

УДК 630.86:602.4

## УТИЛИЗАЦИЯ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ БИОДЕСТРУКЦИИ ГРИБОМ *PLEUROTUS PULMONARIUS* С ПОЛУЧЕНИЕМ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

© *A.O. Тихонова<sup>1</sup>, Е.В. Исаева<sup>1</sup>, О.О. Мамаева<sup>1</sup>, Л.К. Казарян<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049, Россия,  
*nastya00tix@mail.ru*

<sup>2</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036, Россия

В данной статье рассматривается проблема экологической утилизации вегетативной части побегов древесных растений, в частности листьев. Данные отходы остаются после листопадного сезона и кронирования деревьев, используемых для озеленения городов, также листовые отходы образуются при деревообработке и лесозаготовлении.

Приведены результаты по утилизации листьев бересы и осины методом твердофазного культивирования. В качестве биодеструктора использовали ксилотрофный базидиальный гриб *Pleurotus pulmonarius* (штамм PP-3.2). Ростовые параметры культуры в зависимости от типа субстрата составили: скорость роста – 2.4–3.2 мм/сут, ростовой коэффициент – 42–66 ед. Максимальная убыль массы субстратов после культивирования 21–24% отмечена для послеэкстракционных остатков листьев, у зеленых и опавших она в 1.4 раза ниже. Содержание белка в продуктах культивирования колеблется от 14.4% (листья бересы) до 20.7% а.с.с. (листья осины). В составе белков полученных продуктов идентифицировано 10 аминокислот, в том числе четыре незаменимых ( треонин, валин, метионин, изолейцин) и одна условно незаменимая – гистидин. Полученный продукт может быть рекомендован в качестве кормовой добавки.

**Ключевые слова:** листья, береса бородавчатая, осина обыкновенная, биодеструкция, твердофазное культивирование, *Pleurotus pulmonarius*.

**Для цитирования:** Тихонова А.О., Исаева Е.В., Мамаева О.О., Казарян Л.К. Утилизация листьев древесных растений в процессе биодеструкции грибом *Pleurotus pulmonarius* с получением кормовой добавки // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 320–328. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250316400>.

### **Введение**

В Красноярском крае скапливается значительное количество древесных отходов – около 6.8 млн м<sup>3</sup>, в том числе 3.7 млн м<sup>3</sup> – от лесозаготовительных работ и 3.1 млн м<sup>3</sup> – от деревообработки [1]. Ежегодное накопление древесных отходов создает общее повышение уровня пожароопасности. Также древесные отходы образуются и в пределах города, во время кронирования деревьев, используемых для озеленения города, и листопадного сезона.

Некоторая часть древесных отходов (опилки, щепа, кора) поддается вторичной обработке, в качестве сырья для спиртодрожжевого и целлюлознобумажного производства, создания брикетов и пеллет [2], но такой отход как листья в основном утилизируется сжиганием или вывозится на свалки.

Древесные растения играют важную роль в городском озеленении, обеспечивая многочисленные преимущества для окружающей среды и жителей города. Они улучшают качество воздуха, уменьшают уровень шума, создают тень, а также защищают от эрозии и укрепляют почву. В Красноярском крае для озеленения городов широко использовали тополь бальзамический, помимо тополя – и другие древесные растения, такие как береса, осина, сосна, ель, клен.

Известно, что вегетативная часть побегов древесных растений богата такими веществами, как фенольные соединения, танины, витамины, терпены, терпеноиды и т.д. Благодаря своей возобновляемости

\* Автор, с которым следует вести переписку.

древесные растения могут служить перспективным источником для получения биологически активных веществ (БАВ).

На сегодняшний день известны работы по использованию вегетативной части некоторых видов тополей, в частности бальзамического и черного, для получения БАВ. Наиболее полно изученный вид сырья – почки тополя. Экстракты почек тополя, содержащие в своем составе эфирные масла и флавоноиды, обладают высокой биологической активностью [3–5]. Имеются сведения о перспективности использования почек и листьев тополя в качестве источника для получения эффективных антбиактериальных и противогрибковых лекарственных средств и провитаминных концентратов [6–8].

Отходы, образующиеся при переработке биомассы дерева, можно утилизировать экологически и экономически выгодно. Эти отходы могут служить сырьем для получения кормов, которые необходимы, поскольку состояние кормовой базы отстает от запросов животноводства [9, 10]. Также несмотря на большое количество исследований, направленных на улучшение питания сельскохозяйственных животных, на сегодняшний день остается актуальной проблема, связанная с дефицитом белка в кормах животных. Например, в рационе высокопродуктивных коров доля защищенного белка должна составляла около 45% от общего протеина, легкопереваримого протеина – 15%, кислотно-детергентного протеина – до 5%, а микробного протеина – около 35%. Такое соотношение способствует повышению молочной продуктивности и улучшению качества молока [11, 12].

