

УДК 606:582.28

## АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ БИОКОНВЕРСИИ ПОСЛЕЭКСТРАКЦИОННЫХ ОСТАТКОВ ВЕГЕТАТИВНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЙ ГРИБАМИ *FOMITOPSIS PINICOLA* (SW.) P. KARST (FP5-15)

© *О.О. Мамаева\**, *Е.В. Исаева*

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037 (Россия), e-mail: olga07\_95@mail.ru*

Вегетативная часть древесных растений хвойных и лиственных пород является уникальным источником природных соединений. Естественная возобновляемость древесных растений делает их неисчерпаемым сырьем для производства биологически активных веществ. В процессе их получения остается около 70% послеэкстракционного остатка вегетативной части, который используют в качестве кормовой добавки. Поскольку многие растительные отходы обладают низким содержанием белка, в котором лимитирующими чаще всего бывают незаменимые аминокислоты, то их необходимо обогащать микробным белком, в частности белком базидиальных грибов. С этой целью в данной работе использовали грибы *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST (Fp5-15), так как они наименее требовательны к растительным субстратам и обладают высокими ростовыми показателями.

Целью данного исследования являлось изучение аминокислотного состава продуктов, полученных в результате биоконверсии послеэкстракционных остатков древесной зелени пихты и вегетативной части тополя бальзамического (почки, листовая опад). Анализ аминокислотного состава продуктов показал, что в процессе биодеструкции увеличивается скор белка (фенилаланина и тирозина – на 35%, треонин – на 37.5%). Также в продуктах биодеструкции отмечено высокое количество глицина, аланина, гистидина, аспарагиновой и глутаминовой аминокислот. По содержанию ряда аминокислот полученные продукты превосходят зерновые культуры и кормовые продукты на основе вегетативной части древесных растений.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность использования продуктов ферментации твердых остатков вегетативной части тополя и пихты в качестве белковых кормовых добавок.

*Ключевые слова:* биоконверсия, послеэкстракционный остаток, древесная зелень пихты, вегетативная часть тополя, почки, опад, белковый кормовой продукт, аминокислотный анализ, *Fomitopsis pinicola*.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Глубокой переработки растительного сырья» проекта «Технология и оборудование химической переработки растительного сырья» (Номер темы FEFE-2020-0016).*

### **Введение**

Большую часть кормовой базы животноводства занимают растительные отходы. Это объясняется их массовостью, доступностью, круглогодичным использованием и естественной возобновляемостью. Также использование растительных отходов в качестве кормов позволяет предупредить загрязнение ими окружающей среды [1, 2].

Древесная зелень хвойных и лиственных пород – наиболее широко используемый в качестве кормового сырья вид лесных отходов [1, 3, 4].

Под термином «древесная зелень» понимается хвоя, листья и недревесневшие побеги. Практически,

---

*Мамаева Ольга Олеговна* – аспирант,  
e-mail: olga07\_95@mail.ru

*Исаева Елена Владимировна* – доктор технических наук,  
профессор, профессор кафедры химической технологии  
древесины и биотехнологии, тел. (391)227-36-54,  
e-mail: isaevaelena08@mail.ru

учитывая экономические и технические возможности заготовки сырья, древесная зелень представляет собой смесь хвои (листьев), коры, ветвей и побегов древесины [3, 5]. При переработке древесной

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

зелени можно получить из нее различные биологически активные продукты, такие как эфирные масла, хлорофиллокаротиновая паста, воска, водные и спиртовые экстракты и др. [3, 5, 6]. При этом наряду с получением ценных продуктов остается около 70% неутрализованного остатка древесной зелени. По количеству питательных веществ, представляющих кормовую ценность, вегетативная часть тополя после извлечения из нее экстрактивных веществ близка к древесной зелени хвойных, традиционно используемой в качестве кормовой добавки [7].

Белки древесной зелени хвойных (хвоя сосны) содержат большое количество аргинина, глутаминовой и аспарагиновой кислот, лизина и треонина (52.5%), на долю незаменимых аминокислот приходится около 45% [3].

В белках почек тополя доля незаменимых аминокислот в 1.5 раза ниже, чем в хвое. Главную роль в резервировании азота в почках тополя играют глутаминовая и аспарагиновая кислоты, аргинин и пролин (73%) [5].

