

## РОЗДІЛ IV. ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРИРОДИ

УДК 582.282.23:547.147:546.56

### ВПЛИВ АНІОНІВ СОЛЕЙ ЦИНКУ ТА МІДІ НА ПІГМЕНТОСИНТЕЗУВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ДРІЖДЖОВИХ КЛІТИН

Крупей К.С., Рильський О.Ф.

*Запорізький національний університет*  
69600, Україна, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66

krupeyznu@gmail.com

У роботі наведені дані про вплив аніонів солей цинку та міді на синтез пігменту в дріжджів *Rhodotorula aurantiaca* 1193 та *Rh. glutinis* 1335. Встановлено, що втрата здатності до утворення пігменту та поява безпігментних колоній у досліджуваних штамів дріжджів спостерігалася при концентраціях на 14,3-58,4 % нижче рівня тих концентрацій аніонів солей металів, за яких відбувалося повне блокування росту дріжджових клітин. Сульфат цинку виявився більш токсичним, ніж сульфат міді як для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193, так і для *Rh. glutinis* 1335. Проте хлорид цинку, навпаки, проявив менш токсичну дію в порівнянні з хлоридом міді на обидва штами дріжджів. Дріжджі *Rh. glutinis* 1335 виявилися набагато стійкішими відносно всіх аніонів солей цинку та міді в порівнянні з дріжджами *Rh. aurantiaca* 1193.

*Ключові слова:* аніони, цинк, мідь, пігментосинтезувальні дріжджі, каротиноїди.

### ВЛИЯНИЕ АНИОНОВ СОЛЕЙ ЦИНКА И МЕДИ НА ПИГМЕНТСИНТЕЗИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК

Крупей К.С., Рильский А.Ф.

*Запорожский национальный университет*  
69900, Украина, г. Запорожье, ул. Жуковского, 66,

krupeyznu@gmail.com

В работе представлены данные о влиянии анионов солей цинка и меди на синтез пигмента у дрожжей *Rhodotorula aurantiaca* 1193 и *Rh. glutinis* 1335. Установлено, что потеря способности к образованию пигмента и появление беспигментных колоний у исследуемых штаммов дрожжей наблюдалась при концентрациях на 14,3-58,4 % ниже уровня тех концентраций анионов солей металлов, при которых происходило полное блокирование роста дрожжевых клеток. Сульфат цинка оказался более токсичным, чем сульфат меди как для дрожжей *Rh. aurantiaca* 1193, так и для *Rh. glutinis* 1335. Хлорид цинка, наоборот, проявил менее токсическое действие по сравнению с хлоридом меди на оба штамма дрожжей. Дрожжи *Rh. glutinis* 1335 оказались более стойкими относительно всех анионов солей цинка и меди по сравнению с дрожжами *Rh. aurantiaca* 1193.

*Ключевые слова:* анионы, цинк, медь, пигментсинтезирующие дрожжи, каротиноиды.

### INFLUENCE OF ANIONS OF SALTS OF ZINC AND COPPER ON THE PIGMENT SYNTHESIZING ABILITY OF YEASTS CELLS

Krupey K.S., Rylsky A.F.

*Zaporizhzhya National University*  
69900, Ukraine, Zaporizhzhya, Zhukovsky str., 66

krupeyznu@gmail.com

As is known, exceeding of the heavy metals (HM) concentrations in nature has an adverse effect on the ecological state of the environment, which may lead to the malfunction of physiological and biochemical processes taking place in living organisms. Main sources of HM, polluting environment, are metallurgy and galvanic shops of the industrial enterprises. That is why the search for effective methods of environment pollution indications by HM has taken the first place recently. The surest and the most available methods of the anthropogenic violations diagnosis are based on a number of microbiological characteristics, because among all the representatives of the biota, microorganisms are the most sensitive to change of the medium. So, the usage of the pigment synthesizing bacteria as bioindicators is a new and promising tendency. Visual observation of the change of the pigment brightness under the influence of HM may serve as objective bioindicator of the environment pollution.

