

УДК 582.275:581.4

Н.В. МИРОНОВА

Ин-т биологии южных морей НАН Украины,
пр. Нахимова, 2, 99001 Севастополь, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ТАЛЛОМОВ ГРАЦИЛЯРИИ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ СРЕДЫ

Исследована динамика удельной скорости роста и морфометрических (диаметр, длина и количество ветвей всех порядков) параметров талломов *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. f. *procerrima* (Esp.) Ag. при их длительном культивировании в проточных условиях в зимне-весенний период с постепенно повышающейся температурой воды от 6 до 17 °С и интенсивности падающего света 90 и 160 мкЕ·м⁻²·с⁻¹. Установлено, что основным фактором, определяющим рост и формирование слоевищ грацилярии, является температура среды. При ее изменении в исследуемом диапазоне и освещенности 90 мкЕ·м⁻²·с⁻¹ удельная скорость роста талломов составляет 0,001-0,021 сут⁻¹. В этих условиях на слоевищах отмечено увеличение толщины ветвей 1-2-го порядков в 1,5 раза, а их количества – в 2 и 7 раз соответственно. Показано, что наиболее интенсивно формируются ветви 3-го порядка, их количество увеличивается в 45 раз. При более высоком уровне освещенности диаметр ствола увеличивается более чем в 2 раза, а диаметр ветвей 1-3-го порядков – в 2-4 раза. Количество ветвей 1-го порядка не изменяется, а ветвей 2-3-го порядков увеличивается в 3 и 6 раз соответственно. При таком режиме культивирования возрастает эпифитирование грацилярии, что приводит к снижению её удельной скорости роста от 0,007 до 0,002 сут⁻¹.

Ключевые слова: *Gracilaria verrucosa*, морфометрия, кущение, температура, освещенность, удельная скорость роста.

Введение

Ограниченные запасы агаросодержащей водоросли грацилярии в Черном море не позволяют организовать ее промысел (Мильчакова и др., 2006а). Альтернативой получения отечественных полисахаридов и фикобилипротеинов морского происхождения является развитие биотехнологий интенсивного или экстенсивного культивирования черноморских агарофитов. Это имеет также важное экологическое значение, поскольку их роль как природного биофильтра на морских фермах по выращиванию различных гидробионтов довольно значительна (Msuya, Neogi, 2002).

Проведенные ранее исследования показали, что при интенсивном режиме культивирования *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. f. *procerrima*

© Н.В. Миронова, 2010

(Esp.) Ag. оптимальной по критерию продукции слоевищ, их удельной скорости роста и интенсивности формирования новых ветвей является температура среды 23 °С (Миронова и др., 1994; Силкин, Миронова, 2005, 2007). Однако этот вид произрастает в условиях умеренного климата, когда в зимнее время температура морской воды понижается до 5-6 °С. В этих условиях сохраняются природные популяции водоросли (Миронова, 2001), однако наблюдения за ростом и формированием слоевищ грацилярии в этот период года не проводили.

Согласно данным последних таксономических ревизий, черноморский вид *G. verrucosa* (Huds.) Papenf. был сведен к *G. gracilis* (Stackhouse) Steentoft, L.M. Irvine et Farnham (Мильчакова и др., 2006б). Однако многие авторы полагают, что таксономическое положение *G. verrucosa* требует дальнейших исследований и уточнений (Rindi et al., 2002), поэтому мы используем прежнее название вида без номенклатурных изменений (Силкин, Миронова, 2005, 2007).

Цель данной работы – определить удельную скорость роста грацилярии при низких температурах воды и выявить основные закономерности формирования морфологической структуры талломов при культивировании в зимне-весенний период в условиях, приближенных к естественной среде обитания вида.

Материалы и методы

Для проведения экспериментальных исследований по культивированию, слоевища *G. verrucosa* f. *procerrima* отбирали в зимний период на глубине 3-6 м в б. Казачья, расположенной на Севастопольском взморье (Черное море, Украина). В лабораторных условиях их тщательно очищали от эпифитов, промывали, затем апикальные фрагменты талломов помещали в аквариумы с профильтрованной морской водой. Всего проведено два варианта экспериментов.