Решить данную проблему можно с помощью микробиологической конверсии растительных отходов. В качестве биодеструкторов перспективно использовать базидиальные грибы, в частности *Pleurotus* [13, 14]. Так, при конверсии опавших листьев тополя бальзамического с участием *Pleurotus pulmonarius* получен продукт, содержащий до 28% белка с высоким содержанием фенилаланину и тирозином, треонину, валину и изолейцину, 0,3% нуклеиновых кислот [13]. Таким образом, выращивание базидиальных грибов на листовых отходах позволит не только утилизировать их, но и получить дефицитный продукт.

В настоящем исследовании приведены результаты культивирования штамма PP-3.2 *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. на субстратах из листьев осины и березы. Показана возможность их использования в качестве субстратов для биоконверсии.

### Экспериментальная часть

В работе в качестве ростовых субстратов использовали листья березы бородавчатой *Betula pendula* и осины обыкновенной *Populus tremula*. Пробы зеленых листьев отбирали в начале августа, опада – в сентябре 2022 г. в г. Красноярске на о. Татышев. Сыре высушивали на воздухе, измельчали (размер частиц 5 мм) и хранили в закрытых сосудах при постоянной влажности.

Биодеструкции подвергали среды следующего состава: зеленые листья березы (субстрат 1) и осины (субстрат 2), листовой опад березы (субстрат 3) и осины (субстрат 4). Также использовались послеэкстракционные остатки (п.э.о.) зеленых листьев березы (субстрат 5) и осины (субстрат 6), полученные после выделения спирторастворимых веществ, обладающих антимикробной активностью и имеющих самостоятельное применение. Для биоконверсии субстратов использовали метод твердофазного культивирования. Предварительно субстраты увлажняли водопроводной водой до 70% и стерилизовали в чашках Петри. Стерилизацию осуществляли несколько раз (с интервалом сутки) насыщенным паром при давлении 0,1 МПа в течение 20 мин.

Посевной материал штамма PP-3.2 получали методом культивирования на агаризованной среде в течение 7 сут. С целью стандартизации посевов в качестве инокулюма использовали блоки (диаметр 10 мм), вырезанные микробиологическим пробойником из зоны роста семи суточной культуры *P. pulmonarius* [15]. Культивирование проводили при  $(25\pm1)$  °С до полного обрастания чашки или остановки роста.

По мере роста оценивали ростовые параметры культуры (диаметр и плотность колонии, высота мицелия). Плотность колонии отмечали по трехбалльной системе (1 – редкая, 2 – средняя, 3 – плотная) [16].

Об эффективности воздействия ферментативного комплекса базидиального гриба *Pleurotus pulmonarius* на субстраты судили по их убыли массы в процессе биодеструкции [16].

Химический состав растительных субстратов до и после микробиологической переработки исследован по методикам, принятым в химии растительного сырья [17]. Спирторастворимые и водорастворимые вещества выделяли с помощью трехчасовой экстракции этиловым спиртом и горячей водой соответственно. Гидролиз легкогидролизуемых полисахаридов проводили с использованием 2% соляной кислоты,

трудногидролизуемых полисахаридов – 80% серной кислотой. Количество моносахаридов определяли эбулиостатическим методом. Лигниновые вещества устанавливали по методике Комарова [17].

Содержание белка в продуктах биодеструкции определяли методом Кильдаля [18]. Анализатор белка по Кильдалю UDK 159 в комплекте (дигестр DKL 12, насос рециркулирующий JR, скруббер SMS). Анализ аминокислотного состава выполнен по методике измерения массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» [19].

Липиды выделяли методом Блайя и Дайера [20]. Для удаления нелипидных примесей хлороформ-водный экстракт трижды промывали 1%-ным NaCl и анализировали методом колоночной хроматографии на силикагеле L 100/250 меш. В качестве элюентов использовали хлороформ, ацетон и изопропанол. Выход липидов, соответствующих каждому растворителю, рассчитывали на массу абсолютно сухого сырья [20].

Содержание нуклеиновых кислот определяли по методу Спиринга [21].

Количественное определение флавоноидов проводили методом спектрофотометрии, основанным на реакции комплексообразования флавоноидов с хлоридом алюминия в извлечениях из сырья без дополнительных стадий очистки [22].

Содержание витамина В<sub>1</sub> (тиамина) определяли по следующей методике: навеску 1 г сырья растирали с 4 мл дистиллированной воды, перемешивали и фильтровали, затем фильтрат титровали 0.1 н. NaOH в присутствии пяти капель 1%-ного раствора бром-синего тимолового до голубого окрашивания [23], затем рассчитывали содержание витамина В<sub>1</sub>.

Перевариваемость субстратов до и после биодеструкции определяли по методу А.Р. Жукова с использованием хлорфенольной смеси [24].

Эксперименты проводили в трех проворностях. Для статистической обработки результатов использовали стандартные методики [25]. Полученные результаты не выходили за пределы доверительной вероятности Р=0.95.

