

УДК 577.11:582.26/.27-032.61'22(262.54)(210.3)

А.Н. СОЛОНЕНКО

Мелитопольский гос. педуниверситет им. Богдана Хмельницкого,
кафедра ботаники и садово-паркового хозяйства,
ул. Ленина, 20, 72312 Мелитополь, Украина

ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕНТОСНЫХ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ РАЗРАСТАНИЙ ВОДОРосЛЕЙ И ПЕЛОИДОВ ЭФЕМЕРНЫХ ВОДОЕМОВ

Исследован и проанализирован жирнокислотный состав бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пелоидов эфемерных водоемов Бердянской косы у оз. Красное и Арабатской стрелки у оз. Зябловское. Показано, что спектр жирных кислот бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пелоидов во многом совпадает.

Ключевые слова: жирные кислоты, бентосные макроскопические разрастания водорослей, эфемерные водоемы, пелоид.

Введение

Одним из важнейших компонентов живого органического вещества являются липиды. Они в значительной степени определяют структурно-функциональные особенности и энергетический потенциал клетки и организма в целом. В составе липидов выделяют группу соединений – жирные кислоты. Полиненасыщенные жирные кислоты, синтезируемые водорослями и другими растительными организмами, незаменимы для человека и животных. Поэтому изучение жирнокислотного состава липидов водорослей представляет значительный интерес и привлекает внимание многих исследователей (Барашков, 1972; Судьина и др., 1978; Сиренко, Козицкая, 1988; Хотимченко, 2002, 2003; Гончарова и др., 2004).

В процессе жизнедеятельности водорослей и при деструкции их органической массы в окружающую среду выделяются липиды и жирные кислоты. Именно водоросли являются одним из основных источников липидов и жирных кислот в галофильных эфемерных водоемах побережья Азово-Черноморского бассейна. Для этих участков характерны бентосные макроскопические разрастания синезеленых и зеленых водорослей, под которыми встречаются пелоиды (Солоненко, 2012). Во многом благодаря наличию липидного комплекса пелоиды имеют бальнеологическую ценность.

Представители различных систематических групп и видов водорослей различаются по составу липидов и содержанию насыщенных и ненасыщенных жирных кислот: моноеновых и полиеновых (Басова, 2003).

Исследование липидного состава синезеленых водорослей проводилось многими учеными (Судьина и др., 1978; Сущик и др., 2003; Маслова и др., 2004). Содержание липидов варьирует от 2 до 18 % сухой массы

© А.Н. Солоненко, 2013

вещества клетки (Сакевич, 1985). В качественном составе липидов, как и в их количественных характеристиках, у разных видов водорослей отмечается большая гетерогенность. Например, суммарное содержание липидов у водорослей рода *Spirulina* составляет 6–16,6% сухого вещества (Басова, 2003). У представителей хроококковых и гормогониевых водорослей жирные кислоты, входящие в состав липидов, содержат преимущественно 16 или 18 атомов углерода. При этом количество ненасыщенных жирных кислот положительно коррелирует со степенью морфологической сложности водорослей (Сиренко, Козицкая, 1988).

Из насыщенных жирных кислот у синезеленых водорослей преимущественно обнаружены каприновая, лауриновая, миристиновая, пальмитиновая и стеариновая кислоты. Ненасыщенные моноеновые кислоты представлены в основном олеиновой, вакценовой, лауринолеиновой, пальмитолеиновой, эруковой кислотами. Из полиненасыщенных жирных кислот в большом количестве обнаружена линолевая кислота. Соотношение отдельных кислот и их количество зависят от видовых особенностей водорослей. Например, у *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *Anabaena cylindrica* Lemmerm. отмечено высокое содержание пальмитиновой кислоты (до 58,5 % общего количества жирных кислот у первой водоросли и до 42,3 % – у второй) и сравнительно небольшое количество полиненасыщенных жирных кислот. Для *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler характерно высокое содержание линоленовой кислоты и отсутствие каприновой. У *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault обнаружены линоленовая и докозадиеновая кислоты (Сиренко, Козицкая, 1988).