В последние годы возрос интерес к исследованиям возможности обогащения кормовых продуктов белком базидиальных грибов, так как во многих растительных белках лимитирующими чаще всего бывают незаменимые аминокислоты [2, 8–10].

*Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST считается одним из наиболее перспективных ксилотрофных базидиомицетов для биотехнологии, включая биоконверсию растительных отходов [11].

Ксилотрофные базидиомицеты – это многочисленные трутовики, основная функция которых – деструкция или биологическое разрушение лигноцеллюлозных субстратов, в основном древесины, находящейся на различной стадии разложения, от свежего отпада до почти гумифицированных остатков [12]. В работе [11] показано, что штамм Fp5-15 *F. pinicola* обладает максимальной дереворазрушающей активностью. Данный штамм изолирован из плодовых тел *Fomitopsis pinicola*, произраставшего на живых деревьях лиственницы сибирской в лесном массиве на территории Емельяновского района Красноярского края. Необходимо отметить, что в области получения белковых кормовых продуктов *F. pinicola* является малоизученным.

Качество белкового кормового продукта напрямую зависит от его аминокислотного состава. Аминокислоты необходимы для клеточного, углеводного и липидного обмена, для синтеза тканевых белков и многих важных соединений, таких как гормоны, гемоглобин, витамины и т.д., а также в качестве метаболического источника энергии [13].

Биологическая ценность белка зависит от наличия в нем незаменимых аминокислот. Недостаток какой-либо незаменимой аминокислоты в используемом белковом корме животных неизбежно ограничивает использование других аминокислот в рационе, а это снижает эффективность всего рациона и белкового корма. Избыток какой-либо аминокислоты также может вызывать депрессию роста. Для полного использования протеина в рационе каждая незаменимая аминокислота должна быть в сбалансированном соотношении с другими аминокислотами [14–17].

К незаменимым относят 10 аминокислот: лизин, метионин, триптофан, аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, треонин, фенилаланин. Лизин, метионин, триптофан являются наиболее дефицитными в питании животных, поэтому их называют критическими (лимитирующими).

Лизин – наиболее дефицитная аминокислота. Входит в состав сложных белков ядра – нуклеопротеидов, необходим для синтеза гемоглобина, является исходным веществом при образовании карнитина, играющего важную роль в липидном обмене. Метионин – серосодержащая аминокислота. Метионин необходим для синтеза гемоглобина, холина, для нормального роста волосяного покрова, оперения у птицы. Метионин и лизин способствуют быстрому росту животных. Триптофан играет важную роль в обмене веществ, из него синтезируется никотиновая кислота.

Следует отметить, что цистин является полузаменимой серосодержащей аминокислотой, так как она может заменить на 30–50% в обмене белков организма незаменимую серосодержащую аминокислоту – метионин, поэтому в рационах определяют суммарную потребность в этих аминокислотах.

В рационах для птицы главными лимитирующими аминокислотами являются метионин и цистин, в рационах для свиней – лизин [13, 14, 16].

Грибной белок характеризуется относительно сбалансированным аминокислотным составом и высоким содержанием незаменимых аминокислот [12]. Аминокислотный состав грибных белков по полноценности не уступает белкам зерновых продуктов и их использование может улучшать сбалансированность рациона. Грибной белок является важным дополнительным источником лизина, треонина, валина и лейцина [18, 19].

Известно, что существует определенная взаимосвязь между аминокислотным составом белка и степенью его расщепления пищеварительными ферментами [20]. Чем выше соотношение аргинина и лизина к пролину, тем выше перевариваемость.

Цель работы – изучение и сравнительный анализ аминокислотного состава продуктов биоконверсии почек, листового опада тополя и древесной зелени пихты грибами *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST (Fp5-15).

### **Экспериментальная часть**

Основой субстратов, используемых для культивирования базидиальных грибов, служил остаток древесной зелени пихты после удаления эфирных масел и спиртоэкстрактивных веществ, дополнительными компонентами выступали послеэкстракционный остаток почек и опавшие листья тополя бальзамического. Все составляющие субстратов брали в соотношении 1 : 1. Вегетативная часть тополя бальзамического в составе субстратов может служить дополнительным источником необходимых для роста микроорганизмов веществ [7].

