

Исследование биологии и пищевой ценности *Ulva rigida* C. Ag., как перспективного объекта марикультуры

DOI

Канд. техн. наук,
зав. кафедрой **О.Е. Битютская**;

канд. биол. наук,
доцент **Л.И. Булли** –
кафедра технологии
продуктов питания,
Керченский государственный
морской технологический
университет (ФГБОУ
ВО «КГМТУ»)

д-р техн. наук, директор НИИ
Л.В. Донченко –

Кубанский государственный
аграрный университет, Научно-
исследовательский институт
биотехнологии и сертификации
продуктов питания, ФГБОУ
ВО «КубГТУ», г. Краснодар

@ olha98306@yandex.ru

Ключевые слова:

зеленые водоросли,
макрофиты, *Ulva rigida*,
марикультура, жизненный
цикл, пектин, пищевая
ценность

Keywords:

algae, macrophytes, *Ulva rigida*,
mariculture, life cycle, pectin,
nutritional value

STUDY OF BIOLOGY AND NUTRITIONAL VALUE OF *ULVA RIGIDA* C. AG. AS A PROMISING TARGET SPECIES FOR MARINE AQUACULTURE

O. Bityutskaya, PhD, Associate Professor, **L. Bulli**, PhD, Associate Professor -
Kerch State Maritime Technological University, olha98306@yandex.ru

L. Donchenko, Doctor of Sciences - Kuban State Agrarian University, Scientific Research Institute
of Biotechnology and Certification of Food-stuff Production

The haplodiplobion life cycle with sporic meiosis and isomorphic alternation of generations, the ability for vegetative reproduction, the rapid growth of thallus, a large amount of produced cells, and high specific production make *Ulva rigida* C. Ag. attractive for marine aquaculture. The paper is devoted to study biological features of *Ulva* growth and nutritional value under artificial conditions. It is shown how environmental factors affect the germination and formation of new plants. Preliminary data on nutritional value allow us to consider *Ulva* to low-calorie foods with a rich carbohydrate component. The mineral composition and a high concentration of iodine indicate the feasible usage of *Ulva* as a functional food ingredient.

ВВЕДЕНИЕ

Промысловое значение макрофитов Азово-Черноморского бассейна незначительно. Максимальные объемы вылова морских трав *Zostera marina* L., *Z. noltei* Hornem. приходились на 2006-2009 гг. (до 2164,6 т в 2009 г.), пик изъятия цистозирры бородатой *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh в 2002-2003 гг. не превысил 36,3-36,4 т; акватория произрастания еще одного, ранее промыслового вида, – филлофоры ребристой *Phyllophora nervosa* (DC.) Grev. –

получила статус ботанического заказника общегосударственного значения. Большинство макрофитов не являются объектами промысла, данные об их химическом составе, пищевой ценности, перспективных способах выращивания и переработки практически отсутствуют в отечественной литературе. Однако такие представители красных и зеленых водорослей как *pp. Callithamnion*, *Ulva*, *Cladophora* являются многочисленными представителями водных биоценозов прибрежных

вод двух морей и даже доминируют в составе перифитона.

Ульвофициевые (Ulvophyceae K.R. Mattox et K.D. Stewart, 1978) – класс макроскопических зеленых водорослей, включает восемь порядков. Структура порядка Ульвовых (Ulvales Blackman et Tansley, 1902) сложная, выделено восемь семейств, наиболее обширным является семейство с названием той же этимологии – Ulvaceae J.V. Lamouroux ex Dumortier (1822). В семейство входит 27 родов, 160 видов. Название класса, порядка и семейства образовано от типового рода Ульва (*Ulva* L.). В настоящее время в базе данных Algae Base (2019) имеется 407 названий видов данного рода, а также 201 внутривидовое название, но из названий видов только 132 были отмечены как принятые таксономически под названием вида [1]. Представители рода, обитающие в прибрежных водах Черного моря, – *Ulva rigida* C. Agardh, *U. prolifera* O.F. Muller, *U. linza* L., *U. intestinalis* L., *U. flexuosa* Wulfen, *U. clathrate* (Roth) C. Agardh [2].

