

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ НЕКОТОРЫХ ЧЕРНОМОРСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Г.К. Яценко

В 1959-1961 гг. в Одесском госуниверситете проведено изучение количественного и качественного состава фотосинтетических пигментов *Cystoseira barbata* (Good et Wood) Ag., изучено распределение и содержание их в различных частях таллома в течение года, исследован кислородный обмен *C. barbata* в море в зависимости от температуры, прозрачности, солености воды и подводного освещения, дана физиологическая характеристика этой водоросли, произрастающей в Одесском заливе.

В 1962-1965 гг. в отделе биохимии Одесского отделения ИНБЮМ АН УССР под руководством и при участии доктора биологических наук З.А. Виноградовой, исследованы качественный состав и количественные соотношения хлорофилла и каротиноидов и закономерности их сезонной динамики в массовых видах фитопланктона северо-западной части Черного моря.

В настоящей статье излагаются результаты этих исследований.

Цистозиру собирали на камнях на глубине до 5 м в Одесском заливе. Опыты по фотосинтезу и дыханию проводились в море на глубине 5 м, использована кислородная модификация метода склянок, кислород определялся по Винклеру. Подводное освещение измерялось гидрофотометром с сиденовым фотоэлементом /кал/см².мин фотосинтетически активной радиации/ по методу Б.И. Гуляева /Институт физиологии растений АН УССР/.

Фитопланктон собирался на рейдовой точке в 2 милях от берега возле Одессы планктонной сетью из газа № 61 в слое воды 10-0 м. Путем последовательного фильтрования через газ № 49 и 61 фитопланктон отделялся от зоопланктона и икры рыб. Анализировались только свежие водоросли.

Пигменты экстрагировались ацетоном после растирания с кварцевым

песком, разделялись методом одномерной восходящей хроматографии на бумаге [3], растворители подбирались эмпирически [4]. Количество пигментов определялось колориметрически на ФЭК-Н-54 по градуировочным кривым, идентифицировались по спектрам поглощения, которые определялись на спектрофотометре СФ-4. Содержание пигментов выражалось в процентах и миллиграмм-процентах сырого и сухого вещества для *C. barbata* и в гаммах на грамм сырого, сухого и органического вещества для фитопланктона. Всего проанализировано около 200 проб этой водоросли и свыше 250 проб фитопланктона. Максимальная относительная ошибка метода определения пигментов, включая совокупность ошибок и биологическую неоднородность материала, лежит в пределах $\pm 10\%$, что согласуется с данными И.А. Попова [1965].

В результате наших исследований установлено, что зеленые пигменты *C. barbata*, *Cyanophyceae*, *Bacillariophyta* и *Dinoflagellata* идентифицируются с хлорофиллом "а". Хлорофилл "в" в этих водорослях отсутствовал; хлорофилл "с" методом бумажной хроматографии не был нами обнаружен.

Каротиноидные пигменты *C. barbata* идентифицированы с каротином фукоксантином, виолаксантином и неофукоксантином. А. Лютеин и зеаксантин обнаружены не были. Виолаксантин-ксантофилл высших растений является постоянной составной частью пигментной системы этой водоросли.

Каротиноидные пигменты *Cyanophyceae*, *Bacillariophyta*, *Dinoflagellata* идентифицированы с β -каротином, перидинином, неоперидинином, диатоксантином, фукоксантином и неофукоксантином. Ксантофиллы: диатоксантин, диадиноксантин, фукоксантин /оранжевого цвета/, перидинин /розового цвета/, неофукоксантин /желтого цвета с зеленым отливом/ являются основными в черноморском фитопланктоне. Из *Microcystis aeruginosa* выделен фикобилин, фикоциан с максимумом поглощения в морской воде при 620 нм.

В талломе *C. barbata* содержится в среднем 0,63% /в пересчете на сухое вещество/ хлорофилла "а"; 9,8 мг% каротина и 103% ксантофиллов. Из ксантофиллов основным является фукоксантин, количество его в среднем 88 мг%. Неофукоксантин составляет примерно четвертую часть 20 мг%, виолаксантин содержится в количестве 11 мг%. Отношение хлорофилл/каротиноиды почти не изменяется в течение года и составляет в среднем 5,6. Минимальное количество пигментов обнаружено летом: 0,50% хлорофилла; 7,6 мг% каротина и 83 мг% ксантофиллов.

Максимальное количество хлорофилла /0,72%/ и ксантофиллов /115 мг%/ накапливается зимой. Максимум 12 мг% наблюдается весной.

Распределены пигменты по таллому *C. barbata* неравномерно. Наибольшее количество хлорофилла /0,99%/ и ксантофиллов /162 мг%/ содержится в молодых интенсивно растущих частях водоросли. Максимальное количество каротина /18 мг%/ накапливается в старых частях весной и совпадает с массовым развитием рецептакул. На наш взгляд, это является веским аргументом в пользу гипотезы о связи каротиноидов с процессами полового воспроизводства организмов [1, 2, 5]. Осевые стеблевидные части водоросли содержат незначительное количество пигментов.

Фотосинтез цистозир носит сезонный характер. Максимальная интенсивность фотосинтеза в летне-осенний период совпадает с высоким освещением /0,20-0,26 кал/см².мин/. Средние величины ее составляют 80-390 мг O₂, выделенного на 100 г сухого вещества в час.

