

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК [582.273:581.2]:639.64(519.5)

Т.А. Ключкова¹, Г.Х. Ким²ЗАБОЛЕВАНИЯ КРАСНОЙ ВОДОРОСЛИ *PYROPIA* (= *PORPHYRA*)
НА ОТКРЫТЫХ МОРСКИХ ПЛАНТАЦИЯХ ЮЖНОЙ КОРЕИ¹Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, 683003;²Национальный университет Конджу, Конджу, 314-701, Корея
e-mail: tatyana_algae@mail.ru

Приводятся данные о распространенных в странах юго-восточной Азии заболеваниях культивируемой красной водоросли пуропия (*Pyropia*, Rhodophyta), ранее известной как *Porphyra*. Продукция из нее в настоящее время в большом объеме экспортируется в Россию. Указываемые заболевания известны под названиями «водная плесень» и «красная гниль». Их вызывают микроскопические псевдогрибки (оомицеты), относящиеся к родам *Olpidiopsis* и *Pythium*. Ежегодные убытки хозяйствам марикультуры только в Южной Корее исчисляются миллионами долларов США. Указано, что резкое кратковременное понижение солености ускоряет в течение последующих 1-2 дней появление псевдогрибковых инфекций. В связи с этим авторы не рекомендуют дневной подъем сетей для культивирования на поверхность воды в дождливые дни.

Ключевые слова: водорослевые плантации, инфекция, марикультура, пуропия, *Olpidiopsis*, *Pythium*.

T.A. Klochkova, G.H. Kim (Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003; Kongju National University, Kongju, 314-701, Korea) **Diseases of the red seaweed *Pyropia* (= *Porphyra*) in Korean sea farms**

This paper presents data on widely distributed diseases of commercially cultivated red seaweed *Pyropia* (= *Porphyra*), which are known as *Olpidiopsis* disease and red-rot disease in the southeastern Asian countries. *Pyropia* products ('nori' or 'kim') are widely exported to Russia nowadays. These diseases are caused by the microscopic Oomycetes (pseudofungi), *Olpidiopsis* and *Pythium*, respectively. The annual losses due to Oomycete infections are estimated as several million dollars US in South Korea along. Abrupt decreases in seawater salinity can significantly increase Oomycete infections in the following 1-2 days. Therefore, it is not recommended to lift up cultivations nets from the sea in rainy days.

Key words: commercial seaweed farm, infection, aquaculture, *Pyropia*, *Olpidiopsis*, *Pythium*.

DOI: 10.17217/2079-0333-2015-32-48-52

Современное водорослевое производство основано на рациональной эксплуатации естественных зарослей промысловых водорослей и широком использовании продукции товарной марикультуры, полученной с использованием наукоемких технологий. Оно ориентировано, главным образом, на выпуск пищевой, лекарственной и косметической продукции, кормовой крупки, муки, а также продуктов их химической переработки. Из многих веществ, получаемых из водорослей, особую ценность представляют полисахариды. Они, как известно, обладают уникальным химическим составом, не имеют природных и синтетических аналогов и в настоящее время широко используются в пищевой промышленности, микробиологии, молекулярной биологии, медицине, а также в бумажной, текстильной и многих других отраслях промышленности.

О высоком экономическом значении сырья из морских водорослей можно судить по тому, что в настоящее время в мире их ежегодная добыча составляет около 13 млн тонн и что совре-

менная водорослевая промышленность в таких зарубежных странах, как Китай, Южная Корея и Япония, является высокоэффективной и высокодоходной. В этих и других странах водорослевая продукция пользуется все большей популярностью и постоянно возрастающим спросом. Так, стоимость сырца культивируемой багрянки *Pyropia* (прежде род *Porphyra*), только на азиатских рынках составляет более чем 2 млрд долларов США, и с каждым годом объемы производства этого вида возрастают [1]. Получаемая из пуропии пищевая продукция в Корее носит название ким (kim), в Японии – нори (nori), в Китае – зикай (zicai) и в западных странах – лейвер (laver). Она представляет собой тонкие хрустящие пластинки буро-зеленого цвета, имеющие отчетливо выраженный креветочный вкус, и ценится за высокое содержание белковых веществ, витаминов и микроэлементов.

