

М. С. Темнов, Р. Д. Санталов, Н. С. Михалев

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОСТА
БИОМАССЫ CHLORELLA VULGARIS
В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ**

Постоянно возрастающая стоимость традиционных энергоносителей увеличивает интерес к источникам альтернативного топлива. Производство биотоплива из биомассы микроводорослей – это актуальная область исследований для ученых. Одно из самых важных направлений в этих исследованиях – выявление факторов и зависимостей, обеспечивающих максимальное накопление биомассы.

Целью работы являлось выявление математической зависимости прироста биомассы микроводорослей штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 от времени культивирования.

Эксперимент по культивированию штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 являлся периодическим процессом. Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой реактор цилиндрической формы объемом $0,002 \text{ м}^3$ из прозрачного материала, снабженный барботером, с помощью которого осуществлялось обогащение суспензии газо-

воздушной смесью с содержанием углекислого газа 0,04%, который круглосуточно освещался энергосберегающими лампами, температура суспензии составляла 28 °С, штамм выращивался на стандартной питательной среде Тамияя [1].

В течение 14 суток проводилось измерение оптической плотности суспензии, а затем подсчет клеток в камере Горяева. По результатам эксперимента была установлена прямо пропорциональная линейная зависимость между величиной оптической плотности и количеством клеток, что позволяет проводить экспресс-анализы по определению количества клеток в суспензии. Зависимость представлена на рис. 2.

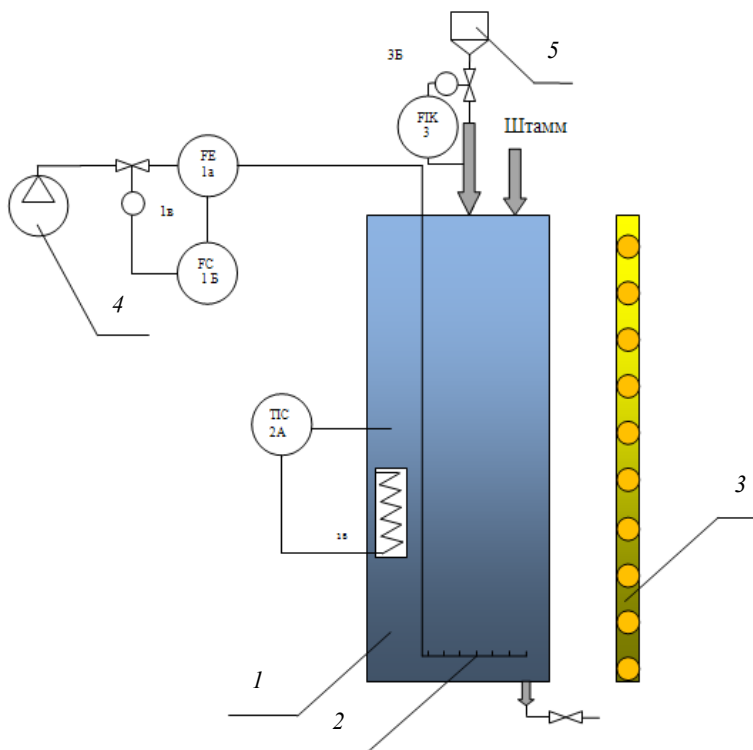


Рис. 1. Лабораторный фотореактор для культивирования *Chlorella vulgaris*:

- 1 – реактор в форме цилиндра ($h = 400$ мм, $D = 8$ мм);
- 2 – барботажное устройство; 3 – панель с энергосберегающими лампами (освещенность слоя суспензии порядка 10 клк);
- 4 – компрессор; 5 – емкость для подачи питательной среды

