

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

СОРБЦИЯ БИОМЕТАЛЛОВ МИЦЕЛИЕМ ГРИБОВ ИЗ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ ЦИТРАТАМИ

М.П. Гулич¹, М.Ю. Антомонов¹, Н.Л. Емченко¹, Н.А. Бисько²,
О.В. Яценко¹, В.П. Ермоленко¹

¹ Институт гигиены и медицинской экологии им. А.М. Марзеева НАМН Украины, Киев, Украина

² Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина

РЕЗЮМЕ. Культивирование грибов на жидкой питательной среде представляет собой перспективный способ, позволяющий получать экологически чистое грибное сырье – источник биологически активных веществ, микронутриентов, в том числе эссенциальных микроэлементов. В работе проведено изучение возможности и особенностей сорбции мицелием высших грибов *Pleurotus ostreatus* (вешенка), *Ganoderma lucidum* (ганодерма люцидум), *Cordyceps militaris* (кордицепс военный) и *Cordyceps sinensis* (кордицепс китайский), а также биометаллов: цинка, меди, железа и германия из жидкой питательной среды, обогащенной их цитратами в сравнении с сульфатами. Выявлены и математически описаны закономерности этого процесса. Установлено, что сорбция этих элементов из цитратной питательной среды на 2–3 порядка выше, чем из сульфатной. Интенсивность ее растет с разведением питательной среды. Также с уменьшением концентрации металла в питательной среде растет и полнота сорбции их. Максимум сорбции достигается при концентрации в питательной среде цинка и железа, равной 0,2–0,5 мг/л; меди – 0,1–0,2 мг/л, германия – 0,5–0,7 мг/л. Интенсивность сорбции цинка уменьшается в ряду грибов *C.sinensis* > *C.militaris* > *P.ostreatus* > *G.lucidum*, меди – в ряду *G.lucidum* > *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*, железа – в ряду *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*, германия – в ряду *C.sinensis* > *C.militaris* > *G.lucidum* > *P.ostreatus*.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цитраты биометаллов, грибы, мицелий, закономерности сорбции.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время много внимания уделяется культивированию грибов на жидкой питательной среде как способу, позволяющему получать экологически чистое грибное сырье – источник биологически активных веществ, микронутриентов, в том числе эссенциальных микроэлементов. Данный способ широко используется для производства диетических добавок, функциональных пищевых продуктов и т.д. (Wasser et al., 2000; Бабицкая, Щерба, 2004; Савчук, Шевчук, 2004; Гулич та інші, 2013). При этом известно, что более быстро и выгодно выращивается подобным образом грибной мицелий, который не уступает по содержанию микронутриентов плодовым телам (Бабицкая и др., 2003).

Модификация состава жидкой питательной среды позволяет достичь нужных свойств биомассы грибного мицелия, в частности повышать в нем уровень эссенциальных микроэлементов.

Перспективным обогатителем жидкой питательной среды являются цитраты биометаллов,

поскольку цитрат-ион в этом случае выступает «проводником» ионов металлов в клетки организма, а иногда и удерживает их в растворимом состоянии, не допуская их сорбции хитин-глюкановым комплексом стенок грибного мицелия (Гончарова и др., 2004). Особый интерес представляют цитраты биометаллов. Однако для их использования в технологии культивирования грибов необходимо всестороннее исследование их сорбции грибным мицелием.

Цель работы – исследование возможности и особенностей сорбции мицелием некоторых высших грибов ряда биометаллов: цинка, меди, железа и германия из питательной среды, обогащенной их цитратами; установление и математическое описание закономерностей этого процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования были взяты следующие грибы: пищевой гриб *Pleurotus ostreatus* (вешенка) ((Jacq.:Fr) Kumm. 453) и наиболее популярные лекарственные грибы: *Ganoderma lucidum* (ганодерма люцидум) ((Curt.:Fr.) P.Karst. 1900), *Cordyceps*

* Адрес для переписки:
Гулич Мария Павловна
E-mail: gumapa@ukr.net

militaris (кордицепс военный) ((L.:Fr.) Link. 2029), *Cordyceps sinensis* (кордицепс китайский) ((Berk.) Sacc. 209), полученные из коллекции культур Института ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины.

Мицелий был получен культивированием грибов на жидкой глюкозо-пептонной среде. В первом варианте исследования изучалась сорбция цинка, меди и железа из питательной среды, которую обогащали смесью цитратов этих металлов в концентрации 300, 70 и 200 мг/кг соответственно (опыт) и из питательной среды, в которую добавляли сульфаты этих же металлов такой же концентрации (контроль).

Во втором варианте исследования в питательную среду вводили цитрат германия в концентрации 200 мг/кг. Контролем в данном случае была обычная питательная среда, поскольку сульфат германия – нестойкое соединение и не имеет продажной формы.

