

ФИТОТОКСИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ МЕТАБОЛИТОВ ГРИБОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПОВ АЗЕРБАЙДЖАНА¹

PHYTOTOXIC ACTIVITY OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS METABOLITES OF FUNGUS ISOLATED FROM VARIOUS BIOTOPES OF AZERBAIJAN

K. Bakhshalieva
G. Tomueva
G. Shirinova
G. Arabova
Z. Agayeva

Summary. The conducted studies examined the phytotoxic activity of 110 strains of 40 species of fungi from various biotopes of Azerbaijan. It was revealed that among the registered fungi there are species whose metabolites exhibit both phytotoxic activity and a stimulating effect. Thus, exposure to fungi of the genus *Fusarium*, as well as *Alternaria* and *Verticillium*, reduces the germination of plant seeds by 34–60 %, while exposure to fungi belonging to the genus *Trichoderma* increases it by up to 15 %. Both the reducing and increasing effects of exogenous metabolites of all mushrooms have a higher quantitative index compared to endogenous metabolites.

Keywords: fungi, endogenous and exogenous metabolites, phytotoxic activity, stimulation.

Бахшалиева Конул Фаррух кызы

Доктор биологических наук, профессор,
Институт Микробиологии МНО АР, г. Баку
konul.baxsh@mail.ru

Томуева Гюнель Анар кызы

Институт Биоресурсов МНО АР, г. Гянджа
azmbi@mail.ru

Ширинова Гюльнар Фаган кызы

Научный сотрудник,
Институт Микробиологии МНО АР, г. Баку
shirinligulnar@gmail.com

Арабова Гюльтекин Кара кызы

Докторант, Институт Микробиологии МНО АР, г. Баку
gulu.arabova@mail.ru

Агаева Зарханым Тофик кызы

Докторант, Институт Микробиологии МНО АР, г. Баку
zarxanim.agayeva@gmail.com

Аннотация. В проведенных исследованиях изучена фитотоксическая активность 110 штаммов 40 видов грибов из различных биотопов Азербайджана. Выявлено, что среди зарегистрированных грибов есть виды, метаболиты которых проявляют как фитотоксическую активность, так и стимулирующее действие. Так, воздействие грибов рода *Fusarium*, а также *Alternaria* и *Verticillium*, снижает всхожесть семян растений на 34–60 %, в то время как воздействие грибов, принадлежащих к роду *Trichoderma*, повышает её до 15 %. Как снижающее, так и повышающее действие экзогенных метаболитов всех грибов имеет более высокий количественный показатель по сравнению с эндогенными метаболитами.

Ключевые слова: грибы, эндогенные и экзогенные метаболиты, фитотоксическая активность, стимуляция.

Введение

Грибы, являясь одной из групп организмов на Земле, представленной многочисленными видами, и распространяясь в различных условиях активно участвуют в таких процессах, как продукция и деструкция, тем самым играют важную роль в обеспечении периодичности круговорота веществ в природе [14,16]. С другой стороны, грибы, вызывая заболевания у различных организмов, активно участвуют в регуляции биологического разнообразия [17]. Таким образом, можно сказать, что грибы являются единственными организмами, активно участвующими во всех протекающих в природе экологических процессах и эти особенности лежат в основе

растущего к ним практического интереса [12]. В целом можно отметить, что на сегодняшний день получаемые из грибов продукты различного (пищевые, кормовые, медицинские и технические) назначения охватывают практически все сферы нашей жизни, и этот процесс сопровождается увеличением как количества, так и ассортимента производимой продукции. Так, использование грибов как источника того или иного продукта является безопасным с экологической точки зрения, выгодным с экономической точки зрения и несложным с технологической точки зрения.

На территории Азербайджана, имеющей богатую и красочную природу, грибы получили широкое рас-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана — Гранта № AEF-MCG-2023-1(43)-13/10/3-M-10.