В работе использовали следующие субстраты:

- послеэкстракционный остаток древесной зелени пихты – субстрат 1;
- послеэкстракционный остаток древесной зелени пихты и почек тополя, опавшие листья (опад) – субстрат 2;
- послеэкстракционный остаток древесной зелени пихты и почек тополя – субстрат 3.

Для культивирования использовали штамм Fp5-15 *F. pinicola* (sw.) P. KARST, который любезно предоставила доцент кафедры «Химическая технология древесины и биотехнология» СибГУ им. М.Ф. Решетнёва д.б.н. Ю.А. Литовка.

Перед культивированием субстраты измельчали до 2–5 мм, увлажняли до 70% и многократно стерилизовали в автоклаве. Выращивание штамма Fp5-15 *F. pinicola* осуществляли в чашках Петри до полного зарастания мицелием субстрата. Анализ аминокислотного состава продуктов биоконверсии проводился после 15-ти суток культивирования.

Аминокислотный анализ осуществляли на автоматическом анализаторе аминокислот Т 339 М (Чехия). Гидролиз исследуемого материала проводили в пробирках с 6 N HCl в течение 24 ч при температуре 103–105 °С. Нагревание смеси приводит к гидролизу белка до аминокислот. После окончания гидролиза содержимое ампул выпаривали при температуре не более 50 °С с добавлением дистиллированной воды. После полного удаления соляной кислоты чашки охлаждали и добавляли установочный буфер. Далее раствор центрифугировали в течение 5–10 мин и использовали для дальнейшего анализа. По площади пиков, пропорциональных количеству данной аминокислоты, устанавливали относительное содержание аминокислот в исследуемом материале [21].

Биологическую ценность белков рассчитывали методом химического сгора, в качестве шкалы использовали ориентировочный образец соотношения незаменимых аминокислот, предложенный Объединенным экспертным комитетом эталонный белок ФАО/ВОЗ [22].

### **Обсуждение результатов**

Результаты ранее проведенных нами исследований свидетельствуют о том, что штамм Fp5-15 *F. pinicola* наибольшее количество белковых веществ (до 20%) накапливал на смешанном субстрате, состоящем из послеэкстракционного остатка древесной зелени пихты и почек тополя. На субстратах 1 и 2 белка накапливалось до 13% [14].

Поскольку ценность белка определяется содержанием незаменимых аминокислот, нами был определен аминокислотный состав белка продуктов, полученных в процессе биоконверсии (табл. 1 и 2).

Для сравнения в таблицах приведен аминокислотный состав эталонного белка – казеина.

В исследуемых образцах было идентифицировано 16 аминокислот, в том числе 7 незаменимых. Результаты показали, что доля незаменимых аминокислот в белке субстратов после биодеструкции составляет 24–28% (с тирозином), что на 7% ниже, чем в эталонном.

При оценке аминокислотного состава кормов определяют суммарную потребность в тирозине и фенилаланине, поскольку последний является источником тирозина. Превращение фенилаланина в тирозин необходимо для удаления избытка фенилаланина, так как высокие концентрации его токсичны для клеток [14, 15].

Таблица 1. Состав и скор незаменимых аминокислот белка, полученного на субстрате 1

Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот			
	эталонный белок		субстрат 1	
	от суммы аминокислот	скор <sup>1</sup>	от суммы аминокислот	скор
Валин	5.0	100.0	2.9	58.0
Изолейцин	4.0	100.0	1.5	37.5
Лейцин	7.0	100.0	6.3	90.0
Фенилаланин + Тирозин	6.0	100.0	8.1	135.0
Метионин + Цистин	3.5	100.0	1.5	42.9
Треонин	4.0	100.0	3.9	97.5
Лизин	5.5	100.0	3.4	61.8

<sup>1</sup>скор – скорректированный аминокислотный коэффициент усвояемости белков, рекомендованный для применения при оценке качества белков FAO/WHO (1973).

