

РЕКУПЕРАЦИЯ ЛИСТОВОГО ОПАДА В КОРМОВЫЕ ПРОДУКТЫ С ВЫСОКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТЬЮ

А.Н. Иванкин[✉], А.Н. Веревкин

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

aivankin@mgul.ac.ru

Изложено описание процесса биотрансформации *in vitro* листового опада в присутствии дрожжевых культур с целью получения продукта кормового назначения. Показано, что рекуперация растительного сырья, в качестве которого использовали смесь опавших листьев тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. и березы повислой *Betula pendula*, в присутствии 10...15 % к массе сырья отходов пивоваренного производства — дрожжевых культур *Saccharomyces carlsbergensis* 16-й генерации позволяет путем твердофазного ферментирования в течение 6 сут получать биоэффективные добавки кормового назначения. Установлено, что для балансирования конечного состава продукта в исходную смесь целесообразно добавлять боенскую кровь. Показано, что процесс биотехнической переработки листового сырья с помощью дрожжей сопровождается умеренной биотрансформацией лигнинных веществ с уменьшением их содержания в конечном продукте, трансформацией углеводов компонентов, а также увеличением содержания белка. Приведен аминокислотный состав белковой части ферментированного продукта и показано, что в нем содержатся все эссенциальные аминокислоты, необходимые для полноценного развития живого организма. Установлено, что в продукте, кроме связанных в структуре белка аминокислот, содержится также незначительное количество свободных аминокислот. Изучен базовый элементный состав зольных компонентов субстратов до и после культивирования и отмечено, что количество макро- и микроэлементов соответствует безопасному уровню их содержания в объектах природного происхождения. Установлены основные физико-химические показатели качества продукта, определяющие его эффективность использования в кормовых целях. Проведены предварительные испытания полученного продукта и показано, что ферментированная дрожжами масса листового сырья после сушки может использоваться в качестве высокоусвояемой добавки для корма поросят, а также может служить питательной основой для получения биоэффективных кормов при выращивании других сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: растительное сырье, листовый опад, пивные дрожжи, биодegradация, гидролиз, корма

Ссылка для цитирования: Иванкин А.Н., Веревкин А.Н. Рекуперация листового опада в кормовые продукты с высокой биологической ценностью // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 6. С. 75–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-6-75-83

Растительный мир представляет собой важный сырьевой источник, позволяющий достаточно легко получать необходимые компоненты пищевых систем в силу своего разнообразия, относительно простых условий произрастания и больших объемов сельскохозяйственного производства. Значительная часть продукции растениеводства направляется на корма для выращивания продуктивных животных.

Одним из основных факторов успешного развития животноводства является укрепление и расширение кормовой базы, создание экологически чистых кормовых добавок, содержащих питательные вещества с высокой усвояемостью, активно стимулирующих нормальный рост и интенсивное развитие [1, 2].

Большинство кормов, используемых для питания сельскохозяйственных животных, не содержит достаточного количества полноценного

белка. Его дефицит покрывается увеличением содержания в рационах животных растительного протеина сельскохозяйственных культур, в первую очередь за счет использования зерна [3, 4].

В рецептурах современных комбикормов доля зерновых может составлять 60...80 %. Использование такого количества зерна нерационально и приводит к дисбалансу белкового и углеводного компонентов рационов, что становится причиной снижения продуктивности, потери живой массы, вынужденной выбраковки животных, а также возникновению их бесплодия.

Решить проблему можно путем снижения использования в кормах зерновых компонентов и обогащения рационов белком животного происхождения или белком, полученным путем микробного синтеза.

Корма сельскохозяйственных животных содержат в своем составе влагу, причем если в травяных кормах (сено, солома) влажность составляет до 15 %, в зеленых кормах она достигает

60...85 %, а в корнеплодах ее содержание может составлять 90 %. Чем больше влагосодержание в корме — тем ниже его питательность. Высокое содержание влаги также отрицательно сказывается на продолжительности товарного хранения [5, 6].

Для получения кормовых добавок определенный интерес представляют практически неограниченные ресурсы древесной фитомассы.

Листья древесных пород при влажности 62...72 % содержат 2,5...7,5 % белка, до 3 % жировых липидов, 4...8 % сырой клетчатки, 13...22 % безазотистых экстрактивных веществ и 1,5...3,5 % золы. Переваримость органического вещества фитомассы из листьев осины, березы, ивы и липы составляет более 63 %.

В фитомассе содержатся разные по природе химические компоненты. Состав зеленой массы, прежде всего содержание в ней необходимых для питания витаминов, белков, полисахаров, зависит от многих факторов, в том числе от видовых характеристик растения, его возраста, климатических условий произрастания, состава почвы, времени суток, количества осадков, сезонных колебаний температуры, освещенности и других факторов. Так, например, содержание (мг/кг сухого вещества) неорганических ионов металлов в листе и хвое в зависимости от региона произрастания, может составлять [7]: Ca — 0,5...1,5; Mg — 5...7; K — 2...4; Na — 3...7; Fe — 1,5...6,5; Mn — 1...3.

