

И. В. ДРОБЕЦКАЯ, Г. С. МИНЮК

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЧЕВИНЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЦИАНОБАКТЕРИИ
SPIRULINA (ARTHROSPIRA) PLATENSIS
МЕТОДОМ НЕПРОПОРЦИОНАЛЬНО ПРОТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ**

Исследованы ростовые характеристики и химический состав *Spirulina (Arthrospira) platensis* (содержание белка и фотосинтетических пигментов) в зависимости от концентрации различных форм азота в питательной среде (мочевины, нитратов и их смесей различного состава) при выращивании в открытых культиваторах методом непропорционально проточной культуры.

Планктонная цианобактерия *Spirulina (Arthrospira) platensis* была введена в интенсивную культуру еще в конце 40-х годов XX столетия и до настоящего времени остается одним из ведущих объектов фикобиотехнологии. В питательных средах для спироулины в качестве источника азота, как правило, используют соли азотной кислоты [5, 10, 22, 24, 26]. В то же время в ряде работ показано, что многие цианобактерии, в том числе и *Arthrospira* spp., способны не менее эффективно, чем нитраты, ассимилировать мочевины (или карбамид) [4, 9, 22]. Замена нитратов на карбамид – $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$ имеет ряд потенциальных преимуществ. Энергетическая стоимость трансформации восстановленного азота мочевины (N^{-3}) в ион NH_4^+ , по сравнению с окисленной формой элемента в нитратах (N^{+5}), существенно ниже, так как не требует затрат восстановительных эквивалентов. Одновременно с этим, при ферментативном гидролизе $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ помимо аммиака образуется оксид углерода (IV), который может быть утилизирован клетками наряду с гидрокарбонатами [10, 24]. Кроме того, использование более концентрированного и почти в два раза более дешевого реагента предполагает ощутимое сокращение расходов на производство. Однако, при оценке перспектив применения $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ не следует упускать из вида возможность негативных последствий, среди которых, прежде всего, следует указать на усиление химического гидролиза $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ по мере защелачивания питательной среды. Преобладание в растворе при $\text{pH} > 9,25$ NH_3 над NH_4^+ в сочетании с более высокой проницаемостью молекулярной формы через клеточные мембраны приводит (при концентрациях NH_3 выше 2,5 мМ) к нарушению фотосинтеза и гибели клеток многих видов микроводорослей [3, 7, 26]. По мнению [6], для *Spirulina* spp. эта опасность выражена менее остро из-за высокого внутриклеточного pH, лимитирующего проникновение NH_3 в клетки. Возможно, именно поэтому спироулина может расти при концентрациях мочевины, достигающих 300 – 2000 мг/л [9, 22]. Известно, что экстраполяция выводов, сделанных на основании лабораторных экспериментов в малых объемах накопительных культур микроводорослей, на промышленные системы далеко не всегда бывает корректной. В связи с этим в данной работе была предпринята попытка оценить возможность использования мочевины в качестве единственного источника азота, а также в сочетании с нитратами при массовом культивировании спироулины по технологии, разработанной в ИнБЮМ НАН Украины (ТУ 9284-002-26110950-99).

Основные задачи нашего исследования заключались в определении влияния концентрации карбамида, а также состава его смесей с нитратами на рост *S. platensis* и биологическую ценность получаемой биомассы (содержание белка, хлорофилла *a*, *C*-фикоцианина и общих каротиноидов).

