

ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА СООБЩЕСТВА АРБУСКУЛЯРНЫХ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ОДНОЛЕТНИМИ ИНВАЗИОННЫМИ СОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ *ASTEROIDEAE*

С.В. Сокорнова^{1*}, Д.М. Малыгин², А.С. Ткач¹, А.С. Голубев¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

* ответственный за переписку, e-mail: svsokornova@vizr.spb.ru

Инвазионные растения галинсога мелкоцветковая *Galinsoga parviflora* и мелколепестник канадский *Erigeron canadensis* часто встречаются в посевах и вдоль пахотных земель. Фактором, способствующим их распространению, может быть ассоциированное с этими однолетними видами сообщество арбускулярных микоризных грибов. На характер симбиотических отношений, складывающихся между растением-хозяином и грибами оказывает влияние как их таксономическая принадлежность, так и абиотические факторы. Целью исследования было определение микоризного статуса *E. canadensis* и *G. parviflora*, произрастающих на пахотных полях и вне их в Пушкинском р-не Санкт-Петербурга. Во всех вариантах, кроме обработки метрибузином, на стадии цветения выявлена высокая интенсивность микоризации и частота колонизации этих растений. Существенное влияние на микоризный статус оказывало внесение гербицидов. В частности, синтетический ауксин 2,4 Д (2-этилгексилэфиры) стимулировал образование арбускул. Наибольшая колонизация наблюдалась в корнях для *E. canadensis*, выросшего вне поля. Ассоциированные с *E. canadensis* арбускулярные микоризные грибы образовывали отдельную монофилетическую группу. Эта группа, на наш взгляд, отвечает за более эффективный симбиоз и нуждается в дальнейшем более пристальном изучении.

Ключевые слова: *Millerieae*, *Astereae*, *Galinsoga parviflora*, *Erigeron canadensis*, микориза, симбиотические грибы, борьба с сорными растениями

Поступила в редакцию: 05.10.2023

Принята к печати: 12.12.2023

Введение

Галинсога мелкоцветковая *Galinsoga parviflora* Cav. и мелколепестник канадский *Erigeron canadensis* L. – однолетние, инвазионные виды. Эти растения относятся к подсемейству *Asteroideae*, *G. parviflora* входит в трибу *Millerieae*, а *E. canadensis* в трибу *Astereae*. В настоящее время мелколепестник канадский занимает шестое место в списке наиболее распространенных и агрессивных видов России (Сенатор, Виноградова, 2023). В свою очередь *Galinsoga parviflora* является одним из наиболее распространенных сорных растений мира (Půšek et al., 2017).

Встречаемость этих растений на землях сельскохозяйственного назначения имеет свои особенности: *G. parviflora* чаще произрастает непосредственно среди посадок различных культур, в то время как *E. canadensis* предпочитает окраины полей и сопредельные с ними заброшенные территории (Шпанев, 2021).

Для некоторых сорных инвазионных растений подсемейства *Asteroideae* показано, что они в результате образования мутуалистических отношений с арбускулярными микоризными (АМГ) и темноокрашенными септированными эндофитными грибами (ТСЭ) получают ряд существенных преимуществ перед другими растениями. Это происходит прежде всего за счет увеличения доступности питательных веществ и воды, а также повышения устойчивости к неблагоприятным факторам (Mandyam et al., 2012, 2015; Shah et al., 2015; Majewska et al., 2015; Řezáčová et al.,

2021; Malygin et al., 2021). Необходимо отметить, что эффективность симбиоза различных видов растений с АМГ сильно варьирует (Säle et al., 2021) и определяется филогенетическим положением участников и экологическими факторами (Johnson et al., 1997; Jonesand, Smith, 2004).

