

УДК 582.272.7

А.Н. Кашутин, А.В. Климова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: Kashutin-an@yandex.ru*

**КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ПРОРОСТКОВ У КАМЧАТСКОЙ БУРОЙ ВОДОРОСЛИ
FUCUS DISTICHUS SUBSP. *EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES)
В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ СОЛЕННОСТИ**

В условиях лабораторного эксперимента изучено влияние низкой солености (0 и 10‰) на жизнеспособность и скорость роста проростков бурой водоросли *Fucus distichus* subsp. *evanescens*. В солоноватой среде (10‰) они продолжали свое развитие в течение всего периода исследований. К концу трех недель культивирования их общие линейные размеры достигали 990 мкм и скорость роста составляла 43,4 мкм/сут. В пресной среде признаки угнетения развития проростков были зарегистрированы на шестые сутки после оплодотворения яйцеклеток, а их окончательная гибель была зафиксирована после 15-суточного содержания в культуральной среде, имеющей нулевую соленость. Проведенный эксперимент помогает объяснить некоторые наблюдаемые у побережья Камчатки особенности размножения и распределения фукуса.

Ключевые слова: *F. distichus* subsp. *evanescens*, проростки фукуса, абсолютная скорость роста, соленость, Камчатка.

A.N. Kashutin, A.V. Klimova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: Kashutin-an@yandex.ru*

**CULTIVATION OF *FUCUS DISTICHUS* SUBSP. *EVANESCENS* (PHAEOPHYCEAE, FUCALES)
GERMLINGS IN LOW SALINITY CONDITIONS**

The low salinity (0 and 10‰) effect on the viability and growth speed of brown algae *Fucus distichus* subsp. *evanescens* was studied in a laboratory experiment. Being in the saltish medium (10‰) they continued development throughout the whole research period. By the end of three weeks cultivation, their total linear dimensions reached 990 microns and the growth speed was 43,4 microns/day. The signs of germlings growth inhibition were recorded on the sixth day after eggs fertilization in fresh medium. Their final death was recorded after 15 days keeping in a culture medium with zero salinity. This experiment helps to explain some features of fucus reproduction and distribution which are observed near the coast of Kamchatka.

Key words: *F. distichus* subsp. *evanescens*, germlings, absolute growth rate, salinity, Kamchatka.

Введение

Одним из важнейших факторов, влияющих на рост и распределение морских водорослей, является соленость воды. Литоральные водоросли более адаптированы к ее изменению, чем сублиторальные, поскольку испытывают постоянное опресняющее воздействие атмосферных осадков. Общей тенденцией для представителей рода *Fucus*, населяющих водоемы с прогрессивно убывающей соленостью, является уменьшение размеров их талломов [1]. Для баренцевоморской популяции *F. distichus* установлено, что в мезогалинных условиях он может существовать только ограниченное время, не более трех недель [2], тогда как *F. vesiculosus* способен выдерживать опреснение до 2,5‰ [3]. Однако соленость ниже критических величин, 0,1–10‰, уменьшает продолжительность их жизни [2].

Несмотря на высокую промысловую значимость и массовое распространение в российских морях Дальнего Востока *F. distichus* subsp. *evanescens*, специального изучения воздействия солености на его развитие не проводилось. У берегов Камчатки, в частности в Авачинской губе,

он нередко встречается в условиях значительного распреснения морских вод. Так, в летний период во время прилива вода, поступающая сюда из Тихого океана и распространяющаяся вдоль восточного побережья, заселенного фукусом, может иметь соленость 31–32‰. В то же время вдоль ее западного берега стекают пресные воды рек Авача и Паратунка. Частично они проникают и в бухты Моховая и Сероглазка [4], в результате этого соленость в поверхностном слое последней из указанных бухт в летний период может снижаться до 4,9‰ [5].

Летнее время является периодом активного размножения фукуса. В ходе изучения биологии развития этого вида в Авачинской губе мы наблюдали достаточно выраженные изменения возрастной структуры и плотности его поселений в местах постоянного воздействия пресных вод. Вопрос о том, как влияют столь значительные перепады солености на раннее развитие проростков *F. distichus* subsp. *evanescens*, до сих пор оставался открытым.

Материалы и методы

В природной среде влияние солености на развитие микроскопических стадий развития фукуса проследить достаточно сложно. Поэтому для изучения поставленного выше вопроса были проведены исследования в лабораторных условиях с контролируемыми параметрами среды. Исходным материалом для экспериментов послужили зрелые водоросли *F. distichus* subsp. *evanescens*, собранные 6 ноября 2018 г. в литоральной зоне бух. Сероглазка (Авачинская губа). Они представляли собой дихотомически разветвленные кустики с хорошо развитыми концептакулами, их общие линейные размеры варьировали от 18 до 24 см.

