

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(3): 246–260

doi: 10.15407/alg27.03.246

УДК 582.272:577.1(267.37)

**ЧЕСАЛИН М.В.¹, АЛЬ-ХАССАНИ С.¹, РЯБУШКО В.И.², БОБКО Н.И.²,
ГУРЕЕВА Е.В.², НЕХОРОШЕВ М.В.²**

¹Fisheries Research Center Salalah, Ministry of Agriculture and Fisheries Wealth,
Salalah 217, P.O. Box 33, Sultanate of Oman

²Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского,
пр. Нахимова, 2, Севастополь 299011, Крым
rabushko2006@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ ФУКОКСАНТИНА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *NIZAMUDDINIA ZANARDINII* (*PHAEOPHYTA*) (МИРБАТ, ЮЖНЫЙ ОМАН, АРАВИЙСКОЕ МОРЕ)

Морские водоросли – богатый, но неиспользуемый промышленный ресурс макрофитов в Омане. Исследована концентрация пигмента фукоксантина и других химических веществ в бурой водоросли *Nizamuddinina zanardinii* (Schiff.) P.C. Silva, доминирующей у южного побережья Омана в Аравийском море. Биомасса водоросли составляла 7,0–7,9 кг·м⁻², сухая биомасса – 1,03–1,46 кг·м⁻² (около 15,9% сырой биомассы), концентрация фукоксантина в ней 15,5–17,3 мг/100 г сырой биомассы макрофита, процентное содержание альгината натрия 13–27%. Водоросль богата углеводами (более 60% сухой биомассы) и белком (15,5%), но имеет низкую калорийность и невысокое содержание золы и жиров. В *N. zanardinii* найдены высокие концентрации калия, магния, натрия, кальция и йода. Бурые водоросли являются одним из основных потенциальных промысловых ресурсов макрофитов в Омане и могут быть использованы для разработки новых продуктов.

Ключевые слова: бурая водоросль *Nizamuddinina zanardinii*, фукоксантин, альгинат, макроэлементы, металлы, Оман

Введение

В течение тысячелетий человек использует морские водоросли для производства продуктов питания, медикаментов и удобрений. Ранняя коммерциализация морских водорослей началась с производства соды и поташа из золы сожженных бурых водорослей, применяемых в XVII и XVIII вв. в производстве мыла и стекла, а в XIX в. – в качестве источника йода (Naylor, 1976). Открытие альгината британским фармацевтом Е. Стэнфордом в начале 1880-х годов привело к значительному увеличению коммерческого использования ресурсов бурых водорослей. В настоящее время индустрия морских водорослей существует в более чем 40 странах, ежегодно используется 7,5–8 млн т сырых макрофитов. Промышленность производит широкий ассортимент продуктов общей

© Чесалин М.В., Аль-Хассани С., Рябушко В.И., Бобко Н.И.,
Гуреева Е.В., Нехорошев М.В., 2017

стоимостью 5,5–6 млрд долл. США в год (McHugh, 2003). Выделенные из них соединения используют также для изготовления многих фармацевтических, косметических, сельскохозяйственных продуктов и биотоплива. Водоросли из штормовых выбросов высушивают, измельчают и используют как корм для скота, птицы и других домашних животных, а также в качестве удобрений. На рынке появляется много новых продуктов из морских водорослей. Макрофиты имеют большое значение как наиболее распространенный источник полисахаридов, таких как агар, каррагенан, фукоидан, фуцелларан и альгинат. В частности, альгинат используется в качестве загустителя, стабилизатора и связующего компонента в пищевых продуктах, медицине, текстиле, косметике и сельскохозяйственной продукции (Lianeras, 2000; Brownlee et al., 2005).

В последнее время возрос интерес к липидам из морских водорослей благодаря содержащимся в них важным биоактивным молекулам, таким как конъюгированные жирные кислоты, и пигментам (особенно фукоксантин), которые обладают выраженным физиологическим эффектом при лечении опухолевых заболеваний (Nosokawa et al., 2004). Фукоксантин представляет собой пигмент оранжевого цвета, каротиноид, который наряду с хлорофиллами и β -каротином содержится в бурых и диатомовых водорослях (Takaichi, 2011). Основное внимание уделяется исследованию свойств фукоксантина, поскольку он обладает выраженным противоопухолевым, противовоспалительным, антиангиогенным и антиокислительным свойствами (Peng et al., 2011; D'Orazio et al., 2012; Ryabushko et al., 2015; Zhang et al., 2015). Установлено, что диета, богатая фукоксантином, способствует уменьшению накопления жировых отложений и регулирует уровень глюкозы и инсулина в крови (Gammone et al., 2015). Фукоксантин не обладает побочными эффектами, улучшает работу сердечно-сосудистой системы, снижает уровень артериального давления и обладает гепатопротекторными свойствами (Shiratori et al., 2005; Tsukui et al., 2007; Kim et al., 2010). Поэтому фукоксантин назван сокровищем моря (D'Orazio et al., 2012).

Для побережья Омана идентифицированы 232 таксона морских водорослей, в т. ч. 15 видов бурых водорослей (Wynne, Jupp, 1998; Jupp, 2002). Летний апвеллинг поднимает к поверхности океана большое количество питательных веществ, что вызывает интенсивный рост бурых водорослей, среди которых преобладают *N. zanardinii*, *Ecklonia radiata* и *Sargassum ilicifolium* (Barratt et al., 1986; Jupp, 2002).

