

Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры / Horticulture, Vegetable Growing, Viticulture, and Medicinal Crops

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-2-1530](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1530)

EDN: WYFKYP

УДК 635.82



Изучение влияния состава субстрата на химический состав плодовых тел съедобных грибов

А.В. Третьякова, О.В. Прокудина, А.С. Мягкова,
Р.В. Симонов, Г.В. Песцов

Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,
Тула, Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Сбалансированное соотношение углерода и азота (C:N) в субстрате для выращивания съедобных грибов является одним из ключевых факторов, который определяет скорость роста мицелия, морфогенез и плодоношение. Известно, что избыточное содержание углерода ограничивает синтез белков и ферментов, а недостаток азота замедляет развитие мицелия. Использование органических добавок, богатых азотом, например, зерновую пивную дробину, позволяет регулировать соотношение C:N в субстрате, улучшая его питательные свойства, а также изменять биохимический состав грибов, увеличивая содержание белков, жиров и минеральных веществ.

Цель. Изучить влияние изменения соотношения углерода и азота в субстрате при добавлении зерновой пивной дробины на химический состав плодовых тел съедобных грибов *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) и *Flammulina velutipes* (эноки).

Материалы и методы. В качестве основы субстрата использовали пшеничную солому, в которую добавляли 5% пшеничных отрубей (эталон) и зерновую пивную дробину в различных концентрациях. Определяли содержание углерода и азота в субстрате для расчёта соотношения C:N и химический состав плодовых тел (белок, жиры, углеводы, минеральные вещества). Количество азота определяли на CHN-анализаторе SDCHN636 фирмы Sundry. Содержание жиров определяли методом Сокслета. Количество золы определяли весовым методом. Количество

углеводов определяли, как разность (Углеводы = 100 - (Белок+Жиры+Зола)). Все измерения проводили в 5-ти кратной повторности, результаты обрабатывали статистически, используя пакет прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты. Для гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) при выращивании на субстрате с добавлением 10% зерновой пивной дробины отмечали увеличение содержания белка с 6,1 г до 12,7 г. и минеральных веществ с 3,7 г до 6,5 г. При этом содержание углеводов снижалось с 88,1 г до 78,5 г, что отражает перераспределение углерода в сторону синтеза белков. У гриба *Flammulina velutipes* (эноки) наблюдали аналогичную закономерность, на субстрате с добавлением 10% пивной дробины содержание белка возрастало с 7,0 г до 10,1 г, жиров с 2,9 г до 3,3 г, а золы с 4,19 г до 4,23 г. При этом содержание углеводов снижалось с 85,91 г до 82,37 г, что также указывает на усиление азотного обмена. Таким образом, добавление 10% зерновой пивной дробины в субстрат на основе пшеничной соломы способствует формированию плодовых тел со сбалансированным химическим составом.

Ключевые слова: *Pleurotus ostreatus*; *Flammulina velutipes*; пивная дробина; соотношение C:N; белок; субстрат; химический состав

Для цитирования. Третьякова, А. В., Прокудина, О. В., Мягкова, А. С., Си-монов, Р. В., & Песцов, Г. В. (2026). Изучение влияния состава субстрата на химический состав плодовых тел съедобных грибов. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 454–468. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1530>

Study of the effect of substrate composition on the chemical composition of fruit bodies of edible mushrooms

A.V. Tretyakova, O.V. Prokudina, A.S. Myagkova,
R.V. Simonov, G.V. Pestsov

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, Tula, Russian Federation

Abstract

Background. A balanced carbon-to-nitrogen ratio (C:N) in the substrate for cultivation of edible mushrooms is one of the key factors that determines the rate of mycelial growth, morphogenesis and fruiting. It is known that excessive carbon content limits the synthesis of proteins and enzymes, while nitrogen deficiency retards mycelial development. The use of organic nitrogen-rich additives, for example grain brewer pellets, makes it possible to regulate the substrate C:N ratio, improve its nutritional properties, and alter the biochemical composition of mushrooms, increasing the contents of protein, lipids and mineral substances. Terminology for certain substrate additives and related terms was used in accordance with the user's provided translation file.

