DOI: 10.17117/nv.2014.01.113

Поступило в редакцию: 07.11.2014

<http://ucom.ru/doc/nv.2014.01.113.pdf>

vuz@zhgu.edu.kz

Аужанова Н.Б.
Морфологическая и систематическая характеристика
хлореллы. Ее производство и применение

Auzhanova N.B.
Morphological and systematic characterization of chlorella.
Its production and use

В статье дана краткая систематика водорослей, приведены результаты опытов показывающих как различные факторы внешней среды оказывают действие на рост и биохимический состав хлореллы. Исследованы факторы минерального питания, которые можно подразделить на 2 группы: в 1 группу входят азот и сера; во 2 группу элементов входит фосфор, магний, калий, железо. Кроме того раскрыты вопросы производства хлореллы в промышленных масштабах

Ключевые слова: хлорелла, систематика, производства хлореллы

The article gives a brief taxonomy of algae, the results of experiments showing how various environmental factors have an effect on the growth and biochemical composition of Chlorella. The factors of mineral nutrition, which can be divided into 2 groups: 1 group contains nitrogen and sulfur; in the group 2 element include phosphorus, magnesium, potassium, and iron. Also disclosed questions Chlorella production on an industrial scale

Key words: Chlorella, systematics, production of Chlorella

Аужанова Назгуль Бектурсуновна

Профессор

Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова

Казахстан, г. Талдыкорган, ул. И.Жансугурова, 187А

Auzhanova Nazgul Bektursunovna

Professor

Zhetysu State University named I. Zhansugurova

Kazakhstan, Taldykorgan, I.Zhansugurov st., 187A

Приспособленность водорослей к жизни при самых разнообразных внешних условиях обуславливает повсеместную их распространенность. В воде и на суше, в снегу, льдах и горячих источниках, по всему земному шару – от просторов Северного Ледовитого океана и его островов до тропиков и от тропиков до снегов и скал Антарктиды. От морских глубин до высоких гор – всюду мы находим водоросли. Микроскопические размеры и исключительная жизнестойкость их зачатков способствует переносу их на большие расстояния. Морские течения разносят их по морям и океанам, рекам, с одного участка континента на другой. Выброшенные из воды на берег и высохшие, подхваченные вместе с илом и пылью с поверхности скал и почвы, водоросли разносятся по воздуху ветром и птицами. Звери переносят их с одного места водопоя на другое и т.д. Пути и способы распространения водорослей исключительно многообразны и полностью обеспечивают повсеместное их занесение.

Распространенные по всему земному шару водоросли, несомненно, должны играть значительную роль в жизни природы.

Какова же роль этой массы водорослей? Основное значение водорослей в жизни природы вытекает из их физиологических особенностей как зеленых растений: подобно высшим зеленым растениям на суше, водоросли в воде являются основными созидателями органического вещества. Правда, в воде имеются еще и другие автотрофы – хемосинтезирующие бактерии и высшие растения, но удельный вес их по сравнению с водорослями весьма незначителен.

Таким образом, можно без преувеличения сказать, что весь мир современных живых существ воды в той или иной мере обязан своим существованием водорослям, так как водоросли, благодаря содержанию в них хлорофилла способны созидать органические вещества своего тела из неорганических веществ окружающей их воды. Следовательно, они являются производителями (продуцентами) в воде той первопищи, которой в дальнейшем пользуются все; остальные лишённые хлорофилла водные организмы (консументы), или непосредственно заглатывая водоросли и образовавшийся из них детрит, или впитывая органические вещества, получавшиеся от их разложения, или, наконец, поглощая животных, питающихся водорослями.

По подсчетам В.Г. Богорова, биомасса (в сырой массе) фитопланктона в Мировом океане равна 1,5 млрд. т., а его продукция за год – 550 млрд. т., т.е. продукция превышает биомассу в 366 раз!

Огромное значение имеет также то обстоятельство, что водоросли в процессе фотосинтеза выделяют свободный кислород, необходимый для дыхания водных организмов, как животных, так и растительных.

К тому же в воде, содержащий кислород быстрее завершаются процессы минерализации органических веществ.

Хлорелла

Отдел – зеленые водоросли (*Chlorophyta*)

Класс – собственно зеленые или равножгутиковые водоросли (*Chlorophyceae, Isocontae*).

Порядок – хлорококковые или протококковые (*Chlorococcophyceae, Protococcophyceae*).

Семейство – ооцистовые (*Oocystaceae*).

Род – хлорелла (*Chlorella*).

Отдел зеленые водоросли (4000 видов).

