

EDN: JQUROZ

УДК 631.879:635.758:576.31–048.78

Spent Mushroom Substrates to Improve the Morphometric Indicators and Composition of Biologically Active Compounds in Dill Plants

Tatiana A. Kulagina,
Irina D. Zykova* and Elena N. Zaitseva
*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 2.05.2023, received in revised form 22.05.2023, accepted 04.06.2023

Abstract. Growing mushrooms on nutrient substrates made of sawdust may be promising avenues for utilization of sawmill waste. The authors have used sawdust of deciduous trees as the basis for a nutrient substrate in growing shiitake mushrooms (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) in laboratory conditions. Spent mushroom substrates (SMS) after picking mushrooms can be used as an organic fertilizer and (or) mulch. Applying SMS in growing dill (*Anethum graveolens* L.) ‘Bushy’ allowed to shorten the seed germination period from 15 to 5 days and obtain a larger amount of green mass. The influence of SMS on the composition and antiradical properties of dill extract has been studied. Essential oil was obtained by water-and-steam distillation; the oil composition was studied by chromatography-mass spectrometry. In control, the main components of the essential oil of dill were α -fellandren – 15.2 %, limonene – 24.2 % and carvon – 42.5 %. When using SMS, the composition of dill essential oil was the same, however, the ratio of the components changed: the content of α -fellandren and limonene increased to 20.5 % and 31.5 %, respectively, while the content of carvon decreased to 31.0 %. Aqueous extracts of dill were studied for antiradical properties for the first time. Antiradical activity was determined in a model reaction with a free stable 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical and made 27.4 % and 35.3 % in the control and dill grown with SMS, respectively.

Keywords: sawmill waste, Shiitake mushroom, spent mushroom substrate, dill, water extracts, essential oil, antiradical activity.

Citation: Kulagina T. A., Zykova I. D., Zaitseva E. N. Spent mushroom substrates to improve the morphometric indicators and composition of biologically active compounds in dill plants. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2023, 16(2), 206–217. EDN: JQUROZ



© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: izeykova@sfu-kras.ru

ORCID: 0000-0003-2601-9570 (Kulagina T.); 0000-0002-2207-6888 (Zykova I.)

Перспективы использования отработанных грибных блоков для улучшения морфометрических показателей растений укропа и состава их биологически активных соединений

Т. А. Кулагина, И. Д. Зыкова, Е. Н. Зайцева
Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Перспективным направлением утилизации отходов лесопиления (опилок) считается создание на их основе питательных субстратов для выращивания грибов. В настоящей работе опилки лиственных пород деревьев использовали в качестве основы питательного субстрата для выращивания грибов шиитакэ (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) в лабораторных условиях. Отработанные грибные блоки (ОГБ), остающиеся после сбора грибов, могут применяться в качестве органического удобрения и (или) мульчирующего материала. Добавление ОГБ в грунт при выращивании укропа пахучего (*Anethum graveolens* L.) сорта «Кустистый» позволило ускорить срок прорастания семян с 15 до 5 суток и получить большее количество зеленой массы. Изучено влияние применения ОГБ на состав и антирадикальные свойства экстракта укропа. Методом гидропародистилляции получено эфирное масло и методом хромато-масс-спектрометрии исследован его компонентный состав. В контрольном варианте основными компонентами эфирного масла укропа были α -фелландрен – 15,2 %, лимонен – 24,2 % и карвон – 42,5 %. В варианте с применением ОГБ изменилось процентное соотношение компонентов эфирного масла при сохранении его качественного состава: содержание α -фелландрена и лимонена возросло до 20,5 и 31,5 % соответственно, содержание карвона снизилось до 31,0 %. Впервые изучены антирадикальные свойства водных экстрактов укропа в модельной реакции со свободным стабильным 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил-радикалом. Показано, что исследуемые экстракты проявляют антирадикальную активность, значения которой составляют 27,4 и 35,3 % для укропа, выращенного на контрольном грунте, и укропа, выращенного на грунте с ОГБ, соответственно.

Ключевые слова: отходы лесопиления, гриб шиитакэ, отработанный грибной блок, укроп сорта «Кустистый», водные экстракты, эфирное масло, антирадикальная активность.