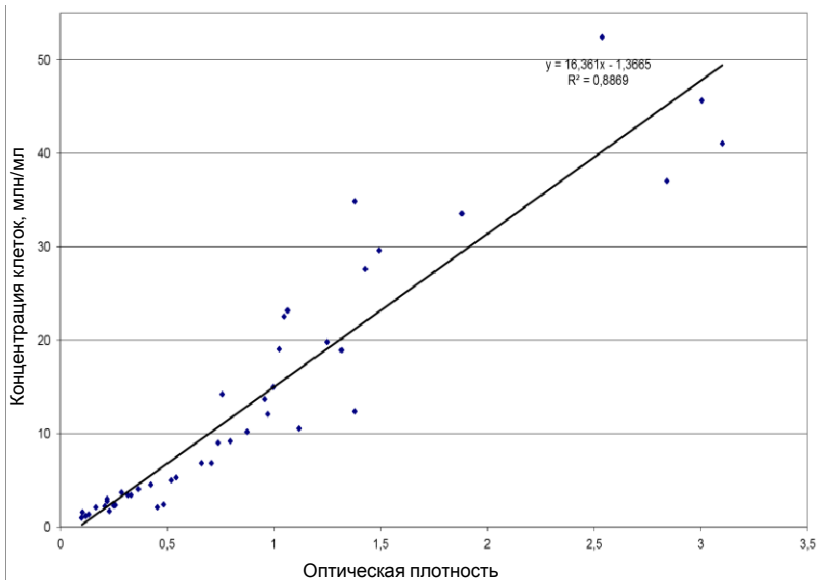


Рис. 2. График, описывающий зависимость оптической плотности от концентрации клеток в суспензии

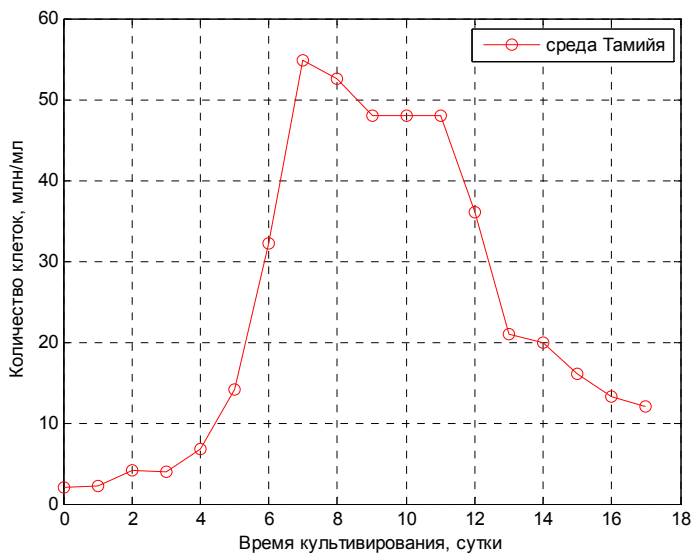


Рис. 3. Кинетика накопления биомассы *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111

На основании экспериментальных данных построена кривая зависимости количества клеток от времени (продолжительности культивирования), она представлена на рис. 3.

Анализ рисунка 3 показал, что характер кривой соответствует графику решения логистического уравнения Ферхюльста, которое характеризует модель ограниченного роста (рис. 4).

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \left(1 - \frac{x}{K} \right), \quad (1)$$

где K – емкость популяции; μ – удельная скорость роста.

Аналитическое решение уравнения Ферхюльста имеет вид

$$x(t) = \frac{x_0 K e^{\mu t}}{K - x_0 + x_0 e^{\mu t}}. \quad (2)$$

Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием уравнений нелинейной регрессии (метод Гаусса–Ньютона) в среде MATLAB, по результатам расчетов величина удельной скорости роста μ равна $0,5 \text{ сутки}^{-1}$, а емкость популяции 55 млн. кл/мл суспензии.

