

УДК 561.28:678.6

А. В. Руденко¹, Э. З. Коваль¹, Ю. В. Савельев²,
Т. А. Алехова³, Т. Ю. Новожилова³, Л. И. Ленова¹,
Е. М. Волощук¹

¹Інститут урології Академії медичних наук України, Київ

²Інститут хімії високомолекулярних сполук Національної академії наук України, Київ

³Московський державний університет ім. М. В. Ломоносова, Росія

Микодеструкция полимерных материалов в условиях Земли и космоса

Процеси микодеструкції полімерних матеріалів різної структури відмічені майже в усіх кліматичних зонах Землі. Здатність колонізувати полімери відома більш ніж для 300 видів мікроміцетів, що пояснюється їхніми фізіолого-біохімічними властивостями та високою екологічною валентністю. У закритих приміщеннях з відповідними параметрами вологості й температури на полімерних матеріалах виявлено майже 50 видів микодеструкторів, що дає підстави прогнозувати їхнє функціонування й на орбітальних станціях. На поверхні приладів та обладнання в кабіні станції «Мир» вже виявлено види аспергилів та пеніциліїв, які широко розповсюджені й на Землі. Ці ж види були ізольовані з різних частин тіла космонавтів. Всі види мікроміцетів, відмічені в умовах космосу, відносяться до екологічної групи екстремофілів, а в медико-санітарному аспекті по шкалі BSL — до потенційно небезпечних для людини. У зв'язку з цим встановлення грибостійкості, фунгіцидності та безпечності полімерних матеріалів є актуальною й пріоритетною проблемою.

Трудно было предположить, что при освоении космического пространства возникнут проблемы микодеструкции конструкционных материалов подобно тем, которые решаются на Земле. Однако после первых длительных полетов орбитальных станций (ОС) была обнаружена контаминация микромицетами поверхностей внутренних систем оборудования, приборов, воздушного пространства кабин и т. д. [3—5, 8]. Это послужило импульсом для всестороннего изучения функционирования микромицетов в условиях космоса, разработки технологий создания грибостойких материалов, обеззараживания внутреннего воздушного пространства с целью обеспечения безопасности инфицирования участников полетов.

Очевидно, что проявление жизнедеятельности микромицетов в условиях ОС обусловлено факторами, наиболее необходимыми для них: закрытое пространство, в котором соблюдаются постоянные параметры температуры и влажности, а в воздухе

содержатся углеродные компоненты. Но контаминация спорами либо фрагментами гифов, несомненно, происходит на Земле и проследить все стадии этого процесса достаточно трудно. Можно предположить, что одной из причин является воздух, в котором всегда имеются споры микроорганизмов и он служит постоянным резервуаром инфекции [10, 12].

В условиях возрастающего техногенного прессинга происходят неадекватные изменения окружающей среды и всей биосферы. Поскольку увеличивается количество создаваемых новых конструкционных материалов, нарушаются сбалансированные естественные процессы деградации неорганического и биологического компонентов, под влиянием различных мутагенных факторов могут возникать измененные формы микроорганизмов, способных разрушать сложные структуры, редко встречаемые в природе. Изменения компонентного состава отмечены для гео- и гидробиоценозов, но особого вни-

мания заслуживают качественные и количественные изменения, происходящие в аэробиеоценозах, которые служат основным источником инфицирования различных материалов, в том числе и полимеров.

В современных условиях загрязнения воздушного пространства отходами многочисленных производств наблюдается увеличение количества спор (пропагул) микроскопических грибов — микромицетов. Эти микроорганизмы характеризуются высокой экологической валентностью, которая обеспечивается их способностью продуцировать разнообразные ферменты, органические кислоты, токсины, биологически активные вещества, оказывающие воздействие на кинетику электронных реакций полимерного субстрата. Большинство видов технофильных микромицетов, вызывающих деструкцию полимерных субстратов, отличается значительной конкурентноспособностью и относится к группе экстремофилов, т. е. таких, которые могут функционировать на субстратах, не содержащих доступной органики, лимитированных по содержанию влаги и выдерживающих воздействие ионизирующих излучений, высоких доз радиации, низких и высоких температур и т. д. [9, 11].

