

МОРСКИЕ ВОДОРОСЛИ: ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РАЦИОНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ* (обзор)

И.И. КОЧИШ, Е.Е. ЗИМИН, И.Н. НИКОНОВ ✉

В настоящее время в комбикормовой промышленности, наряду с внедрением энергосберегающих прогрессивных технологий, широко применяют нетрадиционные виды сырья и вторичные ресурсы, получаемые при производстве пищевых продуктов. Переработка и использование нетрадиционных ресурсов на пищевых предприятиях значительно повышает их рентабельность и позволяет снизить затраты на зерно при производстве комбикормов (Р. Burtin, 2003). Один из наиболее эффективных способов организации полноценного кормления животных, укрепления их здоровья, улучшения производственных функций и повышения продуктивности — использование природных кормовых ресурсов. В настоящее время исследования биологической активности флоротанинов водорослей по-прежнему актуальны. Разнообразие биологических свойств определяет их практическое применение в различных областях, в том числе в производстве кормовых добавок для сельскохозяйственных животных (S.B. Wang с соавт., 2013). Немаловажная проблема в животноводстве — бесконтрольное применение антибактериальных препаратов, которое может привести к переносу антибиотикорезистентности от животного к человеку (И.И. Кочиш с соавт., 2019). К препаратам, которые служат альтернативой кормовым антибиотикам, относят пробиотики, пребиотики, симбиотики, органические кислоты. Такие добавки по эффективности не уступают антибиотикам, но негативное влияние последних при этом исключается (И.А. Егоров с соавт., 2019). Водоросли обладают не только пребиотическими свойствами из-за содержащихся олиго- и полисахаридов, но и антимикробной, иммуномодулирующей, антиоксидантной и противовоспалительной активностью благодаря биоактивным соединениям. В зависимости от цели применения и при соблюдении оптимальной дозировки водоросли способны положительно повлиять на онтогенез, продуктивность животных, качество получаемой продукции. По мнению многих авторов, морские водоросли могут использоваться в птицеводстве для улучшения иммунного статуса, снижения микробной нагрузки в пищеварительном тракте и улучшения качества получаемой продукции (А.М. Abudabos с соавт., 2012). Зеленые водоросли (*Enteromorpha prolifera*) способствуют лучшей усвояемости питательных веществ, повышению уровня метаболизируемой энергии и яйценоскости, улучшению качества куриных яиц (увеличение массы, толщины скорлупы, изменение окраски желтка), а также снижению количества холестерина в желтке (S.B. Wang с соавт., 2013). Бурые водоросли (например, *Sargassum dentifebium*, *Turbinaria conoides*, *Dictyota dentata*) в сушеном, вареном и автоклавированном виде можно включать в рацион молодняка и кур-несушек без отрицательного влияния на продуктивность и потребление корма. При этом происходят положительные изменения в окраске желтка и увеличивается содержание кальция в скорлупе. Включение бурых водорослей *Sargassum* sp. в рацион кур-несушек способствует снижению концентрации холестерина и триглицеридов в плазме крови и желтке при одновременном повышении содержания каротина, лютеина и зеаксантина (М.А. Al-Narhi с соавт., 2012). Красные морские водоросли (*Asparagopsis taxiformis*) в рационе животных могут положительно изменять микробиом желудочно-кишечного тракта, увеличивая разнообразие и обилие полезных бактерий (В.М. Roche с соавт., 2019). Таким образом, благодаря особому биохимическому составу морские водоросли перспективны в кормлении высокопродуктивных кроссов сельскохозяйственной птицы, свиней и крупного рогатого скота.

Ключевые слова: водоросли, антибиотикорезистентность, микрофлора кишечника, иммунитет, пробиотики, пребиотики, кампилобактерии, полисахариды, биохимический анализ, кормовая добавка.

