

УДК 582.29

ВЛИЯНИЕ АЦЕТОНОВОГО ЭКСТРАКТА ИЗ НЕКОТОРЫХ ЛИХЕНИЗИРОВАННЫХ ГРИБОВ НА РОСТОВУЮ АКТИВНОСТЬ *POPULUS TREMULA* L. IN VITRO

© Д.Н. Зонтиков¹, С.А. Зонтикова¹, К.В. Малахова¹, А.В. Канарский², А.А. Тимаков³, Р.В. Сергеев^{3*}

¹ Костромской государственной университет, ул. Дзержинского, 17, Кострома, 156005 (Россия)

² Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, 420015 (Россия)

³ Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, 424000 (Россия), e-mail: sergeev_rv@mail.ru

В статье приводятся результаты изучения влияния экстрактов эпигейных лишенизированных грибов в концентрациях от 10 до 50 мг/л на активность ростовых процессов, геммогенез и ризогенез хозяйственно-ценного вида *Populus tremula* L. при культивировании в условиях *in vitro*. Сырьем для выделения ацетонового экстракта служили эпигейные и эпифитные лишенизированные грибы: *Cetraria islandica* (L.) Ach. семейства *Parmeliaceae* порядка *Lecanorales* отдела *Lecanoromycetes* и *Evernia mesomorpha* Nyl. – семейства *Parmeliaceae* порядка *Lecanorales* класса *Lecanoromycetes*. В качестве растворителя при экстракции лишайниковых кислот из измельченного сырья талломов использовали ацетон. При влиянии аллелопатического воздействия ацетонового экстракта *C. islandica* и *E. mesomorpha* на активность ростовых процессов и ризогенез *P. tremula* нами исследовались концентрации экстракта 10, 30 и 50 мг/л питательной среды. В результате было установлено, что концентрация экстракта 10 мг/л приводит к увеличению длины микропобега и активизации процессов геммо- и ризогенеза по сравнению с контролем при отсутствии гибели эксплантов. Достоверные различия были получены в варианте при использовании ацетонового экстракта *C. islandica*.

Ключевые слова: лишенизированные грибы, ацетоновый экстракт, *Cetraria islandica*, *Evernia mesomorpha*, экстракт лишайников, ризогенез, *Populus tremula*, культура *in vitro*.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-674) и Центром коллективного пользования «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола.

Введение

Лишенизированные грибы или лишайники (*Lichenes*) – это симбионтные организмы, состоящие из микобионтного и фотобионтного компонента. Большинство микобионтов относятся к отряду *Ascomycota*, а фотобионты отделами *Cyanobacteria* и *Chlorophyta*. Из лишайников выделено большое количество вторичных метаболитов, основные сферы их предполагаемого применения, это использование их в качестве противоопухолевых, антиоксидантных и антибактериальных веществ [1]. Вместе с тем разнообразие соединений, которые выделены из талломов лишайников, в настоящее время их насчитывается более 800 [2–4], пред-

Зонтиков Дмитрий Николаевич – старший научный сотрудник, доцент кафедры биологии и экологии, кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: zontikovdn@mail.ru

Зонтикова Светлана Анатольевна – доцент кафедры биологии и экологии, кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: antennaria@mail.ru

полагает более широкие возможности их использования. В частности, фенольные соединения, входящие в состав лишайников, могут отдавать водород свободным радикалам и тем самым останавливать цепную реакцию окисления липидов на начальной стадии. Эта способность фенольных со-

Окончание на С. 264.

* Автор, с которым следует вести переписку.

единений удалять радикалы обусловлена наличием в них фенольных гидроксильных групп [5], этим же определяется их способность улавливать свободные радикалы, такие как синглетный кислород, супероксидные и гидроксильные радикалы [6].

