

Г. С. МИНЮК, Р. П. ТРЕНКЕНШУ,
А. В. АЛИСИЕВИЧ, И. В. ДРОБЕЦКАЯ

ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА НА РОСТ МИКРОВОДОРОСЛИ *SPIRULINA PLATENSIS* (NORDS.) В НАКОПИТЕЛЬНОЙ И КВАЗИНЕПРЕРЫВНОЙ КУЛЬТУРАХ

Приводятся данные о влиянии различных концентраций селенита натрия на ростовые характеристики синезеленой микроводоросли *Spirulina platensis*. Показано, что в диапазоне концентраций 1-20 мг Se (IV)/л средняя продуктивность и удельная скорость роста водорослей, как в накопительной, так и в квазинепрерывной культурах, не снижались по отношению к контролю, а концентрации 5 и 10 мг/л оказывали стимулирующее действие. Установлена положительная корреляция между содержанием элемента в питательной среде и биомассе водорослей.

В последние два десятилетия существенно возрос интерес к исследованию влияния селена на представителей фитопланктонных сообществ. Это объясняется исключительно важной ролью фитопланктона в биотрансформации селена. Одноклеточные морские и пресноводные микроводоросли ассимилируют из воды растворимые неорганические соединения селена (главным образом селениты или селенаты), накапливают элемент в клетках в составе свободных аминокислот, белков, полисахаридов, каротиноидных пигментов и липидов и передают его на более высокие уровни трофических цепей [11,13,14,29,31,35,37]. Установлено, что степень инкорпорирования селена в клетки и его токсичность для микроводорослей существенно варьируют в зависимости от их морфо-функциональных особенностей, концентрации и степени окисления селена, присутствия в среде сульфатов и тяжелых металлов, температуры, pH и других факторов среды [7,21,24,30,31,33].

Для большинства представителей морского фитопланктона Se (IV) и Se (VI) в концентрациях, обычно регистрируемых в море (10^{-10} - 10^{-7} М) [12,23,25], не только не токсичен, но и стимулирует рост водорослей, а для отдельных видов селен является эссенциальным микроэлементом [15,28,29]. Более высокие концентрации селена в среде (особенно SeVI) у многих видов снижают двигательную активность и темпы роста, вызывают нарушение ультраструктуры и метаболизма клеток [7,10,30,31,33,36]. Так, токсический порог селена (IV) для морской динофлагелляты *Prorocentrum micans* и зеленой морской микроводоросли *Selenastrum capricornutum* не превышает 50-100 мкг Se/л [7,22]. Другие виды зеленых водорослей, например, *Dunaliella primolecta* и *Chlorella* sp., а также *Porphyridium cruentum* (Rodophyceae) в лабораторных условиях при выращивании на искусственной морской воде проявляют большую устойчивость к селену (IV). Установленная для них сублетальная концентрация селена на порядок выше – 0,01 г Se / л [11,29].

Аналогичные, хотя и не столь многочисленные работы проведены и на представителях природных пресноводных фитопланктонных сообществ [24,26-28]. В то же время, из поля зрения исследователей практически выпали культивируемые микроводоросли, хотя известно, что в условиях интенсивных культур реакция водорослей на изменения факторов окружающей среды имеет свои особенности. В частности, сведения о влиянии селена на продуктивность одного из ведущих объектов аквакультуры *Spirulina platensis* и ее способности накапливать этот микроэлемент, исчерпываются единственной работой китайских исследователей [37].

Восполнение этого пробела представляет интерес не только с научной, но и с практической точки зрения, так как *S. platensis* широко используется во многих странах мира (в том числе и в Украине) в лечебно-профилактических целях [8,18]. Введение в микроэлементный состав спирулины селена в концентрациях, сопоставимых с суточной потребностью человека (20-230 мкг [6]), позволит существенным образом усилить положительное воздействие пищевой добавки на организм человека и животных за счет антиоксидантных и иммуностроительных свойств этого микроэлемента [1,3,4,19]. Важно и то, что биологическая активность и усвояемость человеком и животными органических со-

единений селена выше, чем неорганических, а токсичность ниже [3,4,9]. И, наконец, установление оптимальных для роста культуры концентраций микроэлемента в питательной среде будет способствовать повышению эффективности массового культивирования спирулины.