В настоящее время в комбикормовой промышленности, наряду с внедрением энергосберегающих прогрессивных технологий, широко применяют нетрадиционные виды сырья и вторичные ресурсы, получаемые при производстве пищевых продуктов. Содержание последних достигает 60–80 % по массе комбикорма, а в некоторых случаях — 95 %. Переработка вторичных ресурсов на пищевых предприятиях значительно повышает их рентабельность и позволяет снизить затраты на зерно при производстве

* Исследование выполнено в ФГБОУ ВО Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-16-00009).

комбикормов (1).

По прогнозам ученых, в 2050 году из-за постоянного роста населения и изменения климата потребуется на 60-70 % больше продукции животного происхождения, чем потребляется в настоящее время (2). Животноводство будет нуждаться в большем количестве кормов, что станет достаточно серьезной проблемой с учетом деградации земель из-за методов интенсификации, применявшихся ранее, а также погодных условий (3). Расширение кормовой базы за счет новых ресурсов или добавок, повышающих эффективность использования кормов, может сыграть ключевую роль в развитии животноводства (4).

Один из наиболее результативных способов организации полноценного кормления животных, укрепления их здоровья, улучшения производственных функций и повышения продуктивности — освоение природных кормовых ресурсов (5).

Водоросли, которые содержат большое количество биологически активных и питательных веществ, недостаточно используются в качестве сельскохозяйственной культуры (6-8). Исследования *in vivo* на жвачных, свиньях, птице и кроликах показывают, что некоторые морские водоросли способны удовлетворить потребность в белке и энергии, в то время как другие содержат биоактивные соединения, повышающие продуктивность и укрепляющие здоровье животных (9). У морских водорослей выход белка на единицу площади составляет 2,5-7,5 т · га⁻¹ · год⁻¹ (у сои, бобовых, пшеницы соответственно 0,6-1,2; 1-2 и 1,1 т · га⁻¹ · год⁻¹), стоит также отметить, что пресноводные условия и пахотные земли для выращивания водорослей не требуются (10).

Вторая немаловажная проблема животноводства — неконтролируемое использование антибиотиков. Наряду с бактериостатическим и бактерицидным действием в отношении большинства грамположительных и грамотрицательных бактерий антибиотики обладают нежелательными побочными эффектами: угнетается микрофлора желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), ослабляется иммунитет, патогенные микроорганизмы мутируют и вырабатывают устойчивость (11). Неконтролируемое применение антибактериальных препаратов может привести к переносу антибиотикорезистентности от животного к человеку (12), что послужило причиной запрета большинства из них в США и странах Западной Европы (13).

К препаратам, которые служат альтернативой кормовым антибиотикам, относят пробиотики, пребиотики, симбиотики, органические кислоты (14). Перечисленные добавки по эффективности не уступают антибиотикам, но негативное влияние последних при этом исключается (8). Один из видов такого сырья — продукция марикультуры, а именно морские водоросли. Они содержат вещества, многие из которых отсутствуют у наземных организмов, и обладают повышенной биологической активностью (15, 16).

В этом обзоре мы обобщили данные публикаций о свойствах микро- и макроводорослей, определяющих их перспективность в качестве кормовых ресурсов и/или добавок для сельскохозяйственных животных и птицы, и рассмотрели примеры такого использования.

Все водоросли подразделяются на 10 отделов. Из них три вида относят к основным: бурые (*Phaeophyta*), сине-зеленые (*Cyanophyta*), красные (*Rhodophyta*) (17, 18). За миллионы лет существования нашей планеты водоросли-макрофиты приобрели совершенные морфологические и физиологические формы и приспособились к изменяющимся условиям среды, что привело к их широкому распространению и разноплановым биотическим взаимоотношениям с другими видами (19-21).