Достаточно часто для исследований используется ацетоновый экстракт [7, 8], методика его получения проста и позволяет сравнительно быстро подготовить необходимые для работы объемы. Его использование оправдано, когда необходимо установить возможные сферы воздействия составляющих экстракта на живые организмы различного уровня, кроме того, в ряде работ был показан синергетический антиоксидантный эффект действия выделенных кислот, например, комбинации усниновой кислоты и пинастровой кислоты [9]. В частности, исследования последних лет показали антимикробное действие, когда для каждого вида микроорганизма имеется свой набор антибактериальных веществ в определенной концентрации [10]. Таким образом, использование ацетонового экстракта, который рассматривается как комплекс кислот, на наш взгляд, является перспективным подходом в изучении влияния экстракта на физиологию растительных организмов.

В настоящее время имеются данные о влиянии, прежде всего, усниновой кислоты на прорастание семян [11], развитие корневой системы проростков [12] рост зрелых растений [13–15]. Вместе с тем малоисследованным остается аллелопатическое воздействие других вторичных метаболитов лишенизированных грибов, таких как атранорин, пинастровая, протоцеттаровая и фумаропротоцеттаровая кислоты [16]. Также без внимания остается вопрос влияния многокомпонентных экстрактов лишенизированных грибов на ростовые процессы, в которых, исходя из литературных данных, возможно проявление совместного эффекта входящих в экстракт соединений на физиологию растительных объектов.

Исходя из этого, цель нашего исследования – оценить изменение прохождения ростовых процессов у растений-регенерантов *Populus tremula* L. на питательных средах с различной концентрацией ацетонового экстракта, выделенного из *Cetraria islandica* (L.) Ach. и *Evernia mesomorpha* Nyl. в культуре *in vitro*.

Материалы и методы

Материалом для получения ацетонового экстракта лишенизированных грибов послужили талломы *C. islandica* и *E. mesomorpha*, собранные в весенний период (апрель) в сосняке-беломошнике (координаты 57°588286 с.ш., 41°110869 в.д.) и сосняке-зеленомошнике (координаты 57°602975 с.ш., 41°141854 в.д.) Красносельского района Костромской области соответственно. *C. islandica* – вид кустистых эпигейных лишенизированных грибов семейства *Parmeliaceae* порядка *Lecanorales* отдела *Lecanoromycetes*. *E. mesomorpha* – вид кустистых эпифитных лишайников семейства *Parmeliaceae* порядка *Lecanorales* класса *Lecanoromycetes*.

После сбора талломы очищались от субстрата, представляющего собой супесчаный грунт в случае эпигейного лишайника *C. islandica* и фрагменты коры ствола *Betula pendula* Roth в случае эпифитного лишайника *E. mesomorpha*, с целью более оптимального извлечения вторичных метаболитов талломы измельчались лабораторным пробкорезом с диаметром отверстия 5 мм, после чего сырье доводилось при температуре 60 °С до воздушно-сухого состояния в сухожаровом лабораторном шкафу ШС-80-01 (СКТБ СПУ, Россия) в течение 48 ч.

Одним из наименее освещенных в научной литературе вопросом является методика извлечения вторичных метаболитов из талломов лишайников растворителями. Известно, что вторичные метаболиты лишенизированных грибов, и усниновая кислота в частности, являются соединениями липофильной природы, в соответствии с чем наиболее оптимальным для их извлечения может быть ацетон как неполярный растворитель [17]. В основном имеются лишь упоминания о массовой концентрации дегидратированных измельченных талломов и растворителя (ацетона и метанола) [18], а также сведения о мацерации измельченных талло-

Малахова Ксения Вячеславовна – аспирант,
e-mail: malakhova.kv1@gmail.com

Канарский Альберт Владимирович – профессор кафедры
«Пищевой инженерии малых предприятий», доктор
технических наук, e-mail: alb46@mail.ru

Тимаков Алексей Александрович – аспирант, ассистент
кафедры «Пищевой инженерии малых предприятий»,
e-mail: timach@mail.ru

Сергеев Роман Владимирович – доцент кафедры лесной
селекции недревесных ресурсов и биотехнологии,
кандидат сельскохозяйственных наук,
e-mail: sergeev_rv@mail.ru

ломов в растворителе (ацетоне) в условиях комнатной температуры с последующим осаждением усниновой кислоты при помощи метанола [19]. Однако метод [19] описан исключительно для извлечения усниновой кислоты из талломов *Usnea* sp. Цель же нашего исследования предполагает изучение комплексного влияния ацетонорастворимых вторичных метаболитов лишенизированных грибов на ростовые процессы растений-регенерантов.

