

## ЛЕКЦИЯ 2

### КУЛЬТИВИРОВАНИЕ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

В морях и океанах произрастает несколько тысяч видов водорослей, из которых немногим более 100 видов используется человеком в пищу, в качестве удобрений, на технические и кормовые цели. Водоросли богаты микроэлементами, йодом, витаминами, углеводами, белками, содержат антибактериальные вещества, способны усиливать антикоагулирующие свойства крови.

Для обеспечения потребности человека продуктах из водорослей объем добычи и переработки водорослевого сырья должен быть значительно увеличен. Однако использование только естественно произрастающих водорослей не может полностью обеспечить потребности народного хозяйства в продуктах из них. Марикультура водорослей призвана создать подводные плантации по выращиванию наиболее ценных и качественных по своим товарным показателям водорослей в близких для переработки и потребления районах прибрежной зоны морей и океанов.

В настоящее время более 80 % добываемых водорослей выращивают искусственно, и их доля с каждым годом возрастает.

Основные объекты выращивания: из бурых водорослей — ламинария (*Laminaria*), ундария (*Undaria*), костария (*Costaria*) и макроцистис (*Macrocystis*); из красных водорослей — порфира (*Porphyra*), эухема (*Euchema*), грацилярия (*Gracilaria*), хипнея (*Hypnea*) и др.; из зеленых водорослей — энтероморфа и ульва.

Существует несколько методов выращивания водорослей: с использованием в качестве субстрата камней и скал на дне моря; на искусственно созданных рифах; на искусственном субстрате в толще воды; на мягком грунте лагун, прудов и других закрытых водоемов; в специальных искусственных бассейнах, танках, различных емкостях с регулируемыми условиями.

Наибольшее распространение получило выращивание водорослей в толще воды на стационарных и буксируемых установках с применением в качестве субстрата веревок, сетей, старых транс-портерных лент, пожарных шлангов, покрышек и др. Так выращивают бурые, красные и зеленые водоросли.

На мягком грунте лагун и в закрытых водоемах выращивают багрянки и неприкрепленные формы грацилярии. В искусственных емкостях с регулируемыми специально подобранными оптимальными условиями выращивают агароносы: грацилярию, эухеуму, хипнею и некоторые другие водоросли как в монокультуре, так и с объектами других трофических уровней. Этот способ выращивания требует наибольших материальных затрат.

Для увеличения естественной продуктивности прибрежных районов моря особенно большое значение имеет выращивание водорослей на искусственных

рифтах. При выращивании водорослей на дно вблизи естественных зарослей с учетом господствующих течений сбрасывают камни, на них оседают споры и развиваются водоросли. Для увеличения и ускорения оседания спор на камни собирают спороносящие растения, стимулируют выход спор подсушиванием растений и затапливают их в районе погружения субстрата. Дальнейшие процессы зарастания и рост водорослей происходят естественным путем.

Марикультура водорослей имеет существенные преимущества по сравнению с добычей их из естественных зарослей. Выращивать водоросли можно в удобных для эксплуатации районах, в то время как естественные заросли часто расположены в удаленных районах. На участках естественного произрастания водоросли добывают, как правило, ручным способом и только на глубинах до 4 м. Глубже можно работать только с использованием водолазного снаряжения.

Водоросли выращивают в наиболее выгодных с экономической точки зрения районах. При основном способе выращивания в толще воды на искусственных субстратах сбор урожая значительно упрощается. Урожай на подводных плантациях выше, чем в естественных зарослях. Путем селекции и работы на генетическом уровне можно создать наиболее качественные формы и увеличить урожайность. Применение ростовых веществ позволяет повысить урожайность бурых, красных и зеленых водорослей. Возникает возможность выращивать водоросли в промысловых количествах даже за пределами ареала их естественного обитания.

## БУРЫЕ ВОДРОСЛИ

Бурые водоросли — типично морские растения, в основном обитающие в морях умеренных широт и образующие плотные заросли от литорали до глубины 30...50 м. Высота бурых водорослей колеблется от нескольких сантиметров до 60 м. Биомасса их в естественных зарослях обычно составляет 2...10кг/м<sup>2</sup>, достигая и 100кг/м<sup>2</sup> (сырая масса). Размножаются бурые водоросли бесполом и половым способом, реже — вегетативно. Наблюдается смена полового и бесполого поколений, имеющих изоморфное или гетероморфное строение. Питание происходит всей поверхностью слоевища.



Рис.1 Бурые водоросли: 1 – ламинария японская; 2 – ундария перисто-надрезанная; 3 – костария ребристая.

