

Влияние абиотических факторов на состав жирных кислот *Ulva intestinalis*

В. Н. НЕСТЕРОВ, О. А. РОЗЕНЦВЕТ, Е. С. БОГДАНОВА

Институт экологии Волжского бассейна РАН
445003, Тольятти, ул. Комзина, 10
E-mail: nesvik1@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Исследован состав жирных кислот зеленой водоросли *Ulva intestinalis*, обитающей в малых реках бассейна оз. Эльтон. Установлено, что основными жирными кислотами являются кислоты с длиной цепи 16 и 18 атомов углерода. Исследована изменчивость состава жирных кислот липидов *U. intestinalis* в зависимости от факторов среды: уровня минерализации, температуры, насыщения кислородом, кислотности среды. Выявлено, что с ростом минерализации воды ненасыщенность жирных кислот увеличивается. Предполагается участие $\omega 6$ - и $\omega 3$ -десатураз в адаптации *U. intestinalis* к данному фактору.

Ключевые слова: *Ulva intestinalis*, малые реки, абиотические факторы среды, жирные кислоты.

Многочлечная макроводоросль *Ulva* (= *Enteromorpha*) *intestinalis* (L.) Link широко распространена в прибрежной мелководной зоне Мирового океана [1–3]. В то же время *U. intestinalis* способна существовать не только в соленых, но и в солоноватых и пресных, иногда загрязненных водах, а также успешно развиваться, как на естественных грунтах – скалах и камнях, так и на искусственных сооружениях [2, 4, 5]. Широкое распространение и разнообразие условий обитания данного вида может быть связано со способностью перестраивать метаболизм под специфические условия среды.

Известно, что в адаптации живых организмов к внешним условиям важную роль играют липиды и жирные кислоты (ЖК). Наиболее полно изучено участие ЖК в адаптации растений к гипотермии. Показано, что при снижении температуры повышается уровень ферментов – десатураз ЖК [6]. В природе растения подвергаются одновременно действию разных экологических факторов, которые могут индуцировать скоординиро-

ванные экофизиологические реакции растений и приводить к различным функциональным стратегиям [7, 8]. Однако об изменчивости ЖК одного вида организмов, существующих в местообитаниях с широким диапазоном варьирования абиотических факторов, известно мало. Учитывая, что изменение ненасыщенности ЖК является ключевым моментом в создании оптимального уровня текучести мембран, обеспечивающих физиологическую активность клеток, возникает необходимость оценки активности десатураз ЖК не только к температуре, но и к другим факторам. По имеющимся в литературе сведениям оценка активности этих ферментов позволяет, в определенной мере, судить о механизмах синтеза и роли ненасыщенных ЖК в устойчивости растений к различным неблагоприятным воздействиям [9, 10].

При проведении комплексных эколого-гидробиологических исследований на территории бассейна оз. Эльтон, расположенного на юго-востоке европейской части России, в пределах северных границ Прикаспийской низмен-

ности было установлено, что *U. intestinalis* является одним из массовых видов макрофигов, обитающих в малых реках, питающих оз. Эльтон [11]. Воды исследованных рек отличаются по гидробиологическим и гидрохимическим характеристикам. Характерной чертой данного региона является высокая степень засушливости с резким дефицитом осадков. Температурный режим отличается амплитудой экстремальных температур (свыше +70 °С): абсолютный минимум – в январе (–31,1 °С), абсолютный максимум – в августе (+41,1 °С) [12].

Предполагается, что организмы, обитающие в подобных условиях, отличаются своеобразными стратегиями адаптации и обладают особым типом обмена веществ [13, 14].

Цель работы – изучение влияния факторов водной среды на состав ЖК и активность десатураз ЖК *U. intestinalis* в условиях солоновато-водных и соленых рек.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследования располагается в Палласовском районе Волгоградской обл. Исследования проводили в период с 2006 по 2010 г. Растительный материал собирали в августе и сентябре на 10 станциях, расположенных на разных участках рек бассейна оз. Эльтон: Хара, Ланцуг, Солянка, Чернавка, Сморогда (табл. 1). Гидрохимические показатели и физико-химические параметры измеряли в соответствии с общепринятыми методическими указаниями [15].

