

УДК 573.6.086.83.001.26

А.Э. Исмаилов, магистрант; Н. Кенжабаева, студ.;
А. Мухаммаджонов, студ.; О. Абдукаримова, студ.;
Д. Отакулов, студ.; Н. Эшмурадова, доц., канд. биол. наук;
Д.Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук (ТГТУ, г. Ташкент)

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ *DUNALIELLA SALINA*

Интерес к промышленному культивированию микроводорослей постоянно возрастает. Их культивируют для получения многих биологически активных веществ (аминокислот, витаминов, пищевых красителей, комплексов с микроэлементами и т.д.) и добавок к корму животных и птиц, а в последнее время повысился к ним интерес, как сырьем для производства биотоплив (биодизеля, биогаза).

Для интенсивного накопления биомассы микроводорослей, современные предприятия широко используют биореакторы пленочного типа [1-2]. Устройство этих аппаратов позволяет создать максимально возможные благоприятные условия для культивируемого микроорганизма, насытить его в необходимом количестве питательными веществами, углекислым газом, а также, энергией света.

Однако существующие конструкции пленочных биореакторов не предусматривают наличие пластин для увеличения поверхности, на которой развиваются и размножаются микроводоросли. Это сказывается на замедлении процесса их культивирования и получении недостаточного количества их биомассы. Вместе с этим в подобных аппаратах в процессе их работы нерационально распределяется поток газовой смеси, что приводит к излишне высоким удельным энергетическим затратам.

Поэтому целью данной работы являлось совершенствование технологии культивирования микроводорослей для увеличения выхода биомассы, улучшения качества, обеспечения пищевой безопасности и ресурсосбережение энергетических и водных затрат.

В работе использовали *Dunaliella salina*, выделеную из озера Арал Республики Каракалпакстан [3]. Культивирование микроводорослей в лаборатории проводили в биореакторе объемом 1 л с барботированием воздуха и освещением (700-1000 Лк ($\mu\text{Mol (photons) s}^{-1}\text{m}^{-2}$) с встроенными прозрачными пластинками диаметром 9 см и расстоянием между пластинками 1 см, содержащей 750 мл модернизированной питательной среды Артари с концентрацией NaCl 200 г/л [4-5].

Количество микроводорослей определяли подсчетом клеток в камере Горяева (Модель 851, Россия) и взвешиванием фильтров после фильтрования через них 10 мл суспензии микроводорослей и измерением оптической плотности суспензии на спектрофотометре СФ [6].

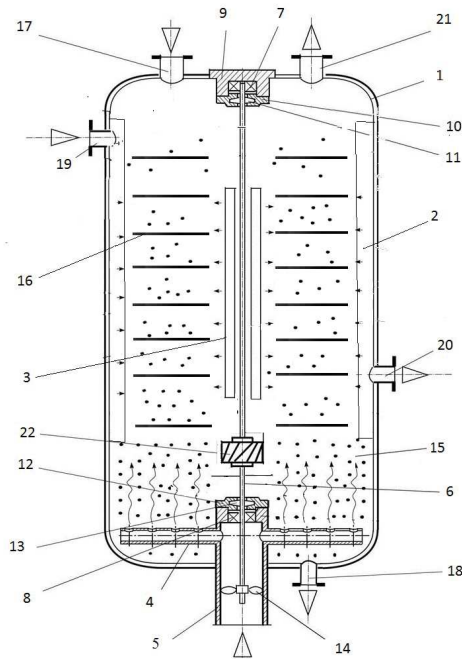
В результате устранения вышеизложенных недостатков, был

разработан фотобиореактор (Рис.1), позволяющий получать высокий выход биомассы микроводорослей высокого качества, а также, сократить удельные энергетические затраты, связанные с рециркуляцией культуральной жидкости.

Фотобиореактор состоит из корпуса *1* и дополнительную секции *2* с внутренней зеркальной поверхностью, предназначенную для освещения суспензии микроводорослей, в которой коаксиально установлена лампа накаливания *3*. Внизу размещен барботер *4*, выполненное в виде кольцевого коллектора по всему сечению аппарата, с патрубком *5* подачи смеси углекислого газа и воздуха. В центре биореактора по всей высоте аппарата установлен вал *6* в подшипниках *7* и *8*. Корпус *9* подшипника *7* с крышкой *10* и сальником *11* закреплен в верхней части аппарата. Корпус подшипника *8* с крышкой *12* и сальником *13* расположен в патрубке барботера *4*.

Нижняя часть вала *6* снабжена крыльчаткой *14*, которая расположена в патрубке *5* барботажного устройства *4* с возможностью вращения вокруг своей оси за счет кинетической энергии потока смеси углекислого газа с воздухом, подаваемой в секцию вывода культуральной жидкости *15*.