Динамика изменения содержания полезных компонентов в растительном сырье существенно различается. Зимой происходит накопление питательных веществ в растениях, весной с развитием вегетации их содержание варьирует и может накапливаться в оконечных органах — листе. Считается, что наибольшее количество питательных веществ содержится именно в листьях лесных культур, кроме того, здесь имеется значительное количество перевариваемого белка.

Для оценки пригодности такого растительного материала в качестве корма важен учет наличия в нем и протеина, и нуклеиновых кислот, и клетчатки, и других органических регуляторных соединений [8]. Биологическая ценность белка зависит прежде всего от содержания в нем незаменимых аминокислот. Однако избыточное содержание какой-либо минорной аминокислоты может вызывать нарушение биохимических процессов развития животных и даже угнетение их роста. Для эффективного потребления белка в составе кормового рациона необходимо определенное соотношение всех 20 заменимых и незаменимых аминокислот, т. е. должна обеспечиваться сбалансированность в соотношениях с другими аминокислотами. Недостаток какой-либо незаменимой аминокислоты в используемом белковом корме

животных неизбежно снижает эффективность потребления других аминокислот в рационе, и это уменьшает эффективность такого рациона [9].

Учитывая биохимический состав растительных отходов, прежде всего в силу значительных объемов опавших листьев березы (опада), данный вид природного сырья следует рассматривать как достаточно перспективное сырье для получения с его помощью таких полезных продуктов, как белковые кормовые добавки, которые можно получать на их основе путем биоконверсии [10].

Древесная зелень является источником большого количества экстрактивных веществ, которые могут относительно легко высвободиться в процессе пищеварения в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных. Среди веществ, экстрагируемых растворителями, имеются терпеноиды, каротиноиды, фосфолипиды, зеленые пигменты и витамины. Компоненты клеточных стенок листового опада представляют меньший интерес с точки зрения их биодоступности [11–13].

Основной компонентный состав (%) древесной зелени (березы, тополя) может быть представлен следующим образом: содержание целлюлозы — 7...10; пентозанов — 1...2; лигнина — 9...20; золы — 2...4; влаги — до 75...90 [11]. Целлюлоза и лигнин не относятся к компонентам с высокой биологической ценностью, однако остальные составляющие зеленой фитомассы обеспечивают ее биодоступность.

Несмотря на достаточно благоприятный общий химический состав лесной фитомассы, существуют возможные методы повышения ее биологической ценности путем микробиологической трансформации *in vitro*.

Известно, что достаточно активными биотрансформаторами растительных отходов древесного происхождения являются грибные культуры [14]. Грибы — это основные разрушители растительных остатков в лесу. Особое место среди множества грибов занимают представители класса *Basidiomycetes*, в частности грибы рода *Pleurotus* [15]. Продукенты имеют мощную ферментативную систему (целлюлазы и оксидоредуктазы), которая способна расщеплять целлюлозу и лигнин, что позволяет использовать грибную биомассу для биодеструкции растительных отходов с получением белкового кормового продукта. В процессе конверсии субстрата продукенты в первую очередь утилизируют экстрактивные вещества и легкогидролизуемые полисахариды, количество которых может снижаться на 30...45 % с общим уменьшением содержания полисахаридов на 20 %, лигниновых веществ — на 10...15 % [16, 17].

Ферментные системы микроорганизмов достаточно универсальны. Ранее в своих работах мы

показали возможность использования дрожжевых культур для биотрансформации субстратов растительного и животного происхождения [18–20].

Цель работы

Цель работы — разработка технологии получения кормовой добавки из листового опада с использованием отходов дрожжевых культур.

Материалы и методы

В качестве сырьевого субстрата для биодеструкции использовали осеннюю смесь опавших листьев тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. и березы повислой *Betula pendula* в соотношении 1:1.

Модификатором служили отходы пивоваренных дрожжевых культур *Saccharomyces carlsbergensis* 16-й генерации.

Перед культивированием субстраты измельчали на грануляторе до размера частиц 2...5 мм, доводили влагосодержание до уровня 70 % путем добавления необходимого количества воды питьевой. Культивирование проводили твердофазным способом во вращающейся емкости для обеспечения умеренного перемешивания. Засев дрожжей осуществляли путем внесения в смесь листового опада 10 % масс. суспензии дрожжевых культур. Для корректировки в кормовом продукте содержания эссенциальных компонентов в реакционную смесь добавляли 10 % боенской крови.

Контроль за количеством дрожжевой биомассы осуществляли спектрофотометрически по увеличению оптической плотности при 546 нм фильтрата через трехслойный марлевый фильтр.

Культивирование *Sacch. carlsbergensis* осуществляли при температуре 35 °С и умеренном периодическом перемешивании в течение 6 сут. Полученную массу кормовой добавки подвергали дальнейшему высушиванию с использованием распылительной сушилки и упаковывали в крафт-мешки.

