

Здобутки української мікології і мікробіології як основа для розвитку космічних біотехнологій

Андріанова Т. В.

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ;
Національний авіаційний університет, Київ

Гриби представляють інтерес для використання у позаземних біотехнологіях як продуценти метаболітів для різних виробництв та утилізації відходів, як джерело харчового білку, необхідного для підтримки життя, та як основа фармацевтичних препаратів. Під назвою “гриби” об’єднані організми кількох царств, що належать до багатьох екотрофічних груп, серед яких представники сапротрофів, кератинотрофів, копротрофів, мутуалістичних симбіотрофів, кріптоендолітиків, ксилотрофів та екстремофілів є перспективними для майбутнього використання у космічних технологіях і забезпечення функціонування обладнання та людей. Велика біологічна різноманітність грибів як об’єктів пошукових досліджень для лімітованого застосування за екстремальних умов, значні обсяги складної експериментальної роботи зумовлюють повільне накопичення корисних даних. Багаторічне вивчення грибів відбувається за такими напрямками: вплив мікрогравітації на біологічні властивості грибів, пошук видів і дослідження механізмів їх пристосування до високих доз іонізуючого опромінення, розробка специфічних методів культивування для застосування у технологіях, підбір живих самопідтримуваних систем. Особливостями наукових пошуків є необхідність враховувати особливості геному грибів, що побудований на оперонній системі, наявність позитивного контролю генів, значну роль одного гену у запуску певних механізмів синтезу, різноядерність клітин і міцелію багатьох грибів. Окрім того, шляхи синтезу вторинних метаболітів, які часто є кінцевими продуктами технологій, не є жорстко детермінованими, а отже, під дією мутагенних факторів у грибів може зменшуватись утворення метаболіту, змінюватись кінцеві продукти внаслідок реакцій розгалуження, відбуватись мутагенні морфологічні відхилення, що зчеплені з біохімічними змінами, та за повторних експозицій також можливі пізніші різноякісні мутації.

Пластичність грибів до різних екстремальних факторів навколишнього середовища: гравітації, іонізуючого опромінювання, іонів важких металів, інших екстремальних факторів середовища, не залишилась поза увагою українських дослідників — мікологів і мікробіологів. Серед них, у першу чергу, слід згадати Л. Ф. Горового, Г. А. Гродзинську і С. П. Вассера, А. С. Бухало з колегами, Н. Л. Поєдинок, що працювали в Інституті ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, та Н. М. Жданову, А. І. Василевську, Е. З. Коваль, Л. І. Сидоренко, І. М. Курченко, А. К. Павличенко, Т. І. Тугай і М. О. Фоміну, що працювали, а деякі працюють в Інституті мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

Одним із піонерів вивчення впливу слабого гравітаційного поля та його відсутності на ріст і морфогенез шапинкових грибів (*Basidiomycota*), як

і інших факторів, був Л. Ф. Горовий. При дослідженні видів родів *Coprinus*, *Fomes*, *Panus*, *Polyporus* та ін. вивчалися особливості змін у формуванні складних міцеліальних структур грибів, значення гео- і фототропізмів, роль хемо- і гідротропізмів для початкового розвитку молодих плодових тіл [1]. Було показано достатньо жорстку детермінацію морфогенезу гравітаційним фактором у складних за будовою шапинкових грибів, також підтверджено важливість світлового опромінення для розвитку генеративних структур [2]. Під час вивчення впливу мікрогравітації випробувано апарати «Квадрат» і «Трапеція» для отримання генерацій базидієвих грибів в умовах льотних експериментів та космічного польоту.

