

УДК: 615.272:615.22:582.272

DOI:10.52419/issn2072-2419.2023.4.263

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ ПРИРОДНОГО АДАПТОГЕНА

Карпенко Л.Ю.¹ – д-р биол. наук, проф., зав. каф. биохимии и физиологии;
Бахта А.А.¹ – канд. биол. наук, доц., доц. каф. биохимии и физиологии;
Борисова С.Д.¹ – асп.; Бабич О.О.² – д-р техн. наук, доц.; Сухих С.А.² – д-р техн. наук,
доц., зав. лабораторией микробиологии и биотехнологии; Никонов И.Н.² – канд. биол.
наук, ст. науч. сотр.

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
ветеринарной медицины»

² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта»

* l.u.karpenko@mail.ru

Ключевые слова: бурые водоросли, биохимический состав, полисахариды, фу-
коидан, альгинаты, липиды, белки

Keywords: Brown algae, biochemical composition, polysaccharides, fucoidan, algi-
nates, lipids, proteins

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научно-
го фонда № 23-16-00181, <https://rscf.ru/project/23-16-00181/>.

Поступила: 16.10.2023

Принята к публикации: 17.11.2023

Опубликована онлайн: 08.12.2023



РЕФЕРАТ

Одна из важнейших тен-
денций развития современ-
ного сельского хозяйства –
курс на замещение или
полную замену антибиоти-
ков и химических анти-

микробных средств в рационах питания животных. Целью исследований являлся поиск биологически активных веществ в бурых водорослях, являющихся потенциально стимуляторами неспецифической резистентности организма сельскохозяйственной птицы. Объектами исследований являлись свежие водоросли *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*, собранные вручную со скалистых участков в прибрежной зоне Белого моря (в районе села Нюхча, остров Кондостров, Онежский залив) во время отлива в период с августа по октябрь 2023 года. В ходе исследований были изучены биомассы водорослей *Fucus vesiculosus* (*F. vesiculosus*) и *Ascophyllum nodosum* (*A. nodosum*). В данных биомассах изучали содержание сырого протеина, липидов, влаги, а также полисахаридов фукоидана и альгинатов в образцах. В ходе проведенных исследований, в бурых водорослях Белого моря (фукус пузырчатый и аскофиллум) был выявлен полисахарид фукоидан, являющийся природным стимулятором неспецифического иммунного ответа, способствующий повышению численности бифидобактерий в кишечнике животных. Присутствие фукоидана в высоких концентрациях делает бурые водоросли перспективной основой для производства ветеринарных препаратов и кормовых добавок.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Одна из важнейших тенденций развития современного сельского хозяйства – курс на замещение или полную замену антибиотиков и химических антимикробных средств в рационах питания животных.

Альтернативой кормовым антибиотикам выступает комплекс кормовых добавок – пробиотики, пребиотики, сорбенты токсинов, фитобиотики. Только комплексная программа их применения способна эффективно заменить кормовые антибиотики в рационах питания сельскохозяйственных животных и птицы. Актуальным и перспективным является использование в качестве кормовых добавок компонентов растительного происхождения, способных повышать продуктивность поголовья, стимулировать воспроизводство, улучшать потребительские свойства продукции.

Альтернативный подход к профилактике и лечению инфекций у сельскохозяйственной птицы, в том числе зооантропонозных, заключается в повышении резистентности организма кур, связанной с нормализацией микрофлоры кишечника. Увеличение численности полезных бифидобактерий и лактобацилл, снижение стрессов при смене рационов и при вакцинациях, используемых в традиционных схемах применения ветеринарных препаратов, является залогом построения эффективного барьера на пути опасных патогенов бактериальной природы.

Перспективным источником биологически активных веществ, играющих важную роль в профилактике стрессов у сельскохозяйственной птицы, являются бурые водоросли Белого моря. Бурые водоросли – это природный источник полисахаридов (фукоидан, целлюлоза), липидов, пигментов, белков и свободных аминокислот, полифенольных соединений и доступных микроэлементов (йод, бром). Необходимо отметить, что в условиях короткого светового периода на Крайнем Севере организм растения вырабатывает максимум биологически активных веществ в сравнении с растениями из других биотопов,

располагающихся в тропической или бореальной зонах.

