Эколого-биотехнологические аспекты использования съедобных грибов в биоконверсии растительных отходов

Поступила 02.09.2019 г. / Принята к публикации 08.10.2019 г.

© Гусейнова Афсана Анвар

Институт Микробиологии Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Аннотация. Настоящая работа посвящена изучению экологических и биотехнологических аспектов биоконверсии соломы пшеницы съедобными грибами. Показано, что эффективность биоконверсии соломы пшеницы зависит от региональных климатических факторов. Была исследована способность синтеза белка гриба *Pleurotus*, культивируемого на соломе пшеницы. Также было установлено, что культивирование съедобных базидиомицетов в соломе пшеницы приводит к обогащению отходов до 10% белками. Показано, что контрольное количество белка в растительных субстратах составляет 3%, в субстрате с штаммом *Pleurotus ostreatus* D5 увеличивался до 12%, *P.ostreatus* F1 – до 11,47%, *P.pulmonarius* S6 – на 10,88%, *P. pulmonarius* F2 – до 9,57%. Проведенный анализ аминокислотного состава белковой массы, полученной переработанной грибами соломы, также подтвердил наличие незаменимых аминокислот, таких как валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и лизин. Установлено, что адаптация штаммов *Pleurotus ostreatus* D5, *P.ostreatus* F1, *P.pulmonarius* S6, *P. pulmonarius* F2 к питательным средам с соломой пшеницы происходит в течение 1–2 дней. Отмечается, что характеристика грибов в коротких фазах роста является очень важным биотехнологическим критерием для их выбора в качестве активных продуцентов. Отмечается перспектива использования грибов в биоконверсии растительных отходов, в том числе на получение питательных кормов.

Ключевые слова. Пшеничная солома, биоконверсия, биотехнология, съедобные грибы, отходы сельскохозяйственного производства, *Pleurotus*, грибы, корма.

Ecological and biotechnological aspects of the usage of edible mushrooms for bioconversion of plant waste

Received on September 02, 2019 / Accepted on October 08, 2019

© Huseynova Afsana Anvar

Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Abstract. This study is devoted to the research of ecological and biotechnological aspects of bioconversion of wheat straw by edible mushrooms. It is shown that the efficiency of bioconversion of wheat straw depends on regional climatic factors. The ability of protein synthesis by *Pleurotus* fungus cultivated on wheat straw was researched. It was also found that the cultivation of edible basidiomycetes on wheat straw leads to the enrichment of plant waste up to 10% proteins. It is shown that the amount of protein in plant substrates is 3% for control sample, the amount of protein in the substrate with the strain *Pleurotus ostreatus* D5 increased to 12%, *P. ostreatus* F1 – to 11.47%, *P. pulmonarius* S6 – to 10.88%, *P. pulmonarius* F2-to 9.57%. The analysis of amino acid composition of protein mass obtained by processed of straw recycling by mushrooms is shown the presence of essential amino acids such as valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine and lysine. It was found that the adaptation of strains of *Pleurotus ostreatus* D5, *P. ostreatus* F1, *P. pulmonarius* S6, *P. pulmonarius* F2 to the nutrient media with wheat straw occurs within 1–2 days. It is noted that the characteristic of fungi in the short growth phases is a very important biotechnological criterion for their selection as active producers. The prospect of using fungi in bioconversion of plant waste, including for obtaining nutritious feed, is noted.

Keywords. Wheat straw, bioconversion, biotechnology, edible fungi, agricultural wastes, *Pleurotus*, fungi, feeds.

Введение. В современную эпоху возросшая динамика поступления различного вида отходов в окружающую среду, в том числе растительных остатков, делает необходимым их рациональ-

ное использование. Кроме того, устойчивый рост спроса на определенные виды сельскохозяйственных культур также приводит к увеличению отходов от их производства и потребления. В ес-

тественной среде, в зависимости от экологических условий спонтанная биоконверсия растительных отходов ксилотрофными грибами, также приводит к увеличению количества растительных отходов [5, 9, 11]. Следует отметить, что количество отходов, образующихся в окружающей среде, оценивается в миллиарды тонн, и несвоевременная утилизация является одной из основных причин экологических нарушений окружающей среды.