Metals persist in the environment and can become concentrated up the food chain. Metals may be bioconcentrated, bioaccumulated and biomagnified within food chains, causing higher trophic organisms to become contaminated with higher concentrations of chemical and metal contaminants than their prey. The risk for toxicity depends on the frequency, intensity and duration of contact with the metal contaminant along with exposure route. Toxicity risk also depends on the inherent toxic potential of the metal itself.

These HM influence the microbial population by affecting their growth, morphology, biochemical activities and ultimately resulting in decreased biomass and diversity. HM can damage the cell membranes, alter enzymes specificity, disrupt cellular functions and damage the structure of the DNA. Toxicity of these HM occurs through the displacement of essential metals from their native binding sites or through ligand interactions. Also, toxicity can occur as a result of alterations in the conformational structure of the nucleic acids and proteins and interference with oxidative phosphorylation and osmotic balance.

Thus, researches of the bacteria that we carried out aroused our interest to the research of the HM influence on the pigment synthesizing ability of the yeasts. In the literature accessible for us is mentioned only the fact that yeasts have the ability to sorb HM, and there is little information about the ability to change the pigment color in HM presence in the medium.

Thus, researches of the bacteria that we carried out aroused our interest to the research of the HM, anions of salts of zinc and copper in particular, influence on the pigment synthesizing ability of the yeasts. In the literature accessible for us is mentioned only the fact that yeasts have the ability to sorb HM, and there is little information about the ability to change the pigment color in HM presence in the medium. One of the richest in quality composition carotenoids are the yeasts *Rhodotorula glutinis* and *Rh. aurantiaca*, which are able to synthesize phytoene, neurosporene,  $\gamma$ -carotene,  $\beta$ -carotene,  $\xi$ -carotene and torulene. It is colour saturation and stability of pigment data that determined the object of our research: to study the anions of salts of zinc and copper influence on the carotenoid synthesis of the yeasts *Rh. glutinis* 1335 and *Rh. aurantiaca* 1193.

Thus, the aim of our study was to investigate the influence of anions of salts on the carotenoid synthesis of the yeasts *Rhodotorula* genus.

Solid nutrient medium Sabouraud was prepared on the base of the water with certain heavy metals salt concentrations  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $ZnCl_2$ ,  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ . Nutrient medium Sabouraud without metals was used as a control. When Sabouraud set congeal, 18-days culture *Rh. glutinis* 1335 and *Rh. aurantiaca* 1193 was seeded by solid lawn on it (0,2 ml per one Petri dish). Suspension density was  $10^7/ml$ . Yeasts incubated in the thermostat under the temperature 27-28°C. Results were calculated during 9 days of the cultivation. Visual observation and comparison of the experimental samples with the control was carried out. For the calculation of the color intensity difference between experimental and control samples, the Petri dishes with yeasts colonies were photographed, photos were loaded in the program Adobe Photoshop, indexes of the color model channels (Lab), and then the difference of the pigment color intensity was calculated in the program CIEDE 2000.

The research has shown that *Rh. glutinis* 1335 and *Rh. aurantiaca* 1195 react on the certain metal concentrations presence in the medium by pigment loss and by growth inhibiting.

Absolute loss of pigment was observed under the concentration of metals that was by 14,3-58,4 % lower than the concentrations under which absolute blocking of the growth of yeasts was observed.

The sulfate of zinc appeared more toxic, than sulfate of copper as for yeasts of *Rh. aurantiaca* 1193, so for *Rh. glutinis* 1335. The chloride of zinc, vice versa, showed a less toxic action as compared to the chloride of copper on both strains of yeasts. Yeasts of *Rh. glutinis* 1335 appeared more proof in relation to all anions of salts of zinc and copper as compared to yeasts of *Rh. aurantiaca* 1193.

Obtained results make it possible to recommend the yeasts *Rh. glutinis* 1335 and *Rh. aurantiaca* 1195 for the usage in the bioindication research of the environment pollution by HM.