Значення досліджень шапинкових грибів — базидієвих і сумчастих — для космічних технологій достатньо велике. Вони можуть слугувати високобілковою, низькокалорійною їжею, яка має загальних білків близько 250 г/кг сухої речовини та значний процент глутамінової і аспарагінової кислот, аргініну у білковій фракції; часто містить такі полісахариди, як β - і α -D-глюкани; характеризується високим вмістом води — до 85–90%; відрізняється значною кількістю поліненасичених жирних кислот. Окрім того, плодові тіла грибів накопичують калій, мідь та цинк, а також вітаміни і важливі біологічно активні речовини різної природи. Фундаментальні дослідження з розробки наукових основ поверхневого і глибинного культивування їстівних і лікарських базидієвих та деяких сумчастих грибів, вивчення їх ферментних систем, можливості виготовлення білкових продуктів, твердофазної ферментації рослинної сировини за допомогою ензимів грибів успішно проводились в Інституті ботаніки ім. М. Г. Холодного з 1975 року [3–5] та надали поштовх розвитку цього напрямку у різних містах і установах України. Проведення пошуку продуктивних штамів, аналізу особливостей їх росту і формування плодових тіл, підбору оптимальних умов культивування складають основу наукової роботи, результати якої важливі для розробки космічних технологій. Серед факторів, що впливають на регуляцію росту і метаболічної активності базидієвих грибів слід виокремити вивчення дії опромінювання світлом різної довжини, у тому числі лазерного опромінювання [4, 6, 7], яке довело можливість культивування і синтезу деяких речовин за умов штучного низько-інтенсивного освітлення.

Чорнобильська катастрофа зумовила більш ретельне вивчення впливу високих доз іонізуючого опромінення на гриби в Україні. Започатковані С. П. Вассером і Г. А. Гродзинською моніторингові багаторічні дослідження накопичення і впливу радіонуклідів на шапинкові гриби виявили особливості абсорбції радіоактивних ізотопів різними видами та динаміку їх акумуляції [8, 9]. Радіоактивний цезій найбільше накопичується у мікоризних грибах, що пояснюється їх трофікою. Встановлено, що певний рівень акумуляції радіоактивних ізотопів у плодових тілах грибів залежить від глибини розташування міцелія у субстраті, градієнту радіаційного забруднення, фізичних і хімічних параметрів субстрату, атмосферних факторів та видоспецифічності особливостей накопичення [9]. У міцеліальних мікроскопічних грибів механізми толерантності і збереження життєздатності при іонізуючому опроміненні вивчалися іншою групою до-

слідників — мікологів і мікробіологів з Інституте мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного. Відома монографія Н. М. Жданової та А. І. Василевської щодо росту і розвитку меланіновмісних грибів за екстремальних умов та низка наступних робіт великої групи вчених розкрили важливу роль та особливості захисної функції меланінових пігментів [10, 11]. Видами-індикаторами високозабруднених радіонуклідами ґрунтів виявились *Acropilus aureus* і *Purpureocillium lilacinum*, у слабозабруднених місцезростаннях індикаторами були види *Metarhizium anisopliae* і *Dendrodochium toxicum*. Майже всі види-індикатори мали високий вміст меланіну, окрім двох видів — *Acropilus aureus* і *Sarcocladium strictum* [11]. Під час досліджень встановлено явище позитивного радіотропізму у низки представників мукорових і сумчастих грибів. Відкрито позитивний таксис до джерела іонізуючого опромінення у деяких штамів видів *Cladosporium*, *Alternaria* та ін. з високим вмістом меланіну, які є екстремофілами, мають стійкість до окисного стресу, низьку ферментативну активність і можуть рости при високому радіаційному забрудненні поряд з джерелом випромінювання.

Дослідження можливості існування грибів в екстремальних умовах, не тільки пов'язаних з іонізуючим опроміненням, але й з ростом на субстратах, збагачених певними хімічними елементами і зазвичай не дуже пристосованими до життя, також становило інтерес українських мікологів. Було встановлено, що за гіперсолоних умов Мертвого моря можливий розвиток до 34 видів міцеліальних грибів [12, 13]. Один з видів роду *Gymnascella* був описаний як новий. Також показано, що галотрофами є види родів *Acremonium*, *Amesia*, *Arcopilus*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Eurotium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Stachybotrys* та ін., частина з яких відрізнялась високою ферментативною активністю. Пізніші дослідження інших мікологів підтвердило виявлені українськими мікологами коливання видового складу грибів у гіперсолоних умовах в залежності від інсоляції і вегетативного сезону, а також показали, що найбільш адаптованими до таких умов є види *Aspergillus amstelodami* та *Eurotium rubrum* [14]. Іншим підходом до вивчення специфічних екстремофілів є пошук і аналіз видів грибів, що є толерантними до різних металів, можуть включати їх до своїх метаболічних шляхів [15, 16]. У той же час більшість грибів мають негативний хемотропізм до токсичних металів.

