



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-2-206-216

УДК 574.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАЗНЫХ ТЕСТ-ФУНКЦИЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* К СОЛЯМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

О.Ф. Вятчина, Г.О. Жданова, Д.И. Стом

Иркутский государственный университет
ул. Карла Маркса, 1, Иркутск, Россия, 664003

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* служат удобной эукариотической моделью для определения токсичности различных загрязнителей, в том числе, тяжелых металлов. Большинство биотестов с применением дрожжей основаны на определении цитотоксического или генотоксического действия тяжелых металлов. Эти методы отличаются трудоемкостью, требуют специального лабораторного оснащения. Для разработки новой экспрессной тест-реакции использовали способность пекарских дрожжей *S. cerevisiae*, как дрожжей верхового брожения, образовывать пену на поверхности сбраживаемой жидкости. Для проведения биотеста применяли коммерческий препарат сухих дрожжей «Саф-Момент» (ООО «Саф-Нева», Россия), в качестве сбраживаемого субстрата — 2%-ный раствор глюкозы. Токсическое действие солей тяжелых металлов определяли по подавлению пенообразования в суспензии дрожжей при инкубировании в течение 15 мин. Параллельно оценивали влияние солей тяжелых металлов на ростовую функцию и выживаемость дрожжей. Пенообразующая активность дрожжей была более чувствительной к исследуемым токсикантам по сравнению с ростовой функцией дрожжей и их выживаемостью. Хлорид ртути оказывал токсическое действие на пенообразование в дрожжевой суспензии в концентрации 0,0001, сульфат меди, хлорид кадмия, хлорид кобальта — 0,001, сульфат свинца — 0,01, сульфат железа — 0,1, сульфат цинка — 1 г/л. Построенные ряды токсичности солей тяжелых металлов по отношению к исследуемым тест-функциям *S. cerevisiae* в основном совпадали. Преимуществами тест-реакции по подавлению пенообразующей активности дрожжей являются техническая простота, экспрессность (время тест-отклика составляет 15 мин), минимальные материальные затраты, отсутствие необходимости специального микробиологического оборудования, питательных сред, поддержания культуры в жизнеспособном состоянии. Предложенная реакция может быть использована в качестве экспрессного биотеста для оценки токсичности сред, загрязненных загрязнителями этого класса.

Ключевые слова: биотестирование, соли тяжелых металлов, *Saccharomyces cerevisiae*, пенообразующая активность дрожжей, ростовая функция, выживаемость

Введение

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами возрастает. Тяжелые металлы могут нарушать и биотический круговорот веществ, и представлять опасность для здоровья человека [1–4]. Для оценки токсичности солей тяжелых металлов широко используют различные эукариотические микроорганизмы [5]. Особенно перспективным объектом для биотестирования служат дрожжи *S. cerevisiae*, которые являются одноклеточными микроорганизмами, обладаю-

щими высокой скоростью роста. В то же время, у дрожжей, как у эукариотических организмов, высокая степень гомологии клеточной организации и обмена веществ с высшими эукариотами [6]. Применяют дрожжи и для биотестирования тяжелых металлов. Большинство биотестов основаны на определении цитотоксического и генотоксического эффектов, на подавлении метаболической активности дрожжей [7–10]. Эти приемы биотестирования достаточно трудоемки, требуют специального оборудования и особых условий. Известен биотест с использованием сухих дрожжей *S. cerevisiae*, в котором в качестве тест-отклика используется изменение удельной электропроводности суспензии дрожжей, возникающей в результате ингибирования процессов ферментации в присутствии токсикантов, в том числе, солей тяжелых металлов [11].

Ранее авторы предлагали применять тест-реакцию, основанную на способности пекарских дрожжей *S. cerevisiae*, как дрожжей верхового брожения, образовывать пену на поверхности сбраживаемой жидкости [12]. Данная работа была предпринята для того, чтобы сравнить чувствительность разных тест-функций дрожжей *S. cerevisiae* при тестировании солей тяжелых металлов.

Материалы и методы

В качестве тест-объекта использовали препарат сухих пекарских дрожжей «Саф-Момент» (ООО «Саф-Нева», Россия) и культуру *S. cerevisiae*, выделенную авторами из этого препарата. Для проведения исследований брали следующие соли тяжелых металлов (хч): HgCl_2 , CdCl_2 , CoCl_2 , CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, ZnSO_4 .

При оценке токсичности исследуемых солей тяжелых металлов определяли их влияние на рост *S. cerevisiae*. Для культивирования дрожжей использовали среду *YEFD* следующего состава (г/л): глюкоза — 20,0; пептон — 10,04 дрожжевой автолизат — 5,0.