*Key words: anions, zinc, copper, pigment synthesizing yeasts, carotenoids.*

## ВСТУП

Дія іонів важких металів (ВМ) на клітини мікроорганізмів залежить від складу середовища та природи відповідних солей. Іони ВМ здатні зв'язуватися з білками, нуклеотидами, коферментами, фосфоліпідами, порфіринами, тобто практично зі всіма класами речовин, які беруть участь у метаболізмі клітини. Сучасні дані говорять про те, що в токсичній дії солей металів основне значення належить самому металу – катіону. Кислотний радикал може змінювати цей ефект у незначному ступені (через зміну розчинності або ступінь дисоціації солі). Більш повно дисоціюють солі одновалентних катіонів і аніонів, слабкіше – солі, які

утворені двовалентними металами та аніонами [1]. Проте дослідження, проведені нами на бактеріях, показали, що не тільки катіон металу, але й аніонна частина солі відіграє значну роль у токсичній дії [2]. У попередніх роботах нами було встановлено, що дріжджові клітини втрачають здатність синтезувати пігмент із певного концентраційного рівня ВМ, причому між блокуванням синтезу пігменту та інгібуванням росту простежується певний концентраційний інтервал [3, 4]. Отримані результати спонукали нас продовжити дослідження і вивчити також вплив аніонів солей одного і того ж металу та провести порівняльний аналіз щодо впливу деяких аніонів на синтез пігменту в дріжджових клітинах. Втрата пігменту клітинами дріжджів є добре спостережуваною ознакою, внаслідок чого каротиносинтезувальні дріжджі можна рекомендувати як біоіндикатори забруднення довкілля ВМ. Таким чином, метою роботи було дослідити вплив аніонів солей цинку та міді на синтез каротиноїдів у дріжджів роду *Rhodotorula*.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження були каротиносинтезувальні дріжджі *Rhodotorula aurantiaca* 1193 та *Rh. glutinis* 1335, люб'язно надані нам із колекції музейних культур Інститутом мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України.

Солі, які використовували в досліджах:  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $ZnCl_2$ ,  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ .

Тверде поживне середовище Сабуро готували на основі води з певним вмістом солей ВМ. Контролем слугувало поживне середовище Сабуро без металів. Після застигання середовища на нього суцільним газоном засівали 18-годинні колекційні культури. Щільність клітин становила  $10^7$ /мл [5]. Інкубування проводили в термостаті при температурі 27-28°C. Облік результатів проводили на 3 добу культивування. Спостерігали візуально, порівнюючи дослідні зразки з контролем. Для розрахунку різниці в інтенсивності кольору між дослідними і контрольними зразками чашки Петрі з дріжджовими колоніями фотографували, розміщали фотографії в комп'ютерну програму Adobe Photoshop, визначали показники каналів кольорової моделі (Lab), потім у програмі CIEDE 2000 розраховували різницю в інтенсивності кольору пігменту [6].

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як відомо, дріжджі роду *Rhodotorula* відрізняються багатим якісним складом каротиноїдів. Так, *Rh. aurantiaca* здатна синтезувати  $\gamma$ - і  $\beta$ -каротини, а *Rh. glutinis*, крім зазначених вище каротиноїдів, продукує також фітоїн, фітофлюїн,  $\xi$ -каротин, нейроспорин, торулін і торулародин [7, 8]. Втрата здатності до утворення пігменту та поява безпігментних колоній у досліджуваних штамів дріжджів спостерігалася при концентраціях на 14,3-58,4 % нижче рівня тих концентрацій ВМ, за яких відбувалося повне блокування росту дріжджових клітин. Так, для *Rh. aurantiaca* 1193, у випадку з сульфатом, хлоридом і ацетатом цинку ця різниця дорівнювала 33,4, 20 та 50 % відповідно, а з сульфатом і хлоридом міді досягала по 50 %.

Повна втрата пігменту в *Rh. glutinis* 1335 спостерігалася при концентраціях  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  та  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  на 50 і 44,5 % відповідно нижчі за тих концентрацій, які повністю блокували життєдіяльність дріжджів. Для  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  та  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$  ця різниця становила 14,3 та 58,4 % відповідно. Дослідження показали, що сульфат цинку виявився більш токсичним, ніж сульфат міді як для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193, так і для *Rh. glutinis* 1335. Проте хлорид цинку, навпаки, проявив менш токсичну дію в порівнянні з хлоридом міді на обидва штами дріжджів (табл. 1-2 та рис. 1).

