ВПЛИВ β -ОПРОМІНЕННЯ НА МІКРОМІЦЕТИ, ВИДІЛЕНІ З ЗОНИ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Досліджено стійкість до β -опромінення мікроміцетів, виділених із внутрішніх приміщень об'єкту «Укриття» (ОУ), що характеризувалися різним рівнем радіонуклідного забруднення. Вивчення проводили на 2 видах: *Cladosporium sphaerospermum* Penz. і *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., кожен з яких був представлений шістьма штамами. Для штамів *C. sphaerospermum* максимальна стійкість до β -опромінення спостерігалася у 20-добових культур. Найбільшу β -стійкість продемонстрували два штами: 5–1 (виділений з приміщення ОУ з найвищим рівнем радіоактивного забруднення) та 852 (контрольний). Максимальна стійкість до β -опромінення спостерігалася серед 40-добових культур *A. alternata*. Найбільшою стійкістю характеризувалися штами 56 та 105, які було ізольовано з внутрішніх приміщень ОУ з високим рівнем радіоактивного забруднення.

На підставі отриманих результатів зроблено висновок про високу стійкість до β -опромінення обох вивчених видів анаморфних грибів, яка досягається за рахунок різних життєвих стратегій: штами *C. sphaerospermum* виживають за рахунок швидкого та рясного утворення конідій, у штамів виду *A. alternata* конідії утворюються повільно, проте вони мають більшу перевагу при існуванні в умовах опромінення за рахунок багатоклітинності та великих розмірів.

К л ю ч о в і с л о в а: мікроскопічні гриби, β -опромінення, радіостійкість, об'єкт «Укриття», життєва стратегія.

Проблема виживання організмів у несприятливих та екстремальних умовах існування завжди залишатиметься актуальною. Одним із найбільш проблемних та потенційно небезпечних з екологічної точки зору об'єктів в Україні є об'єкт «Укриття» (ОУ). Небезпечність ОУ полягає в тому, що там зосереджена величезна кількість радіоактивних матеріалів (перш за все – паливовмісних мас) [1, 2]. Тому основним екстремальним фактором у межах даного об'єкту, безперечно, виступає високий рівень радіоактивного забруднення. Серед організмів-екстремофілів, які можуть витримувати подібні навантаження, особливе місце посідають мікроскопічні гриби, оскільки відома їхня стійкість до різноманітних екстремальних факторів [5, 13], у тому числі й іонізуючого опромінення [5, 6, 8, 26]. Якщо у перші роки після аварії основними дозоутворювачами для ОУ були елементи з переважанням γ -опромінення, то з часом ситуація змінилася і для багатьох внутрішніх приміщень 4-го блоку ЧАЕС β -опромінення стало значимою складовою іонізуючого випромінювання. Враховуючи цю зміну в екологічній ситуації на ОУ, а також факт достатньо досконалого вивчення γ -стійкості мікроскопічних грибів [4, 7, 8, 21, 26], в даній роботі нами досліджена стійкість до β -опромінення видів, ізольованих раніше з внутрішніх приміщень об'єкту «Укриття» [8, 26]. На підставі отриманих результатів обговорюється можливість активного росту мікроскопічних грибів на поверхні залізобетонних конструкцій в умовах екстремального опромінення.

Матеріали та методи. Для вивчення β -радіостійкості мікроскопічних грибів нами було обрано 2 види мікроміцетів, виділених з плям грибного ураження внутрішніх приміщень 4-го блоку ЧАЕС: *Cladosporium sphaerospermum* Penz. і *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. Ці види були відібрані нами з причини їх високої частоти трапляння у приміщеннях з високим та низьким рівнями радіоактивного забруднення [8, 26]. Кожний вид було представлено шістьма штамами: по 3 штами, виділені з радіоактивно забруднених приміщень 4-го блоку ЧАЕС і по 3 контрольні штами, ізольовані з чистих регіонів, які не зазнали радіоактивного забруднення (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика культур
***Cladosporium sphaerospermum* Penz. і *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.**

