



УДК 502.521:631.461:579.26

В. М. Гришко, О. М. Коріновська, Е. Крумова, М. Ангелова

### Стійкість мікроміцетів, виділених із чорнозему звичайного і техноземів, до сумісної дії кадмію, нікелю, купруму, цинку і плюмбуму

(Представлено академіком НАН України Д. М. Гродзинським)

Досліджено стійкість мікроміцетів до сумісної дії сполук кадмію, цинку, нікелю, купруму і плюмбуму. Найчутливішими до мінімального вмісту важких металів ( $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{Cd}^{2+}$  – 2,25;  $\text{Ni}^{2+}$  – 3,0;  $\text{Pb}^{2+}$  – 15,0;  $\text{Zn}^{2+}$  – 17,5 мг/л) у середовищі Чапека є *Absidia butleri*, *Mortierella vinacea*, *Cunninghamella echinulata*, *Curvularia tuberculata*, *Fusarium solani*, тоді як у *Trichoderma longibrachiatum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium sp4* і *Mucor globosus* відмічено слабкий ріст навіть при максимальній концентрації ( $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{Cd}^{2+}$  – 150;  $\text{Ni}^{2+}$  – 200;  $\text{Pb}^{2+}$  – 1000;  $\text{Zn}^{2+}$  – 1150 мг/л). Показано, що найактивніше акумулюють кадмій *Botrytis cinerea* і *Mortierella jenkinsii*, нікель – *B. cinerea*, *Aspergillus wentii*, *M. jenkinsii* і *T. longibrachiatum*, купрум – *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum* і *Penicillium vinaceum*, а цинк – *M. jenkinsii*. У більшості мікроміцетів темпи акумуляції цинку найменші серед інших металів.

У теперішній час ґрунти, особливо промислових регіонів України, зазнають значного техногенного впливу. У результаті діяльності металургійних підприємств та рудозбагачувальних фабрик в едафотобах накопичується значна кількість сполук важких металів і формуються локальні атмогеохімічні аномалії вмісту кадмію, нікелю, плюмбуму, цинку і купруму в промислово-селітебних зонах ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг” та гірничозбагачувальних комбінатів Криворіжжя [1]. Внаслідок такого впливу в техноземах створюються передумови зміни кількісного та таксономічного складу ценозу мікроорганізмів [2, 3].

Для прогнозування наслідків забруднення едафотопів сполуками важких металів доцільним є визначення особливостей функціонування мікроміцетів за умов дії різних концентрацій токсичних сполук. Зокрема, їх резистентність до несприятливих умов та чутливість (пригнічення росту або загибель організмів) виявляються за певного рівня несприятливого фактору [4]. Також останнім часом досить активно обговорюється можливість використання мікроміцетів як біологічних індикаторів рівня забруднення ґрунтів внаслідок їх толерантності та здатності акумулювати токсичні сполуки [5]. Проте лишаються нез’ясованими

© В. М. Гришко, О. М. Коріновська, Е. Крумова, М. Ангелова, 2014

питання стійкості ґрунтових мікроміцетів та накопичення ними іонів важких металів за умов сумісної дії токсичних сполук.

Ми ставили за мету дослідження стійкості мікроміцетів до сумісного впливу сполук кадмію, купрум, нікелю, плумбуму і цинку та визначення ступеня акумуляції іонів важких металів.

Резистентність до іонів важких металів визначали в 49 видів мікроміцетів, виділених з техноземів промислових підприємств Кривого Рогу (ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, ЗАТ “Криворізький суриковий завод”, ПАТ “Північний гірничозбагачувальний комбінат”) і чорнозему звичайного (с/т Петрове, Кіровоградська обл.). Ідентифікацію проводили за визначниками вітчизняних та зарубіжних авторів [6, 7]. Культивували мікроміцети на агаризованому середовищі Чапека з додаванням  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  з розрахунку гранично допустимих концентрацій (ГДК) для кожного елемента (Cu — 3,0; Cd — 3,0; Ni — 4,0; Pb — 20,0 і Zn — 23,0 мг/л поживного середовища) в кількості 0,75; 1; 3; 5; 7; 10; 15; 20 і 50 ГДК. Ріст колоній на середовищі Чапека без вмісту важких металів був контролем.