Відомо, що хлорид-іони здатні активувати деякі ферменти, тим самим вони відіграють важливу біологічну роль. Вони забезпечують іонні потоки через клітинні мембрани та беруть участь у підтриманні осмотичного гомеостазу [9]. Це може пояснювати меншу токсичність хлоридів цинку, ніж інших аніонів відносно пігментосинтезувальної здатності дріжджів.

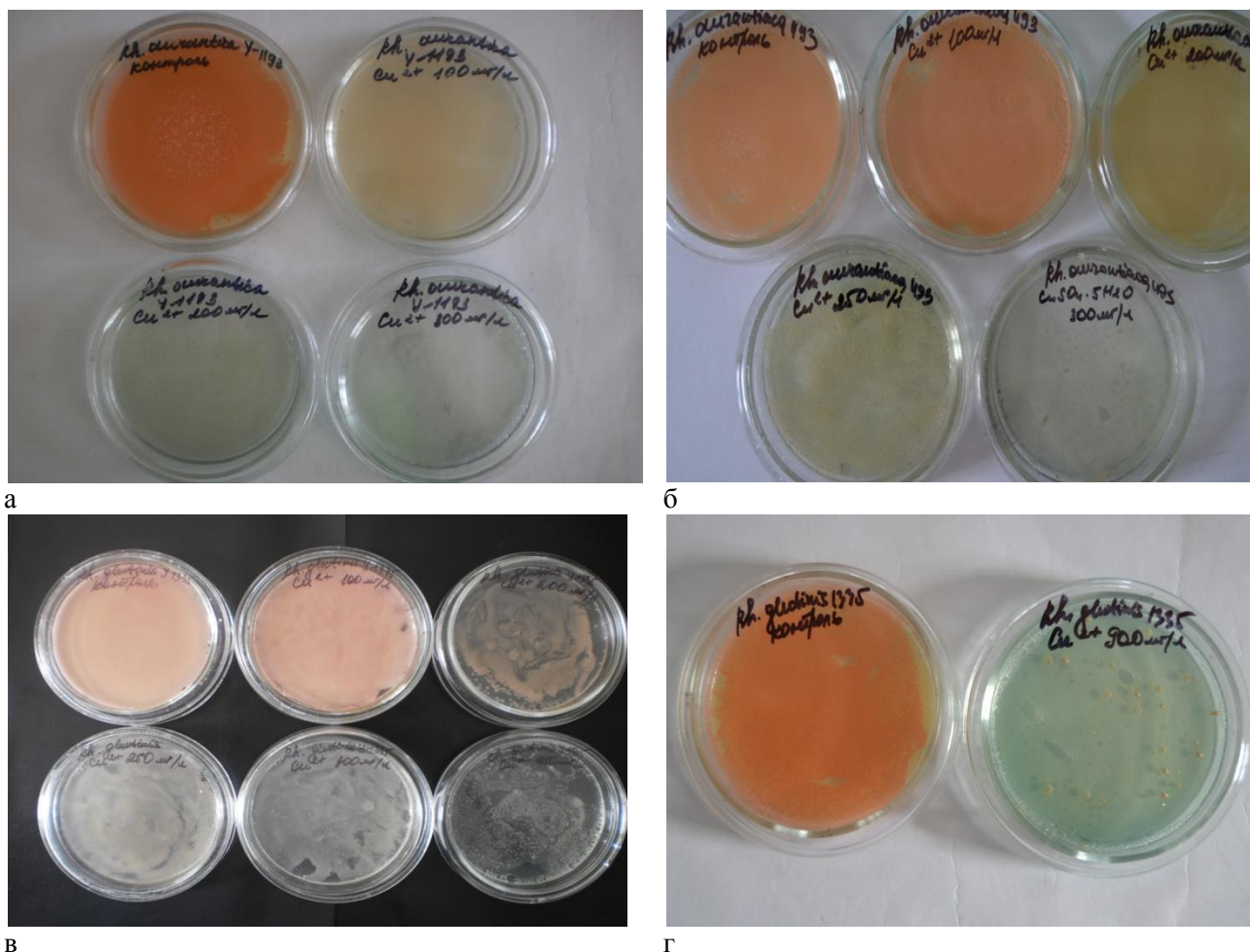


Рис. 1 Вплив аніонів солей міді на синтез пігменту в дріжджів (3 доба культивування): а – вплив  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (100, 200 та 300 мг/л) на *Rh. aurantiaca* 1193; б – вплив  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (100, 200, 250 та 300 мг/л) на *Rh. aurantiaca* 1193; в – вплив  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (100, 200, 250, 300 та 450 мг/л) на *Rh. glutinis* 1335; г – вплив  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (900 мг/л) на *Rh. glutinis* 1335.

