

Л. А. ЛАНСКАЯ, Д. М. ВИТЮК, Л. И. РОЖАНСКАЯ

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ
МОРСКИХ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ,
ВЫРАЩЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО
И ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Изменчивость химического состава водорослей в зависимости от их физиологического состояния и условий роста отмечена многими исследователями. Мильнер (Milner, 1953) приводит данные по содержанию жира у хлореллы, выращенной при разных режимах культивирования. Фогг и Коллье (Fogg a. Collyer, 1953) изучали зависимость между содержанием азота и жировых веществ у некоторых видов пресноводных водорослей, выращенных в бактериально чистых культурах. По данным этих авторов, у всех исследуемых видов водорослей содержание жирных кислот резко возрастает при снижении содержания азота. К такому же заключению пришли Споер и Мильнер (Spochr, Milner, 1956). Заметные колебания в содержании жира отмечены Л. А. Ланской и Т. И. Пшениной (1961) в культурах планктонных морских диатомовых *Leptocylindrus danicus* и *Skeletonema costatum*. Эти колебания объясняются различным физиологическим состоянием клеток водорослей, которые в свою очередь обуславливаются временем их развития — сезоном года.

О резко выраженной зависимости от условий выращивания клеток свидетельствуют также другие компоненты химического состава. Коллье и Фогг (1955) показали, что в отдельные периоды роста хлореллы содержание углеводов у нее бывает различным. Кетчум и Редфилд (Ketchum a. Redfield, 1949) отмечают различия в соотношении содержания азота, углерода, фосфора и золы в старых и молодых клетках. Старые клетки содержат меньше углерода и азота, но больше фосфора и золы, чем молодые клетки того же вида. Согласно анализам различных авторов, содержание некоторых комплексов витамина В в молодых культурах хлореллы значительно выше, чем в старых (Винберг, 1957). В зависимости от условий выращивания количество белка у *Stichosoccus bacillaris* значительно колеблется, составляя в одних условиях роста 33,5%, в других — 62,3% (Винберг, 1957). На изменение химического состава водорослей в зависимости от их физиологического состояния и условий роста указывают также Сорокин (Sorocin, 1957), Кестевен и Левасту (Kesteven a. Laevastu, 1957) и многие другие авторы.

М. В. Пахомова и Г. П. Серенков (1962), изучая влияние света и темноты на химический состав зеленой водоросли *Scenedesmus quadricauda*, пришли к выводу, что культуры ее, выращенные на среде

Бенеке с добавлением глюкозы на свету и в темноте, не отличались по качественному составу углеводов, но различались по их количественному содержанию. Более того, как «темновые», так и «световые» культуры, выращенные при различных источниках углерода, значительно различаются по содержанию органического вещества. При добавлении в среду глюкозы в качестве дополнительного источника углерода основную массу органического вещества составляют углеводы, а при использовании одной лишь углекислоты — белки.

Экспериментальные работы при изучении закономерностей развития водорослей проводятся в основном в условиях искусственного освещения. Однако сведения о влиянии различных источников света (искусственного и естественного) на жизнедеятельность клеток, в частности на их химический состав, пока ограничены.

В настоящей статье сделана попытка выявить различия в содержании белка, жира, углеводов и зола у морских планктонных водорослей, выращенных в культурах при естественном и искусственном освещении.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследованию подвергались мелкие жгутиковые из Cryptomonadeae (Cryptomonas, Chroomonas) и Volvocineae (Chlamydomonas), выращенные в культурах из исходного материала, взятого в Азовском, Черном и Средиземном морях; Coccolithophoreae (Pontosphaera huxleyi) из Черного и Средиземного морей и Protococcineae (Chlorella) — из Азовского моря.

Монокультуры водорослей выращивались на питательном растворе Аллена-Нельсона (Allen a. Nelson, 1910), приготовленном на морской воде того же водоема, откуда был получен исходный материал для культур. Перечисленные водоросли выращивались в культурах при естественном и искусственном освещении с марта по август 1962 г.

В условиях естественного света культуры содержались в лаборатории при комнатной температуре, среднемесячные значения которой колебались от 18° в марте до 27° в июле—августе. Соответственно нарастала и интенсивность максимального освещения от 1000 лк в марте до 3600 лк в июле—августе.

При искусственном освещении культуры выращивались в специально оборудованной комнате. Источником света служили люминесцентные лампы ТБС-30. Во время всех наблюдений интенсивность освещения была постоянной, составляя 5500—6000 лк. Продолжительность освещения — 8 часов в сутки. Среднемесячные колебания температуры в период наблюдений были меньше, чем в естественных условиях (21,6—26,8°). Однако при искусственном освещении имели место более значительные суточные колебания температуры, чем при дневном. В период освещения культур люминесцентными лампами температура всегда была на 5—6° выше, чем в период их затемнения, т. е. после выключения ламп. При дневном освещении суточные колебания температуры не превышали 2—3°.

Принятые нами условия освещенности и температуры являются, как это было выявлено экспериментальным путем, близкими к оптимальным для исследуемых водорослей.