Вид	Номер штаму	Час виділення	Місце виділення	Рівень радіоактивного навантаження
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	16668	1997 р.	насіння <i>Echinocystis</i> sp., Київ	радіоактивність на фоновому рівні
	16510	1996 р.	коріння ячменю, Дніпропетровська обл., Україна	радіоактивність на фоновому рівні
	113	1996 р.	стіни музею, Київ	радіоактивність на фоновому рівні
	176	1997 р.	приміщення об'єкту «Укриття» 008/4	$\alpha = 20$ Бк/см ² ; $\beta = 250$ Бк/см ²
	105	1997 р.	приміщення об'єкту «Укриття» 208/12	$\alpha = 50$ Бк/см ² ; $\beta = 500$ Бк/см ²
	56	1998 р.	приміщення об'єкту «Укриття» 207/5	$\alpha = 500$ Бк/см ² ; $\beta = 20\,000$ Бк/см ²
<i>Cladosporium sphaerospermum</i> Penz.	3176	1997 р.	дерново-підзолистий ґрунт, Феофанія, Україна	радіоактивність на фоновому рівні
	852	1998 р.	стіни підвальних приміщень м.Києва, Україна	радіоактивність на фоновому рівні
	740	1998 р.	морський пісок, Мертве море, Ізраїль	радіоактивність на фоновому рівні
	34	1997 р.	кабельні проходження у об'єкті «Укриття»	$\alpha=15$ Бк/см ² ; $\beta=600\text{--}800$ Бк/см ² ; $\gamma < 0,2$ Р/час
	60	1997 р.	приміщення об'єкту «Укриття» 208/12, стеля коридору	$\alpha=50$ Бк/см ² ; $\beta=500$ Бк/см ² ;
	5-1	1997 р.	приміщення об'єкту «Укриття» 207/2	$\alpha=250\text{--}300$ Бк/см ² ; $\beta=250$ Бк/см ² ; $\gamma = 0,25$ Р/час.

Вид *C. sphaerospermum* займав домінуюче положення в усіх досліджених приміщеннях 4-го блоку (частота його трапляння коливалася у межах 73,3–100,0%) [4]. За ступенем збільшення радіоактивного навантаження місць виділення штами *C. sphaerospermum* розподілились у ряду 34, 60 та 5-1 (табл. 1).

Частота трапляння *A. alternata* в радіоактивно забруднених приміщеннях була на рівні 40,2–44,4%, отже даний вид відноситься до таких, що трапляються часто. За ступенем збільшення радіоактивного навантаження місць виділення штами *A. alternata* можна представити таким чином: 176, 105, 56 (табл. 1).

Культури, ізольовані з чистих регіонів, отримані з колекції відділу фізіології і систематики мікроміцетів Інституту мікробіології і вірусології НАН України.

Для виділення та зберігання мікроскопічних грибів нами використовувались:

сусло-агар, картопляно-глюкозний агар, агаризоване середовище Чапека та головний агар.

β -Опромінення проводили за допомогою «сухого методу» [16], оскільки β -випромінювання суттєво гальмується та поглинається водними розчинами. За допомогою цього методу β -опроміненню піддавали моношар конідій (або міцеліальних уривків), закріплених на желатиновій підложці. Час експозиції складав 7 діб - для порівняльного вивчення опромінених культур та 14 діб - для отримання дозної кривої виживання. Загальна доза, отримана опроміненим матеріалом, складала 10080 бер. Така доза була обрана нами в результаті попередньої побудови дозних кривих виживання різних культур обох видів: вона була найближчою до D_{37} або середньолетальної дози [24] для найбільш чутливих до β -опромінення штамів 20-добового віку. Виживання конідій або міцеліальних уривків виражали у відсотках відносно контролю.

Джерело β -випромінювання являло собою закрите джерело випромінювання на основі радіонуклідів стронцій-90 + ітрій-90. Активна частина джерела була фіксована на підложці та мала захисне покриття у вигляді алюмінієвої фольги товщиною $(0,05 \pm 0,002)$ мм. Зовнішнє випромінювання джерела складало $7,7 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.

Повторюваність дослідів була 3–6-кратною. Отримані дані оброблялись статистично при величині надійності $\alpha = 0,95$ [15], у тому числі з використанням методів статистичної обробки результатів вимірів для малих вибірок [12]. Усі отримані нами дані оброблені статистично за допомогою пакетів програм *Microsoft Excel 97* та *SigmaStat 2.0*.