Таким чином, фундаментальні дослідження українських мікологів створили підґрунтя для подальшого розвитку експериментальних робіт у галузі космічних біотехнологій, що у майбутньому мають на меті, при відносному захисті від ізолюваного екстремального середовища космосу, забезпечити використання наявних ресурсів на місці, як то виробництво продуктів харчування, технічних матеріалів або фармацевтичних препаратів, забезпечити ефективну переробку відходів.

Список використаних джерел

1. Горовой Л. Ф., Касаткина Т. Б., Попова А. Ф. Шляпочные грибы и водоросли — объекты космической биологии и др. // Проблемы косм. биол. — 1991. — Т. 69. — С. 1–232.

2. *Горовой Л. Ф.* Влияние света на морфогенез шляпочных грибов. — Киев: Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного АН УССР, 1989. — 44 с.
3. *Бухало А. С.* Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. — Киев: Наукова думка, 1988. — 144 с.
4. *Бісько Н. А., Поєдинок Н. Л., Негрійко А. М. та ін.* Фактори регуляції біосинтетичної активності лікарських грибів // Зб.: Пріоритети наукової співпраці ДФФД і БРФФД. — Київ: ДІА, 2007. — С. 312–325.
5. *Бухало А. С., Бабицкая В. Г., Бісько Н. А. и др.* Биологические свойства лекарственных макромицетов в культуре // Сб. науч. трудов. Т. 1. / Ред. С. П. Вассер. — Киев: Альтерпрес, 2011. — 212 с.
6. *Поєдинок Н. Л., Негрійко А. М., Бісько Н. А., Михайлова О. Б. та ін.* Енерго-ефективні системи штучного освітлення у технологіях вирощування їстівних та лікарських грибів // Наука та інновації. — 2013. — Т. 9, № 3. — С. 46–59.
7. *Поєдинок Н. Л., Михайлова О. Б., Ходаковский В. М., Дудка И. А.* Влияние на ростовую активность посевного материала культивируемых макромицетов низкоинтенсивного лазерного излучения // Микробиология и биотехнология. — 2015. — Т. 29, № 1. — С. 77–86.
8. *Wasser S. P., Grodzinskaya A. A.* Content of radionuclides in macromycetes of Ukraine in 1990–1991 // In: *Fungi of Europe: Investigation, Recording and Conservation.* — Kew: Royal Botanic Gardens, 1993. — P. 189–210.
9. *Гродзинская А. А.* Биоаккумуляция радионуклидов плодовыми телами макромицетов // В кн.: *Макромицеты: медицинские свойства и биологические особенности.* — Киев: Наш формат, 2016. — С. 195–220.
10. *Жданова Н. Н., Василевская А. И.* Меланинсодержащие грибы в экстремальных условиях. — Киев: Наукова думка, 1988. — 196 с.
11. *Жданова Н. Н., Захарченко В. А., Василевская А. И. и др.* Микобиота украинского Полесья: последствия Чернобыльской катастрофы — Киев: Наукова думка, 2013. — 383 с.
12. *Buchalo A. S., Nevo E., Wasser S. P. et al.* Fungal life in the extremely hypersaline water of the Dead Sea: first records // *Proceedings of the Royal Society of London.* — 1998. — В 265. — P. 1461–1465.
13. *Molitoris H. P., Buchalo A. S., Kurchenko I. M. et al.* Physiological diversity of the first filamentous fungi isolated from the hypersaline Dead Sea // *Fungal Diversity.* — Vol. 5. — P. 55–70.
14. *Perl T., Kis-Papo T., Nevo A.* Fungal biodiversity in the hypersaline Dead Sea: extinction and evolution // *Biological Journal of Linnean Society.* — 2017. — V. 121, Issue 1. — P. 122–132. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blw025>
15. *Fomina M. O.* Nitrogen source effect on copper speciation within ectomycorrhizal fungus *Rhizopogon rubescens* // *Микробиология і біотехнологія.* — 2013. — № 3. — С. 23–30.
16. *Fomina M. O.* Effect of mycobiont zinc-tolerance and phosphorus availability on zinc phosphate solubilization and zinc and phosphorus accumulation by *Paxillus involutus*/pine ectomycorrhizal associations // In: *Macromycetes: medicinal properties and biological peculiarities.* — Kyiv: Nash format, 2016. — P. 151–195.