В первом варианте фрагменты слоевищ грацилярии выращивали в аквариуме из прозрачного органического стекла, снабженном системой регуляции скорости подачи проточной морской воды. Объем аквариума – 250 л, скорость потока – один-два обмена воды в сутки. Освещение осуществляли с помощью люминесцентных ламп ЛБ-20. Продолжительность светового дня составляла 16 ч/сут. Интенсивность падающего света не превышала 90 мкЕ·м⁻²·с⁻¹. Продолжительность опыта – 120 сут (с января по апрель). Температура воды в проточной системе в течение эксперимента была близка к природной и постепенно возростала от 6 до 17 °С. Исходная длина и масса маркированных апикальных фрагментов талломов *G. verrucosa* f. *procerrima* – 109,2±2,51 мм и 0,10±0,003 г соответственно. В начале экспозиции фрагменты имели в среднем по 15-25

ветвей 1-го порядка и 8-21 – 2-го порядка, ветви 3-го порядка отсутствовали.

Второй вариант эксперимента по культивированию фрагментов слоевищ грацилярии проводили в специально сконструированной микротеплице, имеющей стеклянную крышу. При этом интенсивность падающего света изменялась в соответствии с естественной продолжительностью светового дня, наибольшая освещенность составляла $140-160 \text{ мкЕ} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Микротеплицу объемом 150 л обеспечивали регулируемой подачей проточной воды. Скорость протока – один-два обмена воды в сутки. Продолжительность эксперимента – 140 сут (с января по май). Температура воды за период культивирования водоросли постепенно возрастала в том же интервале величин (от 6 до 17 °С). Исходная длина и масса маркированных апикальных фрагментов слоевищ *G. verrucosa* f. *procerrima* – $104,6 \pm 1,51$ мм и $0,12 \pm 0,006$ г соответственно. В начале экспозиции они имели в среднем по 12-17 ветвей 1-го, 10-32 ветвей – 2-го и 2-11 ветвей 3-го порядка.

В течение обоих экспериментов регистрировали морфометрические показатели талломов (диаметр, длина, количество ветвей всех порядков), общую длину и массу каждого фрагмента. На основе полученных данных рассчитывали площадь поверхности слоевищ и их удельную скорость роста (Силкин, Миронова, 2005, 2007).

Результаты и обсуждение

Первый вариант. В ходе лабораторных экспериментов установлено, что фрагменты талломов *G. verrucosa* f. *procerrima* наиболее активно растут в течение первых 15 дней. Это, возможно, связано с их переносом в условия с более высоким уровнем освещенности. Общая масса слоевищ за этот период увеличивалась более чем в два раза, при этом их удельная скорость роста (УСР) составила $0,021 \text{ сут}^{-1}$. В последующем (через 30, 45, 60 и 90 сут выращивания) отмечено незначительное увеличение общей массы талломов и, как следствие, резкое снижение их удельной скорости роста до $0,005$; $0,004$; $0,002$ и $0,001 \text{ сут}^{-1}$ соответственно. В последние 30 сут культивирования УСР грацилярии возросла до $0,002 \text{ сут}^{-1}$.

Низкие значения УСР при данном режиме выращивания, вероятно, объясняются невысокой температурой воды, которая с января по март не превышала 6-12 °С. На некоторое увеличение УСР фрагментов в конце экспозиции, очевидно, повлияло постепенное повышение температуры воды, которая к концу марта – середине апреля возросла до 16-17 °С. Общая масса слоевищ за весь период наблюдений увеличилась почти в 6 раз.

Морфометрический анализ маркированных фрагментов *G. verrucosa* f. *procerrima* показал, что рост талломов в длину был незначительным. Так, за 120 сут эксперимента их длина увеличилась от $109,2 \pm 2,51$ до $126,2 \pm 4,99$ мм, ее наиболее существенный рост отмечен в первые 15 сут культивирования – $122,8 \pm 4,98$ мм (рис. 1, б). В последующем длина слоевищ практически не изменялась и варьировала от $121,0 \pm 5,30$ до $124,0 \pm 5,02$ мм в течение 80 сут. Через 3 месяца после начала эксперимента выявлено ее снижение до $118,8 \pm 7,82$ мм, что вызвано разрушением основания ствола фрагментов талломов и сбросом ветвей 1 порядка (см. рис. 1, б). Происходящая в условиях культивирования фрагментация слоевищ грацилярии совпала по времени с таковой в ее природных популяциях (Миронова, 2000). После вегетативного размножения наблюдалось незначительное увеличение длины талломов, что, вероятно, связано с весенним повышением температуры воды в море и соответственно, в проточной системе.