### **Обсуждение результатов**

Биоконверсия листьев древесных растений протекала в массе измельченного и влажного твердого субстрата. На субстратах в процессе культивирования гриб *Pleurotus pulmonarius* образовывал колонии белого цвета, с ровными краями и с четко выраженной зональности. Морфология колоний на 14-е сутки представлена на рисунке.

На зеленых листьях и их послеэкстракционных остатках гриб образовывал более плотный и пушистый мицелий по сравнению с листовым опадом. Помимо морфологических признаков в процессе культивирования оценивали ростовые параметры, такие как скорость роста (СР) и ростовой коэффициент (РК) (табл. 1).

Максимальная скорость роста гриба отмечена на 10-е сутки культивирования. Наиболее высокие ростовые параметры штамма РР-3.2 наблюдались на зеленых листьях осины и послеэкстракционных остатках исследуемых листьев. Причем предварительная экстракция спирторастворимых веществ из листьев березы приводила к увеличению как скорости роста, так и ростового коэффициента на 22 и 15% соответственно. Для листьев осины ростовые параметры были близки.

Следует обратить внимание, что наивысший РК на субстратах из зеленых листьев и их послеэкстракционных остатков был наивысшим на 12–14 сутки культивирования (РК>100), т.е. штамм проявлял себя как быстрорастущий. На субстратах из листового опада штамм РР-3.2 рос со средней скоростью, наивысший РК отмечен на 10–12 сут [16]. Ростовой показатель гриба *P. pulmonarius* на опаде листьев осины и березы в два раза выше, чем на опаде тополя, но скорость роста вегетативного мицелия была ниже в 1.5 раза (СР – 3.6, РК – 19.5) [13].

Об эффективности воздействия ферментативного комплекса штамма РР-3.2 на субстраты судили по их убыли массы в процессе биодеструкции, которая составила после 14 сут. культивирования от 15% (опад осины) до 27.5% (п.э.о. листьев березы).

Трансформация компонентов субстратов на основе листьев березы и осины в процессе биодеградации представлена в таблице 2.

Как видно из данных таблицы 2, убыль массы исходных субстратов идет в основном за счет конверсии экстрактивных веществ и легкогидролизуемых полисахаридов. После биодеградации в листьях исследуемых пород содержание экстрактивных веществ снизилось от 12% (п.э.о. листьев березы) до 50% (опад

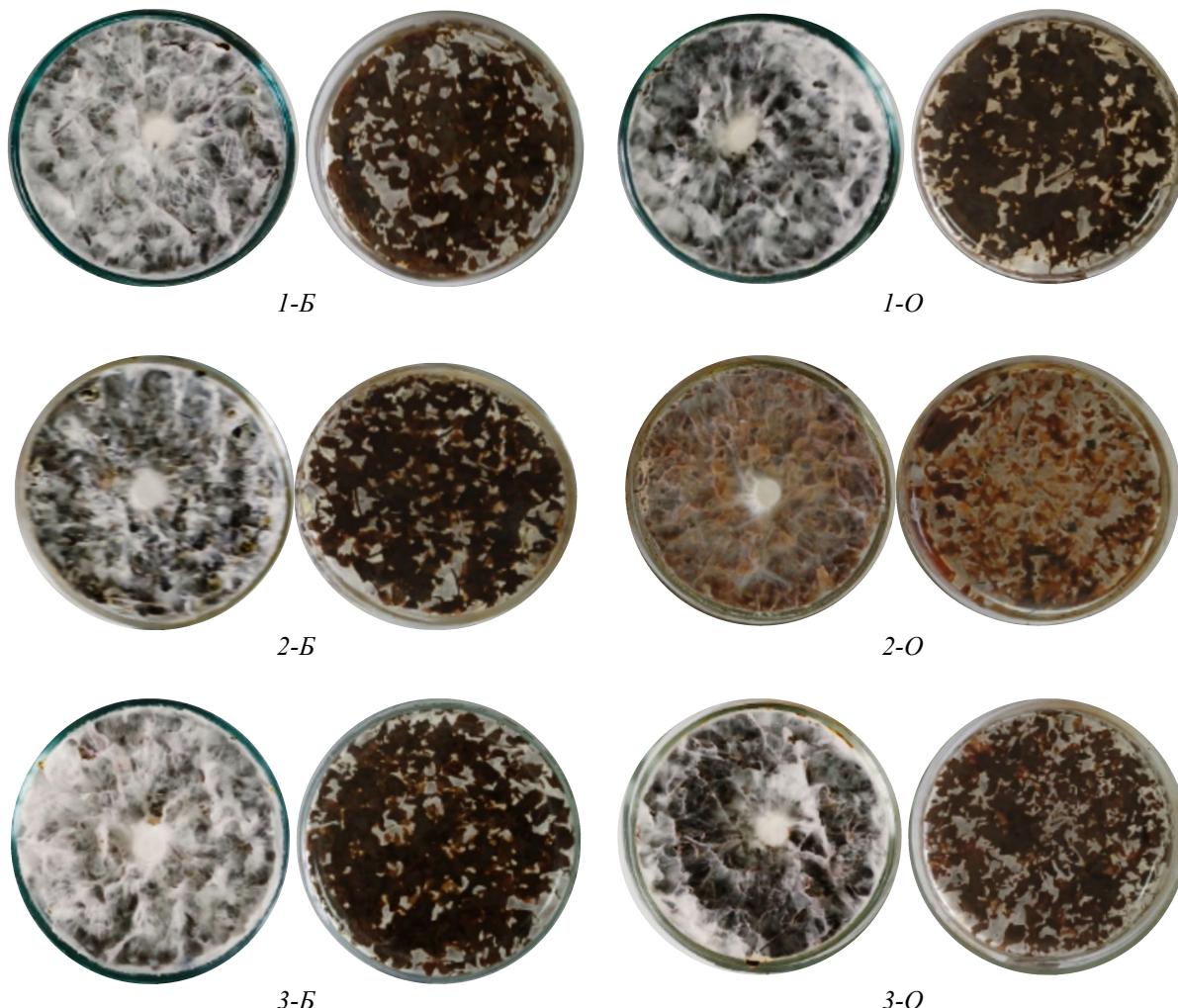
березы). Преимущественно утилизировались водоэкстрактивные вещества, за исключением листового опада осины, где их содержание увеличилось в постферментированном остатке в 1.9 раза. Снижение спиртоэкстрактивных веществ отмечено на субстратах из листового опада и п.э.о. листьев березы и осины, в то время как из зеленых листьев они не утилизируются. Наибольшее снижение в содержании полисахаридов (около 50%) отмечено при культивировании на зеленых листьях за счет утилизации легкогидролизуемых полисахаридов. На субстрате из зеленых листьев отмечено также снижение трудногидролизуемых полисахаридов (на 13% листья березы). Содержание минеральных веществ оставалось практически неизменным.

