

УДК 582.232:581.121

А.Л. АВСИЯН

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины,
пр-т. Нахимова, 2, 99011 Севастополь, Украина
e-mail: anna.l.avsiyan@gmail.com

ДИНАМИКА ПОТЕРИ БИОМАССЫ В КУЛЬТУРЕ *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (NORDST.) GEITLER (*CYANOPROKARYOTA*) В ТЕМНОВЫХ УСЛОВИЯХ

Получены новые данные о динамике потери биомассы в культуре *Arthrospira platensis* в условиях темноты. Показано, что скорость потери биомассы не является постоянной, а снижается экспоненциально с течением времени. Предложено уравнение, описывающее динамику плотности культуры в темновых условиях.

Ключевые слова: *Arthrospira platensis*, темновые условия, потеря биомассы, темновое дыхание.

Введение

При культивировании микроводорослей в условиях естественного освещения было отмечено, что в течение ночи их биомасса снижается. Для описания этой потери применяют понятие ночная потеря биомассы (НПБ), которое суммарно объединяет снижение биомассы в результате темнового дыхания, выделения экзометаболитов, отмирания клеток. НПБ выражают либо как долю биомассы на окончание темнового периода, либо как долю продукции за предыдущий световой период (Torzillo et al., 1991; Hu et al., 1996).

Arthrospira platensis — один из наиболее широко используемых в биотехнологии видов микроводорослей. В большинстве случаев её культивирование осуществляется в открытых бассейнах при естественном светотемновом режиме, что приводит к неизбежным потерям биомассы в течение ночи. Показано, что НПБ в культуре *A. platensis* составляет почти 11 % биомассы при плотности культуры $0,8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ (Hu et al., 1996). При оценке НПБ *A. platensis* в течение летнего сезона (Torzillo et al., 1991) эта величина составляла от 3,6 до 10,3 % биомассы в зависимости от световых и температурных условий.

НПБ в культурах микроводорослей и *Cyanoprokaryota* может составлять до 10–50 % дневной продукции (Eppley, Chapp, 1975; Grobbelaar, Soeder, 1985). Однако имеющиеся сведения ограничиваются определением биомассы лишь в начале и в конце темнового периода (Torzillo et al., 1991; Hu et al., 1996).

Исследование почасовой динамики потери биомассы в культурах микроводорослей и цианобактерий в темноте представляет интерес для возможности ее математического моделирования и прогностического описания.

Цель данной работы — исследование динамики потери биомассы в культуре *A. platensis* в условиях темноты.

Материалы и методы

Объектом исследования была культура цианобактерии *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* (штамм IBBS–31) из коллекции культур ИнБЮМ НАНУ. Эксперимент

© А.Л. Авсиян, 2014

проводили на питательной среде Заррука (Zarrouk, 1966) в культиваторах плоско-параллельного типа объёмом 3 л с длиной светового пути 5 см. Температура культуральной среды составляла 33–35 °С во время светового периода и 30–32 °С во время темного периода, освещенность поверхности культиваторов – 10 кЛк, свето-темновой режим – 16 ч света : 8 ч темноты. Перемешивали путём непрерывного барботирования воздухом как на свету, так и в темноте со скоростью 0,5 л · мин⁻¹ · л⁻¹ культуры. Постоянная плотность культуры поддерживалась на уровне 1,5–1,6 ед. опт. пл. посредством ежедневного разбавления питательной средой. В течение темного периода каждый час отбирали пробы в 3-кратной повторности, оптическую плотность культуры измеряли на длине волны 750 нм, а также каждые два часа отбирали пробы для определения сухой биомассы путем фильтрования (Методы ..., 1975). Суспензию объёмом 5 мл осаждали на фильтрах из фильтровальной бумаги, которые затем доводили до постоянного веса при температуре 105 °С.

