

УДК 581.192

**СПЕЦИФИЧНОСТЬ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА  
АЦИЛСОДЕРЖАЩИХ ЛИПИДОВ ОДНОКЛЕТОЧНОЙ КРАСНОЙ  
ВОДОРОСЛИ *PORPHYRIDIUM CRUENTUM***

**Г. Л. КЛЯЧКО-ГУРВИЧ, М. И. ЮРЬЕВА,  
В. Е. СЕМЕНЕНКО**

*Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева  
Академии наук СССР, Москва*

При изучении липидов одноклеточной красной водоросли *Porphyridium cruentum* установлена специфичность жирнокислотного состава отдельных классов липидов. Для этой водоросли характерно наличие в липидах значительного количества арахидоновой и эйкозапентаеновой кислот. При этом арахидоновая кислота локализована преимущественно в фосфолипидах, особенно в фосфатидилхолинах, и в триацилглицеринах; а эйкозапентаеновая кислота — в гликолипидах хлоропластов: моногалактозилдиацилглицеринах, дигалактозилдиацилглицеринах и сульфохиновозилдиацилглицеринах. Локализация в липидах хлоропластов и синтез в условиях, благоприятных для фотосинтеза, позволяют предположить, что эйкозапентаеновая кислота играет важную роль в организации мембран тилакоидов. Высокое содержание линолевой и арахидоновой кислот в триацилглицеринах позволяет прогнозировать их повышенное содержание при экстремальных условиях, способствующих синтезу запасных липидов.

*Красные водоросли — липиды — жирнокислотный состав липидов — арахидоновая кислота — эйкозапентаеновая кислота.*

Одноклеточные красные водоросли, к числу которых принадлежит *Porphyridium cruentum* (порфириднум), в последнее время привлекают все большее внимание в связи с возможностью введения их в интенсивную культуру как продуцентов слизеобразующих полисахаридов и других ценных метаболитов, прежде всего полиненасыщенных жирных кислот с длинной цепью — арахидоновой (20:4 $\omega$ 6) и эйкозапентаеновой (20:5 $\omega$ 3), — которые являются предшественниками простагландинов [1—4] и терапевтический потенциал которых интенсивно изучается в настоящее время [5].

Для использования порфириднума в качестве продуцента полиненасыщенных жирных кислот необходимо наряду с разработкой методов интенсивного культивирования [2, 3] провести детальное изучение особенностей метаболизма липидов у этого организма, что позволит найти оптимальные условия высокого выхода и направленного получения липидов, содержащих арахидоновую и эйкозапентаеновую кислоты. С другой стороны, изучение метаболизма липидов, в состав которых входят эти кислоты, представляет интерес с точки зрения понимания функциональной и структурной роли липидов в мембранах.

Обмен липидов *P. cruentum* изучен совершенно недостаточно. Информация о липидах этого организма ограничивается данными, свидетельствующими о том, что по составу липидов *P. cruentum* не отличается суще-

Сокращения: ФАР — фотосинтетически активная радиация, ПЭГА — полиэтиленгликольадипат, ГЖХ — газожидкостная хроматография, ТСХ — тонкослойная хроматография, НЛ — нейтральные липиды, ГЛ — гликолипиды, ФЛ — фосфолипиды, ТАГ — триацилглицерины, ДАГ — диацилглицерины, СЖК — свободные жирные кислоты, ФХ — фосфатидилхолины, ФГ — фосфатидилглицерины, ФЭ — фосфатидилэтаноламины, ФИ — фосфатидилинозиты, МГДГ — моногалактозилдиацилглицерины, ДГДГ — дигалактозилдиацилглицерины, СХДГ — сульфохиновозилдиацилглицерины.

ственно от других красных водорослей и содержит гликолипиды, фосфолипиды и нейтральные липиды, обычные для большинства автотрофных эукариотов [6—8]. Было показано также, что липиды *P. cruentum* характеризуются наличием значительного количества полиненасыщенных длинноцепочечных жирных кислот [3, 4, 6, 9—11], широко распространенных у многих морских водорослей, но сравнительно редко встречающихся у высших растений [6—9, 12—14]. Изучение состава жирных кислот липидов *P. cruentum* в ходе многофакторного эксперимента [2] выявило чрезвычайную его изменчивость в зависимости от условий культивирования и фазы роста культуры, что позволяет надеяться на возможность параметрического управления составом жирных кислот. В настоящее время не выяснены особенности метаболизма липидов, определяющие такую изменчивость жирнокислотного состава. Одна из возможных причин — различия в составе жирных кислот липидов отдельных классов, о чем можно судить по данным Николса и Аплъби [8]. Однако это единственная работа, в которой приведены результаты определения жирнокислотного состава отдельных классов липидов порфиридиума, в связи с чем представляет интерес более детальное изучение этого вопроса.

