

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 664.64:635.89:60.44

Исследовательская статья

**Особенности созревания теста и формирования качества хлеба
с биомассой мицелия *Armillaria mellea*****Минаков Денис Викторович, к. б. н.**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»,
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>, minakovd-1990@yandex.ru

Козубаева Людмила Алексеевна, к. т. н.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>, cosubaeva@mail.ru

Кузьмина Светлана Сергеевна, к. т. н.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0302-867x>, svetlana.politeh@mail.ru

Егорова Елена Юрьевна, д. т. н.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>, egorovaeYu@mail.ru

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Е.Ю. Егоровой, адрес: 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, кафедра ТХПЗ. Электронная почта: egorovaeYu@mail.ru.

Критерий авторства

Исследование было задумано, реализовано, проанализировано и описано авторами коллективно. Рукопись вычитана и принята в представленной версии всеми авторами.

Author Contributions: The study was conceived, implemented, analyzed and described by the authors collectively. All authors read and accepted the final manuscript.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта No 19-48-220008.

В последние годы пищевое использование грибов воспринимается в новом контексте: грибы рассматриваются как дополнительный источник минеральных веществ, витаминов, специфических ферментов и ряда других биологически активных веществ. Некоторые виды грибов могут быть использованы в качестве возобновляемого резерва пищевого белка, в том числе при производстве хлебобулочных изделий. Опенок осенний (*Armillaria mellea*) отличается от многих других видов грибов более высоким содержанием белкового азота. Повышенное накопление белка характерно не только для клеток плодового тела, но и для клеток мицелия *A. mellea*, что и определило цель исследования – анализ влияния биомассы мицелия *A. mellea* на биохимические процессы созревания теста и качество хлеба, для чего авторами применялись стандартные и отраслевые методы контроля сырья и полуфабрикатов хлебопекарного производства, стандартные методы микробиологического анализа. В работе использована агаризованная биомасса мицелия опенка осеннего штамма *Armillaria mellea D-13*, которую вводили в тесто на стадии замеса после её измельчения до однородного пастообразного состояния. Тесто готовили из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта, агаризованную биомассу мицелия вводили в тесто из расчёта 2,5-10,0 % к массе муки. По результатам исследований обоснованы пределы дозировки агаризованной биомассы мицелия – 7,5–10,0 %. Хлеб с такой дозировкой сохраняет стандартное качество и не приобретает характерных привкуса и запаха грибов. При подовом способе выпечки с увеличением дозировки агаризованной биомассы мицелия индекс формоустойчивости изделий снижается с 0,6 до 0,4, при формовом способе выпечки эти нежелательные эффекты не выражены.

Ключевые слова: грибы, мицелий, биомасса, пищевой белок, тесто, дрожжевое брожение

Особенности созревания теста и формирования качества хлеба с биомассой мицелия *Armillaria mellea*

Введение

Проблема дефицита пищевого белка

Полноценное развитие человека, нормальное функционирование всех жизнеобеспечивающих систем его организма напрямую зависят от полноценности и сбалансированности рациона, прежде всего от наличия в нем достаточного количества легкоусвояемого и полноценного белка. Однако исследования последних лет свидетельствуют о стабильном и выраженном дефиците белка в современном питании. По данным Института питания РАМН, дефицит пищевого белка в рационе россиян превышает 1 млн. тонн в год (Нутрициология, 2017). Прогнозируемый к 2025 г. мировой дефицит пищевого белка оценён в 18-20 млн. тонн (OECD-FAO, 2017), а к 2050 году дефицит пищевого белка могут ощутить более 150 млн. человек по всему миру (Sheridan, 2017). Все это подтверждает безусловную необходимость привлечения новых биовозобновляемых ресурсов для компенсации сложившегося дефицита белка.

Грибной мицелий как потенциальный резерв пищевого белка

До недавних пор в научной литературе, в основном, давалась оценка перспективам использования грибов в качестве дополнительных источников специфических азотсодержащих пищевых волокон (Cheung, 2013; Nile, 2014; Zhang, 2015; Friedman, 2016; Süfer, 2016). Однако сегодня для разных видов грибов в качестве активных компонентов рассматривается значительно более широкий перечень веществ: поли- и олигосахариды, тетратерпеноиды, биоактивные пептиды и лектины, стерины, статины-ингибиторы ГМГ-КоА, полифенолы, ферменты и даже минеральные элементы (Bovi, 2013; Simon, 2013; Rana, 2016; Waktola, 2018; González, 2020; Zhou, 2020; Manan, 2021). В частности, из плодовых тел и мицелиальной биомассы *A. mellea* к настоящему времени выделены биологически активные сфинголипиды, пептиды, стерины, специфические сесквитерпеноиды, полифенольные и индольные соединения, проявляющие подтвержденную в лабораторных исследованиях антибактериальную, антиоксидантную, противоопухолевую и противовоспалительную активность (Zavastin, 2015; Kostić, 2017; Łopusiewicz, 2018; Ho, 2020; Erbiai, 2021).

На фоне сказанного необходимо уточнить, что данные по перечисленным видам активности грибов, и в том числе грибов *A. mellea*, подтверждены для экстрактов и других форм субстанций, извлеченных из свежих, замороженных либо высушенных в щадящих условиях плодовых тел и мицелиальной биомассы. В то время как потребление в пищу большинства видов культивируемых и дикорастущих грибов традиционно осуществляется в форме продуктов, подвергавшихся термической обработке (Salehi, 2019).