Материал и методы. Работа выполнена в июне 2001 г. Спироулину выращивали в типовой стеклянной теплице при естественном освещении в открытых прямоугольных бассейнах (1,91 × 0,68 м). Объем культур составлял 100 л при высоте слоя раствора 7,7 см. Освещенность на поверхности культур варьировала от 40 до 1200 $\mu\text{E} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Температура питательного раствора изменялась в диапазоне 18 – 32 °С. В контроле питательной средой служила среда Заррука [25], в которой содержание трилона Б было увеличено до 200 мг/л, а содержание нитратного азота (N^{+5}) до 500 мг/л (2,6 г/л NaNO_3 и 0,52 г/л KNO_3). В 1 – 6-м вариантах эксперимента нитраты были заменены на $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$

© И. В. Дробецкая, Г. С. Минюк, 2004

Экология моря. 2004. Вып. 65

концентрациях 10, 30, 60, 100, 300 и 400 мг N³/л. В 7 – 12-м вариантах источником азота служили смеси (NH₂)₂ CO и нитратов различного состава. Общее содержание азота в смесях во всех случаях было таким же, как и в контроле (500 мг N /л), а доля (NH₂)₂ CO составляла 2 % (10 мг N³/л), 6 % (30 мг N³/л), 12 % (60 мг N³/л), 20 % (100 мг N³/л), 60 % (300 мг N³/л) и 80 % (400 мг N³/л). Способ подготовки и внесения инокулята был таким же, как и в [1]. С 1-х по 6-е сутки спирулину выращивали методом квазинепрерывной культуры с ежедневным 10 % обменом [1, 2]. Начиная с 7-х суток, перед выполнением обмена часть биомассы, сосредоточенной в поверхностном слое, удаляли с целью поддержания плотности культур на уровне 0,5 – 0,6 г абсолютно сухого вещества (АСВ) в литре. Величину биомассы и продуктивность (Р) спирулины определяли методами описанными ранее [1, 2]. Среднесуточные удельные скорости роста (μ) рассчитывали по уравнению $\mu t = \ln x/x_0$ (где x и x_0 – величины биомассы до и после обмена) [25].

Массовую долю белка определяли по Лоури [19], содержание пигментов – спектрофотометрическими методами [23]. Хлорофилл *a* (ХЛ) экстрагировали 100 % ацетоном, его концентрацию рассчитывали по специфическому коэффициенту экстинкции, равному 88,15 г·л⁻¹·см⁻¹ (при $\lambda = 663$ нм) [15]. Каротиноиды (КР) экстрагировали этанолом, омыляли (0,1 мл 50 % КОН на 1 мл спиртового экстракта, 30 мин при 60°C) и переводили в гексан. Концентрацию КР в гексановой фракции определяли по поглощению в области 450 нм при $A_{1\text{см}}^{1\%} = 2500$ [18]. Фикобилипротеины выделяли фосфатным буфером (0,1М; рН=7). Содержание С-фикоцианина (ФЦ) рассчитывали по [20].

Результаты и обсуждение. Метод непропорционально проточной культуры, использованный нами для выращивания спирулины, можно рассматривать как некоторый промежуточный вариант между накопительным режимом и турбидостатом. Периодическая замена части обедненной питательной среды на полноценную, в сочетании с поддержанием уровня биомассы в определенных границах, замедляют процесс развития дефицита биогенов и обеспечивают длительное поддержание культур. Ежедневный 10 % обмен не приводит к резкому скачку концентрации солей в растворе и развитию лаг-периода. Поэтому средние μ (для отдельных суток) рассчитывали по уравнению, принятому для накопительных культур на экспоненциальной фазе роста [25].

В качестве физиолого-биохимических индикаторов обеспеченности клеток азотом использовали содержание белка, ФЦ, ХЛ и КР. Как было показано ранее, у *Cyanobacteria* при недостатке азота в среде содержание белка и пигментов быстро снижается, причем эти изменения регистрируются раньше, чем уменьшение P и μ [1, 10, 24]. Содержание ФЦ падает быстрее, чем содержание ХЛ, поэтому уменьшение индекса ФЦ/ХЛ служит дополнительным симптомом для азотного голодания [8, 11]. Что касается КР, то их запасы у *Cyanobacteria* заметно сокращаются только при остром лимите элемента [1, 12, 14], а явление вторичного каротиногенеза, присущее в таких случаях некоторым зеленым микроводорослям [16], для цианобактерий не характерно.

