

## Адаптация метаболитных профилей психрофильных микромицетов к дефициту элементов-органогенов в среде

Пожванов Г.А.<sup>\*,\*\*,\*\*</sup>, Ильюшин В.А.<sup>\*</sup>, Кирицдели И.Ю.<sup>\*</sup>, Шаварда А.Л.<sup>\*,\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197376, ул. проф. Попова, 2, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>\*\*</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>\*\*\*</sup> Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена, 191186, наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург, Россия.

[pozhanov@binran.ru](mailto:pozhanov@binran.ru)

Микромицеты, изолированные в Арктической зоне, представляют большой интерес как с точки зрения механизмов адаптации к постоянному обитанию при пониженных температурах, так и при реализации адаптационного потенциала в условиях дефицита элементов-органогенов, при техногенном загрязнении субстрата и изменении температурного режима. Изменение трофических условий отражается в динамике метаболитного состояния организмов: выявляются стабильные и лабильные элементы (индивидуальные метаболиты, группы метаболитов, объединенные структурным сходством или общими процессами биогенеза). Исследование выполнено на нескольких видах микромицетов: *Cadaphora antarctica*, *Cosmospora berkeleyanum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, изолированных в 2018 году с о. Шпицберген. Микромицеты культивировали в стерильных условиях на жидкой питательной среде (среда Чапека) в условиях развития адаптации к дефициту фосфора, азота и углерода в среде и при контакте с микро- и наночастицами породы отвалов угольных шахт. Метаболиты экстрагировали смесью метанола, хлороформа и воды (5:2:2 об./об.), их ТМС-производные после двухэтапной химической дериватизации анализировали методом газовой хроматографии–масс-спектрометрии на приборах LECO Pegasus 4D и Agilent 6850 GC. Полученные данные после множественного выравнивания, деконволюции и идентификации метаболитов в пакете MS-DIAL с использованием библиотек Golm Metabolome Database и in-house базы данных анализировали методом PLS-DA.

При множественном сравнении (контроль, дефицит среды по углероду, фосфору и азоту, добавление микрочастиц породы) метаболитные профили микромицетов демонстрировали значимые различия на уровне вида, связанные главным образом с содержанием аминокислот, органических кислот и сахаров (оксипролин, аспартат, серин, глутамат; гликолат, пируват, малат; трегалоза, мальтотриоза, фруктозо-6-фосфат, соответственно). Несмотря на это, все исследованные виды микромицетов демонстрировали сходный паттерн участия метаболитов в адаптации к условиям среды, причем наиболее выраженным являлся ответ на присутствие микрочастиц породы отвалов угольных шахт. В таких условиях накапливался оксипролин, глицерол (осмотически-активные вещества), возрастал уровень свободных жирных кислот (пальмитиновая, стеариновая), снижалось относительное содержание аминокислот (аспартат, серин), и в основном снижалось содержание органических кислот (сукцинат, оксоглутарат, пируват). Примечательно, что уровень трисахаридов (трегалоза, мальтотриоза) возрастал при одновременном снижении уровня дисахаридов (сахароза, мальтоза). Среди исследованных в эксперименте элементов-органогенов (углерод, азот, фосфор), дефицит углерода оказывал значимое влияние на метаболитный профиль *Pseudogymnoascus pannorum* (снижение уровней большинства метаболитов, угнетение роста культуры), в то время как реакция *Cadaphora antarctica* и особенно *Cosmospora berkeleyanum* была выражена слабо: изменялся лишь уровень осмотически-активных метаболитов.

Таким образом, культивирование исследованных микромицетов на среде с присутствием микрочастиц породы приводит к интенсификации реакций цикла Кребса, изменению уровней ди-, трисахаридов. Метаболизм психрофильных микромицетов адаптирован, с одной стороны, к низким температурам, что коррелирует с изменением уровня осмотически-активных метаболитов при дефиците углерода в среде, с другой стороны, метаболитная сеть устойчива к дефициту азота и фосфора.

Работа была выполнена при поддержке РЦ «Развитие клеточных и молекулярных технологий» СПбГУ.