Интерес к высшим грибам, как продуцентам пищевого белка, обусловлен хорошей сбалансированностью и лучшей усвояемостью грибного белка по сравнению с другими быстроразвивающимися биологическими системами (Ugbogu, 2016; Nagy, 2017; Girma, 2018; Harris, 2019; González, 2020). Как было отмечено ранее, базидиальные грибы рода *Armillaria*, в том числе опенок осенний (*A. mellea*) также могут рассматриваться в качестве потенциального, легко возобновляемого резерва пищевого белка (Colak, 2009). Таким потенциалом характеризуются не только плодовые тела *A. mellea*. Выращенная в

искусственных условиях чистая биомасса мицелия *A. mellea* содержит свыше 20 % белковых веществ (Вишневецкий, 2014; Минаков, 2016) и соответствует требованиям к сырью продовольственного назначения по микробиологическим и гигиеническим показателям, в связи с чем может быть использована для повышения пищевой ценности низкобелковых продуктов питания, включая хлебобулочные изделия массового производства.

Учитывая, что белок многих съедобных грибов характеризуется повышенным содержанием лизина (Bakır, 2018; Ukwuru, 2018), и при этом в составе белка *A. mellea* отмечено пониженное содержание только серосодержащих аминокислот (Минаков, 2016), комбинирование грибного белка с белками злаковых культур (на примере пшеничной муки), в которых лимитирующей аминокислотой является лизин (Schwab, 2022), должно работать на повышение утилитарности суммарного белка хлебобулочных изделий.

Перспективы использования биомассы грибного мицелия в биотехнологии хлеба

Брожение теста – один из важнейших биотехнологических этапов хлебопекарного производства. Под влиянием ферментов муки и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* формируется основа пищевой ценности готовой продукции – биохимический состав компонентов теста.

Введение в тесто агаризованной биомассы мицелия, содержащей простые углеводы, свободные аминокислоты и ряд других пищевых компонентов, используемых, в том числе, в качестве факторов роста и активаторов дрожжевого брожения (свободные аминокислоты, некоторые органические кислоты, витамины группы В и β-глюканы (Пермякова, 2016; Ghosh, 2016)) позволяет рассматривать её в качестве дополнительного субстрата для хлебопекарных дрожжей. Вместе с тем, введение в тесто нового сырья с известным биохимическим составом, но малоизученными технологическими свойствами, способно вызвать неуправляемое изменение направления и скорости процессов брожения и созревания теста, поскольку отдельными исследованиями показана возможность подавления роста и развития некоторых видов микроорганизмов компонентами, входящими в состав *A. mellea* (Kostić, 2017). Такие аспекты применения биомассы мицелия съедобных грибов в биотехнологии хлебопекарного производства к настоящему времени ещё не изучены. Все выше сказанное диктует необходимость исследования общих закономерностей влияния биомассы мицелия *A. mellea* на ход биохимических процессов созревания теста и качество получаемого из этого теста хлеба, что и обусловило структуру исследований.

Отмеченные перспективы использования продуктов переработки гриба *A. mellea* в производстве продуктов питания и природная способность клеток этого гриба к накоплению белковых веществ определили цель представленного исследования – изучение влияния биомассы мицелия *A. mellea* на биохимические процессы созревания теста и качество хлеба.

В соответствие с поставленной целью, в ходе исследования решались следующие задачи:

- выбор методов исследований, в наиболее полной степени отражающих влияние биомассы мицелия *A. mellea* на биохимию брожения теста;
- анализ влияния биомассы мицелия *A. mellea* на биохимические процессы созревания теста и качество хлеба в условиях эксперимента;

- обоснование рекомендуемой дозировки агаризованной биомассы мицелия для хлебопекарного производства.

На первом этапе выбраны методы исследований, в наиболее полной степени отражающие влияние биомассы мицелия *A. mellea* на биохимию брожения теста. Далее обоснованы пределы дозировки агаризованной биомассы мицелия, вводимой в состав теста. В эксперименте проведены биохимические исследования процесса брожения теста с добавлением агаризованной биомассы мицелия, выпечен хлеб. На завершающем этапе статистически обработаны и проанализированы полученные данные.

Материалы и методы исследований

В качестве объектов исследования использована агаризованная биомасса мицелия (АБМ) опенка осеннего штамма *A. mellea D-13*. Выбор ботанического вида гриба обусловлен повышенной способностью к синтезу и накоплению белка его плодовыми телами (Вишневский, 2014).

Для культивирования биомассы грибов *A. mellea* используют натуральные, синтетические и полусинтетические питательные среды. Классической средой для поверхностного культивирования большинства сапротрофных видов грибов является пивное сусло (4° по Баллингу) с добавлением агара – сусло-агар (Билай, 1982). В этой связи биомассу мицелия получали методом поверхностного культивирования на сусло-агаровой среде в стеклососудах объемом 1 дм³, оснащенных фильтром «Агроспан-60» и стеклянной крышкой в форме невысокого плоского цилиндра.

Чистую культуру и биомассу мицелия хранили на сусло-агаре при температуре 4±1 °С не более 48 ч.

АБМ получали измельчением выращенного мицелия с помощью блендера до однородного пастообразного состояния. Питательную среду (сусло-агар) перед измельчением от мицелия не отделяли.