Полученные результаты показывают, что использование органической формы азота в условиях непропорционально проточной культуры не меняет характера ответной реакции цианобактерии на дефицит биогена (рис.1 и 2, табл.). При концентрации мочевины 10 – 30 мг N³/л рост и метаболизм клеток угнетался уже в течение первой недели. Причем, если μ начали снижаться только на 5 – 6-е сутки (см. рис.1 а, б), то содержание белка и пигментов в это время уже было существенно ниже, чем в контроле (см. табл.).

В вариантах 60 – 100 мг N³/л, судя по продуктивности и химическому составу биомассы, обеспеченность клеток азотом была адекватной только на этапе 1 – 6-е сутки. В дальнейшем постепенно развивающийся внешний дефицит биогена компенсировался за счет использования внутренних резервов (ФЦ и других белков), что позволило культурам удерживать темпы роста, сходные с контролем.

Высокие концентрации мочевины (300 и 400 мг N³/л) в первые дни ингибировали культуры, но по мере уменьшения концентрации NH₃ в среде, темпы роста начали возрастать и на 18 – 20-е сутки превысили уровень контроля (рис. 1 д, е). Обращает на себя внимание тот факт, что при содержании мочевины 100 и особенно 300 – 400 мг N³/л на 6-е сутки, в отличие от вариантов с явно выраженным азотным дефицитом, соотношение ФЦ/ХЛ изменилось в пользу фикобилипротеина.