Для инвазионных *G. parviflora* и *E. canadensis* показано, что они образуют симбиозы с АМГ (Majewska et al., 2015). Однако частота и интенсивность микоризации, а также ее влияние на успешность распространения и развития мелколепестника канадского в разных условиях различно. Например, в условиях болота колонизация корней АМГ приводила к подавлению доминирующего в этой местности мелколепестника канадского *E. canadensis*, и благоприятствовала развитию трех соседствующих с ним субдоминантных видов, включая куммеровию полосатую *Kummerowia striata*, пустырник японский *Leonurus artemisia* и иксерикс *Ixeris polycephala* (Zhang et al., 2014). Высокий микоризный статус *E. canadensis* при произрастании в инвазионном ареале по сравнению с естественным не оказывал влияния на микоризацию аборигенных видов. Более того, показано, что зависимость успешности развития *E. canadensis* от интенсивности и частоты микоризации АМГ в зоне инвазии скорее уменьшалась. В результате авторами было сделано предположение о том, что успешные инвазии этого вида растений обеспечивают другие механизмы (Řezáčová et al., 2021). Это согласуется с

гипотезой этих же авторов о том, что АМГ являются «пассажирами», а не движущими силами инвазий Asteraceae (Shah et al., 2009; Řezáčová et al., 2020). В свою очередь, мутуалистические отношения с АМГ могут быть полезны для многолетних растений в условиях конкуренции с сорными однолетними растениями. Так поддержание здоровых почв, богатых АМГ, может стимулировать позднюю сукцессию многолетних растений, что потенциально ограничивает появление однолетних видов сорных растений (Řezáčová et al., 2022).

В то же время анализ влияния АМГ на галинсогу четырехлучевую *Galinsoga quadriradiata* Ruiz & Pav. показал тонкую регуляцию инвазии, заключающуюся в ингибировании распространения этого растения на больших высотах и стимуляции на низких (Liu et al., 2021; Liu et al., 2023).

Помимо АМГ в корнях *G. parviflora* и *E. canadensis* были выявлены ТСЭ (Mandyam et al., 2012). Так же, как и

в случае с АМГ взаимоотношения растений-хозяев с этой группой грибов предполагает взаимодействие на уровне генотипов и может варьировать от мутуализма до паразитизма (Mandyam et al., 2015). Для *G. parviflora* и *E. canadensis* с помощью инокуляции *in vitro* показано, что ТСЭ стимулируют развитие этих растений и могут ускорять колонизацию корней АМГ (Mandyam et al., 2012).

Таким образом, симбиоз между *G. parviflora* или *E. canadensis* с АМГ может, в зависимости от различных факторов, по-разному влиять на распространение этих сорных инвазионных растений.

Целью данной работы было определение микоризного статуса однолетних инвазионных растений мелколепестника канадского и галинсоги мелкоцветковой, произрастающих на пахотных полях и вдоль них в Пушкинском р-не Санкт-Петербурга.

Материалы и методы

Сбор растительного материала

Сбор корней *G. parviflora* и *E. canadensis*, находящихся в фазе цветения, осуществляли из-под растений на глубине 10–15 см. Для каждого вида с 4-х и более растений собирали не менее 15 корней 3–4 порядка. Сбор происходил в течение вегетационных периодов 2022 и 2023 годов на опытном поле Всероссийского НИИ защиты растений (ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, Пушкин), согласно таблице 1.

Почва участка — дерново-подзолистая, суглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 3–4%, pH 6.3.

Предшественником картофеля являлась пшеница яровая. Обработка почвы под посадку картофеля включала в себя дискование, вспашку, культивацию и нарезку борозд. Норма посадки клубней составляла 32 ц/га. В дальнейшем (в период вегетации) было проведено 2 окучевания.

Обработка почвы под посев пшеницы яровой заключалась в проведении дискования, вспашки и культивации. Предшественником пшеницы яровой являлся картофель. Норма высева семян: 200 кг/га.

Пробоподготовка

Выявление арбускулярной микоризы в корнях растений проводили с помощью светлопольной микроскопии. Для определения структур арбускулярных микоризных грибов был использован модифицированный метод депигментации и окрашивания (Phillips, Hayman, 1970; Koske, Gemma, 1989). Корни мацерировали в 10% растворе КОН в течение 20 мин. при 70 °С, ополаскивали, окрашивали при 80 °С 10 мин. 10% анилиновым синим в 10% молочной кислоте, затем отмывали 40% молочной кислотой, нарезали на части длиной 1.5 см и раскладывали по 15 отрезков на предметном стекле между параллельными линиями на расстоянии 1 см. Микроскопирование проводили на светлопольном микроскопе Olympus Vx53 с камерой Progress Gryphax Jenoptik (увеличения 400х, 800х).