Результати. Відомо, що радіостійкість залежить від місцєіснування штаму, яке, в свою чергу, обумовлює ряд фізіологічних та біохімічних особливостей культур, гетерогенність популяції, а також від віку культури та того, які складові частини культури опромінюються (уривки міцелію, конідії, хламідоспори тощо) [5, 9, 13]. Тому для дослідження β -радіостійкості ми обрали мікроміцети, частота трапляння яких у 4-му блоці ЧАЕС, з одного боку, була найбільшою, а з іншого – ці види характеризувалися різною морфологією конідій та реалізовували різні типи життєвих стратегій. Один із обраних видів – *Cladosporium cladosporioides*, загальна частота трапляння якого в приміщеннях 4-го блоку ЧАЕС складала 98 % і який характеризується утворенням на 9–12 добу великої кількості дрібних конідій, а інший – *Alternaria alternata*, вегетативне розмноження якого відбувалося переважно фрагментами міцелію, а великі багатоклітинні конідії утворювались у досить невеликій кількості, особливо на 20-ту добу експерименту.

Враховуючи велику відмінність у швидкості росту мікроміцетів, виділених із приміщень 4-го блоку ЧАЕС та з чистих місцєіснувань, ми вивчали вплив β -опромінення на культури різного віку – 20-, 40- та 60-добові. Критерієм β -стійкості вважали відсоток виживання конідій або фрагментів міцелію після опромінення (табл. 2).

Для більш наочного представлення отриманих результатів зручно застосувати метод накопичувальної діаграми. Це логічно зробити, оскільки ми маємо по три значення (культури різного віку), які відносяться до одного штаму, а даний метод (накопичувальна діаграма) дозволить підсумувати радіостійкість культур різного віку, отримуючи загальну (сумарну) стійкість штаму до β -опромінення. Тому для подальшого обговорення отриманих результатів доцільно ввести термін «загальна стійкість виду» або «загальна стійкість штаму», який означає суму β -стійкостей однієї культури, отриманої на зразках різного віку (рис. 1, 2).

Таблиця 2

Вплив β -опромінення на виживання культур *Cladosporium cladosporioides* та *Alternaria alternata* різного віку

Вид	Штам	Виживання культури (% по відношенню до контролю) залежно від її віку (добы)		
		20	40	60
<i>C. sphaerospermum</i>	3176	58,57 $\pm$ 4,16	92,17 $\pm$ 6,18	53,88 $\pm$ 3,72
	740	97,94 $\pm$ 8,52	1,18 $\pm$ 0,10	3,79 $\pm$ 0,25
	852	97,50 $\pm$ 4,58	97,33 $\pm$ 3,89	110,31 $\pm$ 5,18
	34	98,75 $\pm$ 5,14	0,21 $\pm$ 0,02	0
	5-1	102,09 $\pm$ 7,04	97,68 $\pm$ 5,96	114,30 $\pm$ 9,60
	60	40,78 $\pm$ 1,90	86,40 $\pm$ 5,62	64,75 $\pm$ 3,69
<i>A. alternata</i>	113	66,67 $\pm$ 3,60	100,47 $\pm$ 5,83	72,46 $\pm$ 5,14
	16510	20,00 $\pm$ 1,47	74,03 $\pm$ 4,74	87,17 $\pm$ 7,24
	16668	36,36 $\pm$ 1,82	75,81 $\pm$ 4,70	44,70 $\pm$ 2,91
	176	108,61 $\pm$ 5,43	101,42 $\pm$ 6,90	38,89 $\pm$ 2,96
	105	87,50 $\pm$ 5,43	95,15 $\pm$ 5,52	87,10 $\pm$ 6,01
	56	53,85 $\pm$ 2,75	86,11 $\pm$ 3,72	105,19 $\pm$ 8,42

Рис. 1. Стійкість штамів *C. sphaerospermum* до β -опромінення, згрупована за:
а) віком культур; б) номером штаму.

