

Р. Г. ГЕВОРГИЗ, А. П. ШАХМАТОВ

УСТАНОВКА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МОРСКИХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Предложена простая установка для интенсивного культивирования микроводорослей. При её разработке внимание уделено удобству в обслуживании и простоте изготовления. Учтена геометрия фотобиореактора. Показано, что для корректного сравнения экспериментальных результатов при использовании различных систем культивирования необходимо уделять особое внимание измерению фотоэнергетических характеристик.

Конструированию систем культивирования микроводорослей посвящена обширная литература. Авторы предлагают различные виды конструкций, начиная от самых элементарных лабораторных культиваторов, заканчивая автоматизированными промышленными системами [1 - 3, 5, 6]. Несмотря на достаточно хорошо разработанную теорию конструирования культиваторов для микроводорослей [4], далеко не в каждой работе уделяется внимание характеристикам применяемых культиваторов и выращиваемых в них культур микроводорослей. Большинство исследователей, традиционно, используют в качестве лабораторного культиватора химическую посуду, при этом, как правило, процедура измерения поверхностной радиации практически не учитывает различие форм освещаемых поверхностей; при перемешивании суспензии барботированием воздуха или газо-воздушной смеси весьма приблизительно указывается количество воздуха на единицу объема перемешиваемой суспензии и т.д.. Указанные обстоятельства заведомо не дают возможности корректного сравнения экспериментальных результатов, к примеру, для расчета ростовых характеристик микроводорослей и количественного учёта влияния на рост тех или иных факторов. Для корректного сравнения каких-либо экспериментальных результатов в первую очередь необходимо соблюдение требования сопоставимости условий выращивания и продукционных характеристик микроводорослей.

Не менее важным моментом является возможность в лабораторных условиях моделировать технологические процессы выращивания микроводорослей в промышленных масштабах. Известно, что увеличение объема культиватора

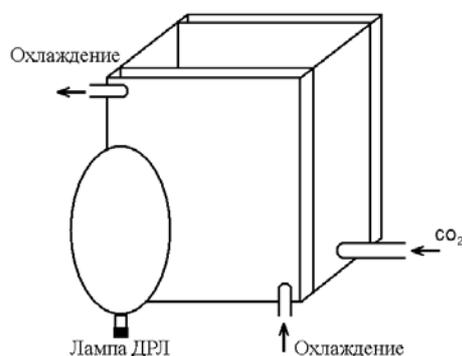


Рисунок 1. Схема реактора с двумя водяными рубашками (спереди и сзади)
Figure 1. The plan of the reactor with two water jackets (in front and behind)

сопровождается, так называемым, «эффектом масштабирования», вследствие чего, исследователи на практике реального производства сталкиваются с проблемами, прогноз которых в лаборатории весьма затруднителен.

Целью данной работы являлась разработка простой системы культивирования, удовлетворяющей следующим требованиям: 1) ее создание не представляло бы трудностей для любой лаборатории, 2) геометрия фотобиореактора системы

позволяла бы легко и достаточно точно рассчитывать важнейшие характеристики системы (объем, площадь освещаемой поверхности, интенсивность поверхностной радиации и пр). Кроме того, предложенную систему для интенсивного культивирования микроводорослей можно рассматривать как прототип промышленной установки, требующей минимальных затрат.

Описание установки. Установка для культивирования микроводорослей состоит из четырех фотобиореакторов, осветителя, термостабилизирующей и газораспределительной систем.

Фотобиореактор. Каждый фотобиореактор представляет собой емкость из органического стекла размером $8 \times 30 \times 43$ см (плоскопараллельный тип) с рабочей толщиной 8 см, т.е. выполняется условие перпендикулярности вектора светового пути к поверхности 30×43 см. В случае использования компьютерной техники для автоматического считывания экспериментальной информации в крышке каждого фотобиореактора предусмотрены специальные отверстия для установки различного рода датчиков, например, датчика рН, температуры и пр. Каждый реактор снабжен системой охлаждения (водяными рубашками) и системой подачи газо-воздушной смеси (см. рис. 1).