Purpose. To investigate the effect of changing the carbon-to-nitrogen ratio in the substrate by addition of grain brewer pellets on the chemical composition of the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) and *Flammulina velutipes* (enoki).

Materials and methods. Wheat straw was used as the main substrate, with addition of 5% wheat bran (reference) and grain brewer pellets at various concentrations. Carbon and nitrogen contents in the substrate were determined to calculate the C:N ratio, and the chemical composition of the fruiting bodies was determined (protein, lipids, carbohydrates, mineral substances). Nitrogen content was determined using a CHN analyzer SDCHN636 (Sundy). Lipid content was determined by the Soxhlet method. Ash content was determined gravimetrically. Carbohydrate content was calculated by difference (Carbohydrates = 100 – (Protein + Lipids + Ash)). All measurements were performed in quintuplicate, and the results were processed statistically using Microsoft Excel software.

Results. For *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom), when cultivated on substrate with the addition of 10% grain brewer pellets, protein content increased from 6.1 g to 12.7 g, and mineral substances increased from 3.7 g to 6.5 g. At the same time, carbohydrate content decreased from 88.1 g to 78.5 g, which reflects a redistribution of carbon toward protein synthesis. For *Flammulina velutipes* (enoki) a similar pattern was observed: on substrate with 10% grain brewer pellets protein content increased from 7.0 g to 10.1 g, lipids from 2.9 g to 3.3 g, and ash from 4.19 g to 4.23 g. Carbohydrate content decreased from 85.91 g to 82.37 g, which also indicates enhanced nitrogenous metabolism. Thus, addition of 10% grain brewer pellets to a wheat straw-based substrate contributes to formation of fruiting bodies with a balanced chemical composition.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*; *Flammulina velutipes*; grain brewer pellets; carbon-to-nitrogen ratio; substrate; protein; chemical composition

For citation. Tretyakova, A. V., Prokudina, O. V., Myagkova, A. S., Simonov, R. V., & Pestov, G. V. (2026). Study of the effect of substrate composition on the chemical composition of fruit bodies of edible mushrooms. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(2), 454–468. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-2-1530>

Введение

В современной прикладной микологии и биотехнологии съедобные грибы рассматриваются не только как пищевой, но и как функциональный продукт благодаря сбалансированному химическому составу. В состав плодовых тел грибов входят белки, углеводы, липиды, витамины, макро- и микроэлементы, а также специфические биологические активные вещества (β -глюканы, полифенолы, стеролы и др.) [4]. Химический состав плодовых тел варьируется в зависимости от вида гриба, условий выращивания, стадии плодоношения и состава субстрата. Изменения в химическом составе влияют на питательную

ценность и функциональные свойства (например, иммуномодуляция, антиоксидантная активность) плодовых тел съедобных грибов.

В литературе описывается, что добавление азотосодержащих компонентов (мочевина, отруби, пивная дробина и др.) в субстрат для выращивания съедобных грибов приводит к росту общего содержания азота и, как следствие, к увеличению количества сырого протеина в плодовых телах, например, для родов *Pleurotus*, *Agaricus* и др. Количество накопленного плодовыми телами азота зависит от формы, дозы и момента его внесения. Умеренное обогащение субстрата повышает урожайность и увеличивает количество белка в плодовых телах, а чрезмерное внесение добавок, наоборот, может подавлять образование плодовых тел или ухудшать их качество [7; 16-18].

Важным критерием выбора компонентов субстрата является количество углерода (C), азота (N) и их соотношение (C:N). Углерод в субстрате входит в состав целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, других органических соединений, которые служат основным источником энергии и строительным материалом для мицелия грибов. Азот необходим грибам для синтеза белков, нуклеиновых кислот, ферментов и других азотсодержащих соединений, а также для роста мицелия и формирования плодовых тел. Если один из этих элементов в субстрате содержится в недостаточном количестве, например, мало азота или наоборот много азота или недостаточно углерода, то рост мицелия и плодообразование грибов может замедляться [9; 14].