При исследовании сорбции цинка, меди и железа из их цитратного и сульфатного питательных растворов мицелием гриба *P.ostreatus*, а германия – мицелием всех изучаемых грибов, выращивание биомассы мицелия проводили глубинным методом на лабораторной качалке при 120 об/мин. При изучении сорбции цинка, меди и железа мицелием лекарственных грибов *G.lucidum*, *C.militaris* и *C.sinensis* в этих же условиях биомассу грибоного мицелия выращивали поверхностным методом в колбах Эрленмейера на протяжении 12 сут. Объем питательной среды был 500 см³, количество инокулюма – 5%. Полученную биомассу фильтровали через капроновый фильтр, высушивали при 105 °С до постоянной массы, озольяли при 450 °С и анализировали на содержание металлов. Цинк и медь определяли методом иверсионной вольтамперометрии (МВВ № 081-12/04-98; МВВ 081-12/05-98), железо – фотометрическим методом (ГОСТ 26928-86), германий – спектрометрическим методом ААС-ИСП (МУ 4.1.1482-03).

Полученные результаты оформляли в виде электронных таблиц в MS Excel, где выполняли первичные расчеты и начальную статистическую обработку, которая включала в себя расчет основных статистических параметров – средних значений (M) и их ошибок (m). Основные математические расчеты, описание функции и построение графиков осуществляли с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0.

Математическое описание зависимостей выполняли методами регрессионного анализа. Для исследования зависимостей строились соответствующие скаттерграммы, затем выполнялось сглаживание точек с помощью стандартных средств STATISTICA, после чего осуществлялся выбор аналитического вида математической модели. При расчете параметров нелинейных моделей вначале графическим способом определяли их начальные приближения, а затем уточняли их методом Левенберга–Марквардта. Для всех параметров модели

рассчитывали их погрешности, достоверности и границы доверительных интервалов. Чтобы описать зависимости, выбирались только адекватные модели с достоверными параметрами ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения полноты сорбции цинка, меди и железа мицелием гриба *P.ostreatus* представлены в табл. 1. Необходимо отметить, что в этом случае и в дальнейшем полнота сорбции рассчитывалась как процент сорбированного металла к общему его количеству в фактическом объеме биомассы мицелия грибов, а коэффициент биологического поглощения (КБП) – как соотношение между концентрацией металла в биомассе и его концентрацией в питательной среде.

Из приведенных данных видно, что сорбция всех металлов из цитратной питательной среды на 2–3 порядка выше, чем из сульфатной среды, а интенсивность сорбции растет с разведением питательной среды. При разведении питательной среды в 1500 раз КБП возрастает для цинка, меди и железа до величин 820, 560 и 6867 соответственно, что в 13, 20 и 229 раз больше, чем в контроле.

Графики зависимости сорбции биометаллов из цитратной питательной среды мицелием гриба *P.ostreatus* представлены на рис. 1–3.

В качестве математической модели зависимости полноты сорбции (y) от концентрации (x) была выбрана достаточно сложная нелинейная унимодальная функция следующего вида:

$$y = a(x - x_0)\exp(-c(x - x_0)^n),$$

где x_0 – сдвиг по оси абсцисс; a , c , n – параметры модели.

Полнота сорбции всех металлов растет с уменьшением их концентрации в питательной среде, правда, до определенного предела. Представляет интерес тот факт, что максимум сорбции (100%-ное поглощение биомассой мицелия металла) для различных металлов имеет место практически в одном и том же концентрационном интервале. Так, цинк и железо полностью сорбируются мицелием данного гриба при их концентрации в питательной среде, равной 0,2–0,5 мг/л, медь – 0,1–0,2 мг/л.

Для остальных грибов исследовались интенсивность и полнота сорбции металлов из цитратных (опыт) и сульфатных (контроль) питательных сред их мицелием (поверхностное культивирование) при оптимальных (как было установлено в предыдущем эксперименте) разведениях культуральной жидкости. Результаты приведены в табл. 2–4. Анализ этих данных и сопоставление их с предыдущими данными подтвердили тот факт, что аккумуляция биометаллов из их цитратных растворов проходит значительно интенсивнее, чем из сульфатных. Максимум полноты сорбции имеет место при тех же концентрационных уровнях, что и для гриба *P.ostreatus*.