Исследования физико-химических параметров исходного сырья и продукта проводили с использованием методик, принятых в биотехнологии и химии растительного сырья [21, 22].

Переваримость продукта оценивали прямым методом на поросятах по разнице масс исходного корма и естественных отходов.

Эксперименты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку результатов осуществляли по стандартным методикам [23]. Полученные результаты не выходили за пределы доверительной вероятности $P = 0,95$.

Результаты и обсуждение

Исходное сырье — опад листвы березы и тополя содержал в своем составе, % от абсолютно

сухих веществ (% АСВ): целлюлозы — 32...42; лигнина — 18...22; гексозаны — 3...5; пентозаны — 18...25; уроновые кислоты — 5...8, зольность — 0,5...3,5, а также многие органические вещества, которые могут служить эффективными субстратами для роста микрофлоры. Так, листья березы, кроме большого количества целлюлозы и лигнина, содержат до 1 % масс. эфирных масел, кумаринов, сапонинов, фенолкарбоновых кислот, хлорофилла, каротиноидов, витаминов А, С, Е, флавоноидов, дубильных веществ, в микродозах имеются свободные amino- и жирные кислоты а также моносахара [24, 25].

Другой компонент перерабатываемой биомассы — отходы пивных дрожжей, не используют в пивоваренной промышленности по причине пониженной ростовой активности, однако они сохраняют способность к клеточному развитию на обогащенных природных субстратах.

Максимальный ростовой коэффициент при поверхностном твердофазном культивировании штамма *Sacch. carlsbergensis* 161 на данном субстрате наблюдался на 6-е сутки. Выход клеточной дрожжевой биомассы к этому сроку практически утраивался.

Для прогнозной оценки кормовой ценности исходного растительного субстрата и получаемого продукта был исследован компонентный состав субстрата до и после биодеструкции (табл. 1).

Из представленных в табл. 1 данных видно, что исходная смесь листового опада содержит достаточное количество составляющих компонентов, которые имеют потенциальную ценность для использования данного сырья в качестве субстрата при выращивании дрожжевых и других микроорганизмов.

В процессе культивирования наблюдалась убыль массы субстрата до 15...20 %, в то же время количество дрожжевой биомассы увеличивалось в 2–3 раза. Компонентный состав субстрата после биотехнической переработки содержит как низкомолекулярные, так и высокомолекулярные соединения (см. табл. 1). При культивировании можно фиксировать изменение биохимического состава растительного субстрата, при этом убыль массы исходного сырья происходит во многом за счет конверсии экстрактивных веществ и легкогидролизуемых полисахаридов. В процессе культивирования дрожжевой культуры происходило уменьшение количества практически всех компонентов субстрата. Так, общее содержание по антрону [22] полисахаридов в процессе культивирования снижалось более, чем на 18 %. При этом фиксировалась тенденция преимущественного биопотребления легкогидролизуемых растворимых сахаридов, их количество уменьшилось более чем на 25 %.

**Компонентный состав листового субстрата до биодеструкции
и ферментированного продукта, % на АСВ**

Component composition of leaf substrate before biodegradation and fermented product, % of absolutely dry matter

Наименование	Исходный смесевой (1:1) субстрат листьев березы и тополя	Ферментированный продукт
Вещества, экстрагируемые горячей ($t = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$) водой	15	22
Вещества, экстрагируемые этанолом	3	5
Легкогидролизуемые водорастворимые сахараиды	12	8
Трудногидролизуемые полисахариды	15	18
Лигниновые вещества	18	16
Минеральные вещества	2	3

Т а б л и ц а 2

**Базовый элементный состав зольных
компонентов субстратов до и после
культивирования, мкг/кг АСВ**

Basic elemental composition of ashy constituents
of substrates before and after cultivation,
 $\mu\text{g}/\text{kg}$ of absolutely dry matter

Элемент	Листовой субстрат	Продукт после культивирования
Натрий	5100	5000
Калий	3500	3300
Кальций	1200	1100
Магний	5900	5750
Медь	7	6
Цинк	260	255
Железо	200	196
Свинец	0,3	0,3
Кадмий	0,5	0,4

Содержание лигниновых компонентов во всех случаях культивирования, в зависимости от соотношения листовых включений, уменьшилось на 10...16% по сравнению с исходным субстратом, поскольку в процессе биотрансформации листового сырья дрожжевыми культурами происходит преимущественная биодеструкция как углеводной составляющей сырья, так и лигниновых соединений. Общее содержание веществ лигноуглеводного комплекса в процессе биодеградациии снижалось в среднем в 1,5 раза.

Это подтверждает возможность биопереработки листового сырья дрожжевыми культурами, очевидно, за счет действия комплекса ферментов (целлюлаз и оксидоредуктаз), позволяющих дрожжевым культурам участвовать в биодеградациии веществ лигноуглеводного комплекса.

