

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(2): 129–144

doi.org/10.15407/alg27.02.129

АНИША ШАШИДХАРАН<sup>1</sup>, СОФИАММАЛ НЕТТАР ПЛУМИНДАС<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кафедра ботаники, Колледж Св. Альберта,  
Эрнакулам 682018, Керала, Индия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский отдел ботаники,  
Национальный колледж Фатима Мата, Коллам 691001, Керала, Индия  
*sanisha.pillai@gmail.com*

## БИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ МАКРОВОДОРОСЛЕЙ ПОБЕРЕЖЬЯ КОЛЛАМА (ИНДИЯ)

Представлены результаты изучения некоторых биохимических показателей пяти видов морских водорослей из трех основных таксономических групп: *Chlorophyceae*, *Phaeophyceae* и *Rhodophyceae* побережья Коллама. Определено содержание влаги, углеводов и белков, а также некоторых антиоксидантных компонентов: аскорбиновой кислоты,  $\beta$ -каротина и каталазы. Для проведения исследований использовали стандартные методы. Все анализы были выполнены в шести повторностях, стандартные отклонения рассчитаны в MS Excel. Самый высокий уровень влаги отмечен в талломах зеленой водоросли *Caulerpa scalpelliformis* (Br. ex Turner) C. Agardh, наивысшая концентрация белка выявлена у бурой водоросли *Padina tetrastratica* Nauck. Представители бурых водорослей также содержали наибольшее количество углеводов. Концентрация аскорбиновой кислоты у всех изученных видов была приблизительно одинаковой. Содержание  $\beta$ -каротина было самым высоким у *C. scalpelliformis* и наименьшим у другой зеленой водоросли – *Ulva lactuca* L. Активность каталазы наиболее выражена у *Sargassum tenerrimum* J.G. Agardh. В талломах *P. tetrastratica* отмечено повышенное содержание белка по сравнению с показателями, ранее установленными для бурых водорослей. Содержание аскорбиновой кислоты в талломах исследованных макрофитов сравнимо с концентрацией этого антиоксиданта в некоторых широко употребляемых фруктах. Изученные морские водоросли являются потенциальным источником витамина С и других питательных веществ.

Ключевые слова: *Chlorophyceae*, *Phaeophyceae*, *Rhodophyceae*, морские водоросли, антиоксиданты, активные формы кислорода, стресс, Индия

### Введение

Побережье Индии известно своей разнообразной альгофлорой, относящийся к тропическому элементу. Состав морских водорослей подвержен сезонным изменениям (Misra, 1966). Считается, что потребление продуктов с высоким содержанием антиоксидантных соеди-

© Аниша Шашидхаран, Софиаммал Неттар Плуминдас, 2017

нений уменьшает клеточные стрессы, вызванные воздействием реактивных форм кислорода (РФК). Хотя антиоксидантные свойства различных наземных растений, употребляемых в пищу (например, зеленых овощей и ягод) известны давно, ценным качеством морских макроводорослей пока уделяется относительно мало внимания (Cornish, Garbary, 2010). Использование морских водорослей в качестве продуктов питания основано, прежде всего, на их биохимических компонентах: углеводах, белках, уникальном составе микроэлементов. В Японии и соседних странах водоросли традиционно применяются в качестве продуктов питания, их культивируют в течение длительного времени (Tamiya, 1959). Однако в Индии потенциал морских водорослей еще не оценен должным образом. Индия – развивающаяся страна, население которой растет быстрыми темпами, поэтому актуальной является проблема расширения списка продуктов питания. Поскольку страна имеет протяженную береговую линию, морские водоросли могут стать обильным источником питания. Кроме того они богаты такими веществами, как пищевая клетчатка, жирные кислоты омега 3, незаменимые аминокислоты, витамины А, В, С и Е (Thomas, Kim, 2013).

В наше время человечеству угрожают различные заболевания, возникающие из-за повреждений, вызванных оксидативным стрессом. Человеческая жизнь подвергается риску из-за распространения таких болезней, как рак, проблемы с сердцем, нейродегенеративные расстройства и т.д. Установлено, что одной из основных причин, вызывающих эти заболевания, является чрезмерное производство РФК. При нормальном физиологическом состоянии организма РФК образуются в регулируемых пропорциях, а их баланс поддерживается благодаря защитным клеточным ферментам. Нарушение этого баланса известно как окислительный стресс, который приводит к изменениям структурной функции органов и систем организма (Soto et al., 2011). Антиоксиданты – это вещества, помогающие контролировать уровень РФК и защищать клетки в условиях стресса (Blokina et al., 2003). К РФК относятся не только свободные радикалы (молекулы или их фрагменты, содержащие один или более неспаренных электронов на их внешней орбите, например супероксидный анион  $O_2^-$ , гидроксильный радикал  $OH$ ), но и такие молекулы, как перекись водорода ( $H_2O_2$ ) и синглетный кислород ( $^1O_2$ ).

Эти свободные радикалы могут модифицировать аминокислоты, вызывать деградацию полисахаридов, фрагментировать белки, делая их нефункциональными и даже разрушать дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК). Антиоксиданты необходимы для быстрой инактивации свободных радикалов. С увеличением числа заболеваний, связанных с неправильным образом жизни, возрос интерес к натуральным антиоксидантам. В современном обществе большей популярностью пользуются антиоксиданты и другие терапевтические средства природного происхождения. Как правило, ярко окрашенные фрукты,

овощи и листовые части растений считаются богатыми источниками антиоксидантов, таких как витамины С и Е, каротиноиды, флавоноиды, дубильные вещества и т. д.

