

# БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ СУБСТРАТОВ МИЦЕЛИАЛЬНЫМИ ГРИБАМИ

## BIOCHEMICAL COMPOSITION OF PRODUCTS OBTAINED BY MICROBIOLOGICAL CONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC SUBSTRATES WITH MYCELIAL MUSHROOM

**A. Bakshaliyev  
V. Musayeva  
A. Huseynova  
U. Nematova  
A. Hasanova**

*Summary.* The carried studies showed that mycelial, especially xylotrophic mushrooms, isolated from the territories of Azerbaijan, have all the necessary properties for the conversion of plant waste into enriched with various biologically active substances (protein, enzymes, polysaccharides, lipids, etc.) product. As a result of this, plant waste (centuries-old pulp, wheat straw, sunflower husk, etc.), forming in the agricultural sector of Azerbaijan, having low feed properties, due to bioconversion with their mycelial mushroom, the content of crude protein in them increased from 3–6 to 10.8–24.9%, true protein — 2–4% to 7.8–16.8%, and the amount of cellulose and lignin respectively decreased from 32.0–35.5% to 22.0–27.1%.

*Keywords:* agricultural sector, plant waste, bioconversion, mushrooms, feed products..

**Бахшалиев Арзу Елмар оглы**

Сумгаитский Государственный Университет,  
Азербайджан, г. Сумгаит  
baxshaliyev.arzu@mail.ru

**Мусаева Вусала Гаджи гызы**

Азербайджанский Государственный Экономический  
Университет, г. Баку  
efendiyev.nigar@mail.ru

**Гусейнова Афсана Энвер гызы**

Институт Микробиологии НАН Азербайджана,  
г. Баку  
efsane\_huseynova@mail.ru

**Нематова Улкар Вагиф гызы**

Азербайджанский Государственный Экономический  
Университет, г. Баку  
azmbi@mail.ru

**Гасанова Арзу Расул гызы**

Сумгаитский Государственный Университет,  
Азербайджан, г. Сумгаит  
arzu.h85@mail.ru

*Аннотация.* В проведенных исследованиях показано, что мицелиальные, особенно ксилотрофные грибы, выделенных из территорий Азербайджана, обладают всеми необходимыми свойствами для конверсии растительные отходы в обогащенным разными биологически активными веществами (белок, ферменты, полисахариды, липиды и др.) продукт. В результате этого, растительные отходы (векловичный жом, пшеничная солома, подсолнечная лузга и др.), образующие в аграрном сектора Азербайджана, имеющие низкие кормовые свойства, за счет биоконверсии их мицелиальными грибами содержание сырого протеина в них увеличивалось с 3–6 до 10,8–24,9%, истинного белка — 2–4% до 7,8–16,8%, а количество целлюлоза и лигнина соответственно уменьшалось с 32,0–35,5% до 22–27,1%.

*Ключевые слова:* аграрный сектор, растительные отходы, биоконверсия, грибы, пищевые продукты.

## Введение

**К**ак известно, что ежегодно население мира постепенно увеличивается, и это происходит при стабильности территории Земного шара, в результате которого ежегодно уменьшаются возможности Земного шара обеспечить население мира необходимыми продуктами за счет традиционных природных источников [21–22]. Именно такое обстоятельство определяет актуальность исследований по получению продуктов микробного

синтеза путем биоконверсии растительных субстратов [11, 16], которые возобновляются в процессе фотосинтеза.

Ежегодно, в результате фотосинтеза, образуется огромное количество зеленой биомассы и ее определенная часть — примерно 10% используется для удовлетворения потребностью мировой населению в энергии [22]. В ходе использования образуется многотоннажное вещество, которое не пригодно без дополнительной переработки. В связи с образованием предельно боль-

шого количества растительных отходов [10], приведение их в состояние пригодности с точки зрения практической необходимости, из-за ряда причин, является одной из актуальных задач современной науки, в том числе биологической.

Растительные отходы имеют очень сложную структуру и в их состав входят такие высокомолекулярные полимеры как целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, пектин и др. [17, 19–20]. Именно это является основным фактором, затрудняющим их использование в образованном виде без дополнительной переработки. Поэтому первой задачей необходимой для использования отходов в практических нуждах является превращение их в вещество, имеющее низкомолекулярный состав.

В настоящее время для решения данной проблемы используют разные подходы, наиболее перспективным из которых является биологический способ утилизации, прежде всего микробиологический и энзимологический [1, 10]. Так как переработка отходов биологическим способом, в продукт полезный в практических целях, позволила бы не только сберечь первичный материал, расширить в значительной мере сырьевую базу многих промышленности (микробиологической, биотехнологии и др.), но и существенно уменьшить загрязнение окружающей среды [2–5, 15].