В нашем исследовании мы придерживались следующей методики получения ацетонового экстракта из талломов. Экстракт получали отдельно из талломов *C. islandica* и *E. mesomorpha*. Масса измельченного воздушно-сухого сырья (талломов) и объем ацетона составляло 1 : 25; экстрагирование производили в кипящем растворителе в течение 40 мин. После фильтрации экстракт упаривали до объема 20 мл и помещали в холодильный шкаф (Атлант 4009-000, Беларусь) (5 °С, 72 ч). Затем осадок центрифугировали на центрифуге MINISPIN (EPPENDORF, Германия) в микропробирках Эппендорфа объемом 1.5 мл при 13000 об./мин. в течение 40 сек, надосадочную жидкость сливали, осадок высушивали в сухожаровом лабораторном шкафу (80 °С, 4 ч). Полученный высушенный экстракт использовали для добавления в состав питательной среды с целью дальнейшего исследования ростовых процессов растений-регенерантов.

В качестве модельного объекта для исследования влияния ацетонового экстракта лихенизированных грибов *C. islandica* и *E. mesomorpha* на ростовые процессы высших растений нами был использован введенный в культуру *in vitro* растительный материал триплоидных форм *P. tremula*, технология клонального микроразмножения которых ранее была разработана и оптимизирована [20]. В качестве контроля был использован апробированный для этапа микрочеренкования данной культуры состав питательной среды по прописи Мурасиге-Скуга (MS) [21] без добавления регуляторов роста. С целью исследования влияния экстракта лихенизированных грибов на ростовые процессы растений-регенерантов *P. tremula* в описанный состав питательной среды мы добавляли ацетоновые экстракты, полученные из талломов *C. islandica* и *E. mesomorpha* в следующих концентрациях: 10, 30, 50 мг экстракта на литр питательной среды в трехкратной повторности на каждую концентрацию экстракта каждого вида. Культивирование производили в пластиковых контейнерах (объем 1000 мл) на лабораторных стеллажах при температуре 20–25 °С, интенсивности света 1500 люкс и световом режиме 16 ч (день)/8 ч (ночь). В один культуральный сосуд на питательную среду помещали по 100 микрочеренков *P. tremula*.

Прохождение ростовых процессов растений-регенерантов *P. tremula* оценивали на 35 сутки культивирования по следующим параметрам: длина микропобега, количество узлов, коэффициент размножения. Ризогенез оценивали на 45 сутки субкультивирования микропобегов по критериям: время начала ризогенеза, количество укорененных микропобегов, средняя длина корня.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования влияния ацетонового экстракта эпигейных лихенизированных грибов видов *C. islandica* и *E. mesomorpha* на активность ростовых процессов, нами изучались длина микропобегов, количество образовавшихся узлов, коэффициент размножения и количество погибших побегов. Результаты по влиянию изученного нами экстракта на ростовые процессы *P. tremula* показаны в таблице 1.

В соответствии с полученными результатами мы можем наблюдать изменение ростовых показателей у микропобегов *P. tremula*. В варианте с ацетоновым экстрактом *C. islandica* в концентрации 10 мг/л было выявлено достоверное увеличение средних показателей по количеству узлов в микропобеге (показатель, влияющий на коэффициент размножения). Также отмечено в данном варианте опыта увеличение длины микропобегов (рис. 1, 2). В других вариантах нами отмечалось либо отсутствие достоверных изменений, при использовании концентрации в 10 мг/л, либо негативное влияние, вплоть до гибели $51.2 \pm 2.4\%$ эксплантов при концентрации 50 мг/л экстракта *E. mesomorpha*.