В условиях Земли процессы микодеструкции полимерных материалов исследованы еще недостаточно для того, чтобы полностью контролировать все стадии, прогнозировать исход и обеспечивать грибоустойкость. Несмотря на то, что установлен видовой состав микромицетов, колонизирующих полимеры, невозможно предусмотреть какой вид в конкретных условиях окажется наиболее агрессивным и опасным. Общее количество таких видов превышает 300, но среди них имеются особо активные, которые можно считать «специализированными» к полимерному субстрату и для которых исследован механизм воздействия на него [11]. Это виды аспергиллов и пенициллов, способных усваивать структурные элементы соответствующих полимеров, индуцирующих биосинтез экзоферментов из групп оксидаз и редуктаз. При колонизации поливинилхлоридной пленки, пластифицированной диоктилфталатом, ряд видов фузариев способны продуцировать эстеразы, которые гидролизуют эфиры фталевой кислоты. Многие распространенные виды аспергиллов (*Aspergillus niger*, *A. oryzae*, *A. terreus*, *A. sulphureus* и др.) при функционировании на полимерных субстратах выделяют органические кислоты (винную, глюконовую, итаконовую, лимонную, молочную, фумаровую, щавелевую, яблочную, янтарную и т. п., а также их изомеры), которые и являются разрушающими фактором [2]. Для некоторых распространенных видов микроми-

цетов — продуцентов различных биологически активных веществ (*Aspergillus oryzae*, *A. niger*, *Penicillium chrysogenum* и т. д.) установлена способность сорбировать ионы металлов даже из вакуумных конденсатов [7].

Нельзя не акцентировать внимание на свойствах большинства видов микодеструкторов полимерных материалов развиваться в закрытых, недостаточно вентилируемых помещениях, особенно, с влажностью воздуха выше 40 % и достаточно высоким содержанием углекислоты [2, 7]. Перечисленные физиологические и биохимические особенности микромицетов являются предпосылкой для прогнозирования процессов микодеструкции полимеров и в условиях космоса. Основой такой предпосылки можно считать обнаружение в отсеках ОС тех же видов микромицетов, которые считаются основными агентами деструктивных процессов полимеров в различных климатических зонах Земли. Имеется информация о выявлении в отсеках орбитальных станций таких традиционных микодеструкторов, как *Aspergillus niger*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium chrysogenum*, *Pen. expansum* [8, 16]. Эти «полетные» штаммы отличались устойчивостью к разным дозам излучения, а динамика численности колониеобразующих единиц носила волнообразный характер и отражала временную зависимость микрорволюционных циклов в соответствии с элементарными потоками функционирования микробного сообщества в замкнутом пространстве космического комплекса. Выявлена зависимость между увеличением колонизации полимерных материалов и увеличением мощности поглощенной дозы [16].

Анализ имеющихся данных позволяет предположить общность механизма деструкции полимеров как в условиях Земли, так и космоса. Процесс микодеструкции включает ряд этапов, которые осуществляются независимо от вида микромицета, а также сопутствующих факторов и конспективно могут быть представлены в виде схемы (см. рисунок).