Порівняльне визначення змін морфологічних ознак мікроскопічних грибів при дії високих концентрацій сполук кадмію, нікелю, купрум, цинку і плумбуму проводили за допомогою сканувального електронного мікроскопа JEOL JSM-35c (Японія) у центрі електронної мікроскопії та мікроаналізу Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України. Препарат готували шляхом отримання відбитка міцелію на поверхні латунного стержня, з подальшим висушуванням відбитка та напиленням його золотом (напиловач FINE JFC-1100, Японія). Для проведення досліджень використовували діапазон інструментального збільшення від  $\times 1000$  до  $\times 20000$  [8].

Для вивчення здатності накопичувати сполуки важких металів були відібрані як домінантні, так і типово часті види мікроміцетів у мікоценозах природних і забруднених едафотопів. У лабораторному досліді *Trichoderma longibrachiatum* Rifai, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl, *Aspergillus niger* Tiegh, *Aspergillus wentii* Thom et Church, *Fusarium oxysporum* E. F. Sm. Et Swingle, *Penicillium vinaceum* J. C. Gilman & E. V. Abbott, *Botrytis cinerea* Persoon ex Fries, *Cladosporium cladosporioides* (Fresen) G. A. de Vries і *Mortierella jenkinsii* Naumov культивували на рідкому середовищі Чапека з додаванням  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в концентраціях 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 ГДК при 27 °С протягом 14 діб. Ріст колоній на середовищі Чапека без вмісту важких металів був контролем.

Накопичення нікелю, кадмію, купрум і цинку оцінювали з використанням методичних вказівок щодо визначення важких металів у ґрунтах сільськогосподарських угідь і продукції рослинництва [9]. Підготовку проб для аналізу проводили за допомогою екстракції азотною кислотою (розведення 1 : 1). Вміст важких металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна).

Результати експериментів показали, що мікроміцети мають різну чутливість до підвищеного вмісту важких металів (табл. 1). 10% досліджених видів (*A. butleri*, *M. vinacea*, *C. echinulata*, *C. tuberculata* і *F. solani*) були найчутливішими до іонів важких металів і припиняли ріст вже при їх мінімальній концентрації. Зі збільшенням в агаризованому середовищі токсикантів до 3 ГДК продовжували рости 81% видів. При підвищенні концентрації до 5 ГДК відсутність росту спостерігалася у 24% видів (крім перелічених вище також *M. corticola*, *B. cinerea* і *A. wentii*). На середовищі з вмістом сполук важких металів 7 ГДК додатково припиняла ріст лише *A. glauca*.

Таблиця 1. Ріст мікроміцетів на середовищі Чапека з різним вмістом сполук важких металів

Вид	Контроль		0,75 ГДК		1 ГДК		3 ГДК		5 ГДК		7 ГДК		10 ГДК		15 ГДК		20 ГДК		50 ГДК	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<i>Absidia butleri</i> Lendn	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>A. glauca</i> Hagem	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Aspergillus niger</i> Tiegh	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. ochraceus</i> G. Wilh	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. ustus</i> (Bainier) Thom et Church	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. nidulans</i> (Eidam) Wint	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. versicolor</i> Tiraboschi. Thom, Church	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. wentii</i> Thom, Church	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. flavus</i> Raper et Fennell	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>A. fumigatus</i> Fres.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Arthrobotrys longispora</i> Preus	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Botrytis cinerea</i> Persoon ex Fries	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze: Fr	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen) G.A. de Vries	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>C. herbarum</i> (Persoon) Link	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Curvularia tuberculata</i> Jain	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cunninghamella echinulata</i> Thaxter	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eupenicillium</i> sp.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Fusarium oxysporum</i> E.F. Sm. Et Swingle	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>F. solani</i> (C.Mart.) Appel et Wollenw	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. javanicum</i> Koorders	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>F. avenaceum</i> (Corda: Fr.) Sacc	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Humicola brevis</i> Gilman	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Mortierella jenkini</i> Naumov	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. isabelina</i> Oudem	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. vinacea</i> Dixon-Stewart	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mucor corticola</i> Hagem	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. globosus</i> Ficher	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. racemosus</i> Fres., Beitr	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>M. piriformis</i> Fisher	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Таблиця 1. Продовження