Водорослевые поля и морские плантации с культивируемыми растениями имеют высокую биологическую продуктивность (21-23). Поля водорослей становятся гасителями энергии морских волн, сдерживая их разрушительное воздействие на береговую полосу во время штормов (24). Водоросли служат дополнительным субстратом, на который оседает икра и личинки гидробионтов, и убежищем от хищников для молоди многих животных (25-27). В ризоидах водорослей и между пластинами создается благоприятный гидрологический и гидрохимический режим, способствующий развитию микроводорослей, накоплению детрита и образованию микробной пленки (28, 29). Водоросли выполняют функцию биологических фильтров для очистки загрязненных вод побережья у больших городов. Популяции макрофитов в местах слива сточных вод достигают наиболее полного развития вследствие улучшенного питания за счет дополнительных источников азота и фосфора (30-32). Плантация ламинарии площадью в 1 га способна за 1 сут извлечь из воды около 250 кг азота. Морские водоросли продуцируют значительную долю мирового кислорода. Известно, что 80 % кислорода выделяют морские водоросли-макрофиты и микроводоросли и только 20 % — наземные растения (33, 34).

Характеристика макро- и микроводорослей. *Макроводоросли*. К макроводорослям относят бурые (*Phaeophyceae*), красные (*Rhodophyceae*) и зеленые водоросли (*Chlorophyceae*) (35).

Бурые водоросли в основном обитают на мелководье или на прибрежных скалах, имеют гибкие стебли, которые позволяют выдерживать постоянные удары волн. Из-за большого размера и простоты сбора они наиболее изучены и чаще используются в кормлении животных, чем другие типы водорослей. К наиболее распространенным родам относятся *Ascophyllum*, *Laminaria*, *Saccharina*, *Macrocystis*, *Nereocystis* и *Sargassum* (35-38).

Красные водоросли имеют характерный ярко-розовый цвет, обусловленный пигментами R-фикоцианином и R-фикоэритрином. Большинство морских красных водорослей встречаются на глубине до 100 м. Основные роды красных водорослей — *Pyropia*, *Porphyra*, *Chondrus* и *Palmaria*. Мертвые коралловые красные водоросли, особенно *Phymatolithon* и *Lithothamnion*, образуют известковые отложения, которые используются во всем мире в качестве источника карбоната кальция.

Цвет зеленых водорослей обусловлен хлорофиллом в хлоропластах. Окраска может меняться из-за различий в балансе пигментов. Основные роды зеленых водорослей — *Ulva*, *Codium*, *Enteromorpha*, *Chaetomorpha* и *Cladophora*. Эти водоросли распространены в хорошо освещенных местах на мелководье (39).

Химический состав морских водорослей изменчив и зависит от вида, времени сбора (сезона года) и среды обитания, а также от внешних условий (температура воды, освещенность, концентрация питательных веществ в воде и т.п.) (16, 40). Морские водоросли характеризуются высоким содержанием макро- и микроэлементов, их концентрации могут превышать показатели у наземных растений (36). Высокое содержание минеральных веществ связано со способностью поглощать неорганические вещества из окружающей среды. Водоросли также содержат полисахариды и небольшое количество жиров, которые в основном представлены полиненасыщенными жирными кислотами. С. Corino с соавт. (41) обращают внимание на высокое количество витаминов А, В₁, В₁₂, С, D, Е, В₂, В₃, В₅, В₉ в водорослях.

Среди морских организмов водоросли — один из богатейших источников природных антиоксидантов и противомикробных субстанций (42). В связи со значительным содержанием воды (70-90 %) морские водоросли

необходимо высушивать или быстро реализовывать из-за риска заплесневения. Для производства водорослевой муки влажные водоросли пропускают через молотковые дробилки с ситами убывающего размера. Затем высушивают в барабанной сушилке при температуре от 700 до 800 °С, в конце — при 70 °С для достижения влажности 15 % и дальнейшего хранения в запечатанной таре (4). Бесконтрольное добавление водорослей может отрицательно сказаться на продуктивности животного (43).