Соотношение углерода к азоту (C:N) показывает определённый баланс между источником углерода и источником азота в субстрате. При соблюдении рекомендованного соотношения C:N обеспечивается достаточное количество энергии из углерода для активного роста мицелия и образования плодовых тел и достаточное количество азота для формирования мицелиальной биомассы [6; 13]. В литературных данных показано, что разные виды грибов требуют определённого соотношения C:N. Для гриба *Flammulina velutipes* рекомендуется соотношение углерода к азоту (C:N) как 27:1 [12]. Для гриба *Pleurotus ostreatus* рекомендуется использовать соотношение C:N примерно 30:1 [5; 15]. Использование субстратов с рекомендованным соотношением углерода к азоту обеспечивает более высокую урожайность и лучшую питательную ценность плодовых тел.

Материалы и методы

Для изучения влияния состава субстрата на химический состав плодовых тел съедобных грибов использовали вид *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) штамм 135 (ВКПМ F-813) и *Flammulina velutipes* (эноки, зимний

опенок) штамм 562 (ВКПМ F-562) из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика. В качестве основы для субстрата использовали пшеничную солому, в качестве добавок использовали пшеничные отруби 5% от массы субстрата (эталон) и зерновую пивную дробину в концентрациях 10%, 20% и 30%.

Для определения питательной ценности субстрата и подбора его состава для выращивания плодовых тел съедобных грибов изучали содержание азота и углерода с последующим расчетом их соотношения (C:N). Субстраты высушивали в сушильном шкафу при температуре 100°C до постоянной массы. Далее высушенные субстраты измельчали до размера частиц 1-2 мм. Определение массовой доли углерода (C) и азота (N) в образцах проводили на CHN-анализаторе SDCHN636 фирмы Sundy. Газовый анализатор SDCHN636 (Sundy, КНР) предназначен для одновременного определения массовой доли углерода (C), водорода (H) и азота (N) в различных образцах органического и неорганического происхождения. Принцип работы прибора основан на полном высокотемпературном сжигании навески в атмосфере кислорода и последующем анализе газообразных продуктов реакции с использованием детекторов по теплопроводности (TCD) и инфракрасного излучения (IR). В качестве газов используются: кислород – газ-окислитель; гелий – газ-носитель; азот – приводной газ для системы подачи. Программное обеспечение позволяет автоматически рассчитывать результаты, вести калибровку по стандартным образцам, составлять отчёты и контролировать качество анализа в ходе серии.

Соотношение углерода к азоту вычисляли как отношение процентного содержания углерода к процентному содержанию азота по формуле:

$$C:N = \frac{\%C}{\%N}$$

где: C:N - соотношение углерода к азоту, C – количество углерода, N количество азота [1, 11].

Исследование химического состава плодовых тел включало определение содержания белков, жиров, углеводов, золы в сухом веществе. Высушивание плодовых тел проводили по следующей методике: свежие плодовые тела помещали в тигли и проводили сушку при температуре 100°C до постоянной массы в сушильном шкафу.

Содержание белка рассчитывали по коэффициенту преобразования (количество N × на коэффициент 4,38). Литературные данные указывают, что использование общего коэффициента 6,25 завышает истинное содержание белка в плодовых телах, поскольку часть азота в грибах содержится в небелковых соединениях. Поэтому рекомендуется использовать коэф-

фициент – 4,38 [8; 10]. Количество азота определяли в плодовых телах на CHN-анализаторе SDCHN636 фирмы Sundy. Содержание жиров определяли методом Сокслета с использованием растворителя (1:2 этанол:ацетон) [2]. Для определения содержания золы навеску высушенного образца помещали в муфельную печь и прокаливали при 700°C до получения белого остатка (золы). Содержание золы рассчитывали, как отношение массы остатка к массе сухого вещества [3]. Количество углеводов определяли, как разность:

$$\text{Углеводов} = 100 - (\text{Белка} + \text{Жиры} + \text{Золы})$$

Все измерения проводили в 3-х кратной повторности. Результат приводили в пересчёте на 100 г сухого вещества. Полученные данные статистически обрабатывали, используя пакет прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

На первом этапе научно-исследовательской работы было определено содержание углерода (C) и азота (N), а также рассчитано их соотношение (C:N). Данный показатель является одним из ключевых и характеризует питательную ценность субстрата и его пригодность для культивирования съедобных грибов. Полученные данные позволяют оценить влияние внесения зерновой пивной дробины в различных концентрациях на изменение углеродно-азотного баланса субстратов и обосновать количество внесения зерновой пивной дробины в субстрат на основе соломы для развития мицелия и образования плодовых тел. Результаты анализа углеродно-азотного состава и их соотношения в различных субстратах представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Анализ углеродно-азотного состава субстратов
Table 1. Analysis of the Carbon-Nitrogen Composition of Substrates