Расчет дозировки АБМ производили стандартным для хлебопекарной отрасли способом, в отношении к 100 кг муки, в количестве 2,5-10,0 % (шаг варьирования 2,5 %). Тесто замешивали из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта, влажностью 44,5 %. Поскольку интерес представляли изменения хода брожения теста при внесении в него АБМ, варианты эксперимента предусматривали так называемый «контрольный опыт» – тесто, приготовленное по унифицированной производственной рецептуре, без внесения в тесто АБМ.

Влияние АБМ на бродильную активность дрожжей оценивали косвенными методами, по изменению кислотности (по ГОСТ ISO 750–2013, методом потенциометрического титрования) и подъемной силы теста (по ГОСТ Р 54731–2011).

Выпечку хлеба проводили в лабораторных условиях, в хлебопекарной печи при температуре 180 °С, формовой хлеб выпекали в течение 30-35 минут. подовый – 20 минут.

Органолептические и физико-химические показатели качества выпеченного хлеба определяли с применением стандартных и отраслевых методов лабораторного анализа:

- внешний вид, форму, цвет, вкус и запах хлеба – с применением стандартных приемов организации и проведения дегустационной оценки;

- удельный объём – путём деления величины объёма хлеба (в см³) на его массу (в г);
- влажность определяли гравиметрическим методом, путём высушивания точной навески мякиша хлеба при температуре 130±1 °С в течение 40 минут;
- кислотность мякиша определяли титриметрическим методом;
- пористость мякиша рассчитывали как отношение объёма трех стандартных отрезков мякиша (объемом по 27 см³ каждый) к их массе, с учетом коэффициента плотности беспористой массы мякиша пшеничного хлеба первого сорта;
- формоустойчивость (для изделий, выпеченных подовым способом) рассчитывали как величину отношения высоты (H) подового хлеба к его диаметру (D).

Все исследования осуществлялись в 3-кратной повторности.

Результаты исследований

В хлебопекарном производстве ход процессов дрожжевого брожения достаточно полно характеризует изменение значений показателей, отражающих накопление продуктов биохимических превращений углеводов теста – суммы кислореагирующих веществ (в том числе молочной кислоты, накопленной при параллельно протекающем молочнокислом брожении) и синтезированного дрожжами *S. cerevisiae* углекислого газа. В лабораторной практике эти показатели исследуют с помощью стандартизированных методик: путем определения титруемой кислотности теста индикаторным или потенциометрическим методом и определения подъемной силы теста.

Данные, отражающие динамику изменения кислотности и подъемной силы теста в зависимости от дозировки АБМ, приведены в Таблице 1.

Согласно результатам этого этапа исследований, введение в тесто биомассы мицелия *A. mellea* способствует интенсификации процессов дрожжевого брожения: с увеличением дозировки АБМ изначально формируемая замешанным тестом кислотность – всё более высокая, что обусловлено не только увеличением содержания в тесте органических кислот, но и появлением свободных аминокислот биомассы мицелия.

В ходе брожения теста также отмечено более значительное нарастание его кислотности по сравнению с кислотностью теста, приготовленного без внесения АБМ, что следует связывать с увеличением активности брожения теста и протекающих в нем ферментативных процессов.

В свою очередь, значения показателя «подъемная сила» по вариантам эксперимента подтверждают возрастающую при внесении АБМ интенсивность дрожжевого брожения: при норме этого показателя «не более 15 минут» разница в 1,5 раза в достигнутом значении между вариантами исследования зафиксирована уже на 30-й минуте брожения и сохраняется практически весь период созревания теста. Интенсивность брожения по вариантам приготовления теста с внесением и без внесения АБМ выравнивается только через 2 часа брожения теста.

При правильной реализации производственного цикла изменения в биохимическом составе теста непосредственно отражаются на качестве хлеба. От содержания накопленных в тесте кислореагирующих веществ напрямую зависят не только вкус готовых изделий, но и активность протекающего при расстойке и продолжающегося в

начале выпечки дрожжевого брожения, интенсивность обусловленного этим брожением газообразования. С этими процессами тесно связаны удельный объем, пористость и формоустойчивость готовых изделий – стандартные показатели качества хлеба, отражающие обусловленную интенсивностью газообразования разрыхленность мякиша хлеба.

Таблица 1
Влияние дозировки АБМ на процессы брожения теста

Вариант теста	Продолжительность брожения теста, минут					
	0	30	60	90	120	150
Кислотность теста, град						
0 % АБМ (контроль)	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2
2,5 % АБМ	3,3	3,5	3,8	4,0	4,2	4,5
5,0 % АБМ	3,4	3,6	4,0	4,2	4,6	4,8
7,5 % АБМ	3,6	3,8	4,4	4,6	4,8	5,0
10,0 % АБМ	3,8	4,0	4,6	4,8	5,2	5,4
Подъемная сила, минут						
0 % АБМ (контроль)	12,0	6,0	4,0	4,0	3,0	3,0
2,5 % АБМ	12,5	5,0	3,5	3,0	3,0	3,0
5,0 % АБМ	13,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
7,5 % АБМ	13,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
10,0 % АБМ	12,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Оценка органолептических характеристик готового хлеба показала, что все изделия имели правильную форму с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов (Рисунок 1). Поверхность хлеба с введением 2,5–10,0 % АБМ была такой же гладкой, без трещин и подрывов, как у изделий без добавления АБМ. С увеличением дозировки АБМ цвет корки сохранялся на уровне изделий контрольного варианта – золотисто-желтый.