Таблиця 1 – Вплив аніонів солей цинку на синтез пігменту *Rh. aurantiaca* 1193

Сіль	Концентрація $\text{Zn}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	3 доба культивування	
		Ріст*	Пігмент**
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	50	+++	±
	100	+	-
	150	+	-
	200	-	-
$\text{ZnCl}_2$	50	++++	±
	100	++	±
	200	+	-
	250	+	-
	300	-	-
$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50	+++	±
	100	+++	-
	200	+	-
	300	-	-

Примітка тут та далі: \*ріст: ++++ – суцільний, +++ – добрий, ++ – помірний, + – слабкий, - – відсутній; \*\*пігментоутворення: ++++ – інтенсивне, +++ – добре, ++ – помірне, + – слабе, - – відсутнє, ± – наявність пігментних та безпігментних колоній.

Із підвищенням концентрацій аніонів цинку в середовищі зростала різниця в інтенсивності пігментоутворення між контролем та дослідом (dE) у *Rh. aurantiaca* 1193 (табл. 3).

Дослідження показали, що для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193 серед солей цинку найбільш токсичним виявився сульфат цинку (при концентрації 100 мг/л іонів цинку спостерігався слабкий ріст безбарвних колоній), dE складала 20,8 одиниці. При тій же концентрації ацетату цинку був відмічений добрий ріст безпігментних колоній (dE дорівнювала 20,3 одиниці).

Хлорид цинку виявився у 2 рази менш токсичним для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193 у порівнянні з іншими аніонами (присутність його в середовищі починала інгібувати синтез пігменту при концентрації 200 мг/л  $Zn^{2+}$ ), dE становила 18,8 одиниці.

Таблиця 2 – Вплив аніонів солей цинку на синтез пігменту *Rh. glutinis* 1335

Сіль	Концентрація $Zn^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	3 доба культивування	
		Ріст	Пігмент
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	50	++++	±
	100	+++	±
	150	+	±
	200	+	-
	400	+	-
	500	-	-
$ZnCl_2$	200	++++	++++
	400	+++	±
	600	+	-
	700	-	-
$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$	100	+++	±
	400	+++	±
	500	++	-
	700	++	-
	900	+	-
	1100	-	-

Для дріжджів *Rh. glutinis* 1335  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  виявився також більш токсичним для синтезу каротиноїдів, ніж хлорид та ацетат цинку (у 3 і 2,5 рази відповідно). Пігментоутворення блокувалося при концентраціях 200, 600 і 500 мг/л сульфату, хлориду та ацетату цинку відповідно.

Таблиця 3 – Оцінка інтенсивності кольорів пігментів на концентраційний ряд аніонів солей цинку в дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193

Сіль	Концентрація $Zn^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	3 доба культивування			
		L	a	b	dE
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	Контроль	38	25	34	-
	50	53	10	28	17,0±0,7
	100	51	3	40	20,8±0,5
	150	51	4	39	20,0±0,2
$ZnCl_2$	50	50	8	25	15,3±0,6
	100	52	9	28	16,6±0,4
	200	51	5	35	18,8±0,9
	250	49	2	39	20,1±0,7
$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$	50	53	14	38	16,6±0,8
	100	53	6	39	20,3±1,0
	200	49	4	44	19,7±0,5

Примітка: L, a, b – показники каналів кольорової моделі CIE Lab; dE – різниця в інтенсивності кольору між контролем і дослідом, розрахована за допомогою комп'ютерної програми CIEDE 2000.