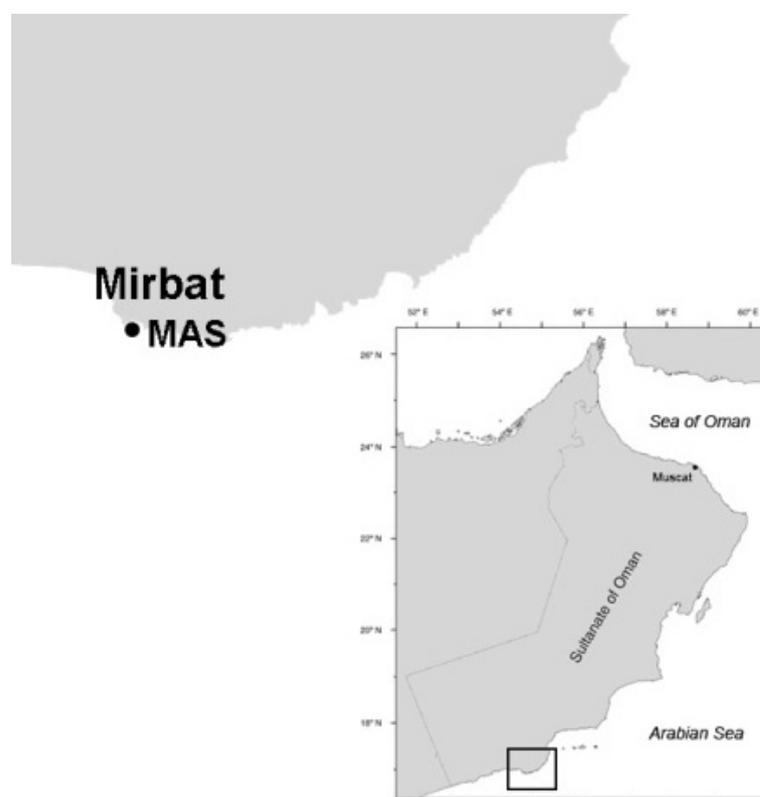
Эти крупные макрофиты вырастают до 1–2 м в длину и образуют т. н. «ламинариевый лес» вдоль побережья Аравийского моря Омана от Рас-эль-Хадда до Салалы с максимальным развитием вдоль Мирбата (Jupp, 2002). Имеется крайне мало сведений о химическом составе бурых водорослей этого региона. По *N. zanardinii* опубликовано только две работы. Одна из них посвящена содержанию эфирного масла (Firouzi et al., 2013) в этой водоросли, другая – цитотоксических

стеринов (Moghadam et al., 2013). Несколько работ были посвящены фитохимии *E. radiata* (Stewart, Higgins, 1960; Smith et al., 2010) и *S. ilicifolium* (Matloub, Awad, 2012; Basha, Muthukumar, 2014).

Поэтому целью данной работы было определение концентрации фукоксантина и некоторых других химических веществ в *N. zanardinii* для целесообразности ее дальнейшего практического использования.

Материалы и методы

Бурые водоросли были собраны в провинции Дофар вблизи станции аквакультуры Рыбохозяйственного научного центра г. Салал Министерства рыбного хозяйства Омана, расположенной у поселка Мирбат, в декабре 2013 г. с трех участков площадью 1 м² (см. рисунок). В лаборатории образцы тщательно промывали пресной водой для удаления соли и песка, просушивали фильтровальной бумагой и взвешивали на электронных весах с точностью до 10 г. Часть проб использовали для химического анализа, остальные высушивали при 28–30 °С в течение четырех дней.



Место сбора проб *Nizamuddinina zanardinii* возле станции аквакультуры Мирбат

Определение фукоксантина методом тонкослойной хроматографии. Для экстракции фукоксантина свежую водоросль измельчали до 3–5 см, помещали в емкости из темного стекла и заливали 99,9%-ным этанолом в разных соотношениях (1 : 1; 1 : 2,3; 1 : 4,1; 1 : 4,4). Образцы хранили в темноте в течение трех дней при комнатной температуре, затем растворы фильтровали. Для отделения фукоксантина от этанольных экстрактов применяли метод тонкослойной хроматографии. Аликвоты (0,05 мл и 0,1 мл) помещали на стеклянные пластины (20 × 20 см), покрытые силикагелем 0,5 мм (Kieselgel 60 G, Merck No. 7731 (45 г), с добавлением дистиллированной воды (90 мл). Элюент – н-гексан : ацетон (7 : 3). Затем пластины помещали в хроматографическую камеру на 1 ч. Rf фукоксантина составляет 0,18. Слой силикагеля, содержащий желто-коричневый пигмент, счищали скальпелем и растворяли в 4 мл этанола. Оптическую плотность (D) измеряли с помощью спектрофотометра Vertex 80v Bruker Spectrometer. Хроматографическое определение фукоксантина осуществляли при длине волны 450 нм. Содержание каротиноида (F , мг) в спиртовом экстракте рассчитывали по формуле (Campbell, 1969):

$$Fmg = \frac{D \times V \times 10}{E}$$

где D – оптическая плотность, нм; V – объем экстракта, мл; E – коэффициент экстинкции, равный 1280 (Kanazawa et al., 2008). Концентрацию фукоксантина рассчитывали на 1 г сухой биомассы водоросли. Ранее стандарт фукоксантина был получен в кристаллической форме из бурых водорослей *Cystoseira barbata* (Ryabushko et al., 2014), идентифицирован методом ядерного магнитного резонанса ($^1\text{H-NMR}$) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC) в Research Institute for Product Development (Киото, Япония).