Для получения зигот фукуса в лабораторных условиях использовали метод, детально описанный нами ранее [6]. Появившиеся эмбрионы фукуса перемещали в пластиковые чашки Петри, содержащие культуральную среду с заданными значениями солености: пресная – 0‰, солоноватая – 10‰ и морская – 32‰. После этого вели регулярные наблюдения за их ростом и развитием. Все культуральные среды предварительно обогащали микро- и макроэлементами и заменяли каждые три дня. Культуры с проростками фукуса содержали при постоянной температуре 10°C и фотопериоде 12 ч света : 12 ч темноты.

Наблюдения за развитием *F. distichus* subsp. *evanescens* проводили с помощью стереомикроскопа Olympus SZX10 (Olympus, Japan). Фотодокументирование и определение линейных размеров проростков фукуса выполняли в программе CellSens Entry (Olympus, Japan). Измерения проводили через каждые 3–4 дня. Объем выборки в каждой культивируемой группе составлял не менее 30 проростков. Абсолютную скорость роста (AGR, мкм/сут) рассчитывали по стандартной формуле [7]. Общая продолжительность эксперимента составила 21 сутки.

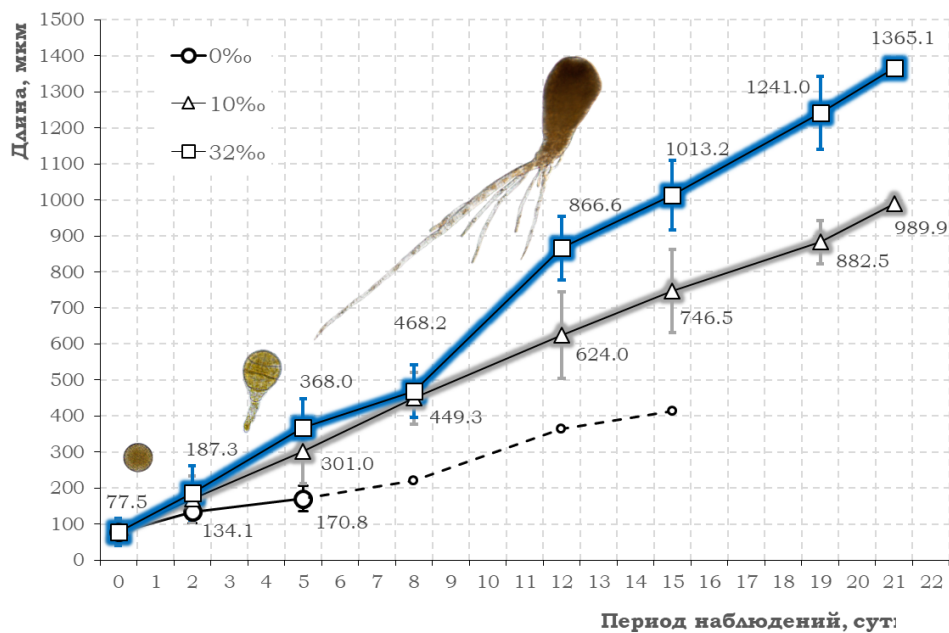
Результаты и обсуждение

Проростки фукуса во всех чашках Петри развивались из зигот, размер которых составлял 68,5–86,5 мкм. В течение первых двух суток значительных различий в развитии проростков, сохранившихся в среде с соленостью 10 и 32‰, не обнаружено (см. рисунок). К этому моменту все они прикрепилась ко дну чашек Петри и достигали 169,6 и 187,3 мкм длины соответственно (см. рисунок). Их максимальная скорость роста составила 54,9 мкм/сут. Проростки, развивавшиеся в пресной воде, к концу вторых суток к субстрату не прикрепилась. Их размеры едва достигали 135 мкм, значение AGR было вдвое меньше, чем у проростков, развивавшихся при нормальной морской солености.

На пятые сутки проростки, содержащиеся в условиях солености 10 и 32‰, уже имели многоклеточную талломическую часть, как правило, один хорошо сформированный ризоид и несколько дополнительных, меньшего размера. Их общие линейные размеры не превышали 370 мкм. AGR проростков составляла 43,8 мкм/сут (для 10‰) и 60,2 мкм/сут (для 32‰). Кроме того у представителей последней группы в апикальной части талломов начали формироваться гиалиновые волоски. У проростков, содержащихся в пресной воде, было выявлено заметное отставание в развитии. Их талломическая часть представляла собой однослойную пластину, единственный ризоид был слабо выражен и состоял из нескольких сегментов. Скорость роста этих проростков на пятые сутки культивирования существенно снизилась, до 12,2 мкм/сут.

После недели культивирования проростков при солености 10‰ и 32‰ средние значения их линейных размеров практически не различались. У тех и других длина проростков не превы-

шала 500 мкм (см. рисунок). AGR проростков в морской среде снизилась вдвое, тогда как у проростков, растущих при солености 10‰, значения этого показателя возросли до 49,4 мкм/сут. Эти различия можно объяснить тем, что у проростков фукуса, содержащихся при нормальной морской солености, в течение указанного выше времени культивирования активно развивались гиалиновые волоски. Их длина в общий учет линейных размеров не входила. В культурах с соленостью 10‰ волоски стали формироваться только к концу шестых суток. У фукусов, содержащихся в пресной воде, на 8-е сутки стали отчетливо наблюдаться признаки разрушения их клеток. За этот период ни один из проростков не закрепился к поверхности чашки Петри. Количество особей, продолживших развитие без признаков деградации кутикулы и содержимого клеток, резко сократилось. Длина таких проростков не превышала 220 мкм, у них отсутствовали гиалиновые волоски, пластинчатая часть талломов состояла из более мелких, чем у проростков из других культур клеток, ризоиды были плохо развиты.



Рост Fucus distichus subsp. evanescens в условиях разной солености среды – пресной (0‰), солоноватой (10‰) и морской (32‰). На графике указаны средние значения длины проростков, интервалы средних значений отображают их среднеквадратичное отклонение ($\pm s$). Пунктирной линией выделен период элиминации части проростков

После 12 сут культивирования фукусов при солености 10 и 32‰ скорость их роста различалась почти в два раза. Их общие линейные размеры составляли 624,0 и 866,6 мкм, соответственно (см. рисунок). При этом у проростков, содержащихся при нормальной морской солености, длина гиалиновых волосков уже превысила общую длину слоевищ. На 12-е сутки культивирования у них наблюдалась максимальная скорость роста за весь период наблюдений – 99,6 мкм/сут. После двух недель культивирования проростков в морской воде их длина превысила 1 мм, значение AGR составило 48,8 мкм/сут. Проростки фукуса к этому времени имели от 3 до 5 хорошо развитых гиалиновых волосков. Длина их ризоидов, как правило, вдвое превышала длину пластинчатой части. Проростки, развивавшиеся при солености 10‰, росли менее активно, их длина не превышала 750 мкм, а скорость роста – 40 мкм/сут. В культурах с пресной водой на 15-е сутки культивирования была отмечена гибель абсолютно всех проростков.

К концу наблюдений (на 23 сут), длина проростков, культивированных при нормальной морской солености, достигла 1,3 мм, в солоноватой среде – 990 мкм (см. рисунок). Их абсолютная скорость роста за весь период наблюдений в среднем составила 56,1 и 43,4 мкм/сут соответственно.

Таким образом, наши эксперименты показали, что ранее развитие *Fucus distichus subsp. evanescens* в пресной воде невозможно. Массовая гибель его эмбрионов в условиях нулевой солености начинается на 6-е сутки культивирования, а полная гибель отмечается на 15-е сутки. При этом они не способны прикрепиться к субстрату. Исходя из этого, можно предположить, что

экстремально низкая и нулевая соленость препятствуют выработке у эмбрионов фукуса адгезивного материала. У проростков фукуса, развивавшихся при солености 10‰, критические изменения в морфофизиологическом состоянии не обнаружены. Однако скорость их роста была на 32,6% ниже, чем таковая у растений, культивированных в воде с нормальной морской соленостью. Результаты, полученные в ходе описанного выше эксперимента, помогают объяснить некоторые наблюдаемые у Камчатки особенности размножения и распределения фукуса. Они могут быть использованы при прогнозировании изменения запасов *Fucus distichus* subsp. *evanescens* в прикамчатских водах.

Литература

1. Камнев А.Н. Структура и функции бурых водорослей. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 200 с.
2. Малавенда С.В. Влияние солености на фукусовые водоросли Баренцева моря: Автореф. дис... канд. биол. наук. – Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2007. – 27 с.
3. Адаптация и регуляция роста у макрофитов Баренцева моря / Г.М. Воскобойников, М.В. Макаров, С.В. Малавенда, И.В. Рыжик // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 2(21). – С. 40–48.
4. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. / Е.В. Лепская, О.Б. Тепнин, В.В. Коломейцев, Е.А. Устименко, Н.В. Сергеенко, Д.С. Виноградова, В.Д. Свириденко, М.А. Походина, В.А. Щеголькова, В.В. Максименков, А.А. Полякова, Р.С. Галямов, С.Л. Горин, М.В. Коваль // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2014. – Вып. 34. – С. 5–21.
5. Капустин А.Н., Климова А.В. Динамика роста *Fucus distichus* subsp. *evanescens* (Phaeophyceae, Fucales) в Авачинской губе в 2017 г. // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (20–22 марта 2018 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – С. 42–46.
6. Климова А.В., Капустин А.Н. Раннее развитие камчатских представителей *Fucus evanescens* (Phaeophyceae, Fucales) в условиях лабораторного культивирования // Вестник КамчатГТУ. – 2016. – № 37. – С. 50–56.
7. Hunt R. Absolute growth rates // Basic Growth Analysis [Electronic resource]. – Dordrecht: Springer, 1990. – 17–24. – URL: https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_2.