Уже на протяжении нескольких лет в данной области проводятся исследования и в полученных результатах в основном показана возможность получения обогащенных белками, витаминами и другими биологически активными веществами продуктов разного (пищевого и кормового) назначения путем микробиологической конверсии растительных отходов [7–8, 11, 18]. Однако применение в практике полученных результатов в широком плане остается не решенным, что связано с рядом недостатков разного характера (экономический, экологический, технологический и др.). Среди них в первую очередь следует отметить нехватку продуцентов, имеющих необходимую биологическую активность для эффективной утилизации растительных отходов путем микробиологической конверсии, что в свою очередь предопределяет актуальность исследований, посвященных устранению названных недостатков.

При микробиологической конверсии таких отходов как правило предпочтение отдается мицелиальным, первый очередь ксилотрофным грибам [1, 11, 15], что легко объяснимо. Так как эти грибы являются активным продуцентом не только белков, витаминов, но ферментов широкого спектра действия [10]. Кроме того, образуемый ими белок имеет хороший, сбалансированный аминокислотный состав, содержание нуклеиновых кислот в образованных продуктах очень низкий и т.п.

Применение мицелиальных грибов в практике требует тщательного изучения состава и биологической ценности продуктов, получаемых с их помощью, что и явилось целью представленной работы.

## Материалы и методы

Для биоконверсии лигноцеллюлозных субстратов использовали следующие грибы: *Aspergillus niger*, *Bjerkandera adusta*, *Cerrena unicolor*, *Ganoderma lucidum*, *Penicillium verrucosum*, *Pleurotus ostreatus*, *Polyporus aquariceus*, *Trametes hirsutus*, *T. versicolor*, и *Trichoderma lignorum*, которые выделили в чистую культуры в ходе исследований из разных территорий Азербайджана.

В качестве субстрата были взяты свекловичный жом, пшеничная солома, подсолнечная лузга, опилки широколиственных деревьев и кукурузные кочерыжки, которые образуются в аграрном сектора Азербайджана [11]. Использованные субстраты подвергались только механическим способам предобработки, т.е. измельчали.

Качество продуктов пищевого и кормового назначения определяется наличием традиционных компонентов — белков, жиров, нуклеиновых кислот, целлюлозы, лигнина, гемицеллюлозы и др., количество которых определяли известным методом [6, 9, 12–14].

Процесс проводили в условиях жидкофазной (ЖФФ) и твердофазной (ТФФ) ферментации согласно известным методом.

## Полученные результаты и их обсуждение

В результате ферментации растительных отходов содержание сырого протеина в них увеличивалось с 3–6 до 10,8–24,9%, истинного белка — 2–4% до 7,8–16,8%, а количество целлюлоза уменьшалось с 32,0–35,5% до 22,0–27,1% (табл. 1). Биологическая ценность белков определяется в первую очередь степенью сбалансированности аминокислот и процентным содержанием незаменимых. В полученных нами биомассах последний показатель колеблется в пределах 36–48%. Для сравнения можно вспомнить, что количество незаменимых аминокислот в составе пшеничного белка составляет 30–32%, дрожжевой — 38–49%, мяса говядины — до 45%.

По сравнению с идеальным белком по ФАО, продукты ферментации лимитированы серосодержащими аминокислотами [4], в то же время по другим аминокислотам продукты ферментации превышают требуемый уровень. В целом содержание аминокислот в белках ферментированных субстратов отвечает требованиям к продуктам,

Таблица 1. Состав (%) полученных препаратов путем микробиологической конверсии растительных отходов мицелиальными грибами

Продуцент	Сырой протеин	Белок	Сырой жир	Целлюлоза	Зола	Нуклеиновые кислоты
<b>ЖФФ</b>						
T. hirsutus	20,7	13,2	2,4	25,5	3,2	0,74
T. versicolor	20,1	13,2	2,1	24,5	3,1	0,70
B. adusta	22,0	15,1	2,5	25,8	3,9	0,65
Pa. quriceus	21,5	14,0	2,6	26,5	3,8	0,67
P. ostreatus	22,4	15,1	2,2	23,6	3,0	0,57
C. unicolor	18,9	12,7	2,1	24,2	3,6	0,61
G. lucidum	17,9	11,8	2,3	24,7	3,8	0,52
A. niger	23,7	16,0	2,8	24,7	4,5	0,46
P. verruculosum	24,9	16,8	3,0	26,8	4,8	0,79
T. liqnorum	20,2	13,0	2,5	24,0	5,0	0,42
<b>ТФФ</b>						
T. hirsutus	16,7	11,2	2,9	24,1	5,8	0,90
T. versicolor	16,9	10,9	2,8	24,5	5,7	0,84
B. adusta	15,8	10,1	2,4	25,2	5,0	0,80
Pa. quriceus	15,2	10,5	2,3	25,0	4,9	0,84
P. ostreatus	17,4	12,1	3,0	22,0	5,2	0,78
C. unicolor	14,4	11,1	2,6	23,2	4,7	0,73
G. lucidum	14,2	10,9	2,7	22,8	4,9	0,64
A. niger	11,7	7,9	2,7	25,0	4,3	0,68
P. verruculosum	12,5	8,9	2,6	27,1	4,7	0,72
T. liqnorum	10,8	7,8	2,0	24,3	3,9	0,56