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Paecilomyces lilacinus</i> (Thom) Samson	+++	++	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Penicillium vinaceum</i> J.C. Gilman	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-
<i>Penicillium expansum</i> Link	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Penicillium spinulosum</i> Thom	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-
<i>Penicillium citrinum</i> Thom	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Penicillium corylophilum</i> Dierckx	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
<i>Penicillium sp4</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Penicillium sp8</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	-	-
<i>Penicillium sp9</i>	+++	+++	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phoma sp.</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Rhizopus oligosporus</i> Saito	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Stachybotrys alternans</i> Bonorden	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Talaromyces variabilis</i> (Sopp) Samson, Yilmaz, Frisvad	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>Trichoderma viride</i> Pers	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	-	-
<i>T. koningi</i> Oudemans	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>T. lignorum</i> (Tode) Harz	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-
<i>T. longibrachiatum</i> Rifai	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
<i>Verticillium album</i> (Preus) Piodopiczko	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	-	-	-

Примітка. +++ дуже добрий ріст; ++ добрий ріст; + слабкий ріст; - відсутність росту.

З подальшим збільшенням вмісту токсикантів до 10 ГДК чутливими виявилися види родів *Absidia*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Cunninghamella*, *Eupenicillium* і *Paecilomyces*. Проте 39% вивчених мікроміцетів, що належать до родів *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chetomium*, *Fusarium*, *Humicola*, *Mortierella*, *Mucor*, *Penicillium* і *Trichoderma*, виявляли відносно резистентність до іонів важких металів при 10 ГДК. Причому з них дуже добрий і добрий ріст мали 68% видів. Стійкість до комплексу іонів важких металів притаманна *Penicillium vinaceum*, *A. nidulans*, *A. ustus*, *M. isabelina*, *F. oxysporum*, *F. javanicum*, *C. globosum*, *H. brevis* і *A. fumigatus*, які мали добрий і слабкий ріст при 20 ГДК. Чутливими до зазначеної концентрації важких металів виявилися *Penicillium sp5*, *M. jenkini*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *T. viride* і *M. piriformis*. Найвищу резистентність до азотнокислих сполук купруму, цинку, нікелю, кадмію і плумбуму виявляли лише *T. longibrachiatum*, *A. alternata*, *Penicillium sp4* і *M. globosus*, слабкий ріст яких відмічався навіть при максимальній концентрації токсикантів (див. табл. 1).

Культуральні та морфологічні зміни мікроміцетів при дії високих концентрацій важких металів спостерігаються досить часто. В. А. Тереховою було встановлено пригнічення проростання конідій та зменшення їх розмірів у *Fusarium oxysporum* у середовищі Чапека з вмістом сполук кадмію в концентрації 20 мг/л, тоді як для темнозабарвлених конідій *Stemphylium sp.* подібний ефект відмічався при концентрації 200 мг/л. В експериментах з цинком у видів роду *Phoma* виявлено зміни забарвлення колонії, зрушення зони пігментації, прискорення дозрівання пікнід, які створювали зернистість поверхні колонії [10].

Натомість морфологічні зміни представників роду *Penicillium* під впливом сполук кадмію, нікелю, цинку, купруму і плумбуму вивчені значно менше. Наші дослідження показали (рис. 1), що у *P. vinaceum* за умов сумісної дії сполук важких металів при 10 ГДК довжина конідиеносців зменшувалася на 22%, а їх товщина — на 30% лише при максимальній концентрації. Під впливом останньої зменшувалася довжина конідиеносців на 44%. Менш істотних змін зазнавала морфологічна будова кісточок. За наявності в середовищі 10 і 20 ГДК токсикантів утворювалися на 20 і 60% менш видовжені стеригми. Форма і розміри конідій в усіх варіантах дослідів не змінювалися, проте при високих концентраціях уповільнювалося їх формування. Під впливом сполук важких металів при 10 ГДК кількість конідій у ланцюжках зменшувалася, тоді як при 20 ГДК ланцюжки з них не утворювалися.

