

Л.Г. Ловцова<sup>1</sup>, ✉  
 М.В. Забелина<sup>1</sup>,  
 А.В. Майоров<sup>1</sup>,  
 И.В. Ловцов<sup>1</sup>,  
 Т.Б. Тяпаев<sup>1</sup>,  
 В.С. Мавзовин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

✉ flauisalovtsova2018@mail.ru

Поступила в редакцию:  
26.12.2022

Одобрена после рецензирования:  
04.05.2023

Принята к публикации:  
19.05.2023

Larisa G. Lovtsova<sup>1</sup>, ✉  
 Margarita V. Zabelina<sup>1</sup>,  
 Aleksandr V. Mayorov<sup>1</sup>,  
 Ivan V. Lovtsov<sup>1</sup>,  
 Timur B. Tyapaev<sup>1</sup>,  
 Vladimir S. Mavzovin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

✉ flauisalovtsova2018@mail.ru

Received by the editorial office:  
26.12.2022

Accepted in revised:  
05.05.2023

Accepted for publication:  
19.05.2023

# Оптимизация погружного культивирования мицелия *Pleurotus ostreatus* в динамике роста по показателям перекисного окисления липидов

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Работа связана с совершенствованием процессов искусственного культивирования доступных и удобных (с биотехнологической точки зрения) продуцентов пищевой биомассы *Pleurotus ostreatus*. Оптимизированы некоторые этапы технологии выращивания мицелия, в частности предложены изменения условий культивирования мицелия вешенки посредством использования карбоната магния как добавки в питательную среду при получении посевного материала для выращивания плодовых тел грибов. Введение предложенных условий культивирования в практику грибоводства потенциально позволит обеспечить максимальный выход биомассы при погружном культивировании базидиомицетов в жидких питательных средах.

**Методы.** Выращивание мицелия проводили методом погружного культивирования. Концентрацию белка в растворе определяли методом Бредфорда, перекисное окисление липидов (ПОЛ) — по содержанию ТБК-активных продуктов (2-тиобарбитуровая кислота, ТБК), суммарное содержание которых выражали в пересчете на малоновый диальдегид (МДА). Полученные данные были обработаны методом многомерной регрессии с применением метода главных компонент (РСА).

**Результаты.** Показано, что низкие концентрации карбоната магния положительно влияют на рост биомассы мицелия. Впервые полученные данные по интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и концентрации белка в растворе обработаны методом математической регрессии. Установлено, что применение карбоната магния в концентрации  $1 \times 10^{-6}$  положительно влияет на рост биомассы мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* с увеличением биомассы мицелия на 20,5% по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** мицелий, гриб вешенка, перекисное окисление липидов, малоновый диальдегид, биомасса

**Для цитирования:** Ловцова Л.Г., Забелина М.В., Майоров А.В., Ловцов И.В., Тяпаев Т.Б., Мавзовин В.С. Оптимизация погружного культивирования мицелия *Pleurotus ostreatus* в динамике роста по показателям перекисного окисления липидов. *Аграрная наука*. 2023; 371(6): 126–130. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-126-130>

© Ловцова Л.Г., Забелина М.В., Майоров А.В., Ловцов И.В., Тяпаев Т.Б., Мавзовин В.С.

# Optimization of submersible cultivation of mycelium *Pleurotus ostreatus* in the dynamics of growth in terms of lipid peroxidation

## ABSTRACT

**Relevance.** The work is related to the improvement of artificial cultivation processes of affordable and convenient (from a biotechnological point of view) producers of *Pleurotus ostreatus* food biomass. Some stages of mycelium cultivation technology have been optimized, in particular, changes in the conditions of oyster mushroom mycelium cultivation through the use of magnesium carbonate as an additive to the nutrient medium when obtaining seed material for growing mushroom fruit bodies have been proposed. The introduction of the proposed cultivation conditions into the practice of mushroom farming will potentially allow for maximum biomass yield during submerged cultivation of basidiomycetes in liquid nutrient media.

**Methods.** The cultivation of mycelium was carried out by the method of submersible cultivation. The protein concentration in the solution was determined by the Bradford method, lipid peroxidation (POL) — by the content of TBC-active products (2-thiobarbituric acid, TBC), the total content of which was expressed in terms of malonic dialdehyde (MDA). The data obtained were processed by multivariate regression using the Principal component method (PCA).

