

## ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ ТОМАТА ЭНДОФИТОМ *CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM* НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ДЕЙСТВИЮ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

И.Л. Бухарина, Н.А. Исламова, А.А.Ф. Аль-Зеяди

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», Ижевск, Россия, [buharin@udmlink.ru](mailto:buharin@udmlink.ru), [islamovanadezhda@mail.ru](mailto:islamovanadezhda@mail.ru)

**Аннотация.** Изучено влияние инокуляции *Cylindrocarpon magnusianum* на биохимические показатели растений томата. Инокуляция растений контрольной популяцией гриба при действии солей тяжелых металлов в субстрате привела к снижению содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях, биомассы растений. При инокуляции растений популяциями гриба, адаптированными к действию солей тяжелых металлов, при их выращивании на субстратах с солями тяжелых металлов выявлен эффект увеличения содержания хлорофиллов *a* и *b*.

**Ключевые слова:** *Cylindrocarpon magnusianum*, тяжелые металлы, инокуляция, биохимические показатели

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-163-167

В настоящее время в научном сообществе повысился интерес к изучению эндомикоризы, в том числе арбускулярной микоризы (АМ), которая является самой распространенной ее формой. В природе арбускулярно-микоризные грибы (АМГ) являются частью почвенных микробных сообществ, способны влиять на эти сообщества, модифицируя окружающую среду посредством мицелиальных экссудатов, формируя «гифосферу», или «микоризосферу», которая может опосредованно воздействовать на физиологию растений [Artursson et al., 2006; Toljander et al., 2008].

Проводятся исследования, которые указывают на важную роль эндомикоризы в устойчивости растений к ряду стрессовых факторов: высоким температурам, засолению, засухе, воздействию солей тяжелых металлов, к стрессовым факторам природного и антропогенного характера [Wang et al., 2016; Wu et al., 2016; Rodriguez et al., 2005; Szabo et al., 2014].

Использование АМГ в практике ограничено, что является следствием их облигатной симбиотрофии грибов. В связи с этим особый интерес вызывает изучение группы грибов эндофитов, их роли в формировании механизмов устойчивости у высших растений. Пристальное внимание к группе грибов эндофитов связано с поиском природных биорегуляторов устойчивости растений, в том числе к внешним и внутренним патогенам [Rodriguez et al., 2005]. Одним из перспективных видов является эндофит *Cylindrocarpon magnusianum*. Его метаболиты, могут быть использованы в борьбе с нематодами [Amaral et al., 2009]. Этот гриб относят к группе нефтегазоносных грибов, что может быть востребовано в восстановлении нефтезагрязненных земель [Sogonov., Velikanov, 2004]. Возможно его использование в качестве агента повышения солеустойчивости растений [Бухарина, Исламова, 2016].

Цель нашего исследования – изучить влияние инокуляции томата культурой *C. magnusianum* на устойчивость растений к действию солей тяжелых металлов в субстрате.

Культура *C. magnusianum* выделена из корневой системы древесных растений (хорошего жизненного состояния), произрастающих в условиях городских почв с высоким содержанием солей тяжелых металлов. Видовая принадлежность гриба установлена методами молекулярного анализа ДНК в лаборатории Лейбницкого

института овощных и декоративных культур (г. Берлин, Германия).

Согласно схеме эксперимента подготовлены изоляты (популяции) гриба на субстратах с внесением разных концентраций солей тяжелых металлов ( $A_0$  – контрольный;  $A_1$  – на субстрате с  $Zn_{100}$  мг/л, далее  $A_2$  –  $Cu_{50}$ ,  $A_3$  –  $Cu_{100}$ ,  $A_4$  –  $Cu_{150}$ ,  $A_5$  –  $Pb_{50}$ ,  $A_6$  –  $Pb_{100}$ ,  $A_7$  –  $Cr_{2,5}$ ,  $A_8$  –  $Cr_{10}$  мг/л). Затем проведена инокуляция растений томата. Опыт включал варианты: 1) инокулированные томаты (инокуляция контрольным изолятом  $A_0$ ) выращивались на субстратах с разным содержанием солей тяжелых металлов ( $B_0$  – контрольный – без ТМ;  $B_1$  – субстрат с  $Zn_{100}$  мг/л, далее  $B_2$  –  $Cu_{50}$ ,  $B_3$  –  $Cu_{100}$ ,  $B_4$  –  $Cu_{150}$ ,  $B_5$  –  $Pb_{50}$ ,  $B_6$  –  $Pb_{100}$ ,  $B_7$  –  $Cr_{2,5}$ ,  $B_8$  –  $Cr_{10}$  мг/л); 2) томаты, инокулированные популяциями грибов, адаптированными к тяжелым металлам, выращивались на субстратах без внесения и с внесением солей ТМ. Растения выращивались в климатической камере BinderKBWF720 при соблюдении оптимальных условий культуры томата. Оценка устойчивости растений проведена на основе анализа фотосинтетических пигментов (спектрофотометрическим методом в ацетоновых экстрактах (поглощение 662, 644 и 440,5 нм, соответственно), расчет концентрации пигментов проведен по уравнениям Холма-Ветшттейна).