Содержание минеральных веществ в анализируемых объектах оставалось практически неизменным, поскольку в процессе биотрансформации происходит массоперенос веществ из растительной ткани в формируемую в процессе биосинтеза дрожжей клеточную микроструктуру.

Минеральные вещества не синтезируются в живых организмах, а их содержание обеспечивается исключительно при регулярном поступлении в организм с кормами и водой. Элементный состав зольных компонентов представлен в табл. 2.

Определенное внимание с точки зрения безопасности любого объекта, употребляемого в составе пищевой системы, уделяется наличию в нем тяжелых металлов. Суммарное содержание свинца и кадмия в получаемом продукте биодеструкции на листовом опаде не превышало допустимых уровней. Предельно допустимая концентрация (ПДК) свинца в пищевых продуктах составляет 0,1...1,0 мг/кг, кадмия — 0,2...1,0 мг/кг, в кормах — 0,5...5,0, т. е. по уровню содержания нормируемых тяжелых металлов исследуемые продукты укладываются в безопасный диапазон для потребления в составе кормов продуктивных животных [26].

Важное значение для оценки потенциального качества животных кормов имеет наличие в них микроэлементов, в частности железа, меди, кобальта, цинка, марганца, йода, бора и др. Медь, цинк и железо относятся к микробиоэлементам, они оказывает положительное влияние на устойчивость организма к заболеваниям и интенсивность накопления мышечной массы, что является важной целью сельскохозяйственного животноводства. В полученном продукте биотрансформации содержание железа и цинка составляло более 0,2 мг/кг. Добавление в перерабатываемую смесь боенской крови позволяло увеличить содержание железа, цинка и меди более чем в 1,5 раза.

Питательная ценность кормов преимущественно определяется содержанием в них белковых компонентов, необходимых для развития животной ткани и особей в целом. Белки состоят из аминокислот. Аминокислотный состав белковой пищи во многом определяет ее питательную и биологическую ценность. Сбалансированность продукта по аминокислотному составу является показателем, к которому следует стремиться при разработке питательных рационов (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Аминокислотный состав белка сырья и полупродуктов, г/100 г белка

Amino acid composition of protein raw materials and intermediates, g/100 g of protein

Аминокислоты	Листва березы	Листва тополя	Боенская кровь крупного рогатого скота	Дрожжи пивные	Кормовой продукт
Незаменимые, в том числе:	37,5	41,2	46,5	34,2	43,5
изолейцин (Иле)	3,1	3,3	3,5	3,6	3,4
лейцин (Лей)	6,4	5,4	12,0	10,1	7,1
лизин (Лиз)	4,5	6,7	4,1	6,2	5,9
метионин (Мет)	5,8	5,7	2,2	2,8	4,9
цистин (Цис)	1,6	2,5	1,6	0,1	2,4
фенилаланин (Фен)	3,3	4,2	4,7	4,1	3,6
тирозин (Тир)	2,8	2,4	4,6	3,2	2,8
треонин (Тре)	3,5	3,8	4,7	4,6	4,4
триптофан (Трп)	2,2	1,7	1,3	1,2	1,8
валин (Вал)	4,3	5,5	7,8	5,6	7,2
Заменимые, в том числе:	47,9	46,7	49,9	54,7	55,0
аланин (Ала)	4,7	4,4	8,9	6,9	8,2
аргинин (Арг)	5,9	4,3	5,5	6,4	5,7
аспарагин (Асп)	11,4	10,5	6,0	9,5	10,3
гистидин (Гис)	2,5	3,6	2,0	3,6	3,3
глицин (Гли)	3,3	3,4	5,3	4,5	5,0
глутамин (Глу)	10,4	11,4	10,2	14,5	12,3
пролин (Про)	5,2	5,5	4,7	3,9	5,0
серин (Сер)	4,5	3,6	7,3	5,4	5,2
Содержание белка, %	2,3	2,1	8,0	6,5	4,9

Биотрансформация листового опада приводит к росту содержания белка в конечном продукте вследствие развития клеток дрожжевой биомассы и трансформации лигноуглеводного макросо. Белки являются важнейшими компонентами всех живых систем, поэтому существует настоятельная необходимость в обеспечении их поступления в составе питательных рационов. В случае добавления в перерабатываемое сырье боенской крови, этот компонент также способствует увеличению массовой доли доступного белка в продукте, поскольку изначально содержит гемовые и легкоусвояемые альбумины.

Обычное содержание белка в растительной ткани составляет в стеблях 1,5...3 %, листе 1...3 %. Биотрансформация листы дрожжами позволяла увеличивать этот параметр до 5 % и более.

Представленный в табл. 3 аминокислотный состав белковой части кормового продукта показывает, что в ферментированном продукте содержится полный набор заменимых и незаменимых аминокислот, что важно для питательных рационов живых организмов. Аминокислотный анализ устанавливает содержание 18 аминокислот, при этом, глутамин и глутаминовая кислота фикси-

руются одним показателем — Глу, аналогично аспарагин и аспарагиновая кислота как Асп [22].