Общую потерю биомассы в темноте по отношению к начальной биомассе (*NBL*) рассчитывали следующим образом:

$$NBL = \frac{B'_L - B_D}{B'_L} \cdot 100\%$$

где B'_L – биомасса в конце предыдущего светового периода, г · л⁻¹; B_D – биомасса в конце темного периода, г · л⁻¹ (Ну, 1996).

Результаты и обсуждение

Во время эксперимента получены данные о подробной динамике биомассы в культуре *A. platensis*. В течение темного периода (8 ч) наблюдалось значительное снижение плотности культуры (рис. 1). Здесь и далее на рисунках приведены средние значения величин и доверительные интервалы.

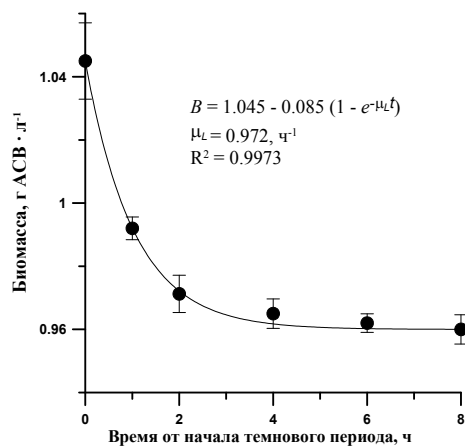


Рис. 1. Динамика снижения биомассы в культуре *Arthrospira platensis* в течение темного периода

Общая потеря биомассы в условиях темноты составила 0,085 г · л⁻¹ (8,08 % биомассы), зарегистрированной в начале темного периода. Величина потери в данном эксперименте была несколько выше, чем в литературном источнике (Torzillo et al., 1991), где при сходной температуре и продолжительности темного периода при естественном освещении потери в культуре *S. platensis* составляли 6 % начальной биомассы. Динамика потери биомассы была экспонен-

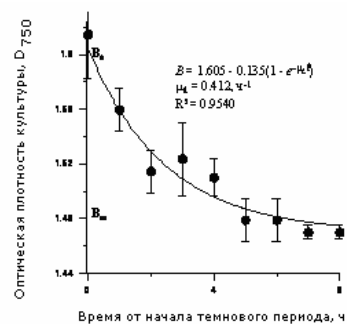
циальной, наиболее существенные потери происходили в первые 2 ч темноты, затем скорость потери биомассы существенно снижалась и к концу темнового периода стремилась к нулевым или крайне малым значениям. Величина потери за первые 2 ч темноты составила 87 % потери за весь темновой период.

Оптическая плотность культуры *A. platensis* значительно снижалась в темноте, как и биомасса, и динамика ее снижения также имела экспоненциальный характер (рис. 2). Общее снижение оптической плотности составило 0,135 ед. опт. пл., или 8,4 % начальной. Поскольку изменение плотности культуры *A. platensis* в темноте происходит экспоненциально, его динамику можно описать следующим эмпирическим уравнением:

$$B = B_0 - L \cdot (1 - e^{-\mu_L \cdot t}),$$

где B_0 – плотность культуры в начале темнового периода, $г \cdot л^{-1}$; t – время от начала темнового периода, ч; L – общая потеря биомассы в темноте, $г \cdot л^{-1}$; μ_L – удельная скорость расхода резервных соединений, $ч^{-1}$.

Рис. 2. Динамика снижения оптической плотности культуры *Arthrospira platensis* в течение темнового периода



Предложенное выражение позволяет с высокой точностью описать экспериментальные данные по динамике потери биомассы в темноте: $R^2 = 0,997$ для аппроксимации динамики биомассы, $R^2 = 0,954$ для аппроксимации динамики оптической плотности культуры. На основании приведенного уравнения построены графики (см. рис. 1, 2). Экспоненциальное уменьшение скорости потери биомассы в культуре микроводорослей в темноте согласуется с литературными данными (Grobbelaar, Soeder, 1985; Markager, Sand-Jensen, 1989), в которых показан сходный характер динамики изменения интенсивности темнового дыхания в течение ночи.