Небольшая длина и уклоны рек обусловили большую извилистость русел и медленное течение. Питание рек происходит за счет ат-

мосферных осадков (80–90 % всего объема) и грунтовых вод. Грунтовое питание играет более важную роль в зимний период, когда реки покрыты льдом. Сток в течение года происходит неравномерно: максимальным он бывает весной во время снеготаяния, а в летнее время уменьшается, осенью несколько увеличивается с выпадением осенних дождей, и, наконец, зимой полностью отсутствует.

Объект исследования – зеленая водоросль *U. intestinalis* (ульва) относится к семейству Ulvaceae, класса Chlorophyceae, порядка Ulotrichales. Для анализа отбирали слоевища водорослей, составляли три независимых биологических пробы (2–4 г сырой массы), которые инактивировали кипящим изопропиловым спиртом в течение 10 мин. Фиксированный материал в плотно закупоренных стеклянных пузырьках доставляли к месту проведения анализов.

Липиды экстрагировали смесью хлороформа и метанола (1 : 2, по объему) [16]. ЖК анализировали в виде их метиловых эфиров. Метилирование проводили путем кипячения ЖК в 5 % растворе HCl в метаноле в течение 1 ч. Полученные эфиры очищали препаративной тонкослойной хроматографией и анализировали на газожидкостном хроматографе “Хроматэк. Кристалл 5000.1” (Россия) с использованием капиллярной колонки длиной 105 м и диаметром 0,25 мм “RESTEK” (США) в изотермическом режиме. Толщина пленки фазы в колонке 0,2 мкм. Температура колонки – +180 °С, испарителя и детектора – +260 °С. Скорость тока газа-носителя (гелий) – 2 мл/мин. Для идентификации ЖК использовали стандартный образец “Supelco 37 Component FAME Mix” (США).

Т а б л и ц а 1

Географические координаты станций отбора проб *U. intestinalis*

Номер станции	Участок реки	Координаты
1	Хара, верхнее течение	N 49°17'12,9" E 46°35'06,4"
2	Там же, среднее течение	N 49°15'10,8" E 46°37'26,0"
3	Там же, нижнее течение	N 49°13'00,9" E 46°40'05,5"
4	Ланцуг, среднее течение	N 49°13'34,5" E 46°34'52,3"
5	Там же, нижнее течение	N 49°12'41,6" E 46°38'16,1"
6	Солянка, среднее течение	N 49°11'33,7" E 46°34'08,2"
7	Там же, нижнее течение	N 49°10'54,8" E 46°35'28,0"
8	Чернавка, среднее течение	N 49°13'03,3" E 46°40'19,7"
9	Сморогда, среднее течение	N 49°06'45,9" E 46°52'07,3"
10	Там же, нижнее течение	N 49°07'22,7" E 46°48'01,8"

Индекс двойной связи (ИДС), характеризующий степень ненасыщенности липидов и активность ацил-липидных ω 9-, ω 6- и ω 3 десатураз, катализирующих введение двойных связей в углеводородные цепи олеиновой ($C_{18:1}$), линолевой ($C_{18:2}$) и линоленовой ($C_{18:3}$) кислот, рассчитывали по формулам, представленным в работе Е. В. Алаудиновой и П. В. Миронова (2009) [9]:

$$\text{ИДС} = \frac{M=2 \times Д+3 \times \text{Тр}+4 \times \text{Тетр}}{100},$$

где М – моноеновые, Д – диеновые, Тр – триеновые, Тетр – тетраеновые кислоты, % от суммы ЖК;

$$\text{SDR} = (C_{18:1}) / (C_{18:0} + C_{18:1}),$$

$$\text{ODR} = (C_{18:2} + C_{18:3}) / (C_{18:1} + C_{18:2} + C_{18:3}),$$

$$\text{LDR} = (C_{18:3}) / (C_{18:2} + C_{18:3}),$$

где SDR, ODR и LDR – стеароил-, олеил- и линолеил-десатуразные отношения соответственно; $C_{18:0}$, $C_{18:1}$, $C_{18:2}$ и $C_{18:3}$ – процентное содержание (от суммы ЖК) стеариновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислот соответственно.

Коэффициент вариации рассчитывали по формуле

$$K_v = (\sigma/X) \cdot 100 \%,$$

где σ – среднее квадратичное отклонение; X – средняя величина.

Взаимосвязь между абиотическими факторами среды и содержанием ЖК липидов оценивали, рассчитывая коэффициент корреляции Спирмена [17].