№	Субстраты	Углерод (C), %	Азот (N), %	Соотношение углерода к азоту (C:N)
1	Пивная дробина	47,6±0,95	8,2±0,14	5,8:1
2	Солома	44,5±0,63	0,8±0,11	56,5:1
3	Солома + отруби пшеничные 5%	49,0±0,68	1,4±0,02	34,9:1
4	Солома + зерновая пивная дробина 10%	49,0±0,62	1,5±0,01	32,7:1
5	Солома + зерновая пивная дробина 20%	49,0±0,62	1,8±0,01	27,2:1
6	Солома + зерновая пивная дробина 30%	47,5±0,89	2,6±0,10	18,6:1

Анализ данных таблицы 1 показал, что добавление азотсодержащих компонентов влияет на соотношение C:N, которое определяет питательную ценность субстрата, обеспечивает условия для активного развития мицелия и образования плодовых тел грибов. Субстрат из нативной зерновой пивной дробины характеризуется низким соотношением углерода к азоту (5,8:1), что свидетельствует о высоком содержании белковых соединений. Использование зерновой пивной дробины в качестве самостоятельного субстрата для получения плодовых тел съедобных грибов может привести к избыточному накоплению аммиачного азота и замедлению плодообразования. Субстрат из пшеничной соломы, имеющий соотношение C:N 56,5:1, характеризуется низким содержанием азота и нуждается во внесении органических добавок для улучшения его питательной ценности.

Добавление зерновой пивной дробины в количестве 10-20% к соломе позволило достичь оптимального соотношения углерода к азоту (27-33:1), что соответствует физиологическим потребностям большинства культивируемых базидиомицетов. При таких значениях обеспечивается активное развитие вегетативного мицелия и формирование плодовых тел грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes*. Увеличение количества зерновой пивной дробины до 30 %, приводит к снижению соотношения C:N до 18,6:1, что может вызывать усиление микробиологической активности субстрата и повышать вероятность его самонагревания в период инкубации.

Таким образом, для культивирования плодовых тел съедобных грибов вида *P. ostreatus* и вида *F. velutipes* необходимо использовать субстраты с соотношением C:N в пределах 25-35:1, наиболее подходящим является субстрат, содержащий 10-20% пивной дробины, обеспечивающий соотношение углерода к азоту 27,2-32,7:1. Полученные результаты согласуются с литературными данными, указывающими на важность поддержания соотношения C:N для стабильного роста и развития мицелия, а также высокой урожайности плодовых тел.

На следующем этапе научно-исследовательской работы был проведен анализ и сравнение химического состава плодовых тел грибов, которые были получены на субстрате из пшеничной соломы с добавлением 5% пшеничных отрубей (контроль) и на субстрате из пшеничной соломы с добавлением 10% зерновой пивной дробины, так как такой субстрат не только обладает оптимальным соотношением углерода к азоту, но и, по предварительным данным, обеспечивает более высокую урожайность плодовых тел изучаемых видов грибов. Результаты изучения химического состава приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Анализ химического состава плодовых тел грибов *Pleurotus ostreatus* и *Flammulina velutipes* в пересчете на 100 г сухого вещества

Table 2. Analysis of the chemical composition of the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* and *Flammulina velutipes*, expressed per 100 g of dry matter

Субстрат	Соотношение углерода к азоту (C:N)	Белок, г	Жиры, г	Зола, г	Углево-ды, г
<i>Pleurotus ostreatus</i>					
Солома + отруби 5% (контроль)	30,7:1	6,1±0,10	2,1±0,13	3,7±0,10	88,1±0,12
Солома + пивная дробина 10%	15,6:1	12,7±0,30	2,3±0,10	6,5±0,13	78,5±0,20
<i>Flammulina velutipes</i>					
Солома + отруби 5% (контроль)	27,4:1	7,0±0,10	2,9±0,15	4,19±0,10	85,91±0,12
Солома + пивная дробина 10%	20,0:1	10,1±0,30	3,3±0,11	4,23±0,13	82,37±0,15

Результаты представленные в таблице 2 показывают, что химический состав плодовых тел грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes* связан с содержанием углерода, азота и их соотношением (C:N) в субстрате. Использование субстратов с правильно подобранным соотношением углерода и азота позволило получить плодовые тела с более высоким содержанием целевых органических компонентов (белковых соединений).