В данной работе изучали жирнокислотный состав отдельных классов липидов *P. cruentum*, знание которого существенно для понимания характера изменчивости состава жирных кислот в зависимости от условий культивирования, изменения направленности биосинтеза жирных кислот, а также путей биосинтеза отдельных кислот, их локализации и функциональной роли в различных органеллах.

#### МЕТОДИКА

Работу проводили с одноклеточной красной водорослью *P. cruentum*, штамм получен из коллекции ИНБИОМ АН УССР. Водоросли культивировали с использованием морской воды соленостью 33—34‰ или на синтетической питательной среде [1, 15]. Водоросли выращивали при оптимальных для роста и фотосинтеза условиях в культуральных термостатированных сосудах (26°) при круглосуточном освещении люминесцентными лампами (90 Вт/м<sup>2</sup>, ФАР) и круглосуточном барботаже воздухом, обогащенным СО<sub>2</sub> (1,7%) [2, 16]. При изучении влияния света и температуры на состав жирных кислот водоросли выращивали в условиях, указанных в соответствующей таблице. В ходе опыта поддерживали плотность суспензии водорослей 4—9 млн. клеток/мл.

Липиды экстрагировали методом, разработанным ранее [17]. С помощью адсорбционной колоночной хроматографии на силикагеле их фракционировали на НЛ, ГЛЛ и ФЛ [18]. Отдельные классы липидов выделяли методом колоночной хроматографии [19, 20] и с помощью препаративной ТСХ в системе, предложенной Васьковским и Тереховой [21], а также в системе гексан — диэтиловый эфир — уксусная кислота (90:10:1), используемой для разделения нейтральных липидов. Выделенные липиды подвергали омылению, жирные кислоты переводили в форму метиловых эфиров и проводили их очистку на ТСХ [22]. Метиловые эфиры жирных кислот анализировали методом ГЖХ на хроматографе «Хром-41» с пламенно-ионизационным детектором, набивка колонки — 10% ПЭГА (Реахим) на целите 546. Идентифицировали жирные кислоты по методу Акмана [23] и путем сравнения с аутентичными образцами. Для количественного определения жирных кислот использовали в качестве внутреннего стандарта маргариновую кислоту [20].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении содержания ацилсодержащих липидов *P. cruentum* было установлено, что в благоприятных для роста условиях при плотности, соответствующей линейной фазе роста культуры, общее содержание

Таблица 7

Содержание жирных кислот в основных фракциях ацилсодержащих липидов *P. cruentum*

Фракция липидов	Концентрация жирных кислот липидов *	
	мкг/мг сухого вещества	% от суммы липидов
НЛ	9,99	27,3
ГлЛ	15,71	43,2
ФЛ	10,74	29,5
НЛ + ГлЛ + ФЛ	36,44	100,0

\* Возврат липидов с колонки составлял 99,2%.

жирных кислот липидов составляет 3—5% от сухого вещества биомассы водорослей (табл. 1). При этом больше всего липидов содержится во фракции ГлЛ, однако значительное их количество приходится как на НЛ, так и на ФЛ (табл. 1). Это соотношение не остается постоянным. В частности, при экстремальных условиях культивирования в результате накопления ТАГ возрастает содержание НЛ (рис. 1).

Состав жирных кислот липидов порфиридиума отличается большой лабильностью. Даже сравнительно небольшое изменение условий культивирования, не выходящее за пределы физиологической нормы, существенным образом меняет содержание и относительную концентрацию отдельных кислот (табл. 2). При благоприятных для фотосинтеза и роста условиях [2], а именно при температуре 26° и освещенности 90 Вт/м<sup>2</sup>, в липидах наблюдается самое высокое содержание эйкозапентаеновой кислоты в расчете на сухое вещество и самая высокая ее молярная доля; в этом же варианте отмечается самое низкое содержание линолевой кислоты. Молярная доля других кислот меняется в меньшей степени, хотя количество их существенно различается в зависимости от условий. При низкой освещенности (25 Вт/м<sup>2</sup>) значительно ниже содержание полиненасыщенных кислот. При температуре выше оптимальной (29°) возрастает содержание жирных кислот липидов, главным образом за счет увеличения количества линолевой и арахидоновой кислот; содержание эйкозапентаеновой кислоты сильно уменьшается (табл. 2).