Для штамів *C. sphaerospermum* (рис. 1, а) максимальна стійкість до β -опромінення спостерігалася серед 20-добових культур, а потім поступово знижувалася із віком культур. Серед них найбільшою β -стійкістю вирізнялися два штами: 5–1 (ізолюваний із приміщення об'єкту «Укриття» з найвищим рівнем радіоактивного забруднення) та 852 (контрольний) (рис. 1, б). Виживання цих культур різного віку після хронічного (тиждень) β -опромінення у дозі 10080 бер коливалось біля 100 %. Дещо нижчу β -стійкість продемонстрували штами *C. sphaerospermum* 60 (виділений з об'єкту «Укриття») та 3176 (контрольний). Потрібно відмітити, що у приміщенні, з якого було виділено штам *C. sphaerospermum* 60, рівень радіоактивного забруднення був на порядок нижчим, ніж у тому, з якого ізолювано штам *C. sphaerospermum* 5–1. У даних штамів виживання після β -опромінення для 20-добових культур коливалось у межах 40–60%, а вже для 40-добових – збільшувалося вдвічі. Найнижчим був % виживання у штамів *C. sphaerospermum* 34 (виділений з об'єкту «Укриття») та 740 (контрольний). У цих штамів 20-добового віку β -стійкість досягала 98–99%, а вже у 40- та 60-добових культур знижувалася майже до нуля.

Факт однакової стійкості до β -опромінення у контрольних штамів та штамів, виділених з високорадіоактивних приміщень об'єкту «Укриття», підтверджується даними літератури [11, 18, 23] та узгоджується з положенням, згідно з яким висока стійкість до екстремальних факторів – не є обов'язково результатом направлених генетичних мутацій у організмів, які знаходяться безпосередньо в екстремальних умовах існування. Навпаки, висока стійкість до екстремальних екологічних факторів потенційно закладена у представників певної частини популяції, які існують в звичайних умовах [19].

У нашому випадку найвищий рівень стійкості до β -опромінення мав контрольний штам *C. sphaerospermum* 852, який за цим показником не поступався штаму *C. sphaerospermum* 5–1, виділеному з приміщення з найвищим радіоактивним навантаженням. Потрібно зазначити, що штам *C. sphaerospermum* 852 було виділено із стін підвальних приміщень, ріст грибів на яких пов'язаний з ознакою оліготрофії. За нашими спостереженнями саме серед мікроскопічних грибів з цією ознакою зустрічається найбільше екстремофілів [5, 8].

Для виду *A. alternata* максимальна стійкість до β -опромінення спостерігалася серед 40-добових культур, дещо поступалися їй 60-добові, а у 20-добових штамів *A. alternata* вона була найнижчою (рис. 2, а). Це може бути пов'язано з процесом визрівання конідій цього виду. Справа в тому, що вид *A. alternata* характеризується повільним утворенням конідій, у його життєвому циклі переважає вегетативний тип розмноження. Крім того, у 20-добових культур багатоклітинні складні конідії були ще не досить добре сформовані і складали, за нашими спостереженнями, 5–10% від загальної кількості посівного матеріалу. Загальна стійкість міцеліальних фрагментів значно менша за стійкість конідій цього виду [9, 10]. Саме тому, на нашу думку, і спостерігається подібне явище.

Найбільша стійкість до β -опромінення спостерігалася у штамів *A. alternata* 56 та 105, обидва з яких були виділені з внутрішніх приміщень об'єкту «Укриття» з високим рівнем радіоактивного забруднення (рис. 2, б). Нижчою була β -стійкість контрольних штамів *A. alternata*. У групі контрольних штамів найвищою була стійкість штаму *A. alternata* 113, який було ізолювано із стін музейного приміщення. Зрозуміло, що в умовах музейного приміщення спостерігається нестача органічних легкодоступних джерел живлення, що також сприяє виживанню у цих умовах оліготрофів-екстремофілів.

Рис. 2. Стійкість штамів *A. alternata* до β -опромінення, згрупована за:
а) віком культур; б) номером штаму.