В колбах объемом 250 мл готовили по 50 мл жидкой среды *YEFD* и добавляли в нее соли тяжелых металлов так, чтобы их конечная концентрация в среде составляла: 0,0001; 0,001; 0,01; 1,0 и 10,0 г/л. В качестве контроля брали среду *YEFD* без добавления солей тяжелых металлов. Среды засеивали суспензией *S. cerevisiae* в количестве 1% (от общего объема) и инкубировали в стационарных условиях при температуре +30 °С. Количество жизнеспособных клеток дрожжей в средах определяли через 24 ч. Влияние солей тяжелых металлов на выживаемость дрожжей оценивали после 3-часового экспонирования дрожжевых суспензий с добавлением 0,0001–10 г/л тестируемых токсикантов [13]. Количественный учет жизнеспособных клеток дрожжей осуществляли по методу Коха. При исследовании действия солей тяжелых металлов на длительность lag-фазы *S. cerevisiae* измеряли оптическую плотность культуральной жидкости через каждые 30 мин в течение 12 ч.

Воздействие исследуемых солей тяжелых металлов на пенообразующую активность *S. cerevisiae* определяли по авторскому экспресс приему [12]. Для этого в 20 мл раствора исследуемой соли тяжелого металла вносили 1,36 г сухих дрожжей, тщательно перемешивали и добавляли 0,4 г глюкозы. Приготовленную реакционную смесь разливали по 3 мл в мерные пробирки объемом 10 мл каждая, ин-

кубировали в течение 15 мин при температуре +20°C, затем определяли объем образовавшейся пены. Контролем служила суспензия дрожжей с глюкозой без внесения солей тяжелых металлов.

Все эксперименты проводили не менее чем в 5 независимых опытах с 3—6 параллельными измерениями в каждом. Для статистической обработки полученных данных использовали пакет программ Microsoft Excel. Выводы сделаны с вероятностью безошибочного прогноза $P \geq 0,95$. Достоверность различия результатов определяли с помощью критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Изучение влияния солей тяжелых металлов на течение лаг-фазы *S. cerevisiae* показало следующее. В присутствии 0,01 г/л хлорида кадмия ее длительность увеличивалась на 3 ч, 0,1 г/л хлорида кобальта — на 4 ч, 1 г/л сульфата цинка — на 2 ч по сравнению с контролем. Хлорид ртути при содержании 0,0001—0,01 г/л, сульфат цинка — 0,0001—0,1 г/л не оказывали влияния на продолжительность лаг-фазы. Повышение концентрации хлорида ртути до 0,1 г/л, а сульфата меди до 1 г/л приводило к подавлению роста культуры. Сульфат железа при содержании 0,0001—1,0 г/л не влиял на длительность лаг-фазы (рис. 1).

При определении количества жизнеспособных клеток дрожжей после 24-часового культивирования в средах *YPD* с добавлением солей тяжелых металлов получили следующее. Хлорид ртути и сульфат меди начинали подавлять рост при содержании 0,001 г/л, сульфат железа — 0,01 г/л, хлорид кадмия и хлорид кобальта — 0,1 г/л (рис. 2).

Следует отметить, что в присутствии 0,0001 г/л сульфата железа и хлорида кобальта отмечали незначительное стимулирующее воздействие на рост *S. cerevisiae*. Ацетат свинца в диапазоне концентраций до 1 г/л не подавлял роста культуры дрожжей, при содержании 0,0001; 0,001 и 0,01 г/л стимулировал их рост (см. рис. 2).

После 3-часового экспонирования дрожжей в растворах тестируемых солей тяжелых металлов достоверное снижение количества жизнеспособных клеток отмечали в присутствии 0,01 г/л хлорида ртути, 0,1 г/л сульфата меди и хлорида кадмия, 1 г/л ацетата свинца и хлорида кобальта. При этом численность дрожжей была ниже, чем в контроле в 2,7; 2,2; 2,8; 9,7 и 8,8 раз, соответственно. В растворах сульфата железа с концентрацией 0,0001—10 г/л количество клеток достоверно не отличалось от контроля (рис. 3).

Наиболее чувствительной к солям тяжелых металлов оказалась пенообразующая активность *S. cerevisiae*. Хлорид ртути подавлял пенообразование в дрожжевой суспензии в концентрации 0,0001 г/л, при этом объем образовавшейся пены был на 56,3% меньше, чем в контроле (рис. 4).