Также нами проводились исследования влияния концентраций экстракта, полученного из лихенизированных грибов видов *C. islandica* и *E. mesomorpha*, на ризогенез *P. tremula* в культуре *in vitro*. Результаты оценивали по скорости начала корнеобразования, количеству укоренившихся микропобегов и длине корней (табл. 2). В ходе опыта установлено, что добавление в состав питательной среды 10 мг/л экстракта *C. islandica* приводит к увеличению скорости роста и длины главного корня у микропобегов *P. tremula*.

Исходя из данных таблицы 2, мы можем наблюдать выраженное положительное влияние экстракта эпигейных лихенизированных грибов в концентрации 10 мг/л на ризогенез *P. tremula*. Так, по сравнению с контрольным вариантом, ризогенез в варианте с экстрактом *C. islandica* в концентрации 10 мг/л наблюдали уже на 20 ± 2.2 сутки. Таким образом, экстракт эпигейных лишайников в концентрации 10 мг/л среды оказывает стимулирующее воздействие на ризогенез *P. tremula* в условиях *in vitro* (рис. 3).

Характерной особенностью при культивировании микропобегов *P. tremula* на питательной среде с добавлением экстракта лихенизированных грибов *C. islandica* и *E. mesomorpha* явилось увеличение длины

микроробота, количество узлов, а также интенсивность роста корней, что может свидетельствовать о наличии в экстракте соединений гормоноподобного действия. Подтверждением этого могут служить данные, полученные в ходе исследований авторами Epstein E., Sagee O., Cohen J., Garty J.: в своей работе они сообщали об эндогенной продукции ауксина у лишайника *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. [22]. В настоящее время большинство исследователей сходятся в таком мнении, что лишайники представляют собой очень медленно растущие симбиотические ассоциации, и, вероятно, существуют тонкие сигналы и механизмы, контролируемые взаимный рост симбиотических партнеров [23].

Таблица 1. Влияние ацетонового экстракта эпигейных лишайников видов *Cladonia arbuscula* и *Evernia prunastri* на активность ростовых процессов *P. tremula* в условиях *in vitro*, оценку проводили через 35 суток культивирования

Вид лишайника	Концентрация экстракта, мг/л среды	Длина микроробота, мм		Количество узлов, шт.		Количество погибших побегов, %	
		M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %
Контроль	0	49±2.7	13.2	4.5±1.4	6.5	0	0
<i>C. islandica</i>	10	58±4.2	14.6	5.2±1.2 ^a	7.6	0	0
	30	42±5.4	9.1	3.6±1.5 ^a	8.2	18.4±1.5	8.5
	50	22±8.8	8.7	2.3±0.8	9.2	49.3±2.3	11.3
<i>E. mesomorpha</i>	10	54±6.4 ^a	10.2	4.9±1.2 ^a	12.5	0	0
	30	38±4.9	7.8	3.2±0.8 ^a	5.4	12.3±3.1	8.0
	50	25±5.3	8.2	2.1±0.8	6.2	51.2±2.4	7.5

Примечание. Данные представлены в виде среднего арифметического ± ошибка среднего (SEM). 1 – доверительный интервал на основе t-распределения Стьюдента при уровне значимости 0.05; 2 – значения в столбце, отмеченные буквой – а, не имеют существенного различия на 5% уровне значимости ($P \leq 0.05$) согласно t-критерию Стьюдента.