У цього виду під впливом різних концентрацій токсичних сполук змінювалися також і культуральні ознаки. Так, вже мінімальний вміст важких металів у середовищі Чапека призводив до формування менших за розміром колоній *P. vinaceum*, а при подальшому підвищенні концентрації токсичних сполук змінювався колір повітряного (від блакитнуватого-зеленого в контролі до білого вже при 1 ГДК) і субстратного міцелію (від темно-лілового в контролі до темно-коричневого при 20 ГДК сполук кадмію, нікелю, цинку, купруму і плумбуму). Забарвлення краплин ексудату варіювало від світло-жовтого в контролі до темно-жовтого при 10 ГДК, а при 20 ГДК вони взагалі не утворювалися. Також змінювалася інтенсивність виділення пігменту в середовище, про що свідчить зміна його кольору (від лілово-коричневого в контролі, до темно-коричневого вже при 7 ГДК).

Високий вміст сполук важких металів у середовищі впливає не лише на морфологічні та культуральні ознаки мікроміцетів, а також і на інтенсивність акумуляції токсикантів. Н. М. Жданова, Л. І. Василевська показали, що *F. oxysporum* здатний накопичувати 66–70% іонів купруму, а *Stemphylium sp.* і *C. cladosporioides* — до 100% [11]. А. І. Фокіною зі спів-авт. виявлено, що *Fusarium sp.* здатний накопичувати 36,5% іонів нікелю та 58,8% іонів купруму, тоді як *F. oxysporum* може акумулювати 100% іонів плумбуму з розчину [12]. За