Найнижчою серед вивчених штамів *A. alternata* була стійкість до β -опромінення у штаму 176, виділеного з внутрішнього приміщення об'єкту «Укриття» з найнижчим рівнем радіоактивного забруднення, особливо – за β -складовою. Цей штам за всіма вивченими морфолого-фізіологічними властивостями наближався до контрольних штамів *A. alternata*.

Цікаво, що максимальна загальна стійкість виду *A. alternata* (для цього виду – це культури 40-добового віку) фактично збігається з максимальною стійкістю виду *C. sphaerospermum* (культури 20-добового віку) (рис. 1, 2, а).

Обговорення результатів досліджень. Проблема адаптації або пристосувальної мінливості організмів – одне з основних питань теоретичної біології [11]. Проблеми пристосувальної мінливості мікроорганізмів мають свою специфіку та потребують застосування широкого кола сучасних методів екології, фізіології, біохімії, генетики.

В процесі адаптації грибів прогресують такі системи організму гриба, які сприяють освоєнню нового середовища існування або субстрату [22]. Провідним фактором у цьому процесі є лабільність ферментних систем грибів при відносній сталості морфологічних ознак. В процесі еволюції у геномі таких грибів накопичується певний комплекс потенційних ресурсів, який частково і реалізується за зміни типів живлення, субстратів та еконіш. Таким чином, перша фаза адаптації (зворотній процес) визначається пластичністю організму, а друга (незворотній процес) є результатом дії природного відбору.

У своїх експериментах ми спостерігали неочікувано високу стійкість до β -опромінення деяких контрольних штамів *Alternaria alternata* та *Cladosporium sphaerosporium*, виділених з радіоактивно незабруднених ґрунтів, які за рівнем радіостійкості (за дослідженої нами дози опромінення) не поступалися штамам, ізольованим з екзоніш з надзвичайно високими рівнями опромінення. Навпаки, виділення штаму із високорадіоактивних приміщень 4-го блоку ЧАЕС ще не гарантувало його 100%-ву стійкість до β -опромінення. Такі результати підтверджуються думкою Назіма та Джеймса [18] про те, що з еволюційної точки зору для організму доцільно встановлення деякої рівноваги між резистентністю та чутливістю до радіоактивного випромінювання. Це обумовлено тим, що один із наслідків опромінення – виникнення мутацій – може надати організмові перевагу при відборі. Мабуть саме тому захист організму від випромінювання ніколи не буває повним [14, 18, 23].

Нажаль, ми не завжди маємо змогу порівняти одержані нами результати з даними літератури, оскільки обстеження таких техногенних екзоніш, як приміщення 4-го блоку та високорадіоактивна вода, біологами майже не проводились. Є лише поодинокі згадування про переважання темнопігментованих грибів після вибухів на полігоні атолу Бікіні [25], про знаходження ряду мікроміцетів у високорадіоактивних ґрунтах поблизу проммайданчика 4-го блоку ЧАЕС [5, 7, 8], на поверхні уламків аварійного графіту та «гарячих» частинок чорнобильського походження, утворених внаслідок руйнування графітових уповільнювачів під час вибуху на ЧАЕС [6, 21], про активний ріст грибів у воді охолоджувальної системи атомних реакторів [17, 20]. Порівнювати отримані нами дані ми можемо лише з даними моніторингу радіоактивно забруднених ґрунтів та лісових підстилок, отриманими в 1986–2009 рр. у відділі фізіології і систематики мікроміцетів Інституту мікробіології і вірусології НАНУ [5, 7, 8].

Оцінюючи екологічні показники мікобіоти, яка сформувалася у приміщеннях 4-го блоку, ми повинні наголосити, що її своєрідність полягає у радіорезистентності видів, які здатні довгий час переживати або активно рости в умовах екстремального радіоактивного забруднення. У її складі майже 40 % видів складали меланінвмісні та приблизно стільки ж – пігментовані види грибів. Порівнюючи цей показник з меланізацією ґрунтів навколо 4-го блоку ЧАЕС [5, 7, 8], можна констатувати, що для внутрішніх приміщень 4-го блоку тривалість процесу меланізації більш ніж у 5 разів перевищує тривалість подібного процесу для ґрунтів 10-км зони відчуження (промислова меланізація цих ґрунтів тривала з 1986 по 1989 рр.) і у 3 рази - для лісової підстилки цього ж регіону (1986–1997 рр.). Все це свідчить про несприятливий екологічний стан об'єкту наших досліджень. Крім того, ми констатували надзвичайну стійкість мікроміцетів до комплексної дії різноякісного опромінення, якої вони досягли за досить невеликий проміжок часу (найбільше – за 14 років).