Зеленые водоросли также характеризуются достаточно высоким содержанием липидов. Количество последних в клетках колеблется от 10 до 80 % сухого вещества (Барашков, 1972). Большинство жирных кислот в клетках зеленых водорослей находится в составе триглицеридов, причем на всех стадиях развития в последних особенно много моноеновых жирных кислот и пальмитиновой кислоты. Среди свободных жирных кислот содержится много линоленовой кислоты (Сиренко, Козицкая, 1988).

Цель исследования – установить жирнокислотный состав бентосных макроскопических разрастаний синезеленых и зеленых водорослей и находящихся под ними сульфидных пелоидов в эфемерных водоемах Бердянской косы и Арабатской стрелки.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили бентосные макроскопические разрастания водорослей и пелоиды эфемерных водоемов Бердянской косы у оз. Красное (доминант *Cladophora siwaschiensis* C. Meyer) и Арабатской стрелки у оз. Зябловское (доминант *Lingbya aestuarii* Liebm. и *Microcoleus chthonoplastes* (Fl. Dan.) Thur.).

Жирнокислотный состав определяли методом ионообменной жидкостно-колоночной хроматографии на хроматографе HRGC 5300 в Институте биохимии имени А.В. Палладина НАН Украины. Липидный

экстракт готовили согласно описанному методу (Bligh, Dyer, 1959). Для сохранения в течение незначительного времени липидные экстракты растворяли в бензоле и выдерживали при температуре -18°C в колбах с пришлифованными пробками.

Аликвоту неомыляемого остатка жира (липидов) растворяли в бензоле (0,5 мл), помещали в стеклянную ампулу, добавляли 1,5–2,0 мл 3 М HCl в метаноле. Ее запаивали на газовой горелке и кипятили на водяной бане 50 мин. По истечении указанного времени ампулу вскрывали, содержимое разбавляли водой 1:1 и экстрагировали 2–3 раза перегнанным безводным гексаном. Гексановые вытяжки промывали дистиллированной водой и сушили безводным натрийсульфатом. Сухие экстракты упаривали на роторном испарителе, получали метиловые эфиры жирных кислот, которые растворяли в бензоле и наносили на стеклянные пластины, покрытые силикагелем КСК. Затем их помещали в камеру с растворителем (бензолом) и прогоняли 40–50 мин. Зону очищенных метиловых эфиров снимали со стекла, экстрагировали гексаном на фильтре Шотта. Гексан упаривали на роторном испарителе, получали хроматографически чистые метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК).

МЭЖК растворяли в гексане и хроматографировали на хроматографе HRGC 5300 (Италия) на стеклянной набивной колонке 3,5 м, заполненной Chromosorb W/HP с нанесенной 10 %-ной жидкой фазой Silar 5CP при температуре $140\text{--}250^{\circ}\text{C}$ с нарастанием $2^{\circ}/\text{мин}$. Идентификацию жирных кислот проводили согласно стандартам фирмы Sigma и Serva. Содержание жирных кислот выражали в процентах общей суммы.

Результаты и обсуждение

В ходе экспедиционных исследований в эфемерных водоемах Бердянской косы и Арабатской стрелки обнаружены бентосные макроскопические разрастания зеленой водоросли *Cladophora siwaschiensis* и синезеленых водорослей *Lingbya aestuarii* и *Microcoleus chthonoplastes*. В донных отложениях под водорослевыми разрастаниями этих участков встречались пелоиды (Солоненко, 2012). Обнаруженные пелоиды, согласно общепринятой классификации (Александров, 1956; Иванов, Малахов, 1963), относятся к сульфидным отложениям соленых водоемов.

Выявлен разнообразный состав жирных кислот бентосных макроскопических разрастаний водорослей и сульфидных пелоидов (см. таблицу). Насыщенные жирные кислоты в бентосных макроскопических разрастаниях водорослей Бердянской косы составляют 48,36 %, а в пелоидах на тех же участках – 38,24 %. В обоих случаях преобладает пальмитиновая кислота (35,51 и 18,25 % соответственно).

Доля насыщенных жирных кислот в бентосных макроскопических разрастаниях водорослей Арабатской стрелки – 42,29 %, а в пелоидах – 52,01 %. В водорослевых разрастаниях преобладают пальмитиновая (12,64 %) и арахиновая кислоты (12,20 %). Содержание стеариновой кислоты – 3,95 %, лауриновой – 1,33 %. Это согласуется с данными, согласно которым у большинства видов водорослей содержание стеарино-

вой кислоты составляет 0,1–16,3 %, а лауриновой – около 0,1–8,6 % (Басова, 2003). В то же время в пелоидах эфемерных водоемов Арабатской стрелки основной насыщенной жирной кислотой является лауриновая кислота – 16,41 %. Выявлено достаточно высокое содержание пальмитиновой (8,42 %) и ундециловой кислот (5,76 %).