Цитирование: Кулагина, Т. А. Перспективы использования отработанных грибных блоков для улучшения морфометрических показателей растений укропа и состава их биологически активных соединений / Т. А. Кулагина, И. Д. Зыкова, Е. Н. Зайцева // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2023. 16(2). С. 206–217. EDN: JQUROZ

Введение

Лесопромышленный комплекс только Российской Федерации в виде отходов лесопиления ежегодно производит более 2 млн м³ древесных опилок (Кулагина и др., 2009, 2021),

которые успешно используются в качестве топлива в котельных, печах малого объема, для производства древесных пеллет, в строительной индустрии, в гидролизной промышленности и др. (Шлобин, Таразевич, 2017; Зотов, 2018;

Борзунова, Зиновьева, 2012; Siyal et al., 2021; Ahn et al., 2014). Перспективным направлением утилизации отходов лесопиления также считается создание на их основе питательных субстратов для выращивания грибов. Для человека грибы являются ценным продуктом питания; их пищевая ценность по калорийности сравнивается с овощами и характеризуется большим содержанием белка – в среднем 3,9 г на 100 г. Средний показатель содержания полезных растительных жиров и углеводов составляет 0,5 грамм и 2,3 грамма на 100 граммов грибов, соответственно. Грибы содержат много важных минералов, таких как железо, фосфор, медь, калий и селен, оказывают положительное влияние на иммунную систему человека (Зимняков и др., 2022; Лазарева, Александрова, 2017). Поскольку основная масса опилок уходит в отвалы либо сжигается, использование их в качестве основы для создания питательных субстратов для грибов вносит вклад в решение проблемы загрязнения окружающей среды отходами лесопиления.

Отработанные грибные блоки, остающиеся после сбора грибов, изначально считались отходами – проблема, решать которую было трудно. Их утилизация осуществлялась с дополнительными затратами для фермеров, поскольку учитывались экологические требования и правила уничтожения использованных блоков. После того как был обнаружен богатый органический состав грибного компоста, отработанные грибные блоки стали использовать в качестве органического удобрения, обогащенного углеродом, или как мульчирующий материал (Иванов и др., 2015; Grimm, Wösten, 2018). Следует отметить, что применение опилок в качестве удобрения возможно, но только после специальной их подготовки. Свежие отходы лесопиления не могут использоваться в сельском хозяйстве, потому что содержат в своем составе лигнин, смолы, в случае хвой-

ных – эфирные масла, что губительно для роста и питания растений. Кроме того, бактерии, содержащиеся в почве и расщепляющие целлюлозу, потребляют азот из почвы и выделяют при этом различные вещества, увеличивающие ее кислотность.

Целью данной работы было изучение влияния добавления в почвогрунт отработанного грибного блока после выращивания гриба шиитаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) на морфометрические показатели растений укропа пахучего (*Anethum graveolens* L.) сорта «Кустистый», а также на состав и антирадикальные свойства его экстракта.

Материалы и методы

Грибы шиитаке выращивали на субстратном блоке, приготовленном посредством смешения 350 г березовых опилок (предварительно термически обработанных, размер частиц 2–5 мм), 100 г зернового мицелия и 30 г биоактиватора роста (рис. 1а). Мицелий шиитаке и биоактиватор роста были приобретены в компании «Лаборатория Gribanich-Грибаныч» (г. Новомосковск, Тульская область). Термическая обработка опилок проводилась следующим образом: опилки загружали в металлическую емкость, заливали горячей водой (температура 70–80 °С) и нагревали на электроплитке в течение 5 часов при периодическом перемешивании, не доводя содержимое емкости до кипения. Затем воду сливали и давали субстрату обтечь и остыть на мелкой сетке. Влажность готового субстрата около 65 %. На практике это означает, что при сжатии субстратной массы в кулаке из нее выделяется не более 1–2 капли воды. Биоактиватор роста добавляли к опилкам на стадии термической обработки.

Готовый субстрат помещали в полиэтиленовый пакет, который плотно запаковывали. Для обеспечения дыхания мицелия в па-



Рис. 1. Стадии выращивания грибов шиитаке на субстратном блоке: а) – формирование блока; б) – инкубация; в) – появление плодовых тел

Fig. 1. Stages of shiitake cultivation on a substrate block: a) – block formation; b) – incubation; c) – fruiting

кете делали несколько проколов, после чего субстрат помещали в инкубационную камеру. В качестве инкубационной камеры был задействован лабораторный сушильный шкаф ЭКРОС ПЭ-4610 (Россия) с объемом камеры 56 л. В течение трех недель в инкубационной камере при температуре +26 °С происходила колонизация субстрата мицелием шиитаке, субстратный блок стал белым (рис. 1б). В течение последующих 30 дней цвет субстратного блока изменился на коричневый, что свидетельствовало о готовности к плодоношению. Его поверхность была покрыта выростами, похожими на «поп-корн», с помощью которых шиитаке в природных условиях пробивают кору дерева.

Коричневый блок освобождали от полиэтилена и ставили в выростную камеру (рис. 1в). Выростная камера в нашем эксперименте представляла собой самодельную обтянутую полиэтиленом (с надрезами для проникновения воздуха) конструкцию размером 50x40x70 см, включающую в себя: 1) поддон с водой, в котором на решетчатой подставке устанавливается грибной блок; 2) бытовой ультразвуковой увлажнитель воздуха МЕ-А205В (Китай); 3) цифровой термогигрометр Мегеон 20209 (Китай). Температуру поддер-

живали в интервале 15–18 °С (открытие окон, вентиляция), влажность – на уровне 60–80 %.