Сульфат меди, хлорид кадмия и хлорид кобальта оказывали токсическое действие на процесс пенообразования при содержании 0,001 г/л, снижая его интенсивность на 41,5; 25,0 и 21,0% по сравнению с контролем, соответственно (см. рис. 4).

Токсический эффект ацетата свинца отмечали при содержании 0,01 г/л, сульфата железа — 0,1 г/л, сульфата цинка — 1 г/л. При этом объем пены был на 34,6; 20,7 и 25,0% меньше, чем в контроле, соответственно (см. рис. 4).

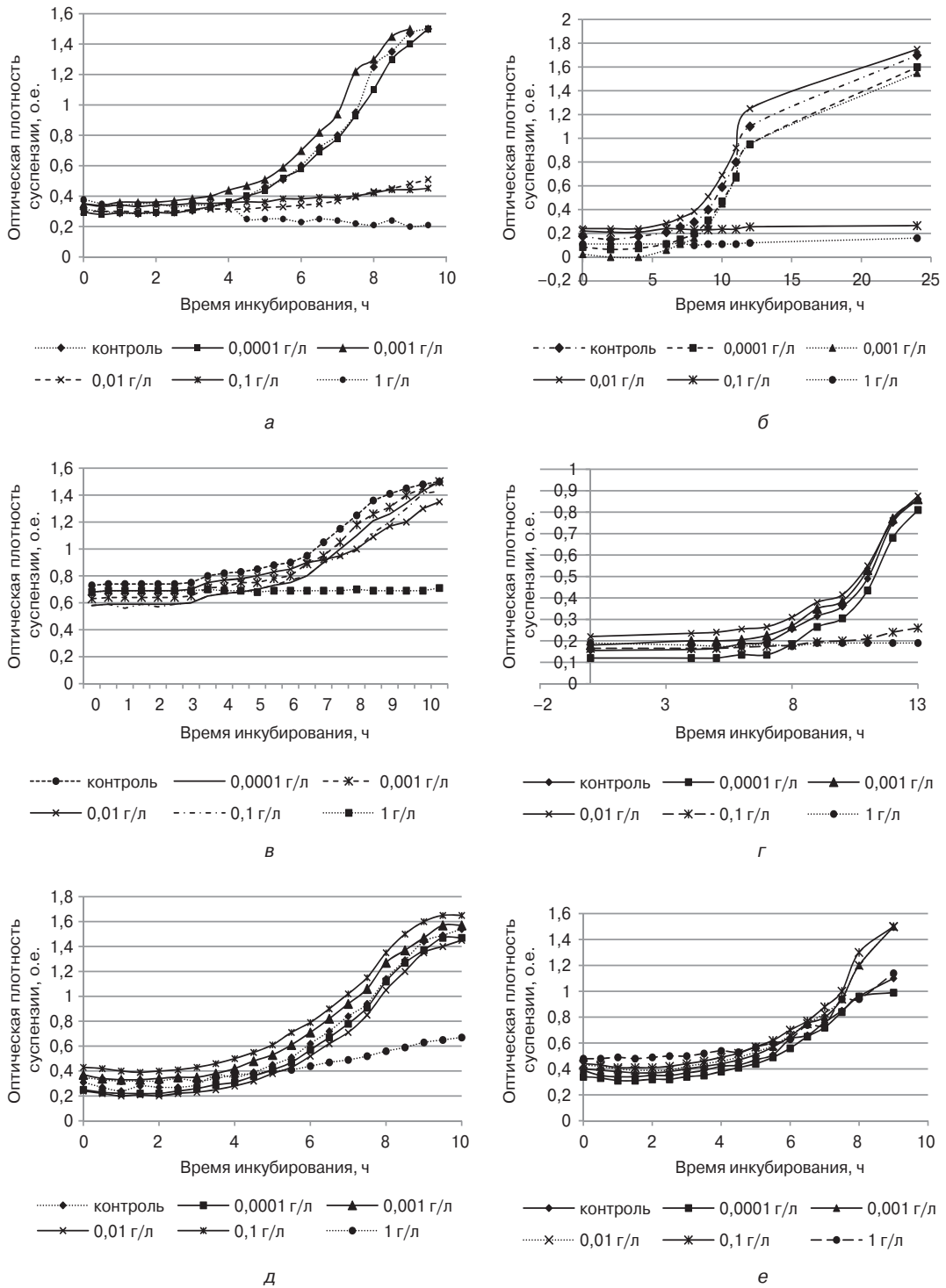


Рис. 1. Влияние CdCl₂ (А) и HgCl₂ (Б), CuSO₄ (С), CoCl₂ (D), ZnSO₄ (E) и Fe₂(SO₄)₃ (F) на продолжительность лаг-фазы роста дрожжей *S. cerevisiae*
(**Fig. 1.** Effect of CdCl₂ (A) and HgCl₂ (B), CuSO₄ (C), CoCl₂ (D), ZnSO₄ (E), and Fe₂(SO₄)₃ (F) on the duration of the growth phase of yeast *S. cerevisiae*)

