

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ ХЛОРЕЛЛОЙ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИДА КАДМИЯ В СРЕДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

И.А. Ковальчук, 3 курс

Научный руководитель – И.А. Ильючик, к.б.н., доцент

Полесский государственный университет

Хлорелла (*Chlorella vulgaris*) является одной из наиболее широко распространенных зеленых микроводорослей, встречающихся в большинстве водных сред мира и часто используется в тестах на токсичность из-за чувствительности к различным загрязнителям, относительно короткого жизненного цикла и простоты обращения [1].

Выживание зеленых водорослей в водной среде, загрязненной металлами, зависит от их способности генерировать и передавать сигналы, регулирующие метаболизм. *Ch. vulgaris* обладает высокой способностью адаптироваться к окружающей среде.

Широкое использование микроводорослей в сельском хозяйстве, очистке сточных вод, производстве фармацевтических препаратов и биодобавок, биотоплива требует детального изучения воздействия различных эффекторов на накопление биомассы этих водорослей [2].

Кадмий – один из наиболее токсичных тяжелых металлов. Он поступает в водную среду в результате промышленной деятельности человека и в ходе природных процессов [3], способен взаимодействовать с различными структурами клетки и вызывать большое количество негативных биохимических сдвигов: от ингибирования активности ферментов до повреждения мембранных структур клетки [4].

Токсичность кадмия у фотосинтезирующих организмов проявляется в задержке роста, хлорозе, генотоксичности и фотосинтеза [5]. Известно, что хлорелла обладает высокой устойчивостью к кадмию [6] и к другим тяжелым металлам, например, к свинцу, марганцу, железу, хрому, меди [2, 7].

Цель работы – выявить влияние $CdCl_2$ различной концентрации на динамику накопления биомассы культурой *Chlorella vulgaris*.

Исследования выполнены на альгологически чистой культуре *Ch. vulgaris*, штамм С 111 IBCE С-19 из коллекции водорослей Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси.

Микроводоросль выращивали на среде А5П [8] в прозрачных сосудах объемом 0,2 л при температуре 26 ± 2 °С, освещенности на поверхности сосуда 5000 лК, продолжительности световой и темновой фазы – 12 ч/12 ч.

В среду культивирования дополнительно вносили $CdCl_2$. Концентрация ионов Cd^{2+} в среде культивирования составляла: 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} М. В качестве контроля использовали оригинальную среду А5П без добавления солей кадмия. Биомассу *Ch. vulgaris* определяли на 1, 4, 7, 10, 13, 17, 20-е сутки культивирования, используя камеру Горяева. Исходное количество клеток в экспериментальных вариантах – 2,17 млн/мл.

Исследования проведены девятикратно. Полученные результаты обработаны статистически с использованием программы MS Excel 2010. Достоверность различий между вариантами определяли по t-коэффициенту Стьюдента для уровня значимости $P \leq 0,05$.

В течение 20-и суток культивирования наблюдалось изменение биомассы хлореллы как в контроле, так и в среде с добавлением соли кадмия (таблица).

Таблица – Динамика роста культуры *Chlorella vulgaris* при добавлении в питательную среду хлорида кадмия (n=9)

Концентрация Cd ²⁺ , М	Биомасса млн клеток/мл			
	1-е сутки	4-е сутки	7-е сутки	10-е сутки
Контроль	2,14 ± 0,11	2,54 ± 0,11	3,92 ± 0,16	3,39 ± 0,12
10 ⁻⁸	2,37 ± 0,11	2,73 ± 0,10	3,15 ± 0,7*	3,98 ± 0,25
10 ⁻⁷	2,51 ± 0,13	2,89 ± 0,12	3,28 ± 0,15*	4,28 ± 0,37*
10 ⁻⁶	2,41 ± 0,09	2,60 ± 0,09	4,95 ± 0,13*	4,73 ± 0,17*
10 ⁻⁵	2,67 ± 0,11	2,28 ± 0,08	3,26 ± 0,18*	4,59 ± 0,34*
Концентрация Cd ²⁺ , М	13-е сутки	17-е сутки	20-е сутки	
Контроль	3,04 ± 0,13	3,71 ± 0,26	4,78 ± 0,09	
10 ⁻⁸	3,79 ± 0,12*	4,38 ± 0,24	5,66 ± 0,11*	
10 ⁻⁷	4,1 ± 0,12*	4,86 ± 0,67	4,63 ± 0,68	
10 ⁻⁶	5,96 ± 0,08*	6,37 ± 0,21*	7,89 ± 0,12*	
10 ⁻⁵	2,88 ± 0,11	2,27 ± 0,09*	2,26 ± 0,09*	

Примечание: * – изменения статистически достоверны при $P \leq 0,05$

В контроле наблюдался линейный рост культуры практически до конца эксперимента, в сравнении с 1-ми сутками увеличение биомассы составило 2,2 раза, и лишь в период 10–13 суток был незначительный спад (рисунок).

Во всех вариантах с использованием кадмия происходило практически линейное увеличение биомассы. К 20-м суткам в них концентрация клеток хлореллы увеличилась в 1,8–3,3 раза, кроме варианта 10⁻⁵ М (-15,4%), в сравнении с 1-ми сутками (таблица, рисунок).

