

ЭКСТЕНСИВНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ГРАЦИЛЯРИИ (*GRACILARIA*): ОБЗОР

Проведено сравнение удельной скорости роста грацилярии (*Gracilaria*) на горизонтальных и вертикальных поводках, сетях, садках и в прудах при экстенсивном культивировании в различных районах Мирового океана. Выявлены основные факторы, влияющие на темпы роста агарофита при его разведении в условиях открытых и закрытых водоемов. Проанализированы преимущества и недостатки различных способов плантационного выращивания водоросли.

История культивирования морских водорослей насчитывает 300 лет, но только начиная с 70-х годов 20-го столетия их выращивание достигло значительных масштабов. К важнейшим объектам культивирования относятся агарофиты (виды *Gracilaria*, *Gelidium*, *Pterocladia*). Производство агара базируется в основном на переработке сухой грацилярии, мировая добыча которой в настоящее время достигает 88549 т, или 82 % от всех используемых агарофитов, а выход агара составляет 15 - 20 % [31].

Уменьшение естественных запасов агарофитов, вследствие их активной эксплуатации и ухудшения экологической ситуации в районах произрастания, способствовало росту интереса к разработке методов выращивания макрофитов в регулируемых условиях. Кроме того, культивирование водорослей позволяет сохранить природный генофонд популяций. Так, 57 % всей мировой добычи грацилярии выращивается на плантациях, остальная часть собирается из природных зарослей или в выбросах [31].

Традиционно выделяют два направления культивирования макрофитов: экстенсивное и интенсивное. Экстенсивное выращивание включает культивирование в открытых водоемах (бухты, заливы, лагуны, эстуарии, фьорды, каналы), а также в закрытых прудах искусственного или естественного происхождения. В обоих вариантах оно происходит либо на дне водоемов, либо с использованием различного искусственного субстрата (веревки-поводцы, сети, садки). Интенсивное культивирование предусматривает разведение водорослей в специально сооруженных емкостях (тэнках), которые размещают или непосредственно на побережье при естественном освещении, или в тепличных комплексах, где регулируют температуру среды, освещенность и поступление питательных веществ.

Цель настоящей работы: на основе литературных и оригинальных данных проанализировать преимущества и недостатки различных способов плантационного выращивания грацилярии (*Gracilaria*) и сравнить удельные скорости ее роста (УСР) при экстенсивном культивировании в различных районах Мирового океана.

При выборе методов выращивания грацилярий опираются на способ размножения агарофита. Так, культивирование грацилярии возможно начинать от спор. Однако, несмотря на высокую продукцию спор (от одного растения *G. verrucosa* можно получить более 40 тыс. карпоспор и 60 тыс. тетраспор, что соответствует примерно 200 спорам на 1 г таллома), выращивание из них слоевища является довольно трудоемким процессом [29]. На этапе формирования проростков требуется постоянный контроль гидрологических и гидрохимических параметров среды. По [28], выращивание проростков грацилярии на искусственном субстрате (веревки-поводцы, сети) происходит более успешно, чем на естественном (камень, галька, битая ракушка). Искусственные субстраты чаще всего пропитывают специальными пенящимися смолами с добавлением удобрений для увеличения площади поверхности, лучшего удержания спор, а также для интенсификации роста макрофита [1].

Многие авторы отмечают способность видов рода *Gracilaria* к активному росту и кущению после фрагментации [2, 3, 4]. По этой причине при выращивании агарофита наиболее часто используют фрагменты слоевищ. Размер фрагментов, используемых в качестве посадочного материала, отличается у разных видов и связан с местообитанием.

Так, при экстенсивном культивировании *G. verrucosa* длина фрагментов слоевищ варьирует у побережья Китая от 10 до 15 см [19], у берегов российского Дальнего Востока [4] и в Черном море [2, 3] - от 7 до 10 см. Установлено, что этот вид утрачивает жизнеспособность при размерах фрагмента меньше 5 см [4].

