

УДК 581.55:582.24-155.724

*Б.К. Касымбеков, Д.Г. Фалеев***УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К АНТРОПОГЕННЫМ ФАКТОРАМ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ВЛИЯНИЕ ЭНДОМИКОРИЗ***(КазНУ им. аль-Фараби, НИИ проблем экологии, г. Алматы)*

Одну из ведущих ролей в устойчивости растений к неблагоприятным антропогенным факторам окружающей среды играют грибы образующие микоризы арбускулярного типа – эндомикоризы. Эндомикоризные грибы повышают устойчивость микотрофных растений к неблагоприятным условиям окружающей среды, играют важную роль в восстановлении экосистем загрязненных веществами антропогенного происхождения, и все больше используются во многих странах для улучшения питания растений и почвенного плодородия деградированных земель.

Арбускулярная микориза имеет огромное значение в минеральном питании растений, а следовательно велика ее роль и в жизнедеятельности растений, в частности произрастающих на почвах подверженных воздействию различных антропогенных факторов: засолению почв, загрязнению тяжелыми металлами, радионуклидами. Изучение влияния поллютантов антропогенного происхождения на микотрофные растения позволит расширить наши представления о механизмах проникновения поллютантов в растения и роли арбускулярной микоризы в данных процессах, что позволит в будущем разработать эффективные технологии по фиторемедиации и фитостабилизации земель подверженных загрязнению, как тяжелыми металлами, так и радионуклидами, а также земель подверженных засолению почв [1].

Несмотря на громадный интерес к микоризе многочисленных исследователей всего мира, в связи с ее большим теоретическим и практическим значением, в природе эндомикориз остается еще много непознанного. Результаты многочисленных исследований проведенных микоризологами довольно противоречивы, одни свидетельствуют о том, что повышение степени загрязнения почв поллютантами антропогенного происхождения снижает степень микотрофности, а то и полностью игнорирует колонизацию арбускулярной микоризы, другие, напротив, показывают отсутствие изменений и даже повышение уровня микосимбиотрофизма [2].

В КазНУ им. аль-Фараби исследование роли микосимбиотрофизма в природе и в условиях почвенного загрязнения поллютантами антропогенного происхождения были начаты в 90-х гг. прошлого века под руководством профессора Мухитдинова Н.М.

Наши исследования показали, что микоризные растения более устойчивы к засолению. Повышение толерантности к засолению микоризных растений многими исследователями объясняется их лучшим минеральным питанием, особенно фосфорным, но влияние микоризных грибов на солеустойчивость не может быть ограничено только этим механизмом. Так, в лабораторных опытах по изучению влияния арбускулярной микоризы на активность пролина в корнях и листьях фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) в условиях засоления почв NaCl показали, что на первые сутки после внесения соли в концентрации 4 г/кг почвы у микоризных растений показатели содержания пролина в корнях был в 3 раза выше, чем у не микоризных (246,7 сек/г – микоризные, 92,7 сек/г – немикоризные), в то время как в листьях активность пролина у микоризных растений напротив была почти в 2 раза ниже, чем у немикоризных (29,60 сек/г – микотрофные, 58,01 сек/г – немикотрофные). Повышение активности пролина в листьях микоризных растений (почти в 2 раза: с 29,60 до 78,62 сек/г) было зафиксировано только на шестой день проведения опыта.

Более высокая активность пролина в корнях микотрофных растений уже на первые сутки после внесения NaCl может указывать на включение механизмов блокирования проникновения соли из корней в надземные органы. А более высокие показатели активности пероксидаз микоризных растений в листьях на 3-и сутки, по сравнению с не микоризными судя по всему говорят о протекторной роли эндомикориз в условиях засоления почв NaCl. Следовательно, можно сделать вывод, что арбускулярная микориза значительно увеличивает устойчивость растений к засолению почв NaCl.

В последнее время внимание многих исследователей привлекает изучение протекторной роли эндомикоризных грибов в жизнедеятельности растений произрастающих на почвах загрязненных тяжелыми металлами.

Проведенные нами исследования показали, что почвенные загрязнения тяжелыми металлами влияют на степень микосимбиотрофизма травянистых растений г. Алматы. В точках с низкой степенью почвенных загрязнений в микроскопированных образцах корневых систем наблюдался самый высокий показатель микосимбиотрофизма. Максимальная степень микотрофности была у представителей семейства *Fabaceae*. Средние показатели интенсивности микоризной инфекции в семействах *Asteraceae* и *Plantaginaceae* были заметно ниже. Слабее всего микосимбиотрофизм был развит среди растений семейства *Poaceae*.