Количественная оценка эндомикоризной колонизации корней

Количественный учёт развития АМГ проводили согласно Trouvelot et al. (1986), основываясь на определении соотношения микоризованных и не микоризованных участков корня, а также их насыщенности микоризой.

Таблица 1. Оценка степени микоризации корней растений *G. parviflora* и *E. canadensis*

Вариант	Растение-хозяин	Культура	Дополнительная обработка гербицидом	Норма расхода гербицида (г/га по д.в.)	Кратность	Степень микоризации, %		
						частота	интенсивность на 1 см ²	интенсивность
1	Галинсога мелкоцветная	картофель (сорт Рябиночка)	метрибузин	720 (до всходов карт) + 210 (по вегетации)	2	0	0	0
2	Галинсога мелкоцветная	пшеница яровая (сорт Сударья)	2.4 Д (2-этилгексилэфир) + флорасулам	120 + 2.5	1	80.1	29.2	31.6
3	Галинсога мелкоцветная	обочина поля	-	-	-	87.3	33.8	36.2
4	Мелколепестник канадский	пшеница яровая (сорт Сударья)	2.4 Д (2-этилгексилэфир) + флорасулам	120 + 2.5	1	79.9	42.8	52.2
5	Мелколепестник канадский	обочина поля	-	-	-	86.6	47.3	54.6
НСР _{0.05}						3.7	2.9	3.2

Table 1. Assessment of the degree of mycorrhization of the roots of *G. parviflora* and *E. canadensis* plants

Variant	Host plant	The crop	Additional herbicide treatment	Herbicide consumption rate (g/ha.)	Numbers of applications	Degree of AMF colonization, %		
						frequency	intensity 1 cm ²	intensity
1	<i>Galinsoga parviflora</i>	Potatoes (Ryabinushka variety)	Metribuzin	720 (до всходов карт) + 210 (по вегетации)	2	0	0	0
2	<i>Galinsoga parviflora</i>	Spring wheat (Sudarynya variety)	2.4 D + Florasulam	120 + 2.5	1	80.1	29.2	31.6
3	<i>Galinsoga parviflora</i>	Field side	-	-	-	87.3	33.8	36.2
4	<i>Erigeron canadensis</i>	Spring wheat (Sudarynya variety)	2.4 D + Florasulam	120 + 2.5	1	79.9	42.8	52.2
5	<i>Erigeron canadensis</i>	Field side	-	-	-	86.6	47.3	54.6
LSD _{0.05}						3.7	2.9	3.2

Частоту колонизации АМГ корневой системы рассчитывали по формуле:

$$F, \% = 100 (N - n_0) / N,$$

где N – общее число просмотренных отрезков, n_0 – количество отрезков без микоризы.

Интенсивность колонизации АМГ корневой системы M на 1 см корня, выраженная в процентах, рассчитывали по формуле:

$$M, \% = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + 1n_1) / N,$$

где n_5 – число отрезков корней, относящихся к 5-му классу интенсивности, n_4 – сумма отрезков корней, относящихся к 4-му классу и т.д., N – общее число просмотренных отрезков.

Параметр m , характеризующий интенсивность колонизации АМГ корневой системы микоризованных отрезков корня, рассчитывался по формуле:

$$m, \% = M / F.$$

Подсчёт обилия арбускул в микоризованной части корня (а) проводился по формуле:

$$a, \% = (100m_{A3} + 50m_{A2} + 10m_{A1}) / 100,$$

где m_{Ai} вычисляются в соответствии со следующим выражением:

$m_{Ai} = (95n_{5Ai} + 70n_{4Ai} + 30n_{3Ai} + 5n_{2Ai} + 1n_{1Ai}) / (N - n_0) \times 100 / m$, где n_{5Ai} – число отрезков корней, относящихся к 5-му классу интенсивности и к i -му классу по шкале плотности арбускул, n_{4Ai} – сумма отрезков корней, относящихся к 4-му классу интенсивности и к i -му классу по шкале плотности арбускул и т.д.; $i = 1, 2, 3$; N – общее число просмотренных отрезков, n_0 – количество отрезков без микоризы.