Результаты показали, что инокуляция растений контрольной популяцией гриба при выращивании растений на субстратах с внесением  $Cu_{100}$ ,  $Pb_{50}$  и  $Pb_{10}$ ,  $Cr_{2,5}$  мг/л вызвала существенное снижение содержания хлорофилла *a* в листьях (рис. 1-3). На содержание хлорофилла *b* и каротиноидов достоверно повлияла (снижение) лишь концентрация хрома в субстрате 2,5 мг/л.

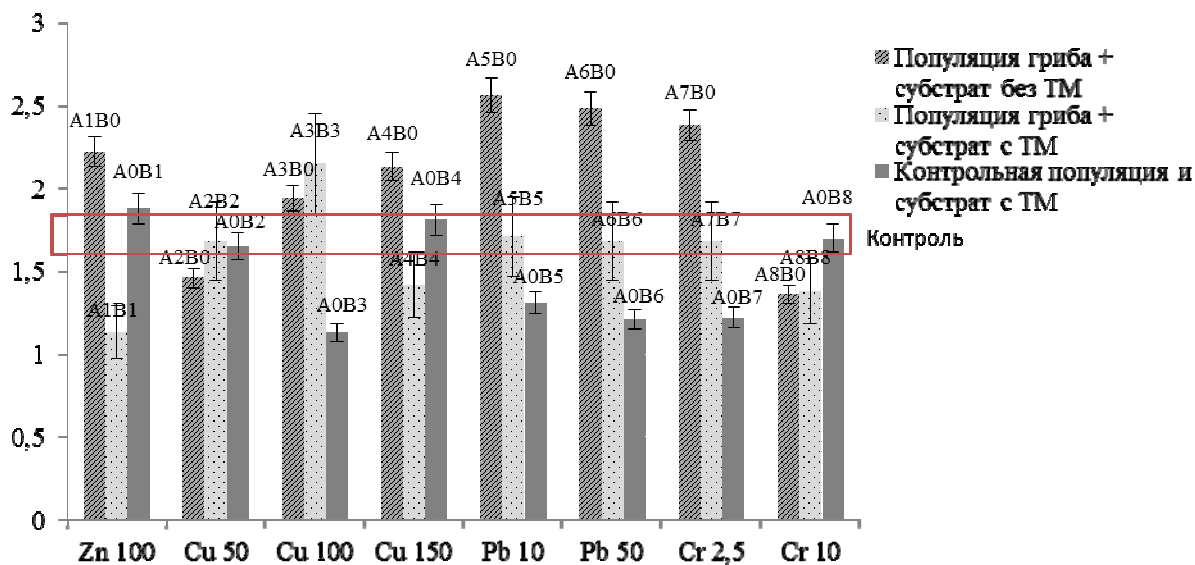


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в листьях инокулированных растений, мг/г.

При выращивании томатов, инокулированных разными популяциями гриба (выращены на субстратах с разным содержанием ТМ), на контрольном (без внесения ТМ) субстрате мы наблюдали достоверное увеличение содержания хлорофилла *a* в листьях (за исключением популяций гриба  $Cr_{10}$  и  $Cu_{50}$ , где, наоборот, установлено достоверно меньшее значение показателя по сравнению с контролем).

Популяции гриба *C. magnusianum*, выращенные на субстрате с высоким содержанием хрома ( $Cr_{10}$ ), вызвали существенное снижение содержания хлорофилла *b* в листьях. Интересен тот факт, что популяции гриба  $Pb_{10}$  и  $Cr_{2,5}$  вызвали увеличение содержания хлорофилла *b*, а популяция  $Cr_{2,5}$  – содержание каротиноидов в листьях томата.

Таким образом, содержание хлорофилла *a* в листьях оказалось более чувствительным показателем к действию инокуляции растений популяциями грибов.