Таблица 2. Состав и скор незаменимых аминокислот белка, полученного на субстрате 2 и 3

Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот			
	субстрат 2		субстрат 3	
	от суммы аминокислот	скор	от суммы аминокислот	скор
Валин	3.5	70.0	2.8	56.0
Изолейцин	1.5	37.5	2.1	52.5
Лейцин	5.6	80.0	6.5	92.9
Фенилаланин + Тирозин	6.2	103.3	5.6	93.3
Метионин + Цистин	0.9	25.7	2.1	60.0
Треонин	4.1	102.5	5.5	137.5
Лизин	2.9	52.7	3.7	67.3

Как следует из таблиц 1 и 2, преобладающими незаменимыми аминокислотами для продуктов, полученных на субстрате 1, являются сумма фенилаланина и тирозина, субстрате 3 – треонин, содержание которых в 1.4 раза превосходит казеин. На субстрате 2 скор треонина и фенилаланина с тирозином превышает на 2.5–3.3% их скор в эталонном белке. Содержание треонина в белке субстрата 1 близко к эталону. Высокий уровень треонина способствует активному усвоению всех аминокислот, также он влияет на обмен веществ организма.

Известно, что в процессе обмена треонин превращается в глицин и уксусный альдегид, он косвенным путем участвует в ряде превращений, свойственных глицину (синтеза пирроловых ядер протопорфирина, синтеза холестерина, жирных кислот, углеводов) [14, 15]. Сумма этих аминокислот в полученных продуктах культивирования составляет 20–24%.

Гистидин является для животных незаменимой аминокислотой, при декарбоксилировании образует гистамин, который понижает кровяное давление и стимулирует функции желез внешней секреции [15].

Сравнительный анализ незаменимых аминокислот белков продуктов биодеструкции послеэкстракционных остатков показал, что они превосходят по треонину (в 1.5 раз) и гистидину (в 3–4 раза) содержание этих аминокислот в таких кормах, как пшеница, рожь, ячмень и др. Содержание метионина, лизина, лейцина в продуктах биодеструкции в сравнении с традиционными кормами примерно одинаково [13, 23].

По сравнению с кормовым продуктом на основе вегетативной части тополя бальзамического [5] в процессе биоконверсии использованных в эксперименте субстратов происходит увеличение содержание всех незаменимых аминокислот, в частности в 2 раза увеличивается содержание изолейцина, валина, треонина и в 3 раза – лизина и метионина.

Метионин и лизин – это одни из самых дефицитных для животных аминокислот. Метионин обладает липотропным действием, тем самым предохраняя животных от накопления жира в печени и ее жирового перерождения. Лизин входит в состав всех белков, но практически не участвует в реакциях переаминирования в отличие от других аминокислот. Дезаминирование лизина является необратимым процессом, поэтому важно, чтобы лизин непрерывно поступал в организм в процессе пищеварения [14, 15, 17].

Отсутствие триптофана в исследуемом белке объясняется его неустойчивостью в условиях гидролиза минеральными кислотами, что является частью подготовки пробы для аминокислотного анализа.

Содержание заменимых аминокислот в продуктах биоконверсии субстратов приведено в таблице 3.

Таблица 3. Содержание заменимых аминокислот белков в субстратах после биоконверсии

Аминокислота	Содержание, % от суммы аминокислот		
	субстрат 1	субстрат 2	субстрат 3
Аргинин	2.9	2.4	2.8
Гистидин	9.3	9.4	6.0
Аспарагиновая кислота	13.7	11.8	12.0
Серин	9.5	8.8	9.7
Глутаминовая кислота	9.8	9.1	13.2
Тирозин	4.4	2.7	2.8
Пролин	0.5	0.6	0.7
Глицин	16.1	20.1	18.5
Аланин	10.7	13.0	9.0

Из приведенных в таблице 3 результатов следует, что в составе субстратов 1 и 2 после биоконверсии грибом Fr5-15 *F. pinicola* установлено довольно высокое количество глицина, аланина и аспарагиновой аминокислоты, суммарное содержание которых составляет 40.5 и 45% соответственно. В субстрате 3 основными заменимыми аминокислотами являются глицин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты, на долю которых приходится 44 % всего аминокислотного азота субстратов.

Аспарагиновая и глутаминовая кислоты вместе с амидами составляют половину всего аминного азота тканей животных, а в нервной системе составляют 70% всех аминокислот. Глутаминовая кислота также участвует в углеводно-жировом обмене и синтезе тканевых белков организма, а также в обезвреживании и выведении аммиака из организма [16]. Аланин улучшает работу мышц, предотвращает быстрое старение, повышает выносливость. Глицин поддерживает здоровье костей и суставов, чувствительность к инсулину, отвечает за работу центральной нервной системы [15, 16].