Шальнов та Корогодін [14, 23] вважають радіостійкість критерієм загальної стійкості організму, тому в природних популяціях завжди існує певна «резервна» група, яка пристосована до дії широкого спектру екстремальних факторів. Так, з робіт Жданової та Василевської [5] випливає, що штами, які продемонстрували високий рівень радіостійкості, як правило, характеризуються стійкістю до висушування, температурного стресу, умов голодування тощо.

Тому, на нашу думку, при формуванні мікобіоти радіоактивно забруднених екотопів мають місце обидва процеси, згадані в літературі, а саме: до радіоактивно забруднених екотопів завдяки повітряним потокам потрапляють різ-

номанітні конідії та спори мікроміцетів. Частина з них належить до так званої «резервної групи» організмів, яка характеризується підвищеною стійкістю до екстремальних умов існування. Саме така група грибів може активно рости та розмножуватись в умовах, несприятливих для існування звичайних ізолятів, тоді як інші в таких умовах можуть існувати тільки в стані спокою до того часу, поки в екотопі не стануться зміни на краще. Надалі процес природного відбору та генетичного закріплення корисних ознак може відбуватися саме серед мікроміцетів, що здатні до активного росту в таких умовах.

Сформульовані у представленій роботі висновки узгоджуються з даними, отриманими генетиками Петербурзького інституту ядерної фізики ім. Б.П. Костянтинова, які працюють із мікроміцетами, виділеними нами з внутрішніх приміщень ОУ. Результати їхніх досліджень підтвердили, що структура геному у штамів, виділених із радіоактивно забруднених приміщень ОУ, була досить «консервативною» на відміну від контрольних штамів, виділених із радіоактивно чистих ґрунтів, структура геному яких варіювала у досить широких межах [27].

Таким чином, одержані нами експериментальні дані дозволяють зробити перші узагальнення щодо характеристики екстремофілів, які здатні активно рости в умовах екстремального радіоактивного забруднення. За нашою думкою це, перш за все, організми, які мають багатешелоновану систему захисту від природних та антропогенних факторів в їх екстремальному дозуванні. Такі види здатні реалізувати К-тип життєвої стратегії, або, в залежності від умов існування, переходити до г-стратегії життя, або поєднувати в собі окремі ознаки обох типів [3]. Крім того, штами-екстремофіли, які здатні до активного росту в умовах 4-го блоку ЧАЕС, характеризуються підвищеною γ - та β -стійкістю, високим рівнем генетичної однорідності, значним уповільненням ростових процесів [8].

Цікаво, що максимальна загальна стійкість виду *A. alternata* (для цього виду – це культури 40-добового віку) фактично відповідає максимальній стійкості виду *C. sphaerospermum* (культури 20-добового віку) (рис. 1, 2, а). На наш погляд, це свідчить про високу стійкість до β -опромінення обох вивчених видів анаморфних грибів, яка досягається за рахунок реалізації різних типів життєвих стратегій: штами *C. sphaerospermum* виживають за рахунок швидкого та ясного утворення конідій, а у штамів виду *A. alternata* конідії утворюються повільно, проте вони мають і більшу перевагу при існуванні в умовах опромінення за рахунок багатоклітинності та великих розмірів.

Вембер В.В., Жданова Н.Н.