Поэтому необходим анализ ксилотрофных грибов, чтобы отобрать наиболее активных продуцентов для переработки растительных отходов, а также должно быть обеспечено их использование в биотехнологических процессах. Известно, что грибы, а также макро и микромицеты являются неотъемлемой частью процесса утилизации отходов, образующихся во время сборки урожая [2, 10]. С этой точки зрения грибы являются основным компонентом безотходных технологических процессов. Как правило, технологическая сущность процесса биоконверсии растительных отходов заключается в том, что полисахариды с гомогенной и гетерогенной структурой, включая целлюлозу, гемицеллюлозу, пектин и лигнин, подвергаются воздействию ферментов, синтезируемых грибами. Ферменты – это идентичные внеклеточные белковые вещества, которые обогащают отходы белковыми соединениями, а также способствуют биопреобразованию полисахаридов [7, 8].

В то же время возможен рост съедобных грибов на растительных отходах, которые способствуют биоразложению растительных отходов и тем самым способствуют чистоте окружающей среды, а также возможности получения растительных кормов, обогащенных белками и другими питательными элементами. Учитывая, что съедобные грибы не синтезируют токсины или какие-либо вредные вторичные метаболиты, становится очевидным важность использования этих грибов как безопасного биотехнологического объекта. Это значительно расширяет спектр использования растительных отходов в хозяйстве.

Целью настоящей работы было изучение экологических и биотехнологических аспектов биоконверсии соломенных масс при производстве зерна с

использованием съедобных ксилотрофных грибов.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта исследования использовалось солома пшеницы и 20 различных местных штаммов вида грибов *Pleurotus*: *P. ostreatus* и *P. pulmonarius*. (рис. 1).

а

б

Рис. 1. Грибы, использованные в исследованиях: а – *P. ostreatus*; б – *P. pulmonarius*

Грибы выращивали при твердофазной ферментации с использованием метода глубинного культивирования. Для этого солому пшеницы сначала обрабатывают механическим способом. Механическое измельчение является наиболее простым способом предобработки растительного сырья. Измельчение позволяет увеличить удельную

поверхность материала, то есть площадь его контакта с химическими агентами или биокатализаторами. В современных биотехнологических методах переработки растительного сырья не только измельчают, но и фракционируют по величине частиц. Сильное механическое измельчение приводит к деструкции сырья на молекулярном уровне. Важно контролировать температурный режим процесса измельчения, поскольку сильный нагрев вызывает химические реакции в сырье. Увлажняют сырье до 65% и выращивают грибы при температуре 26...28 °С. Количество белка, образовавшегося на растительном субстрате, определяли спектрофотометрическим и методом Лоури. Также была определена последовательность аминокислот в структуре белка методом ПЦР (полимеразной цепной реакции) [1, 3, 4, 6].

Результаты и обсуждение. Исследования показали что пшеничная солома содержит 43% целлюлозы, 27% лигнина, 25% гемицеллюлозы и 5% соединений азота. Кроме того, сравнительные исследования показывают, что, в отличие от микромицетов, макромицеты в том числе *Pleurotus ostreatus* и *P. pulmonarius* характеризуются сбалансированной ферментной системой, которое способно синтезировать ферменты расщепляющие лигноцеллюлозный комплекс растительных субстратов.

В то же время одной из характеристик изучаемых грибов является то, что они съедобны. Образовавшие массу мицелия грибов, можно использовать как отдельно, так и вместе с субстратом в качестве корма. Поэтому эти грибы широко используются при глубинном культивировании и в твердофазной ферментации субстратов (ТФФ).

Также установлено, что эффективность биоконверсии пшеничной соломы также зависит от регионально-климатических факторов. Потому что климатические факторы играют очень важную роль в формировании химического состава лигноцеллюлозного комплекса у злаков. В связи с этим при биоконверсии растительных субстратов целесообразно использовать местные активные штаммы съедобных грибов. Для этого во время исследования был проведен скрининг 12 местных штаммов адаптированных к растительному субстрату. Установлено, что адаптация штаммов *Pleurotus ostreatus* D5,

P.ostreatus F1, *P.pulmonarius* S6, *P. pulmonarius* F2 к питательным средам с соломой пшеницы происходит в течение 1–2 дней. Следует отметить, что характеристика грибов в коротких фазах роста является очень важным биотехнологическим критерием для их выбора в качестве активных продуцентов.