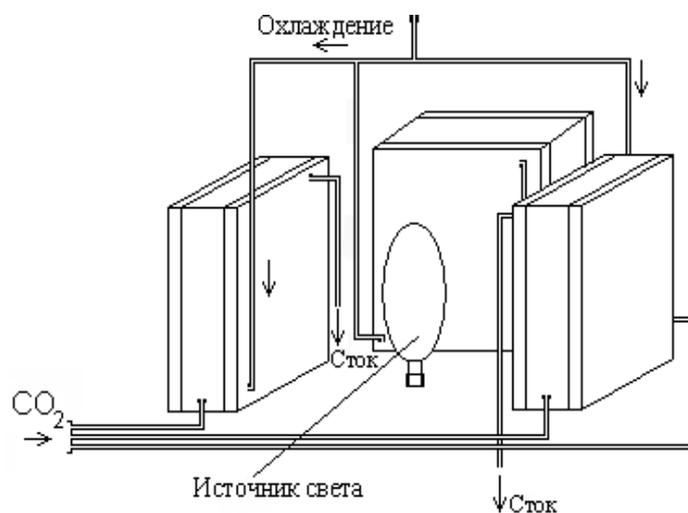


Рисунок 2. Схема системы культивирования.
Figure 2. The plan of system of cultivation.

Газораспределительная система. Перемешивание осуществляется посредством барботирования воздуха, с помощью компрессорной установки, например, медицинского компрессора УК-402М производительностью не менее 34 л/мин. Газораспределительная система представляет собой замкнутую систему полиэтиленовых трубок диаметром 5 мм, подведенных к нижней части каждого реактора с боковых сторон. На входе в газораспределительную систему с помощью компрессора под давлением подается атмосферный воздух, а через тонкий капилляр (медицинская игла) в систему подается CO₂ из баллона. Полученная таким образом, газо-воздушная смесь подается в фотореактор. Внутри каждого фотореактора в точке подключения газо-воздушной смеси устанавливается аквариумный распылитель с тем, чтобы максимально увеличить растворимость CO₂ в суспензии микроводорослей. Регулировку скорости подачи CO₂ в систему можно осуществлять вручную при ежедневной процедуре обслуживания культиватора, используя в качестве критерия величину рН в каждом фотореакторе.

Термостабилизирующая система. Каждый фотобиореактор снабжен водяной рубашкой, посредством которой осуществляется стабилизация температуры. Это особенно

актуально при работе с плотными культурами и таким мощным источником света, как лампа ДРЛ-700. Во избежание образования воздушных пробок и пузырей внутри рубашки водяной ток направляется снизу вверх. Увеличение либо уменьшение скорости протока водопроводной воды через водяную рубашку позволяет поддерживать температуру в фотореакторе на заданном уровне.

Осветитель. В качестве источника света используется лампа ДРЛ-700. Интенсивность поверхностной радиации можно регулировать, изменяя расстояние между лампой и фотореактором или устанавливая между ними нейтральные светофильтры. Например, при установке всех фотореакторов на расстоянии 17 см от лампы средняя величина освещенности (по 9 измерениям в различных точках поверхности реактора) для каждого фотореактора приведены в таблице:

Таблица. Значения освещенности для фотобиореакторов

Table. Values of light exposure for photobioreactors

№ реактора	1	2	3	4
Освещенность, кЛк	20,00	21,67	22,56	22,39

Установка успешно прошла испытания при интенсивном культивировании *D. salina* в лаборатории отдела биотехнологий и фиторесурсов. В качестве критерия контролируемости условий выращивания приведем среднюю накопительную кривую и величину угла наклона зависимости оптической плотности суспензии (P) от времени культивирования (для линейного участка) по четырем повторностям: $P_1 = 0,282$, $P_2 = 0,253$, $P_3 = 0,262$, $P_4 = 0,263$ (рис. 3).