Представители отдела характеризуются травянисто-зеленой окраской хлоропластов, зависящей от преобладания хлорофиллов а и b над каротиноидами α - и – каротином, лютеином, неоксантином, виолаксантином, зеаксантином, антераксантином. Хлоропласты окружены оболочкой из двух мембран; хлоропластная эндоплазматическая сеть отсутствует. Ламеллы состоят из двух-шести или многих сблизившихся тилакоидов, образующих грани, периферические тилакоиды отсутствуют, генофоры рассеянные. Пиреноид, погруженный в строму хлоропласта, пронизан тилакоидами. Запасной полисахарид – крахмал откладывается внутри хлоропласта вокруг пиреноида и в строме.

Глазок располагается внутри хлоропласта и не связан со жгутиковым (пре-) аппаратом. Жгутики в числе двух, четырех, реже многих одинаковой длины (изоконтные) и одинакового строения (изоморфные), гладкие или покрытые тонкими мастигонемами, у некоторых – чешуйками. Клетка подавляющего числа зеленых водорослей поверх цитоплазматической мембраны покрыта целлюлозной оболочкой.

Зеленые водоросли напоминают растения некоторыми важными признаками. Они содержат хлорофиллы а и b, накапливают запасной крахмал внутри пластид (это характерно только для них и растений), имеют жесткие клеточные стенки, образованных у некоторых родов целлюлозой, пропитанной матриксом из гемицеллюлоз и пектиновых веществ. Более того, детали связи жгутика с базальным тельцем, у спермиев растений и клеток ряда зеленых водорослей совпадают, что подтверждает гипотезу о прямом родстве этих двух групп. И, наконец, ряд зеленых водорослей покинули водную среду, и перешли к наземному образу жизни. На основе перечисленного и других аргументов полагают, что зеленые водоросли дали начало высшим растениям.

Исследования с помощью электронной микроскопии значительно расширили представление о разнообразии зеленых водорослей. Представители этого отдела разделяются на ряд эволюционных линий, независимо возникших от одноклеточных жгутиковых предков. Хотя хлоропласты сохранили одинаковые черты, по другим признакам наблюдается чрезвычайно сильные различия. Общий предок (если он был), возможно, имел жгутик и покровные чешуйки, которые в процессе эволюции слились в единую клеточную стенку.

Тип зеленые водоросли – древняя группа

Ископаемые формы, сходные с одноклеточными зелеными водорослями найдены в отложениях формации Биттер-Спрингс в центральной Австралии возрастом около 900 млн. лет. В Кембрийский период, т.е. по крайней мере, 550 млн. лет назад, появились крупные сифоновые (ценоцитные) (*Siphonaeae* Grev.) зеленые водоросли. Также в палеозое возникли многоклеточные линии зеленых водорослей. Например, древнейшие харовые (*Charophyceae*) датируются поздним силуром (около 420 млн. лет назад).

Класс собственно зеленые водоросли или равножгутиковые (*Chlorophyceae*), или (*Isocontae*)

Характеризуются бесполым размножением обычно зооспорами с 2-4, реже многими изоконтными и изоморфными жгутиками, обращенными вперед, иногда апланоспорами. Половой процесс гологамный, изогамный, гетерогамный и оогамный. Большинство зеленых водорослей принадлежат к этой разнообразной группе, для которой характерно деление клетки с участием фикопласта. Этот уникальный признак говорит о том, что от представителей данного класса не возникла ни одна известная группа организмов. К этому классу относятся жгутиковые и лишенные жгутиков одноклеточные водоросли, формы из нескольких клеток, подвижные или неподвижные колонии, нитчатые и паренхиматозные виды, обитающие в основном в пресной воде, хотя несколь-

ко одноклеточных планктонных видов встречается в прибрежных зонах морей. Некоторые представители класса ведут в основном сухопутный образ жизни и растут в почве или на древесине.

Современные исследования показали, что у представителей самого крупного класса зеленых водорослей, уникальный тип клеточного деления с участием фикопласта. Дочерние ядра здесь движутся навстречу друг другу, в то время как неустойчивое веретено разрушается и параллельно плоскости клеточного деления образуется новая система микротрубочек – фикопласт. Вероятно, он должен гарантировать формирование борозды деления между дочерними ядрами. Ядерная оболочка в процессе митоза сохраняется, у подвижных клеток жгутики прикреплены к переднему концу. Внутри таких клеток находится система корешковых волокон, жгутиков, образованная крестообразно расходящимися четырьмя узкими пучками микротрубочек. Эти пучки начинаются от передних базальных телец или вблизи них. У других зеленых водорослей веретено при делении клетки сохраняется, а в некоторых случаях образуется фрагмопласт. Микротрубочки фрагмопласта ориентированы перпендикулярно плоскости деления. Веретено остается до тех пор, пока не «разорвется» либо клеточной пластинкой, либо бороздой деления. Этот способ менее специализированный, чем с участием фикопласта.