По всем вариантам эксперимента выпеченные изделия на разрезе имели достаточно равномерную тонкостенную пористость, преобладали поры среднего размера. Пустот и уплотнений в мякише не наблюдалось. На вкус и запах выпеченных изделий введение АБМ влияния не оказало.

О благоприятном развитии хода биохимических процессов, характерных для созревающего теста, свидетельствуют и развитая пористость мякиша выпеченного хлеба (Рисунок 1), и закономерное понижение его влажности при равноценном удельном объеме изделий (Таблица 2).



Рисунок 1. Влияние дозировки АБМ на внешний вид выпеченного хлеба

Таблица 2

Влияние дозировки АБМ на физико-химические показатели качества хлеба

Наименование показателя качества хлеба	Значение показателей при дозировке АБМ				
	0 %	2,5 %	5,0 %	7,5 %	10,0 %
Удельный объем, см ³ /г	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1
Влажность мякиша, %	41,0	40,8	40,7	40,7	40,6
Кислотность мякиша, град	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Пористость мякиша, %	78	80	80	81	80
Формоустойчивость, Н:Д	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4

Необходимо отметить, что, несмотря на существенную разницу в накоплении тестом кислореагирующих веществ по вариантам внесения АБМ, достоверной разницы в значениях кислотности мякиша готового хлеба по вариантам эксперимента не обнаружено. Как не выявлено и ощутимой разницы во вкусе хлеба при проведении его дегустационной оценки.

Обсуждение результатов

Интерес к высшим грибам, как потенциальному сырьевому резерву пищевого белка, возник на фоне подтверждения у грибов множества полезных эффектов – таких, как снижение потребления энергии, уровня инсулина и холестерина в плазме крови и т. п. (Harris, 2019). Однако направление научных разработок по повышению пищевой ценности массовых сортов хлеба путем введения в тесто продуктов переработки культивируемых и дикорастущих грибов в России получило начало своего развития только в последнее десятилетие.

К настоящему времени изучены условия внесения в тесто сока, жмыхов, экстрактов и размолотых в порошок высушенных плодовых тел вешенки обыкновенной (Кравченко, 2011; Стрельченко, 2019) и лисички обыкновенной (Музалевская, 2010), свежих и

сушеных шампиньонов, вешенки, шиитаке, зимнего опенка (Salehi, 2019). Основная идея, преследуемая авторами цитируемых работ, – повышение биологической ценности выпеченных изделий путем обогащения их биохимического состава минеральными веществами и витаминами, свободными аминокислотами и некоторыми специфичными для грибов ферментами.

Попытки использования мицелиальной биомассы грибов в целях обогащения хлеба также предпринимались (Федорова, 2018) и были основаны на научных данных об активном накоплении белка клетками мицелия, как пластинчатых, так и трубчатых видов грибов – таких как масленок обыкновенный – *Suillus luteus*, белый гриб – *Boletus edulis*, и другие.

Опенки осенний характеризуется нетипично высоким для пластинчатых грибов содержанием белкового азота – на уровне 21,0 % (Минаков, 2016). Таким образом, внесение биомассы мицелия опенки осеннего в тесто должно работать на повышение доли белкового компонента в составе выпеченного хлеба, что, несомненно, требует проведения дополнительных биохимических исследований.

Анализ результатов проведенных исследований по внесению АБМ в тесто подтверждает участие компонентов мицелия *A. mellea* в интенсификации процессов брожения, о чем свидетельствуют более активное нарастание титруемой кислотности теста и более раннее достижение дрожжевыми клетками активной фазы газообразования: при примерно равных значениях на стадии замеса теста без АБМ и с АБМ до повышения подъемной силы в 1,5 раза через 30 минут брожения теста.

Согласно результатам технологической части исследований, рекомендуемыми для условий хлебопекарного производства следует считать пределы дозировки АБМ 7,5–10,0 %: хлеб с такой дозировкой АБМ сохраняет стандартные значения органолептических и физико-химических показателей качества, имеет равномерную разрыхленность мякиша и не приобретает привкусов и запахов грибов, которые не всеми потребителями могут быть восприняты как желательные.

По способу выпечки изделий с добавлением АБМ более предпочтителен формовой способ. При подовом способе выпечки с увеличением дозировки АБМ от 5,0 до 10,0 % индекс формоустойчивости изделий снижается с 0,6 до 0,4. Эти данные говорят о большем разжижении теста и расплывчатости формы изделий, что, вероятно, следует связывать с активностью собственного ферментного комплекса АБМ. При формовом способе выпечки эти нежелательные эффекты не выражены.

Достигнутые результаты можно считать достаточно многообещающими, поскольку они подтверждают возможность полезного использования АБМ в повышении пищевой ценности хлеба с обеспечением необходимого товарного вида выпеченной продукции.

Заключение

На сегодня применение биомассы мицелия высших грибов в биотехнологии хлебопекарного производства можно считать не развитым, в том числе, по причине малых объемов промышленного производства грибов в целом.

По сравнению с выращиванием плодовых тел в естественных условиях, культивирование мицелия в условиях производства дает возможность круглогодичного и более быстрого наращивания необходимых объемов биомассы как в статических, так и динамических

глубинных условиях. Для использования в условиях хлебопекарного производства нет необходимости придания мицелиальной массе товарного вида, поскольку при введении в тесто возможно использование мицелия в виде агаризованной биомассы, что придает значительные перспективы развитию темы данного исследования.