Максимальный прирост биомассы *Ch. vulgaris* наблюдался в средах с концентрацией хлорида кадмия: 10⁻⁷ М – на 1-е сутки, что в 1,17 раза больше контроля; 10⁻⁸ М – на 4-е сутки, что в 2,14 раза больше контроля; 10⁻⁶ М – на 7, 10, 13, 17 и 20-е сутки, что в 1,26, 1,39, 1,96, 1,72 и 1,65 раза больше контроля соответственно.

Следует отметить, что в среде с концентрацией кадмия 10⁻⁵ М максимальный прирост биомассы наблюдался на 10-е сутки, что в 1,7 раз больше относительно 1-х суток. В период 13–20 суток, в данном варианте, рост хлореллы снизился практически в 2,0 раза по сравнению с 10-ми сутками.

В варианте с концентрацией кадмия 10⁻⁷ М на 17-е сутки прирост биомассы был в 1,3 раз больше контроля и в 1,3 раз меньше относительно среды с концентрацией Cd²⁺ 10⁻⁶ М на 7, 10, 13, 17 и 20-е сутки (рисунок).

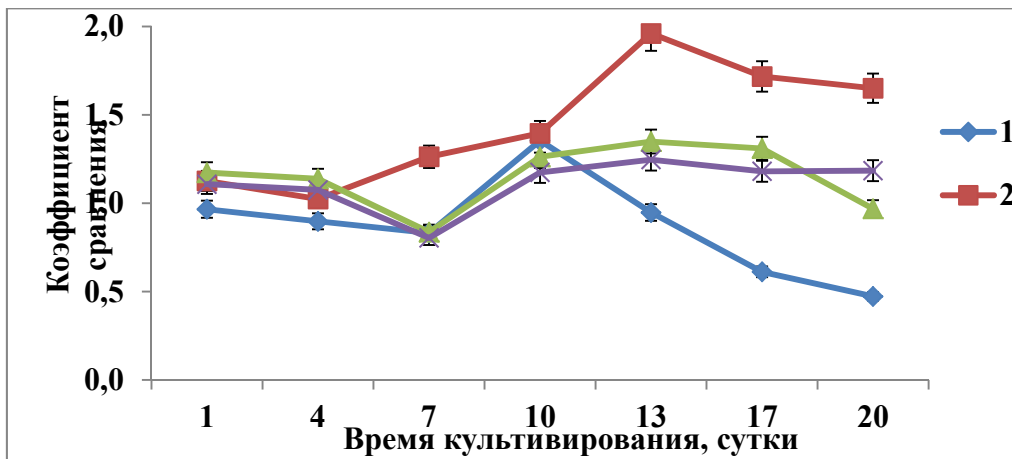


Рисунок 2. – Изменения накопления биомассы культурой *Chlorella vulgaris* относительно контроля при добавлении в питательную среду хлорида кадмия (M): 1 – 10^{-5} , 2 – 10^{-6} , 3 – 10^{-7} , 4 – 10^{-8}

Изложенные результаты показывают, что ионы кадмия оказывают значительное влияние на рост культуры *Ch. vulgaris*. В присутствии CdCl_2 концентрацией 10^{-5} M происходит угнетение накопления биомассы после 10-х суток культивирования. Невысокие концентрации кадмия, особенно при 10^{-6} M, стимулируют рост хлореллы.

Список использованных источников

1. Chromate tolerance and accumulation in *Chlorella vulgaris* L.: role of antioxidant enzymes and biochemical changes in detoxification of metals / U.N. Rai, N.K. Singh, A.K. Upadhyay, S. Verma // *Bioresource technology*. – 2013. – Vol. 136 – P. 604-609.
2. Ильючик, И.А. Влияние сульфата железа (III) на динамику роста культуры *Chlorella vulgaris* / И.А. Ильючик, А.А. Шульган, В.Н. Никандров // *Современные проблемы естествознания в науке и образовательном процессе: сборник статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23 ноября 2023 г.* / Белорусский гос. пед. ун-т им. М. Танка; редкол.: Н.С. Сологуб [и др.]; отв. ред. Н.С. Сологуб. - Минск: БГПУ, 2024. – С. 611–615.
3. Andresen, E. Cadmium toxicity in plants / E. Andresen, H. Küpper // *Met. Ions Life Sci.* – 2013. – V. 11. – P. 395.
4. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity/ P. Babula, V. Adam, R. Opatrilova, J. Zehnalek, L. Havel, R. Kizek // *Environ. Chem. Lett.* – 2008. –V. 6. – P. 189.
5. Влияние ионов кадмия на некоторые биофизические параметры и ультраструктуру клеток *Ankistrodesmus* sp. B-11 / Б.К. Заядан, А.К. Садвакасова, Д.Н. Маторин [и др.] // *Физиология растений*. – 2020. – Т. 67, № 5. – С. 501-511.
6. Cheng, J. The effect of cadmium on the growth and antioxidant response for freshwater algae *Chlorella vulgaris* / J. Cheng, H. Qiu, Z. Chang, Z. Jiang, W. Yin // *Springerplus*. – 2016. – №5 (1).
7. Antonio León-Vaz Impact of heavy metals in the microalga *Chlorella sorokiniana* and assessment of its potential use in cadmium bioremediation / Antonio León-Vaz, Rosa León, Inmaculada Giráldez, José María Vega, Javier Vígara // *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)*. – 2021. – Vol. 239.
8. Упитис, В.В. Макро- и микроэлементы в оптимизации минерального питания микроводорослей / В.В. Упитис. – Рига: Зинатне, 1983. – 240 с.