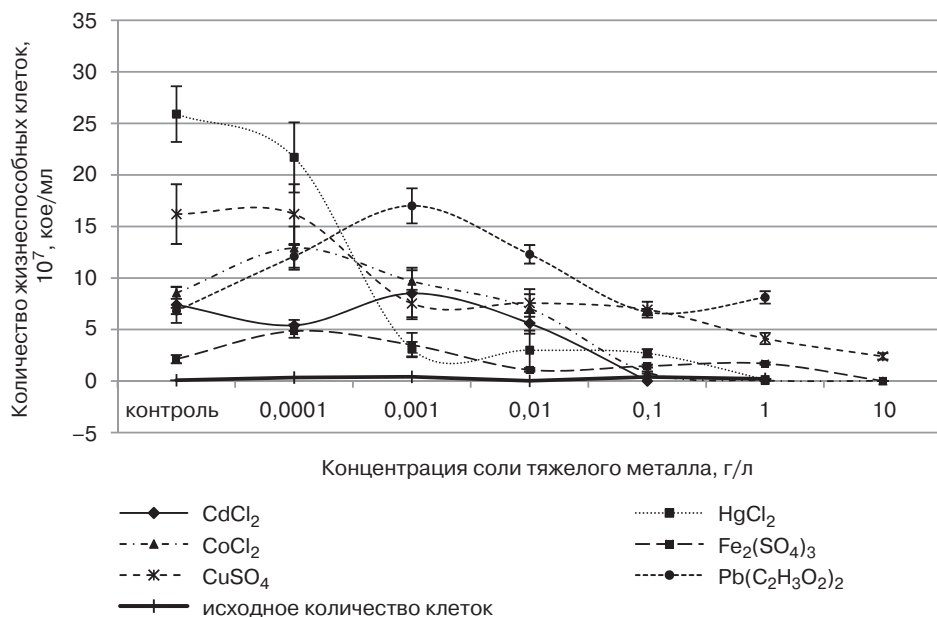


Рис. 2. Влияние солей тяжелых металлов на рост культуры *S. cerevisiae* (Fig. 2. Effect of heavy metal salts on the growth of *S. cerevisiae*)

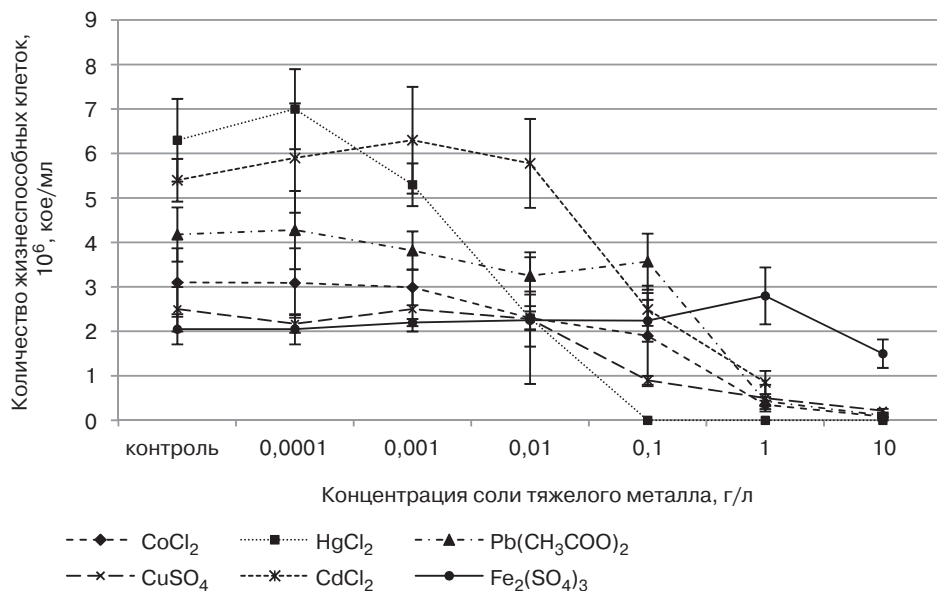


Рис. 3. Влияние солей тяжелых металлов на выживаемость *S. cerevisiae* (Fig. 3. Effect of heavy metal salts on the survival of *S. cerevisiae*)