В настоящее время бурые водоросли используются, в основном, для производства фармацевтических, пищевых и технических моно- и полисахаридов несмотря на то, что они также богаты белками и аминокислотами. В свою очередь, белковые вещества бурых водорослей обладают широким спектром биологической активности: антиоксидантной, антигипертензивной, иммуностимулирующей, радиопротекторной [2].

Изучение возможности применения бурых водорослей в качестве природного адаптогена – основы кормовых добавок и ветеринарных препаратов является актуальным направлением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Целью исследований являлся поиск биологически активных веществ в бурых водорослях, являющихся потенциально стимуляторами неспецифической резистентности организма сельскохозяйственной птицы.

Объектами исследований являлись свежие водоросли *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum*, собранные вручную со скалистых участков в прибрежной зоне Белого моря (в районе села Нюхча, остров Кондостров, Онежский залив) во время отлива в период с августа по октябрь 2023 года. Слоевища водоросли высушивали на воздухе при атмосферном давлении 760 мм.рт.ст. и температуре воздуха 25 °С в течение 7 суток. Высушенные образцы измельчали (до размера 130 мкм) с помощью универсальной роторной лабораторной мельницы LZM-1 (ALT, Москва, Россия). Образцы измельченных водорослей хранили при комнатной температуре в сухом и темном месте до проведения биохимических испытаний.

Для удобства проведения экспериментов и обсуждения эмпирических результатов исследуемые образцы предварительно пронумеровали:

Образец 1 – биомасса водорослей *Fucus vesiculosus* (*F. vesiculosus*);

Образец 2 – биомасса водорослей *Ascophyllum nodosum* (A. nodosum).

Устанавливали содержание сырого протеина, липидов, влаги, а также полисахаридов фукоидана и альгинатов в образцах.

Содержание сырого протеина в бурых водорослях в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.) оценивали методом Кьельдаля (согласно ГОСТ 10846–91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка). Массовую долю жира в биомассе водорослей оценивали методом экстракции диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета. Массовую долю влаги в водорослях определяли в соответствии с ГОСТ 33331–2015. Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золь и посторонних примесей.

Содержание фукоидана в бурых водорослях устанавливали спектрофотометрическим методом (метод Дише), основанным на проведении цветной реакции фукозы с L-цистеином и серной кислотой и измерении светопоглощения окрашенных растворов при длинах волн 396 и 430 нм [73]. Для измерения светопоглощения растворов использовали мультимодальный планшетный ридер CLARIOstar (BMG LABTECH, Германия).

Количественное определение альгинатов проводили методом, описанным в ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Метод основан на обратном титровании серной кислотой избытка гидроксида натрия, оставшегося после ее взаимодействия с альгиновой кислотой, содержащейся в исследуемых образцах бурых водорослей.

Статистическая обработка полученных данных включала вычисление среднего арифметического, определение стандартного отклонения, расчет достоверности по Стьюденту.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Результаты определения содержания сырого протеина, липидов, влаги, фукоидана и альгинатов в образцах бурых водорослей *F. vesiculosus* и *A. nodosum* отражены в таблице 1.

Показано, что изучаемые образцы бурых водорослей содержали небольшое количество липидов. Так определено, что в образце 1 (биомасса водорослей *F. vesiculosus*) массовая доля липидов составила $4,08 \pm 0,12$ %, что в 1,2 раза больше содержания липидов в биомассе бурой водоросли *A. nodosum* (образец 2). Следует отметить, что содержание липидов имеет зависимость от времени года [1,9].

Изучаемые образцы бурых водорослей *F. vesiculosus* и *A. nodosum* характеризуются высоким содержанием альгинатов (от 36,65 до 56,81 %) и белка (от 17,3 до 20,8 %). Максимальная концентрация солей альгиновой кислоты (56,81 %) отмечена в образце 2 (*A. nodosum*), а наибольшая концентрация белка (20,8 %) – в образце 1 (*F. vesiculosus*). По содержанию фукоидана лидирует также биомасса водоросли *F. vesiculosus*, содержание которого составляет 3,92 %. Минимальное содержание фукоидана (1,30 %) отмечено в биомассе водоросли *A. nodosum*.