Подавляющее большинство ульвовых – солоноватоводные или эвригалинные формы. Все представители порядка распространены на мелководье и только в редких случаях достигают глубины 20-30 метров. Длина таллома варьирует, составляя в среднем 0,3-1,5 метров.

Тип дифференциации таллома (слоевища) ульвовых – паренхиматозный, слабо дифференцированный. Заметно отличаются от остальных лишь крупные клетки в основании растения, снабженные ризоидными отростками [3].

Двуслойный пластинчатый таллом – главный признак этого рода, отличающий его от других водорослей семейства. Таллом ульвы имеет характерные краевые вмятины (рис. 1), рост происходит за счет диффузного деления клеток в основном по краям. Обычно ульва прикрепляется к субстрату с помощью ризоидальных отростков в нижней части таллома, изредка ризоидальные отростки расположены вдоль части или всей продольной оси пластины, где проходят между двумя клеточными слоями.



Рисунок 2. Клеточное строение таллома *U. rigida* C. Ag. (поверхностные клетки) (Ignacio Manuel Bárbara Criado, Испания, Галисия, Ría de Coruña, 2007) [1]

Figure 1. Cell structure of *U. rigida* C. Ag. thallus (surface cells) (Ignacio Manuel Bárbara Criado, Spain, Galicia, Ría de Coruña, 2007) [1]

Гаплодиплобионтный жизненный цикл со спорическим мейозом и изоморфным чередованием поколений, способность к вегетативному размножению, быстрый рост таллома, большое количество продуцируемых клеток, высокая удельная продукция делают *Ulva rigida* C. Ag. привлекательным объектом марикультуры. Работа посвящена исследованию биологических особенностей развития ульвы в искусственных условиях, ее пищевой ценности. Показано, как факторы внешней среды влияют на прорастание и формирование новых растений. Предварительные данные по пищевой ценности позволяют отнести *Ulva rigida* C. Ag. к низкокалорийным продуктам с богатой углеводной компонентой, минеральный состав и высокая концентрация йода свидетельствуют о возможном применении ульвы в качестве функционального пищевого ингредиента.



Рисунок 1. *Ulva rigida* C. Agardh, 1823 (wild type, аквариум, март, 2020)

Figure 1. *Ulva rigida* C. Agardh, 1823 (wild type, aquarium, march, 2020)

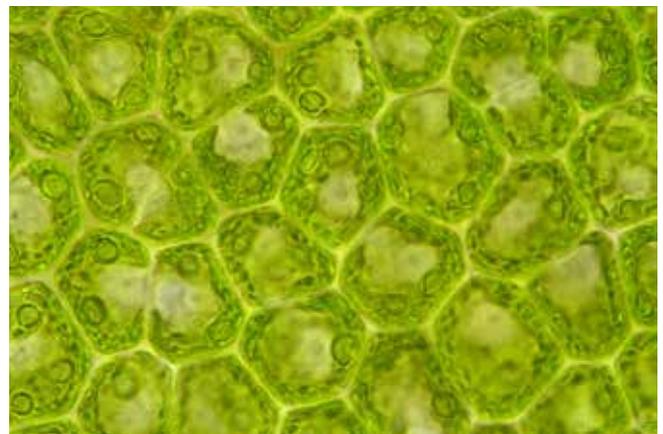


Таблица 1. Химический состав и энергетическая ценность *U. rigida* C. Ag. / **Table 1.** Chemical composition and nutritional value of macrophytes *U. rigida* C. Ag.

| Объект исследований | Содержание влаги, % | Массовая доля, % | | | Энергетическая ценность, кДж/100 г | |
|---------------------|---------------------|------------------|------|------|------------------------------------|-------|
| | | азота общего | зола | жира | | |
| <i>U. rigida</i> | 87,9 | 0,4 | 2,2 | 0,35 | 7,25 | 172,8 |

Таблица 2. Содержание пектиновых веществ в *U. rigida* C. Ag. / **Table 2.** Contents of pectin substances in *U. rigida* C. Ag.

| Объект исследований | Массовая доля пектиновых веществ, % | | |
|---------------------|-------------------------------------|-------------|---------------|
| | общее содержание | растворимых | нерастворимых |
| <i>U. rigida</i> | 1,46 | 0,65 | 0,81 |