Биомасса клеток микроорганизмов обычно отличается высоким (15...22 %) содержанием белка, сбалансированного по аминокислотному составу, а также содержит углеводы, липиды, витамины, макро- и микроэлементы, которые являются эссенциальными компонентами для дальнейшего потребления в составе животного корма.

В табл. 4 представлен сравнительный анализ важнейших аминокислот в получаемом дрожжевом белке. Сопоставление данных по содержанию важнейших аминокислот с эталоном ФАО ВОЗ, установленного для пищевого белка пищевых систем млекопитающих (в том числе человека) показывает, что практически по всем незаменимым аминокислотам дрожжевая белковая составляющая ферментированного продукта соответствует категории высококачественной питательной системы.

Как отмечалось выше, в живой природе в составе любой биомассы присутствуют естественные белковые макрокомплексы, которые под воздействием внутренних ферментов подвергаются частичному гидролитическому распаду

Т а б л и ц а 4

Содержание незаменимых аминокислот в дрожжевом белке микробиологической части ферментированного продукта, г/100 г белка

The content of essential amino acids in the yeast protein of the microbiological part of the fermented product, g/100 g of protein

Аминокислота	Дрожжевой белок <i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	Эталон ФАО
Лизин	6,3	5,5
Триптофан	1,3	1,0
Метионин	2,7	2,9
Треонин	4,6	4,0
Валин	5,5	5,0
Лейцин	10,2	7,0
Изолейцин	3,6	4,0
Фенилаланин	4,1	3,0

Т а б л и ц а 5

Основные показатели кормового продукта
Main indicators of the feed product

Показатель (массовая доля)	Ферментированный продукт на основе листового опада березы и тополя, %
Влага	8...15
Белок	5,0...5,5
Жир	10...15
Зола	3...5
Углеводы	55...60

с высвобождением свободных аминокислот, массовая доля которых обычно составляет 0,5...2 % масс. от общего содержания белка [20, 25, 27].

Анализ исходного смесового листового сырья показал, что содержание в нем свободных аминокислот составляло, мкг/г: Иле — 7, Лей — 8, Лиз — 5, Мет — 2, Цис — 3, Фен — 4, Тир — 2, Тре — 4, Трп — 2, Вал — 3, Ала — 33, Арг — 26, Асп — 32, Гис — 3, Гли — 26, Глу — 27, Про — 21, Сер — 43 (0,03 % от массы сырья).

После ферментативной обработки листового сырья дрожжевой культурой содержание большинства свободных аминокислот возрастало, что, по-видимому, связано не только с потреблением белка дрожжами, но и с активной работой трансформирующих ферментов. Так, в продукте зафиксированы свободные аминокислоты, мкг/г: Иле — 9, Лей — 9, Лиз — 5, Мет — 6, Цис — 5, Фен — 4, Тир — 4, Тре — 3, Трп — 4, Вал — 8, Ала — 41, Арг — 25, Асп — 38, Гис — 7, Гли — 31, Глу — 40, Про — 25, Сер — 48 (0,08 % от массы сырья). Наличие свободных аминокислот в составе потенциального корма увеличивает его питательную ценность.

В табл. 5 приведены усредненные значения основных физико-химических показателей биодеградированного продукта на основе листовой смеси березы и тополя. Варьирование параметров обусловлено разным составом исходного сырья.

Ферментированная масса листового сырья после сушки может использоваться как в качестве высокоусвояемой добавки для корма поросят, так и служить питательной основой кормов других сельскохозяйственных животных.

В настоящее время в России уделяется очень большое внимание использованию новых нетрадиционных видов сырьевых компонентов в составе кормовых добавок и комбикормов, что позволило бы повысить физиологический и экологический статус, продуктивность, сохранность и воспроизводство поголовья, а также осуществить замену импорта зарубежных кормов.

Проведенные испытания полученного продукта на животных (свиньях) показали, что степень усвояемости корма превышала 65 %.

По предварительным расчетам, использование разработанного кормового продукта даст возможность повысить продуктивность животных на 8...10 % и снизить затраты кормов на получение единицы продукции на 6...8 %.

Выводы

Разработана методология переработки бросового листового опада листовых растений с помощью отходов дрожжевой биомассы в целях получения кормовой основы сельскохозяйственных животных. Физико-химические и биологические показатели кормового продукта позволяют рассматривать его как возможную потенциальную замену импортируемым комбикормам.