В таблицах и рисунках приведены средние арифметические, минимальные, максимальные значения из трех биологических повторностей. Расчеты выполняли с использованием программ Statistica 6.0 for Windows, Statgraphics Centurion XV и Microsoft Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

U. intestinalis встречается в исследуемых малых реках в виде небольших куртин или массовых зарослей. Степень зарастаемости рек данным видом растительности в зависимости от года наблюдений составляет 10–50 %.

Известно, что для успешного развития водорослей ведущими факторами являются

свет, температура, наличие источников минеральных и органических веществ [4, 18]. Количественные характеристики абиотических факторов, характеризующих условия обитания *U. intestinalis* в исследуемых малых реках, приведены на рис. 1. Уровень минерализации в этих реках составляет 7–29 г/л, и, согласно классификации континентальных водоемов, данные водные источники относятся к мезогалинным (5–18 г/л) и полигалинным (18–30 г/л) водоемам [19].

Наиболее минерализованными являются воды рек Солянка и Чернавка (см. рис. 1, ст. 6–8), а менее – воды в верхнем течении р. Хара (ст. 1) и среднем течении р. Ланцуг (ст. 4). В широком интервале изменяется уровень насыщения воды кислородом (40–178 %). В среднем течении р. Хара (ст. 2) и р. Ланцуг (ст. 4) отмечено самое низкое содержание кислорода в воде. По температурному режиму воды р. Чернавка (ст. 8) и р. Сморогда (ст. 10) были более холодными (18,5–18,6 °С) в сравнении с другими реками (22,0–26,0 °С). Судя по водородному показателю (рН 7,2–9,2), воды исследуемых рек являются нейтральными и слабощелочными. Необходимо отметить, что такие показатели, как уровень минерализации и насыщение воды кислородом, отличаются высокой степенью вариации ($K_v = 54,1$ и $43,9$ соответственно) по сравнению с температурой и кислотностью среды ($K_v = 10,8$ и $7,7$ соответственно).

В табл. 2 представлены данные о составе и вариабельности ЖК липидов *U. intestinalis* в зависимости от условий обитания. Можно видеть, что идентифицированные ЖК различаются по количеству двойных связей и длине углеводородной цепи. Содержание таких кислот, как пальмитиновая ($C_{16:0}$) (30,6–41,8 %), олеиновая ($C_{18:1}$) (7,0–11,8 %), линолевая ($C_{18:2}$) (4,1–7,4 %), линоленовая ($C_{18:3}$) (16,0–22,8 %) и стеаридоновая ($C_{18:4}$) (5,6–11,2 %), составляет более 70 % от их суммы. Количество короткоцепочечных ЖК (длина цепи менее 16 атомов углерода) не превышает 2,0 %, а длинноцепочечных ЖК (более 20 атомов углерода) – 7,1 %. Относительное содержание неидентифицированных ЖК меняется в диапазоне 6,3–13,5 % от суммы ЖК. Следовательно, основными в липидах *U. intestinalis* являются ЖК с длиной цепи 16 и