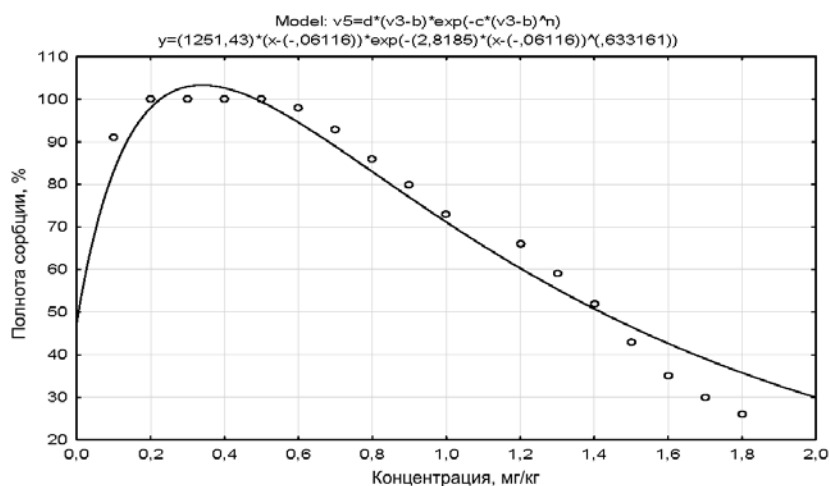


Рис. 1. Зависимость полноты сорбции Zn мицелием гриба *P.ostreatus* от его концентрации в питательной среде

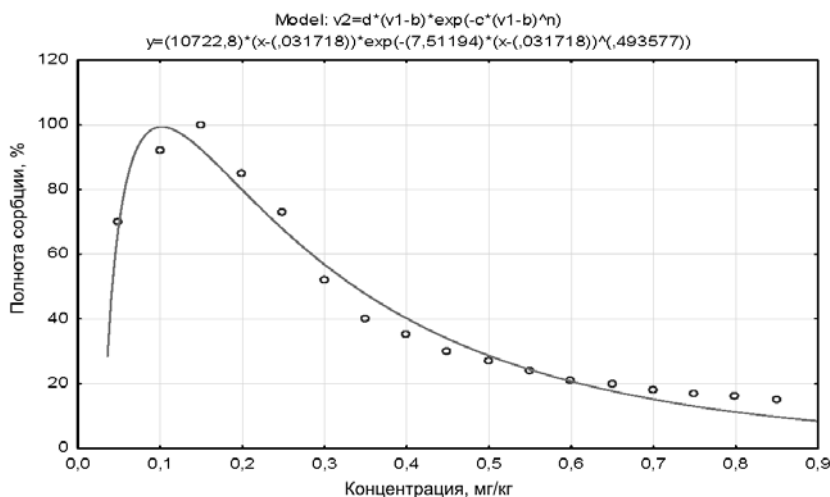


Рис. 2. Зависимость полноты сорбции Si мицелием гриба *P.ostreatus* от его концентрации в питательной среде

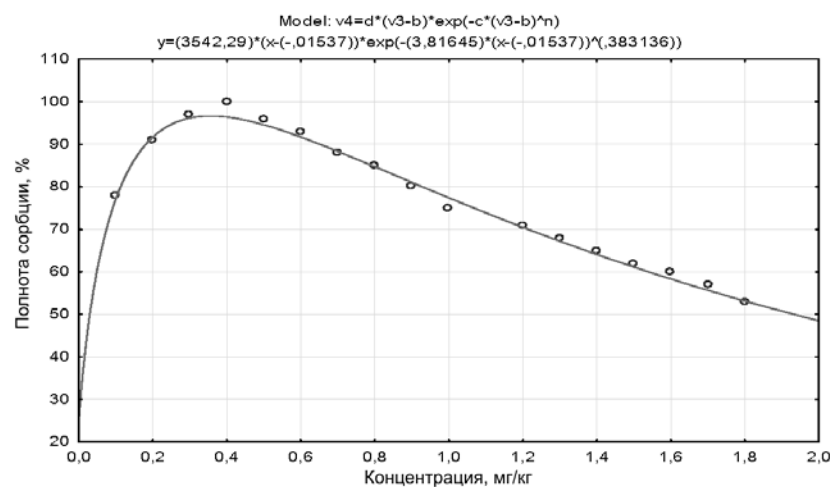


Рис. 3. Зависимость полноты сорбции Fe мицелием гриба *P.ostreatus* от его концентрации в питательной среде