Увеличение массы фрагментов слоевищ, в целом, сходно с их линейным ростом. За первые 15 сут выращивания их исходная масса возросла в 1,7 раза и достигла $0,17 \pm 0,015$ г (рис. 1, а). Через 30, 45, 60 и 80 сут наблюдали постепенное ее повышение до $0,25 \pm 0,032$ г. В последние 40 дней экспозиции отмечено наиболее интенсивное увеличение массы фрагментов (более чем в 5 раз), по сравнению с ее первоначальной величиной (см. рис. 1, а).

Данные морфометрического анализа показали, что на протяжении всего эксперимента средние и абсолютные значения количества ветвей 1-го порядка фрагментов грацилярии колебались от $20 \pm 1,72$ (15-25) до $45 \pm 6,34$ (34-69), при этом их величина возрастала в течение 105 сут выращивания (рис. 2). В последние 15 дней экспозиции количество ветвей 1-го порядка сократилось из-за их отрыва от талломов.

Характерной особенностью морфометрических изменений слоевищ *G. verrucosa* f. *procerrima*, влияющих на существенное возрастание их массы, было активное формирование ветвей 2-го и 3-го порядков в течение всего эксперимента (см. рис. 2). Исходное количество ветвей 2-го порядка к концу опыта возросло в 7 раз (от $14 \pm 2,48$ до $103 \pm 17,25$), при этом их наиболее интенсивное образование наблюдали в первый месяц выращивания. Через 30 сут количество ветвей этого порядка увеличилось почти в 5 раз, а максимум зарегистрирован в конце опыта – 162 ветви на один таллом.

Ветви 3-го порядка начинают формироваться через 15 сут после начала культивирования (см. рис. 2). В последующем их количество постепенно возрастает и в конце эксперимента достигает $45 \pm 12,54$. Таким образом, за весь период наблюдений ветвей 3-го порядка образовалось

почти в 6 раз больше, чем ветвей 2-го порядка. Ветви 4-го порядка на талломах появились через 3 месяца, а к концу экспозиции их число составляло 1-5 на одно слоевище.

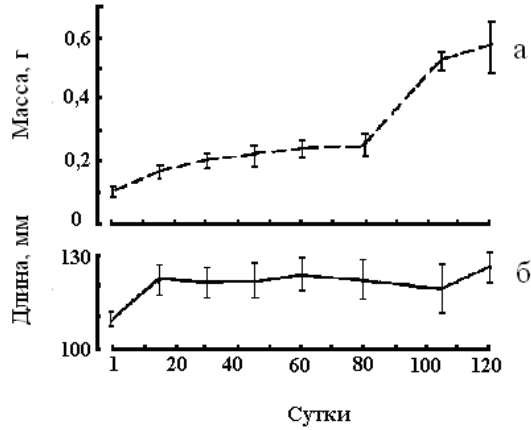


Рис. 1. Изменение массы (а) и длины (б) фрагментов слоевищ *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima* в условиях проточной системы при искусственном освещении в зимне-весенний период

Анализ изменения средней длины ветвей всех порядков показал, что на протяжении всего эксперимента она увеличилась у ветвей 1-го и 2-го порядков примерно в 1,5-2 раза (от $12,9 \pm 2,23$ до $18,9 \pm 2,19$ мм и от $3,6 \pm 0,51$ до $7,4 \pm 0,68$ мм соответственно). Средняя длина ветвей 3-го порядка к концу наблюдений составила $3,7 \pm 0,35$ мм, при этом средняя длина ветвей 4-го порядка не превышала $1,4 \pm 0,49$ мм.

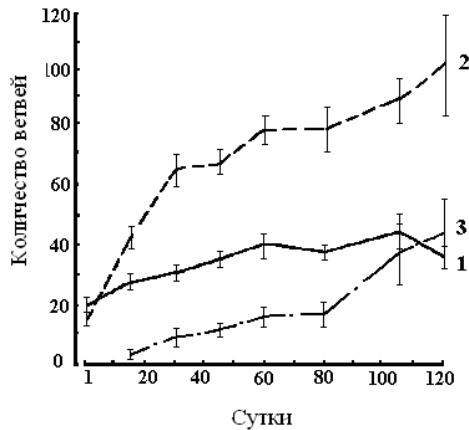


Рис. 2. Изменение количества ветвей 1-3-го порядков на фрагментах слоевищ *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima* в условиях проточной системы при искусственном освещении в зимне-весенний период

К концу эксперимента толщина ветвей 1-го и 2-го порядков возросла в 1,5 и 1,7 раза соответственно, тогда как диаметр ствола слоевищ варьировал незначительно, что, вероятно, связано с разрушением его наиболее толстой нижней части (см. таблицу).