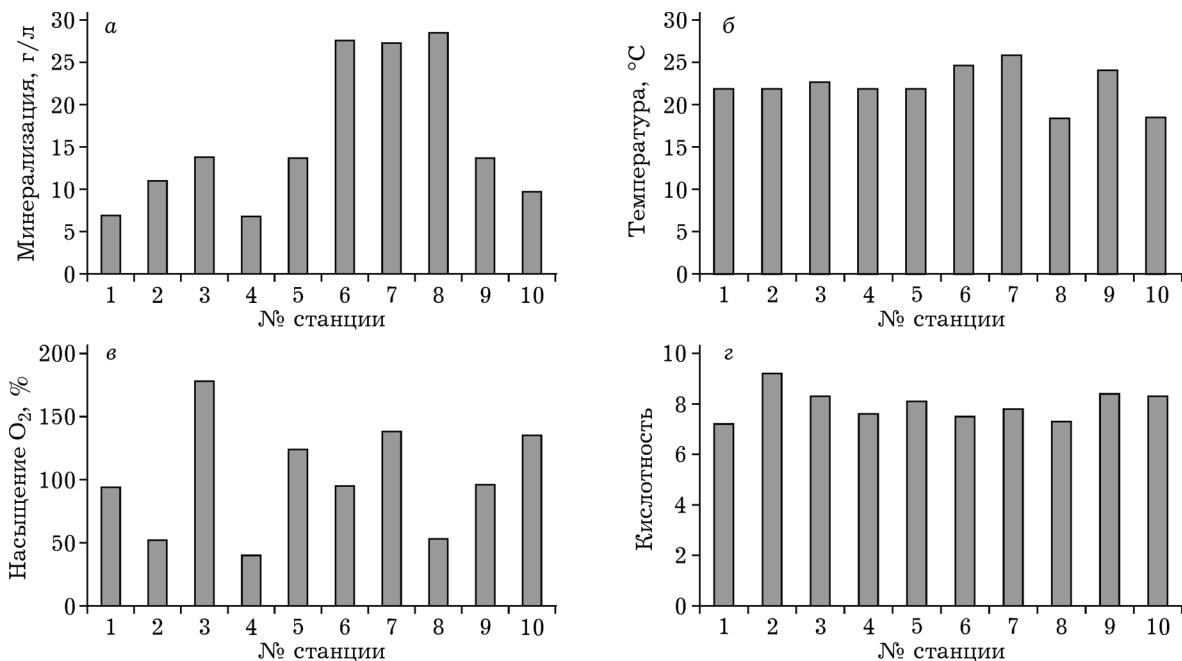


Рис. 1. Некоторые абиотические условия на станциях отбора проб *U. intestinalis*: а – минерализация, б – температура, в – насыщение воды O₂, г – кислотность среды

18 атомов углерода, что достаточно типично для зеленых водорослей.

Как видно из приведенных данных, средние показатели ЖК в зависимости от насыщенности также варьируют в широких пределах: насыщенные ЖК составляют 31,5–44,0 %, моноеновые – 10,6–13,8 %, диеновые – 4,2–7,7 %, полиеновые – 21,6–32,5 % от суммы ЖК (рис. 2). Средние значения относительного содержания как отдельных ЖК, так и суммы насыщенных и ненасыщенных классов ЖК могут отличаться в 1,3–2,0 раза.

Как отмечалось выше, от соотношения насыщенных ЖК к ненасыщенным и степени ненасыщенности последних зависит текучесть клеточных мембран, необходимая для поддержания ее структурного и функционального состояния. Поэтому следующим оцениваемым параметром был ИДС. Средние значения ИДС варьировали в пределах 0,94–1,30 (рис. 3, а).

Введение двойных связей в углеводородные цепи регулируется ферментативным комплексом десатураз [6, 9]. Было установлено, что активность стеариол- (SDR), олеил- (ODR) и линолеил (LDR) десатуразных отношений в липидах *U. intestinalis* находится на высоком уровне. Так, средние значения ω⁹-десатураз (вводят первую двойную связь в кислоту C_{18:0}) меняются в пределах 0,81–0,92, ω⁶-десатураз

(вводят вторую двойную связь в кислоту C_{18:1}) – 0,66–0,80, ω³-десатураз (вводят третью двойную связь в кислоту C_{18:2}) – 0,70–0,83 (рис. 3, б). Наиболее активным для *U. intestinalis* оказался комплекс ω⁹-десатуразы.

Данные корреляционно регрессионного анализа взаимосвязи содержания отдельных кислот, групп кислот, а также их соотношения с факторами среды приведены в табл. 3.

Между минимальными, средними и максимальными величинами относительного содержания ЖК и факторами среды выявлена связь между содержанием C_{16:0}, C_{18:2}, C_{18:3} и C_{18:4} и уровнем минерализации водной среды, а также зависимость содержания кислоты C_{18:1} от температурного режима. При этом сила корреляционной связи характеризуется как средняя и находится в интервале $r = 0,30–0,69$. Прямо пропорциональная связь с минерализацией (или температурой) выявлена для кислот C_{18:3}, C_{18:4}, а обратно пропорциональная – для кислот C_{16:0}, C_{18:1}, C_{18:2}. Достоверной зависимости между относительным содержанием ЖК и содержанием кислорода, а также между содержанием ЖК и кислотностью среды выявлено не было.