При 100 мг/л хлориду міді спостерігався помірний ріст безпігментних колоній *Rh. aurantiaca* 1193, проте при тій же концентрації сульфату міді був відмічений суцільний ріст рожевих колоній. Синтез пігменту в *Rh. aurantiaca* 1193 інгібувався при концентрації 200 мг/л  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

Дуже стійкими дріжджі *Rh. glutinis* 1335 виявилися відносно до сульфату міді. Каротиноутворення блокувалося при концентрації 1200 мг/л  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Хлорид міді був менш токсичним у 4,8 разів (синтез пігменту блокувався в присутності в середовищі 250 мг/л  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Отже, дріжджі *Rh. glutinis* 1335 виявилися набагато стійкішими відносно всіх аніонів цинку та міді, ніж *Rh. aurantiaca* 1193. Можливо, це пов'язано з тим, що дріжджі *Rh. glutinis* синтезують більш широкий спектр каротиноїдів у порівнянні з *Rh. aurantiaca*, які стають «пастками» потоку вільних радикалів при ураженні клітини ВМ. Таким чином, втрата здатності до синтезу пігментів у дріжджів спонукає нас продовжувати дослідження з метою подальшого застосування пігментосинтезувальних дріжджів у біоіндикаційних дослідженнях.

### ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що втрата здатності до утворення пігменту та поява безпігментних колоній у дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193 і *Rh. glutinis* 1335 спостерігалася при концентраціях на 14,3-58,4 % нижче рівня тих концентрацій ВМ, за яких відбувалося повне блокування росту дріжджових клітин.
2. Сульфат цинку виявився більш токсичним, ніж сульфат міді як для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193, так і для *Rh. glutinis* 1335. Проте хлорид цинку, навпаки, проявив менш токсичну дію у порівнянні з хлоридом міді на обидва штами дріжджів. Хлорид цинку виявився в 2 рази менш токсичним для дріжджів *Rh. aurantiaca* 1193 у порівнянні з іншими аніонами (присутність його у середовищі починала інгібувати синтез пігменту при концентрації 200 мг/л  $\text{Zn}^{2+}$ ), для *Rh. glutinis* 1335  $\text{ZnCl}_2$  також проявив найменш токсичну дію (пігментоутворення блокувалося тільки при концентрації 600 мг/л іонів цинку).
3. Дріжджі *Rh. glutinis* 1335 виявилися більш стійкими відносно всіх аніонів солей цинку та міді в порівнянні з дріжджами *Rh. aurantiaca* 1193.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Лужников Е.А. Клиническая токсикология / Е.А. Лужников. – М. : Медицина, 1999. – 416 с.
2. Рильський О.Ф. Наукове обґрунтування прокаріотичної біоіндикації забруднення важкими металами природного середовища : дис.... доктора біологічних наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / О.Ф. Рильський. – К., 2011. – 40 с.
3. Рильський О.Ф. Пігментосинтезувальна активність дріжджів *Rhodotorula aurantiaca* 1193 в умовах «металевого стресу» / О.Ф. Рильський, К.С. Крупей // Вісник Запорізького національного університету : зб. наук. праць. Біологічні науки. – Запоріжжя: ЗНУ, 2013. – № 3. – С. 151-155.
4. Крупей К.С. Вплив іонів  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  та  $\text{Cr}^{6+}$  на каротиносинтезувальну здатність дріжджів [Електронне наукове видання] / К.С. Крупей, О.Ф. Рильський, С.А. Цимбалістий // Актуальні проблеми біології, екології та хімії. – Запоріжжя : ЗНУ. – 2014. – Т. 7. – № 1. – С. 23-32. – Режим доступу: [http://sites.znu.edu.ua/bio-eco-chem-sci/issues/index.php?action=url/view&url\\_id=6666](http://sites.znu.edu.ua/bio-eco-chem-sci/issues/index.php?action=url/view&url_id=6666).
5. Стандартизація приготування мікробних суспензій : Інформаційний лист про нововведення в системі охорони здоров'я № 163-2006. – К. : Укрмедпатентінформ, 2006. – 5 с. – (Нормативний документ. МОЗ України; Український центр наукової медичної інформації та патентно-ліцензійної роботи. Інформаційний лист).
6. Патент на корисну модель № 49812 Україна, МПК (2009), С12Q 1/00, С12M 1/00, С12M 1/34. Спосіб визначення інтенсивності пігментоутворення у бактерій / Рильський О.Ф., Домбровський К.О., Гороховський Є.Ю., Жиленко А.В.; заявник і патентовласник ЗНУ.