Порядок хлорококковые или протококковые (Chlorococcos, Proto-coccos)

Этот порядок объединяет коккоидные формы: одноклеточные, ценобиальные, колониальные.

Клетка большинства хлорококковых имеет определенное строение, что и у вольвоксовых; в цитоплазме, заполняющей всю полость клетки, располагается париетальный, чаще чашевидный хроматофор с пиреноидом (атрибуты монадной организации). У сравнительно немногих представителей хлорококковых, например, у водяной сеточки (*Hydrodictyon*) клетка содержит крупную центральную вакуоль, а цитоплазма с хроматофором и многочисленными ядрами занимает постенное положение.

Бесполое размножение – посредством зооспор и апланоспор (автоспор). У ценобиальных форм зооспоры и автоспоры обычно еще внутри оболочки слагаются в дочерние ценобии, которые, как и у вольвоксовых, растут только за счет увеличения размеров клетки, а число клеток остается постоянным. Половой процесс изо-, гетеро- и оогамия. В зависимости от способа бесполого размножения – зооспорами или автоспорами – хлорококковые делят на две большие группы: хлорококковые зооспоровые и хлорококковые автоспоровые. Каждая группа включает ряд семейств. По строению и способу обитания хлорелла относится к неподвижным одноклеточным. Итак, автоспоровые неподвижные одноклеточные хлорококковые (Ооцистовые).

Семейство Ооцистовые (*Oocystae*)

Род Хлорелла (*Chlorella*) – широко распространен в пресных водах, на сырой земле, коре деревьев и т.д. Это одноклеточная зеленая водоросль, без

жгутиков, глазков и сократительных вакуолей; имеет округлую форму и по размерам меньше хламидомонады. Клетки содержат обычно чашевидный хлоропласт с пиреноидом или без него и одно мелкое ядро. Единственный способ размножения – бесполой, причем каждая гаплоидная клетка митотически делится дважды или трижды с образованием соответственно четырех или восьми потомков – автоспор, которые еще внутри оболочки материнской клетки одеваются собственными оболочками. Освобождаются автоспоры после разрыва стенки материнской клетки.

Электронномикроскопические исследования позволили обнаружить сложное строение клеточной стенки у некоторых видов хлореллы. Наружный трехслойный компонент стенки, образованный двумя электронно-плотными зонами, заключающими электронно-прозрачную центральную зону, содержит спорополленин – чрезвычайно устойчивое к действию различных ферментов вещество, встречающееся в пыльцевых зернах и спорах высших растений. Внутренний, более толстый компонент содержит целлюлозные микрофибриллы. При автоспорообразовании компоненты стенки развиваются следующим образом. Снаружи от цитоплазматических мембран (плазмалемм) автоспор, заключенных еще в оболочку материнской клетки, появляется первый предшественник клеточной стенки в виде мелких трехслойных изогнутых дисков. Эти диски увеличиваются в числе и в размерах, пока не сольются краями, образуя вокруг автоспоры сплошной трехслойный наружный компонент стенки автоспор, в котором откладывается спорополленин. Как только сформировался трехслойный наружный компонент стенки автоспор, начинается растворение внутренней микрофибриллярной части стенки материнской клетки, и между образовавшимся трехслойным чехлом и цитоплазматической мембраной автоспоры откладывают микрофибриллярный компонент стенки автоспор. Стенка материнской клетки, от которой остается только тонкий (слой) наружный спорополлениновый компонент, очень стойкий по отношению к химическим, но не механическим воздействием, разрывается, и автоспоры освобождаются.

У ряда хлореллы (*Chlorella*) в оболочке находятся только лишь микрофибриллярный слой, а трехслойный наружный компонент из спорополленина отсутствует.

Хлорелла (*Chlorella*) нетребовательна к условиям обитания и способна весьма интенсивно размножаться, поэтому очень широко распространена и встречается почти повсеместно.

В водоемах – это типичный планктер, но встречается она и в бентосе, перифитоне и нейстоне, а также на наземных субстратах и в почве. Она входит в состав лишайников, вступает в симбиоз с разными гидробионтами, образуя так называемые зоохлореллы.

С точки зрения использования биомассы водорослей весьма важными являются исследования биохимического состава их клеток, поскольку он определяет качество продукта и возможность его пищевого, кормового или сырьевого применения.

Клетки хлореллы содержат белок. Белки хлореллы включают все незаменимые аминокислоты, что говорит о полноценности для питания (по каче-

ству белки хлореллы приравняются (в сухой массе) к сухому молоку). Биохимический состав клеток хлореллы в значительной степени определяется условиями выращивания.