Экстракция альгината. Водоросли после экстракции фукоксантина и собранные в прибрежье использовали для получения альгината методом, описанным McHugh (2003). Образцы измельченных макрофитов заливали водой, добавляя порошкообразный карбонат натрия, нагревали до 80 °С, постоянно перемешивая на протяжении 2 ч. После осаждения взвеси в течение 2 ч полученную смесь фильтровали, затем обрабатывали 5%-ным раствором CaCl_2 , суспендировали в воде и отбеливали раствором гипохлорита натрия (5%). После фильтрации волокна альгината кальция обрабатывали 10%-ной HCl до образования альгиновой кислоты. К альгиновой кислоте добавляли карбонат натрия и высаживали альгинат абсолютным этанолом. Затем альгинат натрия сушили при 60 °С до получения порошка.

Химические методы. Концентрацию белка в пробах определяли по методу Лоури с фенольным реагентом Фолина (Lowry et al., 1951). Общие липиды измеряли весовым методом, описанным Kates (1972). Углеводы определяли способом, описанным Облучинской и др. (2004).

Концентрацию элементов измеряли с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием Varian SpectrAA 5. Содержание металлов рассчитывали в мг/100 г сухой биомассы водоросли. Измерения проводили в четырех повторностях.

Результаты

Бурые водоросли, собранные в прибрежье Мирбата, были идентифицированы как *Nizamuddinia zanardinii* (Schiffner) P.C. Silva, 1996 (Jupp, 2002). Этот вид принадлежит к классу *Phaeophyceae*, порядку *Fucales*, семейству *Sargassaceae*. Бурая водоросль *N. zanardinii*, ранее известная как *Sargassopsis zanardinii*, распространена в северо-западной части Индийского океана в прибрежных районах Аравийского моря вдоль Йемена (Schiffner, 1934), о. Сокотра (Kemp, 1998), Омана (Nizamuddin et al., 1993) и в водах Пакистана и Ирана (Silva et al., 1996). Водоросль обитает на морском дне от верхней сублиторали до глубины 15–20 м. Макрофит начинает расти в июне и июле в начале юго-западного муссона. Некоторые растения могут достигать 1,0–1,5 м длины за 4–5 месяцев. В октябре–декабре зафиксированы максимальные их размеры. Деграция *N. zanardinii* происходит в декабре–марте, а в апреле–мае все растения отмирают. Таким образом, популяция бурых водорослей имеет высокий темп роста и большую продуктивность в течение года. У *N. zanardinii* есть рецептакулы в центральной репродуктивной части и воздушные пузыри, которые помогают держать талломы в вертикальном положении, а также плавать на поверхности моря после отрыва от субстрата. В декабре водоросли часто формируют большие «плоты», дрейфующие вдоль побережья Дофара (Jupp, 2002). Как правило, дрейфующие водоросли и штормовые выбросы в Мирбате состоят в основном из *N. zanardinii*.

Сырая биомасса водорослей варьировала от 7,0 до 7,9 кг·м⁻², сухая составляла 1,03–1,46 кг·м⁻² (в среднем 15,9% сырой биомассы). В декабре у *N. zanardinii* появлялись признаки деграции, многие листья имели небольшие отверстия, а репродуктивная часть была хорошо развита. Свежесобранные водоросли разделяли на шесть образцов (по два на целый таллом, листья и репродуктивную часть с рецептакулами) для определения концентрации фукоксантина. Содержание его в листьях и репродуктивных частях с рецептакулами *N. zanardinii* варьировало от 15,5 до 17,3 мг/100 г сырой биомассы (табл. 1).

Максимальная концентрация фукоксантина в экстракте получена при соотношении биомасса : этанол, равном 1 : 4,4, а минимальная — при 1 : 1. Однако наибольшая концентрация фукоксантина из расчета на 500 мл этанола (36 мг/500 мл) получена при соотношении биомасса : этанол 1 : 1. При второй экстракции этанолом этих образцов концентрация пигмента составила только 1–2% начального значения.

По литературным данным различные виды бурых водорослей содержат от 8 до 32 мг фукоксантина/100 г сырой биомассы (табл. 2).

Полученные нами результаты согласуются с данными, представленными Kanazawa et al. (2008) для *Saccharina japonica*.

Таблица 1

Содержание фукоксантина в *Nizamuddinina zanardinii*

Образец	Часть водоросли	Сырая биомасса, г	Соотношение биомасса : этанол	Концентрация фукоксантина	
				мг/100 г сырой биомассы	мг/500 мл экстракта
1	Листья	121	1 : 4,1	15,5	18,7
2	—"	—"	—"	16,8	20,3
3	Репродуктивная часть с рецептакулами	113	—"	16,5	18,6
4	—"	—"	—"	17,3	19,5
5	Таллом	221	1 : 2,3	11,3	25,0
6	—"	505	1 : 1	7,1	36,0

Таблица 2

Содержание фукоксантина в различных бурых водорослях

Вид	Концентрация фукоксантина, мг/100 г сырой биомассы	Литература
<i>Saccharina japonica</i>	17,8–21,3	Kanazawa et al., 2008
<i>Laminaria religiosa</i>	24,1	Mori et al., 2004
<i>Undaria pinnatifida</i>	11,1	Kanazawa et al., 2008
<i>Undaria pinnatifida</i>	32,3–32,6	Mori et al., 2004
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	24,1	Mori et al., 2004
<i>Nizamuddinina zanardinii</i> (без таллома)	15,5–17,3	Наши данные

Бурая водоросль *N. zanardinii* богата углеводами, в основном в виде альгинатов, и белком, но содержит мало жиров, золы и обладает низкой калорийностью (табл. 3). После экстракции альгината натрия из *N. zanardinii* стандартным щелочным методом выход альгината составил 13–27% (в среднем 20%).