Микроводоросли. Из 30000 видов предположительно существующих микроводорослей только несколько используются и выращиваются в промышленных масштабах. К наиболее важным микроводорослям с биотехнологической точки зрения относятся зеленые водоросли *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina* и цианобактерия *Spirulina maxima*. Согласно модельным расчетам, основанным на культивировании микроводорослей в открытых бассейнах и на экспериментальных установках, годовая урожайность биомассы составляет 15 т сухого вещества на 1 га. С применением фитобиореактора производство можно увеличить в 2 раза. Эти различия также зависят от климата и от интенсивности фотосинтеза.

Состав микроводорослей зависит от питательной среды, времени года, интенсивности освещения, температуры. Биореакторы позволяют регулировать условия культивирования и, как следствие, состав. Содержание витаминов зависит от условий окружающей среды, обработки после сбора и метода сушки биомассы. Содержание золы в микроводорослях оставляет 7-14 %, нуклеиновых кислот — около 5 %, что также зависит от условий культивирования. Как и в случае с макроводорослями, всегда стоит обращать внимание на содержание тяжелых металлов (44). Состав некоторых марко- и микроводорослей по основным компонентам представлен в таблице.

Примерный состав некоторых макро- и микроводорослей (38, 44)

Название	Содержание, % сухого вещества		
	сырой протеин	углеводы	сырой жир
Макроводоросли			
<i>Uvalactuca</i>	10-25	36-43	0,6-1,6
<i>Chondrus crispus</i>	11-21	55-68	1,0-3,0
<i>Laminaria digitata</i>	8-15	48	1,0
Микроводоросли			
<i>Spirogyra</i> sp.	6-20	33-64	11-21
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-16	14-22
<i>Arthrospira maxima</i> (<i>Spirulina</i>)	60-71	13-16	6-7

Использование водорослей в птицеводстве. По мнению многих авторов, морские водоросли могут применяться в птицеводстве для улучшения иммунного статуса, снижения микробной нагрузки в пищеварительном тракте и улучшения качества получаемой продукции при добавлении в рацион в количестве 1-5 % (45-47).

Кальцинированные морские красные водоросли — ценный источник органического кальция для бройлеров из-за большей его доступности в сравнении с известняком (неорганическим источником). Их использование улучшало состояние костной системы птицы, уменьшало слабость конечностей и хромоту (48).

Зеленая водоросль *Enteromorpha prolifera* при скармливании бройлерам в количестве 2-4 % от общего объема рациона способствовала лучшей усвояемости питательных веществ и повышала метаболизацию энергии, что может быть связано с увеличением содержания амилазы в 12-перстной кишке. Отмечено положительное влияние на потребление корма, коэффициент конверсии корма и среднесуточный прирост при уменьшении толщины брюшного и подкожного жира и, соответственно, улучшении качества грудки (46).

При добавке в рацион 1-3 % *E. plifera* улучшились показатели яйценоскости и качества куриных яиц: увеличилась их масса, толщина скорлупы, повысилась интенсивность окраски желтка, также снижалось количество холестерина в желтке. Кроме того, уменьшалось обилие *Escherichia coli* в фекалиях, что могло свидетельствовать об улучшении здоровья птицы. При этом коэффициент конверсии корма улучшался (47).

По данным М.А. Al-Harhi с соавт. (49, 50), бурые водоросли *Sargassum dentifebium* в сушеном, вареном и автоклавированном виде могут быть включены в рацион молодняка и кур-несушек с 14-й по 42-ю нед в количестве до 6 % без отрицательного влияния на продуктивность и потребление корма. Авторы отмечают улучшение цвета желтка на 12,31 % и увеличение содержания кальция в скорлупе на 9,1 % по сравнению с контролем.