В плодовых телах гриба *P. ostreatus*, выращенных на субстрате из соломы с добавлением 10 % пивной дробины наблюдается снижение соотношения C:N до 15,6:1 с 30,7:1 (контроль), что связано с увеличением содержания белка – с 6,1 г до 12,7 г. Это свидетельствует о том, что добавление зерновой пивной дробины, повышает доступность азота для мицелия и стимулирует синтез белковых соединений в плодовых телах. Содержание жиров в плодовых телах изменяется незначительно – 2,3 г (2,1 г – контроль). Небольшое увеличение свидетельствует о том, что при изменении содержания азота и углерода в субстрате, липидный синтез в плодовых телах остаётся относительно стабильным. Количество минеральных веществ (зола) в плодовых телах гриба *P. ostreatus*, выращенных на субстрате из соломы с добавлением 10 % пивной дробины увеличивается до 6,5 г, а в контроле – 3,7 г, что свидетельствует о более активном накоплении минеральных элементов в плодовых телах при увеличении содержания азота в субстрате. Снижение доли углеводов в плодовых телах с 88,1 г до 78,5 г указывает на перераспределение углеродных

ресурсов из углеводного метаболизма в синтез белковых компонентов. Это метаболическая реакция грибов на повышение доступности азота в субстрате.

Анализируя данные таблицы 2 можно сделать вывод, что снижение соотношения C:N в плодовых телах гриба вешенки обыкновенной за счёт добавления 10 % пивной дробины в субстрат способствует увеличению содержания белка и минеральных веществ в плодовых телах, перераспределению углерода с синтеза углеводов на синтез белков. Таким образом, добавление азотсодержащих компонентов в субстраты для культивирования плодовых тел, является эффективным способом повышения пищевой ценности плодовых тел гриба *P. ostreatus*.

Для гриба *F. velutipes* (эноки) также прослеживается зависимость химического состава плодовых тел от соотношения углерода к азоту (C:N) в субстрате. В плодовых телах эноки наблюдается снижение соотношения C:N с 27,4:1 (солома + 5 % отрубей) до 20,0:1 (солома + 10 % пивной дробины) из-за увеличения содержания белка с 7,0 г до 10,1 г. Это указывает на то, что добавление 10% зерновой пивной дробины в субстрат для культивирования плодовых тел, повышает доступность азота для мицелия и стимулирует образование белка в плодовых телах. Содержание жиров увеличивается с 2,9 г до 3,3 г, что отражает более активное протекание липидного обмена при увеличении доли азота в субстрате. Доля золы в плодовых телах гриба *F. velutipes* увеличивается незначительно – с 4,19 г до 4,23 г, что свидетельствует о стабильном, но более эффективном накоплении минеральных элементов в плодовых телах при увеличении азотного питания. Содержание углеводов снижается с 85,91 г до 82,37 г, что отражает перераспределение углеродных ресурсов из углеводного обмена в синтез белков. Изменение соотношения C:N в плодовых телах эноки за счёт добавления 10 % пивной дробины в питательный субстрат приводит к увеличению белковой массы, умеренному росту содержания жиров и минеральных веществ, а также к перераспределению углерода на синтез белковых соединений. Таким образом, регулирование соотношения C:N в субстрате с помощью азотсодержащих добавок повышает пищевую ценность в плодовых телах гриба *F. velutipes*.

