

УДК:574.64.577.115:582.261.2 (262.5)

Е. Б. Куцин, Ф. П. Ткаченко

**СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ И ИХ
ЖИРНО-КИСЛОТНЫЙ СОСТАВ У
ВОДОРосЛЕЙ-МАКРОФИТОВ ЧЕРНОГО МОРЕЯ**

Исследовано суммарное содержание липидов и их жирно-кислотный состав у широко распространенных водорослей-макрофитов Одесского залива Черного моря: *Enteromorpha intestinalis* (Nees) Link, *Chaetomorpha aerea* (Dillw.) Kütz., *Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek — Chlorophyta, *Porphyra leucosticta* Thur., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Spreng., *Ceramium siliculosum* var. *elegans* (Roth) G. Furnari — Rhodophyta и *Scytosiphon simplicissimus* (Clemente) Cremades, *Punctaria latifolia* Grev. — Phaeophyta. Установлено, что среди исследуемых водорослей-макрофитов наибольшим содержанием липидов и полиненасыщенных жирных кислот характеризуются зеленые водоросли. В составе водорослевых липидов преобладают ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая, линолевая, линоленовая.

Ключевые слова: водоросли-макрофиты, Черное море, липиды, жирные кислоты.

Водоросли широко используются как индикаторные организмы при проведении экологического мониторинга [2, 3, 5, 16]. Они также принимают участие в процессах биологической самоочистки загрязненных вод. Водоросли являются основным фотосинтезирующим звеном водных экосистем, формируют химический состав воды, а также имеют практическое значение как источник ценных биологически активных веществ — белков, липидов, микроэлементов и др. [7—9, 11].

Одним из основных биологически активных компонентов клеток живых организмов являются липиды, которые в значительной степени определяют структурно-функциональные особенности и энергетический потенциал организма. В составе липидов выделяют группу соединений — полиненасыщенные жирные кислоты, которые синтезируются лишь растениями, в том числе водорослями, и незаменимы в рационе человека и животных [1].

Интерес к полиеновым жирным кислотам с 20 атомами углерода обусловлен тем, что они являются не только компонентами биологических мембран, но и выступают предшественниками в биосинтезе ейкозаноидов, кото-

рые рассматриваются как важные биорегуляторы многих клеточных процессов [7]. Установлено, что полиненасыщенные жирные кислоты играют важную роль в адаптациях животных к различным факторам среды — температуре, давлению, солености, кислородному режиму [14].

Как известно, липиды относятся к наиболее сложным природным соединениям и потребность в них огромна. Их искусственный синтез очень сложен и экономически нерентабелен. В то же время водоросли синтезируют много липидов и их производных [10,15].

С получением новых доказательств клинической эффективности ейкозопентаеновой кислоты и метаболитов арахидоновой кислоты потребность в них выросла, что стимулирует поиск и изучение их новых источников. Такими источниками могут быть морские водоросли-макрофиты, поскольку они характеризуются значительным содержанием С:20 полиненасыщенных жирных кислот [7, 8, 13].

Таким образом, водорослевые липиды и их производные относятся к перспективным источникам важных лекарственных биологически активных соединений, широкое использование которых еще практически не начиналось. Полиеновые жирные кислоты могут служить основой для получения ряда высокоактивных препаратов медицинского назначения (арахидена, внироена), стимуляторов продуктивности для животноводства, птицеводства, и пушного звероводства, а также гербицидов и инсектицидов природного происхождения [7]. В связи с этим поиск среди водорослей-макрофитов новых продуцентов, в частности, липидов и их производных имеет важное практическое значение [10, 13, 15].

Целью нашей работы было исследование содержания липидов и их жирно-кислотного состава у некоторых доминирующих водорослей-макрофитов Черного моря.

Материал и методика исследований. Материалом для исследований послужили водоросли-макрофиты, собранные в Одесском зал. Черного моря: *Enteromorpha intestinalis* (Nees) Link, *Chaetomorpha aerea* (Dillw.) Kütz., *Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek — Chlorophyta, *Porphyra leucosticta* Thur., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Spreng., *Ceramium siliculosum* var. *elegans* (Roth) G. Furmari — Rhodophyta и *Scytosiphon simplicissimus* (Clemente) Cremades, *Punctaria latifolia* Grev. — Phaeophyta [4].

Пробы водорослей отбирали в весенний период из относительно чистого района Одесского зал. — на биостанции Одесского ун-та, на глубине до 0,5 м.