Максимальная интенсивность дыхания совпадает с высокими температурами /24-26°C/ и составляет 44-77 мг O₂, поглощенного на 100 г сухого вещества в час. Максимум фотосинтеза приходится на период с 12 до 15 ч, дыхание в течение дня изменяется незначительно. При освещении 0,26-0,28 кал/см².мин и температуре 24-28°C дыхание значительно возрастает, а фотосинтез снижается. Оптимальными условиями для фотосинтеза *C. barbata* является температура 17-18°C и освещение 0,14-0,30 кал/см².мин. Фотосинтез в течение года днем значительно /в отдельные сроки в 15 раз/ превышает дыхание, даже в декабре-январе балансовый коэффициент имеет положительное значение. Сезонная динамика содержания пигментов, сезонные изменения фотосинтеза и дыхания, обеспечивающие продуцирование органических веществ в течение всего года, являются физиологической особенностью *C. barbata* как свето- и теплолюбивого растения. Вероятно, поэтому вид *C. barbata* достиг массового развития в Черном море, тогда как другие виды средиземноморских цистозир здесь не поселяются.

В результате изучения фитопланктона установлено, что количество фотосинтетических пигментов зависит как от видового состава пробы, так и от сезона года. Содержание их подвержено значительным колебаниям. Особенно большие различия в содержании хлорофилла "а" - от 120 до 4340 мкг/г сырого вещества, что составляет 0,35-5,4%, в среднем 1,4% на органическое вещество. Каротин определен в количестве от 1,5 до 31,3 мкг/г, ксантофиллы от 45 до 590 мкг/г.

Среди массовых видов фитопланктона *Rhizosolenia calcar avis* и виды рода *Ceratium* отличаются наименьшим содержанием пигментов. У *Skeletonema costatum* содержание хлорофилла колеблется от 424 мкг/г в марте 1962 г. до 1660 мкг/г в апреле 1963 г. и 1950 мкг/г в марте 1965 г. Отношение хлорофилл/каротиноиды составляет соответственно 5,0; 3,9 и 7,3.

Виды рода *Chaetoceros* отличаются высоким содержанием пигментов, особенно хлорофилла: около 1600 мкг/г весной 1963 г. и 4345 мкг/г при "цветении" 27 апреля 1965 г., что составляет 5,4% на органическое вещество.

Содержание пигментов в сине-зеленых водорослях *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aque* довольно постоянное: 200-270 мкг/г ксантофиллов, 680-806 мкг/г хлорофилла, 36-49 мкг/г каротина, отношение хлорофилл/каротиноиды 3,4-3,7; каротин составляет 12-20% от суммы каротиноидов.

Только в одной пробе *Microcystis aerugin*, собранной в период "цветения" 26 сентября 1965 г. в Днепровско-Бугском лимане, содержалось 5882 мкг/г сырого вещества хлорофилла, 2263 мкг/г ксантофиллов, 411 мкг/г каротина.

Количество пигментов у одного и того же вида водоросли зависит от физиологического состояния. Так у молодых клеток *Thalassionema nitzschoides* в начале "цветения" 19 октября 1965 г. было 2004 мкг/г хлорофилла, 22 мкг/г каротина и 520 мкг/г ксантофиллов. Через 10 дней в старых клетках этой водоросли содержалось 254 мкг/г хлорофилла; количество каротина и ксантофиллов снизилось почти в 5 раз; отношение хлорофилл/каротиноиды уменьшалось от 3,8 до 2,5, тогда как отношение ксантофиллы/каротин осталось 4,1. Подобная зависимость наблюдалась у *Rhizosolenia calcar avis* в июле 1965 г.

Как уже указывалось, содержание пигментов в фитопланктоне зависит не только от видового состава, но и от сезона года. В 1962-1965 гг. ежегодно наблюдалось два четких максимума: весенний и осенне-зимний. Весенний пик обусловлен развитием, главным образом, *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Nitzschia* и др., осенне-зимний максимум связан с "цветением" *Thalassionema*, *Nitzschia*, *Chaetoceros*. Летом обнаруживается минимальное количество всех пигментов, особенно хлорофилла. Наши результаты согласуются с данными Травера [7] и Хэмфри [6]. Травер и Хэмфри также обнаружили летний минимум содержания хлорофилла и сопутствующих пигментов в морском планктоне в Марсельском заливе и у берегов Австралии.

Следовательно, наблюдаемая нами у *S. barbata* и в фитопланктоне сезонная динамика фотосинтетических пигментов отражает общую биологическую закономерность, она может быть объяснена как физиологическим состоянием водорослей, так и сезонными изменениями гидрологических условий Черного моря.

Л и т е р а т у р а

1. Гудвин Т. - В кн.: Эволюционная биохимия. /Тр. У Международного биохимического конгресса. Симпозиум III/. Изд-во АН СССР, М., 1962.
2. Лебедев С.И. - В кн.: Проблемы фотосинтеза. Доклады на II Всесоюзной конференции по фотосинтезу. Изд-во АН СССР, М., 1959.
3. Сапожников Д.И. и др. - Физиология растений, 1956, 5.
4. Яценко Г.К. - Пр. Одеск. держ. ун-ту ім. І.І.Мечнікова, природні науки, 1961, 151, 7.
5. Cook A.N. Rev. of the Cambridge Philosop. Soc., 1945, 20, 3.
6. Humphrey G.F. - Austral. J. Marine and Freshwater Res., 1963, 14, 1.
7. Travers M. - Recueil des Travaux de la station Marine D'Endoume, 1962, 41, 26.