Несмотря на вариабельность состава жирных кислот, можно выявить определенные закономерности их распределения в липидах разных классов, сохраняющиеся при всех условиях выращивания (табл. 3). Сопоставление основных фракций липидов по составу их жирных кислот показывает, что НЛ характеризуются самым высоким содержанием линолевой и значительным — арахидоновой кислоты. Больше всего арахидоновой кислоты обнаружено в ФЛ; в ГлЛ она содержится в небольшом количестве. В то же время во фракции ГлЛ в значительной концентрации обнаруживается эйкозапентаеновая кислота. В этой фракции сосредоточено почти 80% общего пула эйкозапентаено-

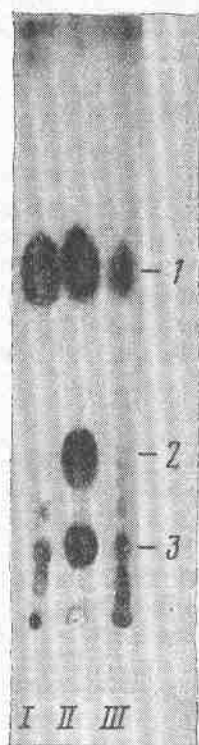


Рис. 1. Изменение содержания ТАГ в условиях азотного голодания

I — условия азотного голодания, II — стандартные вещества (1 — ТАГ, 2 — СЖК, 3 — стерины), III — контрольный вариант

Таблица 2

Содержание жирных кислот суммы ацилсодержащих липидов при разных условиях культивирования *P. cruentum*

Жирная кислота*	26°		29°	26°		29°
	25 Вт/м <sup>2</sup>	90 Вт/м <sup>2</sup>		25 Вт/м <sup>2</sup>	90 Вт/м <sup>2</sup>	
	нг/100 мкг. сухого вещества			моль%		
14:0	24,2	29,9	—	1,0	0,5	—
16:0	1103,4	1243,7	1581,6	40,6	36,6	39,4
16:1 ω 7 (9)	164,1	183,4	147,5	6,7	4,0	3,8
16:1 <sup>3</sup>	—	123,4	75,9	—	3,7	0,9
16:3 ω 3	23,8	29,6	23,6	0,3	0,9	0,7
16:4 ω 3	—	18,1	—	—	1,4	—
18:0	102,3	74,6	156,3	3,4	2,0	3,5
18:1 ω 9	176,2	122,2	283,7	5,9	3,3	6,5
18:2 ω 6	510,0	389,7	858,3	17,3	10,5	19,5
18:3 ω 6	29,4	29,2	48,1	1,0	0,8	1,1
18:4 ω 3	8,8	54,8	60,8	0,3	1,5	1,4
20:3 ω 6	110,2	301,4	264,6	3,4	7,5	5,5
20:4 ω 6	466,8	634,7	764,6	14,6	15,8	16,0
20:5 ω 3	191,9	460,0	80,7	6,1	11,5	1,7
Сумма	2911,0	3672,0	4345,8	100,0	100,0	100,0

\* 14:0 — миристиновая, 16:0 — пальмитиновая, 16:1 ω 7(9) гексадеценовая, 16:1<sup>3</sup> — транс-3-гексадеценовая, 16:3 ω 3 — гексадекатриеновая, 16:4 ω 3 — гексадекатетраеновая, 18:0 — стеариновая, 18:1 ω 9 — олеиновая, 18:2 ω 6 — линолевая, 18:3 ω 6 — γ-линоленовая, 18:4 ω 3 — октадекатетраеновая, 20:3 ω 6 — эйкозатриеновая, 20:4 ω 6 — арахидоновая, 20:5 ω 3 — эйкозапентаеновая.

вой кислоты липидов (табл. 4). Во фракциях НЛ и ФЛ эта кислота содержится как минорный компонент.