Определение суммарного содержания липидов и состава жирных кислот проводили по общепринятой методике [6] с использованием газожидкостной хроматографии (хроматограф Shimadzu (Япония)).

Результаты исследований и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что наибольшим суммарным содержанием липидов отличаются зеленые водоросли. В их клетках оно составляло 1,42—7,01% абсолютно сухой массы (табл. 1). Это связано, очевидно, как с их видоспецифичностью, так и с тем, что зеленые водоросли занимают поверхностный горизонт воды, где процесс синтеза и накопления липидов максимальный [15].

Низким содержанием исследуемых веществ характеризовались красные водоросли *Porphyra leucosticta*, *Polysiphonia elongata* и *Ceramium siliculosum* var. *elegans*. В талломах этих водорослей было обнаружено соответственно 0,64, 1,57 и 0,48% липидов от абсолютно сухой массы. У бурой водоросли *Punctaria latifolia* отмечено минимальное содержание липидов — 0,22%.

При определении жирно-кислотного состава липидов исследуемых водорослей нами было установлено, что у зеленой водоросли *Cladophora vagabunda* содержание жирных кислот составляет 82,9% суммарного количества липидов и они представлены 19 соединениями (табл. 2). Доминирующими являются ненасыщенные жирные кислоты, а коэффициент соотношения ненасыщенных кислот к насыщенным составляет 2,10.

Из литературных источников известно, что полиненасыщенные жирные кислоты в значительной мере определяют эффективность диет при сердечно — сосудистых заболеваниях, а соотношение полиненасыщенные жирные кислоты / насыщенные жирные кислоты является главной характеристикой жирового компонента таких диет [12].

Если соотношение этих кислот в рационе здорового человека должно равняться 0,3—0,4, то в противоатеросклеротических диетах оно рекомендуется от 1 до 2 [7]. Следовательно, соотношение полиненасыщенные жирные кислоты / насыщенные жирные кислоты в исследуемой водоросли соответствует рекомендуемым диетическим показателям. Среди ненасыщенных

1. Содержание липидов в водорослях-макрофитах Одесского залива

Виды водорослей	Липиды, % абс. сухой массы	Влажность, %
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	3,17	90,30
<i>Chaetomorpha aerea</i>	2,65	89,22
<i>Bryopsis plumosa</i>	1,42	90,80
<i>Cladophora vagabunda</i>	7,01	90,00
<i>Scytosiphon simplicissimus</i>	2,04	93,72
<i>Porphyra leucosticta</i>	0,64	94,39
<i>Polysiphonia elongata</i>	1,57	86,98
<i>Ceramium siliculosum</i> var. <i>elegans</i>	0,48	87,07
<i>Punctaria latifolia</i>	0,22	83,09

2. Жирно-кислотный состав липидов доминирующих водорослей-макрофитов Одесского залива

Жирные кислоты		Содержание, %		
		<i>Cladophora vagabunda</i>	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	<i>Ceramium siliquosum</i> var. <i>elegans</i>
Насыщенные				
Каприловая	8:0	2,08	—	—
Каприновая	10:0	0,32	—	—
Миристиновая	14:0	11,25	—	—
Пальмитиновая	16:0	10,60	16,55	19,67
Стеариновая	18:0	2,41	3,57	4,68
Пентадекановая	15:0	0,54	—	—
Сумма насыщенных кислот		27,92	20,12	24,35
Ненасыщенные				
Пальмитолеиновая	16:1n—7	3,25	—	—
Элоидиновая	18:1n—9	0,15	—	—
Цис-10- пентоидиновая		0,82	—	—
Миристоолеиновая	14:1	1,42	—	—
Олеиновая	18:1n—9	23,74	35,29	31,56
Линолеаидиновая	18:2n—6t	2,85	—	—
Линолевая	18:2n—6c	15,73	30,47	23,57
α -линоленовая	18:3n—3	0,37		
Линоленовая	18:3n—3	4,09	11,55	7,32
Арахидиновая	20:4n—6	1,78	—	1,69
Цис-11-эйкозановая	20:1n—9	0,87	—	—
Генэйкозановая + арахидиновая	21:0	0,18	—	—
Цис-5,8,11,14,17-эйкозапентаеновая	20:5n—3	0,42	—	—
Сумма ненасыщенных кислот		55,67	77,31	64,14
Соотношение полиненасыщенные жирные кислоты / насыщенные жирные кислоты		2,00	3,80	2,60
Сумма жирных кислот		82,87	97,43	88,49
Суммарное содержание липидов, %		7,00	3,17	0,48

жирных кислот в составе липидов данной водоросли преобладали 4 кислоты: олеиновая — 23,74% (эта кислота является главной моноеновой кислотой), линолевая — 15,73%, линоленовая — 4,09% и пальмитолеиновая — 3,25%. Известно, что эти кислоты являются незаменимыми для животных и человека [7, 12].