Анализ минерального состава *N. zanardinii* показал, что макрофит имеет высокую концентрацию кальция, калия, магния, йода и железа, но относительно низкий уровень натрия (табл. 4). Соотношение натрия : калий (Na : K) составило 1 : 5,8–7,7.

Общая характеристика состава *Nizamuddinina zanardinii*

Вещество	Сухая биомасса, %
Углеводы	60,4
Белки	15,5
Жиры	1,1
Зола	23,0
Калорийность (на 100 г), ккал	321,4

Обсуждение

Бурые водоросли *Nizamuddinina zanardinii* являются одним из потенциальных морских промысловых ресурсов Омана, который может быть использован для создания новых промышленных продуктов. Водоросль *N. zanardinii* образует большие колонии (ламинариевый лес) вдоль южного берега Омана у побережья Аравийского моря от Мирбата до Рас-эль-Хадда (около 1000 км). Согласно нашим данным, биомасса *N. zanardinii* в районе Мирбата составляет 7–8 кг/м². Существует возможность добычи сотен тонн сырья, что достаточно для переработки водорослей в промышленном масштабе. В течение зимнего и весеннего периода водоросли легко отделяются от дна, дрейфуют в толще воды и их зачастую выбрасывает на берег. Таким образом, они создают обширные запасы выбрасываемой на берег биомассы, которая покрывает многие мили береговой зоны в провинциях Дофар и Аль-Вуст.

Результаты химического анализа показывают, что бурая водоросль *N. zanardinii* является богатым источником фукоксантина (15,5–17,3 мг/100 г сырой биомассы), что сравнимо с концентрацией пигмента у ламинарии *Saccharina japonica*, которая используется в Японии для промышленного производства фукоксантина (Kanazawa et al., 2008). Наивысший выход фукоксантина получен при соотношении сырья с этанолом 1:1, т. е. лучше экстрагировать фукоксантин меньшим количеством этанола (1:1 вместо 1:4), что снижает себестоимость производства.

Из *N. zanardinii* можно получить значительное количество альгината натрия, который составляет 13–27% общей сырой биомассы макрофита. Эта величина сравнима с выходом альгината из других бурых водорослей, таких, например, как *Sargassum* spp. (17,5–21%) из Эритрейских вод Красного моря (Basha et al., 2011) и *Padina* sp., *Sargassum* sp. (16,9–30,5%) из морей Индонезии (Mushollaeni, 2011).

Известно, что ламинариевые водоросли содержат много полезных неорганических и органических соединений, имеют хорошо сбалансированный состав минералов, включая кальций, йод и микроэлементы. В них также присутствует достаточное количество белка, витаминов и не-

Таблица 4

Минеральный состав некоторых морских водорослей, мг/100 г сухой массы

Вид	Ca	K	Mg	Na	Sr	I	Cu	Zn	Fe	Источник
<i>Fucus vesiculosus</i>	725–938	2500–4322	670–994	2450–5469	–	14,5	< 0,5	3,71	4–11	Ruřrez, 2002; Pereira, 2011
<i>Himanthalia elongata</i>	720	8250	435	4100	–	14,7	–	–	–	Pereira, 2011
<i>Laminaria digitata</i>	1005	11–79	659	3818	–	–	< 0,5	1,77	3,2–9,0	Ruřrez, 2002
<i>Saccharina latissima</i>	810	4330	715	2620	–	15,9	–	–	–	Pereira, 2011
<i>Saccharina japonica</i>	225–910	4350–5951	550–757	2532–3260	9,0	130–690	0,25–0,4	0,89–1,63	1,2–43	Funaki et al., 2001; Kolb et al., 2004; Krishnaiah et al., 2008; Воробьев, 2015
<i>Undaria pinnatifida</i>	680–1380	5500–6810	405–680	1600–7000	–	22–30	0,1–8,5	0,94–4,0	1,5–30	Kolb et al., 2004; Pereira, 2011
<i>Nizamiddinia zanardini</i>	827–973	7516–8484	1121–1279	1098–1302	172–228	124–176	3,4–4,6	5,8–7,4	39–66	Наши данные

которых жирных кислот (Schall et al., 1994; Mori et al., 2004; MacArtain et al., 2007). В целом, питательная ценность *N. zanardinii* подобна другим видам съедобных бурых водорослей. Содержание углеводов, белков, жиров и минералов сходно с их составом у *Himanthalia elongata* и *Saccharina latissima* (Pereira, 2011).

Установлено, что бурая водоросль *N. zanardinii* также богата минеральными элементами, в т. ч. кальцием, калием, магнием и йодом. Соотношение Na : K превышает 1 : 5, в то время как для других видов морских водорослей оно меньше (Rupérez, 2002). Наличие сбалансированного соотношения Na и K в водорослях очень важно в лечебном питании, так как диеты с высоким соотношением Na : K часто назначают больным гипертонией (Handbook..., 2012).