Все остальные насыщенные кислоты в макроскопических разрастаниях и в пелоидах эфемерных водоемов присутствуют в незначительном количестве (4,5 %).

Ненасыщенные жирные кислоты составляют большую часть жирных кислот бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пелоидов на Бердянской косе и Арабатской стрелке: на Бердянской косе их 49,18 % (макроскопические разрастания водорослей), 57,64 % (пелоиды); на Арабатской стрелке – 49,83 % (макроскопические разрастания водорослей), 46,54 % (пелоиды).

Моноеновые жирные кислоты водорослей составляют 20,1–30,1 % суммы жирных кислот. В зависимости от систематического положения водорослей доминирующими могут быть разные моноеновые жирные кислоты (Басова, 2003).

Основной моноеновой кислотой макроскопических разрастаний водорослей Бердянской косы является олеиновая кислота (21,42 %), а пелоидов – пальмитолеиновая 9,89 % и олеиновая (8,18 %).

Спектр жирных кислот в бентосных макроскопических разрастаниях водорослей и пелоидах эфемерных водоемов Бердянской косы и Арабатской стрелки, %

Кислота	Бердянская коса		Арабатская стрелка	
	Макроскопические разрастания водорослей	Пелоиды под разрастаниями водорослей	Макроскопические разрастания водорослей	Пелоиды под разрастаниями водорослей
Насыщенная кислота				
пальмитиновая	35,51	18,25	12,64	8,42
миристиновая	5,16	1,26	1,38	1,99
стеариновая	1,55	2,93	3,95	3,11
бегеновая	1,49	2,27	4,17	4,12
арахиновая	1,27	3,55	12,20	0,27
ундециловая	0,76	1,95	0,60	5,76
изостеариновая	0,53	1,29	0,93	0,90
маргариновая	0,44	0,85	1,05	0,55
лауриновая	0,39	1,87	1,33	16,41
генэйкозановая	0,34	0,91	0,87	0,53
тридекановая	0,26	0,59	0,98	2,12
изопальмитиновая	0,19	0,51	0,12	4,39
каприновая	0,17	0,13	1,08	0,44
каприловая	0,12	0,11	0,62	0,39
пентадекановая	0,10	0,74	0,27	0,53
изолауриновая	0,08	0,52	-	1,80
изомиристиновая	-	0,51	0,10	0,28

окончание таблицы

Кислота	Бердянская коса		Арабатская стрелка	
	Макроскопические разрастания водорослей	Пелоиды под разрастаниями водорослей	Макроскопические разрастания водорослей	Пелоиды под разрастаниями водорослей
Ненасыщенная кислота				
олеиновая	21,42	8,18	5,41	5,56
арахионовая	12,69	25,77	23,62	13,65
пальмитолеиновая	4,95	9,89	5,11	4,94
линолевая	3,56	2,98	1,36	1,77
эруковая	1,83	-	0,96	0,58
докозатетраеновая	1,46	4,83	5,81	1,81
пентадеценовая	0,82	-	0,31	0,30
линоленовая	0,43	0,74	1,73	0,99
лауролеиновая	0,38	0,79	1,90	2,44
миристолеиновая	0,34	3,45	1,40	6,95
докозапентаеновая	0,32	-	-	-
гондовая	0,28	0,10	-	2,52
докозатриеновая	0,26	0,39	0,95	0,22
гептадеценовая	0,21	0,55	0,59	1,05
гексадекадиеновая	0,15	0,55	-	-
докозодиеновая	0,11	-	0,50	0,26
эйкозатриеновая	-	0,31	0,20	0,37
тетрадекадиеновая	-	-	-	2,22
Неидентифицированные кислоты	2,46	4,12	7,88	1,45

Основными моноеновыми кислотами макроскопических разрастаний водорослей Арабатской стрелки являются олеиновая (5,41 %) и пальмитолеиновая кислоты (5,11 %), в пелоидах – миристолеиновая (6,95 %), олеиновая (5,56 %) и пальмитолеиновая кислоты (4,94 %).