В Российской Федерации, и особенно на Дальнем Востоке, продукция из морских водорослей в последние годы становится также все более популярной. Она импортируется в основном из Китая и Южной Кореи и распространяется через розничную торговую сеть, сеть ресторанов и кафе. Камчатский край в этом отношении не является исключением.

До начала 1950-х гг. почти все водорослевое сырье в мире добывалось только в естественных зарослях, что значительно истощало запасы промысловых видов. Рост потребностей в водорослевом сырье во второй половине прошлого века стимулировал интенсивную разработку технологий искусственного выращивания разных видов. Что касается представителей ранее упомянутого рода *Pyropia*, то они были введены в марикультуру азиатского тихоокеанского региона почти 400 лет назад. Впервые ее начали выращивать еще в 1623–1649 гг. в Корее. Согласно другим опубликованным данным, ее культивирование началось в XVII в. в Токийском заливе у берегов Японии [2].

С момента введения пуропии в марикультуру до настоящего времени биотехника ее выращивания постоянно совершенствовалась. К 90-м гг. прошлого столетия она достигла колоссальных успехов. Открытые плантации пуропии в прибрежных зонах Японии, Южной Кореи и Китая заняли обширные участки акваторий. Плантационные установки и сети, на которых выращивается пуропия, бывают самыми разными. На рис. 1 показана одна из плантаций на юго-западном побережье Южной Кореи (Желтое море). На ней сети с пуропией удерживаются на поверхности воды на поплавках из полистирола. Такой тип сетей и способ выращивания считают наиболее эффективным.



а



б

Рис. 1. Морская плантация пуропии в Южной Корее (декабрь 2014 г.).

Морские водоросли, произрастающие в природной среде, подвержены атакам различных патогенных организмов, например, различных бактерий, вирусов и грибов. Некоторые красные водоросли, включая представителей обсуждаемого рода *Pyropia*, могут заражаться микроскопическими псевдогрибками-оомицетами (Oomycete) (рис. 2). К псевдогрибкам они были отнесены относительно недавно на основе данных молекулярно-филогенетического анализа представителей их разных родов, когда было выяснено, что в генетическом отношении оомицеты значительно отличаются от представителей других классов царства грибы (Fungi).

Активность заражения оомицетами морских водорослей резко возрастает при ухудшении физиологического состояния последних в неблагоприятных условиях произрастания. Из практики растениеводства известно, что выращивание сельскохозяйственных культур на больших пло-

щадях нередко приводит к активному развитию их вредителей. Пуропия в этом отношении не является исключением. Она также подвержена большому количеству заболеваний, в том числе вызываемых оомикотами [3–5]. Как и в случае с сельским хозяйством, это связано с тем, что в условиях марикультуры формируется высокая плотность произрастания растений. Они, как представители любого моновидового сообщества, с одной стороны, испытывают дефицит пространственных, фотических, питательных и других ресурсов среды, а с другой – воздействие высоких концентраций выделяемых ими экзометаболитов. Все это у культивируемых водорослей снижает иммунитет и способствует заражению патогенами.

Из-за быстрого распространения патогенных организмов от растения к растению оомикоты родов *Olpidiopsis* и *Pythium* способны уничтожить урожай пуропии полностью в течение нескольких недель [5, 6]. Такие явления ежегодно наблюдаются на открытых плантациях пуропии в Южной Корее, и южно-корейские фермеры называют заболевание, вызываемое *Olpidiopsis*, «водной плесенью», а заболевание, вызываемое *Pythium*, – «красной гнилью». На рис. 2 и 3 показаны изучаемые нами наиболее распространенные псевдогрибковые заболевания пуропии и вызывающие их виды оомикот [3–5].