В связи с выше изложенным, основные задачи настоящей работы заключались в следующем:

- определить характер влияния различных концентраций селена (IV) в среде на рост *S. platensis* в накопительной и квазинепрерывной культурах;
- определить содержание селена в биомассе водорослей при различных концентрациях элемента в питательной среде.

Материал и методика. Объектом исследования была альгологически чистая культура *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitler из коллекции ИнБЮМ НАНУ. Питательной средой служила среда Заррука [34]. Водоросли выращивали в накопительной и квазинепрерывной культурах. В первом варианте спирулину культивировали в колбах на люминестате при освещении снизу (5300 лк) и температуре 25,5-26°C. Объем суспензии водорослей равнялся 1 л при исходной плотности 0,35 г абсолютно сухой биомассы в литре (г. сух. б./л). С целью перемешивания суспензию непрерывно барботировали воздухом со скоростью 0,2 л / мин на 1 л культуры, ежедневно компенсируя испарение дистиллированной водой. В качестве источника селена использовали селенит натрия (Na_2SeO_3) квалификации "х.ч.", который был внесен в питательную среду (до внесения инокулята) из расчета 1, 2, 5, 10, 15 и 20 мг Se (IV)/л. В контрольную колбу селенит натрия не добавляли.

Во втором варианте после достижения водорослями линейной фазы роста получали квазинепрерывную культуру путем периодической замены (с интервалом 24 ч) 10%-ой суспензии водорослей равноценным объемом свежеприготовленной питательной среды. Культиваторами служили прямоугольные бассейны объемом 100 л. Высота слоя культуры равнялась 10 см. Бассейны круглосуточно освещали лампами ДЛР-750. Освещенность на поверхности культуры составляла 4400 лк, температура - 20-22°C. Непрерывное перемешивание осуществляли при помощи аквариумных насосов. Концентрация селена в бассейнах равнялась 0 (контроль), 10 и 15 мг Se (IV)/л.

Прирост биомассы контролировали по оптической плотности суспензии при 750 нм на фотоэлектроколориметре КФК-2 в кюветах с рабочей длиной 5 мм. Для данного вида водорослей при указанной длине волны регистрируется главным образом неспецифическое поглощение света, обусловленное количеством частиц в единице объема (пигменты спирулины в этой области спектра характеристических полос поглощения не имеют).

Зависимость между величиной оптической плотности (в интервале от 0,13 до

1,24 ед. опт. пл.) и содержанием сухой биомассы в литре суспензии (рис.1) описывается уравнением линейной регрессии $Y = 0,73 D_{750} + 0,08$.

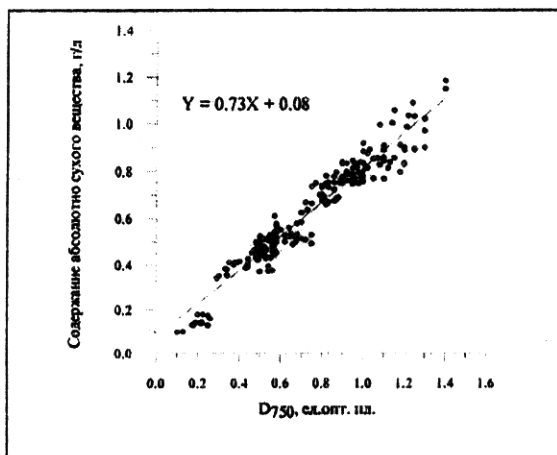


Рис.1 Зависимость между оптической плотностью ($\lambda = 750$ нм, $l = 5$ мм) и содержанием абсолютно сухой биомассы спирулины в литре суспензии (г сух. б./л)
Fig. 1 The relation between optical density and absolutely dry biomass content per litre of suspension (g DW/l)

