : РосУК, 2008а. С. 185–187.
- Дятлов В. В., Попова Н. А. Стандартизация качества свежих шампиньонов // Оборудование и технологии пищевых производств : сб. науч. тр. Донецкого национального университета экономики и торговли. Донецк, 2008б. Вып. 18. С. 30–36.
- Дятлов В. В., Попова Н. А., Медведкова И. И. Качество и безвредность шампиньонов при хранении // Товарознавчий Вісник. 2011. № 3. С. 96–104. EDN: RJFVNJ.
- Дятлов В. В. Качество и сохраняемость яблок с пленочным покрытием. Донецк : ДонДУЭТ, 2004. 214 с.
- Жук Ю. Т. Консервирование и хранение грибов. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 141 с.
- Иванова Е. С. Аскорбиновая кислота: свойства и динамика накопления в растениях // Научный взгляд молодежи на современные проблемы АПК : сб. ст. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Горки, 25 апреля 2024 г. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. С. 22–25.
- Кондратенко В. В., Посокина Н. Е., Федянина Н. И., Карастоянова О. В. [и др.]. Показатели качества *Agaricus bisporus* после обработки УФ-излучением // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 762–774. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>. EDN: EPYRHL.
- Ленинджер А. Биохимия. Молекулярные основы структуры и функции клетки. М. : Мир, 1976. 957 с.

- Лифенцева Л. В., Неверов Е. Н., Короткий И. А., Тюнин А. Д. Определение оптимальных параметров замораживания при низкотемпературной обработке культивируемых грибов шампиньонов и вешенки обыкновенной // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7(196). С. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-200-208>. EDN: JNQLVA.
- Макашвили Г. А. Методы биологической стабилизации плодов в процессе хранения. М. : Экономика, 1975. 205 с.
- Медведкова И. И., Дятлов В. В., Попова Н. А. Анализ содержания полисахаридов и продуктов их распада при хранении свежих культивируемых грибов *Lentinus edodes* // Евразийский союз ученых. 2015. № 4–4(13). С. 140–143. EDN: XDDKCN.
- Медведкова И. И., Попова Н. А. Обеспечение сохранения потребительских свойств культивируемых грибов с помощью низких температур // Научное творчество молодежи в индустрии гостеприимства : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Донецк, 14–15 марта 2024 г. М. : Перо, 2024. С. 278–280. EDN: GWGQHT.
- Медведкова И. И., Попова Н. А. Целесообразность хранения свежих грибов при оптимальном температурном режиме // Потребительский рынок: проблемы качества и безопасности товаров и услуг : материалы 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Орёл, 5 декабря 2023 г. Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 2023. С. 155–158. EDN: JZUOBJ.
- Метлицкий Л. В. Основы биохимии плодов и овощей. М. : Экономика, 1976. 349 с.
- Николаева М. А., Бакайтис В. И., Рязанова О. А. Влияние химического состава на пищевую ценность свежих грибов // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 3. С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR.
- Рождественская Л. Н., Бикбулатов П. С., Чугунова О. В., Заворохина Н. В. Потенциальные возможности промышленного получения изолята горохового белка // Вестник КрасГАУ. 2024. № 8(209). С. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-130-139>. EDN: EEMSQI.
- Салимов В. А. Продовольственный кризис и угроза голода на Земле // Вестник Удмуртского университета. Социология. Политология. Международные отношения. 2024. Т. 8, № 1. С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.35634/2587-9030-2024-8-1-77-82>. EDN: GRBACV.
- Умбрейт В. В., Бурис Р. Х., Штауфер Дж. Ф. Манометрические методы изучения тканевого обмена. М. : Изд-во иностр. лит., 1951. 360 с.
- Хренов А. В. Производство шампиньонов в России // Школа грибоводства. 2025. № 1. С. 14–19.
- Шишкина Н. С., Карастоянова О. В., Федянина Н. И., Коровкина Н. В. Применение комплексной радиационно-холодильной технологии для антисептирования и сохранения качества шампиньонов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 82(3). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-58-64>. EDN: LIJPMC.