Результаты, полученные в ходе исследования, свидетельствуют о возможности использования продуктов биодеструкции остатков вегетативной части тополя и пихты грибами *F. pinicola* (Fr5-15) в качестве белковых кормовых добавок. Белок, полученный в результате биоконверсии послеэкстракционных остатков, по многим показателям превосходит некоторые виды кормов, в частности рожь и пшеницу. Содержание в белке субстратов треонина, наиболее важной и ценной для животных аминокислоты, а также фенилаланина с тирозином не уступает казеину.

### Выводы

В результате исследования установлен аминокислотный состав продуктов биоконверсии послеэкстракционных остатков древесной зелени пихты и вегетативной части тополя с использованием штамма Fr5-15 *F. pinicola* в качестве деструктора.

Полученные данные свидетельствуют о том, что на долю незаменимых аминокислот в белках продукта приходится до 28%. Высокий скорректированный аминокислотный коэффициент наблюдается по фенилаланину с тирозином (135% – субстрат 1) и треонину (137.5% – субстрат 3). Содержание треонина и гистидина выше, чем в зерновых культурах и кормовых продуктах на основе вегетативной части древесных растений. Также отмечено высокое количество заменимых аминокислот, таких как глицин, аланин, аспарагиновой и глутаминовая аминокислоты.

Таким образом, результаты показывают возможность использования полученных продуктов в качестве белковых кормовых добавок.

### Список литературы

1. Эрнст Л.К., Науменко З.М., Ладинская С.И. Кормовые продукты из отходов леса. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 168 с.
2. Хусид С.Б. и др. Использование отходов переработки растительного сырья для получения функциональных кормовых добавок // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. №98. С. 706–731.
3. Левин Э.Д., Репях С.М. Переработка древесной зелени. М., 1984. 120 с.
4. Степень Р.А., Воронин В.М., Соболева С.В. Биологически активные вещества древесной зелени пихты и область их применения // Хвойные бореальной зоны. 2017. №3–4. С. 120–124.
5. Исаева Е.В. Комплексная переработка вегетативной части тополя бальзамического с получением биологически активных продуктов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2008. 44 с.
6. Древесная зелень [Электронный ресурс]. URL: <http://wood-prom.ru/clauses/sdelay-sam/drevesnaya-zelen>.

7. Исаева Е.В., Рязанова Т.В. Состав, свойства и переработка отходов вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ. Сообщение 1. Химический состав твердых и жидких отходов // Химия растительного сырья. 2012. №3. С. 59–65.
8. Леконцева И.В., Мамаева О.О., Исаева Е.В. Древесная зелень пихты как субстрат для биоконверсии базидиальных грибов // Хвойные бореальной зоны. 2019. Т. 37. №3–4. С. 265–270.
9. Матвеев Е.В., Величко Н.А. Возможность использования послеэкстракционных остатков древесной зелени можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd) в качестве кормовых добавок // Вестник КрасГАУ. 2015. №4 (103). С. 70–72.
10. Величко Н.А. и др. Получение кормовых продуктов из древесной зелени // Организация широкого использования лесных ресурсов в качестве кормовой базы животноводства. Красноярск, 1981. С. 237–239.
11. Литовка Ю.А. и др. Дереворазрушающие свойства сибирских штаммов *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 193–199.
12. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. Киев, 1988. 144 с.
13. Николаев С.И. и др. Сравнительный анализ аминокислотного состава кормов // Научный журнал КубГАУ. 2015. №107(03). С. 1703–1714.
14. Аминокислоты в кормах животных [Электронный ресурс]. URL: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh>.
15. Аминокислоты в кормлении КРС [Электронный ресурс]. URL: <https://agropremix.ru/page10.html>.
16. Заменяемые и незаменимые аминокислоты. Аминокислотный состав протеинов растительных и животных кормов. [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.net/-13\\_58356\\_zamenimie-i-nezamenimie-aminokisloti-aminokislotnyy-sos-tav-proteinov-rastitelnyh-i-zhivotnyh-kormov.html](https://studopedia.net/-13_58356_zamenimie-i-nezamenimie-aminokisloti-aminokislotnyy-sos-tav-proteinov-rastitelnyh-i-zhivotnyh-kormov.html).
17. Химический состав древесной зелени. Аминокислотный состав белковых фракций древесной зелени [Электронный ресурс]. URL: <http://www.drevesinas.ru/wood-greens/greenstructure/3.html>.
18. Величко Н.А., Берикашвили З.Н. Химический состав плодового тела гриба *Pleurotus ostreatus* (Fr) Kumm // Вестник КрасГАУ. 2008. №4. С. 274–278.
19. Ковалева Г.К. Биологические особенности и биохимический состав ксилотрофных базидиомицетов *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. и *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat. М., 2009. 22 с.
20. Киселева О.В. и др. Морфологические особенности мицелия серно-желтого трутовика и возможность его использования в качестве источника пищевого белка // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сборник статей всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2013. Т. 2. С. 9–12.
21. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М., 1985. 255 с.
22. Joint FAO/WHO Ad hoc expert committee on energy and protein requirements. Rome, 1973. 522 p.
23. Крупа из зерна ржи и тритикале [Электронный ресурс]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221%20>.