Ламинариевые водоросли преимущественно распространены в умеренной зоне, где они произрастают на глубине от 0 до 30 м. Крепятся к твердым грунтам и обитают при разной силе прибоя. Ламинариевые достигают 1...10 м в длину, а такие, как макроцистис, — даже 20...60 м.

Цикл развития ламинариевых водорослей состоит из нескольких этапов. Крупные слоевища, которые используются и ради которых разводят ламинариевые водоросли, являются бесполой стадией развития — спорофитом, на котором развиваются сорусы спорангиев с зооспорами, которые окрашены темнее, чем остальная часть пластины. Зрелые зооспоры величиной 5...10мкм выходят через вершину спорангия и некоторое время активно передвигаются в воде. Они имеют грушевидную форму и два боковых жгутика. Период активного движения зооспор зависит как от вида водоросли, физиологического состояния зооспоры, так и от условий окружающей среды, в частности от температуры воды, и колеблется от нескольких минут до 1...2сут, но чаще длится от 2 до 18 ч.

При выращивании бурых водорослей особенно важно знать сроки появления слоевищ со зрелыми спорангиями, наиболее благоприятную температуру и продолжительность стимулирования выхода зооспор, температуру воды для оспоривания субстратов, густоту посадок, температуру, освещенность, светопериод, состав среды при выращивании микроскопических стадий в регулируемых условиях, сроки пересадки рассады, сбора урожая и некоторые другие показатели.

Процесс выращивания ламинариевых водорослей состоит из нескольких этапов: подбор места для размещения хозяйств; установка каркаса конструкции плантации; подготовка посадочно-выростных субстратов; заготовка маточных слоевищ; стимулирование единовременного массового выхода зооспор из маточных слоевищ подсушиванием; посев спор на посадочно-выростные субстраты (оспоривание); перенос субстратов с осевшими эмбриоспорами в море или в специальные емкости с регулируемыми условиями; выращивание микроскопических стадий в регулируемых условиях (температура, освещенность, аэрация, питание); выращивание водорослей на всех стадиях развития в море. На последнем этапе необходимо проводить работы по сохранению конструкции в рабочем состоянии, удалению обрастаний, прореживание, пересадку рассады и некоторые другие. Завершается процесс выращивания снятием урожая, хранением (сушка, консервирование, замораживание) и доставкой сырья потребителю.

Район размещения хозяйств должен иметь благоприятные гидрологический и гидрохимический режимы, в частности, быть защищен от наиболее сильных и частых ветров и штормовой волны; в воде должны отсутствовать токсические и

другие загрязнители; должен быть хороший водообмен со скоростью течения 0,7 м/с и более; вода должна быть прозрачной, соленой.

При подборе места для водорослевого хозяйства необходимо учитывать наличие значительных акваторий моря с глубинами 10...50 м, мест для размещения береговой базы и стоянки судов, песчаных грунтов с небольшим количеством камней.

Для выращивания ламинариевых водорослей применяют штормоустойчивые конструкции (рис. 2). Каркас носителя, к которому в дальнейшем крепят выростные субстраты, состоит из горизонтально натянутого основного несущего каната из синтетических материалов длиной 50...120 м и диаметром 60 мм. Натяжение обеспечивается оттяжками, длина которых в 1,5 раза превышает глубину расположения плантации. Их крепят к якорям из бетона массой 1,5...2 т. Горизонтальный канат на определенной глубине поддерживается наплавами диаметром 240...360 мм. Наплавы не должны возвышаться над поверхностью воды более чем на  $\frac{1}{2}$  своего диаметра. Число наплавов зависит от размера и массы выращиваемой водоросли, скорости течения и т.д. Несколько канатов, отстоящих друг от друга на 5...7 м, располагают секциями на площади 1-2 га перпендикулярно линии берега.

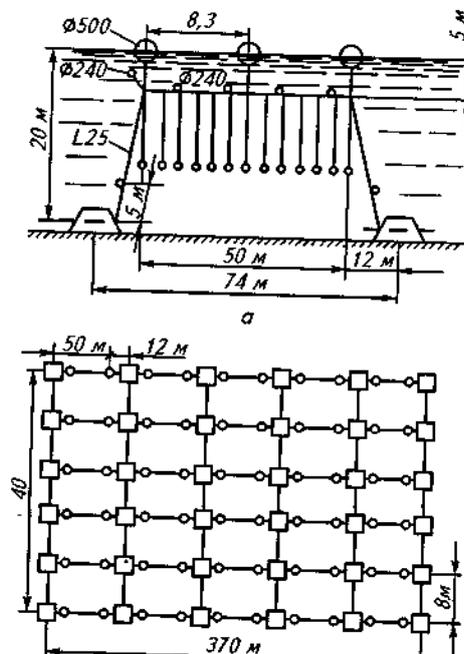


Рис.2 Секции штормоустойчивой конструкции для выращивания водорослей:  
а – вид сбоку, б – вид сверху.