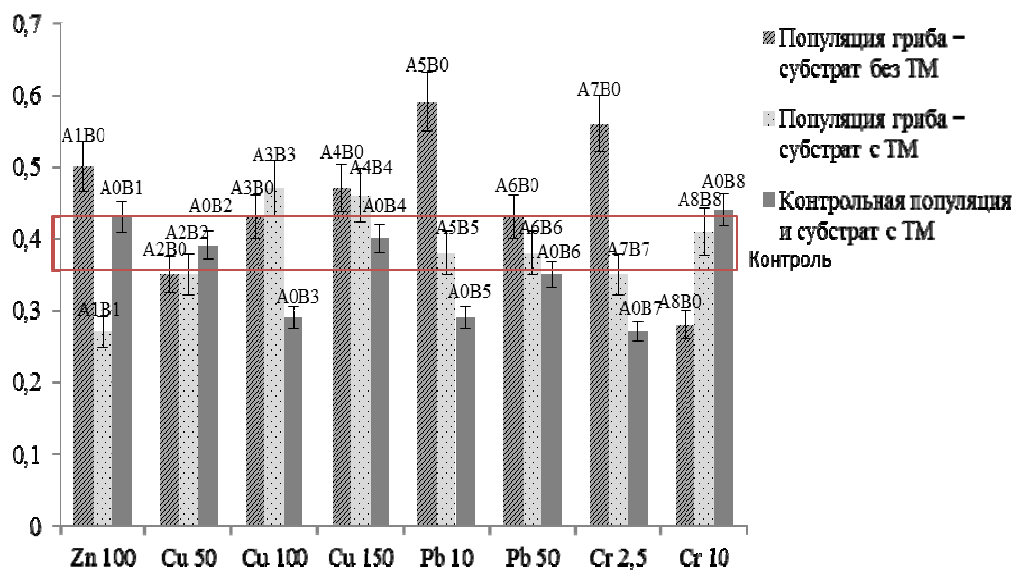


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* в листьях инокулированных растений, мг/г.

При анализе влияния взаимодействия популяции гриба и содержания химических элементов в субстрате установлено, что на содержание фотосинтетических пигментов в листьях достоверное влияние оказали популяции гриба Pb<sub>10</sub> и Cr<sub>2,5</sub> (при выращивании растений на субстратах с аналогичным содержанием свинца и хрома), приводя к существенному снижению содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях, по сравнению с результатами выращивания растений (инокуляция популяциями гриба) на контрольном субстрате. Достоверное снижение концентрации хлорофиллов *a* и *b* по сравнению с контрольным вариантом (A<sub>0</sub>V<sub>0</sub>) отмечено лишь в варианте популяции гриба Zn<sub>100</sub> с последующим выращиванием растений в субстрате с содержанием цинка 100 мг/л. Наиболее стабилен был показатель содержания каротиноидов.

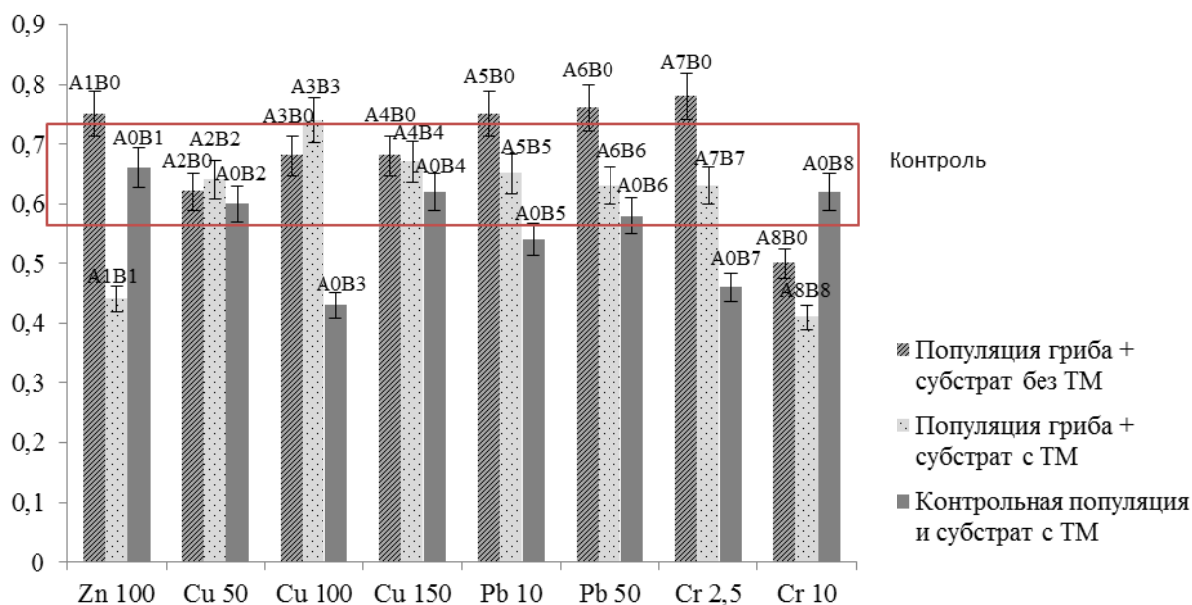


Рис. 3. Содержание каротиноидов в листьях инокулированных растений, мг/г.