**Results.** It has been shown that low concentrations of magnesium carbonate have a positive effect on the growth of mycelium biomass. For the first time, the obtained data on the intensity of lipid peroxidation (POL) and protein concentration in solution were processed by mathematical regression. It was found that the use of magnesium carbonate at a concentration of  $1 \times 10^{-6}$  positively affects the growth of mycelium biomass of the fungus *Pleurotus ostreatus* with an increase in mycelium biomass by 20.5% compared with the control.

**Key words:** mycelium, oyster mushroom, lipid peroxidation, malondialdehyde, biomass

**For citation:** Lovtsova L.G., Zabelina M.V., Mayorov A.V., Lovtsov I.V., Tyapaev T.B., Mavzovin V.S. Optimization of submersible cultivation of mycelium *Pleurotus ostreatus* in the dynamics of growth in terms of lipid peroxidation. *Agrarian science*. 2023; 371(6): 126–130 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-126-130>

© Lovtsova L.G., Zabelina M.V., Mayorov A.V., Lovtsov I.V., Tyapaev T.B., Mavzovin V.S.

## Материал и методы исследования / Materials and method

Были использованы базидиомицеты *Pleurotus ostreatus* штамм НК-35 из коллекции агрохимической лаборатории Учебного научно-производственного комплекса «Агроцентр» Вавиловского университета.

Выращивание мицелия проводили методом погружного культивирования. В колбах 750 мл и 1000 мл с применением ротационной качалки при 200 об/мин. Выбранная температура культивирования — 25–27 °С. Карбонат магния в концентрации  $1 \times 10^{-6}$  (красный●),  $1 \times 10^{-4}$  (желтый●),  $1 \times 10^{-2}$  (синий●), контроль (зеленый●) (без добавки карбоната магния) вносили в 2%-ную жидкую среду из пшеничной муки 1-го сорта. Приготовленные среды автоклавировали при 1,2 атм. в течение 30 минут.

Опыты по измерению биомассы проводили в пяти повторностях. Для количественной обработки данных использовали программу Microsoft Excel 2003. При статистической обработке результатов пользовались методом расчета стандартного отклонения среднего арифметического при уровне доверительной вероятности 0,95. Полный процесс культивирования по длительности составил 14 суток. *Метод определения ростовых характеристик*<sup>1</sup>. Скорость роста при глубинном культивировании определяли в соответствии с рекомендациями Дудка и др. (1982) по накоплению сухой биомассы в единицу времени в зависимости от продолжительности выращивания. *Метод определения концентрации белка в растворе*<sup>2</sup>. Концентрацию белка определяли по методу Бредфорда с использованием красителя Кумасси бриллиантового синего. Он основан на эффекте связывания с белками одной из разновидностей данного кислого красителя — R-250 и G-250. Количество белка в исследуемом образце определяют по значению оптической плотности, используя калибровочный график, построенный по результатам измерений для растворов

Таблица 1. Биомасса мицелия базидиомицетов, культивируемых в присутствии добавки карбоната магния в различных концентрациях

Table 1. Biomass of mycelium of basidiomycetes cultivated in the presence of magnesium carbonate additives in various concentrations

| Исходная концентрация добавки в питательной среде, С, моль/л | Сутки | Биомасса, мг  | Биомасса, % к контролю* |
|--|-------|---------------|-------------------------|
| $1 \times 10^{-6}$   | 14    | 1008,4 ± 0,18 | 120,5                   |
|  | 10    | 598,4 ± 0,21  | 139,9                   |
|  | 7     | 278,7 ± 0,32  | 132,6                   |
| $1 \times 10^{-4}$   | 14    | 944,7 ± 0,11  | 112,9                   |
|  | 10    | 492,0 ± 0,17  | 115,0                   |
|  | 7     | 243,7 ± 0,56  | 114,6                   |
| $1 \times 10^{-2}$   | 14    | 725,1 ± 0,19  | 86,6                    |
|  | 10    | 375,8 ± 0,22  | 87,8                    |
|  | 7     | 210,7 ± 0,13  | 99,1                    |
| Контроль*  | 14    | 836,6 ± 0,17  | 100                     |
|  | 10    | 427,7 ± 0,34  | 100                     |
|  | 7     | 212,6 ± 0,27  | 100                     |

Примечание: \* различие по данному показателю статистически достоверно между опытной и контрольной группами ( $p \leq 0,05$  при  $t$  критическом 2,78) (\* контроль — отсутствие добавок к питательной среде)

белка с известной концентрацией. *Метод определения пероксидного окисления липидов*. На 14-е сутки определяли интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ). Состояние ПОЛ оценивали по содержанию ТБК-активных продуктов (2-тиобарбитуровая кислота, ТБК), суммарное содержание которых выражали в пересчете на малоновый диальдегид (МДА) в соответствии с модифицированной методикой [9].