Биодеструкция субстратов приводит к увеличению содержания белка. В продуктах, полученных после культивирования штамма PP-3.2 *P. pulmonarius*, содержание белка в субстратах на основе листьев березы составило около 15%, листьев осины – до 21%, что больше, чем в сене злаковых растений – 6–8%, в сене бобовых – от 12 до 16% и в зернах злаковых культур – от 8 до 12% [26]. Также содержание белка в полученных продуктах можно сравнить с содержанием белка в горохе – 20.5 [27].

При выборе кормового продукта для животных важно учитывать не только общее содержание белка, но и его качество. Качество белка определяется его аминокислотным составом, то есть наличием всех незаменимых аминокислот, которые не могут синтезироваться в организме животных и должны поступать с пищей.

Аминокислотный состав полученных продуктов представлен в таблице 3.

В составе белков полученных продуктов идентифицировано 10 аминокислот, в том числе четыре незаменимых ( треонин, валин, метионин, изолейцин) и одна условно незаменимая – гистидин. Отсутствие триптофана в исследуемых продуктах биоконверсии объясняется его неустойчивостью в условиях гидролиза, что является частью подготовки пробы для аминокислотного анализа. В процессе кислотного гидролиза аспарагин и глутамин превращаются аспарагиновую и глутаминовую кислоты соответственно.



Морфология колонии гриба *P. pulmonarius* на различных по составу субстратах: 1 – зеленые листья; 2 – опад; 3 – послеэкстракционные остатки; *B* – береза; *O* – осина

Таблица 1. Ростовые параметры культуры *P. pulmonarius*

Субстрат	Ростовые параметры	Сутки							Среднее значение
		2-е	4-е	6-е	8-е	10-е	12-е	14-е	
Зеленые листья березы	СР, мм/сут	1.2	1.9	2.1	3.1	3.5	3.3	2.9	2.5±0.3
	РК	7.5	11.2	25.0	56.2	84.0	100.0	106.7	55.8±15.9
Зеленые листья осины	СР, мм/сут	1.2	1.9	2.9	4.1	4.0	3.5	2.9	2.9±0.4
	РК	7.5	11.2	35.0	73.1	96.0	103.7	106.7	61.9±16.4
Листовой опад березы	СР, мм/сут	1.5	2.2	3.1	3.7	4.0	3.3	2.9	2.9±0.3
	РК	9.0	13.5	37.0	67.5	96.0	83.3	74.1	54.3±13.1
Листовой опад осины	СР, мм/сут	1.7	1.8	1.9	2.5	3.0	2.9	2.9	2.4±0.2
	РК	10.5	11.2	23.0	45.0	72.0	72.9	59.3	41.9±10.3
Послеэкстракционные остатки зеленых листьев березы	СР, мм/сут	2.5	2.5	3.3	3.9	4	3.3	2.9	3.2±0.2
	РК	30.0	15.0	40.0	70.9	96.0	100.0	106.7	65.5±14.1
Послеэкстракционные остатки зеленых листьев осины	СР, мм/сут	1.2	1.8	2.9	3.7	4	3.3	2.9	2.8±0.4
	РК	7.5	11.2	35.0	67.5	96.0	100.0	106.7	60.6±16.1