Фукоидан – это сульфатированный гетерополисахарид (молекулярная масса от 43 кДа до 1600 кДа), в основе которого лежат остатки моносахарида L-фукозы, кроме того, содержатся остатки других сахаров, таких как ксилоза, уроновые кис-

Таблица 1 – Химический состав бурых водорослей *F. vesiculosus* и *A. nodosum*

Наименование показателя	Значение показателя для образцов	
	образец 1	образец 2
Содержание белка по Кьельдалю на а.с.в., %	$20,8 \pm 1,1$	$17,3 \pm 0,9$
Массовая доля липидов на а.с.в., %	$4,08 \pm 0,12$	$3,42 \pm 0,09$
Массовая доля воды, %	$8,04 \pm 0,24$	$9,34 \pm 0,28$
Массовая доля фукоидана в пересчете на а.с.в., %	$3,92 \pm 0,12$	$2,62 \pm 0,08$
Массовая доля альгинатов в пересчете на а.с.в., %	$36,65 \pm 1,10$	$56,81 \pm 1,70$

лоты и галактоза. Состав и структура фукоиданов зависят от географического положения, сезона сбора/экстракции, стадии роста и применяемого метода экстракции. Сообщалось, что фукоидан обладает антиоксидантной [6], антикоагулянтной [3], противоопухолевой [4], противовоспалительной [7], нейтропротекторной [10] активностями. Кроме того, фукоиданы являются потенциальными компонентами противовирусных препаратов и активаторов кроветворения [5].

Что касается содержания фукоидана, для *F. vesiculosus*, обитающего в Белом море (3,92 %, таблица 1), характерно более низкое его содержание по сравнению, например, с данной водорослью, собранной в акватории Баренцева моря (содержание фукоидана от 10 до 14 %) [4]. Авторами работы [6] показано, что содержание фукоидана в фукусовых водорослях Дальневосточного региона варьируется от 1,5 до 7,9 %, что согласуется с данными таблицы 1. Известно, что фукоидан может накапливаться в бурых водорослях в количестве 25–30 % в пересчете на сухую массу. Авторы [8] установили содержание фукоидана и альгиновой кислоты в водорослях *F. vesiculosus*, обитающих в Белом, Балтийском и Баренцевом морях. Содержание фукоидана составило, соответственно, 15,2; 20,6 и 14,7 %, а содержание альгиновой кислоты – 18,5; 17,2 и 14,5 %.

Стоит также отметить, что содержание фукоидана в биомассе бурые водоросли *A. nodosum*, собранной вручную со скалистых участков в прибрежной зоне Белого моря (в районе села Нюхча, остров Кондостров, Онежский залив), составило $2,62 \pm 0,08$ % а.с.в., что соответствует эмпирическим данным, полученным для данной морской водоросли, и описанным в работах других исследователей [8-9]. Данные исследования показали, что бурые водоросли способны накапливать фукоидан в количестве от 1 до 8 %.

Содержание альгинатов, установленное в образцах водоросли *F. vesiculosus* (таблица 1), в несколько раз (1,98–3,07) превосходит данные, описанные в [6].

Причем показано, что массовая доля солей альгиновой кислоты в биомассе *F. vesiculosus* Баренцева моря значительно зависит от сезона сбора водорослей. Так в летние месяцы содержание альгинатов находится на уровне 20 % (23,97 % в августе), в то время как в апреле их содержание снижается до 8,4 % [4]. Этими же авторами изучены сезонные изменения в накоплении фукоидана водорослями рода *Fucus*, и показано, что различия между массовой долей данного полисахарида в августе (14,7 %), декабре (10,0 %) и апреле (12,12 %) незначительны.

ВЫВОДЫ / CONCLUSIONS

Таким образом, в ходе проведенных исследований, в бурых водорослях Белого моря (фукус пузырчатый и аскофиллум) был выявлен полисахарид фукоидан, являющийся природным стимулятором неспецифического иммунного ответа, способствующий повышению численности бифидобактерий в кишечнике животных. Присутствие фукоидана в высоких концентрациях делает бурые водоросли перспективной основой для производства ветеринарных препаратов и кормовых добавок.

Необходимо отметить, что различные препараты, содержащие фукоиданы в качестве биологически активных компонентов, разрабатываются для медицинского применения, например, в перевязочных материалах [8]. Отсутствие токсичности наряду с бактериостатическими свойствами позволяет использовать их в пищевой промышленности, увеличивая сроки хранения продуктов и не подавляя полезную микрофлору человека и животных [11].