Такая приуроченность арахидоновой и эйкозапентаеновой кислот, казалось бы близких по строению, к разным липидам представляет большой интерес с точки зрения исследований путей их биосинтеза и функциональной роли. В связи с этим было проведено более детальное изучение состава жирных кислот отдельных классов липидов, входящих в эти три фракции. Большую часть нейтральных липидов в данной серии опытов составляли ТАГ (72%), в составе которых преобладали линолевая и арахидоновая кислоты; именно они определяли жирнокислотный состав этой фракции (ср. рис. 2 и табл. 3). Очевидно, высокое содержание этих кислот при температуре культивирования выше оптимальной (табл. 2) свидетельствует о накоплении запасных липидов. Во фракцию НЛ входят также воска, представленные преимущественно эфирами олеиновой кислоты (12% от суммы кислот НЛ), а также СЖК и ДАГ, содержание которых было слишком низким для определения их жирнокислотного состава.

При определении жирнокислотного состава преобладающих ФЛ — ФХ (49%), ФГ (23%), ФЭ (10%) и ФИ (9%) — было обнаружено (рис. 3), что для них характерно наличие арахидоновой кислоты. При этом особенно в большой концентрации (около 40% от суммы кислот) она содержится в ФХ. Эйкозапентаеновая кислота во всех ФЛ присутствует как минорный компонент, только в ФГ она содержится в относительно более высокой концентрации. У порфиридиума, как и у других фотосинтезирующих эукариотов, в ФГ найдена транс-3-гексадеценовая кислота, но ее концентрация невелика.

Преобладающим классом гликолипидов являются МГДГ (41% от суммы ГЛЛ), что характерно для большинства фотосинтезирующих организмов. Однако особенностью некоторых растений, в том числе красных водорослей, считается преобладание в этой фракции ДГДГ [6]. Не исключено, что при других условиях культивирования и у *P. cruentum* может преобладать ДГДГ. Относительно высокое содержание СХДГ у порфиридиума очевидно, связано с обитанием в морской воде, так как

Таблица 3

Состав жирных кислот основных фракций липидов *P. cruentum*  
Условия культивирования указаны в методах

Жирная кислота *	НЛ	ГЛЛ	ФЛ
	моль%		
12:0**	1,5	0,1	0,1
14:0	3,6	2,0	1,4
16:0	32,6	53,0	35,3
16:1 ω 7 (9)	5,9	3,5	3,4
16:1 <sup>3</sup>	—	—	8,0
16:3 ω 3	0,6	0,6	0,8
18:0	4,4	2,6	1,9
18:1 ω 9	7,4	4,8	3,5
18:2 ω 6	21,9	9,2	7,9
18:3 ω 6	1,7	0,8	3,3
18:4 ω 3	0,6	0,2	0,4
20:1	2,7	3,9	—
20:3 ω 6	0,7	—	1,7
20:4 ω 6	10,4	3,1	27,8
20:5 ω 3	2,0	15,9	4,7

\* Названия жирных кислот см. в табл. 2.

\*\* Лауриновая кислота.

Таблица 4

Распределение преобладающих жирных кислот по фракциям  
липидов *P. cruentum*

Условия культивирования указаны в методах

Жирная кислота *	% от суммарного содержания жирной кислоты в липидном экстракте**		
	НЛ	ГЛЛ	ФЛ
16:0	21,3	54,4	24,3
16:1 <sup>3</sup>	—	—	100,0
18:2 ω 6	49,1	32,2	18,7
20:4 ω 6	23,2	10,9	65,9
20:5 ω 3	6,5	78,2	15,3
Сумма	27,4	42,1	29,5

\* См. примечание к табл. 2.

\*\* Сумма НЛ + ГЛЛ + ФЛ принята за 100%.

повышенное содержание СХДГ отмечается у многих галофильных растений [24]. Эти три класса липидов характеризуются высоким содержанием эйкозапентаеновой кислоты и низким уровнем — арахидоновой (рис. 4). В СХДГ обнаружены эйкозеновая, эйкозадиеновая и эйкозатриеновая кислоты; в некоторых случаях количество последней значительно возросло. Среди ГЛЛ найден также церамид, но состав жирных кислот этого класса липидов не определен.

Таким образом, анализ различных липидов выявил характерные отличия между ними по содержанию полиненасыщенных  $C_{20}$ -кислот, а именно преимущественную локализацию арахидоновой кислоты в ФЛ, особенно в ФХ, и эйкозапентаеновой — в ГЛЛ хлоропластов. Следует отметить более высокое, чем в других ФЛ, содержание кислоты 20:5ω3 в ФГ, который наряду с МГДГ, ДГДГ и СХДГ является одним из преобладающих липидов хлоропласта. Сходные данные по жирнокислотному составу отдельных классов липидов порфиридиума представлены в работе Николса и Аплъби [8], но авторы не обратили внимания на специфичность распределения кислот 20:4ω6 и 20:5ω3. В статье Эхери и соавт.