полученных путем микробиологического обогащения белком отходов сельского хозяйства.

К преимуществам препаратов грибного происхождения следует также отнести и низкое содержание (максимум 1,7%) в них нуклеиновых кислот, количество которых в препаратах бактериального происхождения доходит до 16%[10].

Одним из отличительных особенностей, используемых в ходе работы грибов, является обогащение лигноцеллюлозных отходов не только белками, но и липидами, содержащими до 60% и более ненасыщенных жирных кислот. Анализ жирнокислотного состава липидов показало, что среди ненасыщенных кислот преобладает линолевая кислота. Кроме того, в спектре жирных кислот полученных препаратов установлено присутствие арахидоновой кислоты.

Как видно из таблицы 1, что в процессе микробиологической конверсии не происходит только обогащение белком и другим физиологически активными веществам, но и обнаруживается глубокое разложение и перестройка полисахаридного комплекса отходов (табл. 1). Поскольку, снижается общее количество углеводов и увеличивается содержание легкоутилизируе-

мых сахаров(табл.2). Сравнительное изучение состава углеводов биомасс, полученных при ГК и ТФФ, показало, что субстраты обогащенные мицелиальными грибами в условиях ТФФ значительно богаче углеводами спирто- и водно-растворимых фракций. Отмечены существенные различия в углеводном составе полученных препаратов от используемого продуцента — гриба. Количество легкоутилизируемых (гемицеллюлозы) сахаров в ферментированных базидиальными грибами субстратах намного выше, чем в субстратах обогащенных микромицетами, а трудногидролизуемые (лигнина) наоборот.

Питательная ценность растительных отходов определяется не только количественным содержанием легкоусвояемых сахаров, но и их качественным составом. Анализы показали, что в этом аспекте полученные продукты можно считать полноценными, поскольку, их легкоусваиваемые фракции сахаров представлены арабинозой, ксилозой, фруктозой, маннозой, галактозой, глюкозой и в некоторых случаях целлобиозой.

Таким образом, полученные результаты показали, что растительные отходы, имеющие низкие кормовые свойства, за счет биоконверсии их мицелиальными грибами могут быть превращены в ценный кормовой продукт.