Таблица. Изменение диаметра структурных элементов талломов *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima* при выращивании в различных условиях

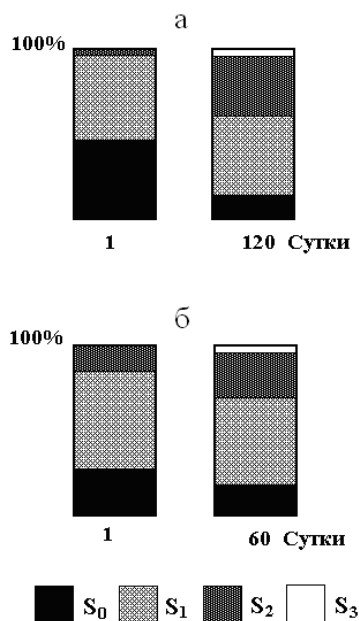
Диаметр, мм	Аквариум		Микротеплица	
	Исходное значение	Конец эксперимента	Исходное значение	Конец эксперимента
Ствол	0,80±0,05	0,76±0,11	0,76±0,006	1,76±0,43
Ветви 1-го порядка	0,36±0,05	0,54±0,04	0,45±0,09	1,44±0,25
Ветви 2-го порядка	0,19±0,02	0,33±0,04	0,26±0,05	0,99±0,26
Ветви 3-го порядка	-	0,18±0,03	0,20±0,02	0,57±0,07
Ветви 4-го порядка	-	0,09±0,003	-	0,42±0,06

На основе расчетных данных по общей площади поверхности фрагментов в начале и конце эксперимента установлено изменение соотношения структурных элементов талломов *G. verrucosa* f. *procerrima* (рис. 3, а). Так, к концу опыта доля ствола (S_0) в сложении общей площади поверхности слоевищ (S) снизилась в 3 раза (с 43 до 14 %). При этом вклад ветвей 2-го порядка возрос в 5,5 раза (с 5 до 33 %). Удельный вес ветвей 1-го порядка, оставаясь наиболее весомым в формировании площади талломов, практически не изменился (52-49 %). Роль ветвей 3-го порядка незначительна, на них приходится около 4 % площади слоевища. Общая площадь поверхности талломов за 120 сут культивирования увеличилась в 3,5 раза (см. рис. 3, а).

Второй вариант. Во втором варианте эксперимента незначительное увеличение массы слоевищ наблюдали в течение всего периода. Наиболее интенсивное повышение общей массы талломов (в 1,4 раза) отмечено в первые 20 сут культивирования, после того как фрагменты перенесли в условия более высокой освещенности. Удельная скорость роста фрагментов за этот период составила $0,007 \text{ сут}^{-1}$, а в последующем она не превышала $0,002-0,003 \text{ сут}^{-1}$. Это, возможно, объясняется массовым

появлением эпифитов (*Cladophora albida*, *Sphacelaria cirrhosa*, *Ectocarpus confervoides*), бурный рост которых, очевидно, связан со сравнительно высоким уровнем освещенности. Эпифиты, по сравнению с грацилярией, имеют более высокую скорость роста и большую удельную поверхность слоевищ, которая у кладофоры, сфацелярии и эктокарпуса, соответственно, в 12, 13 и 23 раза выше, чем у грацилярии (Миничева, 1990; Силкин и др., 1992). Очевидно, такой режим выращивания для них является наиболее благоприятным.

Рис. 3. Доля участия (%) осевых элементов слоевища *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima* в формировании общей площади поверхности фрагментов, выращиваемых в условиях проточной системы при искусственном (а) и естественном (б) освещении в зимне-весенний период. S_0 – площадь поверхности ствола таллома; S_1 – S_3 – площади поверхности ветвей 1-3-го порядков соответственно



Анализ изменения длины маркированных фрагментов *G. verrucosa* f. *procerrima* показал, что в течение 80 сут она варьировала от $104,6 \pm 1,51$ до $110,2 \pm 2,02$ мм, при этом в последние 2 месяца культивирования снизилась до $79,4 \pm 8,3$ мм (рис. 4, б). Уменьшение размеров слоевищ напрямую связано с постепенным разрушением нижней части ствола и их фрагментацией. При этом масса фрагментов за весь период наблюдений возросла не более чем в 1,5 раза (см. рис. 4, а).