Насыщенность корневой системы арбускулами A вычислялась по формуле:

$$A, \% = a \times M / 100$$

Дисперсионный и многофакторный анализы проводились с помощью надстройки XLSTAT в программе Microsoft Excel, объем выборки составлял 15 отрезков

корней для каждого варианта. Эксперименты проводились не менее двух раз.

Выделение ДНК из корней растений

Отмытые корни 3–4 порядка (12 и более растений) из тех же вариантов, которые использовались для микроскопирования, в количестве до 200 мг растирали в жидком азоте. Затем добавляли 500 мкл ЦТАБ буфера (2г ЦТАБ, 28 мл 5М NaCl, 4 мл 0.5М ЭДТА, 5 мл 2М Трис — HCl, дистиллированная вода) с активированным углем (5%) (Koonjul et al., 1999). Далее очистку и выделение ДНК проводили согласно Матвеевой и др. (2011).

Качество выделения ДНК контролировали при помощи электрофореза в 0.8%-м агарозном геле с dsGreen (Lumiprobe) в 0.5% трис боратном буфере. Концентрацию полученной ДНК определяли по маркеру MassRuler™ Express HR Forward DNA Ladder.

Полимеразная цепная реакция

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили в 25 мкл реакционной смеси DreamTaq Green PCR Master Mix (2x) (Thermo Scientific) согласно протоколу производителя с 1 мкл ДНК и 1 мкл смеси прямого и обратного праймеров в концентрации 1 пМ/мкл. Амплификацию проводили по локусу хитин-синтазы I при температуре отжига 60 °С, с праймерами CHS-79F (TGG GGC AAG GAT GCT TGG AAG AAG) / CHS-354R (TGG AAG AAC CAT CTG TGA GAG TTG) (Carbone, Kohn, 1999). Праймеры синтезированы компанией «Евроген» (Москва, РФ).

Секвенирование и анализ ДНК-последовательностей

Секвенирование осуществляли по Сэнгеру на базе ресурсного центра «Развитие молекулярных и клеточных технологий» СПбГУ. Анализ ДНК-последовательностей проводили с помощью программного пакета MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets (Kumar et al., 2018).

Результаты и обсуждение

Микроскопические исследования корней растений, собранных на опытном поле ФГБНУ ВИЗР, выявили структуры арбускулярных микоризных грибов у *G. parviflora* и *E. canadensis*, произрастающих как на обочинах вдоль поля, так и на поле, за исключением участка, обработанного метрибузином. Мицелий грибов в корнях растений

имел характерные для АМГ внутриклеточные гифальные спирали и везикулы (рис. 1). В корнях растений, выросших на обработанных смесью 2,4-Д (2-этилгексилэтер) и флорасулама участках, наблюдалось существенно более высокое количество арбускул и меньше везикул, что согласуется с литературными данными о влиянии