Поступила в редакцию 2 октября 2020 г.

Принята к публикации 13 ноября 2020 г.

**Для цитирования:** Мамаева О.О., Исаева Е.В. Аминокислотный состав продуктов биоконверсии послеэкстракционных остатков вегетативной части растений грибами *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst (Fr5-15) // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 427–434. DOI: 10.14258/jcrpm.2020048521.

Mamaeva O.O.\*, Isaeva E.V. AMINO ACID COMPOSITION OF BIOCONVERSION PRODUCTS POST-EXTRACTION RESIDUES OF THE VEGETATIVE PART OF PLANTS BY FUNGI *FOMITOPSIS PINICOLA* (SW.) P. KARST (FP5-15)

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Krasnoyarskii Rabochii, 31, Krasnoyarsk, 660037 (Russia), e-mail: olga07\_95@mail.ru

The vegetative part of coniferous and deciduous wood plants is a unique source of natural compounds. The natural renewability of woody plants makes them an inexhaustible raw material for the production of biologically active substances. In the process of their production, about 70% of the non-recyclable post-extraction residue of the vegetative part remains, which is used as a feed additive. Since many plant wastes have a low protein content, in which essential amino acids are most often the limiting ones, they must be enriched with microbial protein, in particular the protein of basidial fungi. For this purpose, the fungi *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST (Fp5-15) were used in this work, since they are the least demanding to plant substrates and have high growth indicators.

The purpose of this study was to study the amino acid composition of products obtained as a result of bioconversion of post-extraction residues of fir tree greens and the vegetative part of balsamic poplar (buds, litter). The analysis of the amino acid composition of the products showed that the protein score increases during the biodegradation process (phenylalanine and tyrosine-by 35 %, threonine – by 37.5%). Also, high amounts of glycine, alanine, histidine, aspartic acid, and glutamic acid were found in the products of biodegradation. In terms of the content of a number of amino acids, the resulting products are superior to cereals and feed products based on the vegetative part of woody plants.

Thus, the results obtained show the possibility of using fermentation products as protein feed additives.

**Keywords:** bioconversion, post-extraction residue, fir tree green, vegetative part of poplar, buds, fallen leaves, protein feed product, amino acid analysis, *Fomitopsis pinicola*.