В ходе наблюдений на слоевищах грацилярии увеличилось количество ветвей всех порядков, при этом наиболее интенсивно формировались ветви 2-го и 3-го порядков. Их количество к концу экспозиции возросло в 3 и 6 раз соответственно, тогда как количество ветвей 1-го порядка, по сравнению с ветвями более высокого порядка, увеличилось незначительно (рис. 5).

Ветви 4-го порядка были обнаружены только спустя 40 сут от начала культивирования (не более 1-2 на таллом). За 20 дней до окончания

опыта количество ветвей 2-4-го порядков несколько уменьшилось, что, вероятно, было вызвано негативным влиянием обильного эпифитирования (см. рис. 5).

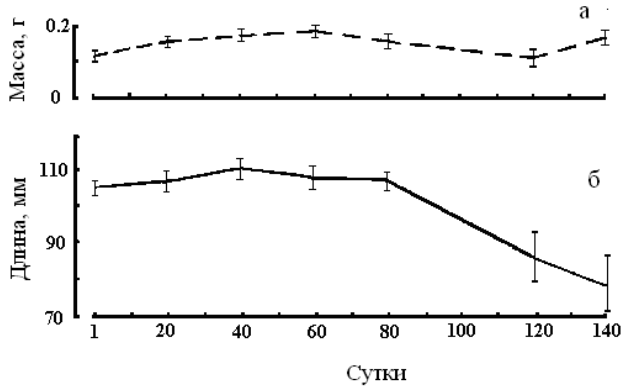


Рис. 4. Изменение массы (а) и длины (б) фрагментов слоевищ *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima*, выращиваемой в условиях проточной системы при естественном освещении в зимне-весенний период

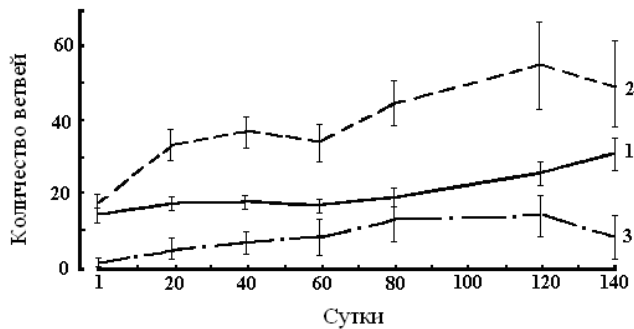


Рис. 5. Изменение количества ветвей 1-3-го порядков на фрагментах слоевищ *Gracilaria verrucosa* f. *procerrima*, выращиваемой в условиях проточной системы при естественном освещении в зимне-весенний период

Анализ морфометрических показателей слоевищ *G. verrucosa* f. *procerrima* был проведен через 60 сут экспозиции. За этот период средняя длина ветвей 1-3-го порядков уменьшилась в связи с образованием новых ветвей этих порядков, имеющих первоначально небольшие размеры (1-3 мм). Так, если исходная длина ветвей 1-3-го порядков была $24,9 \pm 2,65$; $8,7 \pm 1,61$ и $5,9 \pm 1,10$ мм, то через 60 сут она составила $22,9 \pm 3,04$; $8,0 \pm 0,89$ и $5,7 \pm 1,18$ мм соответственно.

Характерной особенностью роста грацилярии при данном режиме культивирования является утолщение ствола таллома в 2,3 раза и ветвей 1-3-го порядков в 3,2; 3,8 и 2,6 раз соответственно (см. таблицу). Такие изменения параметров слоевищ являются, по-видимому, морфо-структурным откликом водоросли на выращивание при сравнительно высоком уровне освещенности и низкой температуре воды.

Общая площадь поверхности слоевищ *G. verrucosa* f. *procerrima* возросла в 3,7 раза, при этом наибольший вклад в ее величину внесли ветви 1-го порядка. На протяжении эксперимента их удельный вес в общей площади таллома слабо варьировал, составляя 53,1-57,8 % (см. рис. 3, б). Доля ветвей 2-го порядка увеличилась вдвое (с 13 до 26 %), а ствола – снизилась (от 27,8 до 17,8 %). При этом наименьший вклад характерен для ветвей 3-4-го порядков (не более 3 %).