Было определено, что значения активности ω⁶ десатураз коррелировали с уровнем

Состав ЖК липидов *U. intestinalis* из малых рек аридной зоны Прикаспия

Кислота	Содержание ЖК, % от суммы									
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6	Ст. 7	Ст. 8	Ст. 9	Ст. 10
<16:0	1,8-2,1 2,0	1,3-1,6 1,4	0,7-2,5 1,8	1,0-2,8 1,8	0,9-1,1 1,0	0,7-1,0 0,8	1,3-2,7 1,9	0,9-1,3 1,1	0,7-3,2 2,0	0,5-1,5 1,0
16:0	37,0-42,3 39,6	32,0-36,4 34,7	31,6-40,9 34,2	35,1-49,4 41,0	38,0-40,1 39,7	29,3-31,9 30,6	28,5-54,2 37,5	31,3-39,0 34,6	30,1-42,8 36,4	38,5-44,8 41,8
16:1	3,0-3,1 3,1	2,7-3,9 3,3	2,2-4,3 2,9	1,7-5,0 3,1	2,3-2,6 2,5	3,0-4,4 3,5	2,9-6,7 4,3	2,9-3,9 3,4	1,9-6,4 4,1	1,7-2,1 2,0
16:2	0,1-0,1 0,1	0,0-0,2 0,1	0	0,0-0,3 0,1	0,2-0,4 0,3	0,0-0,3 0,1	0,0-0,5 0,2	0,0-0,3 0,2	0	0
17:0	0,1-0,2 0,2	0,1-0,2 0,2	0,0-0,2 0,1	0,2-0,2 0,2	0,1-0,2 0,2	0	0,0-0,4 0,1	0,0-0,1 0,1	0,0-0,6 0,3	0,0-0,3 0,2
18:0	1,1-1,2 1,2	1,3-1,4 1,3	0,3-2,4 0,9	1,2-2,0 1,6	1,3-1,7 1,5	0,6-0,7 0,7	0,8-3,2 1,6	0,7-1,6 1,1	0,9-1,8 1,3	1,2-2,6 1,7
18:1	8,5-9,1 8,8	8,4-10,3 9,5	7,0-9,3 7,7	7,1-11,2 9,3	8,3-8,4 8,4	7,6-9,2 8,5	4,1-9,4 7,0	8,0-9,8 8,8	7,6-9,8 8,7	9,4-14,1 11,8
18:2	6,0-6,4 6,2	3,9-4,2 4,1	6,7-8,2 7,2	6,5-6,9 6,8	6,2-8,7 7,4	3,5-6,0 4,4	3,3-5,3 4,6	4,2-6,1 4,7	4,9-4,9 4,9	5,8-7,5 6,8
18:3	16,2-17,4 16,9	17,5-19,2 18,1	19,2-24,8 22,8	11,5-20,3 17,0	18,9-20,0 19,4	20,3-22,8 21,3	6,8-21,4 16,1	18,4-21,6 20,0	17,4-18,1 17,7	14,1-18,5 16,0
18:4	5,6-7,4 6,5	9,1-11,7 10,2	6,1-9,4 7,9	2,9-8,2 6,0	6,6-7,1 6,9	8,1-13,2 11,2	1,8-8,8 6,1	8,5-9,6 9,0	6,0-9,2 7,6	4,2-7,1 5,6
20:0	0,1-0,1 0,1	0,2-0,2 0,2	0,0-0,1 0,1	0,1-0,2 0,2	0,2-0,2 0,2	0,1-0,2 0,2	0,2-0,7 0,3	0,1-0,2 0,2	0,1-0,3 0,2	0,2-0,3 0,3
>20:0	3,8-4,0 3,9	3,6-5,3 4,5	1,8-6,9 5,1	1,9-5,5 3,8	3,5-4,0 3,7	4,7-5,7 5,2	1,5-18,2 7,1	3,5-6,9 4,8	3,5-6,9 5,2	4,0-8,5 6,5
X	11,4	12,4	9,3	9,1	8,8	13,5	13,2	12,0	11,6	6,3

П р и м е ч а н и е. X - неизвестные ЖК. Над чертой - минимальные и максимальные величины, под чертой - средние.