### References

- Ernst L.K., Naumenko Z.M., Ladinskaya S.I. *Kormovyye produkty iz otkhodov lesa*. [Forage products from forest waste]. Moscow, 1982, 168 p. (in Russ.).
- Khusid S.B. i dr. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 98, pp. 706–731. (in Russ.).
- Levin E.D., Repyakh S.M. *Pererabotka drevesnoy zeleni*. [Processing of woody greenery]. Moscow, 1984, 120 p. (in Russ.).
- Stepen' R.A., Voronin V.M., Soboleva S.V. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2017, no. 3–4, pp. 120–124. (in Russ.).
- Isayeva Ye.V. *Kompleksnaya pererabotka vegetativnoy chasti topolya bal'zamicheskogo s polucheniyem biologicheski aktivnykh produktov: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk*. [Complex processing of the vegetative part of the balsamic poplar to obtain biologically active products: abstract diss. ... Dr. Tech. sciences]. Krasnoyarsk, 2008, 44 p. (in Russ.).
- Drevesnaya zelen'* [Woody greens]. URL: <http://wood-prom.ru/clauses/sdelay-sam/drevesnaya-zelen>. (in Russ.).
- Isayeva Ye.V., Ryazanov T.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 3, pp. 59–65. (in Russ.).
- Lekontseva I.V., Mamayeva O.O., Isayeva Ye.V. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2019, vol. 37, no. 3–4, pp. 265–270. (in Russ.).
- Matveyenko Ye.V., Velichko N.A. *Vestnik KrasGAU*, 2015, no. 4 (103), pp. 70–72. (in Russ.).
- Velichko N.A. i dr. *Organizatsiya shirokogo ispol'zovaniya lesnykh resursov v kachestve kormovoy bazy zhivotnovodstva*. [Organization of wide use of forest resources as a fodder base for animal husbandry]. Krasnoyarsk, 1981, pp. 237–239. (in Russ.).
- Litovka Yu.A. i dr. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 193–199. (in Russ.).
- Bukhalo A.S. *Vysshiy s"yedobnyye bazidiomitsety v chistoy kul'ture*. [Higher edible Basidiomycetes in pure culture]. Kiev, 1988, 144 p. (in Russ.).
- Nikolayev S.I. i dr. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2015, no. 107(03), pp. 1703–1714. (in Russ.).
- Aminokisloty v kormakh zhivotnykh* [Amino acids in animal feed]. URL: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh>. (in Russ.).
- Aminokisloty v kormlenii KRS* [Amino acids in cattle feeding]. URL: <https://agropremix.ru/page10.html>. (in Russ.).
- Zamenimyye i nezamenimyye aminokisloty. Aminokislotnyy sostav proteinov rastitel'nykh i zhivotnykh kormov*. [Replaceable and essential amino acids. Amino acid composition of proteins in plant and animal feed]. URL: [https://studopedia.net/-13\\_58356\\_zamenimie-i-nezamenimie-aminokis-loti-aminokislotnyy-sos-tav-proteinov-rastitelnih-i-zhivotnih-kormov.html](https://studopedia.net/-13_58356_zamenimie-i-nezamenimie-aminokis-loti-aminokislotnyy-sos-tav-proteinov-rastitelnih-i-zhivotnih-kormov.html). (in Russ.).
- Khimicheskyy sostav drevesnoy zeleni. Aminokislotnyy sostav belkovykh fraktsiy drevesnoy zeleni* [The chemical composition of woody greenery. Amino acid composition of protein fractions of woody greenery]. URL: <http://www.drevesinas.ru/wood-greens/greenstructure/3.html>. (in Russ.).
- Velichko N.A., Berikashvili Z.N. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 4, pp. 274–278. (in Russ.).
- Kovaleva G.K. *Biologicheskiye osobennosti i biokhimicheskyy sostav ksilotrofnykh bazidiomitsetov Fomitopsis officinalis (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., Ganoderma applanatum (Pers.) Pat. i Trametes versicolor (L.: Fr.) Pilat*. [Biological features and biochemical composition of xylophilic basidiomycetes *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat. and *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat]. Moscow, 2009, 22 p. (in Russ.).

\* Corresponding author.

20. Kiseleva O.V. i dr. *Lesnoy i khimicheskiy kompleksey – problemy i resheniya: sbornik statey vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Forest and chemical complexes – problems and solutions: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference]. Krasnoyarsk, 2013, vol. 2, pp. 9–12. (in Russ.).
21. Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhimii rasteniy*. [Workshop on plant biochemistry]. Moscow, 1985, 255 p. (in Russ.).
22. *Joint FAO/WHO Ad hoc expert committee on energy and protein requirements*, Rome, 1973, 522 p.
23. *Krupa iz zerna rzhi i tritikale* [Rye and triticale groats]. URL: <https://vniiz.-org/science/publication/article-221%20>. (in Russ.).

*Received October 2, 2020*

*Accepted November 13, 2020*

**For citing:** Mamaeva O.O., Isaeva E.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 427–434. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020048521.