Для определения этой зависимости аликвоты суспензии, имеющие различную оптическую плотность, объемом 50 мл фильтровали под вакуумом через предварительно доведенные до постоянного веса обеззоленные бумажные фильтры. Сконцентрированную на фильтрах биомассу для удаления солей дважды промывали 15 мл дистиллированной воды, после чего фильтры высушивали при 105°C до постоянного веса. По разнице весов фильтров с высушенной биомассой и без нее определяли абсолютно сухую массу водорослей в 50 мл суспензии и результат пересчитывали на 1 л.

Концентрацию селена в сухой биомассе спирулины определяли флуориметрическим методом [2].

Авторы выражают искреннюю благодарность ведущему научному сотруднику Института питания РАМН докт. биол. наук И.В. Гмошинскому за помощь в определении селена.

Результаты и обсуждение. По многочисленным литературным данным, степень окисления селена в его растворимых неорганических соединениях является одним из решающих факторов, определяющим характер влияния этого микроэлемента на продуктивность морского и пресноводного фитопланктона. Наименее токсичной и наиболее предпочитаемой микроводорослями формой селена являются селениты щелочных металлов (Se IV) [9,29,30,32,33]. Поэтому в качестве источника селена в наших экспериментах использован селенит натрия. Диапазон исследованных концентраций (1-20 мг Se/л) был на 1-3 порядка выше, чем в указанных работах, в связи с более высокой резистентностью цианобактерий к селену по сравнению с представителями других классов микроводорослей [7,17,37].

Результаты эксперимента по влиянию различных концентраций селена на рост *S. platensis* в накопительной культуре представлены на рисунках 2 – 3.

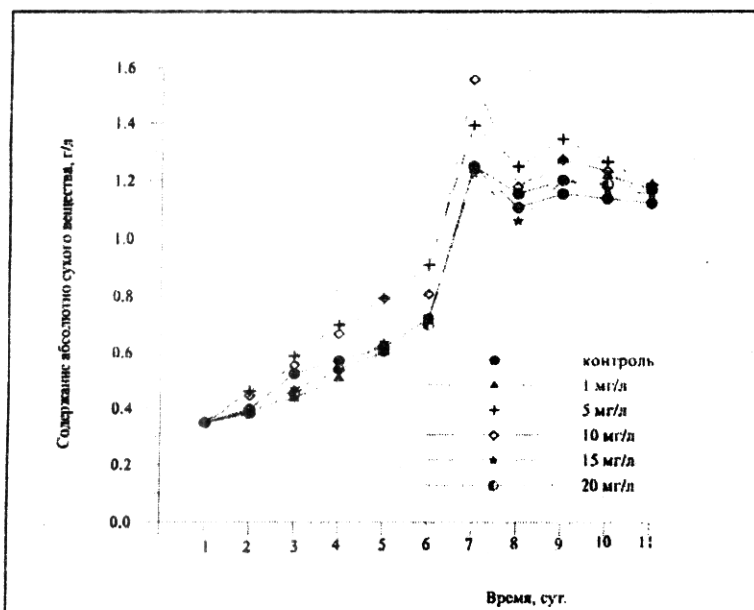


Рис.2 Динамика биомассы спирулины в накопительной культуре в зависимости от содержания селена в среде

Fig. 2 The dynamics of spirulina biomass in batch culture depending on selenium content in the medium

Несмотря на высокие (летальные для большинства микроводорослей) концентрации селена, ни в одном из 6 вариантов опыта угнетение роста культуры не было зарегистрировано. Кривые динамики биомассы во всех колбах с добавлением селенита натрия аналогичны кривой контроля. Пик биомассы отмечен на 7-й день эксперимента, причем в колбах, содержащих селенит натрия в концентрациях 5 и 10 мг Se (IV)/л, плотность культуры была на 10,2 и 19,8% выше, чем в контроле. Это объясняется более высокой средней продуктивностью (рис. 3а) и средней удельной скоростью роста (рис. 3б) спирулины при данных концентрациях селена в 1-6-е сутки эксперимента. Начиная с 7-х суток, стимулирующее рост водорослей влияние селена нивелировалось снижением ос-