Учитывая, что кальций и магний содержатся в водорослях в виде солей органических кислот (усвояемые органические соединения) (Облучинская и др., 2004), можно использовать *N. zanardinii* в качестве источника этих макронутриентов. Калий известен как необходимый элемент для нормального функционирования клеток, а богатые калием продукты могут снизить риск высокого кровяного давления, заболеваний сердца и почек. Йод в водорослях представлен приблизительно на 50% в виде органических соединений и на 50% – в неорганических формах, поэтому во многих странах мира бурые водоросли используются как источник данного микроэлемента (Pereira, 2011). В сравнении с другими видами водорослей, минеральный состав *N. zanardinii* наиболее близок к составу широко используемой в питании ламинарии *Saccharina japonica*. Бурая водоросль *N. zanardinii* содержит в больших концентрациях медь, цинк и железо, чем многие другие макрофиты, однако содержание этих элементов укладывается в рамки стандартов безопасности пищевых продуктов (Технический..., 2011). Водоросль имеет еще одно ценное качество, поскольку является источником липидов (Firouzi et al., 2013) и гидроксистеролов, которые обладают цитотоксическим эффектом в отношении различных опухолевых клеток, в т. ч. аденокарциномы прямой кишки человека (Moghadam et al., 2013).

Выводы

Бурая водоросль *Nizamuddinia zanardinii* является источником большого количества природных химических соединений, из которых могут быть получены лекарственные, пищевые, сельскохозяйственные, косметические и другие продукты в промышленных масштабах с применением передовых технологий. Однако для определения объемов добычи бурых водорослей в Омане, следует учесть их природные запасы во избежание экологических рисков. Социальные конфликты могут препятствовать промышленному использованию этого ресурса. Правительству Омана необходимо установить законодательную базу, которая будет регулировать коммерческую деятельность по сбору водорослей в

прибрежной зоне, чтобы избежать нежелательного антропогенного влияния на прибрежную среду.

Выражаем благодарность Министерству сельского хозяйства и рыболовства Омана за поддержку в проведении пилотных исследований. Также выражаем благодарность Ali Al-Mashiki, Mohammed Balkhair и команде дайверов Рыбохозяйственного научного центра в Салале за помощь в сборе образцов. Выражаем отдельную благодарность доктору биол. наук Т. Маока из Research Institute for Production Development (Киото, Япония) за помощь при оценке стандартов фукоксантина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воробьев В.В. Биопотенциал морских водорослей и гидробионтов в лечении и профилактике эндокринных болезней. *Рыб. хоз.* 2015. (4): 119–126.
- Облучинская Е.Д., Воскобойников Г.М., Минина С.А. Полисахариды в бурых водорослях. *Фармация.* 2004. 3: 15–18.
- Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции»* (ТР ТС 021/2011). Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 880.
- Barratt L., Ormond R.F.G., Wrathall T.J. *Ecology and productivity of the sublittoral algae Ecklonia radiata and Sargassopsis zanardinii*. Pt I. *Ecological studies of southern Oman kelp communities*. Muscat; Kuwait: Council Conservat. Environ. and Water Res., Reg. Org. Protect. Mar. Environ., 1986. P. 1–20.
- Basha N.S., Rekha R., Letensie A., Mensura S. Preliminary investigation on sodium alginate extracted from *Sargassum subrepandum* of Red Sea of Eritrea as tablet binder. *J. Sci. Res.* 2011. 3: 619–628. doi: 10.3329/jsr.v3i3.6770
- Basha S.F., Muthukumar C. Preliminary phytochemical screening and invitro angiotension activity of bioactive compound – steroid isolated from *Sargassum ilicifolium*. *Int. J. Pharm. and Pharmaceut. Sci.* 2014. 6(2): 299–301.
- Brownlee I.A., Allen A., Pearson J.P., Dettmar P.W., Havler M.E., Atherton M.R., Onsøyen E. Alginate as a source of dietary fiber. *Critical Rev. in Food Sci. and Nutr.* 2005. 45(6): 497–510. doi: 10.1080/10408390500285673
- Campbell S.A. Seasonal cycles in the carotenoid content in *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 1969. 4: 227–232.
- D'Orazio N., Gemello E., Gammone M.A., de Girolamo M., Ficoneri C., Riccioni G. Fucoxantin: a treasure from the sea. *Mar. Drugs.* 2012. 10(3): 604–616. doi: 10.3390/md10030604
- Firouzi J., Gohari A.R., Rustaiyan A., Larijani K., Saeidnia S. Composition of the essential oil of *Nizamuddinia zanardinii*, a brown alga collected from Oman Gulf. *J. Essential Oil Bearing Plants.* 2013. 16(5): 689–692. doi: 10.1080/0972060X.2013.862072
- Gammone M.A., Riccioni G., D'Orazio N. Carotenoids: potential allies of cardiovascular health? *Food & Nutr. Res.* 2015. 59: 1–11. doi: 10.3402/fnr.v59.26762
- Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and applied phycology*. Ed. S.K. Kim. New Delhi: John Wiley & Sons Ltd., 2012. 592 p.