Процесс плодоношения длился 14 дней. После снятия урожая ОГБ находился некоторое время на открытом воздухе для удаления из него оставшейся влаги. Далее ОГБ с влажностью 1,5 % применяли в качестве добавки при выращивании укропа.

«Кустистый» – сорт укропа, который выращивают в открытом грунте практически на всей территории России. Благодаря сближенным междоузлиям растения этого сорта формируют много листьев. Листовая розетка, состоящая из 10–12 листьев, немного приподнята. Листья крупные, насыщенного зеленого цвета, имеют небольшой восковой налет. Форма листа – среднерассеченная. Центральный цветонос немного больше остальных. Молодая зелень сочная и мягкая. Из-за большого содержания эфирных масел аромат ярко выражен. Относится к группе обильно лиственного типа. Не любит закисленных почв и отсутствия полива.

Укроп выращивали в лабораторных условиях в пластиковых лотках (6 шт.), заполненных грунтом, приобретенным в розничной продаже («Грунт универсальный для рассады», Россия). За 2 недели до посева

семян укропа в трех из шести лотков в грунт было внесено 10 % ОГБ от общей массы грунта. Семена без предварительного замачивания вносили в грунт без ОГБ (контроль) и в грунт с предварительно внесенным в него ОГБ на глубину 10 мм с расстоянием между семенами 5–7 мм. Лотки закрывали полиэтиленовой пленкой до момента появления первых всходов, после чего пленку убрали и лотки ставили на подоконник. Дальнейший рост укропа проходил при естественном освещении. Для наблюдения за ростом растения в одном лотке без добавления ОГБ и одном лотке с ОГБ были выбраны участки с пятью побегами. Измерение длины побегов осуществляли на 7, 10, 13, 17, 21, 24, 26, 28, 30-ый день после прорастания. В день замера определяли длину каждого из пяти побегов и находили среднюю величину. Сырую массу побегов оценивали после срезания на 30-ый день роста.

Эфирное масло укропа получали методом гидропародистилляции. Хромато-масс-спектрометрический анализ проводили на хроматографе Agilent Technologies 7890A с квадрупольным масс-спектрометром MSD 5975C в качестве детектора. Колонка кварцевая HP-5 (сополимер 5 %-дифенил-95 %-диметилсилоксан) с внутренним диаметром 0,25 мм. Температура испарителя 280 °С, температура источника ионов 173 °С, газ-носитель – гелий, 1 мл/мин. Температура колонки 50 °С (3 мин), 50–270 °С (со скоростью 6 °С в мин), изотермический режим при 270 °С в течение 10 мин.

Содержание компонентов эфирного масла оценивали по площадям пиков. Идентификацию отдельных компонентов проводили на основе сравнения времен удерживания и полных масс-спектров с соответствующими данными компонентов эталонных масел и индивидуальных соединений, если они

имелись. Кроме того, для идентификации использовали атласы масс-спектров и линейных индексов удерживания (Ткачев, 2008; Adams, 2007). При полном совпадении масс-спектров идентифицируемых компонентов с имеющимися библиотечными данными (процент совпадения не менее 98 %) и совпадением линейных индексов удерживания (различия не более 2–3 единицы) идентификация считалась однозначной. Содержание компонентов масла определялось в трех повторностях.

Для определения антирадикальной активности (АРА) водных экстрактов укропа и грибов шиитакэ использовали модельную реакцию со стабильным свободным 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалом (ДФПГ) (Sigma-Aldrich) (Molyneux, 2004; Misharina et al., 2015; Zhigzhitzhapova et al., 2020). Оптическую плотность измеряли на сканирующем спектрофотометре UV-1700 (Shimadzu, Япония) при длине волны 517 нм. Реакцию проводили в кварцевых кюветках с плотно закрывающимися крышками (толщина кюветы 10 мм) при температуре 293 ± 1 К путем приливания к 3 мл $2,0 \times 10^{-4}$ М раствора ДФПГ в 96 %-ном этаноле 20 мкл водного экстракта. Измерение оптической плотности проводили через 30 мин от момента добавления экстракта к раствору ДФПГ. В качестве контрольного образца использовали рабочий раствор ДФПГ. Антирадикальную активность (процент ингибирования ДФПГ) определяли по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Процент ингибирования ДФПГ} &= \\ &= \frac{D_{\text{контр}} - D_x}{D_{\text{контр}}} \cdot 100 \%, \end{aligned}$$

где D_x – оптическая плотность исследуемого раствора, $D_{\text{контр}}$ – оптическая плотность контрольного раствора. Каждое определение проводили в трех повторностях (т.е. три раза

повторяли измерения, каждый раз готовя новое содержимое кюветы: приливая 20 мкл экстракта к 3 мл $2,0 \times 10^{-4}$ М раствора ДФПГ в 96 %-ном этаноле).