Таблица 2. Трансформация субстратов из листьев осины и березы

Наименование компонента	Содержание, % а.с.с.					
	зеленые листья		листовой опад		послеэкстракционные остатки зеленых листьев	
	до	после	до	после	до	после
	8.7 / 5.2	8.94 / 6.7	16.3 / 7.9	14.4 / 7.8	10.2 / 6.9	15.4 / 7.31
Зольные вещества	25.4 / 31.0	12.0 / 18.9	11.4 / 23.5	21.7 / 8.9	19.7 / 19.9	16.1 / 18.4
Вещества, экстрагируемые горячей водой	4.8 / 6.3	5.8 / 10.3	12.4 / 10.2	5.4 / 7.9	9.8 / 12.5	8.9 / 10.2
Вещества, экстрагируемые спиртом	30.2 / 37.3	17.8 / 29.2	23.8 / 33.7	27.1 / 16.8	29.5 / 32.4	25.0 / 28.6
Сумма экстрактивных веществ	12.9 / 15.4	4.3 / 4.3	11.0 / 11.0	9.5 / 10.4	11.3 / 13.7	10.2 / 10.5
Легкогидролизуемые полисахариды	11.6 / 9.4	8.5 / 8.2	10.8 / 6.6	13.7 / 6.9	10.1 / 9.9	10.1 / 10.2
Трудногидролизуемые полисахариды	24.5 / 24.8	12.8 / 12.5	21.8 / 17.6	23.2 / 17.3	21.4 / 23.6	20.3 / 20.7
Сумма полисахаридов	24.1 / 25.2	27.9 / 28.6	30.4 / 32.7	34.3 / 41.3	29.8 / 26.1	33.2 / 34.6
Лигниновые вещества						

Примечание: в числителе – листья осины, в знаменателе – листья березы

Таблица 3. Аминокислотный состав продуктов биоконверсии зеленых листьев

Аминокислота	Содержание аминокислот, мкг/г сухой массы		Аминокислота	Содержание аминокислот, мкг/г сухой массы	
	зеленые листья березы	зеленые листья осины		зеленые листья березы	зеленые листья осины
Аланин	–	753	Пролин	896	1256
Гистидин	2885	1404	Треонин	1078	2817
Изолейцин	1368	1258	Серин	–	194
Метионин	1711	1416	Глутаминовая кислота	17040	18360
Валин	1004	–	Аспарагиновая кислота	14390	15810

В аминокислотном составе полученных продуктов преобладают глутаминовая и аспарагиновая кислоты. Известно, что аспарагиновая кислота, соединяясь с метионином и треонином, помогает печени «переваривать» жиры, чем предотвращает накопление липидов в тканях органа. Увеличивает выработку гемоглобина, гормонов щитовидной железы, надпочечников, стимулирует рост организма. Глутаминовая кислота улучшает показатели иммунитета, участвует в клеточном метаболизме нервной системы, выводит аммиак [28].

Помимо содержания белка не менее значим и липидный состав кормового продукта. В организме животных липиды выполняют множество различных функций, но наиболее важными с точки зрения обмена веществ и физиологии питания являются следующие: структурная, метаболическая, энергетическая и защитная. В образцах после культивирования *P. pulmonarius* содержание липидов колеблется от 1.4 до 2.6%, что выше, чем в зеленой кукурузе, суданки зеленой и зеленого овса, в которых эти значения не превышают 0.6% [29]. Доля нейтральных липидов составляет 42–54%, фосфолипидов – 3–5% от суммы липидов.

Флавоноиды имеют огромное значение в кормлении сельскохозяйственных животных, поскольку обладают антиоксидантными, противовоспалительными, гепатопротекторными и противомикробными

свойствами. Содержание флавоноидов в продуктах культивирования на зеленых листьях составляет 0.25% (береза), 0.15% (осина), что в два раза выше, чем в продуктах, полученных на опавших листьях (0.12% – березы и 0.08% – осина).

Тиамин (витамин B1) важен для белкового, жирового и фосфорного обменов, производства энергии и нормального роста организма. Его недостаток вызывает токсикоз, нарушение обмена веществ, поражение нервной системы и внутренних органов. Содержание тиамина в полученных продуктах – 1.4–1.6 мг%.

Содержание нуклеиновых кислот в продуктах биоконверсии зеленых листьев составляет 0.015%, опаде в два раза меньше, что не превышает допустимую норму – менее 9 г в 1 кг сухого вещества рациона [30].