Таблица 1. Сорбция биометаллов мицелием гриба *P.ostreatus*

Металл	Разведение питательной среды с цитратами металлов	Концентрация металла		Концентрация биомассы г/л, (M±m), n=3	Полнота сорбции, %	КБП
		в исходной питательной среде, мг/л	в биомассе мицелия, мкг/кг (M±m), n=3			
Цинк	Контроль	68,00	405,1±5,72	1,32±0,04	0,8	6,0
	1:100	3,00	422,3±8,32	1,28±0,02	18,0*	140,7*
	1:200	1,50	300,4±4,40	1,76±0,05	35,2*	200,0*
	1:500	0,60	254,1±5,60	2,34±0,08	99,1*	423,3*
	1:1000	0,30	170,0±1,23	2,26±0,10	100,0*	566,7*
	1:1500	0,20	164,8±2,13	1,28±0,04	100,5*	820,0*
Медь	Контроль	16,00	641,0±7,31	1,32±0,04	5,3	40,1
	1:100	0,70	121,0±2,57	1,28±0,02	20,0*	172,9*
	1:200	0,35	80,9±3,30	1,76±0,05	40,0*	231,1*
	1:500	0,14	66,8±1,97	2,34±0,08	100,0*	477,1*
	1:1000	0,07	57,3±3,10	2,26±0,10	92,0*	818,6*
	1:1500	0,05	28,0±1,20	1,28±0,04	71,7*	560,0*
Железо	Контроль	40,0	1217,5±11,20	1,32±0,04	4,0	30,4
	1:100	2,00	808,8±7,40	1,28±0,02	51,8*	404,4*
	1:200	1,00	753,0±6,30	1,76±0,05	75,1*	753,0*
	1:500	0,40	596,6±5,35	2,34±0,08	100,0*	1491,5*
	1:1000	0,20	833,3±4,78	2,26±0,10	91,5*	4166,5*
	1:1500	0,13	892,8±8,01	1,28±0,04	82,6*	6867,7*

Примечание: * – разница с контролем достоверна, $p < 0,05$.

Таблица 2. Сорбция биометаллов мицелием гриба *G.lucidum*

Металл	Разведение питательной среды	Концентрация металла		Концентрация биомассы г/л, (M±m), n=3	Полнота сорбции, %	КБП
		в исходной питательной среде, мг/л	в биомассе мицелия, мкг/кг (M±m), n=3			
Цинк	Контроль № 2	68,00	413,0±1,51	1,86±0,08	1,6	6,1
	1:500	0,60	63,2±0,92	2,70±0,09	19,6*	105,3*
	1:1000	0,30	84,0±1,70	2,22±0,07	61,3*	280,0*
Медь	Контроль № 2	16,00	293,4±3,12	1,86±0,08	4,9	18,3
	1:500	0,14	237,0±1,2	2,70±0,09	35,5*	1692,8*
	1:1000	0,07	74,5±0,95	2,22±0,07	17,4*	1064,3*

Примечание: * – различие с контролем достоверно, $p < 0,05$.

Таблица 3. Сорбция биометаллов мицелием гриба *S.militaris*

Металл	Разведение питательной среды	Концентрация металла		Концентрация биомассы г/л, (M±m), n=3	Полнота сорбции, %	КБП
		в исходной питательной среде, мг/л	в биомассе мицелия, мкг/кг (M±m), n=3			
Цинк	Контроль № 2	68,00	1931,0±15,10	3,52±0,12	10,0	28,4
	1:500	0,60	260,0±5,01	3,53±0,10	94,9*	433,3*
	1:1000	0,30	218,8±2,37	3,37±0,11	100,0*	729,3*
Медь	Контроль № 2	16,00	339,0±4,55	3,52±0,12	7,5	21,2
	1:500	0,14	65,1±0,98	3,53±0,10	100,0*	465,0*
	1:1000	0,07	20,0±0,09	3,37±0,11	96,3*	285,7*
Железо	Контроль № 2	40,00	376,2±1,24	3,52±0,12	3,3	9,4
	1:500	0,40	75,0±0,58	3,53±0,10	66,2*	178,6*
	1:1000	0,20	912,2±2,35	3,37±0,11	100,0*	4561,0*

Примечание: * – различие с контролем достоверно, $p < 0,05$.

Таблица 4. Сорбция биометаллов мицелием гриба *C.sinensis*

Металл	Разведение питательной среды	Концентрация металла		Концентрация биомассы г/л, (M±m), n=3	Полнота сорбции, %	КБП
		в исходной питательной среде, мг/л	в биомассе мицелия, мкг/кг (M±m), n=3			
Цинк	Контроль	68,00	2030,0±30,25	4,91±0,19	13,0	14,4
	1:500	0,60	427,0±4,57	4,79±0,13	98,2	711,7
	1:1000	0,30	718,3±3,71	5,26±0,14	100,0	2393,3
Медь	Контроль	16,00	841,0±5,12	4,91±0,19	3,5	25,1
	1:500	0,14	37,9±1,25	4,79±0,13	100,0	270,7
	1:1000	0,07	21,5±0,78	5,26±0,14	46,0	307,1
Железо	Контроль	40,00	158,6±3,15	4,91±0,19	1,7	19,5
	1:500	0,40	157,0±1,80	4,79±0,13	80,3	392,5
	1:1000	0,20	820,9±1,97	5,26±0,14	100,0	4104,5

Примечание: * – различие с контролем достоверно, $p < 0,05$.