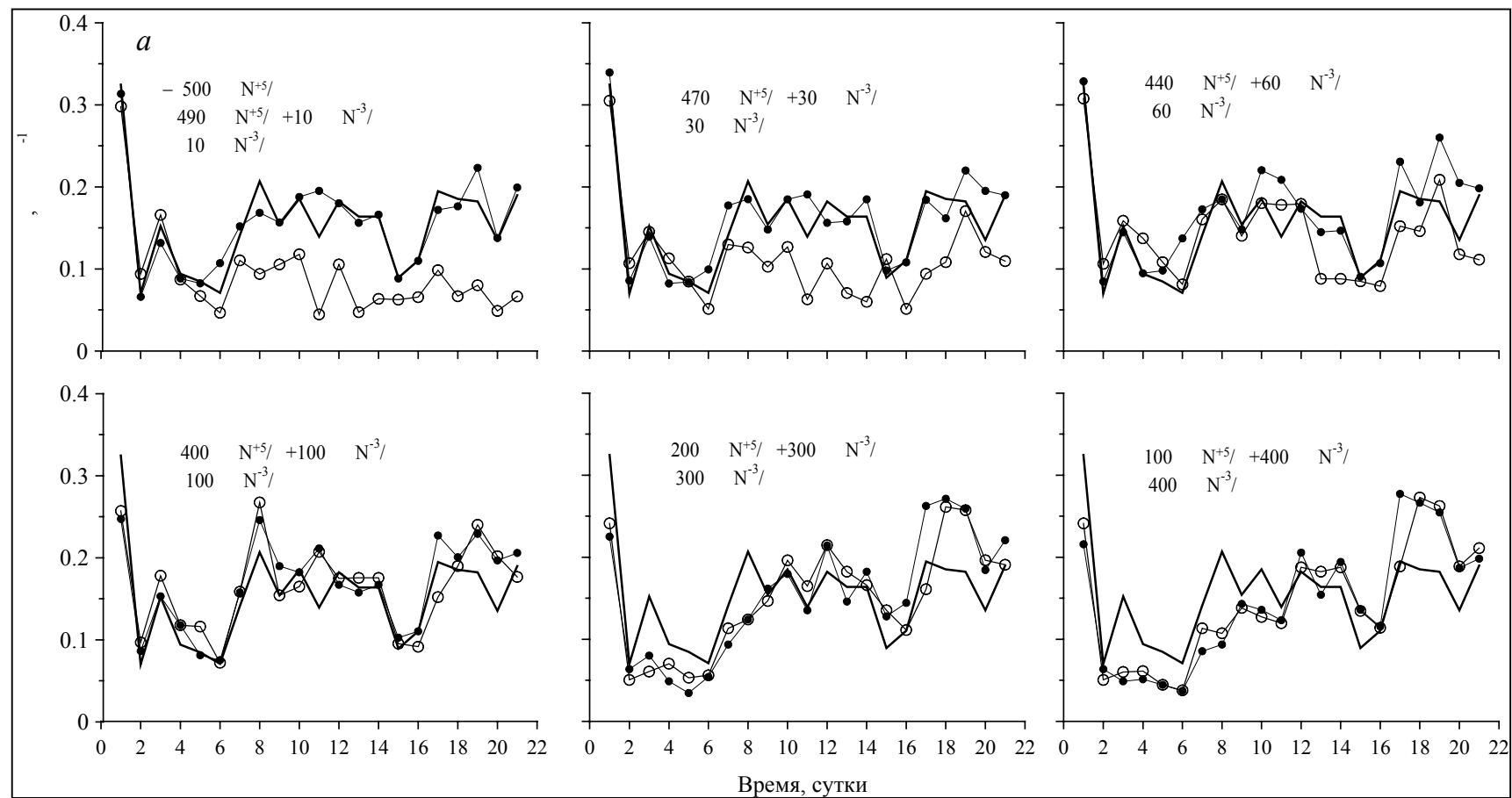


Рисунок 1. Динамика среднесуточных удельных скоростей роста *Spirulina (Arthrospira) platensis* при различных условиях азотного питания.
 Figure 1. Dynamics of daily mean specific growth rates of *Spirulina (Arthrospira) platensis* under different nitrogen nutrition conditions.

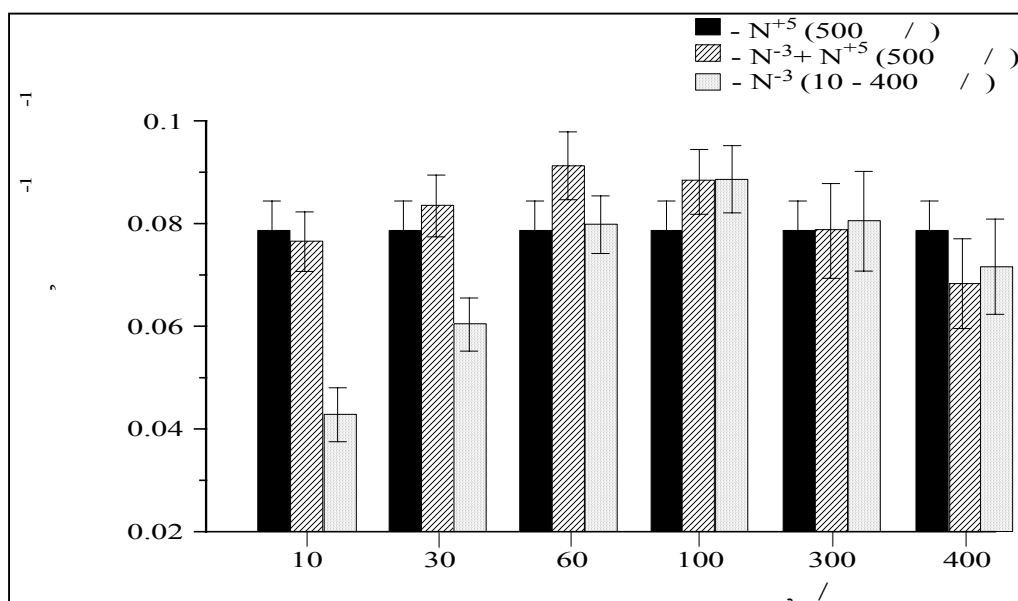


Рисунок 2. Средняя продуктивность *Spirulina (Arthrospira) platensis* ($x \pm SE$) в зависимости от формы и концентрации азота в питательной среде
Figure 2. Mean productivity of *Spirulina (Arthrospira) platensis* ($x \pm SE$) depending on nitrogen form and concentration in culture medium

Вряд ли можно расценивать этот признак как благоприятный, так как в ряде случаев у цианобактерий накопление ФЦ на фоне снижения содержания ХЛ отмечалось в ответ на действие неблагоприятных факторов среды [13, 24].