С целью получения большей биомассы водоросли выращивались как при дневном, так и при искусственном освещении в течение од-

ного—трех месяцев. За этот период культуры пересеивались 1—2 раза в месяц.

Выращенные таким образом водоросли подвергались химическому анализу. После центрифугирования полученный осадок водорослей переносили в предварительно взвешенный сухой бюкс, взвешивали и высушивали при температуре 60—75° до постоянного веса. Высушивание проводилось при 60—75° (а не при 100—150°, как это принято) в целях предотвращения потери летучих органических соединений (Виноградова, 1959). По убыли веса рассчитывалось содержание воды в водорослях. Сухое вещество измельчали и сохраняли над хлористым кальцием до определения остатка после прокаливания (зола), сырого жира и азота.

Остаток после прокаливания определяли сжиганием навески на газовой горелке в платиновом тигле. Сырой жир определяли экстракцией этиловым эфиром методом настаивания (Витюк). Содержание азота определяли по методу Дюма, видоизмененному для микроопределений (Бобранский, 1961). Белок рассчитывали по азоту умножением на коэффициент 6,25. Содержание углеводов вычисляли по разности между количеством сухого вещества (100%) и суммарным содержанием в нем золы, белка и сырого жира.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные, приводимые в таблице, показывают, что водоросли, выращенные в условиях различного освещения, имеют несколько отличный химический состав.

С выращиванием водорослей при более ярком искусственном освещении почти у всех исследуемых видов наблюдается усиление синтеза углеводов, вполне естественное в таких условиях. Соответственно увеличению процентного содержания углеводов относительное содержание белка в условиях сильного освещения оказывается более низким. Однако, учитывая то, что темп деления клеток водорослей, их численность и биомасса при искусственном освещении выше, чем при естественном, можно считать, что несколько возрастает также синтез белка.

У исследуемых представителей *Volvocineae* и *Cryptomonadineae* отмечается более низкое (в среднем 6,43%) содержание жира при культивировании их в условиях искусственного освещения. При дневном освещении содержание жира у них возрастает, составляя в среднем 8,68%. Возможно, это различие обусловлено тем, что темп деления клеток водорослей, выращенных при искусственном освещении, был несколько выше, чем при естественном, вследствие чего в клетках откладывалось меньше запасных питательных веществ. Фогг и Колье (1953) отмечают, что при быстром росте клеток откладывается мало запасных питательных веществ, но возрастает содержание азота (последнее в наших опытах не наблюдалось).

В отличие от рассматриваемых жгутиковых протококковая водоросль *Chlorella vulgaris* при искусственном освещении содержала несколько более высокий процент жира. Количество белка, так же как и у жгутиковых, несколько снизилось, а углеводов, наоборот, повысилось, по сравнению с культурами, выращенными при дневном освещении. Содержание золы у исследуемых нами водорослей, выращенных в условиях искусственного и естественного освещения, колеблется крайне незначительно (см. таблицу).

Содержание белка, жира, углеводов и золы у некоторых планктонных водорослей, выращенных при естественном и искусственном освещении
(в % на сухой вес)

Водоросли	Море	Источник света*	Вода**	Зола	Азот	Белок	Сырой жир	Углеводы
Volvocineae								
<i>Chlamydomonas depeyperata</i>	Азовское	Е	89,0	20,8	—	—	7,04	—
» »	»	И	89,8	19,3	—	—	5,24	—
<i>Chlamydomonas minima</i>	Черное	Е	92,5	26,6	3,22	20,1	8,19	45,1
» »	»	И	91,8	26,1	2,43	15,2	6,20	52,5
<i>Chlamydomonas sp.</i>	Средиземное	Е	69,5	17,2	3,48	21,8	14,03	47,0
» »	»	И	52,8	17,3	2,54	19,9	9,00	53,8
Cryptomonadineae								
<i>Chroomonas acuta</i>	Азовское	Е	85,4	11,3	7,40	29,4	6,37	52,9
» »	»	И	77,6	9,1	5,94	37,1	6,23	47,6
<i>Cryptomonas sp. 1</i>	Черное	Е	87,9	20,9	3,68	23,0	7,63	48,5
» »	»	И	89,9	20,7	1,48	9,2	5,22	64,9
<i>Cryptomonas sp. 2</i>	Средиземное	Е	69,4	17,6	3,57	22,3	8,80	51,3
» »	»	И	84,8	12,7	3,07	18,8	6,68	61,8
Protococcineae								
<i>Chlorella vulgaris</i>	Азовское	Е	64,3	24,9	5,78	36,2	5,18	33,7
» »	»	И	65,4	24,8	5,42	34,8	6,06	34,3
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	»	Е	54,8	20,1	5,75	35,9	2,96	41,0
Coccolithophoreae								
<i>Pontosphaera huxleyi</i>	Черное	Е	78,8	53,8	2,46	15,4	1,57	29,2
» »	Средиземное	Е	80,3	50,1	2,56	16,0	3,47	30,4

* Е — естественное освещение, И — искусственное освещение.