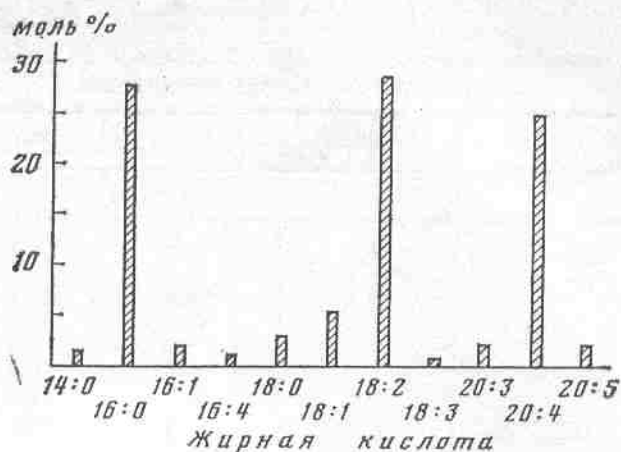


Рис. 2. Состав жирных кислот ТАГ *P. cruentum*  
 Названия кислот см. в табл. 2

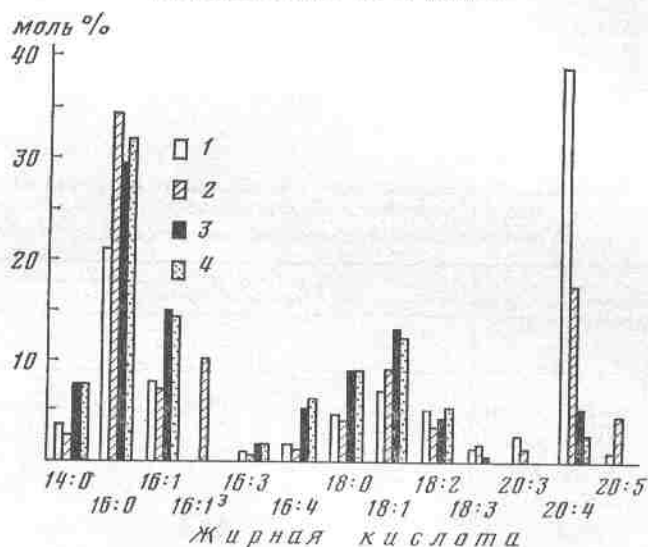


Рис. 3. Состав жирных кислот ФЛ *P. cruentum*  
 1 — ФХ, 2 — ФГ, 3 — ФЭ, 4 — ФИ. Названия кислот см.  
 в табл. 2

[4] о наличии эйкозапентаеновой кислоты в липидах *P. cruentum* вообще не упоминается. Скорее всего авторы не обнаружили эту кислоту в результате методической ошибки при определении жирных кислот методом ГЖХ с использованием фазы SE-52, на которой не происходит разделения кислот с одинаковой длиной цепи, но с разным числом двойных связей.

Отмеченные нами у порфиридума закономерности локализации жирных кислот в липидах наблюдаются и у других водорослей, содержащих полиненасыщенные кислоты с длинной цепью. Как видно из табл. 5, относительное содержание кислот 20:4 и 20:5 в липидах разных организмов может меняться в довольно широких пределах. Возможно, это определяется не только видовыми особенностями, но и условиями культивирования. Тем не менее во всех случаях величина соотношения этих кислот для ГлЛ значительно ниже, чем для ФЛ; среди ФЛ самая низкая величина соотношения 20:4/20:5 наблюдается у ФГ. Надо отметить, что у