Следует заметить, что динамика содержания N^{-3} в открытых культиваторах определялась не только скоростью ассимиляции субстрата клетками спирулины, но и скоростью испарения NH_3 , образующегося в щелочной среде при гидролизе мочевины [17]. При этом вклад абиотической составляющей, по данным [21], мог быть очень весомым (до 60 % от общей убыли азота в среде) и на заключительной стадии эксперимента жизнедеятельность клеток обеспечивалась, по всей вероятности, только за счет ежедневных подкормок, существенно различавшихся по содержанию биогена (от 1 до 40 мг N^{-3} /л). Надо полагать, что в конце эксперимента обеспеченность азотом в варианте № 6 была наиболее оптимальной, так как рост и химический состав культуры были сходными с контролем.

Замена 2 и 6 % N^{+5} на N^{-3} не оказывала заметного влияния на рост и метаболизм спирулины (рис.1 а, б; рис. 2; табл.). При увеличении доли N^{-3} в смесях до 20, 60 и 80% μ во всех случаях практически совпадали с μ на средах, где источником азота служила одна мочевины, взятая в таких же концентрациях. Такое совпадение все же не означает, что потребности в азоте в обеих параллелях обеспечивались только за счет амида, т.е. происходило блокирование ассимиляции нитратов, характерное для смесей NH_4^+ и NO_3^- [10, 24]. Более высокие уровни белка и пигментов в спирулине, из вариантов 100 мг N^{-3} /л + 400 мг N^{+5} /л и 300 мг N^{-3} /л + 200 мг N^{+5} /л, по сравнению с вариантами 100 мг N^{-3} /л и 300 мг N^{-3} /л, указывают на совместную утилизацию обеих форм азота. Отсутствие сведений о динамике содержания N^{-3} и N^{+5} в среде (в данном эксперименте эти показатели не регистрировали) не позволяет утверждать, что нитраты и мочевины ассимилировались клетками спирулины одновременно.

В качестве рабочей гипотезы для дальнейших исследований можно предложить следующее объяснение полученных результатов. Способность молекул мочевины проникать через плазмалемму цианобактерий путем диффузии, а также более короткий метаболический путь ее трансформации в ион NH_4^+ могли определять приоритетное использование $(NH_2)_2CO$ в присутствии нитратов при нетоксичных концентрациях послед-

Таблица. Содержание белка и пигментов в сухой биомассе спирулины при различных условиях азотного питания ($\bar{x} \pm SE$)
 Table. Protein and pigment contents in *Spirulina platensis* dry biomass under different condition of nitrogen nutrition ($\bar{x} \pm SE$)