** Содержание воды вычислено в % к сырому весу.

Как следует из таблицы, различия в содержании определяемых компонентов химического состава в пределах одной группы водорослей относительно невелики, несмотря на то, что некоторые из этих водорослей выделены из морей, резко отличающихся по солености. Однако представители различных групп водорослей заметно различаются по своему химическому составу. Эти различия сохраняются как при естественном, так и при искусственном освещении.

У протококковой водоросли хлореллы отмечено довольно высокое содержание белка (в среднем 35,5%) и углеводов (34%) и сравнительно низкое содержание жира (5,62%). У представителей *Volvocineae* и *Cryptomonadineae* доминируют углеводы, составляя в среднем 49,6 и 54,5% соответственно. Содержание белка у них по сравнению с хлореллой несколько понижено (19,2 и 23%), жира — повышено (12,4 и 6,8%). Среднее содержание золы у *Volvocineae* 21,2% и у *Cryptomonadineae* 15,4%, что близко к таковому у хлореллы (24,8%).

Среди исследованных групп водорослей несколько отличается по своему химическому составу кокколитофорид *Pontosphaera huxleyi*. У нее почти в 2,5 раза больше золы, чем у жгутиковых и протококковых (52%) и низкое содержание жира (2,52%). Различия в химическом составе *Pontosphaera* Черного и Средиземного морей сравнительно невелики. Если учесть при этом, что средиземноморская культура была более старая, то некоторое увеличение содержания жира в водо-

рослях этой культуры по сравнению с водорослями более молодой черноморской культуры *Pontosphaera* вполне закономерно.

Как следует из наших предыдущих наблюдений (Ланская и Пшенина, 1961) и работ ряда других авторов (Ketchum a. Redfield, 1949; Fogg a. Collyer, 1953; Kesteven a. Laevastu, 1957), различие в химическом составе в пределах одной группы водорослей, по-видимому, обуславливается, главным образом, физиологическим состоянием клеток. Это различие в значительной мере определяется также условиями роста. Согласно наблюдениям М. В. Пахомовой и Г. П. Серенкова (1962), у водорослей, выращенных на средах, резко отличающихся по своему химическому составу, в частности по характеру источника углевода, отмечается разное содержание углеводов и белка.

Как показывают приведенные выше данные, химический состав водорослей в значительной степени зависит также от интенсивности освещения и, вероятно, от спектрального состава света. Условия освещения существенно влияют на содержание белка, углеводов и жиров. Это необходимо учитывать при сопоставлении химического состава водорослей, выращенных в культурах при искусственном освещении, и водорослей, собранных в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- Бобранский Б., 1961, Количественный анализ органических соединений, М.
 Винберг Г. Г., 1957, Массовые культуры одноклеточных водорослей как новый источник пищевого и промышленного сырья, Усп. совр. биол., т. XVII, вып. 3.
 Виноградова З. А., 1959, Біохімічний склад планктону північно-західної частини Чорного моря, Наукові записки Одеської біол. ст. АН УРСР, вып. 1.
 Витюк Д. М., 1964, К методике определения сырого жира в планктоне, Тр. Севаст. биол. ст. АН УССР, т. XVII.
 Коршун М. О. и Гельман Н. Э., 1947, Аппаратура для количественного элементарного микроанализа, АН СССР, М.
 Ланская Л. А. и Пшенина Т. И., 1961, Содержание белка, жира, углеводов и зола у некоторых массовых планктонных водорослей Черного моря, выращенных в культурах, Тр. Севаст., биол. ст. АН УССР, т. XIV.
 Пахомова М. В. и Серенков Г. П., 1962, Влияние света и темноты на химический состав *Scenedesmus quadricauda*, Вестник Моск. ун-та, № 4.
 Allen E. J. a. Nelson E. W., 1910, On the artificial culture of plankton organisms, J. Mar. Biol. Ass., U. K., v. 8.
 Fogg J. E. a. Collyer D. M., 1953, The accumulation of lipids by algae, J. Algae culture.
 Ketchum B. H. a. Redfield A. C., 1949, Some physical and chemical characteristics of algae grows in mass culture, J. Cell. Comp. Physiol., v. 33.
 Collyer D. M. Fogg J. E., 1955, Studies on fat accumulation by algae, J. Experiment. Bot., v. 6.
 Kesteven J. L. a. Laevastu T., 1957, The oceanographical conditions for life and abundance of phytoplankton considered with respect to fisheries, FAO, Fisheries Division, Biology Branch.
 Milner H. W., 1953, The chemical composition of algae, J. Algae culture.
 Spoehr H. A., Milner H. W., 1956, Production of protein, lipides and carbohydrates by culture of algae, Pat. USA, 2,732, 661, 47. (Carnegie Inst. of Washington).
 Sorokin C., 1957, Changes in photosynthetic activity in the course of cell development in *Chlorella*, Physiologia Plantarum., v. 10.