Схема этого процесса отражает возможность блокирования его на любом из этапов в зависимости от физиолого-биохимических свойств микодеструктора и доступности для него данного полимера. В результате процесса деструкции могут накапливаться продукты распада полимеров, которые действуют на агентов в начальной стадии этого каскадного процесса как ингибиторы, но являются трофическим источником для микромицетов из других родов и видов, а также микроорганизмов различных таксонов. Таким образом обеспечивается синтрофный цикл воздействия на сложные соединения, включающие радикалы различной степени доступ-

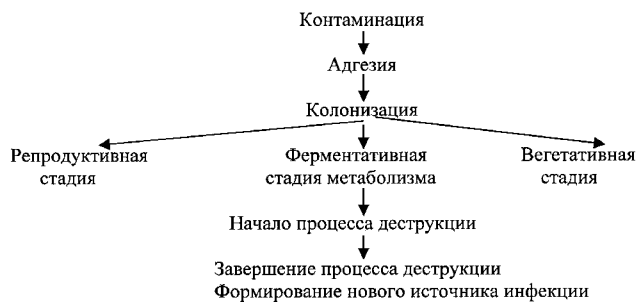


Схема процесса микодеструкции полимеров

ности для соответствующих агентов деструкции.

Микромицетам свойственно превращать ряд сложных химических соединений в более простые или же принимать непосредственное участие в возникающих параллельно реакциях синтеза и ресинтеза аналогов составных многих промышленных полимеров [15]. Это можно объяснить ролью микромицетов как редуцентов, обеспечивающих круговорот веществ (в том числе и биополимеров) в природе.

Процесс микодеструкции может осуществляться по нескольким схемам, что связано с физиолого-биохимическими свойствами конкретного штамма и его тропностью по отношению к контаминируемому полимеру. Прогнозировать подобные свойства для спор различных штаммов технофильных микромицетов не представляется возможным, поскольку они могут возникать в процессе адаптации к соответствующему субстрату. В связи с этим более надежными будут предварительные испытания на грибоустойчивость с использованием модели, не только предусматривающей имитацию природных условий, но и использующей максимально доступное количество штаммов разной агрессивности к данному полимеру, и учитывающей, что в естественных условиях инфицирование может происходить постоянно и многократно.

Возникновение и течение процесса микодеструкции находится в тесной взаимосвязи с доступностью полимерного материала для микромицетов. Доступность его определяется не только физико-химическими качествами поверхности, но и состоянием прочности материала, его экологической долговечностью, зависящей от сроков эксплуатации и климатических условий. Даже в ситуации повышенной контаминации многие полимерные материалы проявляют повышенную устойчивость к воздействию метаболитов спор микромицетов и препятствуют их адгезии. Однако в процессе старения сопротивляемость постепенно снижается, и эти же

устойчивые полимеры становятся не грибоустойкими.

В настоящее время процессы микодеструкции рассматриваются и в медико-санитарном аспекте [1, 6, 13, 14]. Отрицательное влияние ухудшающейся экологической обстановки на иммунный статус человека способствует возникновению микозов, фунгемий, аллергических состояний и оппортунистических заболеваний, возбудителями или причинными факторами которых являются виды микромицетов — агентов микодеструкции [13, 14]. Эти же виды микромицетов были изолированы в значительных количествах из различных частей тела космонавтов «Apollo-14» и «Apollo-15» [17].

Многоплановость проблемы микодеструкции в условиях ОС обязывает оценивать применяемые конструкционные материалы и полимеры в модели, основанной на результатах испытаний на грибоустойчивость не только согласно имеющимся стандартам, а учитывать свойства микодеструкторов-экстремофилов и стараться максимально снижать контаминацию, предотвращать начальную стадию — адгезию, а материалы испытывать не только на грибоустойчивость, но и на фунгицидность.