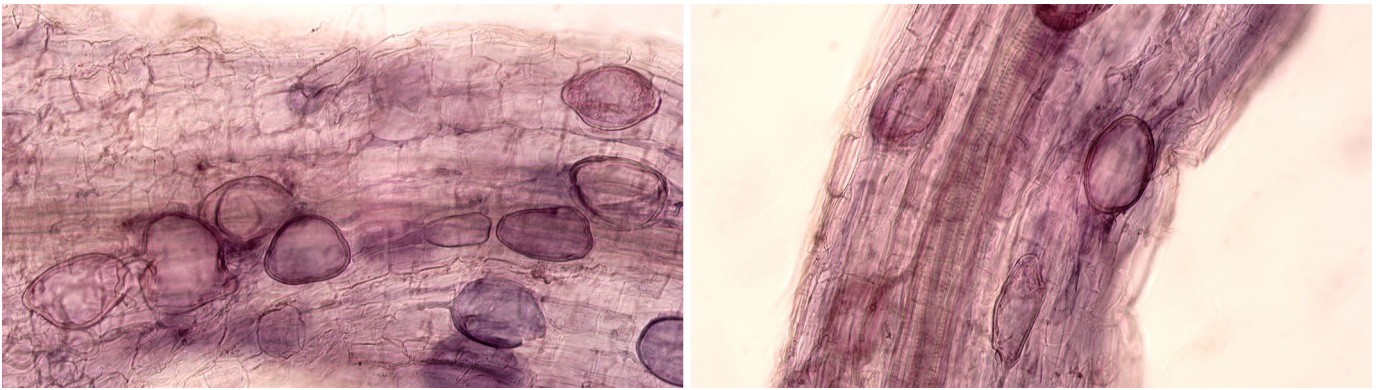


Рисунок 1. Мицелий, гифальные спирали и везикулы в корнях *Erigeron canadensis*
Figure 1. Vesicles and hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi in a root of *Erigeron canadensis*

синтетических аюкисинов, в данном случае 2,4-Д, на микоризацию (Etemadi et al., 2014). В то же время интенсивность и частота микоризации были сопоставимы с наблюдаемыми на участках без обработок гербицидами. В отличие от наблюдаемой ранее у золотарника канадского *S. canadensis* картины (авторы, не опубликовано), эндофитные грибы наряду с АМГ встречались только в корнях *E. canadensis* произрастающего вне поля, довольно редко, с частотой $5 \pm 3\%$, и не оказывали достоверного влияния на степень микоризации корней. В корнях *G. parviflora* эндофиты выявлены не были.

Частота и интенсивность микоризации корней для обоих видов растений различались в зависимости от варианта произрастания. Вне поля, на необрабатываемых почвах, микоризованность *G. parviflora* и *E. canadensis* была выше (частота на 7.2 и 6.7%, интенсивность на 4.6 и 2.4%, соответственно) (таблица 1).

Анализ структуры сообщества арбускулярных микоризных грибов, ассоциированных с мелколепестником канадским, показал наличие видов из того же кластера, что и у золотарника канадского (*S. canadensis*) (рис. 2). Оба этих инвазивных вида растений относятся к трибе *Astereae*, и микоризный симбиоз является важным фактором, способствующим их распространению (Malygin et al., 2021). В настоящее время показано, что для различных семейств

растений экологическая эффективность взаимодействий между растением-хозяином и арбускулярным микоризным сообществом определяется скорее видовой принадлежностью участников, чем инвазивным статусом (Hanzelková et al., 2023). В отношении видов трибы *Astereae* нами была выдвинута гипотеза о том, что наибольший вклад в мутуалистические отношения с этими растениями вносят грибы порядка *Diversisporales* (Sokornova et al., 2022). Выявленные ДНК-последовательности грибов, ассоциированных с мелколепестником канадским, входят в один кластер с *Acaulospora scrobiculata* BR984-4 относящемуся к порядку *Diversisporales*. К сожалению, по локусам хитин-синтазы I для арбускулярных микоризных грибов в NCBI представлено ограниченное количество последовательностей и для подтверждения этой гипотезы необходимо более широкое исследование, в том числе получение и анализ ДНК-последовательностей по локусу малой субъединицы РНК (SSU), используемому для идентификации арбускулярных микоризных грибов. В то же время, полученные данные подтверждают высказанную нами ранее гипотезу.

Таким образом, внесение гербицидов оказывает влияние на успешность микоризации сорных растений и, как следствие, понижает их конкурентоспособность. В то же время, когда идет полное подавление АМГ сообществ, как в случае с метрибузином, на наш взгляд, требуются