Была исследована способность синтеза белка гриба *Pleurotus*, культивируемого на соломе пшеницы. Обнаружено, что на 7-е и 8-е сутки перерабатываемый объект содержит максимальное количество белка (рис. 2).

Рис. 2. Динамика формирования белка штаммов *Pleurotus*, культивируемых на соломе пшеницы: 1 – *Pleurotus ostreatus* D5; 2 – *P. ostreatus* F1; 3 – *P. ostreatus* S6

Таким образом, если контрольное количество белка в растительных субстратах составляет 3%, в субстрате с штаммом *Pleurotus ostreatus* D5 увеличивался до 12%, *P.ostreatus* F1 – до 11,47%, *P.pulmonarius* S6 – на 10,88%, *P. pulmonarius* F2 – до 9,57%.

Проведение методом ПЦР анализ аминокислотного состава белковой массы, полученной из переработанной грибами соломы, также подтвердило наличие незаменимых аминокислот, таких как валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и лизин.

Максимальное накопление белка в грибах рода *Pleurotus* происходит в экспоненциальной фазе процесса роста, на 8-е сутки культивирования. Каталитический распад полимеров наблюдается одновременно с синтезом гидролитических и окислительных ферментов. Это связано с тем, что в течение первых 10

дней культивирования, лигнин распадается на 15%.

Заключение

Таким образом, исследования показали, что культивирование соломы пшеницы путем глубокого культивирования или твердофазной ферментации приводит к увеличению содержания белка в продукте на 10%, хотя потеря лигнина в комплексе лигноцеллюлозы составляет 20%. Это доказывает, что утилизация растительных отходов съедобными ксилотрофными грибами имеет ряд экологических и биотехнологических особенностей, что позволяет предположить существенную перспективу их использования при биоконверсии растительных отходов, в том числе на получение питательных кормов.

Библиографический список

1. Александрова Г.П., Петров В.Н., Медведева С.А., Бабкин В.А. Отбор лигнинразрушающих грибов для биотехнологических процессов // Прикл. Биохимия и микробиология, 1998, том 34, №3, стр.: 270-275
2. Бабицкая В.Г., Щерба В.В., Паромчик И.И., Осадчая О.В., Филимонова Т.В., Рожкова З.А. Новый продукт функционального назначения с грибами рода вешенка // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. Минск. 2007. С. 292-298.
3. Бухало А.С. Высшие съедобные грибы в чистой культуре. Киев: Наукова думка, 1998. 144 с.
4. Ильина Г.В., Ильин Д.Ю., Лыков Ю.С. Роль специфики лигноцеллюлозных субстратов при культивировании ксилотрофных грибов in vitro // Микология и фитопатология, 2009, т.43, вып. 2. С. 135-140.
5. Казарцева И.А. Факторы, обеспечивающие биоделигнификацию лигноцеллюлозного субстрата // Современная микология в России. Москва, 2012, том 3. С. 153-154
6. Кожемякина Н.В., Турина С.В., Ананьева Е.П. Глубинное культивирование некоторых базидиомицетов // Современная микология России: мат. встего съезда микологов России. М: Национальная академия микологии, 2008, т.2. С. 330.
7. Мурадов П.З. Особенности ферментативной активности ксилотрофных грибов в биоконверсии растительных

отходов. Автореф. дисс. ... д-ра наук. Баку, 2004, 58 с.

8. Тоймабаева Д.Б., Нечай Н.Л. Продуценты целлюлозолитических ферментов // Современная микология в России. Москва, 2012, том 3. С. 138-139.
9. Albores S., Pianzola M.J., Soubes M., Cerdeiras P. Biodegradation of agroindustrial wastes by *Pleurotus* spp. for its use as ruminant feed // Journal of Biotechnology, 2006, v.9, №3. P. 215-220.
10. Gaitan-Hernandez R., Esqueda M., Gutierrez A., Sanchez A. Bioconversion of agrowastes by *L. edodes* the high potential of viticulture residues // Appl. Microbiol. Biotechnol., 2006, v.71, N4. P. 432-439.
11. Pothiraj C., Kanmani P., Balaji P. Bioconversion of Lignocellulose Materials // Mycobiology. 2008 Dec; 34(4). P. 159-165.