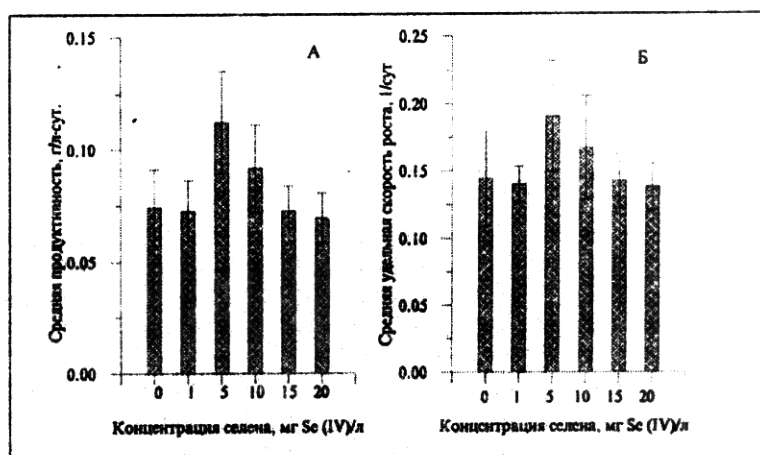


Рис.3 Средняя продуктивность (А) и средняя удельная скорость роста (Б) спироулины в накопительной культуре за период 1-6 суток эксперимента
 Fig. 3 Mean productivity (A) and mean specific growth rate (B) of spirulina in batch culture within 1-6 days of experiment

Такая же высокая устойчивость к селену показана и для другого вида спироулины – *Spirulina maxima*. Добавление в среду Заррука селенита натрия в концентрации 0,4-20 мг Se/л стимулировало рост культуры (при оптимуме 12 мг/л). Ингибирование роста начиналось при концентрациях, превышающих 40 мг Se/л., а летальная доза составляла 400 мг Se/л [35].

Исследование способности *S.platensis* накапливать селен (IV) проводили в квазинепрерывной культуре с целью максимально приблизить условия эксперимента к технологии промышленного культивирования спироулины, разработанной в ИнБЮМ НАНУ (ТУ У 236 654. 00 001-97). Результаты представлены в таблице.

Таблица Содержание селена в *Spirulina platensis* (мкг/г сух. б.) при различных концентрациях Se (IV) в среде

Table The selenium content in *Spirulina platensis* (μg/g dry wt) at different concentrations of Se (IV) in the medium

Концентрация селена (IV) в среде, мг/л	Концентрация селена в сухой биомассе, мкг/г				
	Продолжительность эксперимента, сутки				
	3	5	6	7	
Контроль	0,13±0,03	(*)	(*)		
0,5	3,28±0,24	(*)	(*)		
2,0	10,70±0,55	(*)	(*)		
10,0	(*)	24,6±1,3	14,6±0,6	14,3±0,6	
15,0	(*)	23,9±1,2	19,9±1,2	21,8±0,9	

* - измерения отсутствуют.

Начальная концентрация селена в среде экспериментальных бассейнов составляла 0,5 и 2,0 мг/л при одинаковой плотности культуры, равной 0,8 г сух. б./л. В биомассе, отобранной на третьи сутки, содержание элемента увеличилось в 25,2 и 83,3 раза по сравнению с контролем (небольшое количество селена в контроле объясняется его присутствием в качестве примесей в солях, использованных для приготовления питательного раствора). На четвертые сутки концентрацию селена в опытных бассейнах увеличили до 10 и 15 мг/л, что привело сначала к значительному (но непропорциональному) повышению уровня селена в водорослях (в 7,5 и 2,3 раза), а в последующие дни к его снижению.