В общем, для исследованных грибов интенсивность сорбции цинка уменьшается в ряду *C.sinensis* > *C.militaris* > *P.ostreatus* > *G.lucidum*, для меди, антагониста цинка, этот ряд будет обратным: *G.lucidum* > *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*, а для железа он будет следующим: *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*.

Из питательной среды, обогащенной цитратами биометаллов, наиболее активно мицелием грибов поглощается железо (наименее интенсивно – медь), а из среды с сульфатами биометаллов железо сорбируется наименее интенсивно, что, возможно, объясняется высокой прочностью его цитратных комплексов.

Результаты исследования сорбции мицелием грибов германия приведены в табл. 5. Как видно из представленных данных, при культивирова-

нии грибов на цитратной питательной среде содержание германия в биомассе мицелия повышается по сравнению с фоновым для гриба *G.lucidum* в 25–280 раз, для гриба *P.ostreatus* – в 40–400 раз, для гриба *C.militaris* в 360–3710 раз, а для *C.sinensis* в 410–4140 раз, т.е. в этих условиях коэффициент кумуляции германия очень высок. Больше всего германия аккумулируют лекарственные грибы (*G.lucidum*, *C.militaris* и *C.sinensis*), что хорошо согласуется с литературными данными (Ohgi et.al, 1993). Однако интенсивность сорбции германия, КБП в 5–10 раз ниже, чем, например, для цинка.

Зависимости полноты сорбции мицелием исследуемых грибов германия из питательной среды с цитратом элемента от концентрации элемента в этой среде представлены на рис. 4–7.

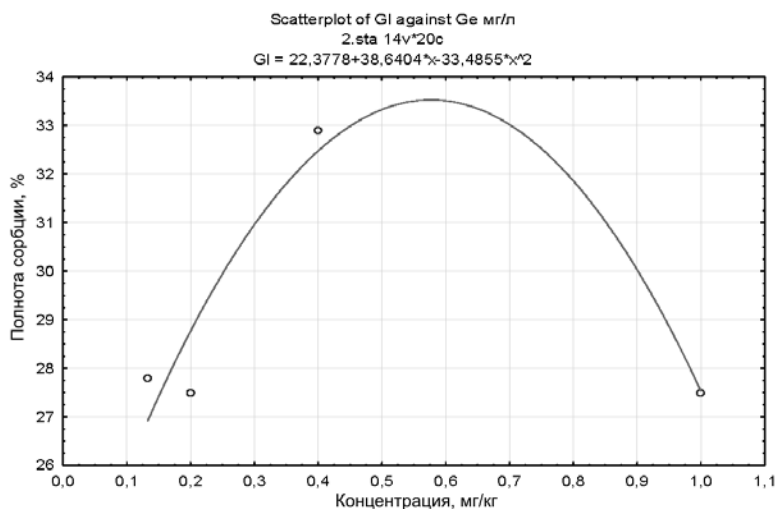


Рис. 4. Зависимость полноты сорбции Ge мицелием гриба *G.lucidum* от его концентрации в питательной среде:
 $a = 22,3778$; $b = 38,6404$; $c = -33,4855$; $x^* = 0,576972$; $y^* = 33,52502$

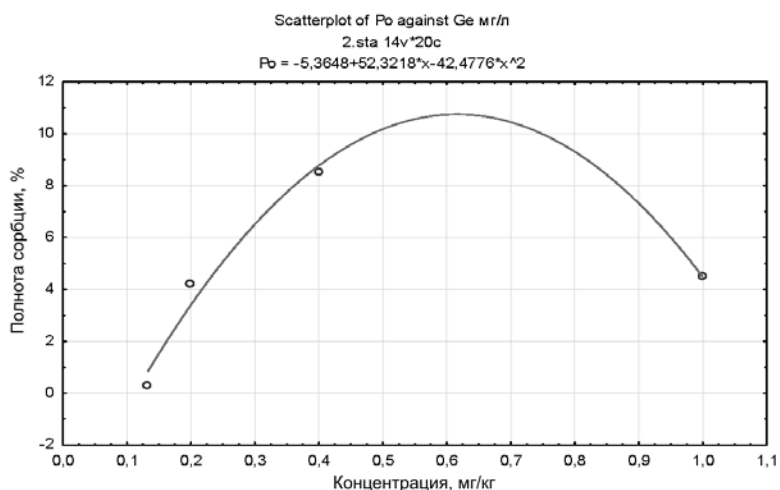


Рис. 5. Зависимость полноты сорбции Ge мицелием гриба *P.ostreatus* от его концентрации в питательной среде:
 $a = -5,3648$; $b = 52,3218$; $c = -42,4776$; $x^* = 0,615875$; $y^* = 10,74705$