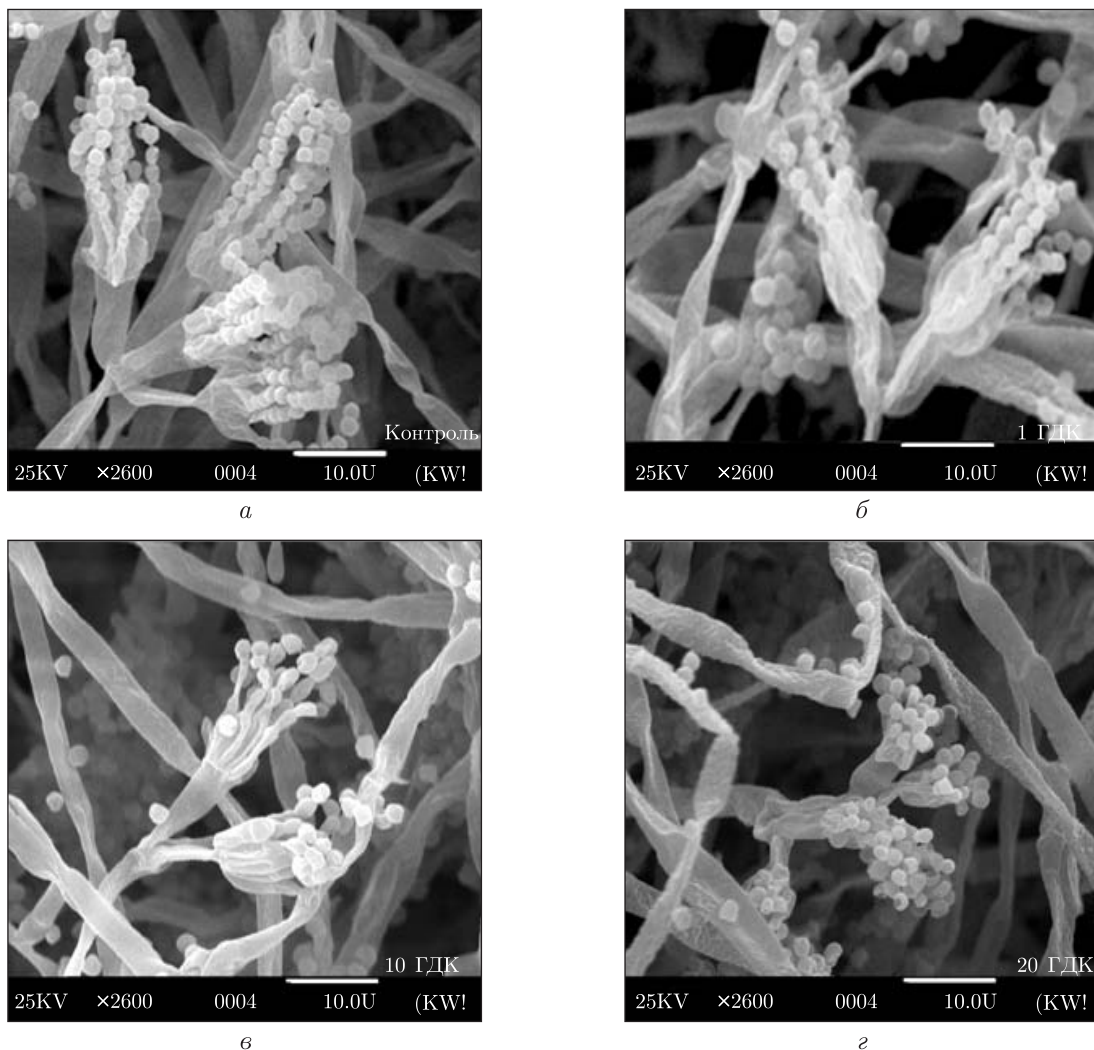


Рис. 1. Морфологічні зміни конідієносців *Penicillium vinaceum* під впливом різних концентрацій сполук важких металів

даними M. S. Price, J. J. Classen, G. A. Payne, *A. niger* акумулює до 70% іонів цинку [13]. Їх накопичення значною мірою залежить від видової належності мікроміцетів, що можна пояснити складом компонентів клітинної оболонки грибів, які здатні зв'язувати іони важких металів. Основними хімічними групами, що можуть нейтралізувати іони важких металів у клітинах є ацетамідні групи хітину, гідроксильні групи поліцукрів, сульфгідрильні і карбоксильні групи білків, аміно- і фосфатні групи нуклеїнових кислот [14, 15]. Однак вивчення особливостей акумуляції мікроміцетами декількох іонів важких металів за їх наявності в надлишковій кількості в середовищі практично не проводилося.

Наші експерименти показали, що рівень накопичення важких металів залежить від чутливості до них досліджених видів мікроміцетів, а також від вмісту важких металів в едафотопах, з яких вони були виділені. Отримані результати дають підставу стверджувати, що найактивніше поглинають кадмій *A. wentii*, *A. alternata*, *B. cinerea* і *M. jenkinsii* (рис. 2). Про видоспецифічність акумуляції іонів важких металів свідчить той факт, що з підвищенням