Во внутренней части фотобиореактора *1* размещены пластинки *16*, на которых микроводоросли растут и развиваются. На корпусе фотобиореактора *1* размещены штуцера для ввода культуральной жидкости (суспензии микроводорослей) *17* и вывода культуральной жидкости (готовой биомассы) *18*, штуцера для ввода и вывода охлаждающего воздуха *19* и *20*, штуцера для вывода отработанной смеси углекислого газа с воздухом *21*. Фотобиореактор для культивирования микроводорослей работает следующим образом: суспензия микроводорослей поступает через штуцер *17* в камеру для культивирования микроводорослей *15*, обтекая пластинки *16*, выполненных в виде плоских прозрачных кругов, культуральная жидкость в противотоке со смесью углекислого газа и воздуха, интенсивно перемешивается. Пластинки позволяют микроводорослям удержаться и создают поверхность для их развития. При этом подача смеси углекислого газа с воздухом в аппарат осуществляется через патрубок *5* барботера устройства *4*, которое обеспечивает дополнительное насыщение жидкости углекислым газом в секции *15* и равномерное распределение потока газовой смеси в смеси. За счет кинетической энергии потока смеси углекислого газа с воздухом, подаваемого в секцию вывода культуральной жидкости *15* через патрубок барботажного устройства *5*, крыльчатка *14* приводится во вращательное движение и заставляет вращаться вал *6*, установленный в подшипниках *7* и *8*, а вместе с ним и роторный нагнетатель *22*, направляющий культуральную жидкость с нижней части фотобиореактора в ее верхнюю часть.



1 – корпус фотобиореактора; 2 – зеркальные поверхности, 3 – лампа накаливания, 4 – барботажное устройство, 5 – *патрубок*; 6 – вал; 7-8 – подшипники, 9 – корпус подшипника; 10-12 – крышка подшипника; 12-13 – сальники; 14 – крыльчатка, 15 – внутренняя поверхность (культуральная жидкость); 16 – пластинки; 17 – штуцер для ввода культуральной жидкости (суспензии микроводорослей); 18 – штуцер для вывода культуральной жидкости (готовой биомассы), 19 – штуцер для ввода охлаждающего воздуха, 20 – штуцер для вывода охлаждающего воздуха; 21 – штуцер для вывода отработанной смеси углекислого газа с воздухом; 22 – роторный нагнетатель

Рисунок 1 - Разработанная конструкция фотобиореактора

Рециркуляция культуральной жидкости позволяет обеспечить необходимое время культивирования микроводорослей для достижения необходимого титра (количества биомассы) при заданном расходе смеси углекислого газа с воздухом (газового субстрата) с минимальными энергозатратами на процесс массообмена. В дополнительной секции 2 суспензия микроводоросли подвергается воздействию световой энергии посредством коаксиально установленной лампы накаливания дневного света 3, при освещении которой выделяется теплота, которая компенсируется подачей охлаждающего воздуха в секцию 2 через штуцер 19. Отвод охлаждающего воздуха из секции 2 осуществляется через штуцер 20. Из секции культивирования микроорганизмов 15 суспензия микроводорослей выводится в качестве готовой биомассы через штуцер 21.

Таким образом, предложенный фотобиореактор пленочного типа для культивирования микроводорослей позволяет:

- увеличить выход готовой биомассы, поскольку предусмотрено использование пластинок, обеспечивающей условия для развития и размножения микроводорослей;

- повысить качество получаемой биомассы в связи с тем, что созданы условия для более равномерного освещения культуральной жидкости при ее рециркуляции посредством коаксиального размещения лампы;
- уменьшить габаритные размеры аппарата и упростить его конструкцию за счет перехода от многоступенчатого аппарата к одноступенчатому;
- снизить удельные энергозатраты на получение биомассы, поскольку используется кинетическая энергия газового субстрата на входе в биореактор;
- обеспечить рациональное распределение потока газа в конструкции за счет использования кольцевого коллектора по всему сечению аппарата;
- повысить коэффициент массообмена благодаря равномерному освещению культуральной жидкости при ее рециркуляции посредством коаксиального размещения лампы и рационального распределения потока газа с помощью кольцевого коллектора, установленного по всему сечению аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.В. Пономарев, Е.А. Шабунина, Д.В. Коптев. Способ управления процессом культивирования фотоавтотрофных микроорганизмов//Патент РФ №2622081. –2017.
2. Е.А. Шабунина. Научное обоснование режимов массообмена при автотрофном биосинтезе Дуналиеллы и ее применение в технологии мучных кондитерских изделий. Автореферат диссертация на соискание ученой степени канд.технич.наук. г.Воронеж. – 2018 г.
3. Мирзарахметова Д., Тонких А.К., Федорова О.А., Магай Е.Б., Мавжудова А.М., Верушкина О.А., Нурмухамедова Х. Штамм одноклеточных водорослей *Dunaliella salina* КР 1– продуцент биологически активных веществ. Патент РУз FAP 20200270. – 2020.
4. Магай Е.Б., Мавжудова А.М., Тонких А.К., Кадирова Г.Х., Разаков Р.М., Мамарасулов Б.Д., Нурмухамедова Х., Мирзарахметова Д.Т. Выделение монокультур Дуналиеллы из озер Приаралья. Доклады Академии наук РУз. – 2019. – №4, – С. 82-85.
5. Верушкина О.А., Тонких А.К., Мавжудова А.М., Кадирова Г.Х., Мирзарахметова Д. Культивирование аральского штамма *Dunaliella salina* AP 1 с целью получения β -каротинов. Вестник Аграрной науки Узбекистана. – 2020. – №3. – С.176-182.
6. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология. Москва : Академия, 2006. – 252 с.