Рис. 1. Микророботы *P. tremula* через 30 сут. культивирования. С правой стороны на питательной среде с 10 мг/л ацетоновым экстрактом *C. islandica*, слева контрольный вариант



Рис. 2. *P. tremula* в культуре *in vitro* с различной концентрацией ацетонового экстракта *E. mesomorpha*: 1 – 10 мг/л, 2 – 30 мг/л, 3 – 50 мг/л

Таблица 2. Влияние ацетонового экстракта эпигейных лишайников видов грибов *Cladonia arbuscula* и *Evernia prunastri* на ризогенез *P. tremula* в культуре *in vitro*, оценку проводили на 45 сутки субкультивирования

Вид лишайника	Концентрация экстракта, мг/л среды	Начало ризогенеза, сутки		Количество укорененных микророботов, %		Средняя длина главного корня, мм	
		M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %
Контроль	0	29±1.5	5.6	84±2.3	7.5	26±2.6	12.1
<i>C. islandica</i>	10	20±2.2	4.7	90±2.1 ^a	6.8	31±3.2 ^a	9.8
	30	32±2.4	7.8	76±1.5	9.7	18±1.4	7.5
	50	46±4.3	12.7	67±1.2	14.5	13±2.3	5.9
<i>E. mesomorpha</i>	10	24±4.0	7.4	88±2.2	6.9	28±2.1 ^a	7.8
	30	35±3.1	7.6	79±1.4 ^a	7.4	20±3.3	9.6
	50	40±3.3	10.3	75±2.0	8.3	16±1.9	8.4

Примечание. Данные представлены в виде среднего арифметического ± ошибка среднего (SEM). 1 – доверительный интервал на основе t-распределения Стьюдента при уровне значимости 0.05; 2 – значения в столбце, отмеченные буквой – а, не имеют существенного различия на 5% уровне значимости ($P \leq 0.05$) согласно t-критерию Стьюдента.



А

Б

Рис. 3. Ризогенез микропобегов *P. tremula*: А – 10 мг/л, Б – 50 мг/л

Ввиду наличия в талломах рассмотренных нами видов эпигейных лихенизированных грибов экстракта вторичных метаболитов, спектр применения которых достаточно широк, мы считаем целесообразным изучать вопрос получения данных соединений при культивировании как компонентов лихенизированных грибов, так и их ассоциаций в условиях *in vitro* [24].

Выводы

В ходе данного исследования было выявлено положительное воздействие ацетоновых экстрактов талломов лихенизированных грибов *C. islandica* и *E. mesomorpha* на активность ростовых процессов микропобегов *P. tremula* и их ризогенез при концентрации экстракта 10 мг/л питательной среды в условиях *in vitro*. Положительное воздействие выражалось в увеличении длины микропобегов и количества образовавшихся на микропобеге узлов по сравнению с контролем и при отсутствии погибших эксплантов. Влияние на ризогенез проявлялось в сокращении времени начала появления корней, а также в увеличении процента укорененных микропобегов и увеличении средней длины корня по сравнению с контролем. Полученные данные проливают свет на комплексное воздействие лишайниковых кислот в составе ацетонового экстракта на морфо- и ризогенез растительных объектов, в частности, хозяйственно-ценного вида *P. tremula*, что может быть использовано как в перспективе дальнейших исследований синергетического влияния комплекса лишайниковых кислот на другие культуры, так и при получении посадочного материала данного вида.