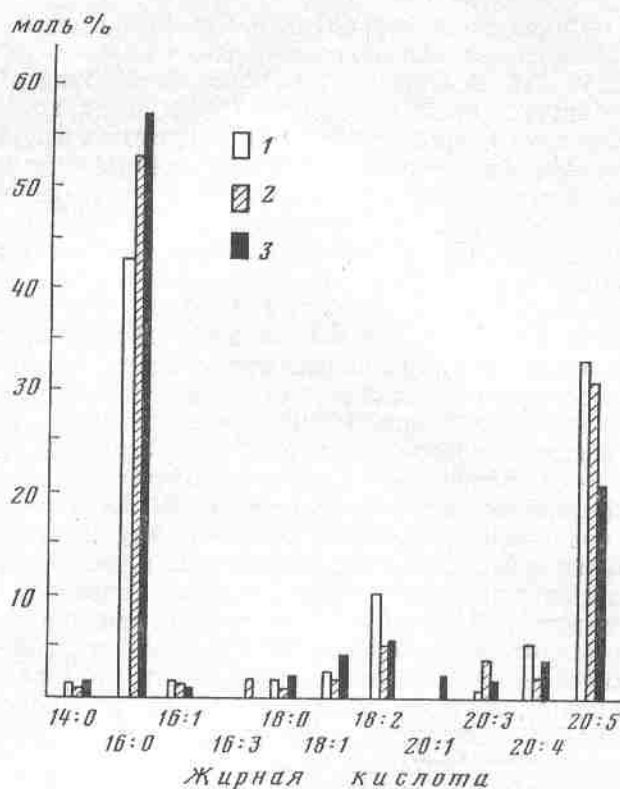


Рис. 4. Состав жирных кислот ГЛЛ *P. cruentum*  
 1—МГДГ, 2—ДГДГ, 3—СХДГ. Названия кислот см.  
 в табл. 2

таких водорослей, как *Euglena* и *Ochromonas*, в липидах хлоропластов-обе эти кислоты или найдены в следовых количествах, или вообще не обнаружены. В хлоропластах этих водорослей, как и у большинства зеленых водорослей, преобладают  $C_{16}$  и  $C_{18}$  полиненасыщенные кислоты, а  $C_{20}$ -кислоты, главным образом арахидоновая, встречаются в ФЛ и запасных липидах [6, 8, 26].

Следовательно, обнаруженная нами приуроченность 20:5 $\omega$ 3 к липидам хлоропласта, а 20:4 $\omega$ 6 к ТАГ и ФЛ не является общей закономерностью для всех водорослей, хотя тенденция к такому распределению кислот проявляется во многих случаях. Представляет значительный интерес, что столь близкие по строению кислоты не только могут быть преимущественно локализованы в разных органеллах, но и, очевидно, синтезироваться разными путями и выполнять разные функции.

Принято считать, что синтез 20:4 $\omega$ 6 идет через линолевую кислоту

Таблица 5

Соотношение арахидоновой и эйкозапентаеновой кислот в липидах различных водорослей

Организм	Отношение 20:4/20:5					Ссылка
	МГДГ	ДГДГ	ФХ	ФЭ	ФГ	
<i>P. cruentum</i>	0,16	0,07	42,5	11,0	3,5	Наши данные
»	0,65	0,53	5,9	—	0,82	
<i>Monodus subterraneus</i>	0,10	0,08	0,46	0,40	0,03	[7]
<i>Nitzschia palea</i>	0,26	0,25	0,67	0,94	0,33	[25]
<i>Navicula murales</i>	0,13	1,42	6,15	2,97	1,30	[25]

(18:2 $\omega$ 6), а промежуточным продуктом биосинтеза 20:5 $\omega$ 3 (хотя этому вопросу почти не уделяли внимания) служит линоленовая кислота (18:3 $\omega$ 3) [6, 9, 13]. В хлоропластах фотосинтезирующих организмов 18:3 $\omega$ 3 синтезируется преимущественно путем дегидрирования 18:2 $\omega$ 6 при участии липидов хлоропласта [6, 20, 27]; синтез же 18:2 $\omega$ 6 происходит главным образом в эндоплазматическом ретикулуме с участием ФХ [6, 7]. В связи с этим представляет интерес, что образующаяся через 18:2 $\omega$ 6 арахидоновая кислота обнаружена преимущественно в ФЛ и ТАГ, а эйкозапентаеновая кислота, которая синтезируется через 18:3 $\omega$ 3, — в липидах хлоропласта.

Существует большая по объему литература (обсуждать которую в данной статье невозможно), где показано, что 18:3 $\omega$ 3 представляет собой преобладающую кислоту липидов тилакоидов, ее биосинтез тесно связан с процессом фотосинтеза и ее наличие и концентрация имеют существенное значение для прохождения этого процесса [6, 20, 28, 29]. Полученные в данной работе результаты говорят о том, что у порфиридиума повышается доля 20:5 $\omega$ 3 в условиях, благоприятных для фотосинтеза (табл. 2). Светозависимое накопление 20:5 $\omega$ 3 показано также у ряда других организмов, например у диатомовых водорослей [25]. Накопление арахидоновой кислоты у диатомовых и эвгленовых водорослей происходит в гетеротрофных условиях и часто связано с образованием запасных липидов [6, 8, 25, 26]. У *P. cruentum* также в запасных липидах отмечено высокое содержание арахидоновой кислоты (рис. 2).