Перевариваемость субстратов на основе зеленых листьев составляет 43% (осина) и 46% (береза), на основе листового опада березы 41%, осины – 56.5%.

## Выходы

Использование базидиальных грибов в качестве биодеструкторов листовых отходов позволяет получать кормовые продукты, является перспективным направлением, которое может снизить затраты на производство кормов для животных. Субстраты на основе листьев являются недорогим и доступным источником углерода для грибного роста.

Базидиальный гриб *P. ruftonarius* способен за 14 сут биодеградировать до 27% субстрата, что делает его перспективным биодеструктором листьев древесных растений. Наилучшие ростовые показатели штамма РР-3.2 отмечены на субстратах из зеленых листьев осины и послеэкстракционном остатке листьев березы.

Метод твердофазного культивирования листьев позволяет получать кормовой продукт, который содержит в своем составе до 21% белка, 2.6% липидов, имеет благоприятный аминокислотный состав, низкое содержание нуклеиновых кислот 0.02%, перевариваемость составляет более 40%.

### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Сибирского государственного университета науки и технологий имени М.Ф. Решетнева и Института леса имени В.Н. Сукачева. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

## Список литературы

1. Распоряжение Правительства Красноярского края от 06.05.2020 №271-р «Об утверждении Стратегии лесного комплекса Красноярского края до 2030 года».
2. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. 2015. №2-2(36). С. 81.
3. Scaysbrook T., Greenway W., Whatley F.R. Relation of antimicrobial compounds present in poplar bud exudates to disease resistance by poplars // Z. Naturforsch. 1992. Vol. 47. Pp. 197–200.
4. Wollenweber U.D., Asarawa, Scnillo E.A. Novel caffeic acid derivatives and other constituents of *Populus* buds excretion and propolis (bee-glue) // Z. Naturforschung. 1987. Vol. 42, no. 9/10. Pp. 1030–1034.
5. Pietarinen S.P., Willfor S.M., Vikstrom F.A. Aspen knots, a rich source of flavonoids // J. Wood chemistry and technology. 2006. Vol. 26. Pp. 245–258. <https://doi.org/10.1080/02773810601023487>.
6. Браславский В.Б., Куркин В.А., Жданов И.П. Антимикробная активность экстрактов и эфирных масел почек некоторых видов *Populus* L. // Растительные ресурсы. 1991. Т. 27, №2. С. 77–81.
7. Костина Н.Е., Ибрагимова Ж.Б., Проценко М.А. Выделение, характеристика и противовирусные свойства биологически активных веществ из высших грибов Западной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2014. №2. С. 25–26.
8. Mamaeva O., Isaeva E. Composition of alcohol extracts from poplar leaves (*Populus balsamifera* L.) // BioResources. 2024. Vol. 19(1). Pp. 276–287.

9. Исаева Е.В., Рязанова Т.В. Состав, свойства и переработка отходов вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ. Сообщение 2. Получение белковых кормовых добавок на основе гидролизатов вегетативной части тополя бальзамического // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 233–238.
10. Иванкин А.Н., Веревкин А.Н. Рекуперация листового опада в кормовые продукты с высокой биологической ценностью // Лесной вестник. 2023. Т. 27, №6. С. 75–83. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-6-75-83>.
11. Транченко Л.В. Современное состояние и тенденции развития кормовой базы // Сельскохозяйственный журнал. 2014. Т. 3, №7. С. 437–441.
12. Булгакова Г. Роль протеина в рационе КРС // Комбикорма. 2014. №1. С. 68–70.
13. Мамаева О.О., Исаева Е.В., Лоскутов С.Р., Пляшечник М.А. Компонентный состав продукта биодеструкции опавших листьев базидиальными грибами *Pleurotus pulmonarius* (штамм PP-3.2) // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 277–285. <https://doi.org/10.14258/jesprm.2021018851>.
14. Павлов И.Н. и др. Биоконверсия отходов лесопереработки ксилотрофным базидиомицетом *Pleurotus eryngii* (dc.) quéé // АгроЭкоИнфо. 2017. №2(28). С. 26.
15. Методы экспериментальной микологии / под ред. В.И. Билай. Киев, 1982. 550 с.
16. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубинной культуре. Киев, 1983. 144 с.
17. Ryazanova T.V., Chuprova N.A., Isaeva E.V. Chemistry of wood: monograph. Saarbrucken, 2012. 428 p.
18. Щербина Л.А., Ильчева Н.И., Геллер Б.Э., Болтовский В.С. Метод Къельдаля. Минск, 2007. 88 с.
19. М 04-38-2009 Корма, комбикорма и сырье для их производства: методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель». СПб, 2014. 49 с.
20. Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 322 с.
21. Спирин А.С. Спектрофотометрическое определение суммарного количества нуклеиновых кислот // Биохимия. 1958. Т. 23, №4. С. 656.
22. Мартынов А.М., Даргаева Т.Д. Разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в траве фиалки одноцветковой // Acta Biomedica Scientifica. 2017. Т. 2, №1(113). С. 79–83. [https://doi.org/10.12737/article\\_5955e6b58f6ae1.34521097](https://doi.org/10.12737/article_5955e6b58f6ae1.34521097).
23. Девяткина В.А. Методы определения витаминов. М., 1954. 135 с.
24. Жуков А.П. и др. Метод определения перевариваемости кормов *in vitro* // Труды Саратовского зооветинститута. 1961. Т. 10. С. 109–124.
25. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., 1990. 351 с.
26. Питательность кормов: их состав и оценка [Электронный ресурс]. URL: <https://vitasol.ru/notes/pitatelnost-kormov>.
27. Крупа из зерна ржи и тритикале [Электронный ресурс]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221%20>.
28. Луговой М.М., Подобед Л.И. Сравнительный анализ аминокислотного состава некоторых кормов и добавок // БИО. 2018. №12(219). С. 20–23.
29. Чехранова С.В., Акмалиев Т.А., Ермолова Л.Ф., Агапова О.Ю. Влияние премиксов на молочную продуктивность коров // Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса. 2013. Т. 29, №1. С. 131–135.
30. Лисунова Л.И., Токарев В.С. Кормление сельскохозяйственных животных. Витебск, 2022. 225 с.