Анализируя полученные результаты, следует прежде всего заметить, что для точного расчета коэффициента ассимиляции селена водорослями необходимо учитывать не только его содержание в биомассе, но и содержание всех неорганических и органических форм элемента в среде. Известно, что часть поглощенного элемента экскретируется водорослями в виде метилированных и свободных гидроселенидов, а также в составе свободных селеносодержащих аминокислот. Считается, что эти процессы лежат в основе механизма детоксикации селена при его избыточном поглощении [20,33]. Корректное определение содержания различных форм селена в культуральных средах представляет собой серьезную методическую проблему [33], чем и объясняется отсутствие таких измерений в нашей и подавляющем большинстве цитируемых нами работ других авторов.

В связи с выше изложенным, по полученным в данной работе экспериментальным данным можно лишь очень приблизительно оценить степень ассимиляции селена из среды *S. platensis* при выращивании ее в квазинепрерывной культуре. Средняя продуктивность спирулины (при данных световых и температурных условиях), как и в случае накопительной культуры, практически не зависела от концентрации селена в среде (рис. 4) и составляла 0,045-0,05 г сух. в./л-сутки. На третьи сутки эксперимента к моменту первого отбора проб для определения селена в водорослях, общий выход биомассы в каждом бассейне равнялся примерно 90 г сухого вещества. На это количество приходилось 55 и 220 мкг Se в питательной среде (с учетом ежедневной замены 10% суспензии водорослей свежей средой, содержащей селен в указанных в таблице концентрациях). Следовательно, за первые двое суток спирулина ассимилировала из среды в обоих вариантах опыта всего лишь около 0,5% селена.

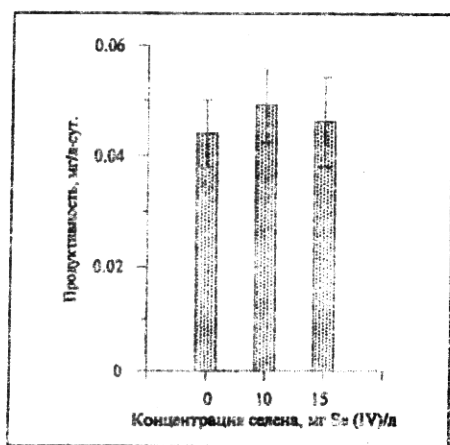


Рис.4 Средняя продуктивность спирулины в квазинепрерывной культуре при различных концентрациях селена в среде

Fig. 4 Mean productivity of spirulina in quasicontinuous culture at different concentrations of selenium in the medium

Для сравнения приведем данные, полученные в экспериментах по исследованию способности морских микроводорослей ассимилировать ^{75}Se при его концентрациях в среде, близких к природным [33]. Уже через 30 мин после внесения селенита натрия, меченого по селену, в концентрации 10^{-10} М / л ($\approx 0,008$ мкг/л) в культуру динофлагеллят *Cachonina niei*, в клетках обнаруживалось 12,5% радиоактивной метки, а через 24 ч этот показатель вырос до 66%. Уровень аккумулированного селена положительно коррелировал с его концентрацией в среде. Однако при максимальной концентрации 10^{-5} М ($\approx 0,8$ мг/л), содержание селена в биомассе начиная со вторых суток эксперимента неуклонно снижалось и на 14-е сутки упало на 50%.

Общее содержание селена в поверхностных прибрежных водах различных районов Мирового океана, по оценке различных авторов, колеблется от 0,008 до 8 мкг /л, причем на долю предпочитаемого одноклеточными водорослями Se (IV) приходится всего около 10% [12,23,25]. При этом уровень элемента в фитопланктоне, по [16], может быть на несколько порядков выше, чем в морской воде, и варьирует от 0,5 до 2,7 мкг/г сухого вещества.