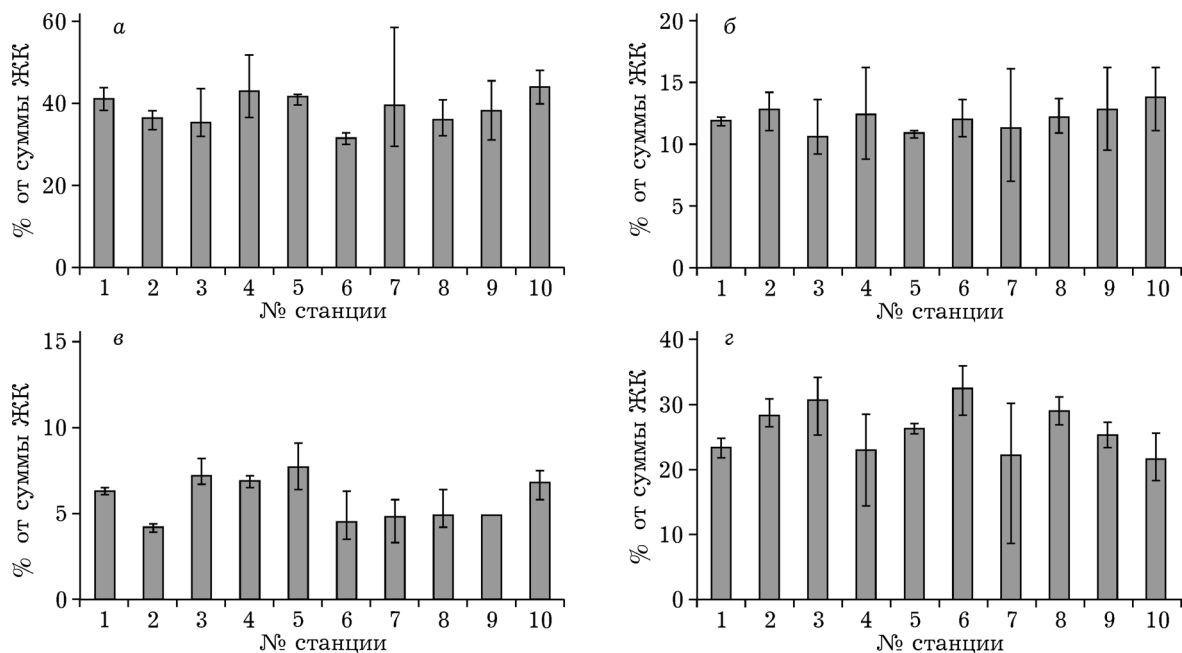


Рис. 2. Относительное содержание основных групп ЖК липидов *U. intestinalis*, отобранной на разных станциях малых рек: а – насыщенные, б – моноеновые, в – диеновые, г – полиеновые. Представлены минимальные, средние и максимальные величины

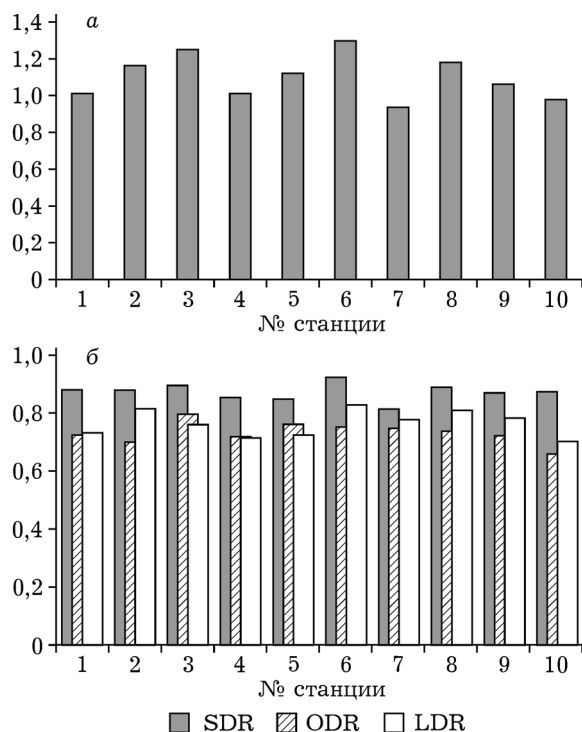


Рис. 3. Средние значения индекса двойной связи (а) и показателя активности ω9, ω6, ω3 десатураз (б) ЖК *U. intestinalis*, отобранной на разных станциях малых рек

минерализации ($r = 0,56$), значениями температуры ($r = 0,38$) и содержанием кислорода ($r = 0,39$) в водной среде. Активность ω3-десатураз связана только с уровнем минерализации. Данные корреляционные связи характеризуются как прямо пропорциональные, а их сила – как средняя. Для значений ИДС выявлена положительная зависимость ($r = 0,42$) от уровня минерализации водной среды (см. табл. 3).