Ранее нами выявлены основные закономерности формирования морфологической структуры слоевища *G. verrucosa* f. *procerrima* при ее интенсивном выращивании и обнаружены факторы среды, определяющие стратегию ростовых процессов (Силкин, Миронова, 2005, 2007). Установлено, что в не лимитированной по азоту и фосфору среде оптимальными условиями для роста грацилярии являются температура воды 23 °С и интенсивность падающего света 320 мкЕ·м⁻²·с⁻¹. При таком режиме культивирования максимальная удельная скорость роста слоевищ составляла 0,11 сут⁻¹, на талломах отмечено повышение диаметра ствола и ветвей всех порядков в 1,3-1,5 раза, увеличение линейного роста ветвей – в 1,5-2 раза. Количество ветвей 1-го порядка возросло более чем в 5 раз, ветвей 2-го порядка – в 16 раз, а 3-го порядка – более чем в 100 раз. Общая площадь поверхности талломов возросла в 14 раз. Таким образом, в экспериментальных условиях зарегистрировано оптимальное соотношение трех стратегических направлений морфологической организации водоросли: 1 – увеличение диаметра ствола и ветвей; 2 – увеличение длины ветвей; 3 – формирование новых ветвей.

Эксперименты по культивированию водоросли показали, что диапазон температуры воды от 6 до 17 °С и освещенность 90-160 мкЕ·м⁻²·с⁻¹ не являются оптимальными для интенсивного роста грацилярии. При выращивании в этих условиях удельная скорость роста талломов не превышает 0,021 сут⁻¹. Количество ветвей 1-го порядка возрастает не более чем в 2 раза, ветвей 2-го порядка – в 3-7 раз, а 3-го порядка – в 6-45 раз. Культивирование грацилярии при более высокой интенсивности падающего света (160 мкЕ·м⁻²·с⁻¹), но без повышения температуры воды, способствует увеличению диаметра всех осевых элементов слоевища в 2-4 раза. Подобные изменения были отмечены при выращивании водоросли в

интенсивных условиях, когда при возрастании уровня освещенности с 240 до 320 $\text{мкЕ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ наблюдали повышение диаметра ветвей 1-2-го порядков (Силкин, Миронова, 2005). Характерно, что увеличение освещенности в 1,7 раза привело лишь к морфоструктурным изменениям талломов, поскольку возрастание общей площади поверхности фрагментов в обоих экспериментах (3,5-3,7 раза) оказалось сопоставимым.

Таким образом, при низких температурах воды у слоевищ *G. verrucosa* f. *procerrima* преобладает стратегия роста экстенсивного типа. При постепенном прогревании воды в морфологической организации водоросли происходит переход на интенсивный путь стратегии роста, которому соответствует активное формирование новых ветвей 2-4-го порядков.

На основании экспериментов по культивированию *G. verrucosa* f. *procerrima* в зимне-весенний период выявлена возможность прогнозирования направления формирования морфоструктуры слоевищ, степени кущения талломов, что позволит рассчитать ожидаемую величину биомассы водоросли и ее удельной скорости роста.

Выводы

1. Выращивание слоевищ грацилярии в проточных системах при постепенно повышающейся температуре воды от 6 до 17 °С и интенсивности падающего света 90 и 160 $\text{мкЕ}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ показало, что, независимо от условий и длительности культивирования, длина фрагментов слабо варьирует. При этом их масса при низком уровне освещенности возрастает более чем в 5 раз, а при более высоком – в 1,5 раза.

2. В зимне-весенний период удельная скорость роста слоевищ грацилярии составляет 0,001-0,021 сут^{-1} . При повышении уровня освещенности в 1,7 раза наблюдается обильное эпифитирование агарофита, а удельная скорость роста талломов снижается втрое.

3. Рост грацилярии при низких температурах воды, независимо от интенсивности падающего света, сопровождается морфологической перестройкой слоевища. В условиях низкого уровня освещенности количество ветвей 2-3-го порядков увеличивается в 7 и 45 раз соответственно, а при его повышении возрастает в 3 и 6 раз соответственно.

4. Изменение общей площади поверхности фрагментов сопоставимо в разных экспериментальных условиях, ее величина возрастает не более чем в 4 раза. При более низком уровне освещенности ее изменение происходит в основном за счет формирования новых ветвей 2-4-го

порядков, а при более высоком – за счет увеличения диаметра ствола и ветвей 1-3-го порядков в 2-4 раза и образования новых ветвей.