По известным нам литературным сведениям, такая высокая степень накопления селена в клетках микроводорослей никогда не регистрировалась экспериментально при концентрациях элемента, существенно превышающих природный уровень. Многие авторы отмечают, что резистентность одноклеточных водорослей к соединениям селена в эксперименте значительно выше, чем в природных условиях, а их способность аккумулировать этот токсичный элемент существенно ниже. Это свидетельствует о наличии у водорослей адаптационных механизмов, включающих в себя регуляцию поступления, биотрансформации в нетоксичные формы и выведения избыточного количества селена. Эффективность "антиселеновой защиты" зависит не только от видовых особенностей водорослей (проницаемости клеточной оболочки и плазмалеммы, особенностей метаболизма, по-видимому, прежде всего белкового, продолжительности жизненного цикла и др.), но и условий окружающей среды (молярного соотношения S:Se, концентрации фосфатов, температуры, pH) [9,29,30,32,33]. Многообразие возможных сочетаний этих факторов, часто не поддающихся точной комплексной оценке, и определяет индивидуальную чувствительность организмов к селену.

В случае с *S.platensis* и другими видами спироулины, одним из факторов, определяющих их удивительную устойчивость к селену и способность накапливать элемент в количествах, не свойственных другим водорослям (*S. subsalsa*, по [37], аккумулирует до 700 мкг Se /г), может быть высокое содержание белка в клетках, достигающее 60% от сухого вещества [8,18]. Известно, что от 15 до 31% ассимилированного водорослями селена обнаруживается в белках и до 40% - в свободных аминокислотах [11,33,37]. При этом селен замещает серу с образованием селеноаминокислот. Последние, благодаря близости физико-химических свойств серы и селена, принимают участие в клеточном метаболизме наряду с S-аналогами. Более того, лабильность протона в -SeH- связях, по сравнению с SH-связями, значительно выше (ионизационный потенциал и энергия связи SeH ниже), что облегчает участие таких соединений в окислительно-восстановительных процессах [3,19].

Не менее важным моментом в механизме накопления селена спироулиной является физическая адсорбция селенидов полисахаридами (точнее, пептидогликанами), входящими в состав клеточной оболочки. По [37], *S. subsalsa* накапливает селен преимущественно этим способом.

Закключение. *S.platensis* способна переносить высокие концентрации селенита натрия как в накопительной, так и в квазинепрерывной культурах без ущерба для жизнедеятельности клеток. Средняя продуктивность и средняя удельная скорость роста спироулины при концентрациях селена от 1 до 20 мг Se (IV)/л не снижались по отношению к контролю.

Накопление селена в биомассе положительно коррелирует с его содержанием в питательной среде и достигает 14,3-24,6 мкг/г сухого вещества при концентрациях Se в среде 10 и 15 мг Se (IV)/л. Это позволяет рекомендовать внесение селенита натрия в указанных количествах в среду Заррука при массовом культивировании *S.platensis*. Подобное содержание общего селена вполне удовлетворяет современному требованию, предъявляемому к пищевым добавкам-нутрицевтикам, согласно которому содержание биологически активных микронутриентов в дневной дозе не должно превышать 25 - 30% его суточной потребности [5].

1. Авцын А.П., Строчкова Л. С, Жворонков А.А. Клеточный гомеостаз и микроэлементы // Архив патологии. - 1988. - Вып. 9. - С. 6 - 11.
2. Голубкина Н.А. Флуориметрический метод определения селена // Журн. анал. Химии. - 1995. - 50, № 5. - С. 492 - 497.
3. Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. Селеновые эндемии // Успехи современной биологии. - 1968. - 65. - Вып. 2. - С. 267 - 284.
4. Печеникова Е.В., Вашкова В.В., Можжев Е.А. О биологическом значении микроэлементов // Гигиена и санитария. - 1997. - № 4. - С. 41 - 43.