Хроматографический профиль фенольных соединений водных экстрактов укропа был получен методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе «Милихром А-02» 9 (ЗАО Институт хроматографии «ЭкоНова», Новосибирск) в градиентном режиме элюирования на колонке «Silasorb» (SPH 5С 18, 2*75 мм, $d_p = 5$ мкм), элюенты: А – 0,01 % раствор HCOOH, В – 100 % ацетонитрил, скорость подачи подвижной фазы составляла 100 мкл/мин, градиент: 5–5,5 % за 30 мин., при длине волны детектирования 300 нм. Объем вводимой пробы – 5 мкл экстракта растения. Электронные спектры экстрактов регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV – 1700 в диапазоне сканирования 190–900 нм.

Статистическую значимость различий определяли по коэффициенту Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Предварительные эксперименты показали, что грибная культура шиитаке совершенно не подходит для переработки хвойного опила, так как мицелий на нем развивается слабо. Урожай грибов шиитаке, выращенных на субстрате, приготовленном из березовых опилок и грибного мицелия, составил 650 г.

Имеющаяся в литературе и интернет-источниках информация не содержит научно обоснованных рекомендаций по нормам и способам внесения ОГБ в почву при выращивании растений. Кроме того, большая часть существующих разработок связана с переработкой отработанных субстратов в биогумус, что существенно замедляет время получения готового продукта и увеличивает его себестоимость.

В наших исследованиях внесение в грунт ОГБ значительно повлияло на срок прорастания семян и длину проростков укропа. Отмечено, что после одновременного засева семян укропа в контрольный грунт и в грунт с ОГБ прорастание семян во втором случае началось уже на пятые сутки, в то время как в лотке с обычным грунтом проростки укропа появились через 15 дней. На протяжении всего периода роста длина проростков укропа, выращенного с применением ОГБ, была достоверно выше проростков укропа в контрольном варианте (рис. 2). Сырая масса побегов укропа, выращенного в контрольном варианте, через 30 дней составила $201,0 \pm 1,2$ г, а выращенного с добавлением ОГБ – $318,0 \pm 2,0$ г (с одного лотка).

Представляло интерес влияние добавления в грунт ОГБ на состав и антирадикальные свойства биологически активных соединений укропа, в частности компонентов эфирного масла и водного экстракта.

Эфирное масло укропа сорта «Кустистый» представляет собой летучую подвижную жидкость светло-зеленого цвета. Основные компоненты α -фелландрен ($15,2 \pm 1,1$ %), лимонен ($24,2 \pm 1,2$ %) и карвон ($42,5 \pm 1,3$ %). По компонентному составу полученное масло похоже на эфирное масло растений *A. graveolens*, исследованного авторами работы (Кондратюк, Зыкова, 2013).

Сравнительный анализ компонентного состава эфирного масла укропа, выращенного на грунте без ОГБ (контроль), и укропа, выращенного на грунте с добавлением ОГБ, показывает, что изменилось соотношение основных компонентов эфирного масла (табл. 1). По сравнению с контролем достоверно увеличилось содержание α -фелландрена и лимонена, снизилось содержание карвона. Прерывание синтеза полного набора терпеновых компонентов эфирного

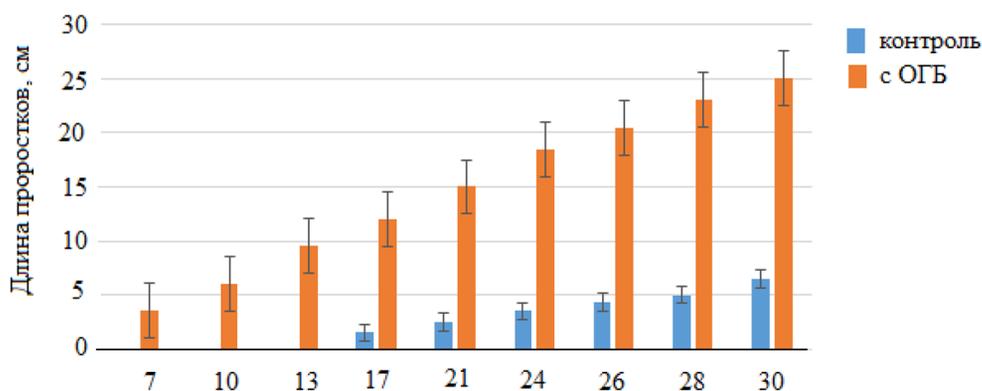


Рис. 2. Средние значения длины проростков и их стандартные отклонения (ось абсцисс – день замера длины проростков с момента прорастания). Все представленные значения (с ОГБ) достоверно отличаются от контрольного варианта ($p < 0,05$)