Основной полиеновой кислотой макроскопических разрастаний водорослей Бердянской косы и Арабатской стрелки является арахидоновая кислота – 12,69 и 23,62 % соответственно. Она преобладает среди полиненасыщенных жирных кислот и в пелоидах эфемерных водоемов (25,77 и 13,65 % соответственно).

Выводы

В бентосных макроскопических разрастаниях водорослей Бердянской косы и Арабатской стрелки насыщенные жирные кислоты составляют 48,36 и 42,29 %, а в пелоидах – 38,24 и 52,01 % соответственно, ненасыщенные жирные кислоты – 49,18 и 49,83 %, в пелоидах – 57,64 и 46,54 % соответственно. В целом спектр жирных кислот бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пелоидов во многом совпадает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров В.А.* Пелоиды (лечебные грязи) Советского Союза // Основы курортологии. – М.: Медгиз, 1956. – Т. 1. – С. 347–372.
- Барашков Г.К.* Сравнительная биохимия водорослей. – М.: Пищ. пром., 1972. – 336 с.
- Басова М.М.* Жирнокислотный состав липидов микроводорослей (обзор) / Препринт. – Севастополь, 2003. – 34 с.
- Гончарова С.Н., Костецкий Э.Я., Санина Н.М.* Влияние сезонных изменений температуры на липидный состав морских макрофитов // Физиол. раст. – 2004. – **51**, № 2. – С. 190–196.
- Иванов В.В., Малахов А.М.* Генетическая классификация лечебных грязей (пелоидов) СССР // Мат. по изучению лечебных грязей, грязевых озер и месторождений. – М.: Медгиз, 1963. – С. 9–26.
- Маслова И.П., Мурадян Е.А., Лапина С.С. и др.* Жирнокислотный состав липидов и термофильность цианобактерий // Физиол. раст. – 2004. – **51**, № 3. – С. 396–403.
- Сакевич А.Я.* Экзометаболиты пресноводных водорослей. – Киев: Наук. думка, 1985. – 187 с.
- Сиренко Л.А., Козицкая В.Н.* Биологически активные вещества водорослей и качество воды. – Киев: Наук. думка, 1988. – 256 с.
- Солоненко А.М.* Фізико-хімічні особливості пелоїдів амфібіальних ділянок Арабатської стрілки та Бердянської коси // Доп. НАН України. – 2012. – № 1. – С. 171–173.
- Судьбина Е.Г., Шнюкова Е.И., Костлан Н.В. и др.* Биохимия синезеленых водорослей. – Киев: Наук. думка, 1978. – 264 с.
- Суцник Н.Н., Калачева Г.С., Жила Н.О. и др.* Влияние температуры на состав внутри- и внеклеточных жирных кислот зеленых водорослей и цианобактерий // Физиол. раст. – 2003. – **50**, № 3. – С. 420–427.
- Хотимченко С.В.* Состав жирных кислот морских водорослей из разных по освещенности мест обитания // Биол. моря. – 2002. – **28**, № 3. – С. 232–234.
- Хотимченко С.В.* Особенности состава жирных кислот гликолипидов морских макрофитов // Там же. – 2003. – **29**, № 2. – С. 144–146.
- Bligh E.G., Dyer W.J.* A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. – 1959. – **37**, N 8. – P. 911–917.

Поступила 16 марта 2012 г.

Подписала в печать Л.И. Мусатенко

A.N. Solonenko

Melitopol Bohdan Khmelnytskyi State Ped. Univ.,
Botany and Landscape Gardening Facilities Department,
20, Lenin St., 72312 Melitopol, Ukraine

FAT-ACID STRUCTURE OF BENTHOS MACROSCOPICAL SEAWEEDS AND
PELOIDS SPREADING OF EPHEMERAL WATER POOL

The fat-acid structure of benthos macroscopical seaweeds and peloids spreading of ephemeral water pool, situated on the Berdyansk foreland near the Lake Krasne and the Arabat Spit not far from the Lake Ziablovske is studied and analyzed. The author proves that the repertoire of seaweeds and peloids spreading fat acids coincides considerably.

Key words: fat acids, structure of benthos macroscopical seaweeds, ephemeral water pool, peloid.