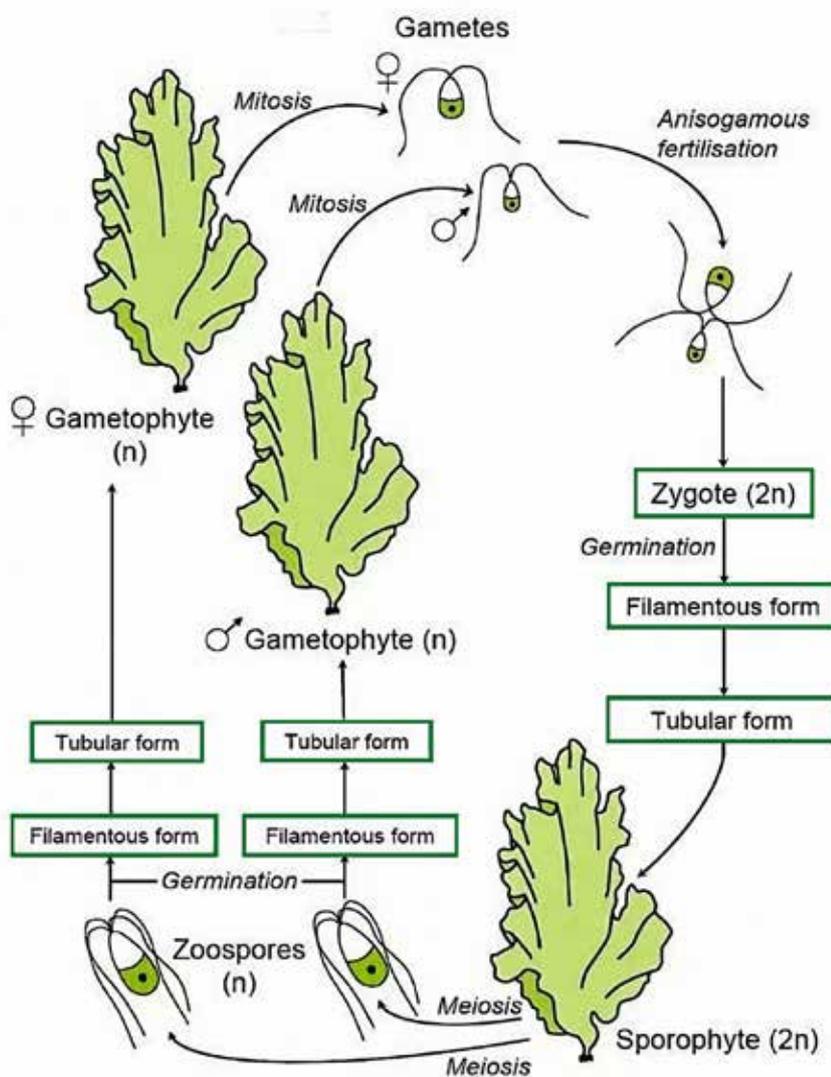


Рисунок 3. Жизненный цикл *p. Ulva* L. (URL: <http://botanystudies.com/life-cycles-algae>)

Figure 3. Life Cycle of *p. Ulva* L.

колеблется от 5 до 13 в гаплоидном талломе, причем наиболее распространенным является число 10 [1].

Жизненный цикл гаплодиплобионтный со спорическим мейозом (рис. 3). Гаплоидные стадии – гаметофит, гаметы, мейотические споры (апланоспоры). Диплоидные – спорофит, зигота. Всегда имеет место чередование генераций – диплоидного спорофита и гаплоидного гаметофита. Для ульвы характерно изоморфное чередование поколений. Следует отметить способность *U. rigida* C. Ag. к двум способам вегетативного размножения. Вегетативное размножение прикрепленной формы осуществляется путем прорастания клеток базального диска с образованием дополнительных побегов неприкрепленной формы – путем фрагментации. Для бесполого размножения служат квадрифлагеллированные зооспоры или, реже, апланоспоры. Гаметы более мелкие, бифлагеллированные. Половой процесс – изогамный. Специальные органы размножения отсутствуют. Гаметы и споры образуются в обычных вегетативных клетках и выходят в окружающую среду через округлое отверстие – пору, образующуюся на вершине сосочкообразного изгиба во внешней стенке клетки. В каждой клетке образуется 16-64 гаметы и 4-16 зооспор. Зооспоры и зиготы в благоприятных условиях быстро прорастают. Гаметы положительно фоточувствительны; после сингамии подвижные зиготы становятся негативно фоточувствительными. Зооспоры вначале положительно фоточувствительны, позже – отрицательно фоточувствительны [1; 4].