Список литературы

- [1] Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Kulikovskii A.V., Ivankin A.N. Achremko A.G Proteomics as a tool for studying meat autolysis // 63-rd International Congress of Meat Science and Technology 13–18 August, 2017, Cork, Ireland. pp. 870–873. DOI: 10.3921/978-90-8686-860-5
- [2] Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N. Defragmenting processing of collagen-containing wastes of meat processing industry into functional feed additives for obtaining high-quality food // World J. of Food Science and Technology, 2017, v. 1, no. 2, pp. 39–46. DOI: 10.11648/j.wjfst.20170102.12
- [3] Бабурина М.И., Кузнецова Т.Г., Горбунова Н.А., Становова И.А., Иванкин А.Н. Влияние маннанолигосахаридов питательных рационов животных на качество мясной продукции // Теория и практика переработки мяса. Все о мясе, 2017. № 1. С. 33–36.
- [4] Giura L., Urtasun L., Ansorena D., Astiasarán I. Effect of freezing on the rheological characteristics of protein enriched vegetable puree containing different hydrocolloids for dysphagia diets // LWT, 2022, v. 169, no. 10, p. 114029. doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114029

- [5] Lyda K.R., Moldovan S.I., Choo K. Influence of mixing and diffusion on moisture content of maize in a feed mill wet bin // *Biosystems Engineering*, 2019, v. 178, no. 2, pp. 102–108. DOI: doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.007
- [6] Saha N., Goates C., Hernandez S., Jin W., Westover T., Klinger J. Characterization of particle size and moisture content effects on mechanical and feeding behavior of milled corn stover // *Powder Technology*, 2022, v. 405, no. 6, p. 117535. doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117535
- [7] Меншиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102
- [8] Корма, их классификация и питательная ценность. URL: <https://helpiks.org/8-101241.html> (дата обращения 03.03.2023).
- [9] Аминокислоты в кормах животных. URL: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh> (дата обращения 03.03.2023).
- [10] Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Жукова В.А. Древесина как химическое сырье. История и современность. IV. Делигнификация древесины как путь получения целлюлозы. Часть II // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26. № 2. С. 69–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-69-84
- [11] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ, 2015. 1111 с.
- [12] Hoyos-Carvajal O.S., Bissett J. 2009. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropical regions // *Fungal Genetics and Biology*, 2009, v. 46, no. 3, pp. 615–631.
- [13] Kasprzyk I. Forensic botany: who?, how?, where?, when? Review // *Science & Justice*, 2023, v. 63, no. 2, pp. 258–275. doi.org/10.1016/j.scijus.2023.01.002
- [14] Уланова Р.В., Гольштейн В.Г., Колпакова В.В. Изучение культивирования штамма *Pleurotus ostreatus* в глубокой культуре на среде зернового экстракта // *Достижения науки и техники АПК*, 2018. Т. 32. № 8. С. 82–87.
- [15] Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. Pollutants biodegradation by *Fungi* // *Curr. Org. Chem.*, 2009, v. 13, no. 12, pp. 1194–1214. DOI: 10.2174/138527209788921774
- [16] Mshandete A.M., Mgonja J.R. Submerged liquid fermentation of some *Tanzanian Basidiomycetes* for the production of mycelial biomass, exopolysaccharides and mycelium protein using wastes peels media // *ARPN J. of Agricultural and Biological Science*, 2009, v. 4, no. 6, pp. 1–13.
- [17] Мамаева О.О., Исаева Е.В., Лоскутов С.Р., Плящечник М.А. Компонентный состав продукта биодеструкции опавших листьев базидиальными грибами *Pleurotus Pulmonarius* // *Химия растительного сырья*, 2021. № 1. С. 277–285. DOI: 10.14258/jcprpm.2021018851
- [18] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Прошина О.П. Особенности коллагена в мясном сырье // *Мясная индустрия*, 2009. № 1. С. 59–63.
- [19] Кузнецова Т.Г., Иванкин А.Н., Куликовский А.В. Наносенсорный анализ мясного сырья и растительных объектов. Саарбрюккен: LAMBERT Academic Publishing, 2012. 224 с.
- [20] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Production and purification of protein hydrolysates (review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 4, pp. 317–324.
- [21] Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Практикум по химии древесины и синтетических полимеров. М.: МГУЛ, 2006. 249 с.
- [22] Лисицын А.Б., Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д. Методы практической биотехнологии. М.: Изд-во ВНИИМП, 2002. 408 с.
- [23] Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 351 с.
- [24] Волова А.В., Наквасина Е.Н. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth) различных форм // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2019. Т. 23. № 6. С. 5–12. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-6-5-12
- [25] Jonczak J. The influence of birch trees (*Betula* spp.) on soil environment — A review // *Forest Ecology and Management*, 2020, v. 477, no.12, 118486. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118486.
- [26] Нормы и требования №13-7-2/174. Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов для непродуктивных животных. М.: [б. и.], 1997. 100 с.
- [27] Иванкин А.Н. Химическая и биодegradация белковых компонентов растительного происхождения // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2023. Т. 27. № 1. С. 85–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-85-94

Сведения об авторах

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, академик Международной академии наук высшей школы (МАН ВШ), профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химических технологий лесного комплекса, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 05.04.2023.

Одобрено после рецензирования 04.07.2023.

Принята к публикации 24.08.2023.