При повышении степени загрязнения почв до 5-10 фоновых показателей интенсивность микоризной инфекции снижалась больше среди представителей *Poaceae* и *Asteraceae*, в то время, как у растений относящихся к семействам *Fabaceae* и *Plantaginaceae*, снижение степени микотрофности было не значительным.

Повышение суммарной степени загрязнения почв до 10 и более фоновых показателей приводило к значительному снижению интенсивности микоризной инфекции у всех исследованных растений. С повышением степени загрязнения почв тяжелыми металлами наблюдалась также четкая тенденция к снижению количества высоко- и среднемикотрофных растений, в то время как количество слабомикотрофных – напротив увеличивалось, появлялись безмикоризные экземпляры. Менее устойчивыми к воздействию тяжелых металлов были *Artemisia annua* L., *Trifolium hybridum* L., *Agropyron repens* (L.) Beauv. Больше всего подвержен был влиянию почвенных загрязнений *Trifolium repens* L. Высокой толерантностью к почвенным загрязнениям тяжелыми металлами обладали *Plantago lanceolata* L., *Bromus tectorum* L., *Artemisia vulgaris* L. Самым устойчивым к повышению суммарной степени загрязнения почв оказался *Taraxacum officinale* Wigg.

Эндомикоризные грибы оказывают протекторное воздействие на растение-хозяина в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами, но вместе с тем тяжелые металлы влияют на грибы образующие арбускулярную микоризу, снижая количество спор.

Проведенные исследования по изучению влияния суммарной степени загрязнения почв на

количественные характеристики спор грибов образующих арбускулярную микоризу травянистых растений г. Алматы также показали, что повышение почвенных загрязнений (в 10 и более раз по сравнению с фоном) отрицательно сказывалось на популяции эндомикоризных грибов, приводя к снижению количественного и видового состава спор. Так, в точках с низкой степенью загрязнения почв (суммарная степень загрязнения почв не превышала фон, либо незначительно превышала фоновые показатели (не более чем в 3 раза)) было выявлено значительное количество спор: достигавшее 609 спор на 100г сухой массы почвы. В отобранных образцах почв основную массу извлеченных спор составили хламидоспоры, характерные для эндомикоризных грибов родов *Glomus* и *Sclerocystis*. Значительно реже встречались азигоспоры, характерные для видов рода *Gigaspora*. В точках с очень высокой степенью загрязнения почв (суммарная степень загрязнения почв достигала 10 и более фоновых показателей) количество спор значительно снижалось (почти в пять раз) составив 128 спор на 100г сухой массы почвы. В исследованных образцах почв были выявлены только хламидоспоры, азигоспоровые виды не обнаружены [3].

Схожие данные были получены в ходе проведения нами лабораторных исследований по выращиванию растений *Heliantus annuus* L. в горшечной культуре с внесением спор р. *Glomus* (*G. etunicatum*, *G. Intraradices*, *G. claroideum*): количество спор при внесении Cu и Pb, в концентрации 1,5 ммоль/л существенно снижается, со 126 шт./100г почвосмеси в контроле до 78 (для Cu) и 44 шт./100г почвосмеси (для Pb) (соответственно в 1,6 и 3 раза).

О протекторной роли микоризы в условиях почвенных загрязнений тяжелыми металлами говорит такой факт, как более высокая концентрация хлорофилла и каротиноидов в листьях микоризных растениях по сравнению с безмикоризными. Проведенные исследования показали, что внесение инокулюма грибов-микоризообразователей приводит к повышению содержания хлорофилла *a* в листьях исследованных нами растений *Avena sativa*. Так, в листьях немикоризных растений данный показатель был на 15,2% ниже чем у микоризных (составив соответственно $5,98 \pm 0,29$ и $7,05 \pm 0,37$ мг/л). При этом, содержание хлорофилла *b* у микоризных и немикоризных представителей овса практически не различалось: соответственно $4,69 \pm 0,09$ (немикоризные) и $4,96 \pm 0,25$ мг/л (микоризные). Показатель содержания хлорофилла *a+b* в листьях

растений овса у микоризных экземпляров был в среднем на 12,4% выше, чем у не микоризных: соответственно $12,01 \pm 0,12$ и $10,68 \pm 0,02$ мг/л.

Внесение в почву цветных металлов (Cu, Zn в концентрации 250 мг/кг) в целом негативно влияло на содержание хлорофилла в листьях исследованных растений, приводя к заметному снижению изученных параметров. При этом, содержание хлорофилла *a* у микотрофных растений было выше, чем у не микотрофных, как при внесении цинка, так и при внесении меди. Так, листья микотрофных растений при внесении Zn содержали хлорофилла *a* на 13,2% больше, чем не микоризные (соответственно $5,99 \pm 0,07$ и $6,90 \pm 0,21$ мг/л), при внесении Cu – больше на 5,2% (соответственно $6,35 \pm 0,02$ и $6,70 \pm 0,16$ мг/кг). При внесении Zn математически достоверного различия в содержании хлорофилла *b* у не микоризных и микоризных представителей овса посевного не выявлено: соответственно $4,02 \pm 0,19$ и $4,25 \pm 0,16$ мг/л. Вместе с тем, при внесении Cu данный показатель у микотрофных экземпляров был на 33,4% выше, чем у не микотрофных (соответственно $4,85 \pm 0,83$ и $3,25 \pm 0,70$ мг/л).