Клетки ульвовых содержат пристенный хлоропласт с одним или несколькими пиреноидами, ядро расположено по продольной оси клетки (рис. 2). Вегетативные клетки – одноядерные, ризоидальные клетки – часто многоядерные. Количество хромосом

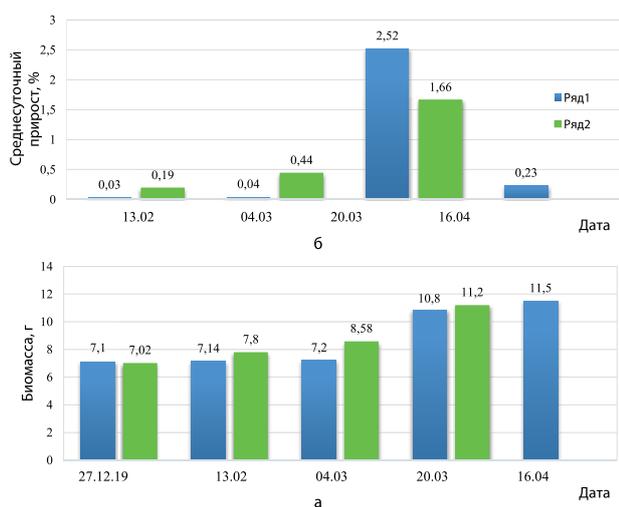


Рисунок 4. Изменение абсолютных величин (а) и среднесуточных приростов (б) биомассы ульвы при выращивании в лабораторных условиях (1 – соленость 22-29‰, 2 – соленость 18-23‰)

Figure 4. Change in absolute values (a) and daily average growths (b) of *Ulva* biomass in laboratory conditions (1 – salinity 22-29‰, 2 – salinity 18-23‰)

Бифлагелированные изогаметы выходят из материнской клетки, после чего гаметы, образованные разными гаметофитами, сливаются в воде. Образуется четырехжгутиковая зигота, которая активно парит в воде. После этого она опускается на какой-либо субстрат и покрывается плотной оболочкой, превращаясь таким образом в кодиолум, далее следует стадия физиологического покоя. При наступлении благоприятных условий прорастает в 4-16 зооспор или апланоспор, которые после непродолжительного периода плавания прикрепляются к субстрату и прорастают. Стадию однорядной нити при прорастании проходят и зооспоры, и зиготы. Клетка, от которой начинается развитие, делится на две – апикальную и базальную. В результате поперечных делений из первой образуется вертикальная нить, вторая превращается в первичный ризоид [1; 3; 4].

Быстрый рост таллома, большое количество продуцируемых клеток (за исключением ризоидальных клеток и некоторых базальных клеток, все клетки способны стать репродуктивными),

высокая удельная продукция делают ульву привлекательным объектом марикультуры. Представители *p. Ulva* широко культивируются в водах умеренных широт. Выращивают ее на сетках в толще воды в моно- и в поликультуре, а также в открытой и закрытой системах интегрированной марикультуры. Поглощая и усваивая неорганические и органические вещества отходов от культивирования животных, водоросли накапливают большую биомассу и большее количество белка, чем водоросли, культивируемые в экстенсивной монокультуре [5]. Они могут извлечь из воды до 80-90% жидких отходов, из них – до 60% соединений фосфора, примерно столько же азота и до 95% аммония [6-12].

Цель исследований заключалась в получении жизнеспособного поколения зеленой водоросли *U. rigida* C. Ag., предварительной оценке ее пищевой ценности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований служили образцы зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag., собранные в августе 2018 г., в декабре 2019 г. и в марте 2020 г. в акватории Керченского пролива (45°35' N, 36°52' E).