Морские водоросли подвержены воздействию различных биотических и абиотических стрессов. Отсутствие окислительного повреждения в структурных компонентах клеток макроводорослей (в т. ч. полиненасыщенных жирных кислотах) и их устойчивость к окислению во время хранения свидетельствуют о том, что их клетки имеют защитные антиоксидантные системы (Fujimoto, 1990; Matsukawa et al., 1997). В морских водорослях обнаружены различные антиоксиданты, в т. ч. полисахариды, пищевые волокна, минералы, белки, аминокислоты, витамины, полифенолы и каротиноиды (Pise et al., 2013). Фактически, у водорослей есть защитные ферменты (супероксиддисмутаза, пероксидаза, глутатионредуктаза и каталаза), сходные с таковыми сосудистых растений (Zubia et al., 2007). Однако несмотря на их значительные антиоксидантные свойства, потенциал морских водорослей исследован все еще недостаточно. Хотя у индийских берегов имеется богатая морская флора в приливной зоне (подверженной наибольшему абиотическому стрессу), исследования, посвященные биохимическому составу и антиоксидантным свойствам различных видов, немногочисленны (Chakraborty et al., 2010). На побережье Коллама, известном разнообразной и обильной флорой морских водорослей, такие работы пока не проводились.

Целью нашего исследования было изучение основных биохимических показателей пяти видов макроводорослей из трех основных таксономических групп, распространенных на побережье Лаккадивского моря (окраинное море Индийского океана) в Колламе: *Chlorophyceae* (*Ulva lactuca*, и *Caulerpa scalpelliformis*), *Phaeophyceae* (*Sargassum tenerimum*, *Padina tetrastratica*) и *Rhodophyceae* (*Gracilaria corticata* Grev.). Особое внимание при изучении этих видов уделяли их антиоксидантным компонентам, а именно активности аскорбиновой кислоты,  $\beta$ -каротина и фермента каталазы.

### Материалы и методы

Образцы водорослей были собраны на побережье Тирумуллаварам Колламского района (координаты N 8.8932°, E 76.6141°) во время отлива. Их собирали вручную, тщательно промывали морской водой у самого берега, удаляли эпифиты, донные отложения, мусор и живые организмы, связанные с талломами водорослей. Кроме того, пробы промывали дистиллированной водой для удаления соли с их поверхности и доставляли в лабораторию для определения биохимических параметров. Изучены также некоторые морфологические признаки пяти видов отобранных морских водорослей.

### **Биохимический анализ**

Определены шесть биохимических параметров (включая три антиоксиданта) пяти видов морских водорослей.

#### *Оценка влажности*

Для определения содержания влажности в образцах использовали метод IUPAC (Raquot, Hautfenne, 1987). В чашку Петри помещали 10 г свежего таллома и выдерживали в сушильном шкафу при 110 °С в течение 3 ч. После высушивания образец взвешивали, затем снова выдерживали в сушильном шкафу в течение 1 ч и вновь взвешивали. Процесс повторяли до тех пор, пока вес не стабилизировался. Получив одинаковый результат двух последующих взвешиваний, содержание влаги в тканях водоросли рассчитывали как разницу между начальной и конечной биомассой образца.

#### *Оценка общего количества углеводов*

Для оценки общего количества углеводов применяли антроновый метод (Yemm, Willis, 1954). Углеводы дегидратировали концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с образованием фурфурола, который при взаимодействии с антроном дает окрашенный продукт. Полученный синий окрашенный комплекс измеряли колориметрически при 620 нм. Отбирали 5 г ткани и гомогенизировали, используя по 10 мл метанола в концентрации 20, 40, 80 и 100%. Гомогенат фильтровали и центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин. Супернатант доводили до известного объема при помощи 100%-ного метанола и использовали в качестве источника углеводов.

#### *Оценка общего количества белков*

Белки оценивали по методу Брэдфорда (Bradford, 1976). Взвешивали 5 г свежей ткани и гомогенизировали в 20 мл 0,1 М фосфатного буфера (pH 7,5). Гомогенат фильтровали и центрифугировали при 10000 об/мин в течение 5 мин при 4 °С. Супернатант использовали в качестве источника белка. Смешивали 1,5 мл образца с 1,5 мл реагента Брэдфорда 1X и инкубировали в течение 5 мин. Оптическую плотность измеряли при 595 нм относительно заготовки, содержащей все реагенты, за исключением источника белка.

#### *Оценка содержания аскорбиновой кислоты*

Аскорбиновую кислоту оценивали методом DCPIP (дихлорфенол-индофенол) (Sadasivam, Manickam, 1996). Отбирали 5 г свежего таллома водоросли и гомогенизировали в 20 мл 4%-ной щавелевой кислоты. Гомогенат фильтровали и центрифугировали при 10000 об/мин в течение 10 мин. Супернатант использовали в качестве источника аскорбиновой кислоты для оценки титрованием против раствора красителя DCPIP. Появившийся розовый цвет сохранялся в течение нескольких минут.

### Оценка $\beta$ -каротина

$\beta$ -каротин оценивали по методу АОАС (1980) с некоторыми изменениями. Отбирали 1 г ткани, измельчали и гомогенизировали. Полученный гомогенат подвергали дефлегмации в 50 мл 95%-ного метанола с 50%-ным гидроксидом калия в течение 1 ч. Экстракт переносили в делительную воронку, добавляли петролейный эфир и встряхивали несколько раз, чтобы освободить слой от щелочи. Слой эфира собирали, доводили до известного объема и измеряли оптическую плотность при 429 нм с петролейным эфиром в качестве заготовки. Концентрацию  $\beta$ -каротина определяли по стандартному графику. Каротиноиды экстрагировали и распределяли в органических растворителях в зависимости от их растворимости. В качестве органического растворителя использовали петролейный эфир.