Было замечено, что фрагменты прикрепленной формы *G. verrucosa*, несущие органы размножения, после выхода спор распадаются [6, 12]. Опыт экспериментального разведения грацилярии из фрагментов половой или бесполой генерации выявил экономическую невыгодность использования этого направления выращивания, хотя и были разработаны специальные добавки и фитогормоны, сдерживающие разрушение слоевища [6, 12]. Кроме этого, установлен антагонизм между развитием органов размножения и вегетативной массой макрофита [17]. Это объясняет более высокие темпы роста неприкрепленных форм, по сравнению с прикрепленными, при отсутствии ограничения в росте. Так, удельная скорость роста *G. verrucosa*, культивируемой на тихоокеанском побережье Канады, составил у неприкрепленной формы $0,047 \text{ сут}^{-1}$, а у прикрепленной - $0,02 \text{ сут}^{-1}$ [27]. Помимо этого, обнаружено, что для интенсификации роста гаметофитов и спорофитов, по сравнению со стерильными слоевищами, требуется увеличение длительности светового дня [6]. Таким образом, использование при культивировании неприкрепленных форм, размножающихся исключительно вегетативным способом, является наиболее эффективным способом выращивания агарофитов.

Экстенсивное разведение грацилярии практически повсеместно предполагает фиксацию фрагментов таллома на субстрате [6, 13, 15, 24]. Наиболее часто в качестве субстрата используют поводцы-веревки, которые располагают горизонтально или вертикально в толще воды. Горизонтальные поводцы устанавливают в основном в защищенных участках мелководья, неоднократно срезая нарастающую на них биомассу [10, 21, 28]. Максимальная УСР *G. verrucosa* составила $0,12 \text{ сут}^{-1}$ при культивировании ее на горизонтальных поводцах у берегов Китая (табл. 1) [22]. УСР *G. verrucosa* и *G. dura* при подобном способе разведения в Черном море достигала $0,008 - 0,081 \text{ сут}^{-1}$ [2, 3, 16].

В глубоких и открытых бухтах, заливах, фьордах поводцы располагают обычно в вертикальном положении, закрепляя их на заякоренных плавающих плотках. Это придает им устойчивость к волновому воздействию. При таком способе культивирования УСР грацилярии достигает $0,02 - 0,12 \text{ сут}^{-1}$, что сопоставимо с данными, полученными при выращивании ее на горизонтальных поводцах (табл. 1) [10, 13, 15, 16, 22, 24].

Показатели роста грацилярии при культивировании ее на веревочных носителях зависят от плотности посадки фрагментов. Выявлено, что оптимальное расстояние между слоевищами *G. verrucosa* в Черном море [2] и на побережье Китая [19] - 5 - 10 см, у дальневосточных берегов России - около 3 см [4].

При выращивании грацилярии у открытого побережья в качестве субстрата используют горизонтально расположенные сети, которые гасят волнение и удерживают фрагменты слоевищ [6, 26]. Однако, применение этого метода в небольших мелководных водоемах с пониженным водообменом показало резкое снижение темпов роста агарофита. Так, УСР фрагментов *G. verrucosa*, расположенных на сетях в небольших прудах Бразилии, составила всего $0,01 \text{ сут}^{-1}$ (табл. 1) [10]. Максимальная УСР, полученная при использовании данного носителя, достигает $0,07 \text{ сут}^{-1}$ и зарегистрирована при культивировании *G. conferta* в прудах-лагунах у берегов Израиля (табл. 1) [14].

Существенное влияние на скорость роста грацилярии оказывает температура воды [3, 5, 6, 25, 27]. Так, наиболее интенсивный рост *G. verrucosa* на плантационных установках у берегов Норвегии [24], Китая [22], России [6] и Украины [3] отмечен при температуре воды $12 - 22^{\circ}\text{C}$. Установлено, что несоблюдение сроков посадки и выращивания приводит к замедлению скорости роста грацилярии и активному развитию сопутствующих видов [3, 19, 22].