- Hosokawa M., Kudo M., Maeda H., Kohno H., Tanaka T., Miyashita K. Fucoxanthin induces apoptosis and enhances the antiproliferative effect of the PPAR γ ligand, troglitazone, on colon cancer cells. *Biochim. Biophys. Acta*. 2004. 1675(1–3): 113–119. doi: 10.1016/j.bbagen.2004.08.012
- Jupp V.P. *Guidebook to the seaweeds of the Sultanate of Oman*. Oman: Min. Agr. and Fisher., Mar. Sci. and Fisher. Centre, 2002. 152 p.
- Kanazawa K., Ozaki Y., Hashimoto T., Das S.K., Matsushita S., Hirano M., Okada T., Komoto A., Mori N., Nakatsuka M. Commercial-scale preparation of biofunctional fucoxanthin from waste parts of brown sea algae *Laminaria japonica*. *Food Sci. and Technol. Res*. 2008. 14(6): 573–582. doi: 10.3136/fstr.14.573
- Kates M. *Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids*. Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1972. 342 p.
- Kemp J.M. The occurrence of *Nizamuddinina zanardinii* (Schiffner) P.C. Silva (*Phaeophyta. Fucales*) at the Socotra Archipelago. *Bot. Mar*. 1998. 41(3): 345–348.
- Kim K.N., Heo S.J., Kang S.M., Ahn G., Jeon Y.J. Fucoxanthin induces apoptosis in human leukemia HL-60 cells through a ROS-mediated Bcl-xL pathway. *Toxicol. in Vitro*. 2010. 24: 1648–1654. doi: 10.1016/j.tiv.2010.05.023
- Kolb N., Vallorani L., Milanovi N., Stocchi V. Evaluation of marine algae Wakame (*Undaria pinnatifida*) and Kombu (*Laminaria digitata japonica*) as food supplements. *Food Technol. and Biotechnol*. 2004. 42(1): 57–61. doi: 10.1007/s10811-015-0587-4
- Krishnaiah D., Rosalam S., Prasad D.M.R., Bono A. Mineral content of some seaweeds from Sabah's South China Sea. *Asian J. Sci. Res*. 2008. 1(2): 166–170. doi: 10.3923/ajsr.2008.166.170
- Lianeras M. Seaweed products: brown algae of economic significance. In: *Marine and freshwater products handbook*. Lancaster, Pennsylvania: Techn. Publ. Co. Inc., 2000. P. 531–540.
- Lowry O.H., Rosenbrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *J. Biol. Chem*. 1951. 193: 265–275.
- MacArtain P., Gill C.I.R., Brooks M., Campbell R., Rowland I.R. Nutritional value of edible seaweeds. *Nutr. Rev*. 2007. 65(12): 535–543. doi: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00278.x
- Matloub A.A., Awad N.E. Phycochemistry of some *Sargassum* spp. and their cytotoxic and antimicrobial activities. *Egypt. Pharm. J*. 2012. 11(2): 99–108. doi: 10.7123/01.EPJ.0000419800.62958.79
- McHugh D.J. *A guide to the seaweed industry*. Rome: FAO Fisher. Techn. Paper, 2003. Vol. 441. 105 p.
- Moghadam M.H., Firouzi J., Saeidnia S., Hajimehdipoor H., Jamili S., Rustaiyan A., Gohari A.R. A cytotoxic hydroperoxy sterol from the brown alga, *Nizamuddinina zanardinii*. *Daru*. 2013. 21(24): 1–4. doi: 10.1186/2008-2231-21-24
- Mori K., Ooi T., Hiraoka M., Oka N., Hamada H., Tamura M., Kusumi T. Fucoxanthin and its metabolites in edible brown algae cultivated in deep seawater. *Mar. Drugs*. 2004. 2(2): 63–72. doi: 10.3390/md202063
- Mushollaeni W. The physicochemical characteristics of sodium alginate from Indonesian brown seaweeds. *Afr. J. Food Sci*. 2011. 5(6): 349–352.
- Naylor J. *Production, trade and utilization of seaweeds and seaweed products*. Rome: FAO Fisher. Techn. Paper, 1976. Vol. 159. 73 p.

- Nizamuddin M., Hiscock S., Barratt L., Ormond R.F.G. The occurrence and morphology of *Sargassopsis* gen. nov. (*Phaeophyta, Fucales*) in southern Oman. *Bot. Mar.* 1993. 36(2): 109–121. doi: 10.1515/botm.1993.36.2.109
- Peng J., Yuan J.P., Wu C.F., Wang J.H. Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health. *Mar. Drugs.* 2011. 9(10): 1806–1828. doi: 10.3390/md9101806
- Pereira L. A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds ecology. In: *Seaweed: nutrient composition and medicinal uses*. New York: Nova Sci. Publ. Inc., 2011. P. 15–47.
- Rupérez P. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chem.* 2002. 79(1): 23–26. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00171-1
- Ryabushko V.I., Musatenko L.I., Voytenko L.V., Popova E.V., Nechoroshev M.V. Functional role of fucoxanthin and brown algae phytohormones. *Int. J. on Algae.* 2015. 17(1): 68–81. doi: 10.1615/InterJAlgae.v17.i1.60
- Ryabushko V.I., Prazukin A.V., Popova E.V., Nekhoroshev M.V. Fucoxanthin of the brown algae *Cystoseira barbata* (Stackh.) C. Agardh from the Black Sea. *J. Black Sea/Mediterr. Environ.* 2014. 20(2): 108–113.
- Schall C., Laturus F., Heumann K.G. Biogenic volatile organoiodine and organobromine compounds released from polar macroalgae. *Chemosphere.* 1994. 28(7): 1315–1324.
- Schiffner V. Acystis, eine neue gattung der sargassaceen und über einige algen aus dem Roten mere. *Hedwigia.* 1934. 7: 115–118.
- Shiratori K., Okgami K., Ilieva I., Jin X.H., Koyama Y., Miyashita K., Yoshida K., Kase S., Ohno S. Effects of fucoxanthin on lipopolysaccharide-induced inflammation in vitro and in vivo. *Exp. Eye Res.* 2005. 81: 422–428. doi: 10.1016/j.exer.2005.03.002
- Silva P.C., Basson P.W., Moe R.L. *Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean*. Berkeley: Univ. Calif. Press, 1996. 1280 p.
- Smith J.L., Summers G., Wong R. Nutrient and heavy metal content of edible seaweeds in New Zealand. *New Zealand J. Crop and Horticult. Sci.* 2010. 38(1): 19–28. doi: 10.1080/01140671003619290
- Stewart C.M., Higgins H.G. Carbohydrates of *Ecklonia radiata*. *Nature.* 1960. 187: 511. doi: 10.1038/187511a0
- Takaichi S. Carotenoids in algae: Distributions, biosyntheses and functions. *Mar. Drugs.* 2011. 9: 1101–1118. doi: 10.3390/md9061101
- Tsukui T., Konno K., Hosokawa M., Maeda H., Sashima T., Miyashita K. Fucoxanthin and fucoxanthinol enhance the amount of docosa-hexaenoic acid in liver of KKAY obese/diabetic mice. *J. Agricult. and Food Chem.* 2007. 55: 5025–5029. doi: 10.1021/jf070110q
- Wynne M.J., Jupp B.P. The benthic marine algal flora of the Sultanate of Oman. *New Records Bot. Mar.* 1998. 41(1): 7–14.
- Zhang H., Tang Y., Zhang Y., Zhang S., Qu J., Wang X., Kong R., Han Ch., Liu Z. Fucoxanthin: a promising medicinal and nutritional ingredient. In: *Evidence-based complementary and alternative medicine*. Article ID 723515, 2015. doi: 10.1155/2015/723515