Заключение

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что химический состав плодовых тел съедобных грибов вида *P. ostreatus* и вида *F. velutipes* зависит от соотношения углерода к азоту (C:N) в питательном субстрате. Увеличение азота в субстрате из-за добавления 10% зерновой пивной дробины, приводит к увеличению белка, перераспределению углерода, изменению липидного и минерального состава плодовых тел. У гриба *P. ostreatus* наблю-

дается повышение содержания белка с 6,1 г до 12,7 г, а у гриба *F. velutipes* с 7,0 г до 10,1 г. Это свидетельствует о более эффективном усвоении азота и активном синтезе белков в плодовых телах при рекомендованном соотношении C:N. Содержание углеводов у вида *P. ostreatus* снижается с 88,1 г до 78,5 г, а у вида *F. velutipes* с 85,91 г до 82,37 г, что демонстрирует перераспределение углеродных ресурсов из углеводного обмена в синтез белков. Содержание жиров в плодовых телах изменяется незначительно, а количество минеральных веществ увеличивается, что указывает на накопление макро- и микроэлементов. Таким образом, регулирование соотношения C:N в субстрате с помощью зерновой пивной дробины позволяет повысить пищевую ценность плодовых тел, увеличивая количество белка, что является важным фактором для производства съедобных грибов. Добавление 10% пивной дробины в субстрат на основе пшеничной соломы обеспечивает увеличение количества белка в плодовых телах, и повышает минеральную ценность продукции, что делает этот подход перспективным для практического грибоводства.

Список литературы

1. Квиткина, А. К., Журавлева, А. И., Дударева, Д. М., & Быховец, С. С. (2020). Влияние соотношения углерода к азоту (C/N) на минерализацию и трансформацию лигнина: модельный подход. *Экология урбанизированных территорий*, (2), 30–40. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-12030>. EDN: <https://elibrary.ru/GJIMDF>
2. Болдырева, О. И., & Мозгунова, Е. М. (2012). *Методы исследования пищевых продуктов: методические указания к лабораторным работам*. Оренбургский государственный университет.
3. ГОСТ 15113.8-77. (1977). Концентраты пищевые. Методы определения золы. Стандарт.
4. Третьякова, А. В., Прокудина, О. В., Мягкова, А. С., & Песцов, Г. В. (2025). Химический состав плодовых тел гриба *Lentinula edodes* (шиитаке). В *Современные тенденции и практические решения в науке: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции* (с. 316). Международный центр «Новые научные исследования».
5. Okere, S. E., Onyekachi, O. P., Offor, M. O., Nwokoji, E. M., Ekpe, I. I., & Anyanwu, N. J. (2021). Effects of different carbon/nitrogen ratios on yield and bioconversion efficiency of *Pleurotus ostreatus* cultivated on cassava peels and sawdust-based substrate. *NJB*, 34(1), 117–124.
6. İnce, G., Soylu, M., & Çömlekçiöğlu, N. (2024). Effects of cultivation substrate composition on biological productivity and quality parameters of *Ganoderma lucidum*. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(2), 235–247. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1440438>.

7. Carrasco, J., Zied, D. C., Pardo, J. E., & Pardo-Giménez, A. (2018). Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8(146). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>. EDN: <https://elibrary.ru/VVEEUM>
8. Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact* (2nd ed.). CRC Press.
9. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
10. Crisan, E. V., & Sands, A. (1978). Nutritional value of edible mushrooms. In S. T. Chang & W. A. Hayes (Eds.), *The biology and cultivation of edible mushrooms* (pp. 137–165). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-168050-3.50012-8>.
11. Cueva, M. B. R., Hernández, A., & Ruiz, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49, 331–344.
12. Han, J., Sun, R., Huang, C., Xie, H., Gao, X., Yao, Q., Yang, P., Li, J., & Gong, Z. (2024). Effects of different carbon and nitrogen ratios on yield, nutritional value, and amino acid contents of *Flammulina velutipes*. *Life*, 14(5), 598. <https://doi.org/10.3390/life14050598>.
13. Gea, F. J., Suárez-Villanueva, V., & Navarro, M. J. (2022). Carbon and nitrogen dynamics during composting and their influence on *Agaricus bisporus* production. *Biology*, 11(4), 569. <https://doi.org/10.3390/biology11040569>. EDN: <https://elibrary.ru/YISKWB>
14. Song, B., Ye, J., Sossah, F.L. et al. Assessing the effects of different agro-residue as substrates on growth cycle and yield of *Grifola frondosa* and statistical optimization of substrate components using simplex-lattice design. *AMB Expr* 8, 46 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0565-8>
15. El-Ramady, H., Abdalla, N., Fawzy, Z., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., & Prokisch, J. (2022). Green Biotechnology of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A Sustainable Strategy for Myco-Remediation and Bio-Fermentation. *Sustainability*, 14(6), 3667. <https://doi.org/10.3390/su14063667>
16. Nunes, M. D., da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Ribeiro, J. J., de Cássia, M., & Kasuya, M. C. M. (2012). Nitrogen supplementation on the productivity and the chemical composition of oyster mushroom. *Journal of Food Research*, 1(2), 113–119. <https://doi.org/10.5539/jfr.v1n2p113>.
17. Sassine, Y. N., Bkaily, G., Hachem, M., Salloum, L., Frenn, D., & Jreijiry, J. (2021). Nano-urea effects on *Pleurotus ostreatus* nutritional value depending on the dose and timing of application. *Scientific Reports*, 11, Article 4275. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85191-9>. EDN: <https://elibrary.ru/KJXDRM>