Содержание хлорофилла *a+b* в листьях не микоризных растений выращенных с добавлением Zn было на 10,1% ниже, чем у микоризных (соответственно $10,02 \pm 0,13$ и $11,15 \pm 0,38$ мг/л). Аналогичный показатель у не микотрофных представителей овса посевного при внесении в почву Cu составил в среднем $9,79 \pm 0,81$ мг/л, у микотрофных – $11,58 \pm 0,64$ мг/л, что на 17,1% больше чем у не микотрофных растений.

Проведенные исследования, содержания каротиноидов в листьях фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.), позволили выявить влияние микоризации (заражения корней растения-хозяина грибом микоризообразователем) на содержание данного вещества как при нулевых концентрациях металлов, так и при внесении свинца, в концентрации 300 мг/кг.

Проведенные исследования показали, что микоризация растений приводит к существенному повышению содержания каротиноидов в листьях растений. Так, у микоризных экземпляров содержание каротиноидов было в 1,5 раза больше чем у не микоризных, составив соответственно $0,059 \pm 0,009$ и $0,039 \pm 0,004$ г/100г. Повышение содержания каротиноидов в листьях исследованных растений не могло не сказаться на общем состоянии растения, в частности, на таких показателях роста, как высота и площадь листьев. Так, площадь листьев у немикотрофных экземпляров составила в среднем 1364 мм

кв., в то время как у микотрофных данный показатель поднимался в среднем до 1787 мм кв. Среднее значение высоты у немикоризных экземпляров фасоли было на 32 мм ниже, чем у микоризных составив в среднем соответственно 215,4 и 247,4 мм.

Внесение Pb приводило к повышению содержания каротиноидов в листьях исследованных растений, что, судя по всему, объясняется стрессовой реакцией растений на внесенный поллютант. При этом, количество каротиноидов в листьях микоризных растений выросло гораздо больше, чем у не микоризных. Так, количество каротиноидов при внесении 300 мг/кг Pb у не микоризных экземпляров увеличилось на 0,010 г/100г (с $0,039 \pm 0,004$ до $0,049 \pm 0,006$ г/100г), в то время как у микоризных аналогичный показатель вырос почти в 2 раза (с $0,059 \pm 0,009$ до $0,113 \pm 0,012$ г/100г), что, судя по всему, говорит о более высокой интенсивности биохимических процессов, связанных с реакцией растений на данный стрессовый фактор, и большей устойчивости микотрофных растений к загрязнению поллютантами, в частности к загрязнению почв свинцом.

Проведенные нами исследования показали, что, несмотря на внесение свинца в концентрации 300 мг/кг, количество каротиноидов в листьях микотрофных растений *Ph. vulgaris* было в 2 раза выше, чем у не микотрофных, следовательно, микориза продолжает играть существенную роль в жизнедеятельности растения, повышая его толерантность к неблагоприятным факторам окружающей среды, в частности к загрязнению почв тяжелыми металлами.

Проведенные биохимические исследования показали, что при внесении в почву тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn,) не смотря на снижение всех исследованных параметров растений – высоты, площади листьев, содержание каротиноидов в листьях у *Ph. vulgaris* и содержание хлорофилла в листьях *Avena sativa* микотрофные растения имели более высокие показатели по изученным параметрам, что говорит о протекторной роли грибов-микоризообразователей в условиях почвенного загрязнения тяжелыми металлами.

Использование растений для аккумуляции радионуклеидов из почв с низким уровнем радиационного загрязнения, с последующим сжиганием растительного материала для концентрации радионуклеидов, может быть жизнеспособным и экономичным методом ремедиации территорий подверженных радиационному загрязнению. При использовании трав *Paspalum*

notatum, *Sorghum halpense*, *Panicum virginatum* в наземной биомассе растений концентрируется от 26,3 до 71,7 % ^{137}Cs и от 23,9 до 88,7% ^{90}Sr от уровня загрязнения почвы. Особого результата можно добиться после сбора уже 3-х урожаев. Микоризные растения (образовавшие эндомикоризы с грибом *Glomus mossea*) по сравнению с безмикоризными растениями, имели большую массу корневой системы, более высокие концентрации Cs и Sr в растительных тканях.