Поступила 2 марта 2017 г.

Подписала в печать Е.К. Золотарева

REFERENCES

- Barratt L., Ormond R.F.G., Wrathall T.J. *Ecology and productivity of the sublittoral algae Ecklonia radiata and Sargassopsis zamrdinii. Pt I. Ecological studies of southern Oman kelp communities*. Muscat, Kuwait: Counc. Cons. Environ. and Water Res., Reg. Org. Protect. Mar. Environ, 1986.
- Basha N.S., Rekha R., Letensie A. *J. Sci. Res.* 2011. 3: 619–628. doi: 10.3329/jsr.v.313.6770
- Basha S.F., Muthukumar C. *Int. J. Pharm. and Pharmaceut. Sci.* 2014. 6(Suppl. 2): 299–301.
- Brownlee I.A., Allen A., Pearson J.P. *Critical Rev. in Food Sci. and Nutr.* 2005. 45(6): 497–510. doi: 10.1080/10408390500285673
- Campbell S.A. *Mar. Biol.* 1969. 4: 227–232.
- D'Orazio N., Gemello E., Gammone M.A., de Girolamo M., Ficoneri C., Riccioni G. *Mar. Drugs.* 2012. 10(3): 604–616. doi: 10.3390/md10030604
- Firouzi J., Gohari A.R., Rustaiyan A., Larijani K., Saeidnia S. *J. Essential Oil Bearing Plants.* 2013. 16(5): 689–692. doi: 10.1080/0972060X.2013.862072
- Gammone M.A., Riccioni G., D'Orazio N. *Food & Nutr. Res.* 2015. 59: 1–11. doi: 10.3402/fnr.v59.26762
- Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and applied phycology*. Ed. S.K. Kim. New Delhi: John Wiley & Sons, Ltd. 2012.
- Hosokawa M., Kudo M., Maeda H., Kohno H., Tanaka T., Miyashita K. *Biochim. et Biophys. Acta.* 2004. 1675(1–3): 113–119. doi: 10.1016/j.bbagen.2004.08.012
- Jupp B.P. *Guidebook to the seaweeds of the Sultanate of Oman*. Oman: Min. Agr. and Fisher., Mar. Sci. and Fisher. Centre, 2002.
- Kanazawa K., Ozaki Y., Hashimoto T., Das S.K., Matsushita S., Hirano M., Okada T., Komoto A., Mori N., Nakatsuka M. *Food Sci. and Technol. Res.* 2008. 14(6): 573–582. doi.org/10.3136/fstr.14.573
- Kates M. *Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids*. Amsterdam: North-Holland Publ., 1972.
- Kemp J.M. *Bot. Mar.* 1998. 41(3): 345–348.
- Kim K.N., Heo S.J., Kang S.M., Ahn G., Jeon Y.J. *Toxicol. in Vitro.* 2010. 24: 1648–1654. doi: 10.1016/j.tiv.2010.05.023
- Kolb N., Vallorani L., Milanovi N., Stocchi V. *Food Technol. and Biotechnol.* 2004. 42(1): 57–61. doi:10.1007/s10811-015-0587-4
- Krishnaiah D., Rosalam S., Prasad D.M.R., Bono A. *Asian J. Sci. Res.* 2008. 1: 166–170. doi: 10.3923/ajsr.2008.166.170
- Lianeras M. Seaweed products: brown algae of economic significance. In: *Marine and freshwater products handbook*. Lancaster, Pennsylvania, USA: Techn. Publ. Co. Inc., 2000. P. 531–540.
- Lowry O.H., Rosenbrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. *J. Biol. Chem.* 1951. 193: 265–275.
- MacArtain P., Gill C.I.R., Brooks M., Campbell R. *Nutr. Rev.* 2007. 65(12): 535–543. doi: 10.1111/j.1753-4887.2007.tb00278.x
- Matloub A.A., Awad N.E. *Egypt. Pharm. J.* 2012. 11(2): 99–108. doi: 10.7123/01.EPJ.0000419800.62958.79
- McHugh D.J. *FAO Fisher. Techn. Paper* (Rome). 2003. (441): 118.
- Moghadam M.H., Firouzi J., Saeidnia S. *Daru*, 2013, 21(24): 1–4. doi:10.1186/2008-2231-21-24
- Mori K., Ooi T., Hiraoka M., Oka N., Hamada H., Tamura M., Kusumi T. *Mar. Drugs.* 2004. 2(2): 63–72. doi: 10.3390/md202063