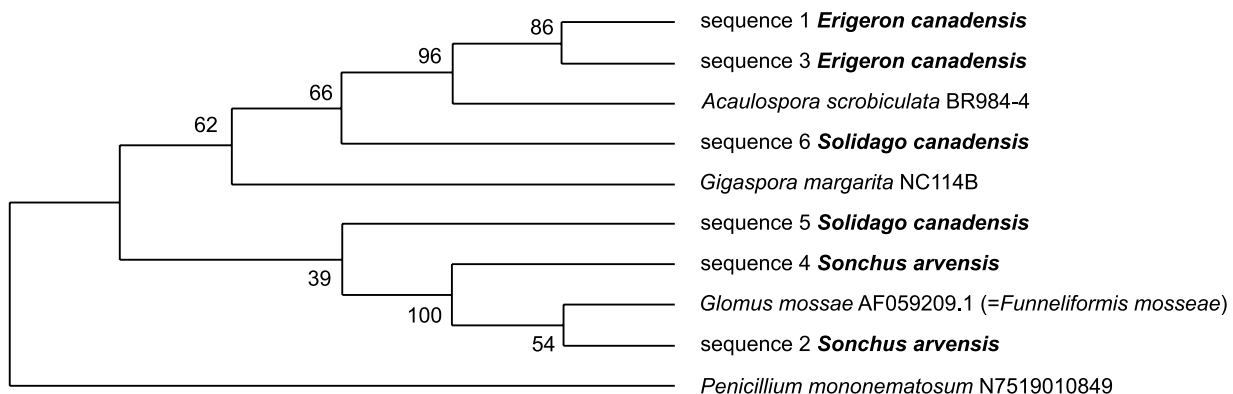


Рисунок 2. Филогенетическое древо, построенное методом максимального правдоподобия с бутстрэп поддержкой (400 реплик) по ДНК-последовательностям грибов, ассоциированных с корнями осота полевого *Sonchus arvensis* (триба *Cichorieae*), золотарника канадского *Solidago canadensis* и мелколепестника канадского *Erigeron canadensis* (триба *Asteroideae*) по локусу хитинсинтазы I на основе 389 нп (Kumar et al., 2018)

Figure 2. Maximum likelihood phylogenetic tree based on Chitin synthase I sequence alignment (389 positions). Numbers above branches represent percentages of bootstrap values (400 replicates). Sequences of AMF associated with *Sonchus arvensis* (tribe *Cichorieae*), *Solidago canadensis* and *Erigeron canadensis* (tribe *Asteroideae*)

дополнительные исследования по оценке влияния гербицидов этой группы на микробное сообщество ризосферы культурных растений. В целом, разное действие гербицидов на АМГ-сообщество необходимо учитывать при разработке агротехнических мер защиты растений. Успешное распространение инвазивных видов *G. parviflora* и *E. canadensis* в условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области связано, в том числе, с симбиотическими отношениями с арбускулярными микоризными грибами. Основной вектор распространения этих растений это заброшенные, длительное время не обрабатываемые территории. Соответственно, сокращение этих площадей будет

способствовать снижению скорости распространения этих инвазивных видов. Наиболее эффективные мутуалистические отношения инвазивных видов *G. parviflora* и *E. canadensis* складываются, по нашему мнению, с АМГ порядка Diversisporales. Интересно отметить, что зачастую представителей этой группы нет в составе коммерческих препаратов удобрений на основе АМГ (Vahter et al., 2023). Разработка диагностической системы, позволяющей выявлять этот кластер грибов, может помочь в дальнейшем оценить роль этого кластера в распространении растений подсемейства *Asteroideae*.

Работа выполнена в рамках гранта Санкт-Петербурга в сфере научной и научно-технической деятельности 2023 г.

Библиографический список (References)