Поступила в редакцию 12 декабря 2024 г.

После переработки 17 января 2025 г.

Принята к публикации 21 мая 2025 г.

*Tikhonova A.O.<sup>1\*</sup>, Isayeva Ye.V.<sup>1</sup>, Mamayeva O.O.<sup>1</sup>, Kazaryan L.K.<sup>2</sup> UTILIZATION OF LEAVES OF WOODY PLANTS IN THE PROCESS OF BIODEGRADATION BY THE FUNGUS PLEUROTUS PULMONARIUS TO OBTAIN A FEED ADDITIVE*

<sup>1</sup> *M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ave. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russia, nastyatix@mail.ru*

<sup>2</sup> *V.N. Sukachev Institute of Forestry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russia*

This article discusses the problem of ecological utilization of the vegetative part of woody plants, in particular leaves. This waste remains after the deciduous season and pruning of trees used for urban landscaping, and leaf waste is also generated during wood processing and logging.

The results of utilization of birch and aspen leaves by the solid-phase cultivation method are presented. The xylotrophic basidiomycete fungus *Pleurotus pulmonarius* (strain PP-3.2) was used as a biodestructor. The growth parameters of the culture, depending on the type of substrate, were: growth rate 2.4–3.2 mm/day, growth coefficient 42–66 units. The maximum loss of substrate mass after cultivation of 21–24% was noted for post-extraction leaf residues, for green and fallen leaves it is 1.4 times lower. The protein content in the cultivation products fluctuates from 14.4% (birch leaves) to 20.7% a.c.s. (aspen leaves). In the composition of proteins of the obtained products, 10 amino acids have been identified, including four essential (threonine, valine, methionine, isoleucine) and one conditionally essential - histidine. The obtained product can be recommended as a feed additive.

**Keywords:** leaves, warty birch, common aspen, biodegradation, solid-state cultivation, *Pleurotus pulmonarius*.

**For citing:** Tikhonova A.O., Isayeva Ye.V., Mamayeva O.O., Kazaryan L.K. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 320–328. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250316400>.