Полученные данные были обработаны методом многомерной регрессии (метод главных компонент) МГК, где особое внимание уделяется графикам счетов. На графике счетов каждый образец изображается в координатах ( $t_1, t_2$ ), обозначаемых ГК<sub>1</sub> и ГК<sub>2</sub>. Близость двух точек обозначает их схожесть, то есть положительную корреляцию. Метод главных компонент часто применяется при исследовательском анализе химических данных. МГК можно трактовать как проецирование данных на подпространство меньшей размерности (А). Обобщением МГК является метод проекций на латентные структуры (ПЛС) (Projection on Latent Structures, PLS), который сейчас является самым популярным методом многомерной калибровки [15].

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

Усиленное ПОЛ и накопление МДА могут привести к нарушению целостности мембраны и повреждению клетки. В условиях окислительного стресса время жизни образовавшихся АФК и их токсическое действие контролируются системой антиоксидантной защиты клетки, то есть соответствующими ферментами и метаболитами. При проведении исследований была выявлена зависимость образования биомассы от концентрации карбоната магния в питательной среде.

Хорошо известна концепция координированного действия активных форм кислорода (АФК) и метаболитов, важных для регуляции роста, развития и стресс-толерантности растительных организмов [18]. АФК — многофункциональные сигнальные молекулы, вносящие вклад в приспособительную способность [17], а воздействие какого-либо соединения — выраженного антиоксиданта — приводит к слабому развитию окислительного стресса [18].

Результаты определения биомассы мицелия базидиомицетов, культивируемых погруженным способом в присутствии карбоната магния в концентрации ( $1 \times 10^{-2}$ ,  $1 \times 10^{-4}$ ,  $1 \times 10^{-6}$ ) на 7-е, 10-е, 14-е сутки после засева питательных сред, представлены в таблице 1.

По данным числовым значениям (табл. 1) четко прослеживается положительная динамика влияния карбоната магния на ростовые характеристики грибов при погруженном культивировании в зависимости от концентрации раствора. Величины уровня концентрации добавки в среде культивирования были сопоставимы с используемыми величинами из литературных данных [16].

Низкий показатель биомассы мицелия базидиомицетов при концентрации карбоната магния  $1 \times 10^{-2}$  зависит от возможного противодействия АФК, так как агенты с антиоксидантными свойствами оказывают влияние на биохимические процессы базидиомицетов и могут служить одной из причин снижения ростовых показателей.

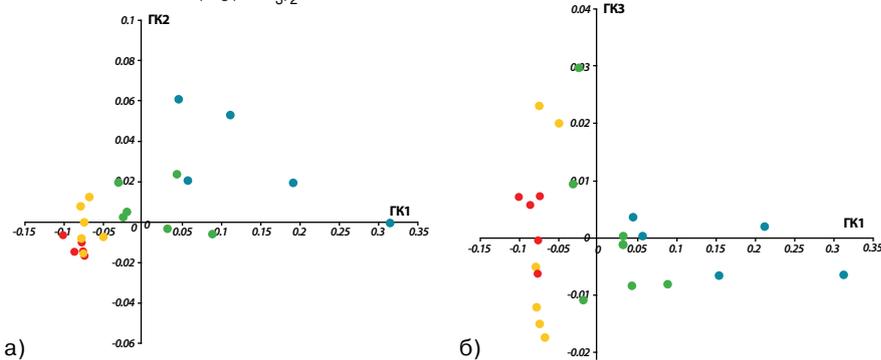
Однако при снижении концентрации до  $1 \times 10^{-6}$  показатель биомассы мицелия увеличивается до 120,5% биомассы к контролю. Далее полученные показатели были внесены в матричные данные при обработке результатов эксперимента методом многомерной регрессии.

<sup>1</sup> Билай В.И. (ред.). Методы экспериментальной микологии. Справочник. Киев: Наукова думка. 1982; 549.

<sup>2</sup> ОФС 1.2.3.0012.15 Определение белка.