Проведенные исследования показали, что существует чувствительность к солям тяжелых металлов пенообразующей активности *S. cerevisiae* выше, их ростовой функции и выживаемости. По уменьшению чувствительности к используемым солям тяжелых металлов исследуемые тест-функции дрожжей располагаются в

следующем порядке: пенообразующая активность > рост > выживаемость ≥ продолжительность лаг-фазы. Вместе с этим, ряды токсичности солей тяжелых металлов во многом совпадают:

— пенообразующая активность — $\text{HgCl}_2 > \text{CuSO}_4 > \text{CdCl}_2 > \text{CoCl}_2 > \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{ZnSO}_4$;
— рост — $\text{HgCl}_2 > \text{CuSO}_4 > \text{CdCl}_2 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 > \text{CoCl}_2 > \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$;
— выживаемость — $\text{HgCl}_2 > \text{CuSO}_4 > \text{CdCl}_2 > \text{CoCl}_2, \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$;
— продолжительность лаг-фазы — $\text{CdCl}_2 > \text{HgCl}_2 > \text{CoCl}_2 > \text{CuSO}_4 > \text{ZnSO}_4 > \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

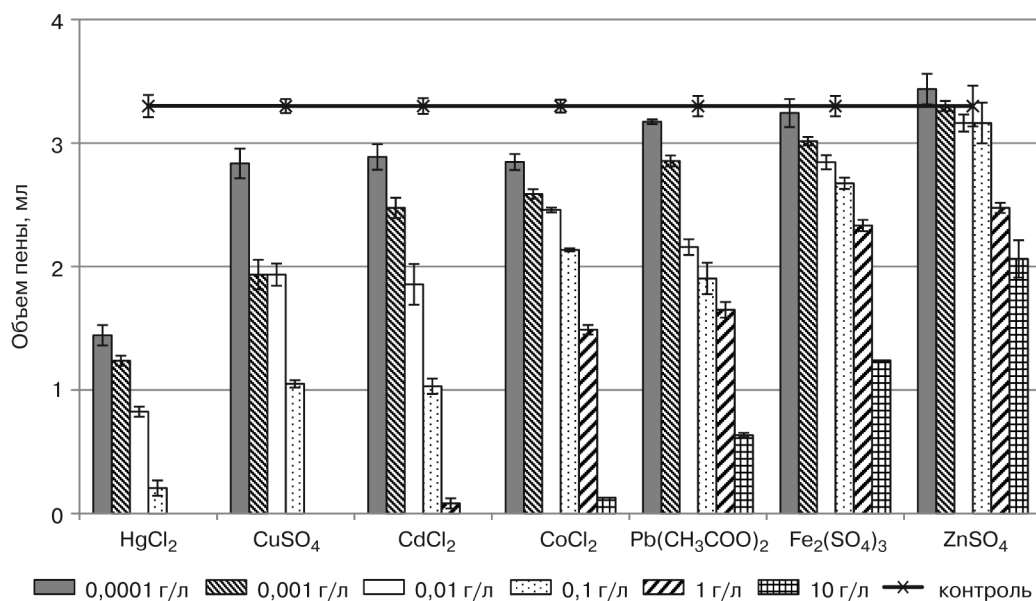


Рис. 4. Влияние солей тяжелых металлов на пенообразование в суспензии дрожжей с глюкозой
(**Fig. 4.** Effect of heavy metal salts on foaming in a suspension of yeast with glucose)

Как видно из приведенных данных, повышенной токсичностью по отношению к пекарским дрожжам *S. cerevisiae* обладают хлорид ртути, сульфат меди, хлорид кадмия. Близкие результаты по влиянию этих солей на жизнеспособность дрожжей показаны и в работах других авторов [7; 14–18].

Биотест по определению пенообразующей активности *S. cerevisiae* наряду с более высокой чувствительностью отличается меньшими временными и материальными затратами. Время тест-отклика составляет 15 мин. Метод не требует специального микробиологического оборудования и питательных сред. Нет необходимости в поддержании культуры в жизнеспособном состоянии, так как для проведения тест-реакции используются коммерческие препараты сухих дрожжей.

Заключение

Таким образом, тест-реакция по подавлению пенообразующей активности пекарских дрожжей *S. cerevisiae* более чувствительна к солям тяжелых металлов

по сравнению с ростовой функцией дрожжей и их выживаемостью. Она выгодно отличается технической простотой и может быть использована в качестве экспрессного биотеста для оценки токсичности сред, загрязненных поллютантами этого класса.

Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ р_а № 16-48-030887, № 16-48-030881.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Sharma B., Singh S., Siddiq N.J. Biomedical Implications of Heavy Metals Induced Imbalances in Redox Systems // BioMed Research International. 2014. P. 1–26. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/640754>
- [2] Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.J., Sutton D.J. Heavy Metals Toxicity and the Environment // Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. 2012. Vol. 101. P. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- [3] Vries W., Groenenberg J.E., Lofts S., Tipping E., Posch M. Critical Loads of Heavy Metals for Soils // Heavy Metals in Soils. 2012. Vol. 22. P. 211–237. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7_8
- [4] Филенко О.Ф., Дмитриева А.Г., Исакова Е.Ф., Ипатова В.И., Прохоцкая В.Ю., Самойлова Т.А., и др. Механизмы реагирования водных организмов на воздействие токсичных веществ: в книге: Антропогенные влияния на водные экосистемы (сб. ст.) // М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 70–93.
- [5] Gutierrez J.C., Amaro F., Martin-Gonzalez A. Heavy metal whole-cell biosensors using eukaryotic microorganisms: an updated critical review // Frontiers in Microbiology. 2015. Vol. 6. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00048
- [6] Ludwig J., Schmitt M., Lichtenberg-Fraté H. *Saccharomyces cerevisiae* as Biosensor for Cyto- and Genotoxic Activity // Atmospheric and Biological Environmental Monitoring. 2009. P. 251–259. DOI: 10.1007/978-1-4020-9674-7_17
- [7] Hosiner D., Gerber S., Lichtenberg-Fraté H., Glaser W., Schiller C., Klipp E. Impact of Acute Metal Stress in *Saccharomyces cerevisiae* // PLoS One. 2014; 9(1): e83330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083330>
- [8] Bao S., Lu Q., Fang T., Dai H., Zhanga C. Assessment of the Toxicity of CuO Nanoparticles by Using *Saccharomyces cerevisiae* Mutants with Multiple Genes Deleted // Appl. Environ. Microbiol. 2015. Vol. 81. No. 23. P. 8098–8107. DOI: 10.1128/AEM.02035-15
- [9] Nakamura H., Suzuki M. New concept for a toxicity assay based on multiple indexes from the wave shape of damped metabolic oscillation induced in living yeast cells (part II): application to analytical toxicology // Anal Bioanal Chem. 2007; 389(4): 1233–1241. PubMed PMID: 17717646. DOI: 10.1007/s00216-007-1513-7
- [10] Starodub N.F., Guidotti M., Shavanova K.E., Taran M.V., Son'ko R.V. Ways for the Control of the Total Toxicity of Environmental Objects and their Instrumental Providing // Biosensore & Bioelectronics. 2015. 6:3, doi.org/10.4172/2155-6210.1000180
- [11] Dolezalova J., Rumlova L. A new biological test of water toxicity-yeast *Saccharomyces cerevisiae* conductometric test // Environ. Toxicol Pharmacol. 2014. 38(3): 977–81. <http://doi.org/10.1016/j.etap.2014.10.009>
- [12] Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И. Экспрессный прием биологического анализа качества вод с помощью сахарометов // Естественные науки. 2009. № 4. С. 133–136.
- [13] Павленко В.В., Демидова Л.А., Трубачева Л.Я., и др. Метод оценки токсичности и мутагенности сточных вод и химических соединений // Методы биотестирования вод. Черно-голова, 1988. С. 73–77.

- [14] *Калюжин В.А., Калюжина О.В.* Влияние концентрированных растворов солей тяжелых металлов на физиологические и кинетические показатели микроорганизмов // Вестн. Томск. гос. ун-та. 2007. № 298. С. 218–222.
- [15] *Балаева-Тихомирова О.М., Новикова А.С., Кублицкая А.Д.* Влияние солей тяжелых металлов и экстракта, обладающего антиоксидантным действием, на показатели белкового обмена дрожжевых клеток // Веснік ВДУ. 2016. № 3(92). С. 16–25.
- [16] *Фетисова А.В., Иларионов С.А.* Содержание свободных аминокислот в культуральной среде дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, растущих при различных концентрациях меди // Приволжский научный вестник. 2013. № 11 (27). С. 47–50.
- [17] *Muthukumar K., Nachiappan V.* Cadmium-induced oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* // Indian J. Biochem Biophys. 2010. 47(6): 383–7.
- [18] *Oliveira R.P., Basso L.C., Junior A.P., Penna T.C., Del Borghi M., Converti A.* Response of *Saccharomyces cerevisiae* to cadmium and nickel stress: the use of the sugar cane vinasse as a potential mitigator // Biol Trace Elem Res. 2012 Jan; 145(1): 71–80. DOI: 10.1007/s12011-011-9156-0

© Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 30.01.2017

Дата принятия к печати: 30.03.2017

Для цитирования:

Вятчина О.Ф., Жданова Г.О., Стом Д.И. Сравнительная оценка чувствительности разных тест-функций *Saccharomyces Cerevisiae* к солям тяжелых металлов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 2. С. 206–216.