18. Sassine, Y. N., Bkaily, G., Hachem, M., Salloum, L., Frenn, D., & Jreijiry, J. (2022). Changes in *Pleurotus ostreatus* nutritional value and heavy metal profile as a result of supplementation with nano-additive. *Scientific Information Forum*, 1(1), Article 12. <https://doi.org/10.48130/SIF-2022-0012>.

References

1. Kvitkina, A. K., Zhuravleva, A. I., Dudareva, D. M., & Bykhovets, S. S. (2020). Influence of the carbon-to-nitrogen ratio (C/N) on mineralization and transformation of lignin: A model approach. *Ecology of Urbanized Territories*, (2), 30–40. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2020-12030>. EDN: <https://elibrary.ru/GJIMDF>
2. Boldyreva, O. I., & Mozgunova, E. M. (2012). *Methods for the study of food products: Methodological guidelines for laboratory work*. Orenburg State University.
3. GOST 15113.8-77. (1977). Food concentrates. Methods for determination of ash. Standart.
4. Tretyakova, A. V., Prokudina, O. V., Myagkova, A. S., & Pestsov, G. V. (2025). Chemical composition of fruiting bodies of the fungus *Lentinula edodes* (shiitake). In *Modern trends and practical solutions in science: Collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference* (p. 316). International Center «New Scientific Research».
5. Okere, S. E., Onyekachi, O. P., Offor, M. O., Nwokoji, E. M., Ekpe, I. I., & Anyanwu, N. J. (2021). Effects of different carbon/nitrogen ratios on yield and bioconversion efficiency of *Pleurotus ostreatus* cultivated on cassava peels and sawdust-based substrate. *NJB*, 34(1), 117–124.
6. İnce, G., Soylu, M., & Çömlekçioglu, N. (2024). Effects of cultivation substrate composition on biological productivity and quality parameters of *Ganoderma lucidum*. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(2), 235–247. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1440438>.
7. Carrasco, J., Zied, D. C., Pardo, J. E., & Pardo-Giménez, A. (2018). Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *AMB Express*, 8(146). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>. EDN: <https://elibrary.ru/VVEEUM>
8. Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact* (2nd ed.). CRC Press.
9. Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
10. Crisan, E. V., & Sands, A. (1978). Nutritional value of edible mushrooms. In S. T. Chang & W. A. Hayes (Eds.), *The biology and cultivation of edible mushrooms* (pp. 137–165). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-168050-3.50012-8>.