– № u200912311; заявл. 30.11.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9, 2010 р.

7. Каротинсинтезирующие дрожжи [Квасников Е.И., Васкивнюк В.Г., Суденко В.И., Гринберг Т.А.]. – К. : Наукова думка, 1980. – 171 с.
8. Joshi V K. Microbial Pigments / Joshi V K, Devender Attri, Anju Bala [et al.] // Indian Journal of Biotechnology. – 2003. – Vol. 2. – pp. 362-369.
9. Смирнова Г.Ф. Распространение бактерий, устойчивых к кислородсодержащим анионам-ксенобиотикам / Г.Ф. Смирнова // Мікробіологічний журнал. – 2005. – Т. 67, № 5. – С. 11-18.

## REFERENCES

1. Luzhnikov E.A. Klinicheskaja toksikologija / E.A. Luzhnikov. – М. : Medicina, 1999. – 416 s.
2. Ril's'kij O.F. Naukove obruntuvannja prokariotichnoï bioindikacii zabrudnennja vazhkimi metalami prirodnogo sere dovishha : dis.... doktora biologichnih nauk : spec. 03.00.16 «Ekologija» / O.F. Ril's'kij. – К., 2011. – 40 s.
3. Ril's'kij O.F. Pigmentosintezuval'na aktivnist' drizhdzhiv Rhodotorula aurantiaca 1193 v umovah «metalevogo stresu» / O.F. Ril's'kij, K.S. Krupej // Visnik Zaporiz'kogo nacional'nogo universitetu : zb. nauk. prac'. Biologichni nauki. – Zaporizhzhja: ZNU, 2013. – № 3. – S. 151-155.
4. Krupej K.S. Vpliv ioniv Ni<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> ta Cr<sup>6+</sup> na karotinosintezuval'nu zdatnist' drizhdzhiv [Elektronne naukove vidannja] / K.S. Krupej, O.F. Ril's'kij, S.A. Cimbalistij // Aktual'ni problemi biologii, ekologii ta himii. – Zaporizhzhja : ZNU. – 2014. – Т. 7. – № 1. – S. 23-32. – Rezhim dostupu: [http://sites.znu.edu.ua/bio-eco-chem-sci/issues/index.php?action=url/view&url\\_id=6666](http://sites.znu.edu.ua/bio-eco-chem-sci/issues/index.php?action=url/view&url_id=6666).
5. Standartizacija prigotuvannja mikrobnih suspenzij : Informacijnij list pro novovvedennja v sistemi ohoroni zdorov'ja № 163-2006. – К. : Ukrmedpatentinform, 2006. – 5 с. – (Normativnij dokument. MOZ Ukraïni; Ukraïns'kij centr nauko voï medic hnoï informacii ta patentno-licenzijnoï roboti. Informacijnij list).
6. Patent na korisnu model' № 49812 Ukraïna, MPK (2009), C12Q 1/00, C12M 1/00, C12M 1/34. Sposib viznachennja intensivnosti pigmentoutvoren nja u bakterij / Ril's'kij O.F., Dombrovs'kij K.O., Gorohovs'kij Ć.Ju., Zhilenko A.V.; zajavnik i patentovlasnik ZNU. – № u200912311; zajavl. 30.11.2009; opubl. 11.05.2010, Bjul. № 9, 2010 r.
7. Karotinsintezirujushhie drozhzhi [Kvasnikov E.I., Vaskivnjuk V.G., Sudenko V.I., Grinberg T.A.]. – К. : Naukova dumka, 1980. – 171 s.
8. Joshi V K. Microbial Pigments / Joshi V K, Devender Attri, Anju Bala [et al.] // Indian Journal of Biotechnology. – 2003. – Vol. 2. – pp. 362-369.
9. Smirnova G.F. Rasprostranenie bakterij, ustojchivyh k kislorodsoderzhashhim anionam-ksenobiotikam / G.F. Smirnova // Mikrobiologichnij zhurnal. – 2005. – Т. 67, № 5. – S. 11 -18.