### Анализ активности каталазы

Активность каталазы определяли по описанному методу (Rapport et al., 1998). Ультрафиолетовое поглощение раствора перекиси водорода может быть легко измерено между 230 и 250 нм. При разложении пероксида водорода каталазой поглощение со временем уменьшается. Активность фермента вычисляется с использованием уменьшения поглощения. 1 г свежей растительной ткани гомогенизировали в холодных условиях в 11 мл 50 мМ фосфатного буфера (рН 7,4), содержащего 150 мМ КСl и 200 мкМ ЭДТК. Гомогенат фильтровали и центрифугировали при 700 g в течение 20 мин при 4 °С. В качестве источника фермента использовали супернатант. 10 мкл ферментного экстракта добавляли к 700 мкл 5 мМ  $H_2O_2$ -фосфатного буфера. Активность каталазы определяли по снижению поглощения света при 240 нм, вызванному разложением  $H_2O_2$ .

### Статистический анализ

Все измерения были выполнены в шести повторностях, стандартные отклонения рассчитаны в MS Excel.

### Результаты и обсуждение

Изучены основные биохимические показатели пяти видов морских макроводорослей с побережья Коллама. Среди них два вида зеленых водорослей *Ulva lactuca* и *Caulerpa scalpelliformis*, два вида бурых водорослей *Sargassum tenerrimum* и *Padina tetrastrumatica*, а также красная водоросль *Gracilaria corticata*. Определяли содержание влаги, общего сахара, общего белка и антиоксидантов: аскорбиновой кислоты,  $\beta$ -каротина и фермента каталазы (см. таблицу).

### Содержание влаги

Содержание влаги в талломах всех исследованных видов составляло более 70%, что соответствует литературным данным (Murata, Nakazoe, 2001; da Silva et al., 2008; Bruton et al., 2009) (рис. 1). Специфические уровни влажности водорослей изученных родов были аналогичны

уровням влажности, описанным в литературе (da Silva et al., 2008), за исключением рода *Sargassum*, изученный нами представитель которого (*S. tenerrimum*), имел более высокие значения этого показателя. Самое высокое содержание влаги было в талломах *C. scalpelliformis* (87,56%), а наиболее низкое – у *U. lactuca* (78,27%). Хотя оба вида принадлежат к *Chlorophyceae*, их талломы морфологически весьма различны: каулерпа имеет хорошо развитый, сложно организованный таллом, тогда как у ульвы это простое паренхиматозное слоевище.

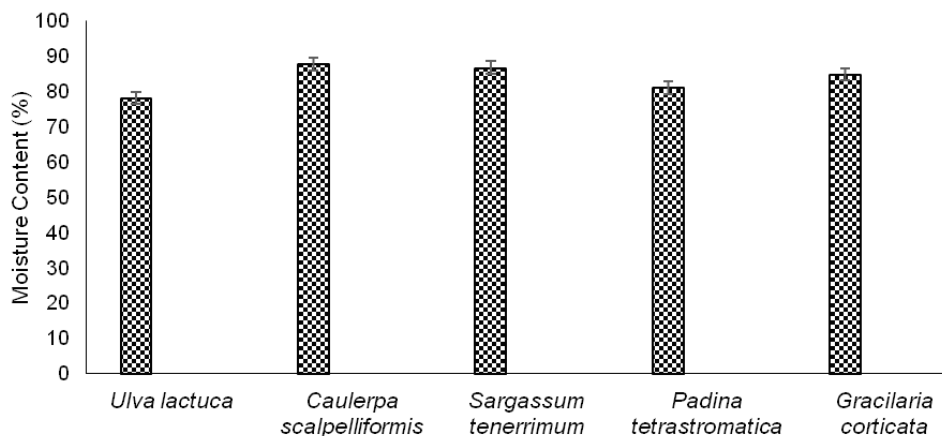


Рис. 1. Содержание влаги в талломах водорослей. Здесь и на рис. 2–6 риски на вершинах столбцов – стандартное отклонение

**Биохимические параметры различных видов водорослей побережья Коллама  
(± стандартное отклонение)**

Биохимический показатель	<i>Ulva</i>	<i>Caulerpa</i>	<i>Sargassum</i>	<i>Padina</i>	<i>Gracilaria</i>
Влага, %	78,16 ± 0,25	87,73 ± 0,41	86,72 ± 0,22	81,1 ± 0,16	84,8 ± 0,17
Углеводы, мг/г	46,9 ± 2,72	30 ± 1,55	70 ± 1,9	73,3 ± 1,21	53 ± 1,55
Белки, мг/г	13,6 ± 0,95	12,5 ± 1,02	7,5 ± 0,7	48,9 ± 1,26	16,4 ± 1,76
Аскорбиновая кислота, мкг/г	41,7 ± 0,72	45 ± 0,82	49,6 ± 1,07	59 ± 1,13	44,8 ± 0,73
β-каротин, мкг/г	15,3 ± 0,82	58,92 ± 1,37	43,2 ± 1,11	56,2 ± 1,18	21,88 ± 0,94
Каталаза, ед./мг белка	1,28 ± 0,15	0,87 ± 0,23	1,42 ± 0,16	0,102 ± 0,02	0,91 ± 0,12

Определение содержания воды в морепродуктах чрезвычайно важно, так как вода сильно влияет на их микробиологическую и химическую стабильность, физические свойства и технологические процессы (переработка, хранение и распределение), а также используется для определения их пищевого состава. Эти параметры необходимы для обеспечения сохранности питательных свойств, установления оптимального срока хранения, а также для того, чтобы сделать их доступными потребителю в свежем, замороженном и переработанном состоянии (da Silva et al., 2008).