пространение и сюда относятся виды, принадлежащие ко всем таксономическим группам. С конца XX века они стали предметом определенных исследований, проводимых в различных, прежде всего систематических [15], физиолого-биохимических [6, 10] и биотехнологических [5] аспектах, с точки зрения поставленной цели разрешён ряд вопросов, выявлены открывающие перспективы активные продуценты — макромицеты [1–2]. Тем не менее, изученные в широком, особенно биотехнологическом, аспекте виды охватывают крайне малую часть типичной для Азербайджана микобиоты, в частности микромицетов, что может считаться недостаточным для раскрытия потенциала местной микобиоты, особенно как продуцентов биологически активных веществ (БАВ).

Поэтому целью представленной работы явилась оценка микромицетов, распространенных в различных биотопах на территории Азербайджанской Республики, как продуцентов биологически активных веществ различного действия.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были отобраны грибы, обнаруженные в пробах почвы и растений, причем пробы, в основном, отобраны из Апшерон-Хызинского, Губа-Хачмазского и Гянджа-Товузского экономических районов согласно известным методам. Всего было отобрано 50 почвенных (относительно чистых, орошаемых, нефтезагрязненных), 70 растительных (из плодово-ягодных растений) проб [4, 7], из которых после микологического анализа получены чистые культуры грибов. Для определения чистоты культур использовали световой микроскоп с увеличением до 2500 раз. Для выделения культур и поддержания выделенных рабочих культур использовали стандартные питательные среды (агаризованное сусло, агар Сабуру, картофельный агар и др.).

При определении видового состава выделенных в чистую культуру грибов использовали классический подход, а видовая принадлежность устанавливалась согласно определителям [8, 13] на основании культурально-морфологических и физиологических признаков грибов.

При оценке выделенных культур как продуцентов БАВ использовали биомассу и культуральную жидкость (КЖ), полученные при выращивании грибов на среде Чапека в течение 5 дней в условиях глубинного культивирования. Первая, т.е. биомасса, использовалась как источник эндогенных, а КЖ — как источник экзогенных метаболитов. В качестве источника эндогенных метаболитов (ЭМ) использовали раствор, полученный [3] после промывки биомассы фосфатным буфером, измельчения её в тканевом измельчителе (3 раза в течении 3 минут) и центрифугирования (5000 об/мин, 10 мин).

Оценку фитотоксической активности проводили по влиянию на всхожесть семян растений, при этом использовали методический подход, использованный в нашей предыдущей работе [9], и активность выражали в % по количеству непроросших семян.

В ходе исследования все эксперименты проводились не менее чем в 4-х повторностях и полученные результаты статистически обрабатывались [3].

Полученные результаты

Из 150 проб почвы и растений выделено 110 чистых культур. При определении видового состава штаммов грибов выявлено, что они относятся к настоящим грибам (*Mycota* или *Fungi*) родов *Alternaria* (*A. alternata* — 3 штамма, *A. calendulae* — 3, *A. mali* — 2, *A. solani* — 2), *Aspergillus* (*A. awamori* — 3, *A. flavus* — 3, *A. niger* — 5, *A. ochraceus* — 3, *A. ustus* — 2), *Aureobasidium* (*A. pullulans* — 2), *Cephalosporium* (*C. terricola* — 4), *Chaetomium* (*Ch. cellulolyticum* — 5), *Fusarium* (*F. dimerum* — 3, *F. moniloforme* — 3, *F. oxysporium* — 3, *F. solani* — 3), *Gliocladium* (*G. roseum* — 3), *Mucor* (*M. hiemalis* — 3, *M. mucedo* — 3, *M. rasemosus* — 2, *M. ramosus* — 2), *Penicillium* (*P. brevicompactum* — 2, *P. chrysogenum* — 3, *P. cyclopium* — 2, *P. expansum* — 2, *P. lanosum* — 2, *P. rubrum* — 2, *P. terrestre* — 2), *Rhizopus* (*Rh. stolonifera* — 5), *Sordaria* (*S. alpine* — 3, *S. lappae* — 2), *Trichoderma* (*T. artroviride* — 2, *T. asperellum* — 3, *T. hamatum* — 3, *T. harzianum* — 2, *T. koningii* — 3, *T. longibrachiatum* — 3, *T. viridem* — 2), *Verticillium* (*V. dahile* — 3, *V. lateritum* — 2) Число видов грибов, принадлежащих к этим родам, равно 40.