Анализ результатов плантационного выращивания грацилярии на подвесных

Таблица 1. Удельная скорость роста грацилярии при экстенсивном способе выращивания в различных районах Мирового океана
Table 1. Specific growth rate of *Gracilaria* on extensive cultivation in the different regions of the World Ocean

Океан	Побережье	Район	Субстрат	Вид	УСР, сут ⁻¹	Автор
Атланти- ческий	Бразилия	эстуарий лагуна пруд	гориз. поводцы, садки верт. поводцы сети	<i>G. verrucosa</i>	0,04* 0,02 0,01	[10]
		берег, защ-ный рифами	гориз. поводцы		0,07 – 0,09	
		Норвегия фьорд	верт. поводцы	<i>G. verrucosa</i>	0,06 – 0,08	
	Украина	бухта	верт., гориз. поводцы, садки	<i>G. verrucosa</i>	0,008 – 0,08	[16]
Тихий	Канада	канал	дно	<i>G. verrucosa</i>	0,02 – 0,047	[27]
	Чили	бухта	сети	<i>G. verrucosa</i>	0,03 – 0,1	[26]
	Филиппины	пруд	дно	<i>G. verrucosa</i>	0,1 – 0,164	[18]
		залив	верт. поводцы		0,006 – 0,105	[15]
	Тайвань	пруд	дно	<i>G. verrucosa</i>	0,07	[25]
	Китай	бухта	верт., гориз. поводцы		0,05 – 0,12	[22]
		пруд	дно	<i>G. verrucosa</i>	0,03	[30]
	Россия	лагуна залив	садки поводцы, сети, садки	<i>G. verrucosa</i> <i>G. verrucosa</i>	0,04 – 0,11 0,06	[7] [6]
Атланти- ческий	Канада	залив	садки	<i>G. tikvahiae</i>	0,06	[9]
	Сент-Люсия	берег, защ-ный рифами	гориз. поводцы	<i>G. armata</i>	0,05 – 0,06	[28]
	Франция	лагуна	садки	<i>G. bursa-pastoris</i>	0,062	[11]
		пруд - лагуна	верт. поводцы		0,06	[13]
	Израиль	пруд - лагуна	садки	<i>G. conferta</i>	0,01	[14]
		пруд	сети		0,07	[14]
	Украина	бухта	гориз. поводцы	<i>G. dura</i>	0,008 – 0,05	[2, 3]
Тихий	Микронезия	пруд	дно	<i>G. arcuata</i>	0,02 – 0,076	[20]
Индийский	Индия	залив	гориз. поводцы	<i>G. edulis</i>	0,022	[21]

*Примечание: УСР = $\ln(W_t / W_0) / \Delta t$, где W_t - конечная биомасса, W_0 - начальная биомасса, Δt - промежуток времени

субстратах показал, что существенной проблемой, наряду с эпифитами и седиментацией, является повреждение посадок различными фитофагами, ингибирующими рост культивируемого вида [18, 28]. В качестве защитных средств от негативного влияния растительноядных беспозвоночных и рыб используют садки, различающиеся по конструкции, объему и материалу, из которого они изготовлены [6, 9, 10, 11]. Установлено, что темпы роста грацилярии на поводках выше, чем в садках, что в значительной степени обусловлено обрастанием последних эпифитами и моллюсками. Так, при выращивании *G. conferta* на вертикальных носителях и садках-корзинах, лежащих на дне, УСР составили 0,06 и 0,01 сут⁻¹ соответственно (табл. 1) [13]. Культивирование черноморских видов грацилярии в пластиковых садках и кубах, обшитых делью, дало аналогичные результаты (около 0,01 сут⁻¹), тогда как на поводках УСР достигала 0,08 сут⁻¹ [3, 16]. Максимальная УСР (0,11 сут⁻¹) получена у неприкрепленной формы *G. verrucosa* в лагунах южного Приморья (Россия) при выращивании ее в лентообразных садках, расположенных на участках с интенсивным водообменом (табл. 1) [7].

В заливах у берегов Чили и прудах Вьетнама на участках с глубиной менее 1 м применяют способ углубления фрагментов слоевищ в субстрат при помощи деревянных рогатин [26, 5]. На большую глубину водоросли высаживают, прикрепляя их к полотняным мешкам, заполненным песком. Когда ткань разрушается, талломы оказываются укрепленными на дне [26].

Таким образом, экстенсивное выращивание грацилярии на плантационных установках в естественных условиях открытых водоемов имеет свои положительные и отрицательные стороны. Размещение агарофита на разных типах носителей содержит определенный элемент управления. Явление приливов и отливов, наблюдаемое в большинстве акваторий Мирового океана, способствует активному перемешиванию и стабилизации температуры морской воды, а также поступлению биогенных элементов. Использование естественной освещенности и температуры воды повышает рентабельность этого метода. В то же время, невозможность внесения дополнительных подкормок, и, как следствие, получение меньшего урожая, относится к негативной стороне данного способа. Для разрешения этой проблемы культивирование грацилярии проводят в мелководных прудах искусственного или естественного происхождения [5, 10, 13, 14, 20, 23, 25]. В пруды вносят органические и неорганические удобрения, незначительные концентрации стимуляторов роста (гибберелиновая кислота) и некоторых микроэлементов (молибден, бор), а по мере испарения добавляют пресную воду, регулируя соленость и pH среды [5]. Внесение дополнительных источников питания в водоемы значительно повышает УСР *G. verrucosa*, которая в прудах с удобрениями достигает 0,07 - 0,164 сут⁻¹, а без подкормок не превышает 0,03 сут⁻¹ [18, 25, 30]. В качестве источника биогенов можно использовать также стоки птицефабрик и отходы овце- и кроликоферм, что повышает рентабельность выращивания. в прудах и приводит к увеличению УСР, например, у *G. tikvahiae* - в 1,5 - 2 раза [8]. Для снижения обрастания грацилярии эпифитами пруды периодически осушают, или запускают в водоемы растительноядных рыб, или же применяют методику предварительного содержания посадочного материала в средах с повышенной концентрацией элементов минерального питания, тогда в дальнейшем культивирование происходит без подкормки [5, 25].

При промышленном разведении грацилярии необходимо рассчитывать биомассу вносимой водоросли. Экспериментальным путем определена оптимальная биомасса инокулята *G. verrucosa*, которая составляет для водоемов Вьетнама 200 - 300, Тайвань - 500, Канады - 3000 и Намибии - 3200 г/м² [5, 25, 27, 23].

В последние годы прудовые хозяйства по разведению рыб и беспозвоночных животных становятся более рентабельными при использовании агарофитов [23, 25]. Так, на китайском побережье грацилярию культивируют совместно с рыбой и креветками, а на о-ве Тайвань - с креветками и крабами [30, 25]. УСР грацилярии при поликультурном выращивании выше, чем при монокультурном, а продуктивность беспозвоночных увеличивается в среднем на 10 - 20 % [25]. Однако разведение водорослей в прудах

также имеет свои преимущества и недостатки. С одной стороны, это - относительная легкость посева и сбора урожая, возможность регуляции гидрохимических показателей воды, в том числе содержания биогенов, проведение мероприятий по снижению уровня эпифитов, а с другой - ингибирующее действие высокой температуры в летний период и низкой - зимой, слабый водообмен, дефицит кислорода и освещения в глубинных пластах агарофита [25].

Анализ способов экстенсивного выращивания грацилярии показал, что культивирование в мелководных эстуариях и лагунах, которые приурочены к устьям рек и не лимитированы температурными условиями и освещенностью, является наиболее экономичным и рентабельным. На данных участках речной сток обеспечивает естественную циркуляцию воды и постоянный приток биогенов, при этом морские приливы препятствуют сильному опреснению водной толщи.

Однако, акваторий с такими благоприятными условиями для роста агарофитов в разных районах Мирового океана относительно немного. Вследствие этого в последние годы интенсифицируется поиск методов и способов культивирования макрофитов с частично или полностью регулируемыми параметрами среды. Тем не менее, экстенсивное выращивание грацилярии экономически выгодно в странах с тропическим и субтропическим климатом и дешевой рабочей силой. До сих пор эти регионы являются основными поставщиками на мировой рынок многих агарофитов, выращиваемых в морских акваториях на подвесных носителях, а также в прудах [31].

1. А.с.77835/55 Япония, А 01 G 33/02. Культура морских водорослей, выращенная на сети, пропитанной водорастворимой смолой, пенящимися и связующими веществами с добавкой удобрения и красителя / Н. Такахаси, Д. Ямада. - № 150977/53; Оpubл.12.06.80. - 2 с.
2. Калугина-Гутник А. А., Миронова Н. В. Рост *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss в Черном море в зависимости от глубины и плотности посадки фрагментов // Промысл. водоросли и их использ. - М.: ВНИРО. - 1987. - С. 75 - 84.
3. Калугина-Гутник А.А., Миронова Н.В. Сезонная динамика роста красной водоросли *Gracilaria verrucosa* в Черном море // Биология моря. - 1987. - № 4. - С. 53 - 61.
4. Колесников А. Б., Козьменко В. Б., Колесникова Н. А., Романюк В. А. Экспериментальное культивирование фрагментов *Gracilaria verrucosa* в Амурском заливе // Марикультура на Дальнем Востоке - Владивосток, 1986. - С. 114 - 121.
5. Нгуен Тхо Ф. Морфология и биология *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. и перспективы ее выращивания в Южном Вьетнаме: автореф. дис... канд. биол. наук - Кишинев, 1989. - 17 с.
6. Романюк В. А., Рыгалов В. Е. Культивирование грацилярии в Приморье // Рыбное хозяйство. - 1988. - № 9. - С. 67 - 81.
7. Титлянов Э. А., Титлянова Т. В., Скрипцова А. В. Первый опыт плантационного культивирования неприкрепленной формы агароносной водоросли грацилярии в России // Биология моря. - 1995. - 21, №2. - С. 146 - 156.
8. Asare S. O. Animal waste as a nitrogen source for *Gracilaria tikvahiae* and *Neogardhiella baileyi* in culture // Aquaculture. - 1980. - 21, № 1 - P. 87 - 91.
9. Bird C. J., Edelstein T., McLachlan J. Studies on *Gracilaria*. Experimental observations on growth and reproduction in Pomquet Harbour, Nova Scotia. // Nat. Can. - 1977. - 104, № 3. - P. 245 - 255.
10. Camara N. C. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil // Hydrobiologia. - 1987. - 151 - 152. - P. 363 - 367.
11. De Casabianca M. L., Marinho-Soriano E., Laungier T. Growth of *Gracilaria bursa-pastoris* in a Mediterranean lagoon: Thau. France // Bot. Mar. - 1997. - 40, № 1. - P. 29 - 37.
12. Destombe C., Godin J., Bodard M. The decay phase in the life history of *Gracilaria verrucosa*: The consequences in intensive cultivation // Proc. 4th Int. Meet. SAA, Villeneuve d'Ascq, 15 - 17 Sept., 1987. - London; New York. - 1988. - P. 287 - 303.
13. Friedlander M., Lipkin Y. Rearing agarophytes and carrageenophytes under field conditions in the eastern Mediteranean // Bot. Mar. - 1982. - 25, № 2. - P. 101 - 105.
14. Friedlander M., Zelikovich N. Growth rates, phycocolloid yield and quality of the red seaweeds *Gracilaria* sp., *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis* and *Hypnea cornula* in field studies in Israel // Aquaculture. - 1984. - 40, № 1. - P. 57 - 66.
15. Hurtado-Ponce A. Q. Vertical rope cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) using vegetative fragments // Bot. Mar. - 1990. - 33, № 6. - P. 467 - 477.
16. Kalugina-Gutnik A. A., Mironova N. V. Extensive cultivation of *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. in the Black Sea // The symp. on the ecol. and management aspects of extensive mariculture