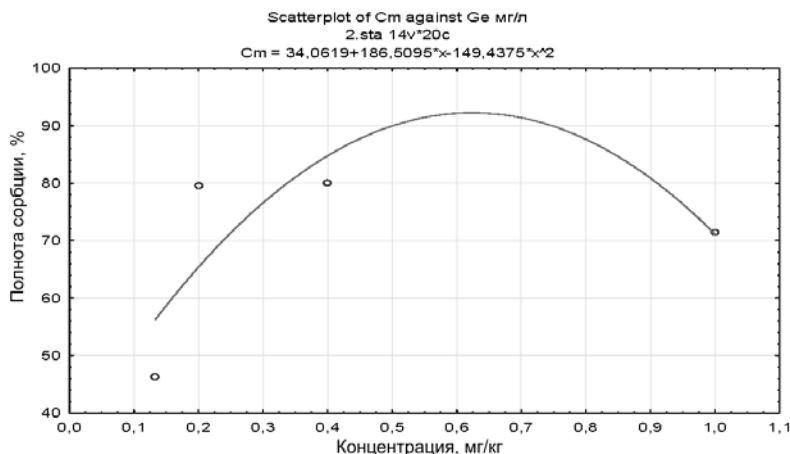


Рис. 6. Зависимость полноты сорбции Ge мицелием гриба *C.militaris* от его концентрации в питательной среде:
 $a = 34,0619$; $b = 186,5095$; $c = -149,438$; $x^* = 0,624038$; $y^* = 92,25645$

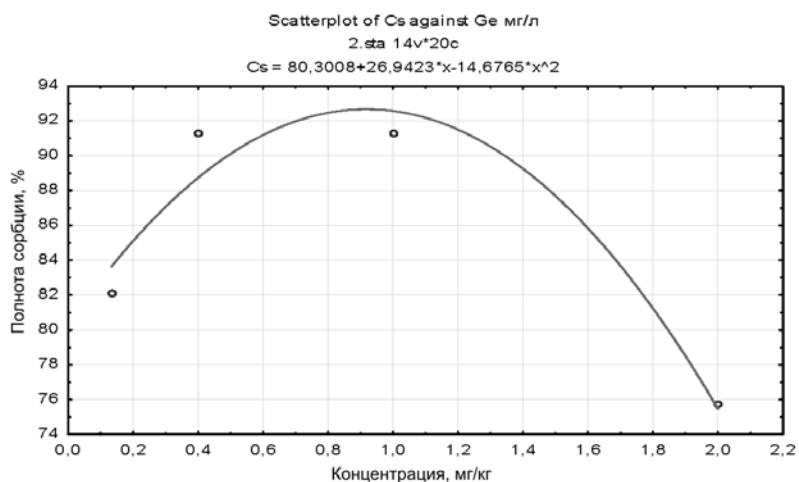


Рис. 7. Зависимость полноты сорбции Ge мицелием гриба *C.sinensis* от его концентрации в питательной среде:
 $a = 80,3008$; $b = 26,9423$; $c = -14,6765$; $x^* = 0,917872$; $y^* = 92,66559$

Таблица 5. Сорбция германия мицелием грибов *G.lucidum*, *P.ostreatus*, *C.militaris* и *C.sinensis*

Гриб	Разведение питательной среды	Концентрация металла		Концентрация биомассы г/л, (M±m), n=3	Полнота сорбции, %	КБП
		в исходной питательной среде, мг/л	в биомассе мицелия, мкг/кг (M±m), n=3			
<i>G.lucidum</i>	Контроль №1	–	0,35±0,04	–	–	–
	1:100	2,00	100,9±4,21*	4,4±0,32	22,2	50,0
	1:200	1,00	56,9±1,02*	4,8±0,21	27,5	56,9
	1:500	0,40	24,3±0,22*	5,5±0,15	32,9	60,73
	1:1000	0,20	10,1±0,22*	5,6±0,30	27,5	50,5
	1:1500	0,13	7,1±0,30*	5,5±0,27	27,8	54,6
<i>P.ostreatus</i>	Контроль №1	–	0,13±0,01	–	–	–
	1:100	2,00	51,4±0,45*	1,1±0,09	2,8	25,7
	1:200	1,00	39,1±1,25*	1,2±0,11	4,5	32,1
	1:500	0,40	24,4±5,10*	1,4±0,12	8,5	61,0
	1:1000	0,20	5,3±1,12*	1,6±0,02	4,2	26,5
	1:1500	0,13	0,3±0,08*	1,3±0,12	0,3	2,30
<i>C.militaris</i>	Контроль №1	–	0,02±0,01	–	–	–
	1:100	2,00	87,1±3,12*	10,1±0,14	42,5	43,5
	1:200	1,00	70,8±5,16*	10,1±0,13	71,5	70,8
	1:500	0,40	36,3±7,04*	8,8±0,38	80,0	90,8
	1:1000	0,20	18,1±1,20*	8,8±0,23	79,6	90,5
	1:1500	0,13	8,6±0,53*	7,8±0,46	46,4	66,1
<i>C.sinensis</i>	Контроль №1	–	0,03±0,012	–	–	–
	1:100	2,00	130,8±10,21*	11,6±0,48	75,7	65,4
	1:200	1,00	80,1±4,51*	11,4±0,87	91,3	80,1
	1:500	0,40	32,8±2,75*	11,2±0,84	91,3	82,0
	1:1000	0,20	16,4±0,91*	11,2±0,28	91,8	82,0
	1:1500	0,13	10,6±0,43*	11,2±0,35	82,1	81,57