Все сказанное выше позволяет предположить, что у ряда водорослей, содержащих полиненасыщенные кислоты С<sub>20</sub>-ряда, именно 20:5 $\omega$ 3 кислота, но не 20:4 $\omega$ 6, выполняет те же функции, что и 18:3 $\omega$ 3 кислота у большинства фотосинтезирующих эукариотов.

В свете полученных данных можно более рационально подходить к выбору условий культивирования для получения биомассы *P. cruentum* с необходимым составом жирных кислот. Очевидно, для повышения содержания эйкозапентаеновой кислоты необходимо создать условия, благоприятствующие фотосинтезу. В то же время несомненно, что экстремальные условия, стимулирующие синтез запасных липидов, с неизбежностью приведут к повышению содержания арахидоновой кислоты. Следует иметь в виду, что на общее содержание жирных кислот может повлиять как изменение жирнокислотного состава липидов, так и соотношение самих липидов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jones R. F., Speer H. L., Kury W. Studies on the growth of the red alga *Porphyridium cruentum*.— *Physiol. plantarum*, 1963, v. 16, № 3, p. 635.
2. Тренкеншу Р. П., Терсков Н. А., Фурьев Е. А., Ярунцев С. А. Ростовые и продукционные показатели водоросли *Porphyridium cruentum* в клеточной культуре.— В сб.: Интенсивная светокультура растений. Красноярск: ИФ СО АН СССР, 1977, с. 191.
3. Темных А. А., Юрьева М. И. Перспективы управляемого биосинтеза культуры микроводорослей. Тез. IV Всесоюзн. совещ. по научно-техн. проблемам мариккультуры. Владивосток: ТИНРО, 1983, с. 139.
4. Ahern T. J., Katon S., Sada E. Arachidonic acid production by the red alga *Porphyridium cruentum*.— *Biotechnol. and bioeng.*, 1983, v. 25, p. 1057.
5. Jorgensen K. A., Dyerberg J. Platelets and atherosclerosis.— *Adv. Nutritional Res.*, 1983, v. 5, p. 57.
6. Hitchcock C., Nichols B. W. Plant lipid biochemistry. L.: Acad. press, 1971, p. 121.
7. Wood B. J. B. Fatty acids and saponifiable lipids.— In: *Algal physiology and biochemistry*. Oxford — London, 1974, p. 236.
8. Nichols B. W., Appleby R. S. The distribution of biosynthesis of arachidonic acid in algae.— *Phytochemistry*, 1969, v. 8, № 10, p. 1907.
9. Pöhl P., Wagner H., Passig T. Inhaltsstoffe von Algen. II über die unterschiedliche Fettsäurezusammensetzung von Salz und Süßwasseralgen.— *Phytochemistry*, 1968, v. 7, № 9, p. 1565.
10. Юрьева М. И., Темных А. А., Акулин В. Н. Изменение жирнокислотного состава морской одноклеточной водоросли *Porphyridium cruentum* при культивировании.—