Время, сутки	Концентрация N ⁻³ , мг/л	Белок, %		Хлорофилл, %		Фикоцианин, %		Каротиноиды, мкг/г		% фикоцианина в белке		ФЦ/ХЛ	
		мочевина	мочевина + нитраты*	мочевина	мочевина + нитраты	мочевина	мочевина + нитраты	мочевина	мочевина + нитраты	мочевина	мочевина + нитраты	мочевина	мочевина+ нитраты
6-е	10	36,4±0,4	64,9±0,3	0,73±0,03	1,37±0,03	3,16±0,04	9,03±0,13	2293±10	3642±14	8,68	13,91	4,32	6,59
	30	57,0±0,6	64,5±0,4	0,93±0,03	1,35±0,02	4,99±0,13	8,15±0,15	2523±11	3591±9	8,75	12,64	5,37	6,04
	60	66,7±0,7	67,1±0,3	1,33±0,02	1,37±0,02	8,14±0,15	7,30±0,20	3103±8	3058±38	12,20	10,89	6,12	5,33
	100	71,2±0,2	71,6±0,3	1,25±0,04	1,23±0,03	10,83±0,07	7,90±0,10	2806±6	3119±31	15,21	11,04	8,66	6,42
	300	71,1±0,6	69,3±0,1	0,95±0,03	0,93±0,02	10,19±0,19	9,26±0,28	2907±12	3055±23	14,34	13,36	10,73	9,96
	400	72,4±0,8	71,3±0,2	0,92±0,01	0,91±0,02	9,65±0,25	9,32±0,12	2962±4	3058±15	13,33	13,07	10,49	10,24
	Контроль	67,5±0,4		1,33±0,04		8,97±0,21		3342±8		13,29		6,74	
17-е	10	21,2±0,2	65,3±0,4	0,35±0,03	1,22±0,004	0,71±0,03	8,25±0,13	1232±6	3246±30	3,35	12,63	2,03	6,76
	30	31,6±1,1	61,8±0,2	0,44±0,03	1,15±0,03	1,27±0,04	8,30±0,06	1500±14	3056±33	4,02	13,43	2,89	7,22
	60	42,5±0,7	64,6±0,3	0,70±0,02	1,15±0,02	2,26±0,06	7,80±0,04	1930±15	3118±42	5,32	12,07	3,23	6,78
	100	56,7±0,3	65,5±0,2	0,85±0,02	1,2±0,03	4,42±0,04	7,86±0,08	2048±16	3439±18	7,80	12,00	5,20	6,55
	300	-	69,9±0,1	1,18±0,03	1,08±0,04	6,93±0,03	9,10±0,1	2830±14	3227±11	-	13,02	5,87	8,42
	400	-	67,8±0,3	1,12±0,03	1,18±0,02	7,08±0,08	8,90±0,1	2832±8	3251±13	-	13,13	6,32	7,54
	Контроль	67,8±0,2		1,11±0,02		8,18±0,15		2827±11		12,06		7,37	
21-е	10	20,7±0,2	64,7±0,2	0,30±0,01	1,28±0,04	0,71±0,02	8,14±0,14	1106±7	3250±4	3,43	12,58	2,37	6,36
	30	28,3±0,5	62,0±0,5	0,41±0,01	1,21±0,03	1,24±0,04	7,00±0,07	1134±6	3026±11	4,38	11,29	3,03	5,78
	60	35,0±0,1	64,0±0,2	0,55±0,03	1,28±0,02	1,75±0,07	7,61±0,19	1546±8	3021±3	5,00	11,89	3,19	5,94
	100	45,2±0,1	64,4±0,6	0,82±0,01	1,23±0,03	3,81±0,11	7,95±0,15	2091±4	2862±8	8,43	12,34	4,65	6,46
	300	63,9±0,3	66,0±0,5	1,25±0,04	1,17±0,03	6,30±0,12	7,45±0,15	2278±6	2962±8	9,86	11,29	5,04	6,37
	400	65,1±0,3	65,2±0,6	1,28±0,02	1,11±0,01	7,05±0,12	7,15±0,10	2337±7	2754±13	10,84	10,97	5,51	6,44
	Контроль	65,9±0,4		1,33±0,03		8,08±0,08		2777±67		12,26		6,07	

Примечание: - – данные отсутствуют

ней в среде. После утилизации более доступной формы азота начиналась ассимиляция нитратов. В смесях, где мочевины преобладала, в первые дни эксперимента NH_3 и NH_4^+ нарушали биосинтез ХЛ и «отключали» ассимиляцию нитратов, что в совокупности приводило к ингибированию роста. По мере испарения аммиака клеточный метаболизм и порядок использования азотных субстратов восстанавливались.