Примечание: * – различие с контролем достоверно, $p < 0,05$.

Из рисунков видно, что кривые зависимости имеют сходный характер для всех четырех видов грибов, но способность к аккумуляции германия видоспецифична. Интенсивность и полнота сорбции элемента, как уже упоминалось, уменьшается в ряду: *C.sinensis* > *C.militaris* > *G.lucidum* > *P.ostreatus*. Максимум сорбции германия лежит в области концентраций 0,5–0,7 мг/л, что близко к концентрационным уровням, при которых имеет место 100%-ная сорбция других элементов (Zn, Cu, Fe). Зависимость описывается такой математической моделью: $y = a + bx - cx^2$.

Тот факт, что зависимость полноты сорбции биометаллов от концентрации последних носит сходный характер для всех металлов и видов грибов, а именно: сорбция биомассой мицелия гри-

бов увеличивается с уменьшением концентрации элементов до 0,6–0,1 мг/л, а дальше уменьшается, позволяет предположить единый механизм сорбции, а также классифицировать выявленную зависимость как закономерность.

Оптимальная концентрация металлов в питательной среде при этом, возможно, обусловлена размерами и конфигурацией их цитратных комплексов.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование указывает на возможность сорбции грибным мицелием цинка, меди, железа и германия из питательной среды, содержащей соответствующие цитраты, а также бо-

лее высокой эффективности сорбции цитратов по сравнению с сорбцией неорганической формы этих металлов – их сульфатами.

В процессе исследования установлены и математически описаны закономерности сорбции мицелием грибов цитратов указанных элементов, найдены оптимальные концентрации, при которых элементы максимально поглощаются мицелием. Полученные результаты могут быть использованы для разработки экономически более выгодных способов получения ценного грибного сырья, обогащенного эссенциальными микроэлементами.

ЛИТЕРАТУРА

Бабицкая В.Г., Щерба В.В. Базидиальные грибы – субстанция для получения функциональных препаратов // Материалы Междунар. конф. «Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии». Минск. 2004. С. 230–232.

Бабицкая В.Г., Хлюстов С.В., Пленина Л.В. и др. Физиологически активные соединения и биологическое действие глубинного мицелия базидиомицета *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst // Биотехнология. 2003. № 4. С. 35–44.

Гончарова И.А., Ровбель Н.М., Иконникова Н.В. Влияние присутствия органических и минеральных веществ на эффективность связывания ионов меди биосистемой медицинских грибов // Материалы Междунар. научно-практич. конф. «Перспективы использования лекарственных грибов при решении медико-экологических проблем» (10–11 сентября). 2004. С. 21–25.

Методика выполнения измерений содержания цинка в водных растворах методом инверсионной вольтамперометрии: метод выполнения МВВ № 081-12/04-98 / НПП «Буревестник». Санкт-Петербург. 1995. 21 с.

Методика выполнения измерений содержания кадмия, свинца и меди в водных растворах методом инверсионной вольтамперометрии: метод выполнения МВВ 081-12/05-98 / НПП «Буревестник». Санкт-Петербург. 1995. 35 с.

Сырье и продукты пищевые. Методы определения железа: ГОСТ 26928-86. М.: Изд-во стандартов. 1986. 5 с.

Методические указания 4.1.1482-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой». М.: Минздрав России. 2003. 16 с.

Савчук Е.Ф., Шевчук Е.Ю. Применение БАДов серии «Микосвит» в комплексе лечебно-профилактических мероприятий при гастроэнтерологических заболеваниях и сердечно-сосудистой патологии // Материалы Междунар. конф. «Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии». Минск. 2004. С. 66–67.

Гулич М.П., Бісько Н.А., Яценко О.В. та інші Лікарський гриб *Ganoderma lucidum* перспективне джерело біологічно активних речовин для виробництва гігієнічних добавок // Материалы 1-й междунар. научно-практич. конф. «Функциональные пищевые продукты – диетические добавки как действенное средство разноплановой профилактики заболеваний» (11–12 апреля 2013). Харьков. 2013. С. 69–70.