- Nantes, France, 20 - 23 June, 1989. - ICES. - 1989. - P. 28.
17. Kling R., Bodard M. Morphogenesis of the frond of *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenfuss: the differentiation of vegetative and sexual areas // *Hydrobiologia*. - 1987. - 151 - 152. - P. 205 - 206.
 18. Largo D. B., Bacolod P. T., Cusi M. A. V. et al. Growth rate of *Gracilaria verrucosa* and *G. salicornia* in an intertidal and semi-enclosed pond system in the Visayas, Philippines // *Scientific Survey of Marine Algae and their Resources in the Philippine Islands*. - Monbusho. - 1989. - P. 81 - 86.
 19. Li R - Z, Chong R - Y, Meng Z - C. A preliminary study of raft cultivation of *Gracilaria verrucosa* and *Gracilaria sjoestedtii* // *Hydrobiologia*. - 1984. - 116 - 117. - P. 252 - 254.
 20. Nelson S. G., Tsutsui R. N., Best B. R. A preliminary evaluation of the mariculture potential of *Gracilaria* (Rhodophyta) in Micronesia: growth and ammonium uptake // *Pacific Seaweed aquaculture. Proc. Symp. on useful algae*. - California. - 1980. - P. 72 - 79.
 21. Raju P. V., Thomas P. C. Experimental field cultivation of *Gracilaria edulis* (Gmel.) Silva // *Bot. Mar.* - 1971. - 14. - P. 71 - 75.
 22. Ren G. Z., Wang J. C., Chen M. Q. Cultivation on *Gracilaria* by means of low rafts // *Hydrobiologia*. - 1984. - 116 - 117. - P. 72 - 76.
 23. Rotmann K. W. G. The collection, utilization and potential farming of red seaweeds in Namibia // *Hydrobiologia*. - 1987. - 151 - 152. - P. 301 - 305.
 24. Rueness J., Mathisen H. A., Tananger T. Culture and field observations on *Gracilaria verrucosa* (Huds.) Papenf. (Rhodophyta) from Norway // *Bot. Mar.* - 1987. - 30, № 3. - P. 267 - 276.
 25. Ryther J. H. Technology for the commercial production of macroalgae // *Energy Appl. Biomass. Proc. Nat. Meet. Biomass an Energy Appl.*, Arlington, 1 - 3 Oct., 1984. - 1985. - P. 177 - 188.
 26. Santelices B., Ugarte R. Production of Chilean *Gracilaria*; problems and perspectives // *Hydrobiologia*. - 1987. - 151 - 152. - P. 295 - 299.
 27. Saunders R. J., Lindsay J. G. Growth and enhancement of the agarophyte *Gracilaria* (Florideophyceae) // *Proc. Int. Seaweed Symp.* - 1979. - P. 249 - 255
 28. Smith A. H., Jean A., Nichols K. An investigation of the potential for commercial mariculture of seamoss (*Gracilaria* spp., Rhodophycophyta) in St. Lucia // *Proc. 37th Annu. Gulf. and Caribbean Fish. Inst.* - Miami. - 1986. - P. 4 - 11.
 29. Uy W. H. Laboratory and field studies on carpospore shedding and sporeling growth in *Gracilaria* sp. (Gigartinales, Rhodophyta) // *College of Science, Univ. of the Philippines, Diliman*. - Quezon City (Philippines). - 1988. - 100 p.
 30. Wang Y. C., Pan G. Y., Chen L. C. Studies on agarophytes II. Field observations and growth of *Gracilaria cf. verrucosa* (Rhodophyta) in Shantou district, Guangdong // *Bot. Mar.* - 1984. - 27, № 6. - P. 265 - 269.
 31. Zemke-White W. L., Ohno M. World seaweed utilization: An end-of-century summary. // *J. Appl. Phycol.* - 1999. - 11. - P. 369 - 376.

Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 09.04.2002

N. V. MIRONOVA

EXTENSIVE CULTIVATION OF *GRACILARIA*: A REVIEW

Summary

Specific growth rates of *Gracilaria* under extensive cultivation on horizontal and vertical rope, fish-net, basket and pond in different regions of the World Ocean have been compared. Fundamental factors influencing on the agarophyte growth rates during cultivation in open and close sea coast and pond were researched.