11. Cueva, M. B. R., Hernández, A., & Ruiz, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49, 331–344.
12. Han, J., Sun, R., Huang, C., Xie, H., Gao, X., Yao, Q., Yang, P., Li, J., & Gong, Z. (2024). Effects of different carbon and nitrogen ratios on yield, nutritional value, and amino acid contents of *Flammulina velutipes*. *Life*, 14(5), 598. <https://doi.org/10.3390/life14050598>.
13. Gea, F. J., Suárez-Villanueva, V., & Navarro, M. J. (2022). Carbon and nitrogen dynamics during composting and their influence on *Agaricus bisporus* production. *Biology*, 11(4), 569. <https://doi.org/10.3390/biology11040569>. EDN: <https://elibrary.ru/YISKWB>
14. Song, B., Ye, J., Sossah, F.L. et al. Assessing the effects of different agro-residue as substrates on growth cycle and yield of *Grifola frondosa* and statistical optimization of substrate components using simplex-lattice design. *AMB Expr* 8, 46 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0565-8>
15. El-Ramady, H., Abdalla, N., Fawzy, Z., Badgar, K., Llanaj, X., Törös, G., Hajdú, P., Eid, Y., & Prokisch, J. (2022). Green Biotechnology of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A Sustainable Strategy for Myco-Remediation and Bio-Fermentation. *Sustainability*, 14(6), 3667. <https://doi.org/10.3390/su14063667>
16. Nunes, M. D., da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Ribeiro, J. J., de Cássia, M., & Kasuya, M. C. M. (2012). Nitrogen supplementation on the productivity and the chemical composition of oyster mushroom. *Journal of Food Research*, 1(2), 113–119. <https://doi.org/10.5539/jfr.v1n2p113>.
17. Sassine, Y. N., Bkaily, G., Hachem, M., Salloum, L., Frenn, D., & Jreijiry, J. (2021). Nano-urea effects on *Pleurotus ostreatus* nutritional value depending on the dose and timing of application. *Scientific Reports*, 11, Article 4275. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85191-9>. EDN: <https://elibrary.ru/KJXDRM>
18. Sassine, Y. N., Bkaily, G., Hachem, M., Salloum, L., Frenn, D., & Jreijiry, J. (2022). Changes in *Pleurotus ostreatus* nutritional value and heavy metal profile as a result of supplementation with nano-additive. *Scientific Information Forum*, 1(1), Article 12. <https://doi.org/10.48130/SIF-2022-0012>.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Третьякова Анастасия Валерьевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий научно-исследовательского института химических, фармацевтических и биотехнологий им. профессора С.С. Гитиса
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Прокудина Ольга Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий научно-исследовательского института химических, фармацевтических и биотехнологий им. профессора С.С. Гитиса
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com*

Мягкова Анастасия Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий научно-исследовательского института химических, фармацевтических и биотехнологий им. профессора С.С. Гитиса
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
myagkovanastasia@gmail.com*

Симонов Роман Викторович, научный сотрудник сектора аналитических исследований научно-исследовательского института химических, фармацевтических и биотехнологий им. профессора С.С. Гитиса
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
tulalse2020@mail.ru*

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией биотехнологий научно-исследовательского института химических, фармацевтических и биотехнологий им. профессора С.С. Гитиса
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
georgypestsov@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasia V. Tretyakova, Research Assistant Laboratory of Biotechnologies of the Scientific Research Institute of Chemical, Pharmaceutical and Biotechnologies named after Professor S.S. Gitis
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com
SPIN-code: 5486-0434
ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-6125-1206>
Scopus Author ID: 57113765800*

Olga V. Prokudina, Research Assistant Laboratory of Biotechnologies of the Scientific Research Institute of Chemical, Pharmaceutical and Biotechnologies named after Professor S.S. Gitis

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
prokudinaolga11@gmail.com*

SPIN-code: 9582-5520

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0003-1092>

Scopus Author ID: 58114609300

Anastasia S. Myagkova, Research Assistant Laboratory of Biotechnologies of the Scientific Research Institute of Chemical, Pharmaceutical and Biotechnologies named after Professor S.S. Gitis

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
myagkovanastasia@gmail.com*

SPIN-code: 6415-9331

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-7690-2281>

Roman V. Simonov, Researcher of the Sector of Analytical Research Biotechnologies of the Scientific Research Institute of Chemical, Pharmaceutical and Biotechnologies named after Professor S.S. Gitis

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
tulalse2020@mail.ru*

SPIN-code: 3655-2676

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8337-8147>

Georgiy V. Pestsov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the laboratory of Biotechnologies of the Scientific Research Institute of Chemical, Pharmaceutical and Biotechnologies named after Professor S.S. Gitis

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
georgypestsov@gmail.com*

SPIN-code: 8908-7112

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3877-0102>

Scopus Author ID: 57209299598

Поступила 26.12.2025

После рецензирования 20.02.2026

Принята 26.02.2026

Received 26.12.2025

Revised 20.02.2026

Accepted 26.02.2026