Выращивание ульвы проводили в лабораторных условиях в стеклянных аквариумах с постоянной аэрацией и циркуляцией воды с помощью

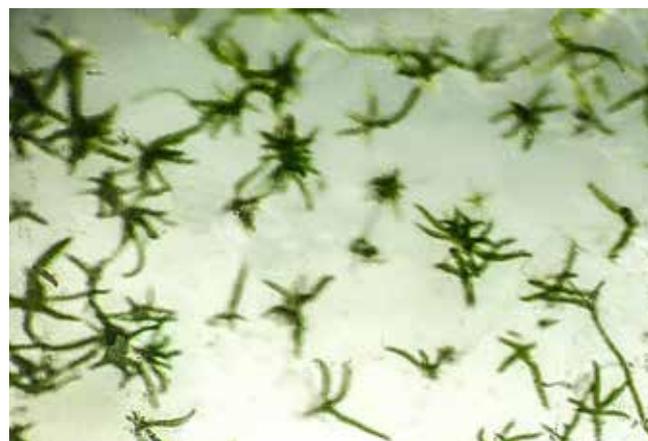


Рисунок 5. Проростки зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. (1823) (март 2020)

Figure 5. Sprouts of green algae *Ulva rigida* C. Ag. (1823) (March 2020)

Таблица 3. Аминокислотный состав белков *U. rigida* C. Ag. / **Table 3.** Amino acid composition of proteins in *U. rigida* C. Ag.

| Наименование аминокислоты | Содержание, % | Наименование аминокислоты | Содержание, % |
|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| Valine | 0,01 ± 0,004 | Histidine | Не обнаружено |
| Isoleucine + Leucine | 0,26 ± 0,07 | Arginine | 0,03 ± 0,01 |
| Lysine | 0,12 ± 0,04 | Proline | 0,11 ± 0,03 |
| Methionine | 0,14 ± 0,05 | Serine | 0,12 ± 0,03 |
| Threonine | 0,09 ± 0,04 | Glycine | 0,13 ± 0,04 |
| Phenylalanine | 0,13 ± 0,04 | Alanine | 0,2 ± 0,05 |
| Tyrosine | 0,09 ± 0,03 | | |

Таблица 4. Сравнительный состав незаменимых аминокислот белков макрофитов АЧБ /
Table 4. Comparative composition of essential amino acids macrophyte proteins in ABB

| Наименование незаменимой аминокислоты | Содержание, г/100 г белка | | | Содержание аминокислот, г/100 г идеального белка [15] |
|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|---|
| | <i>Callithamnion corymbosum</i> | <i>Cladophora sp.</i> | <i>Ulva rigida</i> | |
| Val | 4,2 | 5,6 | 0,7 | 5,0 |
| Ile + Leu | 10,0 | 15,6 | 18,2 | 4,0 + 7,0 |
| Lys | 4,0 | 5,6 | 8,4 | 5,5 |
| Met | 6,0 | 1,9 | 9,8 | 3,5 |
| Thr | 5,6 | 5,6 | 6,3 | 4,0 |
| Phe + Tyr | 5,8 | 10,6 | 15,4 | 6,0 |

Таблица 5. Состав минеральных веществ *U. rigida* C. Ag. /
Table 5. The composition of mineral elements in *U. rigida* C. Ag.

| Объект исследований | Массовая доля, % | | | | | |
|---------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----|
| | калий | натрий | магний | кальций | фосфор | йод |
| <i>U. rigida</i> | 0,31 ± 0,06 | 0,60 ± 0,12 | 0,20 ± 0,04 | 0,26 ± 0,05 | 0,019 ± 0,01 | 4,3 |

компрессоров. Периодически, по мере испарения, доливали свежую морскую воду соленостью 16-18‰. До начала эксперимента водоросли предварительно выдерживались (в течение трех недель) для адаптации в новых условиях.

Изменение продукционных показателей биомассы водоросли, в зависимости от условий выращивания, изучали по динамике ее абсолютных величин и среднесуточных приростов (Винберг, 1956).