Fig. 2. Length of seedlings (average values and their standard deviations; the x-axis shows the days starting from germination). All the values with SMS significantly differ from the control ($p < 0,05$)

Таблица 1. Компонентный состав эфирного масла укропа

Table 1. Composition of the essential oil of dill

Компонент	Линейный индекс удерживания	Содержание, % от цельного масла \pm стандартное отклонение	
		К	ОГБ
3-туйен	926	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
α -пинен	932	2,8 \pm 0,3	3,1 \pm 0,2
камфен	947	0,1 \pm 0,0	0,2 \pm 0,1
сабинен	973	0,2 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
β -пинен	975	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1
β -мирцен	991	0,6 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1
α -фелландрен	1004	15,2 \pm 1,1	20,5 \pm 1,2*
цимол	1024	4,2 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2
лимонен	1028	24,2 \pm 1,2	31,5 \pm 1,1*
β -фелландрен	1029	1,5 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2
дигидро-нео-карвеол	1196	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0
транс-дигидрокарвон	1205	1,2 \pm 0,1	1,3 \pm 0,1
транс-карвеол	1219	4,8 \pm 0,5	5,2 \pm 0,3
транс-дигидрокарвеол	1229	0,3 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1
цис-карвеол	1233	1,5 \pm 0,1	1,6 \pm 0,2
карвон	1245	42,5 \pm 1,3	31,0 \pm 1,1*
ИТОГО		99,6	99,7

Примечания: К – контроль, ОГБ – грунт с добавлением отработанного грибного блока. Звездочкой отмечены значения, достоверно отличающиеся от контрольного варианта ($p < 0,05$).

масла явилось, по-видимому, результатом абиотического стресса (добавление ОГБ). Ранее в литературе было показано, что эфирноносные растения, произрастающие в жестких условиях обитания, перестают синтезировать энергоемкие терпены фенольного типа и в составе эфирного масла начинают доминировать ациклические соединения (Шелепова, Хуснетдинова, 2018). Выход эфирного масла из надземной части укропа не зависел от добавления в грунт ОГБ. Эти данные согласуются с исследованиями, проведенными авторами работ (Шелепова, Хуснетдинова, 2018; Пушкина и др., 2010).

Изменение содержания мажорных компонентов эфирного масла повлияло на аромат укропа, выращенного на грунте с применением ОГБ. Так, растения контроля имели типичный укропный запах с еле уловимыми нотками тмина. В запахе укропа, выращенного на грунте с добавлением ОГБ, к преобладающей пряной базовой ноте добавилась освежающая нота, обусловленная, по-видимому,

возросшей концентрацией лимонена в составе эфирного масла.

Результаты проведенного спектрофотометрического исследования подтвердили наличие в укропе различных классов биологически активных соединений, обеспечивающих широкий спектр фармакологического действия растения. В УФ-спектрах водных экстрактов, представленных на рис. 3, регистрируются полосы поглощения, которые свидетельствуют о наличии в укропе фенольных веществ различных групп.

Поглощение в области 230–260 нм обусловлено, вероятнее всего, наличием в экстрактах водорастворимых флавонов и флавонолов, углеводов компонентов, дубильных веществ, катехинов. Полоса поглощения с тах при 329,4 нм может быть отнесена к лейкоантоцианам, кумаринам и флавононам (Запрометов, 1974; Клышев и др., 1978).

О наличии в укропе веществ фенольной природы свидетельствуют также хроматограммы, полученные методом ВЭЖХ (рис. 4).

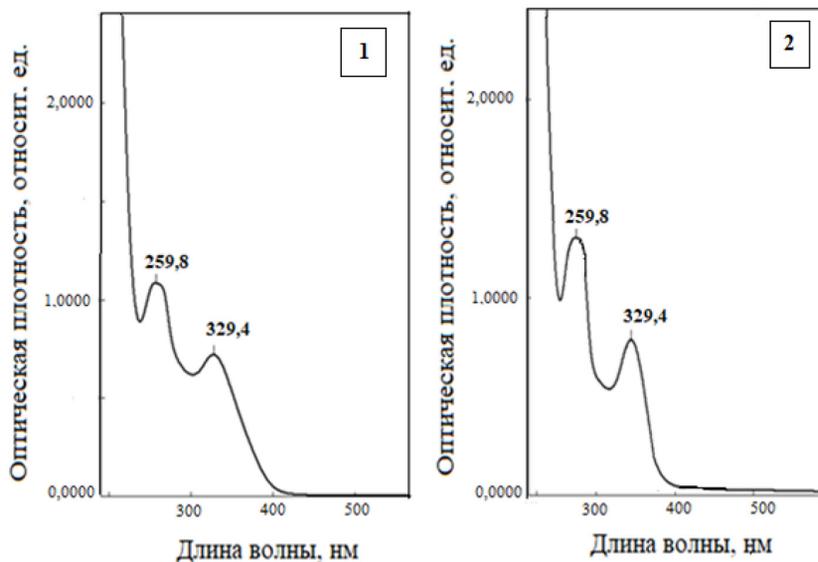


Рис. 3. Электронные спектры водных экстрактов укропа, выращенного на грунте: 1 – контроль, 2 – с добавлением ОГБ