## References

1. *Rasporyazheniye Pravitel'stva Krasnoyarskogo kraya ot 06.05.2020 №271-r "Ob utverzhdenii Strategii lesnogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya do 2030 goda".* [Order of the Government of Krasnoyarsk Krai dated May 6, 2020 No. 271-r "On approval of the Strategy for the forestry complex of Krasnoyarsk Krai until 2030"]. (in Russ.).
2. Mokhirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. *Inzhenernyy vestnik Doma*, 2015, no. 2-2(36), p. 81. (in Russ.).
3. Scaysbrook T., Greenway W., Whatley F.R. *Z. Naturforsch.*, 1992, vol. 47, pp. 197–200.
4. Wollenweber U.D., Asarawa, Scnillo E.A. *Z. Naturforschung.*, 1987, vol. 42, no. 9/10, pp. 1030–1034.
5. Pietarinen S.P., Willfor S.M., Vikstrom F.A. *J. Wood chemistry and technology*, 2006, vol. 26, pp. 245–258. <https://doi.org/10.1080/02773810601023487>.
6. Braslavskiy V.B., Kurkin V.A., Zhdanov I.P. *Rastitel'nyye resursy*, 1991, vol. 27, no. 2, pp. 77–81. (in Russ.).
7. Kostina N.Ye., Ibragimova Zh.B., Protsenko M.A. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 2, pp. 25–26. (in Russ.).
8. Mamaeva O., Isaeva E. *BioResources*, 2024, vol. 19(1), pp. 276–287.
9. Isayeva Ye.V., Ryazanova T.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 3, pp. 233–238. (in Russ.).
10. Ivankin A.N., Verevkin A.N. *Lesnoy vestnik*, 2023, vol. 27, no. 6, pp. 75–83. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-6-75-83>. (in Russ.).
11. Tranchenko L.V. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2014, vol. 3, no. 7, pp. 437–441. (in Russ.).
12. Bulgakova G. *Kombikorma*, 2014, no. 1, pp. 68–70. (in Russ.).
13. Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V., Loskutov S.R., Plyashechnik M.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 277–285. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021018851>. (in Russ.).
14. Pavlov I.N. i dr. *AgroEkoInfo*, 2017, no. 2(28), p. 26. (in Russ.).
15. *Metody eksperimental'noy mikologii* [Methods of experimental mycology], ed. V.I. Bilay. Kyiv, 1982, 550 p. (in Russ.).
16. Bukhalo A.S. *Vysshiye s"yedobnyye basidiomitsety v poverkhnostnoy i glubinnoy kul'ture*. [Higher edible basidiomycetes in surface and deep culture]. Kyiv, 1983, 144 p. (in Russ.).
17. Ryazanova T.V., Chuprova N.A., Isaeva E.V. *Chemistry of wood: monograph*. Saarbrucken, 2012, 428 p.
18. Shcherbina L.A., Il'icheva N.I., Geller B.E., Boltovskiy V.S. *Metod K'yal'dalya*. [The Kjeldahl Method]. Minsk, 2007, 88 p. (in Russ.).
19. *M 04-38-2009 Korma, kombikorma i syr'ye dlya ikh proizvodstva: metodika izmereniy massovoy doli amino-kislot metodom kapillyarnogo elektrofareza s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo elektrofareza «Kapel»*. [M 04-38-2009 Feed, compound feed and raw materials for their production: a method for measuring the mass fraction of amino acids by capillary electrophoresis using the Kapel capillary electrophoresis system]. St. Petersburg, 2014, 49 p. (in Russ.).
20. Keyts M. *Tekhnika lipidologii*. [Lipidology technique]. Moscow, 1975, 322 p. (in Russ.).
21. Spirin A.S. *Biokhimiya*, 1958, vol. 23, no. 4, p. 656. (in Russ.).
22. Martynov A.M., Dargayeva T.D. *Acta Biomedica Scientifica*, 2017, vol. 2, no. 1(113), pp. 79–83. [https://doi.org/10.12737/article\\_5955e6b58f6ae1.34521097](https://doi.org/10.12737/article_5955e6b58f6ae1.34521097). (in Russ.).
23. Devyatkina V.A. *Metody opredeleniya vitaminov*. [Methods for determining vitamins]. Moscow, 1954, 135 p. (in Russ.).
24. Zhukov A.P. i dr. *Trudy Saratovskogo zoovetinstituta*, 1961, vol. 10, pp. 109–124. (in Russ.).
25. Lakin G.F. *Biometriya*. [Biometrics]. Moscow, 1990, 351 p. (in Russ.).

\* Corresponding author.

26. *Pitatel'nost' kormov: ikh sostav i otsenka* [Nutritional value of feed: its composition and evaluation]. URL: <https://vitafol.ru/notes/pitatelnost-kormov>. (in Russ.).
27. *Krupa iz zerna rzhi i tritikale* [Groats from rye and triticale grains]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221%20>. (in Russ.).
28. Lugovoy M.M., Podobed L.I. *BIO*, 2018, no. 12(219), pp. 20–23. (in Russ.).
29. Chekhranova S.V., Akmaliyev T.A., Yermolova L.F., Agapova O.Yu. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa*, 2013, vol. 29, no. 1, pp. 131–135. (in Russ.).
30. Lisunova L.I., Tokarev V.S. *Kormleniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. [Feeding of farm animals]. Vitebsk, 2022, 225 p. (in Russ.).

Received December 12, 2024

Revised January 17, 2025

Accepted May 21, 2025

#### Сведения об авторах

Тихонова Анастасия Олеговна – студент,  
nastyaa00tix@mail.ru

Исаева Елена Владимировна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, isaevaelena08@mail.ru

Мамаева Ольга Олеговна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, mamaevaoo@sibsay.ru

Казарян Лилит Кареновна – инженер, kazaryan.lk@ksc.krasn.ru

#### Information about authors

Tikhonova Anastasia Olegovna – student,  
nastyaa00tix@mail.ru

Isaeva Elena Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor in the Department of Chemical Wood Engineering and Biotechnology, isaevaelena08@mail.ru

Mamaeva Olga Olegovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor in the Department of Chemical Wood Engineering and Biotechnology, mamaevaoo@sibsay.ru

Kazaryan Lilit Karenovna – engineer,  
kazaryan.lk@ksc.krasn.ru