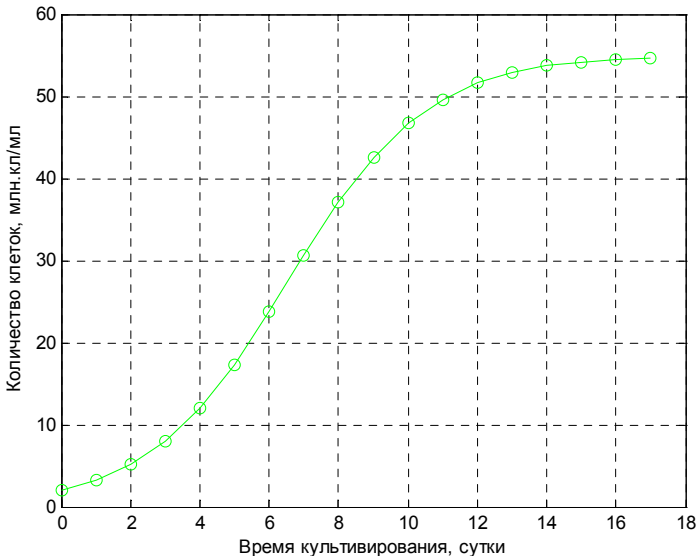


Рис. 4. Модельный график прироста биомассы *Chlorella vulgaris* от времени культивирования

Таким образом, уравнение Ферхюльста для условий, при которых производился эксперимент, имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = 0,5x \left(1 - \frac{x}{55} \right). \quad (3)$$

При этом удельная скорость роста зависит от многих факторов культивирования, например, содержания в среде питательных веществ (азота, фосфора, серы), уровня освещенности (при культивировании фотосинтетических организмов), температуры суспензии.

Для вычисления удельной скорости роста в многофакторном процессе целесообразно использовать универсальную мультипликативную зависимость [2], в которой каждый фактор автономен

$$\mu = \mu(S_1) \cdot \mu(I) \dots,$$

где S – концентрация субстратных компонентов в биореакторе, г/л; I – уровень освещенности.

Так как данная биомасса – сырье для получения биотоплива (метиловых эфиров жирных кислот), то она должна содержать большое количество внутриклеточных нейтральных липидов. Для стимулирования накопления липидов для клеток микроводорослей необходимо создать стрессовые условия – дефицит азотсодержащих веществ (для среды Тамийя – нитрат калия), а, как известно, из принципа минимума Либиха, именно субстрат, находящийся в наименьшей доступности, и определяет скорость размножения. Таким образом, именно азотсодержащее вещество будет оказывать наибольшее влияние на удельную скорость роста.

Зависимости по источнику азота и уровню освещенности будут описываться уравнением Эндрюса так, как при повышенных концентрациях нитрата калия наблюдается субстратное ингибирование, т.е. замедление скорости роста, а при высоком уровне освещенности (выше пороговой) наблюдается угнетение процесса фотосинтеза.

Удельная скорость роста биомассы штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, которая будет использоваться в качестве источника липидов, может быть определена по формуле

$$\mu_x = \mu_{\max} \left(\frac{I}{K_I + I - I_H} \right) \left(\frac{S_{\text{KNO}_3}}{K_S + S_{\text{KNO}_3} + S_{\text{KNO}_3}^2 / K_i} \right), \quad (4)$$

где μ_{\max} – максимальная удельная скорость роста, сутки⁻¹; I – освещенность, клк; K_I – константа насыщения по освещенности, лкк; I_H –

пороговое значение освещенности, клк; K_s – субстратная константа насыщения, г/л; K_i – константа ингибирования, г/л.

Определение констант уравнения (4) позволит получить математическую модель роста биомассы штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, которую можно использовать для оптимизации процесса по получению максимального количества биомассы как сырьевого источника для получения биотоплива.

Список литературы

1. *Богданов, Н. И.* Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н. И. Богданов. – Волгоград : Здоровье и экология, 2007. – 48 с.
2. *Бирюков, В. В.* Основы промышленной биотехнологии / В. В. Бирюков. – Москва : КолосС, 2004. – 296 с.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»