Анализируя данные по взаимосвязи изменчивости абиотических факторов и влияния этой изменчивости на состав ЖК, можно отметить, что уровень минерализации оказывал наибольшее влияние на содержание как отдельных ЖК, так и групп ЖК: коэффициенты корреляции варьировали от $r = 0,39$ до $r = 0,56$, при уровне значимости $p < 0,05$. Достоверного влияния других факторов либо не выявлено (кислотность среды и уровень кислорода), либо эти факторы имели меньшую силу влияния (температура). Показатели минерализации и насыщения воды кислородом имели более высокие коэффициенты вариации, т.е. наибольшую относительную меру рассеивания по сравнению с температурой и кислотностью среды (см. рис. 2). Однако состав ЖК практически не ме-

Коэффициенты корреляции между содержанием ЖК липидов *U. intestinalis* и абиотическими факторами водной среды ($n = 30$)

Показатель	Абиотические факторы водной среды			
	М	T	O ₂	pH
C _{16:0}	<u>-0,48</u>	-0,27	0,05	0,01
C _{18:1}	-0,31	<u>-0,41</u>	-0,23	0,14
C _{18:2}	<u>-0,39</u>	-0,28	0,25	-0,05
C _{18:3}	<u>0,54</u>	0,13	0,12	-0,05
C _{18:4}	<u>0,44</u>	0,06	-0,25	0,08
C _{18:2} / C _{18:3}	<u>-0,53</u>	-0,24	0,25	-0,10
ИДС	<u>0,42</u>	0,03	-0,06	0,01
SDR	0,21	-0,08	-0,18	-0,18
ODR	<u>0,56</u>	<u>0,38</u>	<u>0,39</u>	-0,23
LDR	<u>0,53</u>	0,24	-0,25	0,10

П р и м е ч а н и е. М – минерализация, г/л; T – температура, °C; O₂ – насыщение воды кислородом, %; pH – кислотность среды. Подчеркнуты достигнутые уровни значимости, $p < 0,05$. ИДС – индекс двойной связи; SDR – стеароил-десатуразное отношение; ODR – олеил-десатуразное отношение; LDR – линолеил-десатуразное отношение.

нялся с изменением уровня кислорода. Это может быть связано отчасти с тем, что водоросли сами продуцируют кислород, чего нельзя сказать о минеральных солях. Из литературных источников известно, что уровень минерализации, как один из экологических факторов, может воздействовать на жизнедеятельность морских видов водорослей, оказывая влияние на водный режим, минеральный обмен, различные процессы метаболизма и, соответственно, на их рост, развитие, распространение и даже на их питательную ценность [18, 20]. Как оказалось, уровень минерализации был одним из основных факторов среды, влияющих на изменение состава ЖК *U. intestinalis*, обитающей в речной воде. Результаты исследования показали, что с повышением количества солей в воде увеличивалось относительное содержание таких ЖК, как C_{18:3} и C_{18:4}, и снижалось – C_{16:0} и C_{18:2}. Кроме того, судя по значениям ИДС, с ростом минерализации увеличивалось общее содержание ненасыщенных ЖК. При этом наибольший вклад в увеличение ненасыщенности ЖК с повышением минерализации воды связан с ростом активности ODR ($r = 0,56$) и LDR ($r = 0,53$) (см. табл. 3).

Для наземных растений известно, что соотношение C_{18:2}/C_{18:3} отражает резистент-

ность галофитных растений к содержанию солей [21], т.е. чем выше резистентность, тем больше данное соотношение. Для *U. intestinalis* характерным оказалось снижение соотношения C_{18:2}/C_{18:3} с ростом минерализации, что говорит не о резистентности, а о толерантности водоросли к изменению данного абиотического фактора. Ранее нами было показано, что уровень минерализации воды – определяющий фактор, действующий на состав полярных мембранных липидов [11]. Не исключено, что варьирование состава компонентов мембран, включая ЖК, является одним из условий для широкого распространения и способности произрастания *U. intestinalis* не только исключительно в морских, но и в пресных, солоновато-водных и соленых водоемах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основными ЖК зеленой водоросли *U. intestinalis*, обитающей в малых реках бассейна оз. Эльтон, являются кислоты с длинной цепи 16 и 18 атомов углерода. Относительное содержание как отдельных ЖК, так и насыщенных и ненасыщенных классов ЖК липидов *U. intestinalis* зависит от условий обитания. Увеличение ненасыщенности ЖК с ростом минерализации