Fig. 3. Electronic spectra of aqueous extracts of dill grown on soil: (1) control; (2) with the addition of SMS

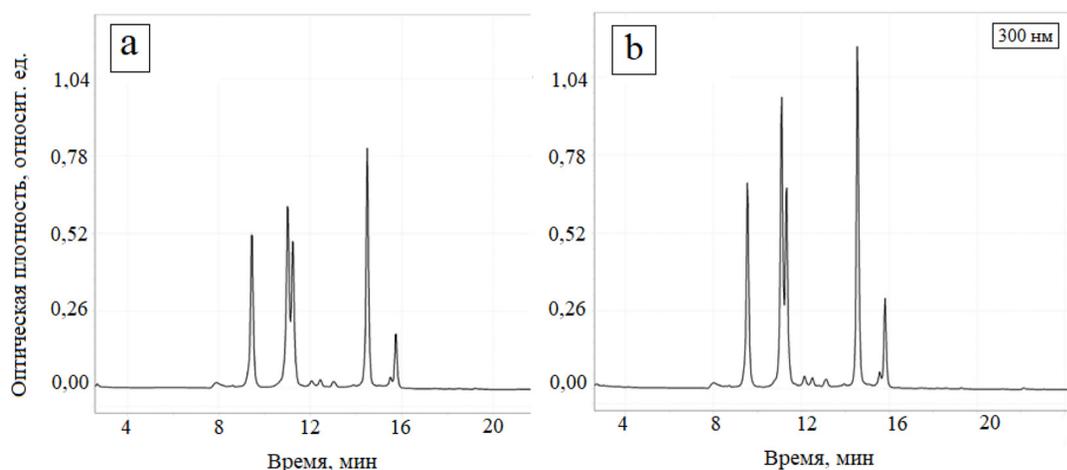


Рис. 4. Фенольные соединения водных экстрактов укропа, выращенного на грунте: а – контроль, б – с добавлением ОГБ (длина волны 300 нм)

Fig. 4. Phenolic compound peaks (wavelength 300 nm) in aqueous extracts of dill grown on soil: (a) control; (b) with the addition of SMS

Анализ площади пиков, представленных на полученных хроматограммах, показывает, что количество фенольных соединений в укропе, выращенном на грунте с добавлением ОГБ, возрастает (почти в 1,3 раза), что может в свою очередь свидетельствовать об увеличении антирадикальной активности его зелени.

По результатам ДФПГ-теста установлено, что исследуемые образцы водных экстрактов укропа проявляют антирадикальные свойства. В качестве примера на рис. 5 приведена динамика изменения оптической плотности полосы радикала ДФПГ при взаимодействии с компонентами водного экстракта укропа, выращенного на грунте с добавлением ОГБ.

Значения АРА экстракта укропа составили $27,8 \pm 1,2 \%$ и $35,3 \pm 2,5 \%$ для контроля

и грунта с добавлением ОГБ, соответственно. Для сравнения – раствор аскорбиновой кислоты, взятой в эквивалентной концентрации по отношению к водному экстракту, за 30 мин полностью ингибирует ДФПГ.

Изучено также наличие антирадикальных свойств у водного экстракта грибов шиитакэ, выращенных в лабораторных условиях. Экстрагирование порошка грибов шиитакэ горячей водой позволяет получить экстракт, богатый водорастворимыми полисахаридами, связанными с белком и состоящими из глюкозных, маннозных, арабинозных и галактозных остатков, которые предположительно могут обладать антирадикальными свойствами. В модельной реакции с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалом АРА водного экстракта грибов составила $16,1 \pm 2,2 \%$.