**Рис. 1.** Анализ динамики роста и показатель МДА методом главных компонент. а) графики счетов (ГК1 и ГК2), б) графики счетов (ГК1 и ГК3) концентрации МДА, мМ на 1 г сырой биомассы (контроль\* — зеленый ●,  $1 \times 10^{-6}$  — красный ●,  $1 \times 10^{-4}$  — желтый ●,  $1 \times 10^{-2}$  — синий ●); \* контроль — отсутствие  $(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2)$  в питательной среде

**Fig. 1.** Growth dynamics analysis and MDA index by principal component method а) charts of accounts (GK1 and GK2), б) graphs of scores (GK1 and GK3) of MDA concentration, mM per 1 g of wet biomass (control\* — green ●,  $1 \times 10^{-6}$  — red ●,  $1 \times 10^{-4}$  — yellow ●,  $1 \times 10^{-2}$  — blue ●); \* control — absence of  $(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2)$  in the nutrient medium



Определение количества продуктов перекисного окисления липидов является важной морфологической характеристикой, позволяет оценить уровень метаболизма и выявить влияние конъюгатов на активность сигнальных систем в растительных клетках.

Накопление биомассы контролировали по степени увеличения оптической плотности, которую измеряли с помощью ФЭК. Концентрацию биомассы определяли с использованием соответствующего калибровочного графика.

Обработка полученных данных МГК-анализом показала, что динамика роста и показатель МДА связаны между собой (рис. 1).

Из графика младших компонент видно, что переменные, отмеченные желтым и красным цветом, образуют компактные группы в левой части графика. Точки достаточно близко расположены друг к другу, что означает их тесную положительную корреляцию (рис. 1а). Экспериментальными данными зафиксировано, что снижение концентрации МДА наступает при снижении концентрации карбоната магния ( $1 \times 10^{-6}$ ) и положительно сказывается на динамике роста мицелия. Переменные группы, отмеченные синим цветом, находятся в разрозненном положении. Это свидетельствует о высокой концентрации МДА. Таким образом, вышеуказанные данные позволяют констатировать четкую зависимость концентрации МДА от концентрации карбоната магния.

В полученной биомассе, культивируемой с добавлением карбоната магния, наблюдалась активация

перекисного окисления липидов. Об интенсивности протекания ПОЛ большинство авторов [10–14] судят по накоплению в тканях конечного продукта липопероксидации — МДА. Так, самое высокое содержание МДА было зафиксировано при концентрации  $1 \times 10^{-2}$  (рис. 1) по сравнению с более низкими концентрациями и контролем.

На графике старших счетов (рис. 2) наблюдаем еще более четкую зависимость увеличения биомассы от уменьшения концентрации МДА.

Анализ графика объяснений дисперсии остатков позволяет определить, сколько главных

компонент достаточно для моделирования полученных данных. Для определения числа главных компонент (ГК) было исследовано качество описания при увеличении числа ГК. Из рисунка 2 видно, что двух ГК достаточно для моделирования полученных данных — они объясняют 98% вариации описания дисперсий. Предположительно, по полученным данным, для описания процесса прогнозирования роста мицелия базидиомицетов достаточно определения значений ПОЛ и концентрации белка при использовании метода многомерной регрессии с применением метода главных компонент.

Усиленное ПОЛ и накопление МДА могут привести к нарушению целостности мембраны и повреждению клетки. В условиях окислительного стресса время жизни образовавшихся активных форм кислорода (АФК) и их токсическое действие контролируются системой антиоксидантной защиты клетки, то есть соответствующими ферментами и метаболитами. При проведении исследований была выявлена зависимость образования биомассы от концентрации карбоната магния в питательной среде. Данные изменения влияют на рост биомассы мицелия при погруженном культивировании *Pleurotus ostreatus* и зависят от состава питательной среды.

### Выводы / Conclusion

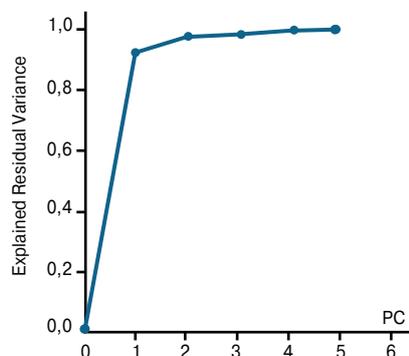
Установлено, что активность процессов ПОЛ при применении карбоната магния имеет обратно пропорциональную зависимость от концентрации добавки, при концентрации  $1 \times 10^{-6}$  рост биомассы мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* возрастает на 20,5% по сравнению с контролем.