5. Определение безопасности и эффективности биологически активных добавок к пище: Методические указания. - М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. - 1999. - 87 с.
6. Смоляр В.И. Микроэлементозы, этиохарактеристика, систематизация, пути предупреждения // Рациональное питание. - 1989. - Вып. 24. - С. 3 - 11.
7. Abdel-Hamid M.I., Skulberg O.M. Effect of selenium on the growth of some selected green and blue-green algae // Lakes Reserv. Manage. - 1995. - 1, no. 3. - P. 205 - 211.
8. Belay A., Ota Y., Miyakawa K. et al. Current knowledge on potential health benefits of Spirulina // J. Appl. Phycol. - 1992. - 5, no. 2. - P. 235 - 241.
9. Besser J.M., Ganfield T.J., La-Point T.W. Bioaccumulation of organic and inorganic selenium in a laboratory food chain // Environ. Toxicol. Chem. - 1993. - 12, no. 1. - P. 57 - 72.
10. Boisson F., Karez C.S., Henry M. et al. Ultrastructural observations on the marine coccolithophorid *Cricosphaera elongata* cultured in the presence of selenium or cadmium // Biomineralization-'93: 7th International Symposium On Biomineralization. - Monaco-17-20 November 1993. - Monaco, 1996. - 14, no. 4. - P. 239 - 247.
11. Bottino N.R., Banks C.H., Irgolic K.J. et al. Selenium-containing amino acids and proteins in marine algae // Phytochemistry. - 1984. - 23, no. 11. - P. 2445 - 2452.
12. Burton J.D., Maher W.A., Measures C.I. et al. Aspects of the distribution and chemical form of selenium and arsenic in ocean waters and marine organisms // Thalassia. - 1980. - 16, no. 2-4. - P. 155 - 164.
13. Gennity J.M., Bottino N.R., Zingaro R.A. et al. The binding of selenium to the lipids of two unicellular marine algae // Biochem. Biophys. Res. Commun. - 1984. - 118, no. 1. - P. 176 - 182.
14. Goisis O. Combined effects of selenium/mercury and selenium/copper on the cell population of the alga *Dunaliella minuta* // Mar. Biol. - 1982. - 71, no. 3. - P. 217 - 222.
15. Lindstroem K. Selenium as a growth factor for plankton algae in laboratory experiments and in some Swedish lakes // Hydrobiologia. - 1983. - 101, no. 1-2. - P. 35 - 48.
16. Liu D.L., Yang Y.P., Hu M.H. et al. Selenium content of marine food chain organisms from the coast of China // Mar. Environ. Res. - 1987. - 22, no. 2. - P. 151 - 165.
17. Moede A.R., Greene W., Spenser D.F. Effect of selenium on the growth and phosphorus uptake of *Scenedesmus dimorphus* and *Anabena cylindrica* // Environ. Exp. Bot. - 1980. - 20. - P. 207 - 212.
18. Nouee J., Proulx D., Dion P. et al. Drug and chemical from aquaculture // Business-joins-science. - Bordeaux :Depauw N.,Billard R.-eds., 1990. - P. 389-418.
19. Olson R., Schwarz K., Horwitt M. et al. Nutrition symposium: interrelationships among vitamin E, coenzyme Q and selenium // Fedn. Proc.fedn Am. Soc. exp. Biol. - 1965. - 24. - P. 55 - 92.
20. Oyamada N., Takahashi G., Ishizaki M. Methylation of inorganic selenium compounds by freshwater green algae, *Ankistrodesmus* sp., *Chlorella vulgaris* and *Selenastrum* sp. // Eisei Kagaku. - 1991. - 37, no. 2. - P. 83 - 88.
21. Patrick R. Effects of trace metals in the aquatic ecosystem // Am. Sci.. - 1978. - 66, no. 2. - P. 185 - 191.
22. Prevot P., Soyer-Gobillard M.O. Responses to the action of cadmium and selenium in two dinoflagellates *Prorocentrum micans* E. and *Cryptecodinium cohnii* B. // Ministère de l'Environnement, Paris France. Com. Scientifique Milieu Marin. - 1988. - 14, no. 1. - P. 267 - 271.
23. Qiao X.F., Lan S.H., Lin J.Y. Fluorimetric determination of Se (IV), Se (VI) and total selen in sea water // Mar. Sci. Bull. - 1985. - 4. - P. 13 - 17.
24. Riedel G.F., Sanders J.G., Gilmour C.C. Uptake, transformation, and impact of selenium in freshwater phytoplankton and bacterioplankton communities // Aquat. Microb. Ecol. - 1996. - 11, no. 1. - P. 43 - 51.
25. Roberrecht H., van Grieken R. Selenium in environmental waters; determinations, speciations and concentration levels // Talanta. - 1982. - 29. - P. 823 - 844.
26. Rudd J.W., Turner M.A., Townsend B.E. et al. Dynamics of Selenium in mercury-contaminated experimental freshwater ecosystem // Can. J. Fish. Aquat. Sci. - 1980. - 37. - P. 848 - 857.
27. Turner M.A., Rudd J.W. The English-Wabigoon River system. III. Selenium in lake enclosures: its geochemistry, bioaccumulation, and ability to mercury bioaccumulation // Can. J. Fish. Aquat. Sci. - 1983. - 40. - P. 2228 - 22240.
28. Wehr J.D., Brown L.M. Selenium requirement of a bloom-forming planktonic algae from softwater and acidified lakes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. - 1985. - 42. - P. 1983 - 1877.
29. Wheeler A.E., Zingaro R.A., Irgolic K. et al. The effect of selenate, selenite, and sulfate on the growth of six unicellular marine algae // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. - 1982. - 57. - P. 181 - 194.
30. Wong D., Oliveira L. Effects of selenite and selenate on the growth and motility of seven species of marine microalgae. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. - 1991. - 48, no. 7. - P. 1193 - 1200.