Список литературы

1. Felczykowska A., Pastuszek-Skrzypczak A., Pawlik A., Bogucka K., Herman-Antosiewicz A., Guzew-Krzemińska B. Antibacterial and anticancer activities of acetone extracts from *in vitro* cultured lichen-forming fungi // BMC Complement Altern Med. 2017. Vol. 17. N1. P. 300. DOI: 10.1186/s12906-017-1819-8.
2. Moreira A.S.N., Braz-Filho R., Mussi-Dias V., Vieira I.J.C. Chemistry and Biological Activity of Ramalina Lichenized Fungi // Molecules. 2015. Vol. 20. Pp. 8952–8987. DOI: 10.3390/molecules20058952.
3. Oksanen I. Ecological and biotechnological aspects of lichens // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2006. Vol. 73. Pp. 723–734.
4. Huneck S., Yoshimura I. Identification of Lichen Substances. Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1996. P. 493. DOI: 10.1007/978-3-642-85243-5.
5. Sawa T., Nakao M., Akaike T., Ono K., Maeda H. Alkylperoxyl radical-scavenging activity of various flavonoids and other phenolic compounds: implications for the anti-tumor-promoter effect of vegetables // J. Agric Food Chem. 1999. Vol. 47. N2. Pp. 397–402.
6. Shanab S.M., Shalaby E.A., El-Fayoumy E.A. Enteromorpha compressa exhibits potent antioxidant activity // J. Biomed. Biotechnol. 2011. Vol. 5. Article 726405. DOI: 10.3390/molecules22040651.
7. Millot M., Girardot M., Dutreix L., Mambu L., Imbert C. Antifungal and Anti-Biofilm Activities of Acetone Lichen Extracts against *Candida albicans* // Molecules. 2017. Vol. 22. P. 651.
8. Srivastava P., Upreti D., Dhole T., Srivastava A., Meghanand T. Antimicrobial Property of Extracts of Indian Lichen against Human Pathogenic Bacteria // Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases. 2013. P. 6. DOI: 10.1155/2013/709348.
9. Legouin B., Lohézic-Le Dévéhat F., Ferron S. Specialized Metabolites of the Lichen *Vulpicida pinastri* Act as Photoprotective Agents // Molecules. 2017. Vol. 22. N7. P. 1162. DOI: 10.3390/molecules22071162.
10. Manojlovic N., Vasiljevic P., Maskovic P., Juskovic M., Bogdanovic-Dusanovic G. Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of Lichen *Umbilicaria cylindrica* (L.) Delise (Umbilicariaceae) // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2012. P. 8. DOI: 10.1155/2012/452431.

11. Cardarelli M., Serino G., Campanella L. Antimitotic effects of usnic acid on different biological systems // Cell. Mol. Life Sci. 1997. Vol. 53. Pp. 667–672. DOI: 10.1007/s000180050086.
12. Lascève G., Gaugain F. Effects of Usnic Acid on Sunflower and Maize Plantlets // J. Plant Physiol. 1990. Vol. 136. Pp. 723–727. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81352-0.
13. Latkowska E., Lechowski Z., Bialczyk J., Pilarski J. Photosynthesis and Water Relations in Tomato Plants Cultivated Long-Term in Media Containing (+)-Usnic Acid // Journal of chemical ecology. 2006. Vol. 32. Pp. 2053–2066. DOI: 10.1007/s10886-006-9128-6.
14. Lechowski Z., Latkowska E., Bialczyk J. Accumulation of biomass and some macroelements in tomato plants grown in media with (+)-usnic acid // Environmental and Experimental Botany. 2006. Vol. 56. Pp. 239–244. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.03.001.
15. Orús M., Estévez M., Vicente C. Manganese depletion in chloroplasts of *Quercus roundifolia* during chemical simulation of lichen epiphytic states // Physiologia Plantarum. 2006. Vol. 52. Pp. 263–266. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1981.tb08503.x.
16. Подтероб А.П. Химический состав лишайников и их медицинское применение // Химико-фармацевтический журнал. Лекарственные растения. 2008. Т. 42. №10. С. 32–38. DOI: 10.30906/0023-1134-2008-42-10-32-38.
17. Londone P., Sanchez-Robinet C., Alvarez-Guzman G. In vitro antibacterial, antioxidant and cytotoxic activity of methanol-acetone extracts from Antarctic lichens (*Usnea antarctica* and *Usnea aurantiaco-atra*) // Polar Science. 2019. P. 22. DOI: 10.1016/j.polar.2019.08.003.
18. Reinoso B., Rodríguez-González I., Domínguez H. Towards greener approaches in the extraction of bioactives from lichens // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2021. P. 20. DOI: 10.1007/s11157-021-09595-9.
19. Bachtiar E., Hermawati E., Juliawaty L., Syah Y. Antibacterial properties of usnic acid against vibriosis // Research Journal of Chemistry and Environment. 2020. Vol. 24. Pp. 100–101.
20. Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Сергеев Р.В. Размножение высокопродуктивных диплоидных и триплоидных форм осины (*Populus tremula* L.) в культуре in vitro // Агрехимия. 2016. Т. 7. С. 59–65.
21. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. Pp. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
22. Epstein E., Sagee O., Cohen J.D., Garty J. Endogenous auxin and ethylene in the lichen *Ramalina duriaei* // Plant Physiol. 1986. Vol. 82. Pp. 1122–1125.
23. Wang X.Y., Wei X.L., Luo H. Plant hormones promote growth in lichen-forming fungi // Mycobiology. 2010. Vol. 38. N3. Pp. 176–179. DOI: 10.4489/MYCO.2010.38.3.176.
24. Behera B., Verma N., Sonone A., Makhija U. Experimental studies on the growth and usnic acid production in “lichen” *Usnea ghattensis* in vitro // Microbiological research. 2006. Vol. 161. Pp. 232–237. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.006.