Обработанные МГК данные об интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и концентрации белка в растворе и накопления биомассы мицелия учитывают априорную информацию о процессах при разноразмерных показателях и позволяют решить задачу определения величины химического ранга системы — числа главных компонент для определения границ оптимальных концентраций карбоната магния при планировании следующих экспериментов.

На основании исследований можно рекомендовать использование питательной среды с концентрацией карбоната магния ( $1 \times 10^{-6}$ ) при погруженном культивировании *P. ostreatus* для увеличения выхода мицеллярной биомассы.

**Рис. 2.** График объясненной (ERV) дисперсии остатков

**Fig. 2.** Explained variance (ERV) plot of residuals



Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сметанина Л.Г. Усовершенствование технологических процессов выращивания вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.). Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Москва. 2013; 22. <https://www.elibrary.ru/zoqykf>
2. Тренин А.С., Кац Н.Ю., Цвигун Е.А., Бычкова О.П., Краснополянская Л.М. Возможность создания новых лекарственных препаратов на основе базидиальных грибов. *Биотехнология и качество жизни. Международная научно-практическая конференция*. Москва: Экспо-биохим-технологии. 2014; 146, 147. <https://www.elibrary.ru/stcelz>
3. Golak-Siwulska I., Kaluzewicz A., Spizewski T., Siwulski M., Sobieralski K. Bioactive compounds and medicinal properties of Oyster mushrooms (*Pleurotus sp.*). *Folia Horticulturae*. 2018; 30(2): 191–201.
4. Deepalakshmi K., Mirunalini S. *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Biochemical Technology*. 2014; 5(2): 718–726.
5. Краснополянская Л.М., Автономова А.В., Леонтьева М.И., Белицкий И.В., Исакова Е.Б., Бухман В.М. Высокоэффективные способы погруженного культивирования ксилотрофных лекарственных и лекарственно-съедобных видов базидиальных грибов. Сергеев Ю.В. (ред.). *Успехи медицинской микологии. Материалы V Всероссийского конгресса по медицинской микологии*. М.: Национальная академия микологии. 2007; 9: 242–244.
6. Луцкий М.А., Куксова Т.В., Смелянец М.А., Лушников Ю.П. Свободно-радикальное окисление липидов и белков — универсальный процесс жизнедеятельности организма. *Успехи современного естествознания*. 2014; (12): 24–28. <https://elibrary.ru/sztnxl>
7. Каган В.Е., Орлов В.Г., Прилипо Л.Л. Проблема анализа эндогенных продуктов перекисного окисления липидов. Москва: *ВИНИТИ*. 1986; 133.
8. Чайка А.В., Молодцова Ю.А. Реакция прооксидантно-антиоксидантной системы как критерий отбора устойчивых к гипертермии штаммов *Pleurotus ostreatus*. *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2018; (3–4): 137–145. <https://elibrary.ru/vqnxce>
9. Hodges D.M., DeLong J.M., Forney C.F., Prange R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 1999; 207(4): 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
10. Тюлькова Н.А., Медведева С.Е., Бондарь В.С. Сравнительная оценка интенсивностей перекисного окисления липидов и свечения гриба *Neonothopanus nambi*. *Вестник КрасГАУ*. 2016; (1): 21–28. <https://elibrary.ru/vpmmlyf>
11. Тюлькова Н.А., Бондарь В.С. Содержание продуктов перекисного окисления липидов, активность антиоксидантных ферментов и интенсивность световой эмиссии базидиомицета *Neonothopanus nambi* при стрессе после механического повреждения. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2022; 15(3): 333–346. <https://elibrary.ru/sicszu>
12. Тюлькова Н.А., Бондарь В.С. Содержание диеновых конъюгатов и оснований Шиффа в мицелии гриба *Neonothopanus nambi* при разных уровнях его свечения в условиях стресса. *Вестник КрасГАУ*. 2019; (3): 37–44. <https://elibrary.ru/zabdcpr>
13. Барабой В.А. Механизмы стресса и перекисное окисление липидов. *Успехи современной биологии*. 1991; 111(6): 923–932.
14. Yin H., Xu L., Porter N.A. Free radical lipid peroxidation: mechanisms and analysis. *Chemical Reviews*. 2011; 111(10): 5944–5972. <https://doi.org/10.1021/cr200084z>
15. Померанцев А.Л. Хемометрика в Excel. Томск: *Изд-во ТПУ*. 2014; 435. ISBN: 978-5-4387-0374-7
16. Ефимова М.В. и др. Индуцированный брассиностероидами прайминг растений картофеля снижает окислительный стресс и повышает солеустойчивость. *Доклады Академии наук. Общая биология*. 2018; 478(6): 723–726. <https://doi.org/10.7868/S0869565218060233>
17. Milanović V. et al. Erythromycin-resistant lactic acid bacteria in the healthy gut of vegans, ovo-lacto vegetarians and omnivores. *PLoS ONE*. 2019; 14(8): e0220549. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220549>
18. Xia S. et al. Soil organic matter turnover depending on land use change: Coupling C/N ratios,  $\delta^{13}\text{C}$ , and lignin biomarkers. *Land Degradation & Development*. 2020; 32(4): 1591–1605. <https://doi.org/10.1002/ldr.3720>