Закключение. Полученные результаты позволяют сделать ряд предварительных заключений относительно возможности использования мочевины при выращивании *S. platensis* в культиваторах открытого типа и наметить дальнейшие шаги в решении поставленной задачи. Прежде всего, следует указать на то, что способ внесения азота в питательную среду, применяемый для нитратов, для мочевины не рационален из-за токсичности высоких концентраций этой формы азота, а также больших непродуктивных потерь реагента. Благополучное состояние культур в вариантах 60 и 100 мг N^{-3} /л в течение 1 – 6-х суток, а также в вариантах 300 и 400 мг N^{-3} /л в интервале 17– 22-е сутки указывают на то, что мочевины лучше вносить в среду небольшими порциями через короткие промежутки времени. Следующий этап работы должен заключаться в исследовании темпов роста, химического состава спироулины и динамики содержания азота в среде при дробной подкормке мочевиной через различные интервалы времени и начальных концентрациях, не превышающих 60 мг N^{-3} /л.

1. Минюк Г. С., Дробецкая И. В., Тренкениу Р. П., Вялова О. Ю. Ростовые и биохимические характеристики *Spirulina (Arthrospira) platensis* (Nordst.) Geitler при различных условиях азотного питания // Экология моря. - 2002. - Вып. 62. - С. 61 – 66.
2. Минюк Г. С., Тренкениу Р. П., Алисиевич А. В., Дробецкая И. В. Влияние селена на рост *Spirulina platensis* (Nords.) в накопительной и квазинепрерывной культурах // Экология моря. - 2001. - Вып. 54. - С. 42 - 49.
3. Abielovich A., Azov Y. Toxicity of ammonia to algae in sewage oxidation ponds // Appl. Environ. Microbiol. – 1976. - **31**. - P. 801 - 806.
4. Baldia S. F., Nishijima T., Hata Y., Fukami K. Growth characteristics of a blue-green alga *Spirulina platensis* for nitrogen utilization // Nippon Suisan Gakkaishi. - 1991. – **57**, No 4. - P. 645 - 654
5. Belay A. Mass culture of *Spirulina* outdoors // *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, cell-biology and biotechnology*. - London: Taylor & Francis, 1997. - P. 131 - 158.
6. Belkin S., Boussiba S. Resistance of *Spirulina platensis* to ammonia at high pH values // Plant. Cell Physiol. -1991. - **32**, no. 7. - P. 953 – 958.
7. Boussiba S, Gibson J. Ammonia translocation in cyanobacteria // Fems. Microbiol. Rev. - 1991. - **88**, №. 1. - P. 1 - 14.
8. Boussiba S., Richmond A. C-phycocyanin as a storage protein in the blue-green alga *Spirulina platensis* // Arch. Microbiol. - 1980. - No 125. - P. 143 - 147.
9. Faucher O., Coupal B., Leduy A. Utilization of seawater-urea as a culture medium for *Spirulina maxima* // Can. J. Microbiol. - 1979. - **25**. - P. 752 - 759.
10. Flores E., Herrero A. Assimilatory nitrogen metabolism and its regulation / Molecular biology of cyanobacteria. - Kluwer Acad. Publ., 1994. - P. 119 - 138.
11. Foy R. H. The phycocyanin to chlorophyll a ratio and other cell components as indicators of nutrient limitation in two planktonic cyanobacteria subjected to low-light exposures // J. Plankton Res. - 1993. – **15**, no 11. – P. 1263 - 1276.
12. Grossman A., Schaefer M. R., Chiang G. G., Collier J. L. The responses of Cyanobacteria to environmental conditions: light and nutrients / Molecular biology of Cyanobacteria. - Kluwer Acad. Publ., 1994. - P. 641 - 675.
13. Hatfield P. M., Giukema J. A., St.-John J. B., Gendel S. M. Characterization of the adaptation response of *Anacystis nidulans* to growth in the presence of sublethal doses of herbicide // Curr. Microbiol. - 1989. - **18**, no 6. - P. 369 - 374.
14. Hirschberg J., Chamovitz D. Carotenoid in Cyanobacteria / The molecular biology of Cyanobacteria. – Kluwer Acad. Publ., 1994. - P. 559 - 579.
15. Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁, and c₂ in higher plants, algae and natural populations // Biochem. Physiol. Pflanzen. - 1975. - **167**. - P. 191 - 194.
16. Krishna K. B, Mohanty P. Secondary carotenoid production in green algae // J. Sci. Ind. Res. - 1998. - **57**, no. 2. - P. 51 - 63.