Поступила в редакцию 20 мая 2022 г.

После переработки 7 сентября 2022 г.

Принята к публикации 20 декабря 2022 г.

Для цитирования: Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Малахова К.В., Канарский А.В., Тимаков А.А., Сергеев Р.В. Влияние ацетонового экстракта из некоторых лишенизированных грибов на ростовую активность *Populus tremula* L. in vitro // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 263–269. DOI: 10.14258/jcrpm.20230211386.

Zontikov D.N.¹, Zontikova S.A.¹, Malakhova K.V.¹, Kanarskiy A.V.², Timakov A.A.³, Sergeev R.V.^{3*} INFLUENCE OF ACETONE EXTRACT FROM SOME LICHENIZED FUNGI ON THE GROWTH ACTIVITY OF *POPULUS TREMULA* L. IN VITRO

¹ Kostroma State University, ul. Dzerzhinskogo, 17, Kostroma, 156005 (Russia)

² Kazan National Research Technological University, st. Karla Marksa, 68, 420015 (Russia)

³ Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, 424000 (Russia), e-mail: sergeev_rv@mail.ru

The article presents the results of studying the effect of extracts of epigeic lichenized fungi in concentrations from 10 to 50 mg/l on the activity of growth processes, gemmogenesis and rhizogenesis of the economically valuable species *Populus tremula* L. when cultivated in vitro. Epigeic and epiphytic lichenized fungi served as raw materials for the isolation of the acetone extract: *Cetraria islandica* (L.) Ach. families *Parmeliaceae* of the order *Lecanorales* of the department *Lecanoromycetes* and *Evernia mesomorpha* Nyl. – families *Parmeliaceae* of the order *Lecanorales* of the class *Lecanoromycetes*. Acetone was used as a solvent in the extraction of lichen acids from crushed raw materials of thalli. Under the influence of the allelopathic effect of the acetone extract of *C. islandica* and *E. mesomorpha* on the activity of growth processes and rhizogenesis of *P. tremula*, we studied the extract concentrations of 10, 30, and 50 mg/l of the nutrient medium. As a result, it was found that the concentration of the extract of 10 mg/l leads to an increase in the length of the microshoot and activation of the processes of gemmogenesis and rhizogenesis compared to the control in the absence of explant death. Significant differences were obtained in the variant using the acetone extract of *C. islandica*.

Keywords: lichenized fungi, acetone extract, *Cetraria islandica*, *Evernia mesomorpha*, lichen extract, rhizogenesis, *Populus tremula*, in vitro culture.