Сведения об авторах:

Вятчина Ольга Федоровна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры микробиологии, Биолого-почвенный факультет, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет». E-mail: olgairk3@rambler.ru

Жданова Галина Олеговна — младший научный сотрудник лаборатории водной токсикологии, Научно-исследовательский институт биологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет». E-mail: zhdanova86@yandex.ru

Стом Дэвард Иосифович — доктор биологических наук, профессор, зав. лабораторией водной токсикологии Научно-исследовательского института биологии, профессор кафедры зоологии позвоночных и экологии Биолого-почвенного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»; профессор кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения Иркутского национального исследовательского технического университета; главный научный сотрудник Байкальского музея Иркутского Научного Центра Сибирского Отделения РАН. E-mail: stomd@mail.ru

COMPARATIVE EVALUATION OF SENSITIVITY OF DIFFERENT TEST FUNCTIONS OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* TO SALTS OF HEAVY METALS

O.F. Vyatchina, G.O. Zhdanova, D.I. Stom

Irkutsk State University
Karl Marx str., 1, Irkutsk, Russia, 664003

The yeast *Saccharomyces cerevisiae* are convenient eukaryotic model to determining the toxicity of various pollutants, including heavy metals. Most of biotests with the use yeast are based on the determination of the cytotoxic or genotoxic effect of heavy metals. These methods are time consuming, require special laboratory equipment. For develop of new rapid test-reaction used the ability of baker's yeast *S. cerevisiae*, as a yeast of fermentation, was used to form a foam on the surface of the fermentation liquid. To conduct the bioassay used a commercial preparation of dry yeast "SAF-Moment" (LLC "SAF-Neva", Russian Federation), as a fermentable substrate — 2% glucose solution. The toxic effect of heavy metal salts was determined by the suppression of foaming in a yeast suspension after incubation for 15 min. In parallelevaluated the influence of salts of heavy metals on the growth and survival of yeast. Foaming activity of theyeast was more sensitive to the tested toxicants in comparison with the growth function of yeast and their survival. Mercury chloride exerted a toxic effect on the foaming in the yeast suspension in a concentration of 0,0001, sulfate of copper, chloride of cadmium, chloride of cobalt 0,001, sulfate of lead 0,01, sulfate of iron 0,1, sulfate of zinc 1 g/l. Built a series of toxicity of heavy metal salts with respect to the test functions of *S. cerevisiae* basically coincided. The advantages of the test reaction for suppressing the foaming activity of yeast are technical simplicity, express (a test of response is 15 min), minimal material costs, no need for special microbiological equipment, culture media, maintaining the culture in a viable condition. The proposed reaction can be used as a express bioassay to assess the toxicity of environments contaminated by the pollutants of this class.

Key words: biotesting, heavy metal salts, *Saccharomyces cerevisiae*, yeast foaming activity, growth function, survival

REFERENCES

- [1] Sharma B., Singh S., Siddiq N.J. Biomedical Implications of Heavy Metals Induced Imbalances in Redox Systems // *BioMed Research International*. 2014. P. 1–26. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/640754>
- [2] Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.J., Sutton D.J. Heavy Metals Toxicity and the Environment // *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. 2012. Vol. 101. P. 133–164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- [3] Vries W., Groenenberg J.E., Lofts S., Tipping E., Posch M. Critical Loads of Heavy Metals for Soils // *Heavy Metals in Soils*. 2012. Vol. 22. P. 211–237. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7_8
- [4] Filenko O.F., Dmitrieva A.G., Isakova E.F., Ipatova V.I., Prokhotskaya V.Yu., Samoylova T.A., et al. Mechanisms of the reaction of aquatic organisms to the action of toxic substances: in the book: *Anthropogenic Influences on Water Ecosystems (Collection of Articles)*. M.: The scientific publications of the KMC, 2005. P. 70–93.
- [5] Gutierrez J.C., Amaro F., Martin-Gonzalez A. Heavy metal whole-cell biosensors using eukaryotic microorganisms: an updated critical review // *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. doi: 10.3389/fmicb.2015.00048
- [6] Ludwig J., Schmitt M., Lichtenberg-Fraté H. *Saccharomyces cerevisiae* as Biosensor for Cytotoxic and Genotoxic Activity // *Atmospheric and Biological Environmental Monitoring*. 2009. P. 251–259. DOI: 10.1007/978-1-4020-9674-7_17