*Інститут мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
Київ, Україна*

ВЛИЯНИЕ β -ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОМИЦЕТЫ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ЗОНЫ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Р е з ю м е

Изучена устойчивость к β -облучению микромицетов, выделенных из внутренних помещений объекта «Укрытие» (ОУ), которые характеризовались разным уровнем радионуклидного загрязнения. Изучение проводили на 2 видах: *Cladosporium sphaerospermum* Penz. и *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., каждый из которых был представлен шестью штаммами. Для штаммов *C. sphaerospermum* максимальная

устойчивость к β -облучению наблюдалась у 20-суточных культур. Наибольшую β -устойчивость продемонстрировали два штамма: 5–1 (выделен из помещения ОУ с наивысшим уровнем радиоактивного загрязнения) и 852 (контрольный). Максимальная устойчивость к β -облучению наблюдалась среди 40-суточных культур *A. alternata*. Наибольшей устойчивостью характеризовались штаммы 56 и 105, изолированные из внутренних помещений ОУ с высоким уровнем радиоактивного загрязнения.

На основе полученных результатов сделан вывод о высокой устойчивости к β -облучению обоих изученных видов анаморфных грибов, которая достигается за счет разных жизненных стратегий: штаммы *C. sphaerospermum* выживают за счет быстрого и обильного образования конидий, у штаммов *A. alternata* конидии образуются медленно, однако они имеют большее превосходство при существовании в условиях облучения за счет многоклеточности и больших размеров.

К л ю ч е в ы е с л о в а: микроскопические грибы, β -облучение, радиустойчивость, объект «Укрытие», жизненная стратегия.

Vember V.V., Zhdanova N.M.

*Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Acad.
Zabolotny St., 154, Kyiv MSP, D 03680, Ukraine*

THE INFLUENCE OF B-IRRADIATION ON MICROMYCETES ISOLATED FROM THE ZONE OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION

S u m m a r y

The resistance of the micromycetes to β -irradiation had been studied. The study was conducted on two species: *Cladosporium sphaerospermum* Penz. and *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., each of them was represented by six strains. Half of strains were isolated from the inner locations of the “Shelter” object (SO), which were characterized by different levels of radionuclide contamination. For *C. sphaerospermum* strains maximum resistance to β -radiation was observed among 20-day-old cultures. The greatest resistance to β -radiation had been demonstrated by two strains: 5-1 (isolated from SO location with the highest level of contamination) and 852 (control). For *A. alternata* strains maximum resistance to β -radiation was observed among 40-day-old cultures. As the most resistant were characterized 56 and 105 isolates from the SO inner location with a high level of the radionuclide contamination.

Based on the obtained results we concluded about high resistance to irradiation of both studied species of anamorphic fungi, which achieved through different life strategies: *C. sphaerospermum* strains survive due to rapid and abundant formation of conidia, whereas conidia of *A. alternata* strains are formed slowly, but they have greater advantage under irradiation due to their multicellular structure and large sizes.

The paper is published in Ukrainian.

K e y w o r d s: microscopic fungi, β -irradiation, radioresistance, “Shelter” object, vital strategy.

The author's address: V.V. Vember, Dobrokhotova St., 1, 61 Apt., Kyiv, 03142, Ukraine; tel: (067) 442-10-79

1. Баряхтар В.Г. Диагностические изменения в разрушенном энергоблоке. В кн.: Чернобыльская катастрофа / Под ред. В.Г. Баряхтара. – Киев: Наук. думка, 1995. – С. 24–26.