В качестве посадочно-выростных субстратов используют капроновые или из другого материала веревки длиной 5м и диаметром 5-12 мм.

Маточные слоевища для получения жизнеспособных спор заготавливают из

естественных зарослей или со специальных участков плантации, где их выращивают в разреженных посадках из наиболее крупной жизнеспособной рассады. Собирают маточные слоевища в конце лета и осенью. Берут только цельные, крупные, желателно без обрастаний растения с большими темно-коричневыми спороносными пятнами. Отобранные слоевища складывают на дно лодки или надувного спасательного плотика и накрывают брезентом для предохранения спор от действия прямых солнечных лучей и дождя при транспортировании. Собирают и транспортируют маточные слоевища не дольше 1...2 ч и рано утром.

На берегу маточные слоевища тщательно обмывают морской водой для удаления взвеси и различных посторонних предметов и организмов, развешивают под навесом или в специальном хорошо проветриваемом помещении. Они не должны соприкасаться друг с другом и находиться под воздействием прямых солнечных лучей и дождя.

Быстрый единовременный выход зооспор стимулируют путем подсушивания двумя способами, по одному из них процесс подсушивания развешенных слоевищ происходит на воздухе при температуре 6...18 °С в течение 6...18 ч. Ход и качество стимулирования контролируют. Для этого на спороносные пятна трех растений наносят пипеткой несколько капель морской воды и через 5 мин каплю воды на каждом растении просматривают под микроскопом. Наличие в поле зрения микроскопа 5... 10 зооспор свидетельствует об успешном стимулировании, и его можно завершать. Если зооспор в поле зрения нет или они встречаются единично, то стимулирование продолжают.

Другой более прогрессивный способ стимулирования быстрого выхода зооспор из спорангиев маточных слоевищ заключается в их подсушивании обычно в течение 1...4 ч до исчезновения воды с поверхности слоевищ. Затем слоевища перекадывают газетной или оберточной бумагой, свертывают в рулоны, которые укадывают в картонные коробки и держат около суток в темноте при температуре 7...15 °С. При этом методе за 30...45 мин споры выходят в воду, что уменьшает число вышедших из спорангиев незрелых зооспор и снижает концентрацию альгиновых кислот, отрицательно влияющих на развитие спор.

Субстраты оспориваются в чистых, вымоченных в воде емкостях, специальных бассейнах. Нередко для этого используют корпуса лодок. Существует три способа оспоривания.

Небольшие пучки рассады, содержащие по три-четыре растения, размещают через каждые 10 см веревки. Таким образом, на 1 м выростного субстрата помещается 30...40 растений. Пересадкой одновременно занято два человека: один раздвигает пряди веревки, другой подбирает пучок рассады и вставляет его между прядями так, чтобы нижняя часть черешка и ризоиды оказались между прядями, а после сжатия пряди веревки прочно удерживали растения. К месту пересадки,

расположенному в специальном помещении или под навесом, рассаду доставляют небольшими партиями, оберегают от солнечного света, пресной воды и высыхания. Период пребывания рассады на берегу без воды не должен превышать 2...4 ч. Веревки с рассадой вывозят на плантацию и привязывают к горизонтальному канату-носителю. Пересадка рассады — наиболее трудоемкий процесс культивирования.

Рассаду выращивают не только в море на плантации, но и в специальных помещениях с доступом солнечного света и искусственным освещением (люминесцентными, дроссельно-ртутными лампами и др.). В баки вместимостью около 100 л заливают стерилизованную морскую воду, затем в нее погружают рамки с намотанными на них нитями, на которые осели споры, таким образом, чтобы уровень воды был на 10... 15 см выше рамок. Баки устанавливают в бассейнах с циркулирующей водой заданной температуры. Для этих целей удобно использовать пресную воду постоянной температуры, получаемую из артезианских скважин. Повышение температуры воды, протекающей через бассейны и омывающей баки, достигается уменьшением скорости тока или с помощью специальных нагревателей. Интенсивность освещения зависит от вида водоросли и стадии развития и колеблется в пределах от 500 до 10 тыс. лк. Баки сверху закрывают прозрачной пленкой для уменьшения испарения воды и поглощения части ультрафиолетовых лучей, губительно действующих на начальные стадии развития водорослей.

После появления на нитях видимой глазом рассады (1...3 мм) ее адаптируют к условиям моря, для чего снижают концентрацию питательных веществ и приближают температуру воды в баках к таковой в море. Далее рамки с рассадой переносят в море и выставляют на 7...10 сут на глубине 4...5 м. После адаптации нити с рассадой небольшими порциями сматывают с рам, разрезают ножницами на кусочки длиной 3 см и держат в морской воде. Затем их вставляют между прядями веревки через 10...40 см. Пересадку проводят утром, вечером или в пасмурные дни. При таком способе выращивания рассада нуждается в прореживании, во время которого избыточные растения пересаживают на другие субстраты.

Товарную продукцию ламинариевых водорослей получают на первом или втором году выращивания в зависимости от вида и способа культивирования. Максимального размера и массы многие ламинариевые водоросли достигают в середине лета, когда их и собирают, а выборочную уборку урожая начинают весной или в начале лета. После сбора водоросли обычно сушат на воздухе или в специальных сушилках, а затем укладывают в тюки.

**Ламинарию японскую** выращивают в двухгодичном и одногодичном цикле. При двухгодичном цикле выращивания в августе — октябре из естественных зарослей или среди специально выращенных маточных слоевищ отбирают крупные, неповрежденные, без обрастаний, с хорошо развитыми сорусами спорангиев

слоевища. Один квадратный сантиметр репродуктивной ткани продуцирует около 1 млн зооспор, а одно двулетнее растение — около 400 млрд. После стимулирования слоевища погружают в воду температурой 12...15 °С. На 1 тыс. поводцов берут 15...20 маточных слоевищ.

В Японском море плантации ламинарии японской находятся в разных экологических зонах. Оптимальные сроки оспоривания субстратов колеблются от последней декады сентября до первой декады октября в направлении с юга на север. Для развития гаметофитов наиболее благоприятна глубина 6 м, для ювенильного спорофита --2 м. При температуре воды не ниже 8 °С развитие протекает нормально и видимые глазом проростки (спорофиты) появляются в декабре, т.е. через 2,5...3 мес после осаждения зооспор.

В отличие от двухгодичного культивирования, повторяющего естественный цикл развития ламинарии японской, одногодичное культивирование основано на ряде принципиальных изменений в ее жизненном цикле. При таком выращивании необходимо получать зооспоры в более ранние сроки, что достигается отбором наиболее крупных с короткими черешками слоевищ. Способные к раннему спорообразованию растения выращивают в специальном режиме с освещением и подкармливанием солями азота и фосфора, с тем чтобы обеспечить накопление необходимого количества аминокислот, способствующих развитию репродуктивной ткани. При форсированном выращивании развитие всех стадий гаметофита протекает за 15 сут и видимые глазом спорофиты образуются за 1,5 мес к октябрю, в то время как в природных условиях это происходит за 3...4 мес. В октябре проростки спорофитов выставляют в море. В сентябре следующего года, т. е. в возрасте 11 мес, они достигают длины 3...4 м и массы 0,4...0,9 кг, урожайность составляет 80...100 т/га сырой массы. Выращенные однолетние слоевища пригодны для использования как в пищу, так и для получения альгинатов. При одногодичном культивировании ламинарии японской производительность водорослеводческих хозяйств значительно возрастает.

**Ундария перисто-надрезанная** (*Undaria*) — относительно холодноводная водоросль, и у южного побережья острова Хонсю ее выращивают зимой при температуре ниже 22 °С.

Спорофитов культивируют на камнях или специальных блоках, а также на веревках. В первом случае там, где есть естественные заросли ундарии, к камням или специальным бетонным блокам опущенным на дно, прикрепляются зооспоры и в дальнейшем развиваются спорофиты. Обросшие ундарией блоки переносят в новые местообитания для создания дополнительных зарослей

Метод выращивания ундарии на веревках сходен с методом выращивания ламинарий. Вербки или шпагат, а также фертильные слоевища погружают в танки и заливают фильтрованной стерильной морской водой. Оспоривание проводят в апреле — мае. Оптимальная плотность посадки 100 спор на 1 мм<sup>2</sup> субстрата так как

при более плотном оседании спор обычно развиваются грибные и бактериальные заболевания.

Субстраты со спорами наматывают на рамы и помещают в танки с морской водой до сентября — ноября. Отрезки субстрата со спорофитами вплетают в ростовые субстраты длиной по 3 м. Последние привязывают к каркасу или бамбуковым плотам размером 5,0 x 1,8 м. Плоты в период выращивания удерживают на глубине 6 м. Рассадку получают в середине или конце зимы. С одного бамбукового плота снимают около 1 т сырой ундарии. Собирают урожай ундарии ранней весной.