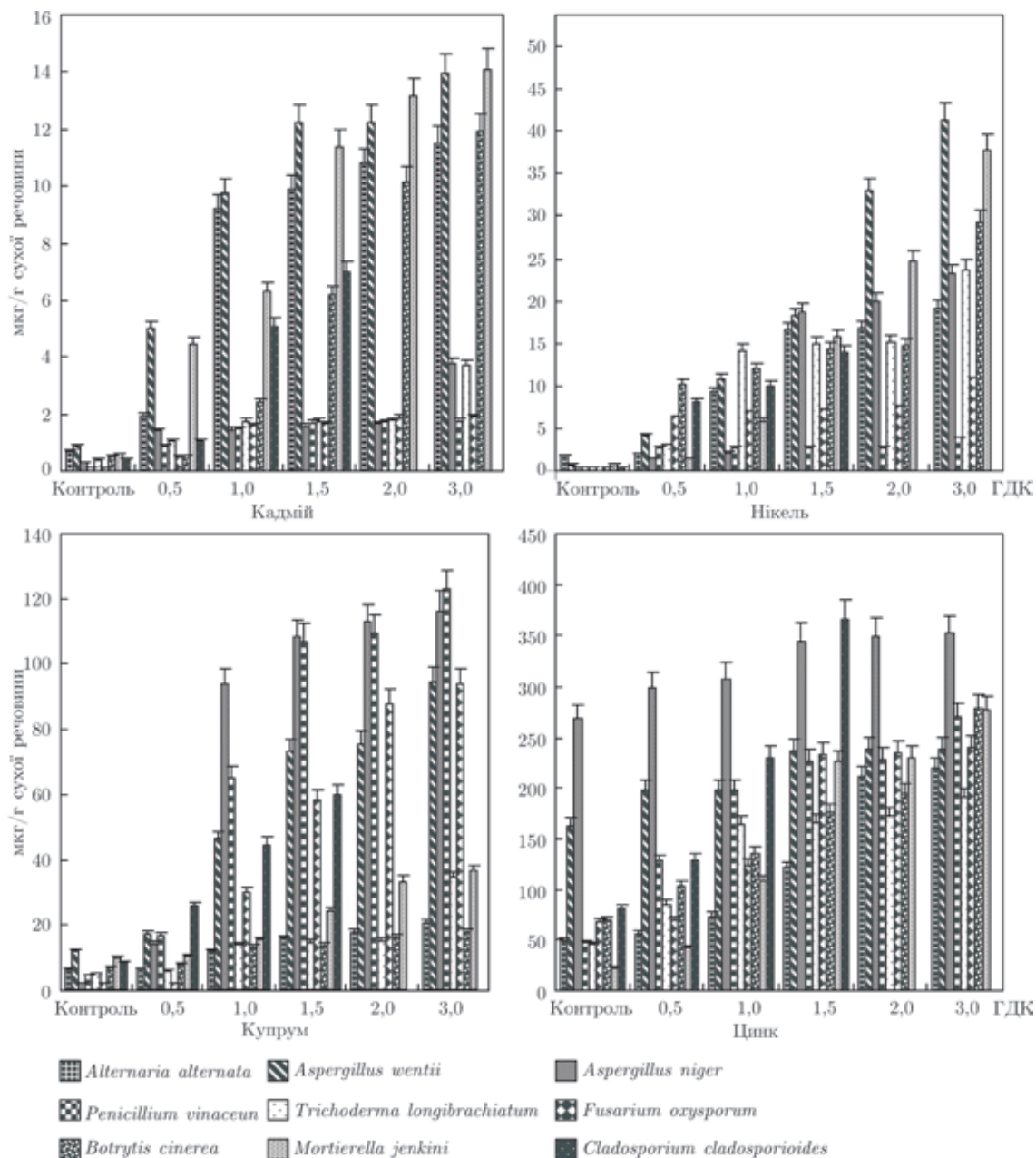


Рис. 2. Акумуляція іонів важких металів ґрунтовими мікроскопічними грибами (мкг/г сухої речовини)

рівня кадмію в середовищі до 0,5 ГДК *A. wentii* і *M. jenkini* накопичували його у 5,7 та 7,4 рази більше, тоді як *A. alternata* — у 2,7 рази, а *B. cinerea* — лише на 10%. Аналогічна тенденція спостерігалася і при концентрації 1 ГДК: *B. cinerea* акумулював кадмій у 4,7 рази більше порівняно з контролем, тоді як інші види — у 10–13 разів. З підвищенням вмісту кадмію у поживному середовищі активізуються процеси його поглинання клітинами *B. cinerea* і *M. jenkini* порівняно з *A. alternata* і *A. wentii*. Так, при 2 ГДК *A. alternata* і *A. wentii* акумулювали кадмій у 15,6–16,9, *B. cinerea* і *M. jenkini* — у 19,9–21,9 рази більше, тоді як при 3 ГДК — у 16,2–16,9 та у 23,3 рази відповідно.

Досліджені види мікроскопічних грибів досить активно поглинали нікель та купрум. Причому встановлено, що вже при мінімальній концентрації сполук важких металів у середовищі *B. cinerea* виявляє найвищу здатність до акумуляції нікелю (вміст у клітинах міцелію зростає у 32 рази). Пришвидшення темпів поглинання цього елемента в 4,6 рази для *T. longibrachiatum* та в 9 разів для *A. niger* відбувалося при 1 та 1,5 ГДК відповідно. Для останнього при 1 ГДК спостерігалось найбільше зростання інтенсивності надходження купруму (вміст підвищувався в 6,7 рази). Зазначене дає можливість стверджувати, що саме за цих умов відбувається активізація фізіологічних процесів транспорту іонів металів до клітин.