17. Laliberté G., Olguin E. J., de la Noüe J. Mass cultivation and wastewater treatment using *Spirulina* // *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology. - London: Taylor & Francis, 1997. - P. 159 - 173.
18. Liaaen-Jensen S., Andrewes A. G. Analyses of carotenoids and related polyene pigments // *Meth. Microbiol.* - 1985. - **18**. - P. 235 - 255.
19. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Faar A. L., Randall R. J. Protein measurement with folin phenol reagent // *J. Biological Chemistry* .- 1951. - **193**. - P. 265 - 275.
20. MacColl R., Guard-Friar D. Phycobiliproteins. - Boca Raton, FL: CRC Press, 1987. - 218 p.
21. Proulx D., Lessard P., de la Noüe J. Tertiary treatment of secondarily treated urban wastewater by intensive culture of *Phormidium bohnerie* // *Environ. Technol.* - 1994. - **15**. - P. 449.
22. Richmond A. *Spirulina* / Micro-algal biotechnology. - Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1988. - P. 85 - 121.
23. Rowan K. S. Photosynthetic pigments of algae. - Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1989. - 334 P.
24. Syrett P. J. Nitrogen metabolism of microalgae // *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* - 1981. - 210. - P. 182 - 210.
25. Vonshak A. Laboratory techniques for the cultivation of microalgae / *Handbook of microalgal mass culture*. - Boca Raton, FL: CRC Press, 1986. - P. 117 - 145.
26. Vonshak A. Outdoor mass production of *Spirulina*: The basic concept / *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. - London: Taylor & Francis, 1997. - P. 79 - 99.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 05.06.2004

I. V. DROBETSKAYA, G. S. MINYUK

THE USE OF UREA AT CULTIVATION OF CYANOBACTERIA *SPIRULINA* (*ARTHROSPIRA*) *PLATENSIS* BY DISPROPORTIONATELY CONTINUOUS MODE

Summary

The growth characteristics and chemical composition of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* were investigated depending on concentrations of various nitrogen forms in nutrient medium (urea, nitrates and their mixtures in various compositions) while cultivating under open-air systems condition by disproportionately continuous mode.

ВЫШЛА В СВЕТ МОНОГРАФИЯ

Гаевская А. В. Паразитология и патология рыб. Энциклопедический словарь-справочник. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 231 с.

Универсальное справочное издание включает 2400 статей по различным аспектам паразитологии и патологии рыб, инфекционным, инвазионным и алиментарным заболеваниям выращиваемых и аквариумных рыб, мерам их профилактики и терапии, а также по болезням рыб в естественной среде. Приведены краткие сведения о возбудителях заболеваний, о морфологии, анатомии и физиологии рыб, о наиболее распространенных семействах промысловых морских и пресноводных рыб, по проблемам загрязнения водоемов и влиянию факторов среды на развитие тех или иных заболеваний.

Для ихтиопатологов, ветеринарных врачей, ихтиологов, рыбоводов, аквариумистов, работников рыбодобывающих и рыбообработывающих отраслей, экологов, студентов рыбохозяйственных и ветеринарных учебных заведений, а также биологических факультетов университетов и институтов.

Стоимость монографии – 20 грн.

Заказать и приобрести монографию можно в библиотеке ИнБЮМ

по адресу: Институт биологии южных морей НАН Украины, просп. Нахимова, 2
99011 Севастополь Украина