References

1. Felczykowska A., Pastuszek-Skrzypczak A., Pawlik A., Bogucka K., Herman-Antosiewicz A., Guzew-Krzemińska B. *BMC Complement Altern Med.*, 2017, vol. 17, no. 1, p. 300. DOI: 10.1186/s12906-017-1819-8.
2. Moreira A.S.N., Braz-Filho R., Mussi-Dias V., Vieira I.J.C. *Molecules*, 2015, vol. 20, pp. 8952–8987. DOI: 10.3390/molecules20058952.
3. Oksanen I. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2006, vol. 73, pp. 723–734.
4. Huneck S., Yoshimura I. *Identification of Lichen Substances*. Springer-Verlag: Berlin, Germany, 1996, p. 493. DOI: 10.1007/978-3-642-85243-5.
5. Sawa T., Nakao M., Akaike T., Ono K., Maeda H. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, vol. 47, no. 2, pp. 397–402.
6. Shanab S.M., Shalaby E.A., El-Fayoumy E.A. *J. Biomed. Biotechnol.*, 2011, vol. 5, article 726405. DOI: 10.3390/molecules22040651.
7. Millot M., Girardot M., Dutreix L., Mambu L., Imbert C. *Molecules*, 2017, vol. 22, p. 651.
8. Srivastava P., Upreti D., Dhole T., Srivastava A., Meghanand T. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2013, p. 6. DOI: 10.1155/2013/709348.
9. Legouin B., Lohézic-Le Dévéhat F., Ferron S. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 7, p. 1162. DOI: 10.3390/molecules22071162.
10. Manojlovic N., Vasiljevic P., Maskovic P., Juskovic M., Bogdanovic-Dusanovic G. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, p. 8. DOI: 10.1155/2012/452431.
11. Cardarelli M., Serino G., Campanella L. *Cell. Mol. Life Sci.*, 1997, vol. 53, pp. 667–672. DOI: 10.1007/s000180050086.
12. Lascève G., Gaugain F. *J. Plant Physiol.*, 1990, vol. 136, pp. 723–727. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81352-0.
13. Latkowska E., Lechowski Z., Bialczyk J., Pilarski J. *Journal of chemical ecology*, 2006, vol. 32, pp. 2053–2066. DOI: 10.1007/s10886-006-9128-6.
14. Lechowski Z., Latkowska E., Bialczyk J. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, vol. 56, pp. 239–244. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.03.001.
15. Orús M., Estévez M., Vicente C. *Physiologia Plantarum*, 2006, vol. 52, pp. 263–266. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1981.tb08503.x.
16. Podterob A.P. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal. Lekarstvennyye rasteniya*, 2008, vol. 42, no. 10, pp. 32–38. DOI: 10.30906/0023-1134-2008-42-10-32-38. (in Russ.).
17. Londone P., Sanchez-Robinet C., Alvarez-Guzman G. *Polar Science*, 2019, p. 22. DOI: 10.1016/j.polar.2019.08.003.
18. Reinoso B., Rodríguez-González I., Domínguez H. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2021, p. 20. DOI: 10.1007/s11157-021-09595-9.
19. Bachtiar E., Hermawati E., Juliawaty L., Syah Y. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 2020, vol. 24, pp. 100–101.
20. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Sergeev R.V. *Agrokhimiya*, 2016, vol. 7, pp. 59–65. (in Russ.).
21. Murashige T., Skoog F. *Physiol. Plant*, 1962, vol. 15, pp. 473–497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
22. Epstein E., Sager O., Cohen J.D., Garty J. *Plant Physiol.*, 1986, vol. 82, pp. 1122–1125.
23. Wang X.Y., Wei X.L., Luo H. *Mycobiology*, 2010, vol. 38, no. 3, pp. 176–179. DOI: 10.4489/MYCO.2010.38.3.176.
24. Behera B., Verma N., Sonone A., Makhija U. *Microbiological research*, 2006, vol. 161, pp. 232–237. DOI: 10.1016/j.micres.2005.08.006.

Received May 20, 2022

Revised September 7, 2022

Accepted December 20, 2022

For citing: Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malakhova K.V., Kanarskiy A.V., Timakov A.A., Sergeev R.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 263–269. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211386.

* Corresponding author.