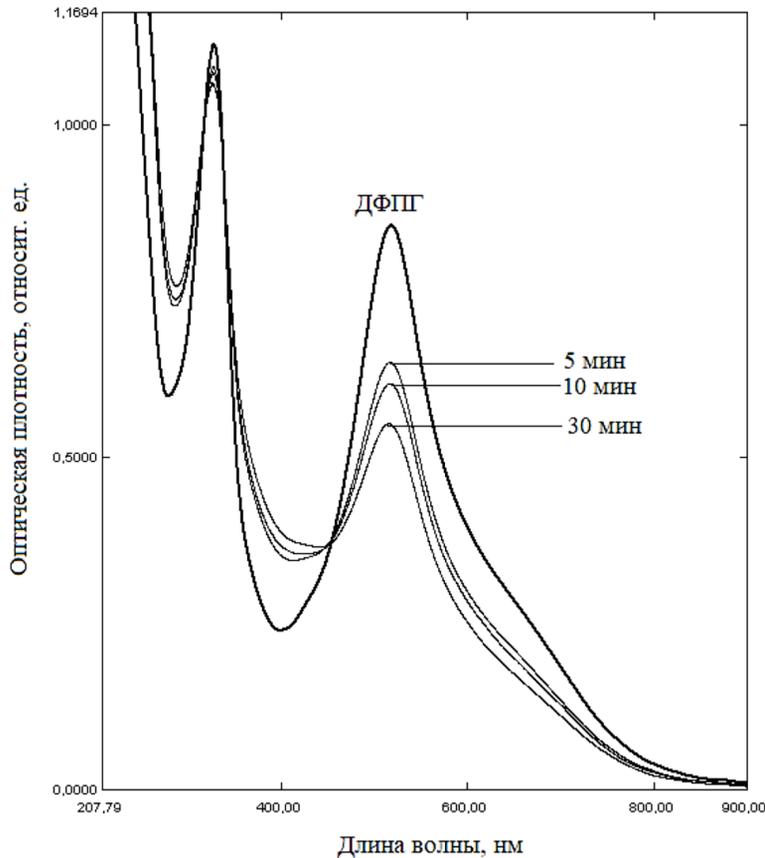


Рис. 5. Электронный спектр поглощения радикала ДФПГ (верхняя линия) и динамика его изменения через 5, 10 и 30 мин после добавления 20 мкл водного экстракта укропа

Fig. 5. The electronic absorption spectrum of the DPPH radical (upper line) and the dynamics of its change after the addition of 20 μ l of aqueous dill extract for 5, 10 and 30 minutes

Закключение

Изучено влияние отработанного грибного блока, содержащего опилки, на морфометрические показатели укропа. Добавление даже 10 % ОГБ от массы грунта позволяет ускорить срок прорастания семян и получить большее количество зеленой массы.

В варианте с применением ОГБ изменилось процентное соотношение компонентов эфирного масла при сохранении его качественного состава, что в свою очередь влияет на аромат выращенной зелени. В случае

укропа снижение содержания карвона (меньше 40 %) и повышение количества лимонена позволит применять эфирное масло для ароматизации помещений.

Антирадикальная активность зелени укропа, выращенного на грунте с ОГБ, возрастает в 1,3 раза, по сравнению с контролем. Регулярное употребление в пищу такого укропа позволит уменьшить развивающийся в неблагоприятных экологических условиях окислительный стресс организма, связанный с накоплением в нем большого количества свободных радикалов.

Список литературы / References

Борзунова А. Г., Зиновьева И. С. (2012) Комплексная переработка древесного сырья. Утилизация древесных отходов. *Успехи современного естествознания*, 4: 180–181 [Borzunova A. G., Zinovieva I. S. (2012) Complex processing of raw wood materials. Wood waste disposal. *Advances in Current Natural Sciences* [Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya], 4: 180–181 (in Russian)]

Запрометов М. Н. (1974) *Основы биохимии фенольных соединений*. Москва, Высшая школа, 214 с. [Zaprometov M. N. (1974) *Fundamentals of phenolic compound biochemistry*. Moscow, Vysshaya shkola, 214 p. (in Russian)]

Зимняков В. М., Ильина Г. В., Ильин Д. Ю. (2022) Производство грибов в России. *Сурский вестник*, 1: 69–74 [Zimnyakov V. M., Ilyina G. V., Ilyin D. Yu. (2022) Mushroom production in Russia. *Surskiy Bulletin* [Surskii vestnik], 1: 69–74 (in Russian)]

Зотов Н. С. (2018) Проблема с отходными материалами деревообработки. *Молодой ученый*, 1: 16–17 [Zotov N. S. (2018) The problem of woodworking waste management. *Young Scientist* [Molodoi uchenyi], 1: 16–17 (in Russian)]

Иванов А. И., Корягин Ю. В., Анохин Р. В. (2015) Использование отработанного субстрата в качестве органического удобрения – важнейшее звено безотходной технологии выращивания грибов. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, 5: 120–128 [Ivanov A. I., Korjagin Yu. V., Anokhin R. V. (2015) Using waste substrate as organic fertiliser – the most important link of recycling technology of mushrooms growing. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus* [XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus], 5: 120–128 (in Russian)]