LEAF LITTER RECOVERY INTO FORAGE PRODUCTS WITH HIGH BIOLOGICAL VALUE

A.N. Ivankin✉, A.N. Verevkin

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

aivankin@mgul.ac.ru

The process of in vitro biotransformation of leaf litter in the presence of yeast cultures is described in order to obtain a feeding stuff product. A mixture of leaf litter of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) and silver birch (*Betula pendula*) was used as the initial raw material. The recovery of the mixture of vegetable raw materials was carried out in the presence of brewing waste — yeast cultures of *Saccharomyces carlsbergensis* of the 16th generation, which were added in an amount of 10...15 % to the mass of raw materials. The fermentation process by the solid-phase method was carried out with moderate stirring and heating for 6 days. To balance the final composition of the product, slaughtering blood was added to the initial mixture. The fermented product was dried and used as feed for cattle. It is shown that the process of biotechnical processing of leaf raw materials in the presence of yeast is accompanied by a moderate biotransformation of lignin substances with a decrease in their content in the final product, the transformation of carbohydrate components, and an increase in protein content. The amino acid composition of the protein part of the fermented product has been studied and it has been shown that it contains all the essential amino acids necessary for the full development of a living organism. It was also shown that in the product, in addition to the amino acids associated in the protein structure, the presence of an insignificant amount of free amino acids is recorded. The basic elemental composition of the ashy constituents of the substrates before and after cultivation was studied and it was noted that the amount of macro and micro bioelements corresponds to a safe level of their content in objects of natural origin. The main physical and chemical indicators of the product quality are established, which determine its efficiency for fodder purposes. Preliminary tests of the obtained product have been carried out and it has been shown that the mass of leaf raw materials fermented with yeast after drying can be used as a highly digestible additive for piglets' feedingstuff, and can also serve as a nutritional basis for obtaining bioeffective feed for growing farm animals.

Keywords: vegetable raw materials, leaf litter, brewer's yeast, biodegradation, hydrolysis, feed


Suggested citation: Ivankin A.N., Verevkin A.N. *Rekuperatsiya listovogo opada v kormovye produkty s vysokoy biologicheskoy tsennost'yu* [Leaf litter recovery into forage products with high biological value]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 6, pp. 75–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-6-75-83

References

- [1] Vostrikova N.L., Chernukha I.M., Mashentseva N.G., Kulikovskii A.V., Ivankin A.N. Achremko A.G Proteomics as a tool for studying meat autolysis. 63-rd International Congress of Meat Science and Technology 13–18 August, 2017, Cork, Ireland. pp. 870–873. DOI: 10.3921/978-90-8686-860-5
- [2] Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kulikovskii A.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N. Defragmenting processing of collagen-containing wastes of meat processing industry into functional feed additives for obtaining high-quality food. *World J. of Food Science and Technology*, 2017, v. 1, no. 2, pp. 39–46. DOI: 10.11648/j.wjfst.20170102.12
- [3] Baburina M.I., Kuznetsova T.G., Gorbunova N.A., Stanovova I.A., Ivankin A.N. *Vliyaniye mannanoligosakharidov pitatel'nykh ratsionov zhivotnykh na kachestvo myasnoy produktsii* [Influence of mannanoligosaccharides of animal diets on the quality of meat products]. *Teoriya i praktika pererabotki myasa. Vse o myase* [Theory and Practice of Meat Processing. All about meat], 2017, no. 1, pp. 33–36.
- [4] Giura L., Urtasun L., Ansorena D., Astiasarán I. Effect of freezing on the rheological characteristics of protein enriched vegetable puree containing different hydrocolloids for dysphagia diets. *LWT*, 2022, v. 169, no. 10, p. 114029. doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114029
- [5] Lyda K.R., Moldovan S.I., Choo K. Influence of mixing and diffusion on moisture content of maize in a feed mill wet bin. *Biosystems Engineering*, 2019, v. 178, no. 2, pp. 102–108. DOI: doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.11.007
- [6] Saha N., Goates C., Hernandez S., Jin W., Westover T., Klinger J. Characterization of particle size and moisture content effects on mechanical and feeding behavior of milled corn stover. *Powder Technology*, 2022, v. 405, no. 6, p. 117535. doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117535
- [7] Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E. *Akkumulatsiya metallov v khvoe sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.), v pochve i snegovoy vode v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya* [Accumulation of metals in Scotch pine needles (*Pinus sylvestris* L.), in soil and snow water under conditions of technogenic pollution] // *Forestry Bulletin*, 2020, v. 24, no. 3, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-94-102
- [8] *Korma, ikh klassifikatsiya i pitatel'naya tsennost'* [Feed, their classification and nutritional value]. Available at: <https://helpiks.org/8-101241.html> (accessed 03.03.2023).
- [9] *Aminokisloty v kormakh zhivotnykh* [Amino acids in animal feed]. Available at: <http://belagrotorg.ru/stati/3009-aminokisloty-v-kormakh-zhivotnykh> (accessed 03.03.2023).
- [10] Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Zhukova V.A. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. IV. Delignifikatsiya drevesiny kak put' polucheniya tsellyulozy. Chast' II* [Wood as chemical raw material. History and modernity. IV. Wood delignification as a way to produce cellulose. Part II]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 69–84. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-2-69-84