Исследования химического состава проводили с применением стандартных методов, принятых в комплексном химическом анализе: общее содержание азотистых веществ – по методу Кьельдаля с применением автоазотоанализатора фирмы FOSS; минеральных веществ – гравиметрически, после сжигания при температуре 600-700°C, состав макро- и микроэлементов – методом капиллярного электрофореза, пектиновых веществ – кальций-пектатным методом. Сырьем служили водоросли, предварительно замороженные при температуре минус 18°C (no frost).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперимент по получению проростков ульвы предусматривал отработку режимов культивирования: в первом варианте (I) слоевища ульвы выращивались в условиях повышающейся соле-



Рисунок 6. Образование таллома *Ulva rigida* C. Ag. (1823)

Figure 6. Thallus formation *Ulva rigida* C. Ag. (1823)

ности с 22 до 26‰, во втором (II) – соленость поддерживалась в пределах 18-22‰ (рис. 4). Температура воды во всех аквариумах была одинаковой и, в зависимости от погодных условий, изменялась от 18 до 22,6°C, средняя – 20,8°C. Освещенность несколько различалась – в первом варианте варьировала в пределах 640-4500 люкс, во втором – 570-3800 люкс.

Процессы споро- и гаметогенеза у зеленых водорослей зависят от условий среды и в значительной мере от освещенности (продолжительности светового дня), солености и температуры. Так, вероятно, в связи с повышением в отдельные дни освещенности до 3,5-4,7 тыс. люкс и солености до 26‰, у ульвы (I) было отмечено интенсивное плодоношение, во II эксперименте также наблюдалось плодоношение, но процесс был менее активен. Как видно на рисунке 4, в период активного выхода спор рост биомассы ульвы (I) снижается, величина среднесуточных приростов составляет всего 0,03-0,043%. Со снижением освещенности в отдельные дни до 300-640 люкс рост биомассы увеличился (10.03-20.03), наблюдалось прорастание спор.

Массовое количество проростков было отмечено уже в конце января (30.01.2020), длина наиболее развитого луча проростка достигала 420 мкм, ширина – 21 мкм (рис. 5), количество лучей отмечалось от 3 до 8. Через месяц длина проростков составляла 525 мкм, ширина – 50 мкм.

При дальнейшем прорастании зародышей хорошо дифференцируется однорядная нить, состоящая из первичных прикрепляющихся клеток и ризоидальных расширений клеток в нижней области нити. Позже вертикальная нить становится пластинчатой из-за повторяющихся продольных клеточных делений, перпендикулярных поверхности нити (рис. 6). Разделение клеток вдоль продольной оси приводит к развитию трубчатого моностроматозного зачатка. Трубка со временем сжимается, а стенки прилипают, образуя дистроматическую пластину.



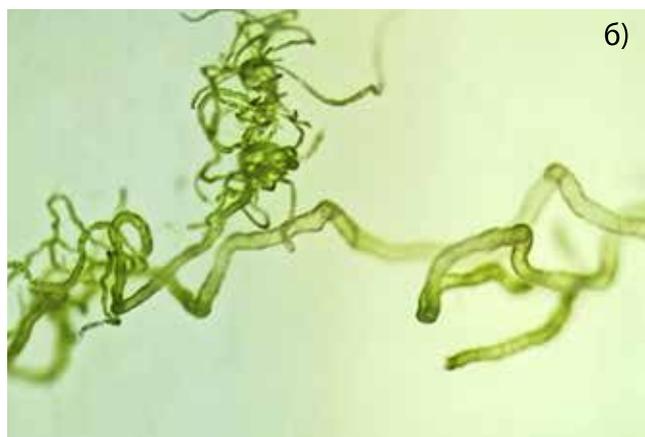
Рисунок 7. Разрастание и переплетение нитей ульвы при повышении солености и температуры (а), образование новых нитей (б)

Figure 7. The growth and interweaving of *Ulva* threads with increasing salinity and temperature (a), the formation of new threads (b)

При изменении условий среды (до 28°C, 30‰) первые деления могут вести к образованию стелющихся нитей, расположенных в форме диска, из клеток которого уже позднее вырастает одна или несколько вертикальных однорядных нитей (рис. 7; 28x).

Проведенный эксперимент показал также необходимость обязательной предварительной обработки морской воды, добавляемой в аквариумы. При отсутствии обеззараживания с водой привносятся нити кладофоры (*Cladophora spp.*). Нити *Cladophora spp.*, плотно охватывают проростки ульвы, препятствуют нормальному развитию водоросли, талломы обесцвечиваются и гибнут (рис. 8; 28x). *Cladophora spp.*, интенсивно размножаясь, быстро образует тину.