В работе Маслова Ю.И. «Условия синтеза биохимических веществ в культурах хлореллы» на примере анализа хлореллы (*Chlorella pyrenoidosa* Chik) (штамм 82) было показано, что состав клетки зависит от условий выращивания.

Одноклеточная протококковая водоросль (*Chlorella pyrenoidosa* Chik) выращивалась в колбах или плоскопараллельных сосудах из органического стекла при постоянном продувании воздухом, содержащим 3-4% CO₂ (по объему), при t~23-26°C. Освещение культур производилось люминесцентными лампами ЛДУ-30 или БС-30 (при культивировании в колбах), дуговыми ртутными лампами ДРЛ-1000 или йодными лампами НИК 220-1000 (при выращивании в плоскопараллельных сосудах).

Влияние условий азотного питания на рост культур хлореллы (*Chlorella*) и состав её клеток

Основным недостатком является накопление жирорастворимых соединений в клетках хлореллы. Снижение начальной дозы азота в питательном растворе приводит к уменьшению конечного урожая сухого вещества и содержания белка (с 59 до 7,5%), тогда как доля безазотистых соединений возрастает. Таким образом, химический состав клеток хлореллы (штамм 82) является весьма лабильным и содержание основных компонентов клеток (белки, углеводы, липиды) может меняться в широких пределах.

Таблица 1

Начальная доза нитратного N мг/л	Конечный урожай	Состав биомассы, % на сух. в.		
		белки	углеводы	липиды
667	5,97	48,9	23,1	28
167	4,58	21,2	29,9	48,9
67	3,31	11,7	42,7	45,6
33	1,90	10,6	49,9	39,5
17	1,33	7,4	38,4	54,2

Опыты с различными источниками связанного азота (нитраты, мочевины) показали, что форма азота, особенно при его недостатке, не оказывает существенного влияния на рост и биохимический состав клеток хлореллы.

Условия освещения и биохимический состав клеток хлореллы

В приводимых выше опытах водоросли выращивались в плоскопараллельных сосудах из органического стекла при освещении лампами ДРЛ-1000 или йодными лампами НИК-220-1000. Эти лампы различаются по спектральному составу излучаемого света: ДРЛ имеет максимум излучения в синей части спектра, тогда как НИК характеризуется преобладанием красных лучей. В таблице №2 приведены данные, полученные после периода выращивания, достаточного для выхода на плато кривой роста в вариантах с высокой интен-

сивностью света (при полном азотном питании). При увеличении интенсивности света и доли коротковолнового излучения несколько подавляется синтез белков и липидов. Эти данные расходятся с некоторыми результатами других исследователей (Семаненко и др.). Причины такого расхождения можно усматривать, в различиях использованных для работы штаммов.

Таблица 2

Тип лампы и день съема	Интенсивность света, лк	Сухой вес, г/м ²	Состав биомассы % сухого в-ва			
			белки	углеводы	липиды	хлорофилл
ДРЛ 19-й день	3500	82,1	49,3	29	19,7	2,73
	11000	135,5	49,3	30	19,7	1,73
	29000	67,1	45,8	46	13,3	0,83
НИК 17-й день	2500	71,6	52,5	20	22,0	2,09
	9500	125,8	53,1	22	20,0	1,89
	25500	126,6	49,4	28	17,6	1,58

Условия синтеза и выращивания изменяются.

Сравнение различных факторов минерального питания по их действию на рост и химический состав хлореллы

Наиболее заметным признаком недостатка азота и серы является обесцвечивание клеток (хлороз). В связи с этим полезно рассмотреть влияние других элементов минерального питания. Недостаток азота вызывает значительное уменьшение урожая биомассы и содержание зольных веществ в ней. Резко увеличивается средний сухой вес клетки, а в органическом веществе уменьшается содержание хлорофилла и белка, увеличивается количество углеводов и липидов.

При недостатке серы происходит увеличение среднего размера одной клетки и разрушение хлорофилла. Отличительными чертами серного голодания являются: некоторое уменьшение содержания белка и резкое увеличение содержания липидов при постоянном уровне углеводов.

Клетки голодающего по фосфору, характеризуются содержанием хлорофилла и белка, соответственно, увеличением доли углеводов и липидов.

Недостаток магния, железа и калия не вызвал значительных изменений биохимического состава клеток, за исключением заметного уменьшения содержания липидов при магниевом голодании.

Из всех рассматриваемых факторов минерального питания сильный хлороз вызывается лишь недостатком азота, серы и магния. Причины хлороза для всех этих случаев, по-видимому, разные. Если при недостатке азота уменьшение содержания хлорофилла обусловлено снижением количества белков, и, следовательно, разрушением всех клеточных структур, в том числе и структур фотосинтетического аппарата, то серное голодание затрагивает главным образом другой аппарат – элемент структуры хлоропласта – липиды, участвующие в построении ламелл.