#### Общие углеводы

Содержание углеводов в талломах исследованных видов было различным. Наибольшая концентрация отмечена у представителей бурых водорослей, среди которых *P. tetrastromatica* содержала больше сахаров, чем *S. tenerrimum*. У красной водоросли *G. corticata* содержание общих углеводов было ниже, чем у представителей бурых водорослей. Виды *Chlorophyceae* находятся на последнем месте по этому показателю, при этом в талломах *Ulva* углеводов несколько больше, чем у *Caulerpa* (рис. 2). Известно, что представители родов *Padina* и *Sargassum* вырабатывают S-фуканы, которые предотвращают гиперлипидемию и нормализуют дислипидемию. *Gracilaria corticata* является богатым источником S-агаранов и S-галактанов, обладающих противовирусными свойствами (de Jesus Raposo et al., 2015).

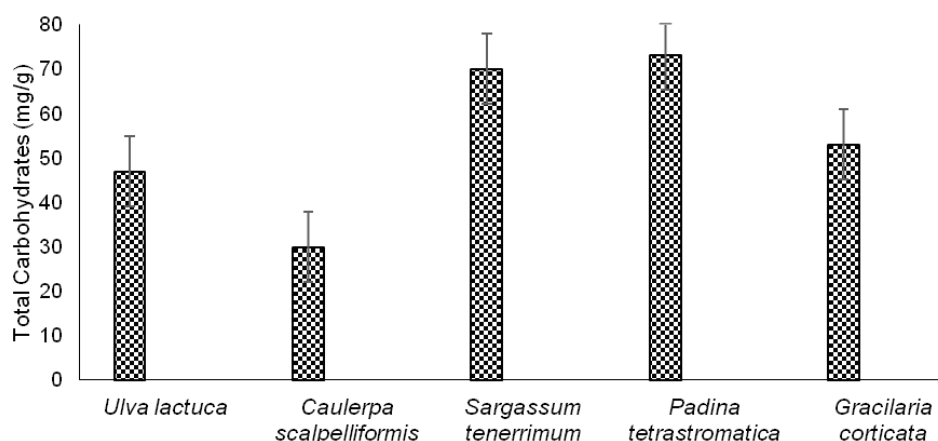


Рис. 2. Общее количество углеводов в талломах водорослей

Морские водоросли содержат каркасные (конструктивные) полисахариды, мукополисахариды и резервные или энергетические полисахариды. Каркасные полисахариды морских водорослей в основном состоят из целлюлозы. Зеленые водоросли содержат сульфатированные полисахариды, бурые – альгиновую кислоту, фукоидан и саргасан. В межклеточных пространствах красных водорослей

мукополисахариды представлены агар-агаром и порфираном. В качестве резервных полисахаридов в морских водорослях выступают крахмал и ламинарин (Murata, Nakazoe, 2001). Из упомянутых трех таксономических групп до недавних пор полисахаридное богатство зеленых водорослей оставалось почти неиспользованным. Только недавно углеводные полимеры морских зеленых водорослей стали объектом биотехнологии благодаря наличию разнообразных биологически активных природных соединений с широким спектром физиологических и биологических свойств. Полисахариды зеленых водорослей имеют иммуномодулирующее и противовоспалительное действие, их применяют в качестве антиоксидантов, антикоагулянтов и как противоопухолевое средство. Доказано, что зеленые водоросли *Ulva* и *Caulerpa* вырабатывают полисахариды, обладающие важными медицинскими качествами (Wang et al., 2014). Содержащиеся в их талломах сульфатированные полисахариды, в т. ч. S-галактаны, проявляют различные терапевтические свойства, включая антиоксидательные (de Jesus Raposo et al., 2015). Оценка углеводного состава изученных видов позволит определить их пищевой и терапевтический потенциал.

#### *Общие белки*

Концентрация белков в талломах водорослей показала сходную тенденцию, за исключением образцов бурой водоросли *Padina tetrastromatica*. В ее талломах концентрация белков была значительно выше, чем у других проанализированных видов (рис. 3), достигая 47,6 мг/г сырой биомассы (у всех остальных водорослей значения этого показателя находились в пределах 7,5–16,3 мг/г). В опубликованных ранее исследованиях из тропических и субтропических прибрежных районов полученные значения концентрации белка в морских водорослях были более низкими. Высказывалось предположение, что низкое содержание белков связано со слабой доступностью азота в преимущественно олиготрофной морской среде. Было отмечено, что макроводоросли являются уникальными источниками белка, при этом в бурых водорослях его содержание обычно небольшое (5–15% сухой биомассы) по сравнению с зелеными и красными водорослями (в среднем 10–30% сухой биомассы) (Banerjee et al., 2009).

Однако в нашем исследовании самая высокая концентрация белка обнаружена именно у представителя бурых водорослей – *P. tetrastromatica* (25% сухой биомассы). Изменения в содержании белка в морских водорослях могут быть обусловлены различными факторами, такими как видовая принадлежность, сезон года, географическое положение и условия хранения (Frikha et al., 2011). Высокая концентрация белка у *P. tetrastromatica* может быть обусловлена аналогичными факторами.