PROSPECTS FOR THE USE OF BROWN ALGAE AS A NATURAL ADAPTOGEN

Karpenko L.Yu.¹ – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department. Biochemistry and Physiology; **Bakhta A.A.**¹ cand. Biol. sciences, assoc. assoc. kaf. Biochemistry and physiology; Borisova S.D.¹ – asp.; **Babich O.O.**² – Doctor of Technical Sciences, associate Profes-

sor; **Sukhoi S.A.**¹ – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Laboratory of Microbiology and Biotechnology; **Nikonov I.N.**² cand. Biol. sciences, art. scientific. sotr.

¹ St. Petersburg State University of Veterinary Medicine

² Immanuel Kant Baltic Federal University

* l.u.karpenko@mail.ru

Gratitude. The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00181, <https://rscf.ru/project/23-16-00181/>.

ABSTRACT

One of the most important trends in the development of modern agriculture is the policy of replacing or completely replacing antibiotics and chemical antimicrobial agents in animal diets.

An alternative to feed antibiotics is a complex of feed additives - probiotics, prebiotics, toxin sorbents, phytobiotics. Only a comprehensive program of their use can effectively replace feed antibiotics in the diets of farm animals and poultry. It is relevant and promising to use components of plant origin as feed additives that can increase the productivity of livestock, stimulate reproduction, and improve the consumer properties of products.

The purpose of the research was to search for biologically active substances in brown algae, which are potential stimulators of nonspecific resistance in poultry. The objects of research were fresh algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*, collected by hand from rocky areas in the coastal zone of the White Sea (near the village of Nyukhcha, Kondostrov Island, Onega Bay) during low tide from August to October 2023. During the research, the biomass of algae *Fucus vesiculosus* (*F. vesiculosus*) and *Ascophyllum nodosum* (*A. nodosum*) was studied. In these biomassages, the content of crude protein, lipids, moisture, as well as fucoidan polysaccharides and alginates in the samples was studied.

Thus, in the course of the research, fucoidan polysaccharide was identified in brown algae of the White Sea (*fucus vesiculosus* and *ascophyllum*), which is a natural stimulator of a nonspecific immune response, contributing to an increase in the number of bifidobacteria in the intestines of animals. The presence of fucoidan in high concentrations makes brown algae a promising basis for the production of veterinary drugs and feed additives.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Biochemical composition of seaweeds from Mandapam coastal regions along Southeast Coast of India / K. Manivannan, G. Thirumaran, G.K. Devi, A. Hemalatha, P. Anantharaman // *Am. J. Bot.* – 2008. – Vol. 1. – P. 32–37.
2. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Pochtvalova A.S. Amino-acid composition of arctic brown algae // *Chemistry of Natural Compounds.* – 2014. – V. 49. – P. 1110–1113.
3. Cumashi A., Ushakova N.A., Preobrazhenskaya M.E., D'Incecco A., Piccoli A., Totani L., Tinari N., Morozevich G.E., Berman A.E., Bilan M.I., et al. A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, anti-angiogenic and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds // *Glycobiology.* – 2007. – V. 17. – P. 541–552.
4. De Yan, M. The anti-tumor activity of brown seaweed oligo-fucoidan via lncRNA expression modulation in HepG2 cells / M. De Yan, H.Y. Lin, P.A. Hwang // *Cytotechnology.* – 2019. – V. 71. – P. 363–374.
5. Influence of modified fucoidan and related sulfated oligosaccharides on hematopoiesis in cyclophosphamide-induced mice / N.Y. Anisimova, N.E. Ustyuzhanina, M.I. Bilan, et al. // *Mar. Drugs.* – 2018. – V. 16, 333.
6. Koh, H.S.A. Structure characterization and antioxidant activity of fucoidan isolated from *Undaria pinnatifida* grown in New Zealand // H.S.A. Koh, J. Lu, W. Zhou // *Carbohydr. Polym.* – 2019. – V. 212. – P. 178–185.
7. Morua V.K., Kim J., Kim E.-K. Algal fucoidan: Structural and size-dependent bioac-

tivities and their perspectives // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2012. – V. 93. – P. 71–82.

8. Potoroko I.Y., Uskova D.G., Pajmulina A.V., Uday B. Ultrasound micronization of fucoidan vegetable ingredient for the use in food production technology // *Bull. South Ural. Univ. Ser. Food Biotechnol.* – 2019. – V. 7. – P. 58–70.