Недостаток магния обладает ясно выраженным поливалентным действием на обмен клетки ввиду того, что этот элемент входит в состав хлорофилла, участвует в построении структур клеток в качестве двухвалентного катиона, а также является кофактором многих энзиматических реакций, в том числе и реакций биосинтеза жирных кислот.

Таблица 3. Урожай биомассы, сред. сух. вес одной клетки и биохимический состав хлореллы (*Chlorella*) при недостатке некоторых элементов минимального питания

Фактор минимального питания	Контроль	N	S	P	Mg	Fe	K
Урожай биомассы, г/л	2,72	1,04	1,74	1,49	1,27	1,73	1,90
Средний сухой вес одной клетки, г*10 ⁻¹²	10,7	28,4	45,9	16,8	-	12,0	9,7
Состав биомассы, % на сухой вес							
хлорофилл	2,97	0,43	0,47	2,02	1,31	1,90	2,13
белок	56,1	24,7	42,8	40,7	49,1	43,2	48,8
углеводы	20	38	18	24	35	36	34
липиды	22,4	37,4	39,0	26,8	14,0	21,5	17,4

В заключении можно сказать, что результаты приведенных опытов показывают, что различные факторы внешней среды оказывают неоднозначное действие на рост и биохимический состав хлореллы. Исследованные факторы минерального питания можно разделить на две основные группы.

В первую группу входят азот и сера. Недостаток этих элементов не вызывает немедленного отравления процессов ассимиляции в клетках водорослей, но замедляет деление и останавливает развитие. В результате клетка накапливает органические вещества и увеличивает свой вес. Поскольку при недостатке азота происходит полное подавление синтеза белка, то клетки накапливают безазотистые соединения (углеводы и липиды). При серном голодании синтез белка подавляется в меньшей степени, а стимуляция образования липидов в этом случае сопровождается некоторым подавлением синтеза углеводов.

Во вторую группу элементов входит фосфор, магний, калий, железо. Недостаток этих элементов отрицательно сказывается в первую очередь на процессах ассимиляции, тогда как деление клеток происходит обычно (за исключением недостатка магния) нормально.

Следствием этого является замедление темпов роста и накопления сухого вещества в клетках: средний размер и средний вес одной клетки при этом не увеличивается или даже уменьшается по сравнению с контролем.

Краткая характеристика некоторых видов хлореллы

1. *Chlorella ellipsoidea* Gerneck
2. *Chlorella luteoviridis* Ghodat
3. *Chlorella miniata* (Nag) Oltn
4. *Chlorella ovalis* Butch
5. *Chlorella protothecoides* Kruger

6. *Chlorella pyrenoidosa* Chick
7. *Chlorella saccharophila* (Kriger) Nad
8. *Chlorella variegata* Beijerinck
9. *Chlorella vulgaris* Beijerinck
10. *Chlorella xantella* Beijerinck
11. *Chlorella zoptingiensis* Dons.

1. *Chlorella ellipsoidea* Gerneck.

Клетки эллипсоидные, в диаметре 4-7μ, хроматофор пластинчатый, пиреноид слабо выражен или отсутствует совсем. Оболочка обычно тонкая. Растут в среде с пептоном, глюкозой, галактозой, сильный рост на фруктозе.

2. *Chlorella luteoviridis* Ghodat.

Клетки круглые, 4-7μ в диаметре, хроматофор пластинчатый, пиреноид слабо выражен. Оболочка у подсыхающих культур утолщенная. Растут в присутствии галактозы, глюкозы, при pH=3 и при 3% NaCl. Не фотоусваивают ацетат, гидролизуют крахмал.

3. *Chlorella protothecoides* Kruger (5).

Клетки круглые, 4-7μ в диаметре. Хроматофор чашевидный. Оболочка при подсыхании культур толстая. Не растут в сахарах, растут в р-ре с пептоном. Не гидролизуют крахмал. Пиреноид отсутствует.

4. *Chlorella pyrenoidosa* Chick (6).

Клетки круглые, средний диаметр 7μ, хроматофор чашевидный, пиреноид отчетливый. У некоторых штаммов оболочка при подсыхании утолщается. Растут в средах с пептоном, глюкозой, иногда с лактозой и фруктозой. Многие штаммы фотоусваивают ацетат. Гидролизуют крахмал, растут при 3-5% растворе NaCl, при 37° C, не растут при pH=3.

5. *Chlorella vulgaris* Beijerinck (9).