Поскольку снижение биомассы происходит в первые часы темноты, а затем стремится к нулю, становится очевидным, почему не увеличивалась потеря биомассы в культуре *S. platensis* в ночное время при увеличении длительности темнового периода от 8,6 до 11,5 ч в работе Torzillo et al. (1991).

Такой вид зависимости скорости потери биомассы от времени в темноте позволяет сделать предположение о том, что в течение первых часов наиболее интенсивно расходуются накопленные на протяжении светового периода ассимилянты, являющиеся субстратом для темнового дыхания. Это приводит к снижению их концентрации в клетке, что в свою очередь может лимитировать интенсивность темнового дыхания, а значит и скорость потери биомассы. Согласно лите-

ратурным данным (Torzillo et al., 1991), основную роль в потере биомассы в темновой период играет окисление углеводов.

Поскольку в данном эксперименте в течение темнового периода осуществлялось барботирование культуры воздухом, лимитирования интенсивности дыхания клеток концентрацией кислорода в среде не происходило. Нельзя исключать того, что при отсутствии перемешивания изменение концентрации кислорода также будет влиять на динамику изменения биомассы.

Заключение

Впервые получены данные о почасовой динамике уменьшения биомассы микроводорослей в темноте на примере культуры *A. platensis*. Общая потеря биомассы и снижение оптической плотности культуры за 8 ч темнового периода составила 8,0–8,5 % начальных значений. Показано, что скорость потери биомассы в темноте не постоянна, а снижается экспоненциально с течением времени, что согласуется с литературными данными о динамике интенсивности темнового дыхания. Предложено уравнение, позволяющее с высокой точностью описать динамику биомассы в культуре *A. platensis* в течение темнового периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Методы* физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Под ред. А.В. Топачевского – Киев: Наук. думка, 1975. – 247 с.
- Eppley R.W., Sharp J.I. Photosynthetic measurements in the central North Pacific: The dark loss of carbon in 24-h incubations // *Limnol. Oceanogr.* – 1975. – **20**(6). – P. 981–987.
- Grobbelaar J.U., Soeder C.J. Respiration losses in planktonic green algae cultivated in raceway ponds // *J. Plankton Res.* – 1985. – **7**(4). – P. 497–506.
- Hu Q., Guterman H., Richmond A. Physiological characteristics of *Spirulina platensis* (Cyanobacteria) cultured at ultrahigh cell densities // *J. Phycol.* – 1996. – **32**. – P. 1066–1073.
- Markager S., Sand-Jensen K. Patterns of night-time respiration in a dense phytoplankton community under a natural light regime // *J. Ecol.* – 1989. – **77**. – P. 49–61.
- Torzillo G., Sacchi A., Materassi R. et al. Effect of temperature on yield and night biomass loss in *Spirulina platensis* grown outdoors in tubular photobioreactors // *J. Appl. Phycol.* – 1991. – **3**. – P. 103–109.
- Zarrouk C. Contribution a l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Stech. et Gardner) Geitler: Abstr. Ph.D. (Biol.) Thesis. – Paris, 1966. – 138 p.

Подписала в печать О.Н. Виноградова

A.L. Avsiyan

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas, NAS of Ukraine,
2, Nakhimov Av., 99011 Sevastopol, Ukraine
e-mail: anna.l.avsiyan@gmail.com

DYNAMICS OF LOSS OF BIOMASS IN CULTURE OF *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (NORDST.) GEITLER (*CYANOPROKARYOTA*) IN DARKNESS

New data about dynamics of biomass loss in *Arthrospira platensis* (*Cyanoprokaryota*) culture in dark were obtained. It was shown that biomass loss rate in the dark was not constant and decreased exponentially with time. The equation describing culture density dynamics in the dark conditions was proposed.

К e y w o r d s : *Arthrospira platensis*, dark, biomass loss, dark respiration.