References in roman script

1. Aleksandrova G.P., Petrov V.N., Medvedeva S.A., Babkin V.A. Otkhor ligninrazrushayushchih gribov dlya biotekhnologicheskikh processov // Prikl. Biohimiya i mikrobiologiya, 1998, tom 34, №3, str.: 270-275
2. Babickaya V.G., SHCHHerba V.V., Pa-romchik I.I., Osadchaya O.V., Filimonova T.V., Rozhkova Z.A. Novyj produkt funkcional'nogo naznacheniya s gribami roda veshenka // Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty. Minsk. 2007. S. 292-298.
3. Buhalo A.S. Vysshie s"edobnye griby v chistoy kul'ture. Kiev: Naukova dumka, 1998. 144 s.
4. Il'ina G.V., Il'in D.YU., Lykov YU.S. Rol' specifiki lignocellyuloz-nyh substratov pri kul'tivirovanii ksilotrofnyh gribov in vitro // Miko-logiya i fitopatologiya, 2009, t.43, vyp. 2. S. 135-140.
5. Kazarceva I.A. Faktory, obespechivayushchie biodelignifikaciyu lignocellyuloznogo substrata // Sovremennaya mikologiya v Rossii. Moskva, 2012, tom 3. S. 153-154
6. Kozhemyakina N.V., Turina S.V., Anan'eva E.P. Glubinnoe kul'tiviro-vanie nekotoryh bazidiomicetov // So-vremennaya mikologiya Rossii: mat. vtogo s"ezda mikologov Rossii. M: Nacional'naya akademiya mikologii, 2008, t.2. S. 330.

7. Muradov P.Z. Osobennosti fermentativnoj aktivnosti ksilotrofnyh gribov v biokonversii rastitel'nyh othodov. Avtoref. diss. ... d-ra nauk. Baku, 2004, 58 s.

8. Tojmabaeva D.B., Nechaj N.L. Producenty cellyulozoliticheskikh fermentov // Sovremennaya mikologiya v Rossii. Moskva, 2012, tom 3. S. 138-139.

9. Albores S., Pianzola M.J., Soubes M., Cerdeiras P. Biodegradation of agroindustrial wastes by *Pleurotus* spp. for

its use as ruminant feed // Journal of Biotechnology, 2006, v.9, №3. P. 215-220.

10. Gaitan-Hernandez R., Esqueda M., Gutierrez A., Sanchez A. Bioconversion of agrowastes by *L. edodes*: the high potential of viticulture residues // Appl. Microbiol. Biotechnol., 2006, v.71, N4. P. 432-439.

11. Pothiraj C., Kanmani P., Balaji P. Bioconversion of Lignocellulose Materials // Mycobiology. 2008 Dec; 34(4). P. 159-165.

Дополнительная информация

Сведения об авторах:

Гусейнова Афсана Анвар, младший научный сотрудник; Институт Микробиологии Национальной Академии Наук Азербайджана; г. Баку, Патамдартское шоссе 40, Az 1004; e-mail: azmbi@mail.ru.

В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Гусейнова А.А. Эколого-биотехнологические аспекты использования съедобных грибов в биоконверсии растительных отходов // Экология и строительство. 2019. № 3. С. 44–48. doi: [10.35688/2413-8452-2019-03-006](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-03-006).

Additional Information

Information about the authors:

Huseynova Afsana Anvar, junior researcher; Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan; 40, Badamdar avenue, Baku, Azerbaijan, AZ1073; e-mail: azmbi@mail.ru.

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Huseynova A.A. Ecological and biotechnological aspects of usage of edible mushrooms for bioconversion of plant waste // Ekologiya i stroitelstvo. 2019. № 3. P. 44–48. doi: [10.35688/2413-8452-2019-03-006](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2019-03-006).