Клетки круглые, средний размер в диаметре около 7μ, хроматофор чашевидный, со слабо выраженным пиреноидом. Оболочка при подсыхании утолщается. Растут в среде с пептоном, глюкозой, слабее с галактозой и фруктозой. Гидролизуют крахмал.

6. *Chlorella* – вид 1 (3, 4, 5) – клетки круглые, средний размер 7μ в диаметре, хроматофор чашевидный, с пиреноидом, оболочка тонкая. Растут в среде с пептоном, глюкозой, галактозой, лактозой. Не гидролизуют крахмал.

7. *Chlorella* – вид 2 (8,10,11) – клетки крупные, 7-12μ в диаметре, отчетливый пиреноид, хроматофор чашевидный, оболочка в подсыхающих культурах толстая. Растут в среде с пептоном, глюкозой, фруктозой. Фотоусваивают ацетат, гидролизуют крахмал. Некоторые штаммы растут при pH=3 и при 3% NaCl.

Таким образом, хлорелла – одноклеточная микроскопическая водоросль. Ее клетки от 0,002 мм до 0,01 мм. Одно микроскопическая клетка выполняет все жизненные функции. Для роста и развития хлореллы необходимы вода, минеральные вещества, углекислый газ и кислород.

Размножение микроводорослей происходит «делением» материнских клеток после достижения зрелости на две, четыре, а в ряде случаев и более частей. Процессе размножения хлореллы весьма интенсивен. При оптимальных

условиях за короткое время можно получить большой прирост биомассы – в 200 раз больше, чем высших растений.

Применение хлореллы основано на высоком содержании в ней биологически ценных веществ. Сухая биомасса хлореллы содержит более 45% сырого протеина, 30-35% углеводов, 7-10% жира. В составе зеленой клетки содержатся незаменимые в питании животных аминокислоты: лизин (10,2%), метионин (1,4%), триптофан (2,26%), аргинин (15,8%), гистидин (3,3%), лейцин (6,1%), изолейцин (3,5%), фениланин (2,8%), треонин (2,9%) валин (5,5%), а также хлорофилл (2,5%).

Богата хлорелла и витаминами. Особенно много в ней витаминов групп **В**, **С**, **РР**, **Е**, каротина. Обнаружены в ней (в природе) микроэлементы – йод, радий, бром, мышьяк, кобальт, калий, фосфор, железо, магний и т.п. и антибиотики.

Существенно, что изменяя состав питательной среды, можно получать продукт желаемого состава с различным соотношением белков и жиров. Так, на среде, богатой азотом, хлорелла может накапливать от 40 до 88% сырого протеина и 5% жира, а при недостатке азота и избытке углерода в питательной среде, наоборот, – 88% жира и 5% протеина.

По выходу белка с 1 га хлорелла превосходит злаковые культуры в 50 раз, а люцерну – в 3-8 раз. В одном килограмме сухой массы хлореллы содержится до 1162 мг каротина, т. е. в 7-9 раз больше, чем в травяной муке высшего качества, приготовленной из люцерны.

Важные достоинства хлореллы – высокая урожайность, относительная несложная технология выращивания – создают хорошие предпосылки для выращивания в производственных условиях.

Производство хлореллы в промышленных масштабах

Типы сред и методы массового культивирования.

1. Массовая культура под открытым небом (экстенсивная культура). Принципиальная схема такого культивирования состоит в выращивании водорослей в жидких питательных средах в бассейнах, лотках и других емкостях различными способами перемешивания, подачи углекислого газа и использованием солнечного света. Производительность установок такого рода составляет в среднем 15-20 г/м² сухой биомассы в сутки, достигая иногда 25-30 г/м², а в отдельных случаях 35-40 г/м². Урожай с единицы объема суспензии в условиях массовой культуры под открытым небом составляет в среднем 0,2 г/л в ск, поднимаясь в отдельных случаях до 1,2 г/л. плотность культуры, при которой ведется выращивание, варьируют в зависимости от типа установок, что составляет 25-400 млн. клеток на 1 мл.

Постоянно меняющиеся погодные условия являются причиной того, что в установках открытого типа невозможно длительное, стабильное снятие устойчивого урожая, что приближает этот принцип культивирования водорослей к способам возделывания высших растений, когда процесс накопления урожая существенным образом зависит от погодных условий.

2. Интенсивная культура.

На протяжении последних лет в различных лабораториях был разработан ряд установок и аппаратов высокоинтенсивного управляемого культивирования в полностью контролируемых условиях с автоматической стабилизацией оптимальных условий и непрерывной автоматической регистрацией таких важных физиологических функций культуры, как скорость роста, интенсивность фотосинтеза, минеральное питание. Наиболее совершенным из таких методов является проточное выращивание водорослей, при котором по сигналам, полученным от самой культуры, осуществляется автоматический отбор прирастающих клеток (урожае), подача свежей питательной среды и стабилизация оптической плотности культуры.