- [11] Kononov G.N. *Kononov G.N. Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy* [Dendrochemistry — chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of the components of cells, tissues and organs of woody plants]. In 2 vol. Moscow: MGUL, 2016, 1111 p.
- [12] Hoyos-Carvajal O.S., Bissett J. 2009. Genetic and metabolic biodiversity of *Trichoderma* from Colombia and adjacent neotropical regions. *Fungal Genetics and Biology*, 2009, v. 46, no. 3, pp. 615–631.
- [13] Kasprzyk I. Forensic botany: who?, how?, where?, when? Review. *Science & Justice*, 2023, v. 63, no. 2, pp. 258–275. doi.org/10.1016/j.scijus.2023.01.002
- [14] Ulanova R.V., Gol'shteyn V.G., Kolpakova V.V. *Izuchenie kul'tivirovaniya shtamma Pleurotus ostreatus v glubinnoy kul'ture na srede zernovogo ekstrakta* [Study of the cultivation of the strain *Pleurotus ostreatus* in deep culture on the medium of grain extract]. *Dostizhenie nauki i tekhniki APK* [Achievement of science and technology of the APK], 2018, v. 32, no. 8, pp. 82–87.
- [15] Pinedo-Rivilla C., Aleu J., Collado I.G. Pollutants biodegradation by *Fungi*. *Curr. Org. Chem.*, 2009, v. 13, no. 12, pp. 1194–1214. DOI: 10.2174/138527209788921774
- [16] Mshandete A.M., Mgonja J.R. Submerged liquid fermentation of some *Tanzanian Basidiomycetes* for the production of mycelial biomass, exopolysaccharides and mycelium protein using wastes peels media. *ARNP J. of Agricultural and Biological Science*, 2009, v. 4, no. 6, pp. 1–13.
- [17] Mamaeva O.O., Isaeva E.V., Loskutov S.R., Plyashechnik M.A. *Komponentnyy sostav produkta biodestruktsii opavshikh list'ev bazidial'nymi gribami Pleurotus Pulmonarius* [Component composition of the product of biodestruction of fallen leaves by *Pleurotus Pulmonarius* basidial fungi]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2021, no. 1, pp. 277–285. DOI: 10.14258/jcprm.2021018851
- [18] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Proshina O.P. *Osobennosti kollagena v myasnom syr'e* [Features of collagen in meat raw materials]. *Myasnaya industriya* [Meat industry], 2009, no. 1, pp. 59–63.
- [19] Kuznetsova T.G., Ivankin A.N., Kulikovskiy A.V. *Nanosensornyy analiz myasnogo syr'ya i rastitel'nykh ob'ektov* [Nanosensor analysis of meat raw materials and plant objects]. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2012, 224 p.
- [20] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Production and purification of protein hydrolysates (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 4, pp. 317–324.
- [21] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on the chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MSFU, 2006, 249 p.
- [22] Lisitsyn A.B., Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Metody prakticheskoy biotekhnologii* [Methods of practical biotechnology]. Moscow: VNIIMP, 2002. 408 p.
- [23] Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Higher School, 1990, 351 p.
- [24] Volova A.V., Nakvasina E.N. *Soderzhanie makro- i mikroelementov v list'yakh berezy (Betula pendula Roth) razlichnykh form* [The content of macro- and microelements in birch leaves (*Betula pendula* Roth) of various forms] // *Forestry Bulletin*, 2019, v. 23, no. 6, pp. 5–12. DOI: 10.1S698/2542-1468-2019-6-5-12
- [25] Jonczak J. The influence of birch trees (*Betula* spp.) on soil environment — A review. *Forest Ecology and Management*, 2020, v. 477, no.12, 118486. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118486.
- [26] *Normy i trebovaniya №13-7-2/174. Veterinarno-sanitarnyye normy i trebovaniya k kachestvu kormov dlya neproduktivnykh zhivotnykh* [Norms and requirements No. 13-7-2/174. Veterinary and sanitary norms and requirements for the quality of feed for unproductive animals]. Moscow, 1997, 100 p.
- [27] Ivankin A.N. *Khimicheskaya i biodegradatsiya belkovykh komponentov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Chemical and biological degradation of phytochemical protein components]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 85–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-85-94

Authors' information

Ivankin Andrey Nikolaevich  — Dr. Sci. (Chem.), Academician of the International Higher Education Academy of Sciences (IHEAS), Professor of the Department of Chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of Chemistry and Chemical Technologies of the Forest Complex, BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Received 05.04.2023.

Approved after review 04.07.2023.

Accepted for publication 24.08.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest