

УДК 664.2.032:663.05

БИОКОНВЕРСИЯ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ НА КРАХМАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS* 23

© Н.Д. Лукин¹, Р.В. Уланова², И.К. Кравченко², В.В. Колпакова^{1*}, В.Г. Гольдштейн¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, ул. Некрасова, 11, Московская обл., п. Красково, 140051 (Россия), e-mail: Val-kolpakova@rambler.ru

²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Ленинский пр. 33-2, Москва, 119071 (Россия)

Целью исследований явилось изучение возможности получения грибного препарата на основе экстракта, образующегося при производстве крахмала из зерна тритикале биоконверсией с грибом *Pleurotus ostreatus* 23. Разработаны технологические параметры и условия питательной среды для процесса биоконверсии, обеспечивающие рост мицелия с образованием биомассы в виде порошка светло-кремового цвета. В процессе роста гриб усваивал ксилозу, глюкозу, сквален, синтезировал арабинозу, сорбозу, ликсозу и белки с более высокой биологической ценностью, чем исходный экстракт. Установлено положительное влияние молочной сыворотки в составе среды на свойства препарата, массовую долю белка, сумму незаменимых кислот, содержание лизина, треонина, лейцина, изолейцина. Тритикалевый экстракт является доброкачественным сырьевым ресурсом для синтеза микробной биомассы. Дальнейшие исследования направляются на изучение безопасности, функциональные свойства и возможность использования препарата в производстве пищевых добавок и кормов. Биотрансформация тритикалевого экстракта позволяет решать задачу организации экологически безопасного крахмалопаточного производства за счет снижения жидких отходов производства, уменьшения количества воды, используемой для приготовления питательных сред и расширение ассортимента биологически ценных пищевых или кормовых продуктов.

Ключевые слова: тритикалевый экстракт, биоконверсия, базидиомицеты, грибной препарат, углеводный состав, аминокислотный состав.

Сокращения: СВ – сухие вещества, СА – сусло-агар, ТЭ – тритикалевый экстракт, АТЭ – агаризованный тритикалевый экстракт, КЭ – кукурузный экстракт, МС – молочная сыворотка, НАК – незаменимые аминокислоты.

Введение

Биосинтетическая переработка возобновляемых растительных ресурсов с использованием микроор-

ганизмов позволяет решать проблему утилизации вторичных продуктов переработки сырья, улучшения кормовой базы и создания ингредиентов для продуктов питания [1–5]. Рост объема продукции крахмалопаточной промышленности сопровождается увеличением выхода побочных продуктов [6]. Базовым сырьем для производства крахмала служит зерно, при переработке которого образуются жидкие стоки, инфицированные различными видами микроорганизмов и представляющие опасность для окружающей среды предприятия. Полная очистка сточных вод до норм сброса в городскую канализа-

Лукин Николай Дмитриевич – директор, доктор технических наук, e-mail: vniik@arisp.ru

Уланова Рузалия Владимировна – научный сотрудник, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: colodovnicova@rambler.ru

Кравченко Ирина Константиновна – ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, e-mail: irinakravchenko@inbox.ru

Колпакова Валентина Васильевна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: Val-kolpakova@rambler.ru

Гольдштейн Владимир Георгиевич – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, e-mail: 6919486@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

цию или водоемы экономически невыгодная, так как требует использования дорогостоящего и энергоемкого оборудования [7]. Перспективным направлением устранения негативного влияния замочных вод на окружающую среду является биологическая модификация стоков с получением кормовых, пищевых или иных продуктов [8, 9]. Интерес может представлять использование зерновых экстрактов для глубинного выращивания съедобных базидиомицетов и получение на их основе пищевых, кормовых, медицинских препаратов. Плодовое тело базидиомицетов является источником биологически ценного пищевого белка, аминокислот, липидов, ферментов, органических кислот, витаминов, оно проявляет противоопухолевую, антимикробную и антиоксидантную активность [6–10]. А если учесть особенности химического состава экстрактов, освобождающихся после производства крахмала из зернового сырья [11, 12], и то, что представители базидиомицетов могут служить биорегуляторами состава питательной среды, то с помощью биосинтеза различных соединений на основе вторичных продуктах переработки можно получать новые виды пищевых добавок и кормов с регулируемыми функционально-технологическими свойствами.

Цель данных исследований – изучение возможности получения грибного препарата путем биотрансформации экстракта, образующегося при производстве крахмала из зерна тритикале, грибом *Pleurotus ostreatus* 23 (Jacq.) P. Kumm., с последующей характеристикой его химического и биохимического состава для определения областей использования.

Экспериментальная часть

Материалы и методы. Экстракт получали в экспериментальном цехе ВНИИ крахмалопродуктов после замачивания и дробления зерна тритикале сортов Легион, Бард, Консул, полученных от Донского зонального НИИ сельского хозяйства, и несортного зерна, поступившего с Мглинского крахмального завода (Брянская область). Усредненный химический состав зерна, % на сухие вещества (СВ) включал: крахмал – 63.8; белок (Nx5.7) – 10.1; жир – 1.5; зола – 1.72; редуцирующие сахара – 10.0. Дробленое зерно замачивали в 0.15±0.05% растворе диоксида серы в течение 22–45 ч при температуре 49±1 °С и соотношении замочного раствора к массе зерна 2.0–2.5 : 1. Экстракт отделенный от замоченного зерна центрифугированием при 4000g, имел химический состав, в % на СВ: массовая доля СВ 11.00±1.05%, белка (Nx5.7) 20.40±2.10%, pH среды – 5.10±0.1. Показатели кукурузного экстракта (КЭ) соответствовали ГОСТ 51953-2002, молочной сыворотки (МС) – ГОСТ 53438.

Биологическую переработку экстракта проводили с использованием штамма гриба *Pleurotusostreatus* 23, полученного из коллекции Института микробиологии им. С.Н. Виноградского. Штамм гриба выделен из ствола спиленного дерева. Культуру хранили в пробирках с сулом-агаром (СА) при температуре 4–5 °С. Рабочую культуру *P. ostreatus* 23 получали пересевом музейного штамма с СА на агаризованный тритикалевый экстракт (АТЭ). Гриб выращивали при температуре 25–28 °С и пересевали, в количестве 6% к массе среды, в колбы емкостью 250 см³ с 50 см³ питательной среды, приготовленной на основе ТЭ. Суспензию выращивали на качалке при скорости перемешивания 150 мин⁻¹ в течение 4–8 суток при pH 6.5. Грибную биомассу отделяли центрифугированием при 3000g в течение 10 мин и лиофильно высушивали. Культурально-морфологические свойства базидиального гриба изучали после выращивания его на СА, АТЭ, АТЭ кукурузным экстрактом и АТЭ с молочной сывороткой. Посевным материалом служил проросший мицелием АТЭ, из которого нарезали диски диаметром 0.3 см. После посева чашки Петри с питательными средами помещали в термостат и при температуре 28 °С выращивали гриб. С целью повышения продуктивности *P. ostreatus* 23 в состав ТЭ добавляли 1% МС или 1% КЭ к массе среды. Влияние ТЭ в качестве питательного субстрата на морфологические особенности колоний в поверхностной культуре изучали на СА, АТЭ и на АТЭ, содержащем КЭ и МС. Результаты опыта анализировали на 8–12-й день культивирования. При анализе результатов учитывали форму, цвет колоний, интенсивность роста, густоту мицелия.

Морфологические особенности и физиологическое состояние мицелия гриба анализировали с помощью микроскопа марки Axioskop 40 FL Zeiss при увеличении x400 цифровой камерой AxioCamMRc.

Массовую долю белка в сырье определяли по Кьельдалю (Nx5,7), в препаратах – по сумме аминокислот. *Аминокислотный состав белков* определяли на хроматографе фирмы «Hitachi» (Япония) в стандартном режиме с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратных буферных растворов с возрастающим значением pH и молярности. Данные обрабатывали в on-line системе «МультиХром 1.52» для Windows 98. Навеску 3–5 мг образца помещали в стеклянную ампулу, добавляли 300 мкл смеси концентрированной HCl и CF₃COOH (2 : 1) с 0.1% 2-меркаптоэтанолом.

Образец замораживали в жидком азоте, вакуумировали и проводили гидролиз при 155 °С в течение 1 ч. Из образцов удаляли гидролизуемую смесь упариванием на роторном испарителе (Centrivar Concentrator Labconco, USA). К остатку добавляли 0.1н HCl и центрифугировали 5 мин при 800g на центрифуге Microfuge 22R (Beckman-Coulter, USA). Углеводный состав ТЭ и грибных препаратов исследовали газовой хроматографией на хроматографе марки ShimadzuGCMS 2010 с масс-спектрометрическим детектором (GCMS-QP 2010). Для этого 1–2 мг образца растворяли в 1 см³ пиридина, после чего к раствору добавляли 100 мкл раствора Supelco. Пробы в течение 1 ч выдерживали при 70 °С и проводили разделение на капиллярной колонке Optima-1 (Macherey-NagelDBR) с гелием в качестве носителя. Идентификацию пиков проводили по библиотеке масс-спектров NIST 11. Дополнительно в качестве стандартов использовали арабинозу, глюкозу, ксилозу, инозитол, раффинозу, мальтозу и другие углеводы. Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата 3–5 повторностей использовали критерий Стьюдента на уровне значимости $p = 0.05$.

Результаты и обсуждение

Установлено, что гриб *P. ostreatus* 23 активно развивался на всех видах питательных средах. Все сформированные колонии имели выраженный грибной аромат, округлую слегка выпуклую форму, волокнистую структуру с выраженными поверхностными кольцами. Мицелий трудно отделялся от субстрата, его густота и плотность зависели от состава среды. Мицелий *P. ostreatus* 23 на СА, имел более редкую и менее плотную структуру, чем на других субстратах, при этом на его поверхности наблюдались радиальные лучи с сероватым оттенком. Воздушный мицелий гриба на АТЭ, АТЭ с кукурузным экстрактом и молочной сывороткой имел более выпуклую форму, густую и плотную структуру молочно-белого цвета (рис. 1).

Интенсивность роста гриба не зависела от состава среды, на 10–12 день во всех вариантах мицелий полностью на ней распространялся. Линейную скорость роста определяли путем измерения диаметра колонии от места посева до конца зоны роста мицелия в течение 10–12 дней. Установлено, что на всех питательных средах полная колонизация мицелием поверхности СА и АТЭ наступала на 11 сутки, на АТЭ с МС на 10 сутки, на АТЭ с КЭ на 12 сутки.

Существенные морфологические изменения мицелия при росте гриба на различных средах не наблюдались. На всех питательных средах мицелий был бесцветный, разветвленный, септированный, на гифах имелись пряжки и сосочковидные образования, толщина гиф составляла 2.0–3.4 мкм (рис. 2).

Далее осуществляли получение препаратов ферментацией *P. ostreatus* 23 в следующей последовательности: термообработка и удаление белковых веществ; коррекция pH; стерилизация, охлаждение; посев; выращивание культуры продуцента на субстрате; термическая обработка грибной суспензии; сушка. Изучение влияния стимуляторов роста при глубинном способе выращивания гриба на его продуктивность показало, что добавление КЭ к ТЭ не оказывало положительного влияния на вес сухой биомассы, тогда как МС повышала продуктивность гриба в 2 раза (рис. 3). Возможно, что КЭ содержал компоненты, угнетающие активность ферментных систем гриба *P. ostreatus* 23. Массовая доля белка в препарате, полученном на ТЭ, повышалась в 2.4 раза, по сравнению с контрольной средой (ТЭ), тогда как в препарате, полученном на ТЭ с сывороткой – в 4.1 раза. Введение в состав ТЭ сыворотки увеличивало данный показатель в 1.68 раза (рис. 4).

Одним из важных показателей биологической ценности белка является сбалансированность аминокислотного состава. Установлено, что качественный состав аминокислот белка ТЭ и грибных препаратов идентичен, в их составе обнаружено 18 аминокислот, среди которых 7 незаменимых (рис. 5). В грибных препаратах, по сравнению с ТЭ, возросло содержание заменимых аминокислот: аспарагиновой и глутаминовой в 1.5–2 раза, серина – в 3.8 раза. Увеличилась массовая доля и всех незаменимых аминокислот (НАК): треонина – в 3.3 раза, метионина – в 3.1 раза, изолейцина – в 2.1 раза, лейцина – в 7 раз, лизина – в 4.2 раза. Препараты, полученные на основе ТЭ и ТЭ с МС, по содержанию аминокислот отличались друг от друга: в препарате на основе ТЭ с МС содержание пролина, орнитина, гистидина, аргинина в 1.9–3.1 раза выше, чем в препарате, полученном на ТЭ, а НАК: валина, изолейцина, лизина – в 3.1–4.8 раза, лейцина, фенилаланина – в 5.5–7.1 раза (рис. 6). В итоге, общая сумма НАК в препарате, полученном на одном ТЭ, по сравнению с исходным экстрактом, возрастала в 3,7 раза, а в препарате на экстракте с сывороткой – в 5.8 раза. Сумма НАК препарата на ТЭ с МС, в 1.6 раза выше, чем сумма аналогичных аминокислот в препарате, полученном с экстрактом без добавок.

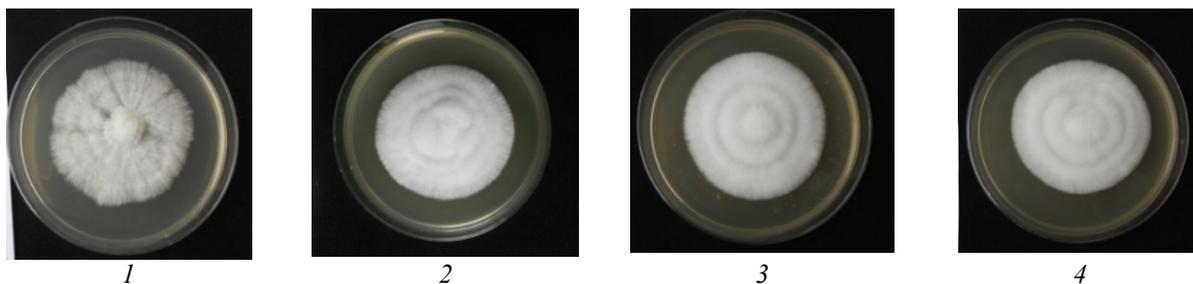


Рис. 1. Колонии гриба *P. ostreatus*23 на питательных средах: 1 – СА; 2 – АТЭ; 3 – АТЭ с кукурузным экстрактом, 4 – АТЭ с молочной сывороткой

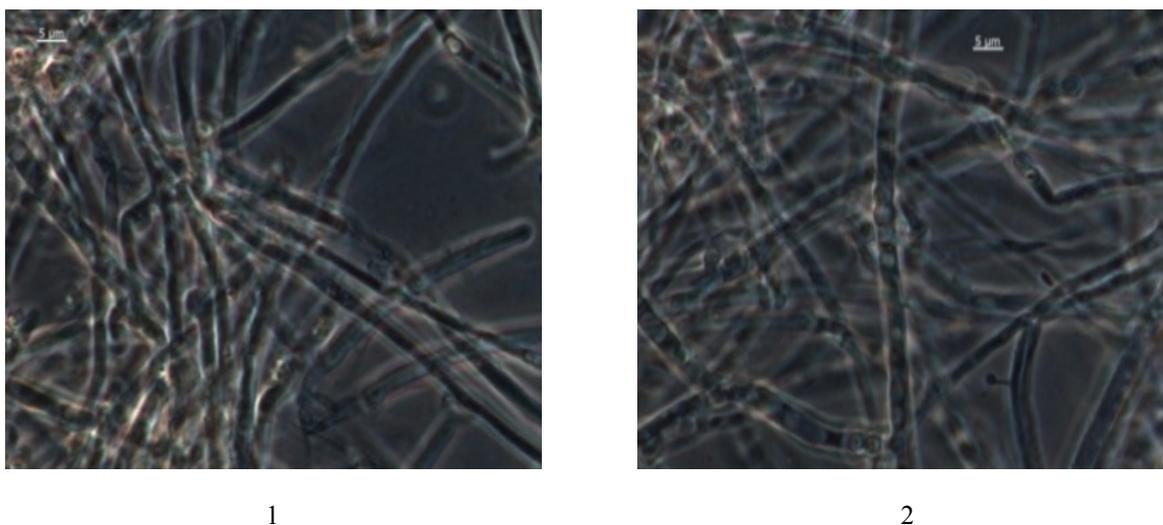


Рис. 2. Мицелий гриба *P. ostreatus* 23, выросший на: 1 – СА; 2 – АТЭ (Увеличение ×400)

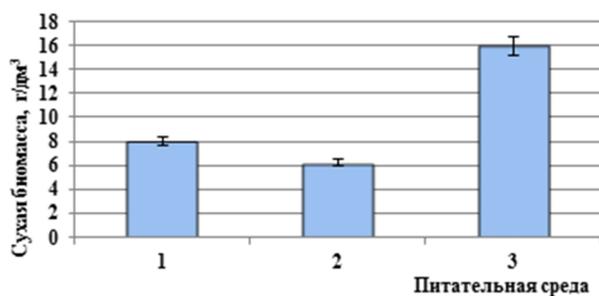


Рис. 3. Количество сухой биомассы гриба *P. ostreatus* 23, выросшей на питательной среде: 1 – ТЭ; 2 – ТЭ+КЭ; 3 – ТЭ+МС



Рис. 4. Массовая доля белка в экстракте и грибных препаратах, г/100 г

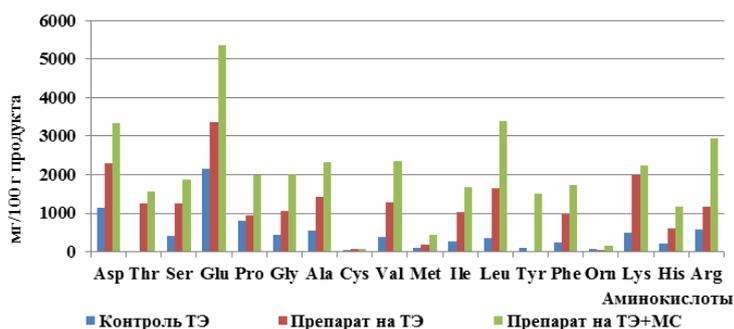


Рис. 5. Аминокислотный состав ТЭ и грибных препаратов

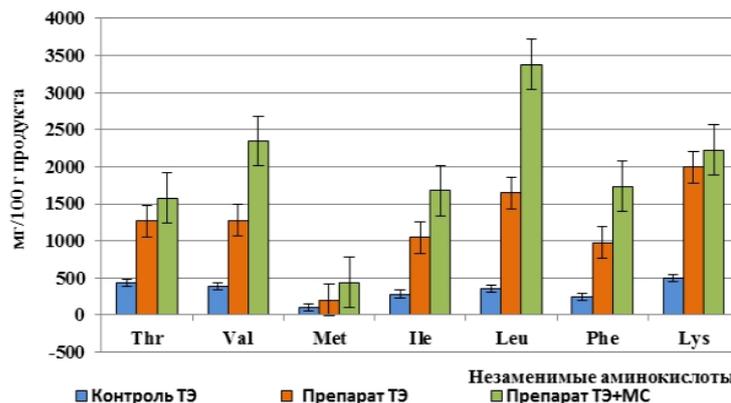


Рис. 6. Состав незаменимых аминокислот в экстракте и грибных препаратах

Спектр углеводного состава грибного препарата с МС шире, чем спектр углеводов питательной среды (рис. 7). В препарате обнаружено 7 углеводов, тогда как в исходном экстракте – 2. В препарате количественно преобладали ксилоза, глюкоза, сорбоза. По сравнению с ТЭ в нем снизилась доля глюкозы и ксилозы, что указывало на усвоение данных углеводов грибом *P. ostreatus* 23. Во время ферментации в течение 8 суток активный рост биомассы сопровождался уменьшением количества основных углеводов субстрата (рис. 8).

Наряду с изменением углеводного состава обнаружены различия и в количестве минорных соединений, таких как кето-глюконовой кислоты, инозитола и сквалена между ТЭ и препаратом (рис. 9).

Количество кето-глюконовой кислоты и инозита, по сравнению с исходным ТЭ, в препарате, хотя и незначительно, но возрастало, а сквален в нем вообще отсутствовал, что указывало на усвоение грибом данного соединения в процессе роста. Все препараты имели вид рассыпчатого порошка светло-кремового цвета, без постороннего запаха и вкуса (рис. 10, табл.).

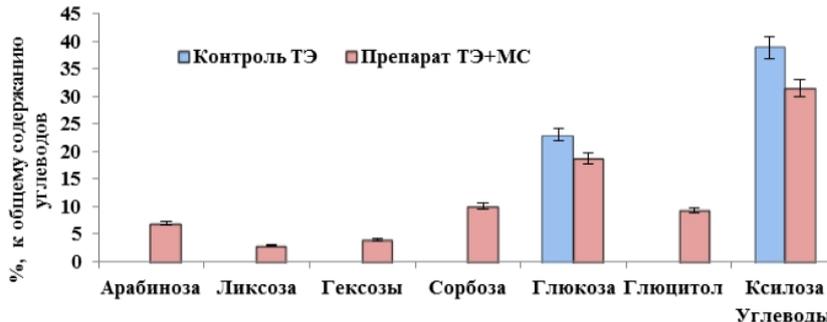


Рис. 7. Содержание углеводов в тритикалевом экстракте и грибном препарате

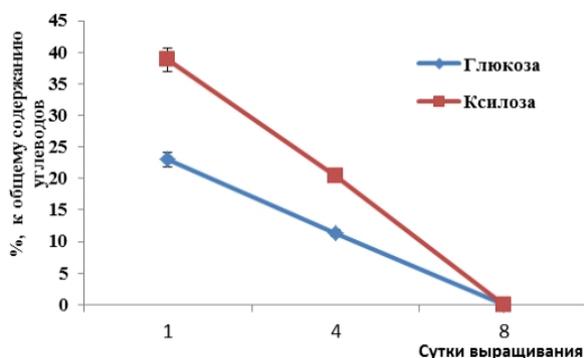


Рис. 8. Динамика изменения содержания углеводов в процессе биоконверсии экстракта