2. Баряхтар В.Г., Гончар В.В., Жидков А.В., Ключников А.А. Радиационные повреждения в лавообразных топливосодержащих материалах объекта «Укрытие». – Препринт МНТЦ «Укрытие» НАН Украины 98-12. – Чернобыль, 1998. – 17 с.
3. Великанов Л.Л., Сидорова И.И. В кн.: Экологические особенности низших растений Прибалтики. – Вильнюс: Из-во АН ЛитССР, 1977. – С. 38–40.
4. Вембер В.В. Еколого-фізіологічні особливості мікроміцетів зони радіонуклідного забруднення: Автореф. дис. ... канд. біол. наук – Київ, 2000. – 22 с.
5. Жданова Н.Н., Василевская А.И. Меланинсодержащие грибы в экстремальных условиях. – Киев: Наук. думка, 1988. – 196 с.
6. Жданова Н.Н., Василевская А.И., Лашко Т.Н., Редчиц Т.И., Гаврилюк В.И. Взаимодействие почвенных микромицетов с «горячими» частицами в модельной системе в клетках *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) de Vries // Микробиол. журн. – 1991. – 53, № 6. – С. 9–17.
7. Жданова Н.Н., Василевская А.И., Садовников Ю.С., Артышкова Л.В. Динамика комплексов микромицетов загрязненных радионуклидами почв // Микол. и фитопатол. – 1990. – 24, № 6. – С. 504–512.
8. Жданова Н.Н., Захарченко В.А., Василевская А.И. и др.. Микобиота Украинского Полесья: последствия Чернобыльской катастрофы / под ред. проф. Н.Н. Ждановой – К.: Наукова думка, 2012. – 383 с.
9. Иванова А.Е. Жизнеспособность фрагментов мицелия почвенных микроскопических грибов в разных экологических условиях // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, ф-т почвоведения, 1999. – 28 с.
10. Иванова А.Е., Марфенина О.Е. Особенности формирования микроколоний микроскопических грибов при бесполом и вегетативном размножении // Микробиология. – 1998. – 67 (1). – С. 142–143.
11. Карасевич Ю.Н. Экспериментальная адаптация микроорганизмов. – М.: Наука, 1975. – 79 с.
12. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. — М.: Наука, 1970. – 104 с.
13. Кашнер Д. Краткий очерк проблемы / В кн.: жизнь микробов в экстремальных условиях. – М.: Мир, 1981, С. 8–18.
14. Корогодин В.И. Радиотаксоны и надежность генома // Радиобиология. – 1982. – 22 (2), С. 147–154.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высш. шк., 1968. – 284 с.
16. Ли Д. Действие радиации на живые клетки / Под ред. Н.П.Дубинина и Н.И.Шапиро. – М.: Госатомиздат, 1963. – 198 с.
17. Мальцев В.Д., Саадави А., Айясу А., Эльгаун О., Шлип М. Микроэкология воды охлаждающего бассейна ядерного реактора // Радиобиология. Радиоэкология. – 1996. – 36, № 1. – С. 52–57.
18. Назим А., Джеймс А. Жизнь в условиях интенсивного облучения. В кн.: Жизнь микробов в экстремальных условиях / Под ред. Д. Кашнера. – М.: Мир, 1981. – С. 470–497.
19. Одум Ю. Основы экологии: В 2 т. Пер. с англ. – М.: Мир – Т. 1 – 1986. – 328 с., Т.2. – 1986. – 376 с.
20. Сишилова Н.Г., Першина З.Г., Дуплицева А.П., Павлова И.Б. Радиорезистентная пигментированная бактериальная культура, выделенная из воды // ЖМЭИ – 1969. – №8. – С. 94–98.

21. Соботович Э.В., Скрипкин В.В., Жданова Н.Н., Пушкарев А.В. Ковалюх Н.Н., Захарченко В.А., Наконечная Л.Т., Вембер В.В., Пушкарева Р.А. Трансформация реакторного графита Чернобыльского аварийного выброса в биогеохимических системах // Доклады Академии Наук Украины. – 1996. – № 11. – С. 173–176.
22. Успенская Г.Д. Экологическая адаптация и эволюция грибов // Микол. и фитопатол. – 1980. – **14**, № 3. – С. 259–262.
23. Шальнов М.И. Ферментативная репарация ДНК и эволюция генома // Радиобиология. – 1977. – **17**, № 5. – С. 652–670.
24. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа, 1977. – 368 с.
25. Durrel L.W., Shields L.M. Fungi isolated in culture from soils of the Nevada test site // Mycologia. – 1961. – **43**, N 4. – P. 636–641.
26. Zhdanova N.N., Zakharchenko V.A., Vember V.V., Nakonechnaya L.T. Fungi from Chornobyl: mycobiota of the inner regions of the containment structures of the damaged nuclear reactor // Micological research. – 2000. – 104, N 12. – P. 1421–1426.
27. Mironenko N.V., Alekhina I.A., Zhdanova N.N., Bulat S.A. Intraspecific variation in gamma-radiation resistance and genomic structure in the filamentous fungus *Alternaria alternata*: a case study of strains inhabiting Chernobyl reactor // Ecotoxicol. Envir. Safety. – 2000. – **45**, N 4. – P. 177–187.

Отримано 16.05.2014