Косінов М.В., Каплуненко В.Г. Спосіб отримання карбоксилатів харчових кислот з використанням нанотехнології. Патент України № 39392. 2009.

Ohri I.K. et. al. Germanium use and associated adverse Effects: A Review // Journal of Pharmacy Technology. 1993, 9:237–241.

Wasser S.P., Nevo E., Sokolov D., et al. Dietary Supplements from Medicinal Mushrooms: Diversity of Types and Variety of Regulations // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2000, 2:1–19.

SORPTION OF BIOMETALS BY FUNGI MYCELIUM FROM NUTRIENT MEDIUM, ENRICHED BY THEIR CITRATES

M.P. Gulich¹, M.J. Antomonov¹, N.L. Yemchenko¹, N.A. Bisko²,
O.V. Yashchenko¹, V.P. Ermolenko¹

¹ A.N. Marzeiev Institute for Hygiene and Medical Ecology, National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Popudrenka str., 50, Kiev 02660, Ukraine; e-mail: gumapa@ukr.net

² M.G. Kholodni Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Tereshchenkivska str., 2, ICP-1, Kiev 01601, Ukraine

ABSTRACT. Cultivation of mushrooms on liquid nutrient medium is considered to be a prospective method for obtaining ecologically pure mushrooms, a source of biologically active compounds, micronutrients, including essential trace elements. The work is devoted to evaluation of peculiarities of zinc, copper, iron and germanium citrates sorption by *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum*, *Cordyceps militaris* and *Cordyceps sinensis* mycelium compared with the appropriate sulfates. Citrates sorption by mushrooms mycelium is demonstrated to be 2–3 orders higher than appropriate sulfates sorption. An important characteristic of the process is an increase of sorption intensity with dilution of nutrient medium. The highest sorption of citrates is registered at concentrations equal to 0.2–0.5 mg/l for zinc and iron, 0.1–0.2 mg/l for copper and 0.5–0.7 mg/l for germanium. Intensity of zinc sorption by myce-

lium decreases according to: *C.sinensis* > *C.militaris* > *P.ostreatus* > *G.lucidum*; copper – *G.lucidum* > *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*; iron – *P.ostreatus* > *C.militaris* > *C.sinensis*; germanium – *C.sinensis* > *C.militaris* > *G.lucidum* > *P.ostreatus*.

KEYWORDS: citrates of biometals, fungi, mycelium, sorption regularities.

REFERENCES

Babitskaya V.G., Shcherba V.V. // Proc. Int. Conf. “Modern state and developmental prospects of microbiology and biotechnology”. Minsk, 2004:230–232 (in Russ.).

Babitskaya V.G., Khlyustov S.V., Plenina L.V. et al. // *Biotekhnologiya*. 2003, 4:35–44 (in Russ.).

Goncharova I.A., Rovbel N.M., Ikonnikova N.V. // Proc. Int. Conf. “Prospects of use of medicinal mushrooms in solution of medical and environmental problems”. 2004, 21–25 (in Russ.).

[Methods for measuring the content of zinc in aqueous solutions by stripping voltammetry: execution method MVV № 081-12/04-98 / NPP «Burevestnik»]. Saint-Petersburg, 1995 (in Russ.).

[Methods for measuring the content of cadmium, lead and copper in aqueous solutions by stripping voltammetry: execution method MVV 081-12/05-98 / NPP «Burevestnik»]. Saint-Petersburg, 1995 (in Russ.).

[Raw materials and food products. Methods for determination of iron: GOST 26928-86]. Moscow: Izd-vo standartov, 1986 (in Russ.).

[Determination of chemical elements in biological media and preparations by atomic emission spectrometry with inductively bound by any plasma and mass spectrometry with inductively coupled plasma: methodical guidelines 4.1.1482-03] Moscow: Minzdrav Rossii. 2003 (in Russ.).

Savchuk E.F., Shevchuk E.Yu. // Proc. Int. Conf. “Modern state and developmental prospects of microbiology and biotechnology”. Minsk, 2004: 66–67 (in Russ.).

Gulich M.P., Bis'ko N.A., Yashchenko O.V. et al. // Proc. Int. Conf. “Functional food products – dietary additives as an effective means for prophylaxis of diseases”. Kharkov, 2013, 69–70 (in Ukr.).

Kosinov M.V., Kaplunenko V.G. [A method of producing food acids carboxylates using nanotechnology]. Patent of Ukraine 39392. 2009 (in Ukr.).

Ohri I.K. et al. // *Journal of Pharmacy Technology*. 1993, 9:237–241.

Wasser S.P., Nevo E., Sokolov D, Reshetnikov S, Timor-Tismenetsky M. // *Int J Med Mushrooms*. 2000, 2:1–19.