Высокий эффект удаления радионуклеидов, с использованием микоризных растений-аккумуляторов, может стать действительной стратегией в ремидации и восстановлении территорий подверженных радиоактивному загрязнению [4].

Проведенные нами исследования показали, что не смотря на сравнительно высокий уровень радиационного загрязнения (в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона), микоризная инфекция у *Stipa capillata* L. и *Festuca valesiaca* Gaudin. сохранялись. Следовательно, у них сохранялась и более высокая, по сравнению с безмикоризными растениями, устойчивость к изменяющимся экологическим условиям окружающей среды [5].

С повышением степени радиационного загрязнения наблюдается заметное увеличение интенсивности микоризной инфекции как у *Stipa capillata* L., так и у *Festuca valesiaca* Gaudin. При очень высоком уровне загрязнения в корнях *Stipa capillata* L. структуры характерные для грибов образующих арбускулярную микоризу не выявлены.

Таким образом, эндомикориза может регулировать поглощение тяжелых металлов из почвы растениями, а также, ограничивать их перемещение в листья. Однако, различия в поглощении зависят от вида гриба и растения-хозяина, а также от свойств почвы: ее pH, плодородия и т.д. Доказано, что микоризные грибы продуцируют в почве хелаты, образующие с металлами комплексные труднорастворимые соединения, таким образом связывая и нейтрализуя тяжелые металлы.

Дальнейшее проведение исследований в области изучения влияния микоризации на устойчивость растений к загрязнению почв ТМ, а также на влияние поглощения поллютантов микотрофными растениями является весьма перспек-

тивным направлением при разработке технологий рекультивации земель загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gildon A., Tinker P.B. A heavy metal-tolerant strain of mycorrhizal fungus // Trans. Brit. Mycol. Soc. - 1981. - Vol. 77, №3. - P.648-649.
2. Sharma A.K., Johri B.N. Arbuscular Mycorrhizae Interactions in Plants, Rhizosphere and Soils. - Plymouth: Science Publishers UK, 2002. - 363p.
3. Фалеев Д.Г., Турмагамбетова А.С., Маметова К.А. Влияние почвенных загрязнений на количество спор эндомикоризных грибов антропофитоценозов г. Алматы // Актуальные вопросы современной биологии и биотехнологии: Тезисы 3 международной науч. конф. молодых ученых и студентов. - Алматы, 2003. - С. 80-81.
4. Entry J.A., Watrud L.S., Reeves M. Accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr from contaminated soil by three grass species inoculated with mycorrhizal fungi // Environmental Pollution. - 1999. - Vol. 104. - P. 449-457.
5. Rogers R.D., Williams S.E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae: influence on plant uptake of cesium and cobalt // Soil Biology and Biochemistry. - 1986. - Vol. 4. - P. 371-376.
6. Фалеев Е.Г., Ахтаева Н.З., Фалеев Д.Г. Интенсивность микоризной инфекции *Stipa capillata* L. Семипалатинского испытательного полигона // Актуальные вопросы современной биологии и биотехнологии: Тезисы докл. 58-ой научной конф. молодых ученых и студентов. - Алматы, 2004. - С. 69-70.
7. Айдосова С.С., Касымбеков Б.К., Ахтаева Н.З. Интенсивность микоризной инфекции некоторых злаков опытно-экспериментальной площадки «Балапан» // Вестник КазНУ. Серия экологическая. - 2004. - №1 (14). - С. 125-130.

Тұжырым

Эндомикоризның қорғаныш қызметі көрсетілген. Ауыр металдарға сезімтал өсімдіктерді антропогендік ластанушы заттардың, оның ішінде ауыр металдардың индикаторлық тест-жүйелері ретінде қолдануға болады. Сол себепті ластанған жерлерді қалпына келтіру және рекультивациялау мақсатында микосимбиотрофизм интенсивтілігі жоғары және орташа өсімдіктерді пайдалану қажет. Ауыр металдармен ластанған топырақта өсірілген микотрофты өсімдіктердің көрсеткіштері (жапырақ көлемі, хлорофилл және каротиноид мөлшері) микотрофты емес өсімдіктермен салыстырғанда жоғары болды. Эндомикоризның қорғаныш қызметі көрсетілген.

Summary

Arbuscular mycorrhiza increased plants tolerance to pollutants. Plants which are less resistant to heavy metals can be used as indicative test systems by detecting the pollutants influence rate. Therefore, the plants with high and average mycosymbiotrophism intensity should be used for recultivation and remediation of soils. It was comparing a mycorrhizal and nonmycorrhizal plant, growing on heavy metal (Pb, Cu, Zn) polluted soil. Arbuscular mycorrhiza increased plants tolerance to heavy metal.