Представители р. *Ulva* L., или «морской салат», издавна употребляется в пищу. Слоевидца водорослей используют в свежем – для приготвления салата или в вареном виде при готовке супа, иногда добавляют в гарниры к рыбе либо мясу. Часто ульву, после соответствующей обработки, используют как добавку к тесту при выпечке сдобных изделий, благодаря чему они длительное время не черстве-



ют, приобретают своеобразный вкус и обогащаются витаминами.

Содержание белковых веществ в *U. rigida* C. Ag. составляло 19,0% а.с.в., преобладали углеводы – до 64,9% а.с.в. с содержанием пектиновых веществ до 12,1% (табл. 1, 2), при этом на фракцию нерастворимых пектинов приходится до 55,5% от их суммарного содержания. Для сравнения: содержание пектиновых веществ в традиционном источнике морского пектина *Zostera marina* L. составляет 11,0-12,2% а.с.в. Известно, что обменные процессы в водорослях летом и осенью направлены в сторону синтеза углеводов [13; 14].

Аминокислотный состав белковых веществ *U. rigida* C. Ag. несбалансирован по составу: лимитирующими аминокислотами триптофан и валин (табл. 3, 4), отмечено высокое содержание метионина и фенилаланина.

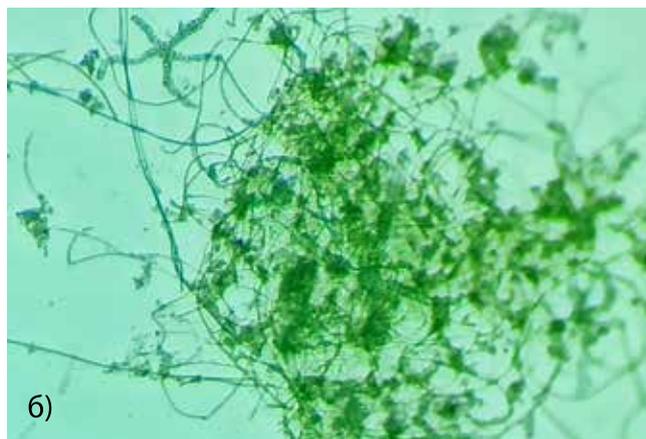


Рисунок 8. Нити *Cladophora spp.*, плотно охватывают проростки ульвы (а, б)

Figure 8. *Cladophora spp.* filaments tightly span *Ulva* seedlings (a, б)

Слоевидца ульвы богаты макро- и микроэлементами (табл. 5). Высокое содержание йода – 4,3-4,6% (физиологическая норма для взрослого человека 130-200 мкг/в сутки) позволяет говорить о целесообразности введения *U. rigida* в качестве функционального пищевого ингредиента. Ульву часто применяют в комплексных программах по снижению веса с целью нормализации обмена веществ в организме человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биологические особенности развития и высокая удельная продукция, богатая углеводная компонента, присутствие йода и низкая калорийность делают *Ulva rigida* C. Ag. привлекательным объектом марикультуры в Азово-Черноморском бассейне, что позволяет в перспективе рассматривать данный вид в качестве доступного сырьевого источника.

Установлено, что температура 18-23°C является благоприятной для роста ульвы в лабораторных условиях. При повышении солености выше 26‰ и освещенности, превышающей 3-4 тыс. люкс, интенсифицирует плодоношение ульвы, что значительно снижает рост биомассы. Проростки ульвы достаточно быстро развиваются и хорошо растут в лабораторных условиях, выдерживая значительные колебания параметров среды (солености и освещенности).

Проведенные исследования показали целесообразность поиска новых источников сырья морского происхождения для создания пищевых продуктов и ингредиентов определенной физиологической направленности.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Guiry, M. D. AlgaeBase. Всемирная Электронная публикация / Guiry M. D. & Guiry G. M. – Национальный университет Ирландии, Голуэй. – 2020. URL : <https://www.algaebase.org>.
- Milchakova, N. A. Marine Plants of the Black Sea. An Illustrated Field Guide / N.A. Milchakova. Sevastopol, DigitPrint, 2011. – 144 pp.
- Белякова, Г. А. Ботаника. Водоросли и грибы / Г.А. Белякова, Ю.Т. Дьяков, К.Л. Тарасов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. Т. 2. – 320 с.
- Belyakova, G. A. Botanika. Vodorosli i griby / G.A. Belyakova, YU.T. D'yakov, K.L. Tarasov. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2006. V. 2. – 320 p.