Учитывая, что мицелий грибов является источником не только белка, но и многих других незаменимых пищевых компонентов, представляется перспективным продолжение исследований, направленных на изучение влияния дозировки АБМ на пищевую ценность выпечки с её включением.

Литература

- Билай, В. И. (1982). *Методы экспериментальной микологии*. Киев: Наукова думка.
- Вишневский, М. В. (2014). *Лекарственные грибы: большая энциклопедия*. Москва: Эксмо.
- Кравченко, О. А., и Росляков, Ю. Ф. (2011). Технология получения и применения продуктов переработки грибов вешенка в производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4 (322), 76-77.
- Минаков, Д. В., Севодина, К. В., Шадринцева, А. И., и Севедин, В. П. (2016). Сравнительная оценка аминокислотного и белкового состава мицелия и плодовых тел некоторых базидиомицетов. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 6 (3), 50-56. doi:10.21285/2227-2925-2016-6-3-50-56.
- Музалевская, Р. С., и Власова, М. В. (2010). Обогащение хлебобулочных изделий продуктами переработки дикорастущих грибов. *Пищевая промышленность*, (6), 56-57.
- Нутрициология-2040. Горизонты науки глазами ученых*. (2017). Санкт-Петербург: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад».
- Пермякова, Л. В. (2016). Классификация стимуляторов жизненной активности дрожжей. *Техника и технология пищевых производств*, 42 (3), 46-55.
- Стрельченко, Е. А., Ивановский, П. Н., и Гурская, А. Е. (2019). Изучение возможности использования продуктов переработки культивируемых грибов в технологии хлебобулочных изделий. *Образование и наука в России и за рубежом*, 2 (50), 394-400.
- Федорова, Р. А., Титова, Ю. А., и Ешназарова, Ф. В. (2018). Способ получения грибной добавки для приготовления продуктов из муки. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, (53), 105-108. doi:10.24411/2078-1318-2018-14105.
- Bakır, T., Boufars, M., Karadeniz, M., Sezgin S. (2018). Amino acid composition and antioxidant properties of five edible mushroom species from Kastamonu, Turkey. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 15 (2), 80-87. doi:10.21010/ajtcam.v15i2.10.
- Bovi, M., Cenci, L., Perduca, M., Capaldi, S., Monaco, H. L., Carrizo, M. E., Civiero, L., Chiarelli, L. R., & Galliano, M. (2013). BEL β -trefoil: a novel lectin with antineoplastic

- properties in king bolete (*Boletus edulis*) mushrooms. *Glycobiology*, 23 (5), 578-592. doi:10.1093/glycob/cws164.
- Cheung, P. C. K. (2013). Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: preparation and health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 2 (3-4), 162-166. doi:10.1016/j.fshw.2013.08.001.
- Colak, A., Faiz, Ö., & Sesli, E. (2009). Nutritional composition of some wild edible mushrooms. *Türk Biyokimya Dergisi*, 34 (1), 25-31.
- Erbiai, E. H., da Silva, L. P., Saidi, R., Lamrani, Z., Esteves da Silva, J. C. G., & Maouni, A. (2021). Chemical composition, bioactive compounds, and antioxidant activity of two wild edible mushrooms *Armillaria mellea* and *Macrolepiota procera* from two countries (Morocco and Portugal). *Biomolecules*, 11, 575. doi:10.3390/biom11040575.
- Friedman, M. (2016). Mushroom polysaccharides: chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans. *Foods* 5 (4), 80. doi:10.3390/foods5040080.
- Ghosh, K. (2016). A Review: Edible mushrooms as source of dietary fiber and its health effects. *Journal of Physical Sciences*, 21, 129-137. ID: 55139942.
- Girma, W., & Tasisa, T. (2018). Application of mushroom as food and medicine. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 11 (4), 555817. doi:10.19080/AIBM.2018.11.555817.
- González, A., Cruz, M., Losoya, C., Nobre, C., Loreda, A., Rodríguez, R., Contreras, J., & Belmares, R. (2020). Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods. *Food & Function*, 11 (9), 7400-7414. doi:10.1039/d0fo01746a.
- Harris, H. C., Edwards, C. A., & Morrison D. J. (2019). Short Chain fatty acid production from mycoprotein and mycoprotein fibre in an in vitro fermentation model. *Nutrients*, 11 (800), 1-7. doi:10.3390/nu11040800.
- Ho, L.-H., Zulkifli, N. A., & Tan, T.-C. (2020). Edible mushroom: nutritional properties, potential nutraceutical values, and its utilisation in food product development. In A. K. Passari & S. Sánchez (Ed.) *An Introduction to Mushroom*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.91827.
- Kostić, M., Smiljković, M., Petrović, J., Glamočlija, J., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Ćirić, A., & Soković, M. (2017). Chemical, nutritive composition and a wide range of bioactive properties of honey mushroom *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) Kummer. *Food & Function*, 8 (9), 3239-3249. doi:10.1039/c7fo00887b.
- Łopusiewicz, Ł. (2018). The isolation, purification and analysis of the melanin pigment extracted from *Armillaria mellea* rhizomorphs. *World Scientific News*, 100, 135-153.
- Manan, S., Ullah, M. W., Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and Applications of Fungal Mycelium-based Advanced Functional Materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6, 1-10. doi:10.1016/j.jobab.2021.01.001.
- Nagy, M., Socaci, S., Tofana, M., Biris-Dorhoi, E. S., Țibulc Ț. D., Petru Ț. G., Salanta, C. L., & Petruț, G. (2017). Chemical composition and bioactive compounds of some wild edible mushrooms. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 74 (1). doi:10.15835/buasvmcn-fst:12629.

- Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Total, soluble, and insoluble dietary fibre contents of wild growing edible mushrooms. *Czech Journal of Food Sciences*, 32 (3), 302-307. doi:10.17221/226/2013-CJFS.
- OECD-FAO *Agricultural outlook 2017–2026*. (2017). Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/19991142.
- Rana, R. (2016). Nutritive analysis of wild edible mushroom *Boletus edulis Bull ex. fries* collected from North West Himalayas. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (1), 698-704, doi:10.15680/IJRSET.2015.0501130.
- Salehi, F. (2019). Characterization of different mushrooms powder and its application in bakery products: A review. *International Journal of Food Properties*, 22 (1), 1375-1385. doi:10.1080/10942912.2019.1650765.
- Schwab, C. G., & Whitehouse, N. L. (2022). Feed supplements: ruminally protected amino acids. In P. L.H. McSweeney & J. P. McNamara (Ed.). *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third edition)*. Academic Press. 540-547. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.23055-2.
- Sheridan, K. (2017). *Global warming reduces protein in key crops: study (August 2)* retrieved 21 July 2021 from <https://phys.org/news/2017-08-millions-protein-deficiency-result-human-caused.html>.
- Simon, R. R., Borzelleca, J. F., De Luca, H. F., & Weaver, C. M. (2013). Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food and Chemical Toxicology*, 56, 278-289. doi:10.1016/j.fct.2013.02.009.
- Süfer, Ö., Bozok, F., & Demir, H. (2016). Usage of edible mushrooms in various food products. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 4 (3), 144-149. doi:10.24925/turjaf.v4i3.144-149.599.
- Ugbogu, E. A., & Ugbogu, O. C. (2016). A review of microbial protein production: prospects and challenges. *FUW Trends in Science and Technology Journal*, 1 (1), 182-185.
- Ukwuru, M. U., Muritala, A., & Eze, L. U. (2018). Edible and non-edible wild mushrooms: nutrition, toxicity and strategies for recognition. *Journal of Clinical Nutrition and Metabolism*, 2 (2), 1000117.
- Waktola, G., & Temesgen, T. (2018). Application of mushroom as food and medicine. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 11 (4): 555817, 97-101. doi:10.19080/AIBM.2018.11.555817.
- Zavastin, D. E., Mircea, C., Aprotosoiaie, A. C., Gherman, S., Hancianu, M., & Miron, A. (2015). *Armillaria mellea*: phenolic content, in vitro antioxidant and antihyperglycemic effects. *Revista medico-chirurgicală a Societății de Medici și Naturaliști din Iași*, 119 (1), 273-280.
- Zhang, S., Liu, X., Yan, L., Zhang, Q., Zhu, J., Huang, N., Wang, Z. (2015). Chemical compositions and antioxidant activities of polysaccharides from the sporophores and cultured products of *Armillaria mellea*. *Molecules*, 20 (4), 5680-5697. doi:10.3390/molecules20045680.

Zhou, J., Chen, M., Wu, S., Liao, X., Wang, J., Wu, Q., Zhuang, M., & Ding, Y. (2020). A review on mushroom-derived bioactive peptides: preparation and biological activities. *Food Research International*, *134*, 109230. doi:10.1016/j.foodres.2020.109230.

**Features of dough maturation and bread quality formation
with *Armillaria mellea* mycelium biomass**

D V Minakov

Polzunov Altai State Technical University, Altai State University, Russian Federation

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>, minakovd-1990@yandex.ru

L A Kozubaeva, к. т. н.

Polzunov Altai State Technical University, Russian Federation

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>, cosubaeva@mail.ru

S S Kuzmina

Polzunov Altai State Technical University, Russian Federation

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0302-867x>, svetlana.politeh@mail.ru

E Yu Egorova

Polzunov Altai State Technical University, Russian Federation

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>, egorovaeyu@mail.ru

In recent years, the nutritional use of mushrooms has been perceived in a new context: mushrooms are considered as an additional source of minerals, vitamins, specific enzymes and a number of other biologically active substances. Some types of mushrooms can be used as a renewable reserve of dietary protein, including in the production of bakery products. *Armillaria mellea* differs from many other types of fungi with a higher content of protein nitrogen. The increased accumulation of protein is characteristic not only for the cells of the fruit body, but also for the cells of the mycelium of *A. mellea*, which determined the purpose of the study – analysis of the effect of the biomass of the mycelium of *A. mellea* on the biochemical processes of dough maturation and bread quality, for which the authors used standard and industry methods of control of raw materials and semi-finished bakery products, standard methods of microbiological analysis. The agarized biomass of the mycelium of the open autumn strain *Armillaria mellea* D-13 was used in the work, which was introduced into the dough at the kneading stage after was crushed to a homogeneous paste-like state. The dough was prepared from wheat baking flour of the first grade, agarized mycelium biomass was introduced into the dough at the rate of 2.5-10.0% by weight of flour. According to the results of the research, the dosage limits of the agarized biomass of mycelium – 7.5–10.0% are justified. Bread with this dosage retains the standard quality and does not acquire the characteristic taste and smell of mushrooms. With the hearth baking method, with an increase in the dosage of agarized mycelium biomass, the shape stability index of products decreases from 0.6 to 0.4, with the molded baking method, these undesirable effects are not pronounced.