Главным преимуществом этих методов культивирования является возможность вести длительное непрерывное выращивание водорослей с поддержанием постоянной плотности суспензии на оптимальных значениях, при котором наблюдается максимальная продуктивность культуры. Урожай хлореллы, которые получают в таких установках, составляют примерно 30-40 г/л в сутки или 80-10 г/м² освещаемой поверхности.

Типы сред. Хлорелла может развиваться в различных питательных средах: минеральной органической, органо-минеральной. Основные их элементы - азот, фосфор, сера, магний, железо. Наибольшее применение при выращивании хлореллы получили минеральные среды. По качественному составу они бывают разные. Наиболее распространенные – среды Тамия Ленинградского биологического института, Ухальского гидробиологического института. Но её выращивают и на органических средах-отходах спиртовых, дрожжевых, сахарных, пивоваренных, крахмало-паточных, биохимических заводов, используя упаренную и обездрожженную бражку и другие отходы основного производства. Тонна хлореллы, выращиваемая на этих средах, обходится в 5-6 раз дешевле, чем в минеральных, в ней больше витаминов, не говоря уже об экологической стороне вопроса.

Температурный режим. Оптимальная температура выращивания зависит от типа культивируемого штамма хлореллы. Штаммы подразделяются на термофильные, мезофильные и криофильные. Практика показывает, что для получения устойчивых урожаев, богатых белком, эффективно применение смеси термофильных и мезофильных штаммов. Температурный режим в установках поддерживается с помощью электронагревателей, источников света или отработанных газов промышленных предприятий.

Свет и рост водорослей. Большое значение в ускорении фотосинтеза имеет свет. На практике, при выращивании хлореллы максимальная освещенность не должна превышать 20 тыс. лк. В качестве источников света можно использовать газоразрядные или люминесцентные лампы на высоте 15-20 см от поверхности суспензии, чтобы её внутренние слои получали достаточно света.

Снабжение суспензии углекислым газом. Усвоение хлореллой углерода зависит от температуры суспензии и её освещенности. При оптимальных условиях интенсивность роста её повышена. Это достигается введением в

суспензию смеси воздуха с углекислотой (концентрация CO_2 – 1-1,5%) или чистой углекислоты с расходом соответственно 3-5 л и 0,05-0,1 л на 1 м²/мин.

Применение хлореллы.

В сельском хозяйстве хлорелла применяется в животноводстве и птицеводстве, как кормовая добавка. Используют её в виде суспензии и пасты, а в отдельных случаях – в виде порошка и гранул. Включение хлореллы в кормовые рационы дает увеличение привесов до 35%, молочной продуктивности – до 20%, яйценоскости кур – до 30%, снижает затраты кормов на 10-15%. Ценность зеленого биокорма еще и в том, что при добавке его в кормовые рационы у скота и птицы повышается сопротивляемость к различным заболеваниям. Исследования и производственные опыты показали, что наиболее эффективна хлорелла в виде суспензии при выпаивании крупному рогатому скоту и приготвлении мешанок свиньям, а в виде пасты и порошка (гранул) – при скармливании к пище.

Одновременно с ростом использования водных ресурсов для целей водоснабжения повышается степень их загрязнения промышленными и коммунально-бытовыми жидкостями в результате сброса дренажных вод с сельскохозяйственных полей и условно очищенных сточных вод с животноводческих комплексов, птицефабрик и т.д.

При очистке различных стоков наряду с индустриальными методами используют и биологические способы, так как процессы, определяющие самоочищение загрязненных водоемов и очистку стоков имеют преимущественно биологическую основу. С этой целью особый интерес представляет изучение очистки этих стоков водорослями.

В настоящее время изучены рост, развитие и очистительная эффективность отдельных штаммов микроводоросли *Chlorella* при культивировании её на отходах (куриный помет) и сточных водах птицефабрик, на стоках свиноводческих комплексов, а также на коммунально-бытовых и промышленных стоках городов.

В результате роста водоросли, выделяя большое количество кислорода, содействуют бактериальному окислению органических веществ, усваивают биогенные элементы и тем самым интенсифицируют процесс очистки сточных вод от различных загрязнений.

Результаты опытов изучения вопросов о влиянии культивирования *Chlorella vulgaris* Beijerinck на интенсивность очистки сточной воды

А) Культивирование водоросли на сточных водах птицефабрики. Величина БПК сточной воды, взятой из отстойника птицефабрики составляет 189 мг O_2 /п, окисляемость (перманганатная) 106,0 мг O_2 /п, растворенный кислород не обнаружен, содержание аммонийного азота 16,5 мг/л, фосфатов 5 мг/л. В результате культивирования хлореллы в конце опыта (15-ый день) величина БПК снизилась до 19,0-24,6 мг O_2 /п. Содержание фосфатов в опытном варианте снизилось до 0,3 – 0,5 мг Р/л, аммонийного азота до 0,08-0,1 мг N/л.