В ходе исследований у выделенных грибов была изучена их фитотоксическая активность и полученные результаты показали, что экзогенные метаболиты изучаемых грибов, то есть КЖ, в той или иной степени обладают как фитотоксическим, так и стимулирующим действием (табл. 1). Как видно, различия наблюдаются не только в показателе фитотоксической активности экзогенных метаболитов, но и даже между штаммами, принадлежащими к одному виду, причем среди проверенных грибов есть виды, обладающие как токсической, так и стимулирующей активностью. Первые относились преимущественно к роду *Fusarium*, а также *Alternaria* и *Verticillium*, а вторые — к роду *Trichoderma*. Так, под действием КЖ, полученных из грибов рода *Fusarium*, всхожесть семян растений кукурузы, пшеницы, гороха и томата снизилась на 46–60 %, грибы рода *Alternaria* снижали всхожесть — на 34–42 %, а *Verticillium* — на 40–48 %. При использовании КЖ грибов рода *Trichoderma* не наблюдалось снижения всхожести используемых семян, а даже в отдельных случаях наблюдалась её стимуляция до 15 %.

В ходе изучения фитотоксической активности эндогенных метаболитов выявлено, что эндогенные ме-

Таблица 1.
Фитотоксическая активность КЖ грибов,
зарегистрированных в ходе исследования

№	Виды грибов (число штаммов)	Активность, (число проросших семян в сравнении с контролем, %)			
		Кукуруза	Пшеница	Горох	Томат
1	<i>Alternaria alternata</i> (3)	58–60	59–62	59–61	58–60
2	<i>A.calendulae</i> (3)	61–62	63–65	63–64	62–63
3	<i>A.mali</i> (2)	62–63	61–64	62–65	60–62
4	<i>A.solani</i> (2)	63–65	65–66	63–65	62–64
5	<i>Aspergillus awamori</i> (3)	83–85	81–84	83–86	84–86
6	<i>A.flavus</i> (3)	74–77	75–76	74–77	73–76
7	<i>A.niger</i> (5)	79–82	78–83	80–82	81–83
8	<i>A.ochraceus</i> (3)	76–80	75–79	77–80	76–79
9	<i>A.ustus</i> (2)	74–78	74–77	75–78	76–79
10	<i>Aureobasidium pullulans</i> (2)	99–100	99–101	99–100	98–100
11	<i>Cephalosporium terricola</i> (4)	90–94	91–93	90–94	92–95
12	<i>Chaetomium cellulolyticum</i> (5)	95–97	94–97	95–98	93–96
13	<i>Fusarium dimerum</i> (3)	50–53	51–54	50–53	49–54
14	<i>F.moniloforme</i> (3)	43–47	44–46	45–48	43–46
15	<i>F.oxysporium</i> (3)	40–43	42–45	41–44	40–42
16	<i>F.solani</i> (3)	48–50	46–49	47–50	46–51
17	<i>Gliocladium roseum</i> (3)	100–102	99–101	100–101	100–102
18	<i>Mucor hiemalis</i> (3),	93–96	91–95	92–96	90–94
19	<i>M.mucoedo</i> (3)	96–98	95–97	93–96	92–94
20	<i>M.ramosus</i> (2)	96–97	94–96	92–94	93–94
21	<i>M.ramosus</i> (2)	92–94	91–95	90–93	91–94
22	<i>Pencillium brevicompactum</i> (2)	82–85	83–84	81–85	80–84
23	<i>P.chrysogenum</i> (3)	77–80	76–81	78–82	76–80
24	<i>P.cyclopium</i> (2)	78–82	77–82	79–83	80–82
25	<i>P.expansum</i> (2)	79–83	78–81	80–82	81–83
26	<i>P.lanosum</i> (2)	80–82	79–83	81–84	80–85
27	<i>P.rubrum</i> (2)	84–87	86–88	85–89	81–86
28	<i>P.terrestre</i> (2)	87–90	88–91	86–90	88–90
29	<i>Rhizopus stolonifera</i> (5)	90–93	89–94	90–92	89–92
30	<i>Sordaria alpine</i> (3)	90–93	91–92	93–95	91–94
31	<i>S.lappae</i> (2)	89–93	90–94	91–94	90–93
32	<i>Trichoderma artroviride</i> (2)	101–104	100–104	101–103	100–102
33	<i>T.asperellum</i> (3)	105–108	106–109	107–109	106–110