- Жизнь растений: в 6 т. / гл. ред. А. А. Федоров. – М.: Просвещение, 1977. – Т. 3 : Водоросли. Лишайники / под ред. М. М. Голлербаха. – 487 с.
- ZHizn' rastenij: v 6 t. / gl. red. A. A. Fyodorov. – M.: Prosveshchenie, 1977. V. 3: Vodorosli. Lishajniki / Edited by M. M. Gollerbaha. – 487 p.
- Титлянов, Э. А. Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование / Э. А. Титлянов, Т.В. Титлянова. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 337 с.
- Titlyanov, E. A. Morskie rasteniya stran Aziatsko-Tihookeanskogo regiona, ih ispol'zovanie i kul'tivirovanie / E. A. Titlyanov, T.V. Titlyanova. Vladivostok : Dal'nauka, 2012. – 337 p.
- Schneider, O. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems / O. Schneider, V. Sereti, E.H. Eding, J.A.J. Verreth // Aquac. Eng. 2004. Vol. 32. – P. 379-401.
- Buschmann, A. H. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile / A. H. Buschmann, D. Lopez, A. Medina // Aquac. Eng. 1996. Vol. 15. P. 397-421.
- Buschmann, A. H. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariiales, Rhodophyta) / A.H. Buschmann, M. Troell, N. Kautsky, L. Kautsky // Hydrobiologia. 1996. Vol. 326/327. – P. 75-82.
- Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 1. Phosphate / J.F. Martinez-Aragon, I. Hernandez, J.L. Perez-Llorens, R. Vazquez, J.J. Vergara // J. Appl. Phycol. – 2002. – Vol. 14, № 5. – P. 365-374.
- A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture / A. Neori, F.E. Msuya, L. Shauli, A. Schuenhoff, F. Kopel, M. Shpigel // J. Appl. Phycol. 2003. Vol. 15. – P. 543-553.
- Studies on the biofiltration capacity of *Gracilariopsis longissima*: from microscale to macroscale / I. Hernandez, A. Perez-Pastor, J.J. Vergara, J.F. Martinez-Aragon., M. A. Fernandez-Engo, J.L. Perez-Llorens // Aquaculture. 2005. Vol. 252. – P. 43-53.
- Hernandez, I. Integrated outdoor culture of two estuarine macroalgae as biofilters for dissolved nutrients from *Sparus auratus* waste waters / I. Hernandez, M.A. Fernandez-Engo, A. Perez-Pastor, J.J. Vergara // J. Appl. Phycol. 2005. Vol. 17. – P. 557-567.
- Барашков, Г.К. Сравнительная биохимия водорослей // Г.К. Барашков. М.: Книга по требованию, 2012. – 170 с.
- Barashkov, G. K. Sravnitel'naya biokhimiya vodoroslej / G. K. Barashkov. M.: Kniga po trebovaniyu, 2012. – 170 p.
- Муравьева, И. П. Химический состав *Ulva rigida* Ag. Из разных по степени загрязненности акваторий Севастополя (Черное море) / И.П. Муравьева // Экология моря, – 2002. Вып. 59. – С. 74-79.
- Murav'eva, I. P. Himicheskij sostav *Ulva rigida* Ag. Iz raznyh po stepeni zagryaznennosti akvatorij Sevastopolya (CHernoe more) / I. P. Murav'ev // Ekologiya morya, 2002. Issue 59. – Pp. 74–79.
- Покровский, А. А. О биологической и пищевой ценности пищевых продуктов // А.А. Покровский // Вопросы питания. 1975. № 3. – С. 25-40.
- Pokrovskij, A. A. O biologicheskoy i pishchevoj cennosti pishchevyh produktov / A. A. Pokrovskij // Voprosy pitaniya. 1975. Issue 3. – Pp. 25–40.