- В сб.: Биология шельфовых зон мирового океана. Ч. 2, Владивосток, 1982, с. 127.
11. *Калачева Г. С.* Липиды некоторых автотрофных микроорганизмов — возможных компонентов СЖО. — Тр. XI Всесоюз. рабоч. совещ. по вопросам круговорота веществ в замкнутых системах жизнеобеспечения на основе жизнедеятельности низших организмов. Киев: Наук. думка, 1983, с. 45.
  12. *Klenk E., Knipprath W., Eberhagen D., Koof H. P.* Über die ungesättigten Fettsäuren der Fettstoffe von Süßwasser — und Meeresalgen. — *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chemie*, 1963, V. 334, № 1—6, S. 44.
  13. *Wagner H., Pohl P.* Fettsäurebiosynthese und Evolution bei Pflanzlichen und tierischen Organismen. — *Phytochemistry*, 1966, v. 5, № 5, p. 903.
  14. *Хотимченко С. В., Светашев В. И.* Сравнительное исследование жирных кислот макрофитов Японского моря. — *Биология моря*, 1983, № 5, с. 45.
  15. *Темных А. А., Сидько Ф. Я., Тренкеншу Р. П.* Влияние азота, фосфора и железа на рост накопительной культуры порфиридиума. Препринт. Красноярск: ИФ СО АН СССР, 1983, с.
  16. *Владимирова М. Г., Семенов В. Е.* Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 60 с.
  17. *Клячко-Гурвич Г. Л., Семенов В. Е.* О количественной экстракции нативных липидов из клеток хлореллы. — *Физиология растений*, 1978, т. 25, вып. 2, с. 412.
  18. *Rouser G.* Chromatography on column of silicic acid. — In: *Methods in Enzymology*. N. Y.—L.: Acad. Press, 1969, v. 14, p. 254.
  19. *Pohl P., Wagner H.* Analysis of plant glycolipids and phospholipids and their fatty acids. — *J. Chromatogr.*, 1970, v. 49, N 3, p. 488.
  20. *Клячко-Гурвич Г. Л., Семенова А. Н., Семенов В. Е.* Липидный обмен хлоропластов при адаптации клеток хлореллы к снижению освещенности. — *Физиология растений*, 1980, т. 27, вып. 2, с. 370.
  21. *Vaskovsky V. E., Terekhova T. A.* HPTIC of phospholipid mixtures containig phosphatidiglycerol. — *J. High Resol. Chrom. C. C.*, 1979, v. 2, p. 671.
  22. *Ackman R. G., Tocher C. A., Medachlan G.* Marine phytoplankter fatty acids. — *J. Fish. Res. Bol. Can.*, 1968, v. 25, № 8, p. 1606.
  23. *Carrau J. P., Dubacq J. P.* Adaptation of macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts. — *J. Chromatogr.*, 1978, v. 151, № 3, p. 384.
  24. *Harwood J. L.* Sulfolipids. — In: *The biochemistry of plants*, 1980, v. 4, p. 301.
  25. *Opute F. J.* Lipid and fatty acid composition of diatoms. — *J. Exptl Bot.*, 1974, v. 25, № 87, p. 823.
  26. *Rosenberg A.* *Euglena gracilis*: a novel lipid energy reserve and arachidonic acid enrichment during fasting. — *Science*, 1967, v. 157, № 3793, p. 73.
  27. *Murphy D. J., Stumpf P. K.* Polyunsaturated fatty acid biosynthesis in cotyledons from germinating and developing *Cucumis sativus L.* seedlings. — *Plant Physiol.*, 1980, v. 66, № 4, p. 660, 666.
  28. *Клячко-Гурвич Г. Л., Цоглин Л. Н., Семенова А. Н.* К вопросу об участии моногалактозилдиднаилглицеринов (МГДГ) с различным составом жирных кислот в организации мембран хлоропласта. — *Физиология растений*, 1981, т. 28, вып. 3, с. 510.
  29. *Murphy D. J., Stumpf P. K.* Light-dependent induction of polyunsaturated fatty acid biosynthesis in greening cucumber cotyledons. — *Plant Physiol.*, 1979, v. 63, № 2, p. 328.

Поступила в редакцию  
27.IV.1984

#### SPECIFICITY OF FATTY ACID COMPOSITION OF ACYL LIPIDS IN THE UNICELLULAR RED ALGA *PORPHYRIDIUM CRUENTUM*

**G. L. KLYACHKO-GURVICH, M. I. YURIEVA, V. E. SEMENENKO**

*K. A. Timiriazev Institute of Plant Physiology,  
Academy of Sciences of the USSR, Moscow*

When studying lipids in the unicellular red alga *P. cruentum*, it has been shown that individual lipid classes have specific fatty acid composition. A characteristic feature of this alga is the presence of considerable amounts of arachidonic and eicosapentaenoic acids in its lipids. Arachidonic acid is demonstrated to be localized, predominantly, in phospholipids, especially in phosphatidylcholines, and in triacylglycerols, while eicosapentaenoic acid is located in chloroplast glycolipids: in monogalactosyl diacylglycerols, digalactosyl diacylglycerols, and sulfochinovosyl diacylglycerols. Since eicosapentaenoic acid is located in chloroplast lipids and its synthesis occurs in conditions favorable for photosynthesis, the acid is suggested to play an important role in the organization of thylakoid membranes. The high level of linoleic and arachidonic acids in triacylglycerols allows a prediction of their high content in alga biomass under unfavorable conditions that promote synthesis of storage lipids.