5. В зимне-весенний период температура среды является фактором, определяющим стратегию формирования морфологической структуры талломов *G. verrucosa* f. *procerrima* при различных условиях ее культивирования.

N.V. Mironova

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas, National Academy
of Sciences of Ukraine,
2, Nakhimov Pr., 99011 Sevastopol, Crimea, Ukraine

FORMATION OF THE MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF *GRACILARIA* THALLI AT LOW TEMPERATURES

The dynamics of specific rates of increase of *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. f. *procerrima* (Esp.) Ag. were studied in terms of morphometric parameters (diameter, length, and number of branches of all orders) of the thalli. The thalli of *Gracilaria* were exposed to long-term cultivation in the winter-spring period under flow conditions with scaled-up water temperatures from 6 to 17 °C and light intensity 90 and 160 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. It was revealed that water temperature is the main factor affecting growth and formation of the thallus. At water temperature changes from 6 to 17 °C and light intensity 90 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ the specific rate of increase of the thalli is 0.001-0.021 day^{-1} . Under such conditions, branches of the 1-2 orders became thicker by 1.5 times; their number increased by two and seven times, accordingly. Branches of the third order demonstrate the most intensive increase of their number: 45 times. At higher levels of illumination the diameter of the stem increased more than twice, the diameter of the branches of the third order – by two-to-four times. Number of branches of the first order did not change; branches of the second and third orders increased in number by three and six times, accordingly. Under such a regime, the cultivating plants become strongly covered by epiphytes, resulting in a decrease with increases in specific rates from 0.007 to 0.002 day^{-1} .

Keywords: *Gracilaria verrucosa*, morphometry, bushing out, temperature, illumination, specific rate of increase.

Мильчакова Н.А., Миронова Н.В., Рябогина В.Г. Ресурсы макрофитов черноморского шельфа Украины: состояние и проблемы рационального использования // Мат. Междунар. науч. конф. «Современные проблемы гидробиологии. Перспективы, пути и методы исследований» (Херсон, 24-27 июля 2006 г.). – Херсон, 2006а. – С. 124-128.

Мильчакова Н.А., Айзель В., Эрдуган Х. Красные водоросли (*Rhodophyceae* Rabenh.) Черного моря: систематический состав и распространение (без пор. *Ceramiales*) // Альгология. – 2006б. – 16, № 2. – С. 227-245.

- Миничева Г.Г. Прогнозирование структуры фитобентоса с помощью показателей поверхности водорослей // Бот. журн. – 1990. – **75**, № 11. – С. 1611-1618.
- Миронова Н.В. Морфо-биологическая характеристика и распространение *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. в Черном море // Экол. моря. – 2000. – Вып. 50. – С. 48-52.
- Миронова Н.В. Экологические особенности грацилярии (обзор) // Наук. зап. Терноп. держ. пед. ун-ту. Сер. біол. – 2001. – **15**, № 4. – С. 87-88.
- Миронова Н.В., Силкин В.А., Беляев Б.Н. Морфологические характеристики *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. в условиях управляемого культивирования // I з'їзд гідроекол. т-ва України: Тез. доп. – Київ, 1994. – С. 242.
- Силкин В.А., Золотухина Е.Ю., Бурдин К.С. Биотехнология морских макрофитов. – М.: МГУ, 1992. – 151 с.
- Силкин В.А., Миронова Н.В. Динамика продукционных и морфометрических показателей талломов грацилярии в культуре // Альгология. – 2005. – **15**, № 1. – С. 14-27.
- Силкин В.А., Миронова Н.В. Продукционные характеристики черноморской красной водоросли *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. f. *procerrima* (Esp.) Ag. в условиях культуры // Там же. – 2007. – **17**, № 3. – С. 397-407.
- Msuya F.E., Neori A. *Ulva reticulata* and *Gracilaria crassa* macroalgae that can biofilter effluent from tidal fishponds in Tanzania // West Indian Ocean J. Mar. Sci. – 2002. – **1**, N 2. – P. 117-126.
- Rindi F., Sartoni G., Cinelli F. A floristic account of the benthic marine algae of Tuscany (Western Mediterranean Sea) // Nova Hedw. – 2002. – **74**, N 1/2. – P. 201-250.

Получена 23.03.09

Рекомендовала к печати Г.Г. Миничева