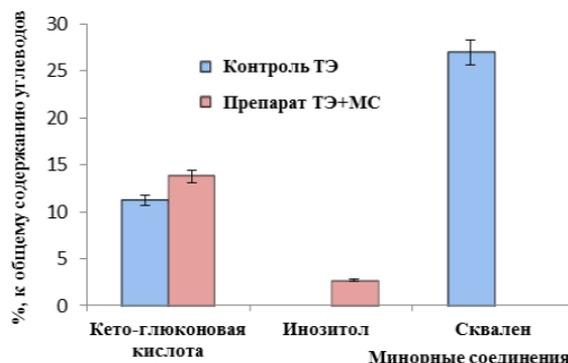


Рис. 9. Содержание минорных соединений в тритикалевом экстракте и грибном препарате



1

2

3

Рис. 10. Препараты, полученные на: 1 – ТЭ; 2 – ТЭ + КЭ; 3 – ТЭ +МС. Увеличение $\times 400$

Характеристика грибных препаратов

Показатели	ТЭ	ТЭ с КЭ	ТЭ с МС
Химические показатели			
Массовая доля СВ, %		92.0 \pm 0.5	
Белок, г/100 г	8.8 \pm 0.4	21.4 \pm 0.7	36.1 \pm 0.6
Сумма НАК, мг/100 г	8404.3 \pm 1.3	2290.7 \pm 2.1	13384.4 \pm 1.8
Микробиологические показатели			
Живые клетки продуцента		Отсутствовали	
Общая бактериальная обсемененность, тыс. клеток в 1 г	800 \pm 2.0	0	0

Съедобные грибы рода *Pleurotus* производят в промышленных масштабах, как для пищевых целей, так и для биоконверсии сельскохозяйственных и промышленных отходов и получения кормовых продуктов [14–16]. Так, при включении данного вида гриба в процесс переработки рисовой соломы и лимонного жома улучшалась кормовая ценность и усвояемость сырья [17], на других видах растительного сырья получали белковые кормовые продукты со сбалансированным аминокислотным составом [18]. Базилиальные грибы использовали для очистки сточных вод от производства сахара, оливкового масла, загрязненных почв, переработки техногенных отходов и т.д. [19]. Так как сегодня практически отсутствуют исследования, посвященные глубинному культивированию базидиомицетов на вторичных продуктах глубокой переработки зерна, то важным было оценить возможность введения в процесс синтеза биомассы базидиомицетов тритикалевого экстракта, образующегося при производстве крахмала и практически не используемого. Для синтеза грибной биомассы важным является подбор питательного субстрата, доступность, его количество и состав. ТЭ соответствовал указанным требованиям, он содержал простые углеводы, белки, аминокислоты и др., а подготовка его к процессу ферментации отличалась простотой исполнения и невысокими материальными затратами. Съедобный нетоксичный гриб *P. ostreatus* 23, использованный нами для микробной трансформации ТЭ, среди промышленно культивируемых грибов занимает второе место после *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach [20]. Плодовые тела базидиомицетов можно получать поверхностным способом, однако глубинное культивирование имеет ряд преимуществ, так как исключает контаминацию мицелия и плодовых тел посторонней микрофлорой, позволяя производить экологически чистый продукт. Исключение стадии получения плодовых тел гриба *P. ostreatus* способствовало упрощению технологии грибной биомассы, сокращению процесса культивирования и увеличению ее выхода при массовой доле растворимого белка 26–27% [21]. Преимущества использования данного метода доказано и другими авторами [22, 23]. Применение овсяного гидролизата, экстракта алоэ усиливало рост мицелия и повышало выход биомассы гриба до 3.548 г/100 см³, а послеспиртовой барды при совместном выращивании на ней базидиальных грибов и молочнокислых бактерий – до 6–7 г/дм³ за 8 суток. При этом кормовой препарат не подвергался микробиологической порче 7–10 суток [24]. Преимущество культивирования гриба *P. ostreatus* 23 глубинным способом доказано и при использовании 10% кукурузной муки с достижением содержания белка в биомассе 29.76% [25]. Наши результаты также показали возможность глубинного культивирования гриба *P. ostreatus* 23 с использованием, вторичного продукта переработки зерна тритикале на крахмал при достаточно высоком выходе биомассы. Установлена высокая адаптационная способность гриба к условиям, так как во время ферментации гриб активно развивался и полностью усваивал основные компоненты субстрата. Максимальную продуктивность гриба при этом обнару-

жили с МС, которая дополнительно обогащала среду витаминами, аминокислотами и минеральными веществами [26] и активировала процессы биосинтеза.

Препараты, полученные биоконверсией ТЭ, богаты аспарагиновой, глутаминовой кислотами, играющими важную роль в обмене азотистых веществ, и аргинином, условно незаменимой аминокислотой, которая не синтезируется у детей. В препарате, по сравнению с исходным экстрактом, содержалось повышенное количество незаменимых аминокислот: валина, лизина, лейцина, активно участвующих в обмене веществ в организме. Анализ углеводного состава препарата биомассы гриба *P. ostreatus* 23 выявил присутствие в нем арабинозы, глюкозы, гексозы, сорбозы, ксилозы, что не противоречит литературным данным, свидетельствующим о том, что данные виды моносахаридов являются структурными фрагментами водорастворимых и нерастворимых гетерогликанов с различным соотношением указанных видов сахаров в базидиомицетах, выращенных глубинным культивированием [27, 28]. Интересным фактом является и то, что в процессе культивирования гриба практически полностью усваивался сквален из питательной среды на основе ТЭ. Возможно, что данное биологически активное соединение расходуется на синтез холестерина или в качестве долихола на биосинтез полисахаридов или пептидогликанов гриба [29, 30], на что могут указать только дальнейшие исследования.