Лучший рост микроводорослей и более интенсивная очистка сточной воды от органоминеральных загрязнений по сравнению с контролем

достигнут при активном перемешивании и обогащении среды углекислым газом. При этом величина БПК с начальной величины 105 мг O₂/л на 10-й день культивирования водорослей снижался до 19,3 – 25 мг O₂/л, а в контроле – до 57 мг O₂/л. На этот же день опыта в вариантах с водорослями содержание аммонийного азота составляло 0,4-1,3 мг.

N/л, нитратов 0,7-1,1 мг/л, тогда как в контроле указанных веществ сохранилось соответственно 11,0 и 4,5 мг/л. Эти данные показывают, что в процессе роста водорослей происходит интенсивное окисление органических веществ, а биогенные элементы усваиваются водорослями.

Б) *Культивирование водорослей на сточных водах свиноводческого комплекса.* Стоки свиного комплекса имеют светло-коричневый цвет и навозный запах, pH 5,0-6,5, растворенный кислород отсутствует, БПК 457,1-570,0 мг O₂/л, окисляемость 91,08-102,82 мг O₂/л. В воде также содержится большое количество общего азота (23,7-38,2 мг P₂O₅/л).

В ходе опыта в различных вариантах производили гидрохимический анализ. Как показали полученные результаты, при культивировании хлореллы уже на 6-ой день содержание растворенного кислорода составляет 39,71 мг O₂/л, величина БПК снижается до 85 мг O₂/л, окисляемость – до 50,59 мг O₂/л в контрольном варианте кислород почти не обнаружен. БПК – 105 мг O₂/л, окисляемость – 66,91 мг O₂/л.

Таким образом, водоросли не только хорошо растут на сточной воде свиного комплекса, но и способствуют более интенсивной очистке их от органических загрязнений. Работы по массовому культивированию хлореллы ведутся и в рыбном хозяйстве, разработаны методы разведения живых кормов для молоди промысловых рыб. Один из основных объектов для разведения живых кормов – разнообразные (в частности дафнии), для которых лучший корм – хлорококковые водоросли (хлорелла). Помимо этого, – хлорококковые (хлорелла) привлекли внимание и как источники пищи для человека. Так, например, во многих прибрежных городах Японии разводят хлореллу для получения высококалорийного продукта содержащего большое количество питательных веществ в виде порошка – его можно смешивать с мукой при изготовлении хлебобулочных изделий.

Она служит также и в медицинской промышленности, как исходный продукт для получения витаминов, хлорофилла и стероидов, необходимых для синтеза некоторых лечебных препаратов. Эта работа ведется в ведущих институтах многих зарубежных стран, таких как Германия, Италия, США, Япония, Франция.

Список литературы:

1. Авилон И. Культурные и физиологические критерии при классификации. Л., 1976.
2. Андреева А.Г. Хлорелла. Ее использование в сельском хозяйстве. Л., 1979.
3. Бурцев С. Изучение методов культивирования и роли водорослей в биологической очистке сточных вод. Ташкент, 1979.
4. Тахтаджян А.Л. Жизнь растений. Т.3. М.: Просвещение, 1981.
5. Маслов Ю. Условия синтеза биохимических веществ в культурах хлореллы. Л., 1976.
6. Рейвн П., Эверт Р., Айхорин С. Современная ботаника. М.: Мир, 1990.
7. Стрешинская Г.М. Состав различных штаммов зеленой водоросли *Chlorella*. М., 1976.

References:

1. Avilov I. *Cultural and physiological criteria for classification*. L., 1976.
2. Andreev A.G. *Chlorella. Its use in agriculture*. L., 1979.
3. Buriev S. *Study of methods of cultivation and the role of algae in the biological wastewater treatment*. Tashkent, 1979.
4. Tahtadzhyana A.L. *The life of plants*. T3. M.: Education, 1981.
5. Maslov Yu. *Conditions synthesis of biochemical substances in cultures of Chlorella*. L., 1976.
6. Raven P., Evert R., Ayhorin S. *Modern botany*. M.: Mir, 1990.
7. Streshinskiy G.M. *Composition of different strains of the green alga Chlorella*. M., 1976.

© 2014, Аужанова Н.Б.

Морфологическая и систематическая характеристика хлореллы. Ее производство и применение

© 2014, Auzhanova N.B.

Morphological and systematic characterization of chlorella. Its production and use