Іншою особливістю акумуляції зазначених вище елементів при комплексному внесенні сполук важких металів у середовище вирощування є висока її видоспецифічність. Так, при максимальній концентрації токсикантів у середовищі *T. longibrachiatum*, *M. jenkinsii*, *A. niger* і *A. wentii* здатні накопичувати в 46–58 разів, а *B. cinerea* в 90 разів більше нікелю, ніж у контролі, тоді як *P. vinaceum*, і *A. alternata* і *F. oxysporum* — від 9 до 12 разів. У *B. cinerea*, найімовірніше, таке зростання темпів акумуляції призводить до нездатності антиоксидантної системи клітини нейтралізувати токсичні метаболіти, тому рівень 5 ГДК сполук важких металів у середовищі був летальним для цього виду. Для *C. cladosporioides* підвищення акумуляції кадмію, нікелю, купруму і цинку в 15,8; 13,4; 7,1 і 4,5 рази відповідно при 1,5 ГДК сполук важких металів у середовищі є сублетальним.

Порівняння інтенсивності поглинання іонів важких металів за наявності їх надлишку в середовищі показало, що цинк більшістю мікроміцетів акумулюється найнижчими темпами. Так, при мінімальній концентрації кількість цинку в більшості мікроміцетів зростала до 80%. При концентрації 3 ГДК лише для *M. jenkinsii* і *P. vinaceum* підвищення його вмісту в клітинах міцелію становило 12,5 та 5,8 рази порівняно з контролем, тоді як для інших — не перевищувало 4,2 рази.

Таким чином, досліджені види мають різні стійкість до сумісного впливу сполук кадмію, купруму, нікелю, плумбуму і цинку та ступінь акумуляції іонів важких металів. Найбільш чутливими до вмісту важких металів виявилися *A. butleri*, *M. vinacea*, *C. echinulata*, *C. tuberculata* і *F. solani*, тоді як *T. longibrachiatum*, *A. alternata*, *Penicillium sp4* і *M. globosus* навіть при їх максимальній концентрації не припиняли ріст. Встановлені особливості поглинання іонів важких металів свідчать про функціонування певних фізіологічних бар'єрних механізмів на шляху їх надходження в клітини. У більшості мікроміцетів темпи акумуляції цинку найменші серед інших металів.

*Робота виконана в рамках спільного українсько-болгарського проекту “Вивчення фізіолого-біохімічних і еколого-ценотичних особливостей мікроміцетів, резистентних до стресового впливу важких металів” та проекту № 36 “Транслокація важких металів і фтору в системі “грунт-рослина” і підвищення стійкості рослин при дії абіотичних чинників” цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з проблем стійкого розвитку, раціонального природокористування і збереження довкілля.*

1. Гришко В. М., Сичиков Д. В., Піскова О. М. та ін. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. – Донецьк: Донбасс, 2012. – 303 с.
2. Гришко В. Н., Сичикова О. В. Сообщества актиномицетов рода *Streptomyces* в почвах, загрязненных тяжелыми металлами // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С. 235–243.
3. Коріновська О. М., Гришко В. М. Загальна характеристика чисельності та видового складу мікроміцетів в ґрунтах, забруднених сполуками важких металів // Біол. системи. Наук. вісн. Чернівецьк. ун-ту. – 2012. – 2 (4), вип. 2. – С. 176–179.