Заключение

Установлена возможность биотрансформации зернового экстракта, образующегося при переработке зерна тритикале на крахмал с базидиальным грибом *P. ostreatus* 23. После предварительного удаления белковых веществ, ТЭ в силу особенностей своего химического состава, обеспечивал рост мицелия гриба с образованием биомассы, которая после сушки приобретала вид рассыпчатого порошка светло-кремового цвета. В процессе роста гриба в течение 8 суток гриб усваивал ксилозу, глюкозу и сквален и синтезировал арабинозу, другие виды гексоз, сорбозу, ликсозу и белки с более высокой биологической ценностью, чем исходный ТЭ. Установлено положительное влияние молочной сыворотки в составе питательной среды на органолептические, микробиологические свойства, массовую долю белка, сумму незаменимых кислот, содержание дефицитных для зерновых культур лизина, треонина, лейцина и изолейцина. ТЭ экстракт можно рассматривать как доброкачественный сырьевой ресурс для микробного синтеза препарата с использованием гриба *Pleurotostreatus* 23. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение безопасности препарата, его функционально-технологических свойств и возможность использования в производстве пищевых добавок и кормов. Разработанный прием биотрансформации ТЭ позволит решать задачу организации экологически безопасного крахмалопаточного производства за счет снижения жидких отходов пищевого производства, уменьшения количества воды, используемой для приготовления питательных сред и расширение ассортимента биологически ценных продуктов.

Список литературы

1. Locey R.J., Lennon J.T. Scaling laws predict global microbial diversity // PNAS. 2016. Vol. 113. N21. Pp. 5970–5975. DOI: 10.1073/pnas.1521291113.
2. Серба Е.М., Оверченко М.Б., Давыдкина В.Е., Шелехова Н.В., Римарева Л.В., Поляков В.А. Научно-практические аспекты получения БАД на основе конверсии вторичных биоресурсов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. №2. С. 44–50.
3. Серба Е.М., Поляков В.А., Римарева Л.В. Курбатова Е.И., Юскина О.В., Погоржельская Н.С. Биотехнологические методы получения пищевых добавок на основе биоконверсии микробной биомассы // Вопросы питания. 2016. Т. 85. №2. С. 149.
4. Барштейн В.Ю. Биоконверсия отходов агропромышленного комплекса. Новосибирск, 2016. 88 с.
5. Petre M., Teodorescu A. Biotechnology of agricultural wastes recycling through controlled cultivation of mushrooms // Advances in Applied Biotechnology. 2012. 22 p. DOI: 10.5772/1096.
6. Андреев Н.Р. Основы производства нативных крахмалов. М., 2001. 289 с.
7. Cohen R., Persky L., Nadar Y. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus* // Applied Microbiology and Biotechnology. 2002. Vol. 58. N5. Pp. 582–594. DOI: 10.1007/s00253-002-0930-y.
8. Белова Н.В., Денисова Н.П. Грибы белой гнили древесины и возможность их использования для утилизации отходов // Биотехнология. 2005. №4. С. 55–58.
9. Щерба В.В., Паромчик И.И. Грибы рода *Вешенка* – ингредиенты новых физиологически функциональных пищевых продуктов // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2007. Т. 1. С. 292–298.