- Mushollaeni W. *Afr. J. Food Sci.* 2011. 5(6): 349–352.
- Naylor J. *FAO Fisher, Techn. Paper* (Rome). 1976: 159.
- Nizamuddin M., Hiscock S., Barratt L., Ormond R.F.G. *Bot. Mar.* 1993. 36(2): 109–121.
doi: 10.1515/botm.1993.36.2.109
- Oblichinskaya E.D., Voskoboinikov G.M., Minina S.A. *Pharmacea.* 2004. 3: 15–18.
- Peng J., Yuan J.P., Wu C.F., Wang J.H. *Mar. Drugs.* 2011. 9(10): 1806–1828.
doi: 10.3390/md9101806
- Pereira L. A review of the nutrient composition of selected edible seaweeds ecology. In: *Seaweed: nutrient composition and medicinal uses.* Now York: Nova Sci. Publ. Inc., 2011. P. 15–47.
- Rupérez P. *Food Chem.* 2002. 79(1): 23–26. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00171-1
- Ryabushko V.I., Musatenko L.I., Voytenko L.V., Popova E.V., Nekhoroshev M.V. *Int. J. on Algae.* 2015. 17(1): 68–81. doi: 10.1615/InterJAlgae.v17.i1.60
- Ryabushko V.I., Prazukin A.V., Popova E.V., Nekhoroshev M.V. *J. Black Sea / Mediter. Environ.* 2014. 20(2): 108–113.
- Schall C., Laternus F., Heumann K.G. *Chemosphere.* 1994. 28(7): 1315–1324.
- Schiffner V. *Acystis, eine neue gattung der sargassaceen und über einige algen aus dem Roten meere. Hedwigia.* 1934. 7: 115–118.
- Shiratori K., Okgami K., Ilieva I., Jin X.H., Koyama Y., Miyashita K., Yoshida K., Kase S., Ohno S. *Exp. Eye Res.* 2005. 81: 422–428. doi: 10.1016/j.exer.2005.03.002
- Silva P.C., Basson P.W., Moe R.L. *Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean.* Berkeley: Univ. Calif. Press, 1996.
- Smith J.L., Summers G., Wong R. *New Zealand J. Crop and Horticult. Sci.* 2010. 38(1): 19–28.
doi: 10.1080/01140671003619290
- Stewart C.M., Higgins H.G. *Nature.* 1960, 187: 511. doi: 10.1038/187511a0
- Takaichi S. *Mar. Drugs.* 2011. 9: 1101–1118. doi: 10.3390/md9061101
- Technical regulations of the Customs Union "On Food Safety" (TR CU 021/2011).* Approved by the Decision of the Commission of the Customs Union of December 9, 2011, N 880.
- Tsukui T., Konno K., Hosokawa M., Maeda H., Sashima T., Miyashita K. *J. Agricult. and Food Chem.* 2007. 55: 5025–5029. doi: 10.1021/jf070110q
- Vorobyev V.V. *J. Ryb. Khoz.* 2015. 4: 118–126.
- Wynne M.J., Jupp B.P. *New Records Bot. Mar.* 1998. 41(1): 7–14.
- Zhang H., Tang Y., Zhang Y., Zhang S., Qu J., Wang X., Kong R., Han Ch., Liu Z. Fucoxanthin: a promising medicinal and nutritional ingredient. In: *Evidence-based complementary and alternative medicine.* Article ID 723515, 2015. doi: 10.1155/2015/723515

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia.* 2017, 27(3): 246–260

doi: 10.15407/alg27.03.246

Chesalin M.V.¹, Al-Ghassani S.¹, Ryabushko V.I.², Bobko N.I.²,
Gureeva E.V.², Nekhoroshev M.V.²

¹Fisheries Research Center Salalah, Ministry of Agriculture and Fisheries Wealth, Salalah 217, P.O. Box 33, Sultanate of Oman

²Kovalevsky Institute of Marine Biological Researches,
Nakhimov Pr., 2, Sevastopol 299011, Crimea

FUCOXANTHIN CONTENT AND CHEMICAL COMPOSITION IN BROWN ALGA
NIZAMUDDINIA ZANARDINII (PHAEOPHYTA) COLLECTED FROM MIRBAT,
SOUTHERN OMAN (THE ARABIAN SEA)

Marine algae are vast and unused fishery resources in Oman. A preliminary study was conducted to estimate the concentration of pigment fucoxanthin and other useful chemical substances in kelp, *Nizamuddiniana zanardinii* (Schiff.) P. Silva, which dominates the southern coast of Oman in the Arabian Sea. The density of *N. zanardinii* varied between 7.0 and 7.9 kg · m⁻², and dry weight was 1.03–1.46 kg · m⁻² (approximately 15.9% of wet weight). The concentration of fucoxanthin was estimated at 15.5–17.3 mg/100 g wet weight. The percentage yield of sodium alginate was 13–27%. The species is rich in carbohydrates (> 60% dry weight) and protein (15.5%), but it contains lower levels of ash, fat, and calories. *N. zanardinii* has high concentrations of potassium, magnesium, sodium, calcium and iodine. Brown seaweed *N. zanardinii* is one of the major potential fishery resources in Oman and can be used to develop a new seaweed industry as well as many different commercial products.

Key words: brown alga *Nizamuddiniana zanardinii*, fucoxanthin, alginate, macroelements, Oman