При анализе влияния инокуляции томатов контрольной популяцией гриба на морфологические показатели выявлено, что при внесении в субстрат меди (50 мг/л) и хрома (10 мг/л) наблюдалось достоверное снижение биомассы надземной части растений. Содержание в субстрате хрома (2,5 мг/л) вызвало снижение биомассы корней. При выращивании томатов, инокулированных разными популяциями гриба *S. magnusianum*, на контрольном субстрате (без ТМ) практически во всех вариантах опыта (за исключением популяций гриба Zn<sub>100</sub>) наблюдалось достоверное снижение биомассы корней. Популяции гриба Zn<sub>100</sub>, Cu<sub>100</sub>, Pb<sub>50</sub>, Cr<sub>2,5</sub> и Cr<sub>10</sub> также вызвали существенное снижение биомассы надземной части растений.

Что касается совместного влияния инокулята и содержания химических элементов в субстрате, наблюдалось достоверное увеличение биомассы надземной части и корней растений по сравнению с контролем при внесении в субстрат хрома в концентрации 2,5 мг/л и использовании популяции гриба Cr<sub>2,5</sub>. Популяции гриба Cu<sub>100</sub> и Cr<sub>10</sub> при выращивании томатов на субстратах с аналогичным содержанием меди (100 мг/л) и хрома (10 мг/л) также вызвали рост биомассы надземной части растений.

Таким образом, стимулирующего эффекта, повышающего устойчивость растений к действию солей ТМ, при инокуляции растений контрольной популяцией гриба *S. magnusianum* не выявлено. Он установлен в случае инокуляции растений популяциями гриба, адаптированными к действию солей тяжелых металлов.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ "Мой первый грант" (проект № 16-34-00855).*

#### Литература

Бухарина И.Л., Исламова Н.А. Исследование пределов устойчивости микроскопических грибов и формирование коллекции перспективных изолятов // Мат. годичного собрания общества физиологов растений России "Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма". – СПб., 2016. – С. 362–363.

Amaral D.R., Oliveira D.F., Campos V.P., de Carvalho D.A., Nunes A.S. Effect of plant and fungous metabolites on *Meloidogyne exigua* // Ciencia e Agrotecnologia. – 2009. – V. 33. – P. 1861–1865.

Artursson V., Finlay R.D., Jansson J.K. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth // Environmental Microbiology. – 2006. – V. 8. – P. 1–10.

Rodriguez R.J., White J.F., Arnold A.E., Redman R.S. Fungal endophytes: diversity and functional roles // New Phytologist. – 2009. – V. 182. – P. 314–330.

Sogonov M.V., Velikanov L.L. Soil microfungi from alpine and subnival ecosystems of the Northwestern Caucasus // Mikologiya i Fitopatologiya. – 2004. – V. 38. – P. 50–58.

Szabo K., Boll S., Eros-Honti Z. Applying artificial mycorrhizae in planting urban trees // Applied ecology and environmental research. – 2014. – V. 12. – P. 835–853.

Toljander J.F., Santos-González J.C., Tehler A., Finlay R.D. Community analysis of arbuscularmycorrhizal fungi and bacteria in the maize mycorrhizosphere in a long-term fertilization trial // FEMS microbiology ecology. – 2008. – V. 65. – P. 323–338.

Wang F., Liu X., Shi Z., Tong R., Adams C.A., Shi X. Arbuscular mycorrhizae alleviate negative effects of zinc oxide nanoparticle and zinc accumulation in maize plants – a soil microcosm experiment // Chemosphere. – 2016. – V. 147. – P. 88–97.

Wu S., Zhang X., Chen B., Wu Z., Li T., Hu Y., Sun Y., Wang Y. Chromium immobilization by extraradical mycelium of arbuscular mycorrhiza contributes to plant chromium tolerance // Environmental and Experimental Botany. – 2016. – V. 122. – P. 10–18.

## **EFFECT OF TOMATO INOCULATION BY CYLINDROCARPON MAGNUSIANUM ENDOPHYT ON THE RESISTANCE TO THE ACTION OF HEAVY METALS**

I.L. Bukharina, N.A. Islamova, Amir Farhan Zhawad Al-Zeyadi

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», Izhevsk, Russia, *buharin@udmlink.ru*

**Abstract:** The results of experiments on the effect of inoculation by endotrophic fungi *Cylindrocarpon magnusianum* on the physiological and biochemical parameters of tomato as a test culture are presented in the article. The scheme of the experiment included inoculation by the culture of the fungus *Cylindrocarpon magnusianum* and the populations of this fungus, previously grown on agar media with the introduction of different concentrations of heavy metals. Inoculated plants were grown on a control substrate and on substrates with various concentrations of heavy metals. The positive effect associated with the pigment system and the biochemical parameters of plants was observed in the experiment variants using fungal populations preliminarily adapted to the content of heavy metals in the substrate.

**Keywords:** *Cylindrocarpon magnusianum*, heavy metals, inoculation, biochemical indices