1. Африкан Э. Г. Микробные повреждения полимеров: подходы для их прогнозирования // Вісник Одеського наці. ун-ту.—2001.—6, вип. 4.—С. 20—23.
2. Билай В. И., Коваль Э. З. Аспергиллы. — Киев: Наук. думка, 1988.—203 с.
3. Викторов А. Н., Новикова Н. Д., Дешева Е. А. Микрофлора кабин пилотируемых космических объектов и проблема биоповреждений, используемых в них конструкционных материалов // Авиакосм. и экологическая медицина.—1992.—3.—С. 41—48.
4. Викторов А. Н., Новикова Н. Д. и др. Актуальные проблемы микробиологической безопасности среды обитания орбитальных станций в условиях многолетней эксплуатации // Авиакосм. и экологическая медицина.—1995.—5.—С. 51—55.
5. Викторов А. Н., Новикова Н. Д., Дешева Е. А. и др. Результаты микробиологических исследований // Орбитальная станция «Мир». — Москва, 2001.—Т. 1.—С. 121—151.
6. Заболотный Д. И., Зарицкая И. С., Вольская О. Г. Роль грибов в патологии верхних дыхательных путей // Журн. вушних, носових і горлових хвороб.—2002.—№ 5.—С. 2—15.
7. Коваль Э. З., Сидоренко Л. П. Микодеструкторы промышленных материалов. — Киев: Наук. думка, 1989.—192 с.
8. Козловский А. Г., Желифанова В. П., Антипова Т. В. и др. Вторичные метаболиты грибов рода *Penicillium*, выделенных с орбитальной станции «Мир» // Успехи мед. микологии.—2003.—1.—С. 33—34.
9. Конашев М. Б., Азизова Г. Н., Горшков Э. С. Влияние магнитного поля на микромицеты. // Микол. и фитопатол.—1993.—27, вип. 1.—С. 42—45.
10. Лугаускас А. Ю., Золубас М. И. Микромицеты в пыли жилых помещений // Тр. АН Литовской ССР. Сер. В.—1989.—4 (108)—С. 24—30.
11. Лугаускас А. Ю., Микульскене А. И., Шляужене Д. Ю. Каталог микромицетов — биодеструкторов полимерных

- материалов. — М.: Наука, 1987.—340 с.
12. Мамонова И. В. Критерии миграционной активности плесневых грибов в помещении // Микол. и фитопатол.—1993.—27, вып. 1.—С. 23—28.
 13. Руденко А. В., Коваль Э. З. Медицинские и санитарные аспекты микодеструкции пищевых продуктов и промышленных материалов // Вісник Одеського нац. ун-ту.—2001.—6, вип. 4.—С. 266—269.
 14. Руденко А. В. и др. Онихомикозы у жителей Украины. — Киев: ТСК, 2001.—247 с.
 15. Уоллен Л., Стодола Ф., Джексон Р. Типовые реакции ферментативной химии. — М.: Изд-во. иностр. лит., 1962.—408 с.
 16. Цеглин В. В., Дешевая Е. А., Новикова Н. Д. и др. Влияние низких доз радиации на микробное сообщество космических станций // Космічна наука і технологія, 2002.—8, № 5/6.—С. 58—61.
 17. Taylor G. R., Henney M. R., Ellis W. Z. Changes in the fungal autoflora of Apollo Astronauts // Appl. Microbiol., 1973.—26, № 5.—P. 804—813.

MYCODESTRUCTION OF POLYMERIC MATERIALS ON THE EARTH AND IN SPACE

A. V. Rudenko, E. Z. Koval, Yu. V. Saveliev, T. A. Aljochova, T. Yu. Novozhylova, L. I. Lenova, E. M. Voloschuk

Processes of mycodestruction were noted in various polymeric materials almost in all climatic areas of the Earth. Above 300 species of micromycetes are known to be able to colonize polymers, which is attributable to their physiological and biochemical properties. In closed space with sufficiently high parameters of humidity and temperature, about 50 species of destructors are found, which allows one to forecast the display of their destructive activities also under conditions of space orbital stations. Some species of *Penicillium* and *Aspergillus* which are widely distributed on the Earth have already been recovered on equipment and apparatus surfaces in the “Mir” spacecraft cabin. The species were isolated from various sites of cosmonaut bodies. All the species of micromycetes recovered in space flight conditions relate to the ecological group of extremophiles and are of potentially hazardous for a man in a medical sense.