Линолевая кислота и ее производные (арахидоновая, гамма-линолевая кислоты и др.) участвуют в построении всех клеток организма, а также в продуцировании простогландинов и других липопероксидов, которые контролируют многие функции организма, например оказывают противовоспалительное действие и регулируют коагулирующие свойства крови. Недостаток в пище этих жирных кислот может вызвать различные патологии: замедление роста, кожные заболевания, нарушение коагуляции крови, а также ослабление иммунной системы. Очень важна линолевая кислота и для профилактики атеросклероза и коронарной болезни сердца, поскольку позволяет снижать уровень холестерина в клетках и оказывает противовоспалительное действие. Ее производной является эйкозопентаеновая кислота.

Линоленовая кислота и ее производные (альфа-линоленовая и эйкозопентаеновая, докозогексаеновая кислоты) необходимы организму как структурный компонент мозговых тканей, сетчатки глаза на ранних стадиях развития. Они уменьшают воспалительные процессы и тенденцию крови к коагуляции (образованию сгустков, тромбов), а также полезны при некоторых болезнях сердца, псориазе и артритах [12]. Линолевую и линоленовую кислоты включают в диеты для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и лечения ожирения.

В меньших количествах были выявлены линолеаидиновая (2,85%), арахидоновая (1,78%) и эйкозапентаеновая кислоты (0,42%). Они необходимы для построения клеточных мембран и являются предшественниками таких биологически активных веществ, как эйкозаноиды (простагландины, тромбоксаны, лейкотриены и другие медиаторы), которые участвуют в регуляции многих клеточных процессов и обеспечивают нормальную жизнедеятельность [12].

Среди насыщенных жирных кислот зеленой водоросли *Cladophora vagabunda* преобладали миристиновая — 11,25% и пальмитиновая — 10,60% (см. табл. 2). У другой зеленой водоросли *Enteromorpha intestinalis* жирные кислоты составляли 97,43% суммарного содержания липидов и были представлены пятью соединениями. Доминирующими были ненасыщенные жирные кислоты: олеиновая (35,29%), линолевая (30,47%) и линоленовая (11,55%). Среди насыщенных жирных кислот наибольшим содержанием отличалась пальмитиновая кислота (16,55%). Показатель соотношения полиненасыщенные жирные кислоты / насыщенные жирные кислоты исследуемой водоросли был равен 3,8, что превышает оптимальные значения (2,0), рекомендованные при диетах (см. табл. 2).

В составе жирных кислот липидов красной водоросли *Ceramium siliculosum* преобладали те же кислоты, что и у зеленых водорослей, однако их содержание — как ненасыщенных, так и насыщенных — было меньше.

Установлено, что среди исследуемых водорослей-макрофитов оптимальными показателями жирно-кислотного состава липидов отличаются зеленые водоросли *Cladophora vagabunda* и *Enteromorpha intestinalis*.

Липиды *C. vagabunda* по показателю соотношения полиненасыщенные жирные кислоты / насыщенные жирные кислоты наиболее соответствуют нормам (2,1), требуемым в диетах при лечении атеросклероза. Это может представлять значительный интерес для медицины.

Заключение

Среди исследуемых водорослей-макрофитов наибольшим суммарным содержанием липидов характеризуются зеленые водоросли, средним — красные и наименьшим — бурые водоросли.

В жирно-кислотном составе липидов водорослей-макрофитов преобладают ненасыщенные жирные кислоты, такие как олеиновая, линолевая, линоленовая, являющиеся незаменимыми для животных и человека.

Наибольшее содержание полиненасыщенных жирных кислот среди исследуемых водорослей выявлено у зеленых водорослей *Cladophora vagabunda* и *Enteromorpha intestinalis*.