9. Proximate Composition and Nutritional Value of Three Macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. / J.M. Lorenzo, R. Agregán, P.E.S. Munekata, D. Franco, J. Carballo, S. Şahin, R. Lacomba, F.J. Barba // *Mar. Drugs.* – 2017. – Vol. 15. – P. 360. <https://doi.org/10.3390/md15110360>

10. The structural features of the sulfated heteropolysaccharide (ST-1) from *Sargassum thunbergii* and its neuroprotective activities / W. Jin, B. Liu, S. Li, et al. // *Int. J. Biol. Macromol.* – 2018. – V. 108. – P. 307–313.

11. Zinoviev E.V., Lukyanov S.A., Kulminskaya A.A., Lapina I.M., Zhurishkina E.V., Lopatin I.M., Asadulaev M.S., Artsimovich I.V., Kostyakov D.V., Paneakh M.B., et al. Evaluation of the effectiveness of wound dressings based on bacterial cellulose with fucoidan for skin burns // *Bull.* 148–152.

REFERENCES

1. Biochemical composition of seaweeds from Mandapam coastal regions along Southeast Coast of India / K. Manivannan, G. Thirumaran, G.K. Devi, A. Hemalatha, P. Anantharaman // *Am. J. Bot.* – 2008. – Vol. 1. – P. 32–37.

2. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Pochtvalova A.S. Amino-acid composition of arctic brown algae // *Chemistry of Natural Compounds.* – 2014. – V. 49. – P. 1110–1113.

3. Cumashi A., Ushakova N.A., Preobrazhenskaya M.E., D'Incecco A., Piccoli A., Totani L., Tinari N., Morozevich G.E., Berman A.E., Bilan M.I., et al. A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds // *Glycobiology.* – 2007. – V. 17. – P. 541–552.

4. De Yan, M. The anti-tumor activity of brown seaweed oligo-fucoidan via lncRNA expression modulation in HepG2 cells / M. De Yan, H.Y. Lin, P.A. Hwang // *Cytotechnology.* – 2019. – V. 71. – P. 363–374.

5. Influence of modified fucoidan and related sulfated oligosaccharides on hematopoiesis in cyclophosphamide-induced mice / N.Y. Anisimova, N.E. Ustyuzhanina, M.I. Bilan, et al. // *Mar. Drugs.* – 2018. – V. 16, 333.

Koh, H.S.A. Structure characterization and antioxidant activity of fucoidan isolated from *Undaria pinnatifida* grown in New Zealand // H.S.A. Koh, J. Lu, W. Zhou // *Carbohydr. Polym.* – 2019. – V. 212. – P. 178–185.

6. Morua V.K., Kim J., Kim E.-K. Algal fucoidan: Structural and size-dependent bioactivities and their perspectives // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2012. – V. 93. – P. 71–82.

7. Potoroko I.Y., Uskova D.G., Pajmulina A.V., Uday B. Ultrasound micronization of fucoidan vegetable ingredient for the use in food production technology // *Bull. South Ural. Univ. Ser. Food Biotechnol.* – 2019. – V. 7. – P. 58–70.

8. Proximate Composition and Nutritional Value of Three Macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*. / J.M. Lorenzo, R. Agregán, P.E.S. Munekata, D. Franco, J. Carballo, S. Şahin, R. Lacomba, F.J. Barba // *Mar. Drugs.* – 2017. – Vol. 15. – P. 360. <https://doi.org/10.3390/md15110360>

10. The structural features of the sulfated heteropolysaccharide (ST-1) from *Sargassum thunbergii* and its neuroprotective activities / W. Jin, B. Liu, S. Li, et al. // *Int. J. Biol. Macromol.* – 2018. – V. 108. – P. 307–313.

11. Zinoviev E.V., Lukyanov S.A., Kulminskaya A.A., Lapina I.M., Zhurishkina E.V., Lopatin I.M., Asadulaev M.S., Artsimovich I.V., Kostyakov D.V., Paneakh M.B., et al. Evaluation of the effectiveness of wound dressings based on bacterial cellulose with fucoidan for skin burns // *Bull. Russ. Med. Acad.* – 2019. – V. 1. – P. 148–152.