## REFERENCES

1. Smetanina L.G. Improvement of technological processes of growing oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.). Abstract of the PhD (Agricultural sciences) Thesis. Moscow. 2013; 22 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/zoqykf>
2. Trenin A.S., Kats N.Yu., Tsvigun E.A., Bychkova O.P., Krasnopolskaya L.M. The Possibility of development of new medicines on the base of basidiomycetes. *Biotechnology and quality of life. International scientific and practical conference*. Moscow: Expo-Biochim-Technologies. 2014; 146, 147 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/stcelz>
3. Golak-Siwulska I., Kaluzewicz A., Spizewski T., Siwulski M., Sobieralski K. Bioactive compounds and medicinal properties of Oyster mushrooms (*Pleurotus sp.*). *Folia Horticulturae*. 2018; 30(2): 191–201.
4. Deepalakshmi K., Mirunalini S. *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *Journal of Biochemical Technology*. 2014; 5(2): 718–726.
5. Krasnopolskaya L.M., Avtonomova A.V., Leont'eva M.I., Belitskiy I.V., Isakova E.B., Bukhman V.M. Materials of the V All-Russian Congress on Medical Mycology. Sergeev Yu.V. (ed.). *Advances in Medical Mycology. Materials of the V All-Russian Congress on Medical Mycology*. Moscow: National Academy of Mycology. 2007; 9: 243–245 (In Russian).
6. Lutsky M.A., Kuksova T.V., Smelyanets M.A., Lushnikova Y.P. Lipid and protein free-radical oxidation as a universal vital process of the organism. *Advances in current natural sciences*. 2014; (12): 24–28 (In Russian). <https://elibrary.ru/sztnxl>
7. Kagan V.E., Orlov V.G., Prilipko L.L. The problem of analysis of endogenous products of lipid peroxidation. Moscow: *VINITI*. 1986; 133 (In Russian).
8. Chaika A.V., Molodtsova Yu. A. Reaction of prooxidant-antioxidant system as a criterion for *Pleurotus ostreatus*. *Problems of ecology and nature protection of technogenic region*. 2018; (3–4): 137–145 (In Russian). <https://elibrary.ru/vqnxce>
9. Hodges D.M., DeLong J.M., Forney C.F., Prange R.K. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 1999; 207(4): 604–611. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>
10. Tyul'kova N.A., Medvedeva S.E., Bondar' V.S. Comparative intensities evaluation of lipid peroxidation and luminescence of the fungus *Neonothopanus nambi*. *Bulletin of KSAU*. 2016; (1): 21–28 (In Russian). <https://elibrary.ru/vpmmlyf>
11. Tyulkova N.A., Bondar V.S. Content of lipid peroxidation products, activity of antioxidant enzymes, and intensity of light emission of basidiomycete *Neonothopanus nambi* under stress after mechanical damage. *Journal of Siberian Federal University. Series: Biology*. 2022; 15(3): 333–346 (In Russian). <https://elibrary.ru/sicszu>
12. Tyulkova N.A., Bondar V.S. The content of dien conjugates and Schiff bases in *Neonothopanus nambi* mycelium at different levels of its luminescence in stress conditions. *Bulletin of KrasGAU*. 2019; (3): 37–44 (In Russian). <https://elibrary.ru/zabdcpr>
13. Baraboy V.A. Mechanisms of stress and lipid peroxidation. *Advances in current biology*. 1991; 111(6): 923–932 (In Russian).
14. Yin H., Xu L., Porter N.A. Free radical lipid peroxidation: mechanisms and analysis. *Chemical Reviews*. 2011; 111(10): 5944–5972. <https://doi.org/10.1021/cr200084z>
15. Pomerantsev A.L. Chemometrics in Excel. *Wiley*. 2014; 336. ISBN: 978-1-118-60535-6
16. Efimova M.V. et al. The Priming of Potato Plants Induced by Brassinosteroids Reduces Oxidative Stress and Increases Salt Tolerance. *Doklady Biological Sciences*. 2018; 478(1): 33–36. <https://doi.org/10.1134/S0012496618010106>
17. Milanović V. et al. Erythromycin-resistant lactic acid bacteria in the healthy gut of vegans, ovo-lacto vegetarians and omnivores. *PLoS ONE*. 2019; 14(8): e0220549. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220549>
18. Xia S. et al. Soil organic matter turnover depending on land use change: Coupling C/N ratios,  $\delta^{13}\text{C}$ , and lignin biomarkers. *Land Degradation & Development*. 2020; 32(4): 1591–1605. <https://doi.org/10.1002/ldr.3720>