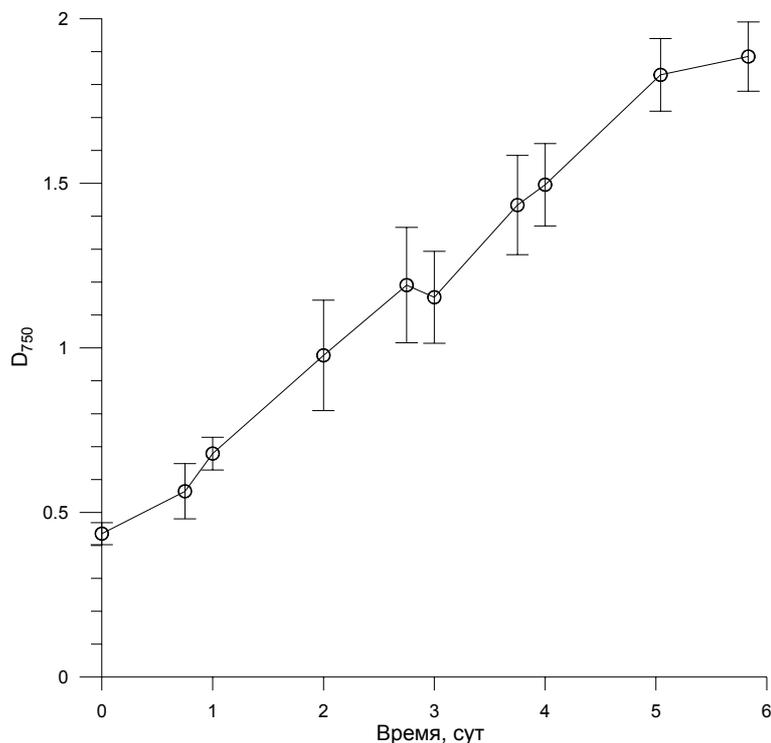


Рисунок 3. Средняя (по 4 повторностям) накопительная кривая *D. salina*.
Figure 3. Medial (on 4 observations) accumulative curve *D. salina*.

Заключение. Поскольку свет является важнейшим параметром, который оказывает прямое или опосредованное влияние практически на все процессы роста микроводорослей, измерение фотоэнергетических характеристик требует особого внимания. Для удобства расчета указанных характеристик желательно использование культиватора, у которого форма фотобиореактора представляет собой параллелепипед с освещением любой плоскости, либо вертикально расположенный цилиндр с освещением снизу (сверху).

1. *Ковров Б. Г., Буданов А. С.* Малый лабораторный культиватор для интенсивного выращивания хлореллы в управляемых условиях среды / Управляемое культивирование микроводорослей. — М.: Наука, 1964. — С. 8 - 12.
2. *Ковров Б. Г., Мельников Е. С., Белянин В. Н., и др.* Культиватор для интенсивного непрерывного выращивания микроводорослей / Непрерывное управляемое культивирование микроорганизмов. — М.: Наука, 1967. — С. 14 - 30.
3. *Пульц О.* Плоскостной биореактор закрытого типа для продукции биомассы микроводорослей // Физиол. раст. — 1994. — **41**, №2. — С. 292 - 298.
4. *Штоль А. А., Мельников Е. С., Ковров Б. Г.* Расчет и конструирование культиваторов для одноклеточных водорослей. — Красноярск, 1977. — 96 с.
5. *Ogbonna J. C., Tanaka H.* Industrial-size photobioreactors // Chemtech. — 1997. — **27**, No. 7. — P. 43 - 49.
6. *Torzillo G.* Tubular bioreactors / *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. — Teylor & Fransis, 1977. — P. 100 - 115.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

Получено 08.05.2005

R. G. GEVORGIZ, A. P. SHAKHMATOV

PLANT FOR CULTIVATIONS OF MARINA MICROALGAE

Summary

Simple installation for intense cultivation of microalgae has been proposed. When developing the installation the following requirements were of primary importance: its serviceability and simplicity of its making as well as geometry of the photobioreactor. It has been pointed out, that for correct comparison of experimental results obtained by different authors with the use of different cultivation systems special attention must be paid to the measurement of photoenergetic characteristics.