## References

- Dyatlov, V. V., Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2008a. Environmentally friendly plant-based products in public nutrition. Proceedings of Intern. scientific and practical conf. *Trade Management – Theory, Practice, Innovation*, Moscow, 27–28 March, 2008. Moscow, pp. 185–187. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V., Popova, N. A. 2008b. Standardization of the quality of fresh champignons. In coll. of scientific articles *Equipment and Technologies of Food Production*. Donetsk, Iss. 18, pp. 30–36. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V., Popova, N. A., Medvedkova, I. I. 2011. Quality and safety of champignons during storage. *Product Science Bulletin*, 3, pp. 96–104. EDN: RJFVNJ. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V. 2004. Quality and storability of apples with film coating. Donetsk. (In Russ.)
- Zhuk, Yu. T. 1982. Conservation and storage of mushrooms. Moscow. (In Russ.)
- Ivanova, E. S. 2024. Ascorbic acid: Properties and accumulation dynamics in plants. Coll. of articles based on the materials of the IV Intern. scientific-practical conf. of students and postgraduates *Scientific view of young people on modern problems of the agro-industrial complex*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, pp. 22–25. (In Russ.)
- Kondratenko, V. V., Posokina, N. E., Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V. et al. 2022. Quality indicators of *Agaricus bisporus* after treatment with UV radiation. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), pp. 762–774. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>. EDN: EPYPHL. (In Russ.)
- Lehninger, A. 1976. Biochemistry. Moscow. (In Russ.)
- Lifentseva, L. V., Neverov, E. N., Korotkiy, I. A., Tyunin, A. D. 2023. Determination of optimal freezing parameters during low-temperature processing of cultivated champignon mushrooms and oyster mushrooms. *Bulletin of KSAU*, 7(196), pp. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-200-208>. EDN: JNQLVA. (In Russ.)
- Makashvili, G. A. 1975. Methods of biological stabilization of fruits during storage. Moscow. (In Russ.)

- Medvedkova, I. I., Dyatlov, V. V., Popova, N. A. 2015. Polysaccharide content and decomposition products during storage of fresh cultivated mushrooms *Lentinus edodes*. *Evrasiiski Soyuz Uchyonykh*, 4-4(13), pp. 140–143. EDN: XDDKCN. (In Russ.)
- Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2024. Ensuring the preservation of consumer qualities of cultivated mushrooms using low temperatures. Proceedings of VI All-Russian scientific and practical conf. with Intern. participation of students, postgraduates and young scientists *Youth Scientific Creativity in the Hospitality Industry*. Donetsk, 14–15 March, 2024. Moscow, pp. 278–280. EDN: GWGQHT. (In Russ.)
- Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2023. Feasibility of storing fresh mushrooms under optimal temperature conditions. Proceedings of 2nd All-Russian scientific and practical conf. with Intern. participation *Consumer Market: Problems of Quality and Safety of Goods and Services*. Oryol, 5 December, 2023. Oryol, pp. 155–158. EDN: JZUOBJ. (In Russ.)
- Metlitsky, L. V. 1976. Fundamentals of biochemistry of fruits and vegetables. Moscow. (In Russ.)
- Nikolaeva, M. A., Bakaitis, V. I., Ryazanova, O. A. 2021. Influence of chemical composition on the nutritional value of fresh mushrooms. *Food Industry*, 6(3), pp. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR. (In Russ.)
- Rozhdestvenskaya, L. N., Bikbulatov, P. S., Chugunova, O. V., Zavorokhina, N. V. 2024. Potential for industrial production of pea protein isolate. *Bulletin of KSAU*, 8(209), pp. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-130-139>. EDN: EEMSQI. (In Russ.)
- Salimov, V. A. 2024. Food crisis and the threat of hunger on earth. *Bulletin of Udmurt University*, 8(1), pp. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.35634/2587-9030-2024-8-1-77-82>. EDN: GRBACV. (In Russ.)
- Umbreit, W. W., Burris, R. H., Stauffer, J. F. 1951. Manometric techniques for studying tissue metabolism. Moscow. (In Russ.)
- Khrenov, A. V. 2025. Production of champignons in Russia. *School of Mushroom Growing*, 1, pp. 14–19. (In Russ.)
- Shishkina, N. S., Karastoyanova, O. V., Fedyanina, N. I., Korovkina, N. V. 2020. Application of complex radiation-refrigeration technology for antisepticization and quality preservation of champignons. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(3), pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-58-64>. EDN: LIJPMC. (In Russ.)

#### Сведения об авторе

**Попова Наталья Александровна** – ул. Щорса, 31, г. Донецк, Россия, 283050; Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [hiora75@mail.ru](mailto:hiora75@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

**Natalia A. Popova** – 31 Shchorsa Str., Donetsk, Russia, 283050; Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
e-mail: [hiora75@mail.ru](mailto:hiora75@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>