31. Wrench J.J. Selenium metabolism in the marine phytoplankters *Tetraselmis tetrathele* and *Dunaliella minuta* // Mar. Biol. - 1978. - 49. - P. 231 - 236.
32. Wrench, J.J., Measures C.I. Temporal variations in dissolved selenium in a coastal ecosystem // Nature, Lond. - 1982. - 299. - P 431 - 433.
33. Vandermeulen J.H., Foda A. Cycling of selenite and selenate in marine phytoplankton. // Mar. Biol. - 1988. - 98, no. 1. - P. 115 - 123.
34. Zarrouk C. Contribution a l'etude d'une cyanophycee. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina maxima* //Thesis University of Paris.- 1966..
35. Zhou Z.G., Liu Z.L. Effects of selenium on the growth and selenium contents of *Spirulina maxima* // Mar. Sci. Haiyang Kexue. - 1997. - no. 5. - P. 42 - 45.
36. Zhou Z.G., Liu Z.L. Effects of selenium on lipid peroxidation in *Spirulina maxima* //Bot.-Mar. - 1997. - 40, no. 2. - P. 107 - 112.
37. Zhou Z., Li P., Liu Z., et al. Study on the accumulation of selenium and its binding to the proteins, polysaccharides and lipids from *Spirulina maxima*, *S. platensis* and *S. subsalsa* // Oceanol. Limnol. Sin. Haiyang Yu Huzhao. - 1997.- 28, no. 4. - P. 363 - 370.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 01.09.2000

G.S. MINYUK, R.P. TRENKENSHU, A.V. ALISIEVICH,
I.V. DROBETSKAJA

THE EFFECT OF SELENIUM ON THE GROWTH OF *SPIRULINA PLATENSIS* (NORDS.) IN BATCH AND QUASICONTINUOUS CULTURES

Summary

Data concerning the influence of different concentrations of sodium selenite on *Spirulina platensis* growth characteristics are reported. It was shown that within the range from 1 to 20 mg Se(IV) / l mean productivity and specific growth rate in batch and quasicontinuous cultures were not decreased with reference to control. Stimulative effect of selenium in concentrations of 5 and 10 mg/l was observed. The positive correlation between selenium concentration in nutrient medium and microalgae biomass was established.