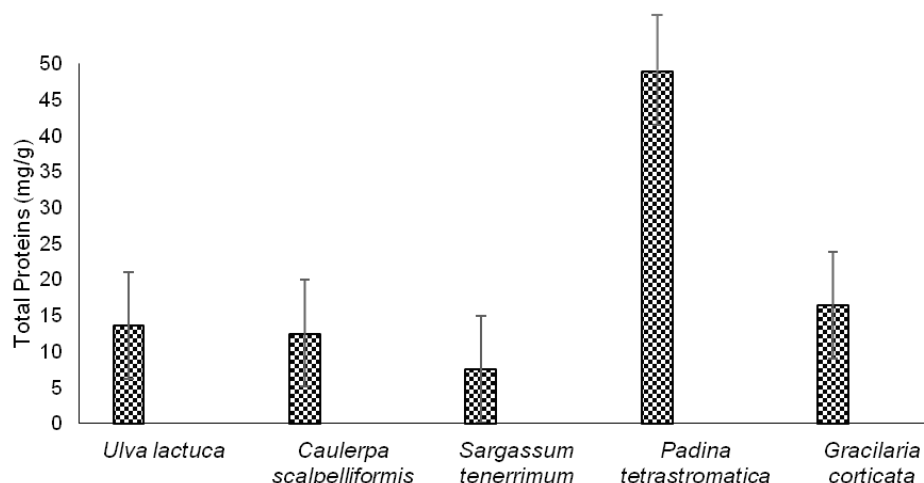


Рис. 3. Общее количество протеинов в талломах водорослей

### Антиоксиданты

Фотосинтезирующие организмы непрерывно вырабатывают реактивный кислород в процессе фотосинтеза и других метаболических процессов (Foyer, Noctor, 2000). Система защиты от реактивного кислорода в растениях включает антиоксиданты, такие как аскорбат, глутатион,  $\beta$ -каротин и  $\alpha$ -токоферол, а также реакционно способные ферменты, поглощающие кислород, такие как каталаза (EC 1.11.1.6), супероксиддисмутаза (SOD, EC 1.15.1.1), глутатионредуктаза (GR, EC 1.6.4.2) и аскорбат пероксидаза (APX, EC 1.11.1.11) (Pise et al., 2013).

Каталаза была первым антиоксидантным ферментом (Loew, 1900). Типичной каталазной реакцией является дисмутация двух молекул  $H_2O_2$  в воду и  $O_2$ . Каталазы наиболее существенно отличаются от других антиоксидантных ферментов тем, что они не требуют восстановителя, поскольку катализируют реакцию дисмутации (Mhamdi et al., 2010).

Каротиноиды – важная группа натуральных пигментов с антиоксидантной активностью. Они помогают предотвратить повреждения свободными радикалами, связанными с процессом старения (El Shafay et al., 2014). Антиоксидантные свойства каротиноидов водорослей и их роль в предотвращении многих заболеваний, связанных с окислительным стрессом, описаны в литературе (Banerjee et al., 2009).

### Аскорбиновая кислота

Все исследованные нами виды водорослей содержат аскорбиновую кислоту. Ее концентрация в талломах разных видов колебалась в узком диапазоне: 40–50 мкг/г сырой биомассы, за исключением *P. tetrastrumatica* (рис. 4), для которого этот показатель составил 58,4 мкг/г сырой биомассы. Установлено, что концентрация аскорбиновой кислоты в талломах *U. lactuca* почти в десять раз превышает данные, полученные

при исследовании морских макроводорослей, обитающих в эстуариях мангровой экосистемы Сандербана (Chakraborty et al., 2010).

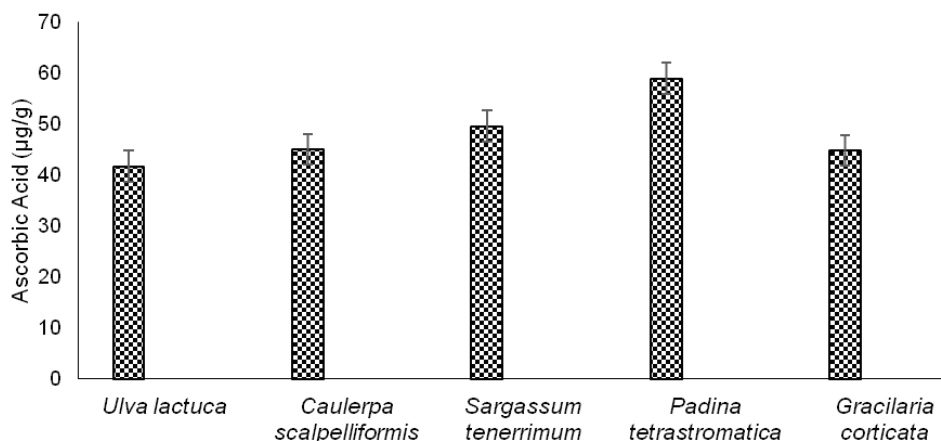


Рис. 4. Содержание общей аскорбиновой кислоты в талломах водорослей

Аскорбиновая кислота играет главную роль в фотосинтезе, о чем свидетельствует ее высокая концентрация в хлоропластах. Кроме того, она обеспечивает защиту от окислительного повреждения, вызванного экстремальными условиями окружающей среды и загрязняющими веществами. Аскорбат клеточной стенки растений обеспечивает первую линию защиты от озона и двуокиси серы (Smirnoff, 1996). Эксперименты с трансгенными растениями, в которых увеличивали и уменьшали продукцию аскорбиновой кислоты, показали, соответственно, либо повышенную устойчивость, либо, наоборот, высокую восприимчивость к окислительному стрессу (Aono et al., 1995).