4. Андріюк К. І., Гутинська Г. О., Антипчук А. Ф. та ін. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження. – Київ: Обереги, 2001. – 233 с.
5. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов. – Москва: Медицина для всех, 2005. – 198 с.
6. Милько А. А. Определитель мукоральных грибов. – Киев: Наук. думка, 1974. – 114 с.
7. Domsh K. H., Gams W., Andersen T. H. Compendium of soil fungi. – Eching: IHW, 2007. – 672 p.
8. Зенова Г. М., Степанов А. Л., Лихачева А. А., Маничурова Н. А. Практикум по биологии почв. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 2002. – 120 с.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства. – Москва, 1989. – 62 с.
10. Терехова В. А. Микромицеты в экологической оценке водной и наземной экосистем. – Москва: Наука, 2007. – 217 с.
11. Жданова Н. Н., Василевская Л. И. Меланинсодержащие грибы в экстремальных условиях. – Киев: Наук. думка, 1988. – 196 с.
12. Фокина А. И., Злобин С. С., Домрачева Л. И. и др. Свойства некоторых видов р. *Fusarium* – основа для создания биосорбента тяжелых металлов // Вестн. Алтай. гос. аграр. ун-та. – 2012. – № 2(88). – С. 49–52.
13. Price M. S., Classen J. J., Payne G. A. *Aspergillus niger* absorbs copper and zinc from swine wastewater // J. Bioresour. Technol. – 2001. – 77. – P. 41–49.
14. Олішевська С. В., Василевська А. І., Фомина М. О. та ін. Сорбція іонів міді ґрунтовими мікроміцетами // Мікробіол. журн. – 2006. – 68. – С. 60–70.
15. Ross I. S. Membrane transport processes and response to exposure to heavy metals // Stress tolerance of fungi / Ed. by D. H. Jennings. – London: Univ. of Liverpool, 1995. – P. 97–125.

Криворізький ботанічний сад НАН України  
 Інститут мікробіології “Стефан Ангелов” БАН,  
 Софія, Болгарія

Надійшло до редакції 21.04.2014

**В. Н. Гришко, О. Н. Кориновская, Е. Крумова, М. Ангелова**

**Устойчивость микромицетов, выделенных из чернозема  
 обыкновенного и техноземов, к совместному действию кадмия,  
 никеля, купрума, цинка и плумбума**

*Исследована резистентность микромицетов к совместному действию соединений кадмия, цинка, меди, никеля и свинца. Самыми чувствительными к минимальному содержанию тяжелых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  – 2,25;  $\text{Ni}^{2+}$  – 3,0;  $\text{Pb}^{2+}$  – 15,0;  $\text{Zn}^{2+}$  – 17,5 мг/л) в среде Чапека являются *Absidia butleri*, *Mortierella vinacea*, *Cunninghamella echinulata*, *Curvularia tuberculata* и *Fusarium solani*, тогда как у *Trichoderma longibrachiatum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium sp4* и *Mucor globosus* отмечен умеренный рост даже при максимальной концентрации ( $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  – 150;  $\text{Ni}^{2+}$  – 200;  $\text{Pb}^{2+}$  – 1000;  $\text{Zn}^{2+}$  – 1150 мг/л). Показано, что наиболее активно кадмий аккумулируют *Botrytis cinerea* и *Mortierella jenkini*, никель – *B. cinerea*, *Aspergillus wentii*, *M. jenkini* и *T. longibrachiatum*, купрум – *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum* и *Penicillium vinaceum*, а цинк – *M. jenkini*. Для большинства микромицетов темпы аккумуляции цинка самые наименьшие среди изученных металлов.*

V. M. Gryshko, O. M. Korinovskaya, E. Krumova, M. Angelova

**Resistance of the micromycetes isolated from the chernozem usual and technozems to the joint influence of cadmium, nickel, copper, zinc, and lead**

*The resistance of micromycetes to the joint impact of cadmium, zinc, nickel, copper, and lead compounds is studied. The most sensitive to the minimum content of heavy metals ( $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  – 2.25;  $\text{Ni}^{2+}$  – 3.0;  $\text{Pb}^{2+}$  – 15.0;  $\text{Zn}^{2+}$  – 17.5 mg/l) on the Capek medium were *Absidia butleri*, *Mortierella vnacea*, *Cunninghamella echinulata*, *Curvularia tuberculata*, and *Fusarium solani*. For *Trichoderma longibrachiatum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium sp4*, and *Mucor globosus*, a weak growth even at the maximum concentration ( $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  – 150;  $\text{Ni}^{2+}$  – 200;  $\text{Pb}^{2+}$  – 1000;  $\text{Zn}^{2+}$  – 1150 mg/l) was noticed. It is shown that *Botrytis cinerea* and *Mortierella jenkini* most actively accumulated cadmium, *B. cinerea*, *Aspergillus wentii*, *M. jenkini*, *T. longibrachiatum* – nickel, *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, and *Penicillium vinaceum* – copper, *M. jenkini* – zinc. The majority of micromycetes had the smallest rates of zinc accumulation in comparison with other metals.*