Metabolic alterations in pea leaves and roots during arbuscular mycorrhiza development

Shtark O.Y.¹, Puzanskiy R.K.^{2,3}, Avdeeva G.S.², Yemelyanov V.V.², Kliukova M.S.¹, Shavarda A.L.⁴, Kirpichnikova A.A.², Afonin A.M.¹, Tikhonovich I.A.^{1,2}, Zhukov V.A.¹, Shishova M.F.²

¹All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Pushkin, St. Petersburg, Russia; ²Faculty of Biology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia; ³Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia; ⁴Center for Molecular and Cell Technologies, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
E-mail: oshtark@yandex.ru

Key message. A shift in the metabolic profiles of leaves and roots of mycorrhized pea plants towards the profiles of control plants at earlier stages of development was revealed. Thus, mycorrhization led to the retardation of plant development.

Keywords: pea (*Pisum sativum* L.), arbuscular mycorrhiza, leaves, roots, metabolic profile

For the proper use of arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis in agriculture, a detailed understanding of the molecular basis of the plant developmental response to mycorrhization is needed. Information for pea (*Pisum sativum* L.) is scarce and its biochemical aspects need further study. The aim of this work was to uncover the metabolic alterations in pea leaves and roots associated with root colonization by the fungus *Rhizophagus irregularis*. Plants were grown in constant environmental conditions under phosphate deficiency. Plants were analyzed at three time points, which corresponded to key developmental stages of the pea – I: first leaf with two pairs of leaflets and a complex tendril; II: the first open flower; and III: when the pod is filled with green seeds. Metabolome was analyzed with gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). Data were processed in the environment of the R language. Both the leaf and root metabolic profiles showed a strong correlation with plant age, and, to a lesser extent, was influenced by mycorrhization. Metabolic shifts influenced the levels of sugars, amino acids and other intermediates of nitrogen and phosphorus metabolism, and lipophilic compounds. Significant differences were revealed between the metabolic profiles of roots and leaves, as well as between those of individual organs at distinct time points. Particularly, in the roots of AM plants at stage II (characterized by the most intensive AM development) higher levels of fatty acids in comparison to roots of both the control plants and the AM plants at other stages were observed. At stages II and III, both the leaf and root metabolic profiles of AM plants shifted towards the profiles of the control plants at earlier developmental stages. Thus, mycorrhization led to the retardation of plant development, which was also associated with an extended vegetation period. A similar effect was found earlier in relation to the level of pea seed maturity [1]. These effects promise to be beneficial for agriculture, especially for the green pea cultivars which are harvested before seed maturation. This work is supported by the grants of RSF (16-16-00118, 17-76-30016) and RFBR (20-04-01136).

Метаболические перестройки в листьях и корнях гороха в процессе развития арбускулярной микоризы

Штарк О.Ю.¹, Пузанский Р.К.^{2,3}, Авдеева Г.С.², Емельянов В.В.², Ключкова М.С.¹, Шаварда А.Л.⁴,
Кирпичникова А.А.², Афонин А.М.¹, Тихонович И.А.^{1,2}, Жуков В.А.¹, Шишова М.Ф.²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия; ²Биологический факультет Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия; ³Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия; ⁴Центр молекулярных и клеточных технологий Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Выявлено смещение профилей метаболитов листьев и корней микоризованных растений гороха в сторону профилей контрольных растений на более ранних стадиях развития. Таким образом, микоризация привела к замедлению развития растений.

Ключевые слова: горох (*Pisum sativum* L.), арбускулярная микориза, листья, корни, профиль метаболитов

Для рационального использования арбускулярной микоризы (АМ) в сельском хозяйстве необходимо детальное понимание молекулярных основ ответа растения на микоризацию. Информация о горохе (*Pisum sativum* L.) недостаточна, в частности, дальнейшего изучения требуют биохимические аспекты ответа растения на микоризацию. Данная работа посвящена анализу метаболомных перестроек в листьях и корнях гороха, связанных с колонизацией корней грибом *Rhizophagus irregularis*. Растения были выращены в условиях климатической камеры при дефиците доступного фосфата. Растения анализировали в трех временных точках, что соответствовало ключевым стадиям развития гороха: I – первый лист с двумя парами листочков и сложным усиком; II – первый раскрытый цветок; и III – боб, заполненный зелеными семенами. Анализ метаболома производили с использованием газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией (GC-MS). Полученные данные обработаны в среде языка R. Профили метаболитов как листа, так и корня продемонстрировали сильную корреляцию с возрастом растения и, в меньшей степени, находились под влиянием микоризации. Метаболические сдвиги затрагивали уровни сахаров, аминокислот и других промежуточных продуктов метаболизма азота и фосфора, а также липофильных соединений. Выявлены существенные различия между профилями метаболитов корней и листьев, а также профилями отдельных органов на разных стадиях. В частности, на стадии II (характеризующейся наиболее интенсивным развитием АМ) в корнях микоризованных растений наблюдались более высокие уровни жирных кислот, по сравнению с корнями как контрольных, так и микоризованных растений на других стадиях. На стадиях II и III как метаболические профили листьев, так и корней растений АМ смещались в сторону профилей контрольных растений, находящихся на более ранних стадиях развития. Таким образом, микоризация привела к замедлению развития растений, что также было ассоциировано с более продолжительным вегетационным периодом. Сходный эффект был обнаружен ранее в отношении степени зрелости семян гороха [1]. Наблюдаемые эффекты могут быть полезны для сельского хозяйства, особенно при выращивании сортов гороха, уборку которых производят до полного созревания семян. Работа поддержана грантами РФФИ (16-16-00118, 17-76-30016) и РФФИ (20-04-01136).