Кондратюк Т. А., Зыкова И. Д. (2013) Эфирные масла пряно-вкусовых растений. *Успехи современного естествознания*, 9: 135–139 [Kondratyuk T. A., Zyкова I. D. (2013) Essential oils from spicy flavoring plants. *Successes of modern natural science* [Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya], 9: 135–139 (in Russian)]

Клышев Л. К., Бандюкова В. А., Алюкина Л. С. (1978) *Флавоноиды растений (распространение, физико-химические свойства, методы исследования)*. Алма-Ата, Наука, 220 с. [Klyshev L. K., Bandyukova V. A., Alukina L. S. (1978) *Plant flavonoids (distribution, physico-chemical properties, research methods)*. Alma-Ata, Nauka, 220 p. (in Russian)]

Кулагина Т. А., Писарева Е. Н., Слабодчикова Д. В., Ушакова В. В. (2009) Рациональное использование отходов на примере деревообрабатывающего предприятия. *Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ)*, 14(6): 105–112 [Kulagina T. A., Pisareva E. N., Slabodchikova D. V., Ushakova V. V. (2009) A woodworking enterprise as a positive example of waste management. *Bulletin of the International Academy of Environmental Sciences and Life Safety (MANEB)* [Vestnik Mezhdunarodnoi akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti (MANEB)], 14(6): 105–112 (in Russian)]

Кулагина Т. А., Хаглеев П. Е., Зайцева Е. Н. (2021) *Обращение с промышленными и особо опасными отходами*. Красноярск, Сибирский федеральный университет, 512 с. [Kulagina T. A., Hagleev P. E., Zaitseva E. N. (2021) *Industrial and highly hazardous waste management*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 512 p. (in Russian)]

Лазарева Т. Г., Александрова Е. Г. (2017) Производство грибов в России: основные проблемы и перспективы. *Успехи современной науки и образования*, 5(4): 181–184 [Lazareva T. G.,

Alexandrova E. G. (2017) Mushroom production in Russia: Issues and prospects. *Advances in Modern Science and Education* [Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovaniya], 5(4): 181–184 (in Russian)]

Пушкина Г. П., Маланкина Е. Л., Тхаганов Р. Р., Морозов А. И. (2010) Эффективность применения регуляторов роста и микроудобрений на эфирномасличных культурах. *Достижения науки и техники АПК*, 7: 17–19 [Pushkina G. P., Malankina E. L., Tkhaganov R. R., Morozov A. I. (2010) Effectiveness of growth regulators and microfertilizers application on essential-oil crops. *Achievements of Science and Technology of AIC* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK], 7: 17–19 (in Russian)]

Ткачев А. В. (2008) *Исследование летучих веществ растений*. Новосибирск, Наука, 969 с. [Tkachev A. V. (2008) *Research into volatile plant substances*. Novosibirsk, Nauka, 969 p. (in Russian)]

Шелепова О. В., Хуснетдинова Т. И. (2018) Влияние применения регуляторов роста на компонентный состав эфирного масла надземной массы и плодов укропа пахучего. *Химия растительного сырья*, 1: 217–220 [Shelepova O. V., Husnetdinova T. I. (2018) The effect of the use of growth regulators on the component composition of essential oil of the tops and seeds of *Anethum graveolens* L. *Chemistry of Plant Raw Material* [Khimija rastitel'nogo syr'ja], 1: 217–220 (in Russian)]

Шлобин Л. А., Таразевич А. А. (2017) Проблема отходов лесопильного производства и пути ее решения. *NovaInfo*, 1(62): 75–79 [Shlobin L. A., Tarazevich A. A. (2017) Solutions for sawmill waste problems. *NovaInfo*, 1(62): 75–79 (in Russian)]

Adams R. P. (2007) *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*. 4th Edition. Carol Stream, Allured Publishing Corporation, 804 p.

Ahn B. J., Chang H.-S., Lee S. M., Choi D. H., Cho S. T., Han G.-S., Yang I. (2014) Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Renewable Energy*, 62: 18–23

Grimm D., Wösten H. A. B. (2018) Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18): 7795–7803

Misharina T. A., Alinkina E. S., Medvedeva I. B. (2015) Antiradical properties of essential oils and extracts from clove bud and pimento. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 51(1): 119–124

Molyneux P. (2004) The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2): 211–219

Siyal A. A., Liu Y., Mao X., Ali B., Husaain S., Dai J., Zhang T., Fu J., Liu G. (2021) Characterization and quality analysis of wood pellets: effect of pelletization and torrefaction process variables on quality of pellets. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5): 2201–2217

Zhigzhitzhapova S. V., Dylenova E. P., Gulyaev S. M., Randalova T. E., Taraskin V. V., Tykheev Z. A., Radnaeva L. D. (2020) Composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia annua* L. *Natural Product Research*, 34(18): 2668–2671