В исследованиях, проведенных на фруктах, было обнаружено, что концентрация аскорбиновой кислоты составляет для нектаринов 5–14 мг/100 г, для персиков 4–13 мг/100 г и для слив 3–10 мг/100 г (Gil et al., 2002). Значения этого показателя у водорослей, отмеченные нами, имеют ту же величину, что и в упомянутых плодах. Наши результаты показывают потенциал анализируемых морских водорослей в качестве богатых источников аскорбиновой кислоты.

#### *β*-каротин

Концентрация *β*-каротина варьировала в широких пределах. Интересно, что самые высокие и самые низкие концентрации наблюдались у представителей *Chlorophyceae* (рис. 5). Наивысшая концентрация отмечена у *C. scalpelliformis* – 61,3 мг/г сырой биомассы, самая низкая – у *U. lactuca* (14 мг/г сырой биомассы).

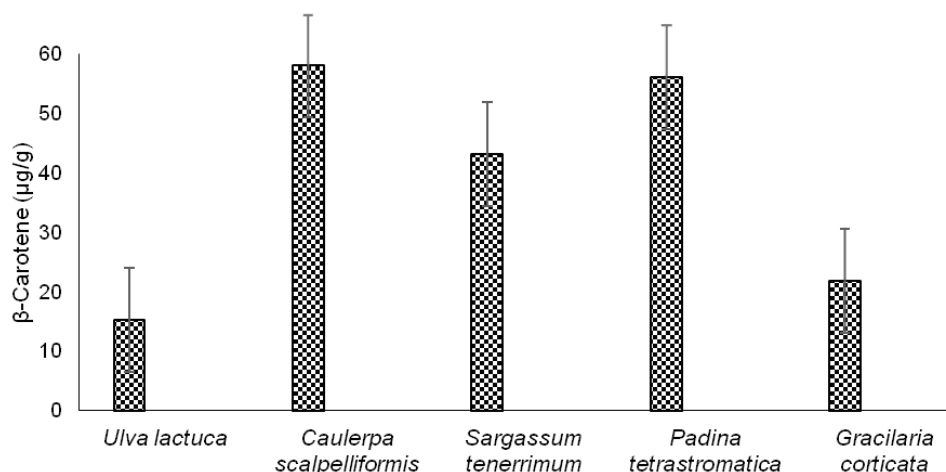


Рис. 5. Содержание β-каротина в талломах водорослей

Помимо того, что β-каротин является предшественником синтеза витамина А в организме, это антиоксидант с необычной активностью, действующий путем захвата радикалов (Burton, Ingold, 1984). Каротиноиды подавляют синглетный кислород преимущественно физическим механизмом, перенося избыточную энергию синглетного кислорода в богатую электронами структуру каротиноидов. Благодаря добавленной энергии каротиноиды переходят в триплетное состояние, а затем возвращаются в исходное состояние, теряя дополнительную энергию в виде тепла. Физически структура каротиноида не изменяется, поэтому он продолжает обеспечивать защиту от синглетного кислорода и в дальнейшем (Chidambara Murthy et al., 2005).

Ранее было установлено, что β-каротин содержится в нектаринах в концентрации 7–96 мкг/100 г сырого веса, в персиках – 7–210 мкг/100 г сырой биомассы и в сливах его концентрация 70–260 мкг/100 г сырой биомассы (Gil et al., 2002).

#### *Активность каталазы*

Каталаза представляет собой тетрамерный гемсодержащий фермент, который содержится во всех аэробных организмах и служит для быстрого разложения  $H_2O_2$  путем дисмутации в воду и  $O_2$  (Nakiman, Maziah, 2009). Это один из самых активных природных катализаторов. Он выявлен почти у всех организмов. У модельной одноклеточной эукариотической зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* обнаружены несколько изоформ каталазы. Они отличаются от высших каталаз растений тем, что они не тетрамерные, а димерные и локализованы в митохондриях (Kato et al., 1997). В высших растениях высокую каталазную активность проявляют пероксисомы (Mullen et al., 1997).

Полученные нами результаты исследования активности каталазы у разных видов макроводорослей свидетельствуют об отличиях в их ферментной активности (рис. 6). Наивысшая удельная активность наблюдалась у зеленой водоросли *U. lactuca* (1,26 ед./мг белка), тогда как самая низкая обнаружена у бурой водоросли *P. tetrastromatica* (0,074 ед./мг белка).

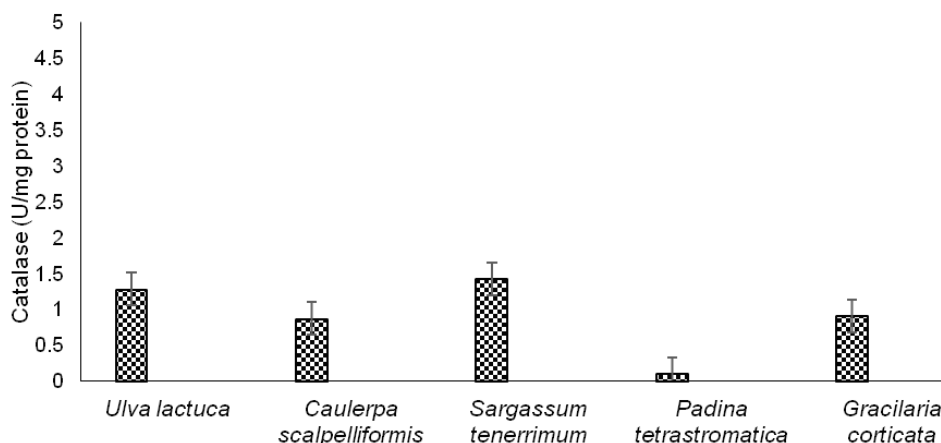


Рис. 6. Специфическая активность фермента каталазы у водорослей

Накопление растворимых белков играет в сопротивлении растений стрессу такую же важную роль, как и антиоксидантная система. Причиной аккумуляции белков в клетке могут быть стрессовые условия обитания, например избыточная соленость и ультрафиолетовое излучение. Предполагается, что накопление белков является адаптивной реакцией растений на экстремальные условия (Chkhubianishvili et al., 2011). В случае *P. tetrastromatica* активность каталазы не столь высока, как у других изученных видов, но общий растворимый белок был самым высоким именно у этого вида, что можно рассматривать как альтернативный механизм ослабления стресса у морских макроводорослей.