**ОБ АВТОРАХ:****Лариса Геннадиевна Ловцова,**

кандидат технических наук, доцент кафедры микробиологии и биотехнологии,  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова,  
пр-т им. Петра Столыпина, д. 1, здание 4, стр. 3, Саратов, 410012, Россия  
lausalovtsova2018@mail.ru  
+7 (904) 243-63-73  
<https://orcid.org/0000-0003-3114-3840>

**Маргарита Васильевна Забелина,**

доктор биологических наук, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства,  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова,  
пр-т им. Петра Столыпина, д. 1, здание 4, стр. 3, Саратов, 410012, Россия  
mvzabelina@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-2284-029X>

**Александр Владимирович Майоров,**

младший научный сотрудник,  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова,  
пр-т им. Петра Столыпина, д. 1, здание 4, стр. 3, Саратов, 410012, Россия  
mayorovsar@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1237-2907>

**Иван Валентинович Ловцов,**

аспирант кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства,  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова,  
пр-т им. Петра Столыпина, д. 1, здание 4, стр. 3, Саратов, 410012, Россия  
bk-192@bk.ru

**Тимур Борисович Тяпаев,**

кандидат экономических наук, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства,  
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова,  
пр-т им. Петра Столыпина, д. 1, здание 4, стр. 3, Саратов, 410012, Россия  
<https://orcid.org/0000-0001-6724-3603>

**Владимир Святославович Мавзовин,**

кандидат математических наук, доцент кафедры математики,  
Московский государственный строительный университет,  
Ярославское шоссе, д. 26, Москва, 129337, Россия  
mavzovin@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8085-3315>

**ABOUT THE AUTHORS:****Larisa Gennadievna Lovtsova,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology and Biotechnology, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,  
1 Pyotr Stolypin Ave., 4 building, 3 building, Saratov, 410012, Russia  
larisalovtsova2018@mail.ru  
+7 (904) 243-63-73  
<https://orcid.org/0000-0003-3114-3840>

**Margarita Vasilievna Zabelina,**

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,  
1 Pyotr Stolypin Ave., 4 building, 3 building, Saratov, 410012, Russia  
mvzabelina@mail.ru,  
<https://orcid.org/0000-0003-2284-029X>

**Alexander Vladimirovich Mayorov,**

junior researcher,  
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,  
1 Pyotr Stolypin Ave., 4 building, 3 building, Saratov, 410012, Russia  
mayorovsar@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1237-2907>

**Ivan Valentinovich Lovtsov,**

post-graduate student of the Department of Production and Processing of Livestock Products,  
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,  
1 Pyotr Stolypin Ave., 4 building, 3 building, Saratov, 410012, Russia  
bk-192@bk.ru

**Timur Borisovich Tyapaev,**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products,  
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,  
1 Pyotr Stolypin Ave., 4 building, 3 building, Saratov, 410012, Russia  
<https://orcid.org/0000-0001-6724-3603>

**Vladimir Svyatoslavovich Mavzovin,**

Candidate of Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Mathematics,  
Moscow State University of Civil Engineering,  
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia  
mavzovin@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8085-3315>