**

Досліджено вміст ліпідів та їхній жирно-кислотний склад у широко розповсюджених водоростей-макрофітів Одеської затоки Чорного моря: *Enteromorpha intestinalis* (Nees) Link, *Chaetomorpha aerea* (Dillw.) Kütz., *Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek — Chlorophyta, *Porphyra leucosticta* Thur., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Spreng., *Ceramium siliculosum* var. *elegans* (Roth) G. Furmari — Rhodophyta та *Scytosiphon simplicissimus* (Clemente) Cremades, *Punctaria latifolia* Grev. — Phaeophyta. Встановлено, що серед досліджуваних водоростей-макрофітів найбільшим вмістом ліпідів та поліненасичених жирних кислот характеризуються зелені водорості. У складі водоростевих ліпідів переважають ненасичені жирні кислоти: олейнова, ліолева та ліноленова.

**

Total maintenance of lipids and their fatty acids composition was investigated in the widespread seaweeds of Odessa Bay of the Black Sea: *Enteromorpha intestinalis* (Nees) Link, *Chaetomorpha aerea* (Dillw.) Kütz., *Bryopsis plumosa* (Huds.) C. Ag, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek — Chlorophyta, *Porphyra leucosticta* Thur., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Spreng., *Ceramium siliculosum* var. *elegans* (Roth) G. Furmari — Rhodophyta and *Scytosiphon simplicissimus* (Clemente) Cremades, *Punctaria latifolia* Grev. — Phaeophyta. It was determined that among these seaweeds the biggest maintenance of lipids and polyunsaturated fatty acids was founded in green seaweeds. The unsaturated fatty acids: oleic, linoleic and linolenic were prevailed in composition of seaweeds lipids.

**

1. Барашков Г.К. Сравнительная биохимия водорослей. — М.: Пищ. пром-сть, 1972. — 336 с.

2. *Водоросли*. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. — Киев: Наук. думка, 1989. — 608 с.
3. *Зайцев Ю.П.* Введение в экологию Черного моря. — Одесса: Эвен, 2006. — 224 с.
4. *Зинова А.Д.* Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. — М.;Л.: Наука, 1967. — 398 с.
5. *Куцин О.Б.* Біотестування токсичності побутових детергентів з використанням макроводорості *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek // Вісн. Одеськ. ун-ту. — 2001. — Т. 6, вип. 1. — С. 34—41.
6. *Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидро-биологической практике* / Отв. ред. А. В. Топачевский. — Киев: Наук. думка, 1975. — 247 с.
7. *Подкорытова А.В.* Лечебно-профилактические и биологически активные добавки из бурых водорослей // Рыб. хоз-во. — 2001. — № 1. — С. 51—52.
8. *Подкорытова А.В.* Морские водоросли-макрофиты и травы. — М.: ВНИРО, 2005. — 174 с.
9. *Подкорытова А.В.* Аминина Н.М., Левачев М.М., Мирошниченко В.А. Функциональные свойства альгинатов и их использование в лечебно-профилактическом питании // Вопросы питания. — 1998. — № 3. — С. 26—29.
10. *Подкорытова А.В., Талабаева С.В., Мирошниченко В.А.* Полифункциональные свойства полисахаридов бурых водорослей // Материалы 1-й Междунар. конф. «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки», Москва-Голицыно, 26—30 авг., 2002 г. — М.: Изд-во ВНИРО, 2002. — С. 211—218.
11. *Пульц О.* Пути пополнения пищевых ресурсов за счет использования водорослей // Альгология. — 2000. — Т. 10, № 3. — С. 341—349.
12. *Разумов А.Н.* Вялков А.И., Михайлов В.И. и др. Морские водоросли в восстановительной медицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма / Под ред. А. Н. Разумова, А. И. Вялкова. — М.: Медицина для всех, 2006. — 104 с.
13. *Сиренко Л.А., Козицкая И.И.* Биологически активные вещества водорослей и качество воды. — Киев: Наук. думка, 1988. — 256 с.
14. *Сущик Н.Н.* Роль незаменимых жирных кислот в трофометаболических взаимодействиях в пресноводных экосистемах (обзор) // Журн. общ. биологии. — 2008. — Т. 69, № 4. — С. 299—316.
15. *Хотимченко С.В.* Липиды морских водорослей-макрофитов и трав. Структура, распределение, анализ. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — 230 с.
16. *Шафран Л.М.* Введение в исследование антропогенных морских экологических систем // Экология, экономика, рынок: Сб. науч. ст. — Одесса: ОЦНТЭИ, 1999. — С. 144—149.