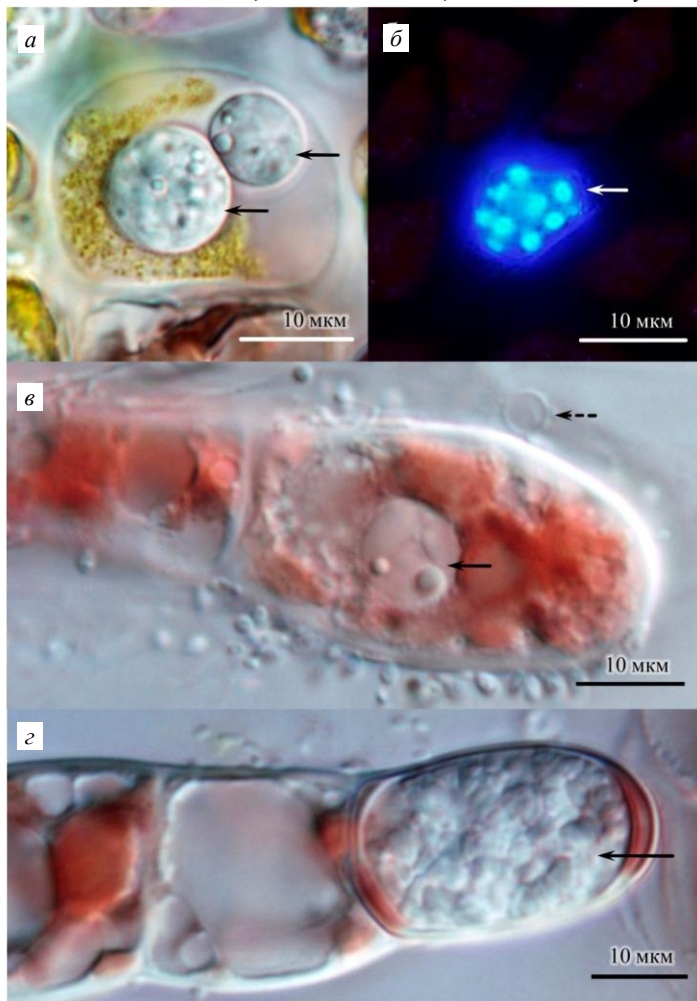


Рис. 2. Заболевание пуропии, вызываемое оомикотами *Olpidiopsis rufogliae* и *O. bostrychiae*: а – увеличенная водорослевая клетка пластинчатого гаметофита пуропии, зараженная двумя клетками *O. rufogliae* (показано стрелками); б – клеточные ядра формирующегося спорангия *O. rufogliae*, окрашенные флуоресцентным красителем DAPI (показано стрелкой); в – нитчатый спорангий пуропии, зараженный *O. bostrychiae* (показан стрелкой). На поверхности зараженной водорослевой клетки видна пустая оболочка цисты *Olpidiopsis*, оставшаяся после внедрения протоплазмы паразита в клетку растения-хозяина (показано пунктирной стрелкой); г – формирование взрослого спорангия паразита обычно занимают 1-2 дня, после чего он заполняет собой все пространство разрушенной им клетки растения-хозяина (показано стрелкой)

исчисляемым миллионами долларов США [3]. Так, наши многолетние наблюдения за развитием и состоянием одной из плантаций данного вида на западном побережье Южной Кореи показали,

Как видно из приведенного рис. 2, тело облигатного эндопаразита *O. rufogliae* округлое, бесцветное, многоядерное. Все развитие псевдогрибка от заражения клеток растения-хозяина зооспорой до формирования взрослого спорангия и выхода из него новых зооспор происходит внутри клеток пуропии, причем заражению могут подвергнуться обе ее стадии – пластинчатый гаметофит и нитчатый спорофит. Обычно какой-то определенный вид *Olpidiopsis* заражает только спорофит или же только гаметофит пуропии, однако мы не находили виды *Olpidiopsis*, способные инфицировать обе стадии одного и того же вида пуропии.

Паразитический псевдогрибок *P. porphyrae*, в отличие от *Olpidiopsis*, образует гифы, которые последовательно внедряются в клетки пуропии и, используя их ресурсы, убивают и полностью разрушают таллом водоросли. Примечательно, что *P. porphyrae* заражает только пластинчатые гаметофиты пуропии. На рис. 3, а показана подвижная двухжгутиковую зооспору этого паразита, инициирующая заражение водорослевых клеток. Стрелкой на рис. 3, б показан кончик растущей гифы на стадии, предшествующей ее проникновению в ближайшую водорослевую клетку.

Массовое развитие инфекции на плантациях пуропии приводит к огромным хозяйственным потерям,

что она только за один сельскохозяйственный сезон 2012–2013 гг. из-за вспышки «водной плесени», вызванной псевдогрибком *O. pyropiae*, понесла убыток в 1,6 млн долларов США [3]. В 2014 г. около 22% фермеров, работающих на этой плантации, были вынуждены прервать выращивание пурпии и убрать из моря все сети, поскольку инфицированная на них пурпия была полностью уничтожена. Общие потери урожая при этом составили около 8% от всего ее объема, выращиваемого в Южной Корее.

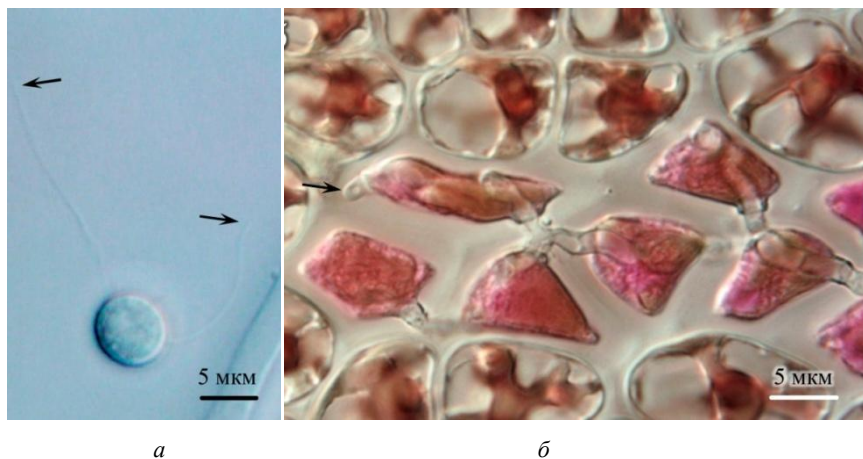


Рис. 3. Заболевание пурпии, вызываемое *Pythium porphyrae*:
 а – зооспора паразита с двумя жгутиками разной длины (показаны стрелками);
 б – клетки пурпии, зараженные гифами *P. porphyrae* (стрелка)

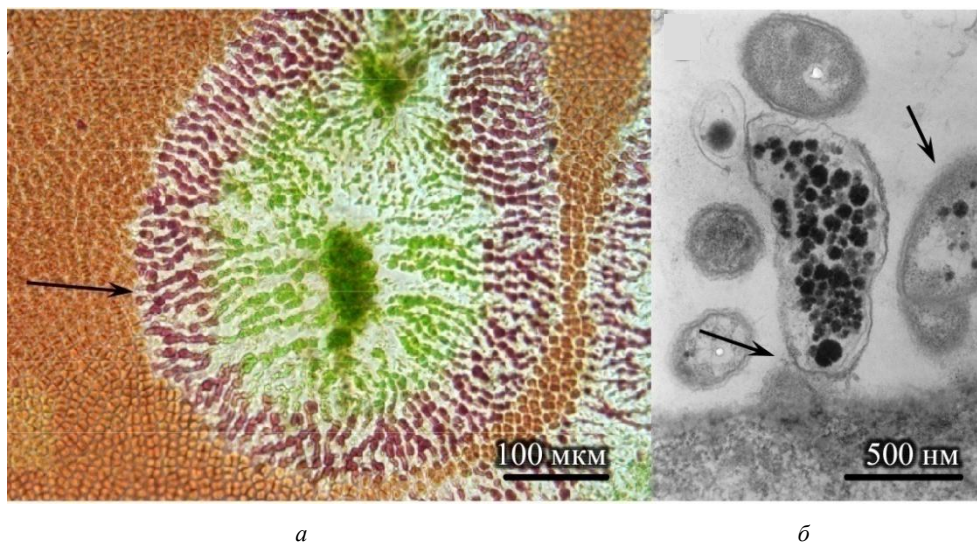


Рис. 4. Заболевание культивируемой пурпии, называемое «дырчатость»:
 а – увеличенный фрагмент инфицированной водорослевой пластины, показывающий характерную язву с краями фиолетового цвета и зеленым центром (отмирающая часть растения, показано стрелкой);
 б – бактерии, прикрепившиеся к поверхности инфицированной пурпии у краев язвы (показаны стрелками). Для бактерий, обильно развивающихся на краях язв, характерно наличие многочисленных черных включений, природа которых нам неизвестна

До настоящего времени не существует методов лечения инфицированных культивируемых растений. Единственным способом уберечь их от оомикот является обработка слабым раствором хлорной кислоты или коктейлем из нескольких кислот (щавелевой, муравьиной, уксусной, лимонной). Однако их воздействие, как это показывают наши наблюдения, значительно снижает иммунитет растений, что нередко приводит к вспышке другого заболевания, известного в Южной Корее под названием «дырчатость», а в Японии – «анааки» и «зеленые язвы» (рис. 4, а). Болезнетворные агенты, вызывающие это заболевание, пока точно не определены, хотя полагают,

что одной из возможных причин его возникновения является развитие на пластинах пуропии, особенно травмированных, агаролитических бактерий рода *Pseudoalteromonas*. Проведенное нами изучение собранных на плантациях образцов с признаками дырчатости под трансмиссионным электронным микроскопом показало наличие большого количества бактерий на краях язв, образующихся на пластине травмированной пуропии (рис. 4, б).

Контроль за состоянием здоровья растений и прогнозирование вспышек их заболевания затрудняют неполнота или отсутствие данных, касающихся некоторых моментов биологии развития как патогенных организмов, так и самой пуропии, а также недостаточности представлений о воздействии на их рост и развитие постоянно меняющихся условий среды. Современная биотехника культивирования пуропии предполагает ежедневный подъем сетей с выращиваемыми на них водорослями на поверхность моря на несколько часов. Однако в ходе лабораторных экспериментов нами было обнаружено, что при орошении здоровых водорослей пресной водой в течение 15–30 секунд в последующие 1–2 суток они легко подвергаются заражению оомикотами, даже в случае когда те изначально являются неспецифичными паразитами для этих водорослей [4]. Таким образом, подъем сетей на поверхность моря в дождливую погоду может спровоцировать массовое заражение пуропии псевдогрибками *Olpidiopsis* и *Pythium*, в том случае если в местах ее развития находятся их споры. Это еще раз свидетельствует о том, что при разработке биотехники культивирования водорослей следует учитывать данные изучения биологии развития культивируемых видов и их патогенов, а также особенности протекания заболеваний. Необходимо также учитывать данные изучения воздействия факторов среды и выявлять среди них те, которые вызывают снижение иммунитета растений и способствуют массовому размножению и активному развитию патогенных организмов.

Литература

1. *Porphyra*: a marine crop shaped by stress / Blouin N.A., Brodie J.A., Grossman A.C., Xu P., Brawley S.H. // Trends in Plant Science. – 2011. – V. 16. – P. 29-37.
2. Miura A. *Porphyra* cultivation in Japan // In: Tokida J., Hirose H. Advance of Phycology in Japan. 1975. VEB G Fischer Verlag, Jena, Germany. – P. 273-304.
3. A revaluation of algal diseases in Korean *Pyropia* (*Porphyra*) sea farms and their economic impact / Kim G.H., Moon K.-H., Kim J.-Y., Shim J., Klochkova T.A. // Algae. – 2014. – V. 29. – P. 249–265.
4. Host-parasite interactions and host species susceptibility of marine fungal parasite, *Olpidiopsis* sp., from Korea that infects red algae / Klochkova T.A., Shim J.B., Hwang M.S., Kim G.H. // Journal of Applied Phycology. – 2012. – V. 24. – P. 135–144.
5. New species of unicellular obligate parasite, *Olpidiopsis pyropiae* sp. nov., that plagues *Pyropia* sea farms in Korea / Klochkova T.A., Shin Y.J., Moon K.-H., Motomura T., Kim G.H. // Journal of Applied Phycology. – 2015. – In press.
6. Uppalapati S.R., Fujita Y. Carbohydrate regulation of attachment, encystment and appressorium formation by *Pythium porphyrae* (Oomycota) zoospores on *Porphyra yezoensis* (Rhodophyta) // Journal of Phycology. – 2000. – V. 36. – P. 359–366.