10. Iwalokun B.A., Usen U.A., Otunba A.A., Olukoya D.K. Comparative phytochemical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* // African Journal of Biotechnology. 2007. Vol. 6. N15. Pp. 1732–1739.
11. Okafor D.C., Onuegbu N.C., Odimegwu N.E., Ibeabuchi J.C., Njoku N.E., Agunwa I.M., Ofoedu C.E., Njoku C.C. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Oyster Mushroom // American Journal of Food Science and Technology. 2017. Vol. 5. N2. Pp. 64–69. DOI: 10.12691/ajfst-5-2-6.
12. Jesenak M., Majtan J., Rennerova Z., Kyselovic J., Banovcin P., Hrubisko M. Immunomodulatory effect of pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) in children with recurrent respiratory tract infections // International Immunopharmacology. 2013. Vol. 15. N2. Pp. 395–399. DOI: 10.1016/j.intimp.2012.11.020.
13. Thomas P.A., Geraldine P. In-vitro antioxidant activities of an ethanolic extract of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2009. Vol. 10. N2. Pp. 228–234. DOI: 10.1016/j.ifs.2008.07.002.
14. Yongxu S. Liu J. Purification, structure and immunobiological activity of a water-soluble polysaccharide from the fruiting body of *Pleurotus ostreatus* // Bioresource Technology. 2009. Vol. 100. N2. Pp. 983–986. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.06.036.
15. Минаков Д.В., Севодина К.В., Шадринцова А.И., Севодин В.П. Сравнительная оценка аминокислотного и белкового составов мицелия и плодовых тел некоторых базидиомицетов // Известия вузов. Прикладная биохимия и биотехнология. 2016. Т. 6. №3. Pp. 50–56. DOI: 10.21285/2227-2925-2016-6-3-50-56.
16. Андреев Н.Р., Колпакова В.В., Кравченко И.К., Уланова Р.В., Шевякова Л.В., Макаренко М.А., Лукин Н.Д. Утилизация вторичных продуктов переработки тритикале с получением кормового микробно-растительного концентрата для прудовых рыб // Юг России: экология. Развитие. 2017. №4. С. 90–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-4-90-104.
17. Alborés S., Pianzola M. J., Soubes M., Cerdeiras M. P. Biodegradation of agroindustrial wastes by *Pleurotus spp* for its use as ruminant feed Electronic Journal of Biotechnology // Electron. J. Biotechnol. 2006. Vol. 9. N3. Pp. 215–220. DOI: 10.2225/vol9-issue3-fulltext-2.
18. Мельникова Е.А., Миронов П.В., Литовка Ю.А. Морфологические особенности базидиального гриба *Pleurotus pulmonarius* в поверхностной и глубоинной культуре // Вестник Красноярского ГАУ. 2013. №7. С. 170–175.
19. Куликова Н.А., Кляйн О.И., Степанова Е.В., Королева О.В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47, вып. 6. С. 619–634.
20. Sánchez C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms // Applied Microbiology and Biotechnology. 2010. Vol. 85. N5. Pp. 1321–1337. DOI: 10.1007/s00253-009-2343-7.
21. Уфимцева О.Ф., Миронов П.В. Получение биомассы мицелия грибов вешенки обыкновенной Р 05/88 *Pleurotus ostreatus* и серно-желтого трутовика LS 1-06 *Laetiporus sulphureus* в глубоинных условиях // Хвойные бореальной зоны. 2009. Т. 26. №2. С. 294–296.
22. Середа Ю.Ю., Лебедева О.Н., Ляпустика Е.В., Зубарева И.М. Влияние состава питательных сред на рост глубоинной культуры *Pleurotus ostreatus* // Хімія та сучасні технології: тези доповідей V міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпропетровськ, 2011. С. 502.
23. Качмазов Г.С., Сатцаева И.К., Батырова М.Т., Погосова А.С., Хадаева С.Г., Цопанова З.М. Изучение интенсивности роста чистой культуры гриба вешенка // Пищевая промышленность. 2001. №6. С. 56.
24. Фадеева И.В., Атыкян Н.А., Ревин В.В. Отработка условий биоконверсии отходов спиртовой промышленности с помощью молочнокислых бактерий и базидиальных грибов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2006. №1. С. 113–119.
25. Mumpuni A., Ekowati N., Purnomowati, Purwati E.S. Growth and Protein Content Establishment of *Pleurotus ostreatus* on Liquid and Solid Medium // Biosaintifika. 2017. Vol. 9. N3. Pp. 572–578. DOI 10.15294/biosaintifika.v9i3.11660.
26. Тихомирова Н.А. Технология продуктов функционального питания. М., 2002. 213 с.
27. Кожемякина Н.В., Гурина С.В., Ананьева Е.П. Условия культивирования, состав и биологическая активность мицелия *Flammulina velutipes* (Fr.). P. Karst // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. №5. С. 583–586.
28. Чхенкели В.А., Огарков Б.Н., Чхенкеди Г.Д. Состав и биологическая активность внеклеточных полисахаридов ксилотрофных базидиомицетов // Сибирский медицинский журнал. 2006. №8. С. 70–72.
29. Страйер Л. Биохимия. М., 1985. Т. 2. 400 с.
30. Мецлер Д. Биохимия. М., 1980. Т. 2. 609 с.

Поступила в редакцию 12 апреля 2018 г.

После переработки 12 мая 2018 г.

Принята к публикации 21 июня 2018 г.

Для цитирования: Лукин Н.Д., Уланова Р.В., Кравченко И.К., Колпакова В.В., Гольдштейн В.Г. Биоконверсия вторичных продуктов переработки зерна тритикале на крахмал с использованием гриба *Pleurotus ostreatus* 23 // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 225–234. DOI: 10.14258/jcrpm.2018043993.

Lukin N.D.¹, Ulanova R.V.², Kravchenko I.K.², Kolpakova V.V.¹, Goldstein V.G.¹ BIOCONVERSION OF SECONDARY PRODUCTS OF GRAIN PROCESSING OF TRITICALE ON STARCH USING THE *PLEUROTUS OSTREATUS* MUSHROOM

¹All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products - a branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Nekrasova Street, 11, Kraskovo, Luberetskiy district, Moscow region, 140051 (Russia), e-mail: vniik@arrisp.ru

²Institute of Microbiology. S.N. Vinogradsky, Federal Research Center "Fundamental Foundations of Biotechnology", of Russian Academy of Sciences, Leninsky Prospect, 33, building 2, Moscow, 119071 (Russia), e-mail: colodovnicova@rambler.ru

The aim of the research was to study the possibility of obtaining a mushroom preparation based on an extract formed during the production of starch from triticale grain by bioconversion with the fungus *Pleurotus ostreatus* 23. Technological parameters and conditions of the nutrient medium for the bioconversion process were developed, ensuring the growth of mycelium with the formation of biomass in the form of light powder cream colored. In the process of growth, the fungus assimilated xylose, glucose, squalene, synthesized arabinose, sorbose, lyxose, and proteins with a higher biological value than the original extract. The positive effect of whey in the medium on the properties of the drug, the mass fraction of protein, the amount of essential acids, the content of lysine, threonine, leucine, isoleucine. Triticale extract is a benign raw material source for the synthesis of microbial biomass. Further studies are directed to the study of safety, functional properties and the possibility of using the drug in the production of food additives and feed. Biotransformation of triticale extract allows you to solve the problem of organizing environmentally safe starch production by reducing liquid waste products, reducing the amount of water used to prepare nutrient media and expanding the range of biologically valuable food or feed products.

Keywords: triticale extract, bioconversion, basidiomycetes, mushroom preparation, carbohydrate composition, amino acid composition.