воды позволяет с определенной долей вероятности предположить участие ω 6- и ω 3-десатураз в адаптации *U. intestinalis* к данному фактору.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова К. Л. Ульвовые водоросли (Chlorophyta) морей СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. 165 с.
2. Евстигнеева И. К., Гринцов В. А. Количественное развитие и видовое разнообразие макроводорослей на искусственном субстрате в Черном море // Экология моря. 2001. Вып. 55. С. 11–17.
3. Alstroem-Rapaport C., Leskinen E. Development of microsatellite markers in the green algae *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) // Molecular Ecology Notes. 2002. Vol. 2, N 4. P. 581–583.
4. Жизнь растений / под ред. М. М. Голлербаха. М.: Просвещение, 1977. Т. 3. 487 с.
5. Martins I., Marques J. C. A model for the growth of opportunistic macroalgae (*Enteromorpha* sp.) in tidal estuaries // Estuarine Coastal and Shelf Science. 2002. Vol. 55, N 2. P. 247–257.
6. Лось Д. А. Структура, регуляция экспрессии и функционирование десатураз жирных кислот // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 163–198.
7. Larcher W. Physiological plant ecology. 4th edn. Berlin: Springer, 2003. 513 p.
8. Zunzunegui M., Cruz Diaz Barradas M., Ain-Lhout F., Alvares-Cansino L., Esquivias M. P., Garcia Novo F. Seasonal physiological plasticity and recovery capacity after summer stress in Mediterranean scrub communities // Plant Ecol. 2011. Vol. 212. P.127–142.
9. Алаудинова Е. В., Миронов П. В. Липиды меристем лесообразующих хвойных пород Центральной Сибири в условиях низкотемпературной адаптации. 2. Особенности метаболизма жирных кислот фосфолипидов меристем *Larix sibirica* Ledeb., *Picea Obovata* L. и *Pinus Sylvestris* L. // Химия растительного сырья. 2009. № 2. С. 71–76.
10. Cartea M. E., Migdal M., Galle A. M., Pelleiter G., Guerche P. Comparison of sense and antisense methodologies for modifying the fatty acid composition of *Arabidopsis thaliana* oilseed // Plant Science. 1998. Vol. 136. P. 181–194.
11. Розенцвет О. А., Нестеров В. Н., Богданова Е. С. Влияние абиотических факторов на состав липидов *Ulva intestinalis* (L.) Link (Chlorophyta) в малых реках бассейна оз. Эльтон Прикаспийской низменности // Биология внутренних вод. 2012. № 2. С. 61–69.
12. Атлас почв СССР / под ред. И. С. Кауричева, И. Д. Громыко. М.: Колос, 1974. 168 с.
13. Jacoby B. Mechanisms involved in salt tolerance of plants, in: M. Pessarakli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. New York: Marcel Dekker, 1999. P. 97–123.
14. Munns R. Comparative physiology of salt and water stress // Plant Cell Environ. 2002. Vol. 25. P. 239–250.
15. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
16. Bligh E. G., Dyer W. J. A rapid method of lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. 1959. Vol. 37. P. 911–917.
17. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
18. Thompson G. A. Lipids and membrane function in green algae // Biochim. Biophys. Acta. 1996. Vol. 1302. P. 17–45.
19. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии. Киев: Генеза, 2004. 664 с.
20. Хотимченко С. В. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав. Структура. Распределение. Анализ. Владивосток: Дальнаука, 2003. 233 с.
21. Ivanova A., Nechev J., Stefanov K. Effect of soil salinity on the lipid composition of halophyte plants from the sand bar of Pomorie // Gen. Appl. Plant Physiology. Special Issue. 2006. P. 125–130.

The Influence of Abiotic Factors on the Composition of Fatty Acids in *Ulva intestinalis*

V. N. NESTEROV, O. A. ROZENTSVET, E. S. BOGDANOVA

*Institute of Ecology of the Volga Pool, Russian Academy of Sciences
445003, Tolyatti, Komzin str., 10
E-mail: nesvik1@mail.ru*

The composition of the fatty acids of green algae *Ulva intestinalis* living in the small rivers of the pool of the lake Elton was investigated. It is established that the basic fatty acids are acids with a long chain of 16 and 18 carbon atoms. The variability of the structure of fatty acids of lipids of *U. intestinalis* depending on the factors of environment - level of mineralization, temperature, saturation by oxygen, acidity of environment - was investigated. It was revealed that unsaturation of fatty acids increases with an increase in water mineralization. Participation of ω 6 and ω 3 desaturases in the adaptation of *U. intestinalis* to this factor is assumed.

Key words: *Ulva intestinalis*, small rivers, abiotic factors of environment, fatty acids.