Таблица 2. Фракционный состав (%) белково-углеводных продуктов

Грибы	Спирто- и водорастворимые фракция	Гемицеллюлозы	Целлюлоза	лигнин
<b>ГК</b>				
T. hirsutus	2,4/1,6	18,5	19,5	16,7
T. versicolor	2,3/1,6	18,1	19,2	16,4
B. adusta	2,7/1,6	21,0	20,9	20,1
Paqariceus	2,3/1,4	20,3	20,8	20,4
Postreatus	2,7/1,5	18,9	17,8	17,2
A. niger	1,8/1,1	12,3	21,1	25,4
P. verrucosum	0,8/1,3	10,3	20,3	27,7
T. lignorum	1,3/1,2	14,3	19,4	29,5
<b>ТФФ</b>				
T. hirsutus	3,7/6,6	16,7	17,4	15,5
T. versicolor	3,4/6,7	16,6	17,7	15,7
B. adusta	4,4/5,5	17,9	19,1	17,1
Paqariceus	4,1/5,2	17,8	18,1	16,9
Postreatus	3,8/6,5	16,0	16,4	16,1
A. niger	5,3/5,1	11,3	20,3	23,8
P. verrucosum	2,8/3,3	8,7	19,0	25,7
T. lignorum	4,1/5,2	10,2	18,1	28,7
Контроль	0,7–1,0/0,6–0,7	26,7–31,3	32,2–37,8	31,4–35,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабицкая В. Г. Грибы — продуценты физиологически активных веществ на лигноцеллюлозе: биология и культивирование. Автореферат диссертации на соискание доктора биологических наук. Москва, 1991, 32с.
2. Белова Н. В. Грибы белой гнили древесины и возможность их использования для утилизации отходов. // Биотехнология, 2005, № 4, с. 55–58.
3. Брагинцева Л. М. Грибы источник биологически активных веществ // Успехи медицинской микологии, 2001, т. 1, с. 242–245
4. Бухало А. С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев: Наукова думка, 1988, 144 с.
5. Горшина, Е. С. Грибы рода *Trametes* Fr. как объекты биотехнологии. / Современная микология в России (второй съезд микологов России). М.: НА Микология, 2008, т. 2, с. 328–329.
6. Ермаков А.И. (под. ред.) Методы биохимических исследований растений, Л.: Колос, 1972, 456 с.
7. Кивилёв К. В. Перспективы биотехнологического использования дерево-разрушающих грибов // Прикл. биохимия и микробиология, 2005, т. 35, № 5, с. 659–667.
8. Кожемякина Н.В., Ананьева Е. П., Турина С. В. Условия культивирования, состав и биологическая активность мицелия *Flammulina velutipes* (Fr.) P. Krást. // Прикладная биохимия и микробиология, 2010, т. 45, № 5, с. 583–585.
9. Методы экспериментальной микологии (Под. ред. Билай В. И.) Киев: Наукова думка, 1982, 500с.
10. Мурадов П. З. Основы биоконверсии растительных субстратов. Баку: Из-во «Элм», 2003, 114с.
11. Мурадов П.З., Гасымов Ш. Н., Гахраманова Ф. Х. и др. Ксилотрофные грибы как активные деструкторы растительных отходов. // Вестник МГОУ, серия «Естественные науки», 2009, № 1, с. 109–112.
12. Практикум по биохимии (Под. ред. Н. П. Мешковой и С. Е. Северина.). М: МГУ, 1979, 430 с.
13. Хотянович А.В., Веденеева Н. В., Кубарева З. И. // Прикладная биохимия и микробиология, 1972, т. 8, № 2, с. 186–190.
14. Шарков В.И., Куйбина Н. И., Соловьев Ю. П., Павлова Т. А. Количественный анализ растительного сырья. Москва: Лесная промышленность, 1976, 72с.
15. Akinyele B.J., Olaniji O. O. and Arotupin D. J. Bioconversion of Selected Agricultural Wastes and Associated Enzymes by *Volvariella volvacea*: An Edible Mushroom. // Research Journal of Microbiology, 2011, v.6, p.63–70.
16. Bharathiraja S., Suriya J., Krishnan M., Manivasagan P., Kim S.-K. Production of Enzymes From Agricultural Wastes and Their Potential Industrial Applications. Adv. Food Nutr. Res. 2017, v.80, p.125–148.
17. Cutrim F.M., Ramos E. C. Abreu M. C., Godinho A. S. et al. A Study of Chemical Composition and Enzymatic Hydrolysis of Solid Organic Waste from Agrosilvopastoral Systems. // J. Braz. Chem. Soc., 2019, v. 30, N. 9, p.1955–1963,

18. Dashtban M., Schraft H., Qin W. Fungal bioconversion of lignocellulosic. Opportunities and Perspectives // *Int.J.Biol.Sci.*, 2009, v. 5(6), p. 578–595.
19. Dungani R., Karina M., Sulaeman A., Hermawan D. and Hadiyane A. Agricultural Waste Fibers Towards Sustainability and Advanced Utilization: A Review. // *Asian Journal of Plant Sciences*, 2016, v.15, p.42–55.
20. Isikgora F.H, Becer C. R. Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Platform for Production of Bio-Based Chemicals and Polymers.// *Polymer Chemistry*, 2015, v.6, p. 4497–4559
21. Owusu, P.A., Asumadu-Sarkodie, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation.// *Cogent Engineering*, 2016, 3(1), 1167990. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
22. Poppa J., Laknerb Z., Harangi-Rákosa M., Fáric M. The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment.// *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, v.32, p.559–578

© Бахшалиев Арзу Елмар оглы ( [baxshaliyev.arzu@mail.ru](mailto:baxshaliyev.arzu@mail.ru) ), Мусаева Вусала Гаджи гызы ( [efendiyev.nigar@mail.ru](mailto:efendiyev.nigar@mail.ru) ),

Гусейнова Афсана Энвер гызы ( [efsane\\_huseynova@mail.ru](mailto:efsane_huseynova@mail.ru) ),

Нематова Улкар Вагиф гызы ( [azmbi@mail.ru](mailto:azmbi@mail.ru) ), Гасанова Арзу Расул гызы ( [arzu.h85@mail.ru](mailto:arzu.h85@mail.ru) ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Сумгаитский Государственный Университет