

DOI: 10.25205/978-5-4437-1843-9-261

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ АРБУСКУЛЯРНО-МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ<sup>\*</sup>**

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PLANT GROWTH  
STIMULANTS BASED ON ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI**

Т. Р. Кудряшова<sup>1,2</sup>, А. А. Крюков<sup>2</sup>, А. П. Юрков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург*

T. R. Kudriashova<sup>1,2</sup>, A. A. Kryukov<sup>2</sup>, A. P. Yurkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

<sup>2</sup>*All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Microbiology, Saint Petersburg*

✉ [tahacorfu@yandex.ru](mailto:tahacorfu@yandex.ru)

**Аннотация**

В работе представлены промежуточные результаты по разработке предиктивного метода оценки эффективности стимуляторов роста растений на основе грибов арbusкулярной микоризы. Были проанализированы относительные уровни экспрессии генов из трех ключевых семейств у модельного растения *Medicago lupulina* в симбиозе с грибом *Rhizophagus irregularis* в ключевые стадии онтогенеза растения-хозяина при различных условиях с целью выявления генов-маркеров.

**Abstract**

The article presents interim results on the development of a predictive method for evaluating the effectiveness of plant growth stimulants based on arbuscular mycorrhiza fungi. The relative expression levels of genes from three key families in the model plant *Medicago lupulina* in symbiosis with the fungus *Rhizophagus irregularis* at key stages of host plant ontogenesis under various conditions were analyzed in order to identify marker genes.

Интенсивное развитие сельского хозяйства, повышение нагрузки на агроэкосистемы обусловлены ростом потребностей населения мира в сельскохозяйственной продукции. Особенно возрастают в 2025 г. тенденции к все большему разведению скота, а также к увеличению производства животноводческой и мясной продукции. В связи с этим экспертам в области сельского хозяйства необходимо больше внимания уделить возделыванию кормовых культур. Например, люцерна обладает большим количеством белка, это отличный сидерат, она подходит для ремедиации почв и считается лекарственным растением. За счет антропогенного воздействия нарушаются микробный состав почв, что приводит к ухудшению плодородия и снижению урожаев. По данным Росстата, наблюдается ежегодный рост применения минеральных удобрений, их использование достигло 3,43 млн т. Все большую актуальность приобретает использование биоудобрений на основе микробной биомассы, что способствует восстановлению деградированных земель. Разрабатываются новые способы возделывания сельскохозяйственных культур на основе биологического земледелия с использованием биопрепаратов, разработанных на основе ряда микроорганизмов — бактерий и грибов — и по результатам селекции симбиотических растительно-микробных систем. Наиболее распространенным из них и экологически значимым является арbusкулярная микориза (AM), формируемая более чем 92 % семейств растений с грибами отдела Glomeromycota.

Грибы арbusкулярной микоризы играют ключевую роль в наземных экосистемах, усиливая питание растений, особенно фосфорное, повышая адаптацию растений к стресс-факторам среды биотической и абиотической природы, принимая участие в восстановлении нарушенных земель. Помимо защиты растений от патогенов, грибы AM нормализуют водный баланс растения, а также регулируют водный транспорт, особенно в условиях засухи с помощью изменения экспрессии генов аквапоринов у растения-хозяина. В настоящее время ведется активная разработка биопрепаратов — усилителей роста растений на основе этих грибов, несмотря на их облигатный статус по отношению к растению-хозяину. При AM-сymbioze кортикалные клетки корня создают периарbusкулярную мембрану, окрывающую каждую арbusкулу AM-гриба, тем самым отделяя гриб от цитоплазмы растения. Этот процесс устанавливает симбиоз между растениями и грибами с целью обмена между симбионтами питательных веществ. Рынок AM-биопрепаратов постоянно обновляется, а вот их эффективность почти всегда неизвестна. Обычно это сухие смеси — порошки, имеющие низкую или нулевую эффективность для растений.

<sup>\*</sup> Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-76-00068).

© Т. Р. Кудряшова, А. А. Крюков, А. П. Юрков, 2025

Исследования в ряде случаев показали отсутствие грибов АМ в таких препаратах. Закупка и использование таких препаратов без проверки эффективности наносит вред для сельского хозяйства. Соответственно, промышленное сельское хозяйство нуждается в протоколах и методах для проверки таких препаратов в полевых условиях.

Для оценки эффективности препаратов на основе АМ грибов будет использоваться анализ относительных уровней экспрессии симбиотических генов-маркеров, в первую очередь генов аквапоринов, генов транспорта сахаров и фосфора (AQP, SWEET, PHT). Такой метод позволит определять эффективность АМ-симбиоза уже на ранних стадиях развития растения-хозяина, предотвратив возможные убытки от некачественных биопрепаратов.

Нами были проанализированы относительные уровни экспрессии генов из трех ключевых семейств у модельного растения люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.) в симбиозе с грибом АМ *Rhizophagus irregularis* в ключевые стадии онтогенеза растения-хозяина (розетка, начало стеблевания, стеблевание, начало бокового ветвления, боковое ветвление и цветение) при различных условиях (три уровня биодоступного фосфора в субстрате — Рд, недостаток влаги). По проведенным исследованиям гены-кандидаты в маркеры эффективного АМ симбиоза из семейства фосфорных транспортеров — *MlPT4*, транспортеров углеводов — *MlSWEET1b*, *MlSWEET3c* и *MlSWEET16*, аквапоринов — *NIP2.1*, *NIP 4.2*. Эти гены рекомендуются к применению для тестирования эффективности АМ-симбиозов в полевых условиях с целью проверки качества биопрепаратов. Подобранные нами для исследований растительно-микробная система «*M. lupulina + R. irregularis*» высокопродуктивна и эффективна. При инокуляции продуктивность надземной биомассы *M. lupulina* составила до 1,8 раза в условиях низкого уровня Рд. Наиболее развитая микоризация — в условиях низкого уровня фосфора ( $F$  — от  $70,6 \pm 3,0$  до  $98,1 \pm 0,4$  %), при этом обилие арbusкул (а, %) сохранялось на всех этапах развития растения-хозяина при всех используемых условиях этого исследования.