№	Виды грибов (число штаммов)	Активность, (число проросших семян в сравнении с контролем, %)			
		Кукуруза	Пшеница	Горох	Томат
34	<i>T.hamatum</i> (3)	104–107	103–105	103–104	105–108
35	<i>T.harzianum</i> (2)	112–115	111–114	112–113	110–114
36	<i>T.koningii</i> (3)	110–114	109–112	111–114	109–115
37	<i>T.longibrachiatum</i> (3)	102–104	101–103	102–105	104–106
38	<i>T.viride</i> (2)	100–101	99–101	100–102	100–102
39	<i>Verticillium dahile</i> (3)	53–56	52–54	53–57	52–53
40	<i>V.lateritum</i> (2)	58–60	56–59	58–60	55–59
Контроль (среда Чапека)		100	100	100	100

таболиты характеризуются низкими количественными показателями как токсической, так и стимулирующей активности по сравнению с экзогенными метаболитами. Так, в большинстве случаев у грибов не обнаружено ни токсического, ни стимулирующего действия. Например, активность эндогенных метаболитов у грибов рода *Fusarium* по сравнению с высокой токсической активностью их экзогенных метаболитов ниже на 35–56 %, у грибов рода *Alternaria* — на 33–40 %, у грибов рода *Verticillium* — на 38–43 %. За счет воздействия эндогенных метаболитов грибов рода *Trichoderma* всхожесть семян растений может повышаться максимум до 4 %.

Следует отметить, что эндогенные и экзогенные метаболиты выполняют разные функции у живых организмов, и даже у некоторых живых организмов имеются различия в эндогенных и экзогенных функциях синтезируемых одноименных метаболитов [18]. Результаты наших исследований позволяют отметить данный факт, то есть метаболиты экзогенной и эндогенной природы оказывают различное действие. Как правило, среди экзогенных метаболитов грибов больше вторичных метаболитов, и в результате чего они обеспечивают повышение адаптивности грибов. Хотя экзогенные метаболиты являются токсичными для одних грибов и стимулирующими для других, в обоих случаях они приводят к повышению адаптивности грибов. Так, метаболиты с токсическим действием отрицательно влияют на другие организмы и снижают конкуренцию в борьбе за выживание, метаболиты со стимулирующим действием создают избыток пищи, ускоряя рост растений. Кроме того, грибы, синтезирующие метаболиты стимулирующего действия, то есть фитогормоны, прежде всего грибы рода *Trichoderma* [11] вступают в антагонистические отношения с другими грибами.

Таким образом, полученные в ходе проведенных исследований результаты показали, что как эндогенные, так и экзогенные метаболиты 110 штаммов 40 видов грибов, распространенных в различных районах Азербайджанской Республики, влияют на всхожесть семян

растений, а количественный показатель этого влияния у выделенных грибов различен. Так, как токсическая, так и стимулирующая активность экзогенных метаболитов выше по сравнению с активностями эндогенных метаболитов. Под влиянием экзогенных метаболитов грибов