References

- Locey R.J., Lennon J.T. *PNAS*, 2016, vol. 113, no. 21, pp. 5970–5975, DOI: 10.1073/pnas.1521291113.
- Cerba E.M., Overchenko M.B., Davydкина V.Ye., Shelekhova N.V., Rimareva L.V., Polyakov V.A. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*, 2015, no. 2, pp. 44–50. (in Russ.).
- Cerba E.M., Polyakov V.A., Rimareva L.V., Kurbatova Ye.I., Yuskina O.V., Pogorzhel'skaya N.S. *Voprosy pitaniya*, 2016, vol. 85, no. 2, p. 149. (in Russ.).
- Barshteyn V.Yu. *Biokonversiya otkhodov agropromyshlennogo kompleksa*. [Bioconversion waste of agro-industrial complex]. Novosibirsk, 2016, 88 p. (in Russ.).
- Petre M., Teodorescu A. *Advances in Applied Biotechnology*, 2012, 22 p. DOI: 10.5772/1096.
- Андреев Н.Р. Основы производства нативных крахмалов. М., 2001. 289 с. (in Russ.).
- Cohen R., Persky L., Hadar Y. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2002, vol. 58, no. 5, pp. 582–594, DOI: 10.1007/s00253-002-0930-y.
- Belova N.V., Denisova N.P. *Biotehnologiya*, 2005, no. 4, pp. 55–58. (in Russ.).
- Shcherba V.V., Paromchik I.I. *Mikrobynye biotehnologii: fundamental'nyye i prikladnyye aspekty*, 2007. vol. 1, pp. 292–298. (in Russ.).
- Iwalokun B.A., Usen U.A., Otunba A.A., Olukoya D.K. *African Journal of Biotechnology*, 2007, vol. 6, no. 15, pp. 1732–1739.
- Okafor D.C., Onuegbu N.C., Odimegwu N.E., Ibeabuchi J.C., Njoku N.E., Agunwa I.M., Ofoedu C.E., Njoku C.C. *American Journal of Food Science and Technology*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 64–69. DOI: 10.12691/ajfst-5-2-6
- Jesenak M., Majtan J., Rennerova Z., Kyselovic J., Banovcin P., Hrubisko M. *International Immunopharmacology*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 395–399. DOI:10.1016/j.intimp.2012.11.020.
- Thomas P.A., Geraldine P. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, vol. 10, no. 2, pp. 228–234. DOI: 10.1016/j.ifset.2008.07.002.
- Yongxu S. Liu J. *Bioresource Technology*, 2009, vol. 100, no. 2, pp. 983–986. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.06.036
- Minakov D.V., Sevodina K.V., Shadrintsova A.I., Sevodin V.P. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya biokhimiya i biotehnologiya*, 2016, vol. 6, no. 3, pp. 50–56. DOI:10.21285/2227-2925-2016-6-3-50-56 (in Russ.).
- Andreyev N.R., Kolpakova V.V., Kravchenko I.K., Ulanova R.V., Shevyakova L.V., Makarenko M.A., Lukin N.D. *Yug Rossii: ekologiya. Razvitiye*, 2017, no. 4, pp. 90–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-4-90-104 (in Russ.).
- Alborés S., Pianzola M.J., Soubes M., Cerdeiras M.P. *Electron. J. Biotechnol.*, 2006, vol. 9, no. 3, pp. 215–220. DOI: 10.2225/vol9-issue3-fulltext-2.
- Mel'nikova Ye.A., Mironov P.V., Litovka Yu.A. *Vestnik Krasnoyarskogo GAU*, 2013, no. 7, pp. 170–175. (in Russ.).
- Kulikova N.A., Klyayn O.I., Stepanova Ye.V., Koroleva O.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 619–634. (in Russ.).
- Sánchez C. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2010, vol. 85, no. 5, pp. 1321–1337. DOI: 10.1007/s00253-009-2343-7.
- Ufimtseva O.F., Mironov P.V. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2009, vol. 26, no. 2, pp. 294–296. (in Russ.).
- Sereda Yu.Yu., Lebedeva O.N., Lyapustyka E.V., Zubareva Y.M. *Khimiya ta suchasni tekhnolohiyi: tezysy dopovidey V mizhnarodnoyi naukovu-tekhnichnoyi konferentsiyi studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh*. [Chemistry and modern technologies: abstracts of the Vth international scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists.] Dnipropetrovs'k, 2011, p. 502. (in Russ.).

23. Kachmazov G.S., Sattsayeva I.K., Batyrova M.T., Pogosova A.S., Khadayeva S.G., Tsopanov Z.M. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2001, no. 6, p. 56. (in Russ.).
24. Fadeyeva I.V., Atykyan N.A., Revin V.V. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2006, no. 1, pp. 113–119. (in Russ.).
25. Mumpuni A., Ekowati N., Purnomowati, Purwati E.S. *Biosaintifika*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 572–578. DOI: 10.15294/biosaintifika.v9i3.11660.
26. Tikhomirova N.A. *Tekhnologiya produktov funktsional'nogo pitaniya*. [Technology products functional nutrition]. Moscow, 2002, 213 p. (in Russ.).
27. Kozhemyakina N.V., Gurina S.V., Anan'yeva Ye.P. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2010, vol. 46, no. 5, pp. 583–586. (in Russ.).
28. Chkhenkeli V.A., Ogarkov B.N., Chkhenkedi G.D. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2006, no. 8, pp. 70–72. (in Russ.).
29. Strayyer L. *Biokhimiya*. [Biochemistry]. Moscow, 1985, vol. 2, 400 p. (in Russ.).
30. Metsler D. *Biokhimiya*. [Biochemistry]. Moscow, 1980, vol. 2, 609 p. (in Russ.).

Received April 12, 2018

Revised May 12, 2018

Accepted June 21, 2018

For citing: Lukin N.D., Ulanova R.V., Kravchenko I.K., Kolpakova V.V., Goldstein V.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 225–234. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018043993.