- Виноградова ЮК, Майоров СР, Хорун ЛВ (2010) Чёрная книга флоры Средней России. М.: ГЕОС. 512 с.
- Матвеева ТВ, Богомаз ДИ, Лутова ЛА. Малый практикум по геной инженерии: учебное пособие. Санкт-Петербург: Реноме; 2011. 52с.
- Сенатор СА, Виноградова ЮК (2023) Инвазивные растения России: результаты инвентаризации, особенности распространения и вопросы управления. *Успехи современной биологии* 143(4):393–402. <http://doi.org/10.31857/S0042132423040099>
- Шпанев АМ (2021) Рудеральные сорные растения на полях Ленинградской области. *Защита и карантин растений*. 11:11–12. <http://doi.org/10.47528/1026-8634-2021-11-11>
- Carbone I, Kohn LM (1999) A method for designing primer sets for speciation studies in filamentous ascomycetes. *Mycologia* 91:553–556. <https://doi.org/10.2307/3761358>
- Etemadi M, Gutjahr C, Couzigou JM, Zouine M, Lauressergues D et al. (2014) Auxin perception is required for arbuscule development in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiol* 166(1):281–92. <http://doi.org/10.1104/pp.114.246595>
- Johnson NC, Graham JH, Smith FA (1997) Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol* 135(4):575–586. <https://www.jstor.org/stable/2558989>
- JonesandMD, SmithSE(2004) Exploring functional definitions of mycorrhizas: are mycorrhizas always mutualisms? *Canad J Bot* 82(8):1089–1109. <http://doi.org/10.1139/b04-110>
- Hanzelková V, Florianová A, Cajthaml T, Münzbergová Z (2023) Plant genus is a better predictor of plant effects on soil biotic and abiotic properties than plant invasion status. *Biol Invasions* <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03162-9>
- Koonjul PK, Brandt WF, Farrant JM, Lindsey GG (1999) Inclusion of polyvinylpyrrolidone in the polymerase chain reaction reverses the inhibitory effects of polyphenolic contamination of RNA. *Nucleic Acids Res* 27(3):915–916. <http://doi.org/10.1093/nar/27.3.915>
- Koske RE, Gemma JN (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas *Mycol Res*. 92(4), 486–488. [https://doi.org/10.1016/s0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/s0953-7562(89)80195-9)
- Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C, Tamura K (2018) MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. *Mol Biol Evol* 35(6):1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>.
- Liu G, Liu R, Lee BR, Song X, Zhang W et al. (2023) The invasion of *Galinsoga quadriradiata* into high elevations is shaped by variation in AMF communities. *Plants* 12(18):3190. <https://doi.org/10.3390/plants12183190>
- Liu G, Liu RL, Zhang WG, Yang YB, Bi XQ et al. (2021) Arbuscular mycorrhizal colonization rate of an exotic plant, *Galinsoga quadriradiata*, in mountain ranges changes with altitude. *Mycorrhiza* 31(2):161–171. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01009-y>
- Majewska ML, Błaszowski J, Nobis M, Rola K, Nobis A et al. (2015) Root-inhabiting fungi in alien plant species in relation to invasion status and soil chemical properties. *Symbiosis* 65(3):101–115. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0324-4>
- Makarian H, Poozesh V, Asghari HR, Nazari M (2016) Interaction effects of arbuscular mycorrhiza fungi and soil applied herbicides on plant growth. *Commun Soil Sci Plant Anal* 47:619–629. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146744>
- Malygin D, Mandryk-Litvinkovich M, Sokornova S. (2021) Does arbuscular mycorrhiza favor invasion of some *Asteraceae* tribes? *Plant Prot News* 104:144–152. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-14993>
- Mandyam K, Fox C, Jumpponen A (2012) Septate endophyte colonization and host responses of grasses and forbs native to a tallgrass prairie. *Mycorrhiza* 22:109–119. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0386-y>
- Mandyam KG, Jumpponen A (2015) Mutualism-parasitism paradigm synthesized from results of root-endophyte models. *Front Microbiol* 12(5):776. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00776>
- Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *TBMS* 55(1):158–161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- Pyšek P, Pergl J, Essl F, Lenzner B, Dawson W et al. (2017) Naturalized alien flora of the world: Species diversity, taxonomic and phylogenetic patterns, geographic distribution and global hotspots of plant invasion. *Preslia* 89(3):203–274. <https://doi.org/10.23855/preslia.2017.203>
- Řezáčová V, Řezáč M, Wilson GWT, Michalová T. (2022) Arbuscular mycorrhiza can be disadvantageous for weedy annuals in competition with paired perennial plants. *Sci Rep*. 12(1):20703. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24669-6>.
- Řezáčová V, Řezáč M, Liblová Z, Michalová T, Heneberg P. (2021) Stable colonization of native plants and early