родов *Alternaria*, *Fusarium* и *Verticillium* всхожесть семян снижается до 60 %, в то время как под влиянием экзогенных метаболитов грибов рода *Trichoderma* всхожесть семян увеличивается до 15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гасанова В.Я., Рагимова М.М., Халилова В.Дж. и др. Биоконверсия растительных отходов ксилотрофными макромицетами выделенных из экологически разных территорий Азербайджана. // Академический журнал Западного Сибири, 2014, т.10, № 4, с.45–46
2. Караева С.Д. Гриб *Ganoderma lucidum* как перспективный продуцент биологически активных веществ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2020. №08-2. С. 25–29.
3. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. / А. И. Кобзарь. - М.: ФИЗМАТЛИТ, — 2006, — 816 с.
4. Методы экспериментальной микологии / Под ред. Билай В.И. — Киев: Наукова думка, — 1982, — 500 с.
5. Мурадов, П.З., Бунятова, Л.Н., Гасанова, В.Я., Гасанова, А.Р. Разнообразие и ферментативная активность грибов, выделенных из различных источников // «Современная микология в России». Тезисы докладов 4-го съезда микологов России. - Москва: Национальная Академия микологии, — 2015. — с. 203–204.
6. Мурадов, П.З. Изменение ферментативной активности ксилотрофных грибов в процессе биоконверсии растительных отходов. / автореферат диссертации д.б.н. Баку, 2004, 48 с.
7. Нетрусов, А.И. Егорова М.А., Захарчук Л.М. и др. Практикум по микробиологии. М.: Издательский центр «Академия», — 2005, — 608 с.
8. Саттон, Д., Фотергилл, А., Риналди, М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. — Москва: Мир, — 2001, — 486 с.
9. Bakshaliyeva, K.F., Namazov, N.R., Jabrailzade, S.M. et al. Ecophysiological Features of Toxicogenic Fungi Prevalent in Different Biotopes of Azerbaijan // Biointerface Research in Applied Chemistry (Romania), 2020, v.10, № 6, — p.6773–6782.
10. Ganbarov K.G., Kulieva N.A., Muradov P.Z. Biosynthesis of Pectinase by Fungi of the Genera *Bjerkandera* and *Coriolus* during Solid-Phase Fermentation // Applied Biochemistry and Microbiology, 2001, v.37, №6, p.593–595
11. Guzmán-Guzmán P., Kumar A., de los Santos-Villalobos S. et al. *Trichoderma* Species: Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases — A Review. // Plants, 2023; 12(3):432. <https://doi.org/10.3390/plants12030432>
12. Hyde, K.D., Xu, J., Rapier, S. et al. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially // Fungal Diversity, 2019, v. 97, p. 1–136
13. Kirk, P., Cannon P.F., Minter D.W., Stalpers J. Dictionary of the fungi. - UK, 2008, 747 p
14. Liu Y., Li X., Kou Y. Ectomycorrhizal fungi: participation in nutrient turnover and community assembly pattern in forest ecosystems. // Forests, 2020, 11:453. <https://doi.org/10.3390/f11040453>
15. Mustafabayli E., Aghayeva D.N. New mushroom records for Azerbaijan // Ukrainian Botanical Journal, 2019, 76(4) 356–361.
16. Naranjo-Ortiz, M. A. & Gabaldón, T. Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions. *Biological Reviews*, 2019, v.94, p.1443–1476
17. Sharon A, Shlezinger N. Fungi infecting plants and animals: killers, non-killers, and cell death. // *PLoS Pathog.*, 2013;9(8):e1003517. doi: 10.1371/journal.ppat.1003517
18. Tan, L., Liu, Q., Song Y. et al. Differential Function of Endogenous and Exogenous Abscisic Acid during Bacterial Pattern-Induced Production of Reactive Oxygen Species in *Arabidopsis*. // *International Journal of Molecular Sciences*, — 2019, 20(10):2544. <https://doi.org/10.3390/ijms20102544>

© Бахшалиева Конол Фаррух кызы (konul.baxsh@mail.ru); Томуева Гюнель Анар кызы (azmbi@mail.ru);
 Ширинова Гюльнар Фаган кызы (shirinligulnar@gmail.com); Арабова Гюльтекин Кара кызы (gulu.arabova@mail.ru);
 Агаева Зарханым Тофик кызы (zarxanim.agayeva@gmail.com)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»