### Заключение

Настоящая работа представляет собой попытку биохимического профилирования морских макроводорослей побережья Коллама в штате Керал. Обнаружены высокие концентрации аскорбиновой кислоты и белков в талломах бурой водоросли *Padina tetrastromatica*. Отмечено, что из всех изученных антиоксидантов аскорбиновая кислота присутствует в талломах всех видов макроводорослей приблизительно в одинаковых количествах, сравнимых с концентрацией этого антиоксиданта у некоторых фруктов. Отмечены колебания значений изученных биохимических показателей у видов из различных таксономических

групп (например, у бурых водорослей концентрация белков была выше, чем у видов зеленых водорослей). Этот факт обуславливает необходимость более тщательного изучения морских водорослей побережья Коллама, поскольку географическое положение и специфические условия роста играют важную роль в биохимическом составе видов. Необходимо расширить исследования, охватив другие антиоксидантные соединения и ферменты, а также изучив другие виды макроводорослей индийского побережья. Это позволит выявить новые биологически активные соединения и антиоксиданты, которые могут служить питательными и терапевтическими веществами.

## REFERENCES

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). In: *Official Methods of Analysis*, Howitz, 1980, pp. 734–740.
- Aono M., Saji H., Sakamoto A., Tanaka K., Kondo N., Tanaka K. Paraquat tolerance of transgenic *Nicotiana tabacum* with enhanced activities of glutathione reductase and superoxide dismutase. *Plant Cell Physiol.*, 1995, 36(8): 1687–1691.
- Banerjee K., Ghosh R., Homechaudhuri S., Mitra A. Biochemical composition of marine macroalgae from Gangetic delta at the apex of Bay of Bengal. *Afr. J. Basic and Appl. Sci.*, 2009, 1(5–6): 96–104.
- Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K.V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Ann. Bot.*, 2003, 91: 179–194.
- Bradford M.M. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 1976, 72: 248–254.
- Bruton T., Lyons H., Lerat Y., Stanley M., Rasmussen M.B. A review of the potential of marine algae as a source of Biofuel in Ireland. *Sustainable Energy Ireland*, 2009, 1–88.
- Burtan G.W., Ingold K.U.  $\beta$ -carotene an unusual type of lipid antioxidant. *Science*, 1984, 224: 569–574.
- Chakraborty S., Santra S.C., Bhattacharya T. Overview on Biological Activities and Molecular Characteristics of Sulfated Polysaccharides from Marine Green Algae in Recent Years. *Ind. J. Mar. Sci.*, 2010, 39(3): 429–433.
- Chidambara Murthy K.N., Rajesha J., Vanitha A., Sowmya P.R., Mathadara Swamy M., Ravishankar G.A. Vivo Antioxidant Activity of Carotenoids From *Dunaliella salina* – A green Microalgae. *Life Sci.*, 2005, 76(12): 1381–1390.
- Chkhubianishvili E., Kacharava N., Badridze G., Chanishvili S., Kurdadze T. Activity of Peroxidase, Catalase and Content of Total Proteins in Leaves of some Herbaceous Plants of High Mountains of the Caucasus. *Bull. Georg. Nat. Acad. Sci.*, 2011, 5: 96–100.