Key words: mushrooms, mycelium, biomass, food protein, dough, yeast fermentation

References

- Bilay, V. I. (1982). *Metody` e`ksperimental`noj mikologii [Methods of experimental mycology]*. Kiev: Naukova Dumka.
- Vishnevsky, M. V. (2014). *Lekarstvenny`e griby`: bol`shaya e`nciklopediya [Medicinal mushrooms. The Big Encyclopedia]*. Moscow: Eksmo.
- Kravchenko, O. A., & Roslyakov, Yu. F. (2011). Teknologiya polucheniya i primeneniya produktov pererabotki gribov veshenka v proizvodstve xlebobulochny`x izdelij povy`shennoj pishhevoj i biologicheskoy cennosti [Technology of reception and application of processing products of mushrooms veshenka in manufacture of bakery products of the higher food and biological value]. *Izvestiya vuzov. Pishhevaya texnologiya [Food Technology]*, 4 (322), 76-77.
- Minakov, D. V., Sevodina, K. V., Shadrinseva, A. I., & Sevodin, V. P. (2016). Sravnitel`naya ocenka aminokislotojnogo i belkovogo sostavov miceliya i plodovy`x tel nekotory`x bazidiomicetov [Comparative assessment of the amino acid and protein composition of the mycelium and fruit bodies of some basidiomycetes]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya ximiya i biotexnologiya [Applied chemistry and biotechnology]*, 6 (3), 50-56. doi:10.21285/2227-2925-2016-6-3-50-56.
- Musalevskaya, R. S., & Vlasova, M. V. (2010). Obogashhenie xlebobulochny`x izdelij produktami pererabotki dikorastushhix gribov [Enrichment aspects of bakery products with processing fruits of growing wild mushrooms]. *Pishhevaya promy`shlennost` [Food Industry]*, (6), 56-57.
- Nutriciologiya-2040. Gorizonty` nauki glazami ucheny`x [Nutricitology-2040. Horizons of science through the eyes of scientists]. (2017). Saint Petersburg: Foundation «Center for Strategic Research «North-West».
- Permyakova, L. V. (2016). Klassifikaciya stimulyatorov zhiznennoj aktivnosti drozhzhej [Classification of preparations to promote yeast vital activity]. *Texnika i texnologiya pishhevy`x proizvodstv [Food Processing: Techniques and Technology]*, 42 (3), 46-55.
- Strelchenko, E. A., Ivanovsky, P. N., & Gurskaya, A. E. (2019). Izuchenie vozmozhnosti ispol`zovaniya produktov pererabotki kul`tiviruemy`x gribov v texnologii xlebobulochny`x izdelij [Study of the possibility of using products of processing cultivated mushrooms in the technology of bakery products]. *Obrazovanie i nauka v Rossii i za rubezhom [Education and science in Russia and abroad]*, 2 (50), 394-400.
- Fedorova, R. A., Titova, Yu. A., & Eshnazarova, F. B. (2018). Sposob polucheniya gribnoj dobavki dlya prigotovleniya produktov iz muki [Method of obtaining a mushroom additive for the preparation of flour products]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University]*, (53), 105-108. doi:10.24411/2078-1318-2018-14105.
- Bakır, T., Boufars, M., Karadeniz, M., Sezgin S. (2018). Amino acid composition and antioxidant properties of five edible mushroom species from Kastamonu, Turkey. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 15 (2), 80-87. doi:10.21010/ajtcam.v15i2.10.