- invaders by arbuscular mycorrhizal fungi after exposure to recent invaders from the *Asteraceae* family. *Invas Plant Sci Mana* 14(3):147–155 <https://doi.org/10.1017/inp.2021.17>
- Řezáčová V, Konvalinková T, Řezáč M. (2020). Decreased mycorrhizal colonization of *Conyza canadensis* (L.) Cronquist in invaded range does not affect fungal abundance in native plants. *Biologia* 75:693–699 <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00446-6>
- Shah MA, Beaulieu ME, Reshi ZA, Qureshi S, Khasa DP (2015) A cross-city molecular biogeographic investigation of arbuscular mycorrhizas in *Conyza canadensis* rhizosphere across native and non-native regions. *Ecol Process* 4:7. <https://doi.org/10.1186/s13717-015-0034-0>
- Shah MA, Reshi ZA, Khasa D (2009). Arbuscular mycorrhizal status of some Kashmir Himalayan alien invasive plants. *Mycorrhiza* 20(1):67–72. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0258-x>
- Shah MA, Reshi ZA, Khasa DP (2009) Arbuscular mycorrhizas: Drivers or passengers of alien plant invasion. *Bot. Rev.* 75, 397–417. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9039-7>
- Sokornova S, Malygin D, Terentev A, Dolzhenko V (2022) Arbuscular mycorrhiza symbiosis as a factor of *Asteraceae* species invasion. *Agronomy* 12(12):3214–3230. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123214>
- Trouvelot A, Kough JL, Gianinazzi-Pearson V (1986) Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes détermination ayant une signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S (eds) *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae*. Proceeding of the 1st European Symposium on Mycorrhizae. INRA: Paris. 217–221 [In French]
- Urcelay C, Tecco PA, Pérez M, Grilli G, Longo MS, Battistella R (2011) Mycorrhizal status and responsiveness of early successional communities from Chaque an region in central Argentina. In Pagano Med, *Mycorrhiza: occurrence in natural and restored environments*. Nova Science Publishers: New York. 147–163
- Vahter T, Lillipuu EM, Oja J, Öpik M, Vasar M, Hiiesalu I. (2023) Do commercial arbuscular mycorrhizal inoculants contain the species that they claim? *Mycorrhiza* 33(3):211–220. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01105-9>
- Zhang Q, Sun Q, Koide RT, Peng Z, Zhou J et al. (2014) Arbuscular mycorrhizal fungal mediation of plant-plant interactions in a marshland plant community. *Sci World J* 12:923610. <https://doi.org/10.1155/2014/923610>

Plant Protection News, 2023, 106(4), p. 195–200

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-4-16198>

Short communication

THE EFFECT OF HERBICIDES ON ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ASSOCIATED WITH ANNUAL INVASIVE *ASTEROIDEAE* WEEDS

S.V. Sokornova^{1*}, D.M. Malygin², A.S. Tkach¹, A.S. Golubev¹

¹All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

²Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: svsokornova@vizr.spb.ru

Invasive plants *Galinsoga parviflora* and *Erigeron canadensis* are common in crops and adjacent territories. One of the factors contributing to their spread is the community of arbuscular mycorrhizal fungi associated with these species. The nature of the symbiotic relationship between the host plant and AMF is determined by their phylogenetic position and place of growth. The aim of this work was to determine the level of mycorrhizal colonization of *E. canadensis* и *G. parviflora* growing in arable fields and along them. For plants at the flowering stage, high rates of frequency and intensity of mycorrhization were revealed. It has been shown that the level of mycorrhizal colonization of *E. canadensis* and *G. parviflora* is significantly influenced by the range of herbicides applied. The application of 2.4 D slightly reduced the intensity of colonization, but significantly stimulated the formation of arbuscules in plant roots. In turn, metribuzin prevented the formation of mycorrhiza. AMF associated with these plants formed a separate clade. This group, in our opinion, is responsible for more effective symbiosis with invasive plants of the *Asteroideae* subfamily and requires further closer study.

Keywords: *Millerieae*, *Astereae*, *Galinsoga parviflora*, *Erigeron canadensis*, symbiotic fungi, weed control

Submitted: 05.10.2023

Accepted: 12.12.2023