- Cornish M.L., Garbary D.J. Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *Algae*, 2010, 25(4): 155–171.
- Da Silva V.M., Silva L.A., Andrade J.B., Veloso M.C.C., Santos G.V. Determination of moisture content and water activity in algae and fish by thermoanalytical techniques. *Quim. Nova*, 2008, 31(4): 901–905.
- De Jesus Raposo M.F., de Morais A.M.B., de Morais R.M.S.C. Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications, *Mar. Drugs*, 2015, 13: 2967–3028.
- El Shafay S.M. Biochemical composition of some seaweeds from Hurghada coastal along Red sea coastal, Egypt. *Int. J. Basic Appl. Sci.*, 2014, 14(1): 29–35.
- Foyer C.H., Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. *New Phytol.*, 2000, 146: 359–388.
- Frikha F., Kammoun M., Hammami N., Mchirgui R.A., Belbahri L., Gargouri Y., Miled N., Ben-Rebah F. Chemical composition and some biological activities of marine algae collected in Tunisia. *Ciencias Mar.*, 2011, 37(2): 113–124.
- Fujimoto K. Antioxidant activity of algal extracts. In: *Introduction to applied phycology*, The Hague: SPB Acad. Press, 1990, pp. 199–208.
- Gil M.I., Tomaas-Barberaan F.A., Hess-Pierce B., Kader A.D. Antioxidant capacities, Phenolic Compounds, Carotenoids, and Vitamin C Contents of Nectarine, Peach, and Plum Cultivars from California. *J. Agr. Food Chem.*, 2002, 50: 4976–4982.
- Hakiman M., Maziah M. Non enzymatic and enzymatic antioxidant activities in aqueous extract of different *Ficus deltoidea* accessions. *J. Med. Plant. Res.*, 2009, 3(3): 120–131.
- Kato J., Yamahara T., Tanaka K., Takio S., Satoh T. Characterization of catalase from green algae *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Plant Physiol.*, 1997, 151: 262–268.
- Loew O. A new enzyme of general occurrence in organisms. *Science*, 1900, 11: 701–702.
- Matsukawa R., Dubinsky Z., Kishimoto E., Masaki K., Masuda Y., Takeuchi T., Chihara M., Yamamoto Y., Niki E., Karube I. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *J. Appl. Phycol.*, 1997, 9: 29–35.
- Mhamdi A., Queval G., Chaouch S., Vanderauwera S., Van Breusegem F., Noctor G. Catalase function in plants: A focus on *Arabidopsis* mutants as stress-mimic models. *J. Exp. Bot.*, 2010, 61(15): 4197–4220.
- Misra J.N. *Phaeophyceae in India*, New Delhi: ICAR, 1966.
- Mullen R.T., Lee M.S., Trelease R.N. Identification of the peroxisomal targeting signal for cottonseed catalase. *Plant J.*, 1997, 12: 313–322.
- Murata M., Nakazoe J. Production and use of Marine algae in Japan. *JARQ*, 2001, 35(4): 281–290.
- Paquot C., Hautfenne A. *Standard Methods for the Analysis of Oil, Fats and Derivatives*, 7<sup>th</sup> ed., Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1987.
- Pise N.M., Gaikwad D.K., Jagtap T.G. Oxidative stress and antioxidant indices of the marine red alga *Porphyra vietnamensis*. *Acta Bot. Croat.*, 2013, 72(2): 197–209.

- Rapoport R., David S., David W., Amira S.A., Israel H. Antioxidant capacity is correlated with steroidogenic status of the corpus luteum during the bovine estrous cycle. *Biochem. Biophys. Acta*, 1998, 138: 133–140.
- Sadasivam S., Manickam A. Estimation of dehydroascorbic acid. *Biochem. Methods*, 1996, 184–186.
- Smirnoff N. The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Ann. Bot.*, 1996, 78: 661–669.
- Soto P., Gaete H., Hidalgo M.E. Assessment of catalase activity, lipid peroxidation, chlorophyll *a*, and growth rate in the freshwater green algae *Pseudokirchneriella subcapitata* exposed to copper and zinc. *Lat. Amer. J. Aquat. Res.*, 2011, 39: 280–285.
- Tamiya H. Role of algae as food. *Proceedings of the Symposium on Algology*, New Delhi: The Indian Council Agricult. Res. and UNESCO South Asia Sci. Cooperat. Office, 1959.
- Thomas N.V., Kim S.K. Beneficial Effects of Marine Algal Compounds in Cosmeceuticals. *Mar. Drugs*, 2013, 11: 146–164.
- Wang L., Wang X., Wu H., Liu R. Overview on Biological Activities and Molecular Characteristics of Sulfated Polysaccharides from Marine Green Algae in Recent Years. *Mar. Drugs*, 2014, 12: 4984–5020.
- Yemm E.W., Willis A.J. The estimation of carbohydrates in Plant extracts by Anthrone. *Biochem. J.*, 1954, 57: 508–514.
- Zubia M., Robledo D., Freile-Pelegrin Y. Antioxidant activities in tropical marine macroalgae from the Yucatan Peninsula, Mexico. *J. Appl. Phycol.*, 2007, 19: 449–458.

Поступила 21 сентября 2016 г.  
Подписал в печать А.И. Божков

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(2): 129–144

[doi.org/10.15407/alg27.02.129](https://doi.org/10.15407/alg27.02.129)

Anisha Shashidharan<sup>1</sup>, Sophiammal Nettar Plomindas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Botany, St. Albert's College,  
Ernakulam, Kerala, India, PIN 682018

<sup>2</sup> Research Department of Botany, Fatima Mata National College,  
Kollam, Kerala, India, PIN 691001

#### BIOCHEMICAL ANALYSIS OF A FEW MARINE MACROALGAE FROM THE KOLLAM COAST OF INDIA

A collection of some of the marine macroalgal species from the Kollam Coast of India belonging to three major groups (*Chlorophyceae*, *Phaeophyceae*, and *Rhodophyceae*) levels of moisture, total carbohydrates, total proteins and few antioxidant components,

namely, ascorbic acid,  $\beta$ -carotene and catalase enzyme, were analyzed. Standard procedures were followed for carrying out estimations and assays. Moisture levels were highest in the green alga *Caulerpa scalpelliformis*, while protein concentration was astonishingly high in the Phaeophyceae member *Padina tetrastratica*. Carbohydrate levels were highest in brown algal members. Ascorbic acid concentration was almost similar in the studied species. The  $\beta$ -carotene values were highest in *C. scalpelliformis* and lowest in the other green alga, *Ulva lactuca*. Catalase activity was found prominent in *Sargassum tenerrimum*. The results obtained in the present work reveal the basic biochemical components of five seaweeds from the Kollam Coast in India. Interestingly, *P. tetrastratica* showed surplus levels of protein when compared to the normal trend for brown algae. Ascorbic acid, an antioxidant, was found at similar levels in the studied species and almost at par with some common fruits. Thus, the studied seaweeds could definitely be considered as a source of vitamin C and other nutrients on the basis of further in-depth studies.

**Key words:** *Chlorophyceae*, *Phaeophyceae*, *Rhodophyceae*, macroalgae seaweeds, antioxidants, reactive oxygen species, stress, India