- [7] Hosiner D., Gerber S., Lichtenberg-Frate H., Glaser W, Sch ller C., Klipp E. Impact of Acute Metal Stress in *Saccharomyces cerevisiae* // *PLoSOne*. 2014; 9(1): e83330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083330>
- [8] Bao S., Lu Q., Fang T., Dai H., Zhanga C. Assessment of the Toxicity of CuO Nanoparticles by Using *Saccharomyces cerevisiae* Mutants with Multiple Genes Deleted // *Appl. Environ. Microbiol.* 2015. Vol. 81. No. 23. P. 8098–8107. DOI: 10.1128/AEM.02035-15
- [9] Nakamura H., Suzuki M. New concept for a toxicity assay based on multiple indexes from the wave shape of damped metabolic oscillation induced in living yeast cells (part II): application to analytical toxicology // *Anal Bioanal Chem.* 2007; 389(4): 1233–1241. PubMed PMID: 17717646. DOI: 10.1007/s00216-007-1513-7
- [10] Starodub N.F., Guidotti M., Shavanova K.E., Taran M.V., Son'ko R.V. Ways for the Control of the Total Toxicity of Environmental Objects and their Instrumental Providing // *Biosensore & Bioelectronics.* 2015. 6:3, doi.org/10.4172/2155-6210.1000180
- [11] Dolezalova J., Rumlova L. A new biological test of water toxicity-yeast *Saccharomyces cerevisiae* conductometric test // *Environ. Toxicol Pharmacol.* 2014. 38(3): 977–81. <http://doi.org/10.1016/j.etap.2014.10.009>
- [12] Vyatchina O.F., Zhdanova G.O., Stom D.I. Express reception of biological analysis of water quality with the help of Saccromycetes // *Natural Sciences.* 2009. № 4. P. 133–136.
- [13] Pavlenko V.V., Demidova L.A., Trubacheva L.Ya., et al. A Method for Estimation of Toxicity and Mutagenicity of Wastewater and Chemical Compounds // *Methods for Biotesting Waters.* Chernogolovka, 1988. P. 73–77.
- [14] Kalyuzhin V.A., Kalyuzhina O.V. The influence of concentrated solutions of salts of heavy metals on the physiological and kinetic indices of microorganisms // *Vestn. Tomsk State University.* 2007. № 298. P. 218–222.
- [15] Balaeva-Tikhomirova O.M., Novikova A.S., Kublitskaya A.D. Effect of heavy metal salts and an extract with an antioxidant effect on the parameters of protein metabolism of yeast cells // *Journal VDU.* 2016. No. 3 (92). P. 16–25.
- [16] Fetisova A.V., Ilarionov S.A. The content of free amino acids in the culture medium of yeast *Saccharomyces cerevisiae* growing at different copper concentrations // *Privolzhsky scientific bulletin.* 2013. No. 11 (27). P. 47–50.
- [17] Muthukumar K., Nachiappan V. Cadmium-induced oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* // *Indian J. Biochem Biophys.* 2010. 47(6): 383–7.
- [18] Oliveira R.P., Basso L.C., Junior A.P., Penna T.C., Del Borghi M., Converti A. Response of *Saccharomyces cerevisiae* to cadmium and nickel stress: the use of the sugar cane vinasse as a potential mitigator // *Biol Trace Elem Res.* 2012 Jan; 145(1): 71–80. DOI: 10.1007/s12011-011-9156-0

Article history:

Received: 30.01.2017

Revised: 30.03.2017

For citation:

Vyatchina O.F., Zhdanova G.O., Stom D.I. (2017) Comparative evaluation of sensitivity of different test functions of *Saccharomyces Cerevisiae* to salts of heavy metals. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (2), 206–216.

Bio Note:

Vyatchina Olga Fedorovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Microbiology, Biology and Soil Faculty, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Irkutsk State University”. E-mail: olgairk3@rambler.ru

Zhdanova Galina Olegovna — Junior Researcher of the Laboratory of Water Toxicology, Scientific Research Institute of Biology, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Irkutsk State University”. E-mail: zhdanova86@yandex.ru

Stom Devard I. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Water Toxicology of the Scientific Research Institute of Biology, Professor of the Department of Zoology of Vertebrates and Ecology of the Biology and Soil Faculty, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Irkutsk State University”; Professor of the Department of Engineering Communications and Life Support Systems of the Irkutsk National Research Technical University; Chief scientist of the Baikal Museum of the Irkutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. E-mail: stomd@mail.ru