- Bovi, M., Cenci, L., Perduca, M., Capaldi, S., Monaco, H. L., Carrizo, M. E., Civiero, L., Chiarelli, L. R., & Galliano, M. (2013). BEL β -trefoil: a novel lectin with antineoplastic properties in king bolete (*Boletus edulis*) mushrooms. *Glycobiology*, *23* (5), 578-592. doi: 10.1093/glycob/cws164.
- Cheung, P. C. K. (2013). Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: preparation and health benefits. *Food Science and Human Wellness*, *2* (3-4), 162-166. doi:10.1016/j.fshw.2013.08.001.
- Colak, A., Faiz, Ö., & Sesli, E. (2009). Nutritional composition of some wild edible mushrooms. *Türk Biyokimya Dergisi [Turkish Journal of Biochemistry]*, *34* (1), 25-31.
- Erbiai, E. H., da Silva, L. P., Saidi, R., Lamrani, Z., Esteves da Silva, J. C. G., & Maouni, A. (2021). Chemical composition, bioactive compounds, and antioxidant activity of two wild edible mushrooms *Armillaria mellea* and *Macrolepiota procera* from two countries (Morocco and Portugal). *Biomolecules*, *11*, 575. doi:10.3390/biom11040575.
- Friedman, M. (2016). Mushroom polysaccharides: chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans. *Foods* *5* (4), 80. doi:10.3390/foods5040080.
- Ghosh, K. (2016). A Review: Edible mushrooms as source of dietary fiber and its health effects. *Journal of Physical Sciences*, *21*, 129-137. ID: 55139942.
- Girma, W., & Tasisa, T. (2018). Application of mushroom as food and medicine. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, *11* (4), 555817. doi:10.19080/AIBM.2018.11.555817.
- González, A., Cruz, M., Losoya, C., Nobre, C., Loredó, A., Rodríguez, R., Contreras, J., & Belmares, R. (2020). Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods. *Food & Function*, *11* (9), 7400-7414. doi:10.1039/d0fo01746a.
- Harris, H. C., Edwards, C. A., & Morrison D. J. (2019). Short Chain fatty acid production from mycoprotein and mycoprotein fibre in an in vitro fermentation model. *Nutrients*, *11* (800), 1-7. doi:10.3390/nu11040800.
- Ho, L.-H., Zulkifli, N. A., & Tan, T.-C. (2020). Edible mushroom: nutritional properties, potential nutraceutical values, and its utilisation in food product development. In A. K. Passari & S. Sánchez (Ed.) *An Introduction to Mushroom*. IntechOpen. doi:10.5772/intechopen.91827.
- Kostić, M., Smiljković, M., Petrović, J., Glamočlija, J., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Ćirić, A., & Soković, M. (2017). Chemical, nutritive composition and a wide range of bioactive properties of honey mushroom *Armillaria mellea* (Vahl: Fr.) Kummer. *Food & Function*, *8* (9), 3239-3249. doi:10.1039/c7fo00887b.
- Łopusiewicz, Ł. (2018). The isolation, purification and analysis of the melanin pigment extracted from *Armillaria mellea* rhizomorphs. *World Scientific News*, *100*, 135-153.
- Manan, S., Ullah, M. W., Islam, M., Atta, O. M., & Yang, G. (2021). Synthesis and Applications of Fungal Mycelium-based Advanced Functional Materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, *6*, 1-10. doi:10.1016/j.jobab.2021.01.001.
- Nagy, M., Socaci, S., Tofana, M., Biris-Dorhoi, E. S., Ţibulc Ȃ. D., Petru Ţ. G., Salanta, C. L., & PetruŢ, G. (2017). Chemical composition and bioactive compounds of some wild edible

- mushrooms. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 74 (1). doi:10.15835/buasvmcn-fst:12629.
- Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Total, soluble, and insoluble dietary fibre contents of wild growing edible mushrooms. *Czech Journal of Food Sciences*, 32 (3), 302-307. doi:10.17221/226/2013-CJFS.
- OECD-FAO *Agricultural outlook 2017–2026*. (2017). Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/19991142.
- Rana, R. (2016). Nutritive analysis of wild edible mushroom *Boletus edulis Bull* ex. fries collected from North West Himalayas. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5 (1), 698-704, doi:10.15680/IJRSET.2015.0501130.
- Salehi, F. (2019). Characterization of different mushrooms powder and its application in bakery products: A review. *International Journal of Food Properties*, 22 (1), 1375-1385. doi:10.1080/10942912.2019.1650765.
- Schwab, C. G., & Whitehouse, N. L. (2022). Feed supplements: ruminally protected amino acids. In P. L.H. McSweeney & J. P. McNamara (Ed.). *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third edition)*. Academic Press. 540-547. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.23055-2.
- Sheridan, K. (2017). *Global warming reduces protein in key crops: study (August 2)* retrieved 21 July 2021 from <https://phys.org/news/2017-08-millions-protein-deficiency-result-human-caused.html>.
- Simon, R. R., Borzelleca, J. F., De Luca, H. F., & Weaver, C. M. (2013). Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food and Chemical Toxicology*, 56, 278-289. doi:10.1016/j.fct.2013.02.009.
- Süfer, Ö., Bozok, F., & Demir, H. (2016). Usage of edible mushrooms in various food products. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 4 (3), 144-149. doi:10.24925/turjaf.v4i3.144-149.599.
- Ugbogu, E. A., & Ugbogu, O. C. (2016). A review of microbial protein production: prospects and challenges. *FUW Trends in Science and Technology Journal*, 1 (1), 182-185.
- Ukwuru, M. U., Muritala, A., & Eze, L. U. (2018). Edible and non-edible wild mushrooms: nutrition, toxicity and strategies for recognition. *Journal of Clinical Nutrition and Metabolism*, 2 (2), 1000117.
- Waktola, G., & Temesgen, T. (2018). Application of mushroom as food and medicine. *Advances in Biotechnology & Microbiology*, 11 (4): 555817, 97-101. doi:10.19080/AIBM.2018.11.555817.
- Zavastin, D. E., Mircea, C., Aprotosoia, A. C., Gherman, S., Hancianu, M., & Miron, A. (2015). *Armillaria mellea*: phenolic content, in vitro antioxidant and antihyperglycemic effects. *Revista medico-chirurgicală a Societății de Medici și Naturaliști din Iași*, 119 (1), 273-280.
- Zhang, S., Liu, X., Yan, L., Zhang, Q., Zhu, J., Huang, N., Wang, Z. (2015). Chemical compositions and antioxidant activities of polysaccharides from the sporophores and cultured products of *Armillaria mellea*. *Molecules*, 20 (4), 5680-5697. doi:10.3390/molecules20045680.

Zhou, J., Chen, M., Wu, S., Liao, X., Wang, J., Wu, Q., Zhuang, M., & Ding, Y. (2020). A review on mushroom-derived bioactive peptides: preparation and biological activities. *Food Research International*, 134, 109230. doi:10.1016/j.foodres.2020.109230.