М.А. Al-Harhi с соавт. (51) также рекомендуют включать до 6 % бурой водоросли *Sargassum* sp. в рацион кур-несушек в возрасте от 23-й до 42-й нед для снижения содержания холестерина и триглицеридов в плазме крови и желтке. При этом наблюдается повышение количества каротина, лютеина и зеаксантина. Также отмечено увеличение содержания пальмитиновой кислоты в желтке (51).

Согласно исследованию А.А. El-Deek с соавт. (52), скармливание курам-несушкам *S. dentifebium* в количестве 1 г/кг рациона в сочетании как с зеленым чаем (1 г/кг), так и с витамином Е (300 мг/кг) повышало продуктивность и улучшало качество яиц в условиях теплового стресса (32 ± 4 °С). По данным М.А. Al-Harhi (49), бурая водоросль увеличивала яйценоскость на 1,2 % и улучшала конверсию корма на 5,2 % по сравнению с контролем. При использовании витамина Е толщина скорлупы увеличивалась на 6,6 %, а применение бурых водорослей совместно с витамином Е приводило к повышению интенсивности окраски желтка на 9,1 % и снижению содержания холестерина в свежих яйцах на 16 %.

Замена 3 % кукурузы в рационах цыплят-бройлеров в возрасте от 12 до 33 сут зелеными водорослями *Ulva lactuca* способствовала увеличению массы грудных мышц на 2,3 %, снижению концентрации общих липидов на 125,1 г/100 мл, холестерина — на 29,5 г/100 мл, мочевой кислоты — на 2,68 г/100 мл в сыворотке крови (47).

С целью поиска альтернативы антибиотикам G. Kulshreshtha с соавт. (53) исследовали красные водоросли *Chondrus crispus* и *Sarcoditheca gaudichaudii* на курах-несушках Lohmann Brown Classic в возрасте 67 сут. В кишечнике птицы, в рацион которой включали 2 % красных водорослей, увеличивалась популяция полезных бактерий *Bifidobacterium longum*, *Streptococcus salivarius* и количество *Clostridium perfringens*. В опытной группе также наблюдалось повышение концентрации короткоцепочечных жирных кислот, включая уксусную, пропионовую, масляную и изомаляную. Авторы отмечают, что опытные группы кур имели большую площадь поверхности ворсинок и глубину крипт. При скармливании 1 % красных водорослей увеличивалась масса желтка и яиц (53). В процессе дальнейших исследований, было выдвинуто предположение, что полученные ранее результаты (53) связаны с содержанием в водорослях биологически активных соединений, таких как агары, каррагинаны, ксиланы, сульфатированные галактины и порфирины (54, 55).

Согласно данным Y.A. Mariey с соавт. (56), куры-несушки, которым скармливали 0,2 % спирулины, достигали значительно более высоких показателей яйценоскости (52,3 к 63,3 %), массы яиц (48,5 к 51,82 г), конверсии корма (4,54 к 3,46) в сравнении с контрольной группой. Использование микроводоросли увеличивало процентное соотношение желтка к белку в

опытной группе. Благодаря добавке, удалось снизить содержание холестерина в желтке (13,5 к 10,2 мг) и в плазме крови (116,25 к 108,91 мг/100 мл). Авторы указывают на больший процент оплодотворенных яиц (90,87 к 96,58 %) и выводимости (89,81 к 95,75 %) у группы кур, потреблявших добавку спирулины (56).

В комплексном исследовании антимикробных свойств шести экстрактов красных морских водорослей по отношению к *Salmonella enteritidis* с использованием модели заражения нематод *Caenorhabditis elegans* только два вида макроводорослей обладали необходимыми свойствами — *Sarcodiotheca gaudichaudii* и *Chondrus crispus*. Водные экстракты водорослей в концентрациях от 0,4 до 2 мг/мл значительно снижали рост и подвижность *Salmonella enteritidis*, уменьшали образование биопленок. Результаты ПЦР-РВ показали, что экстракт подавлял экспрессию гена *sdiA* (чувство кворума) и генов сальмонеллезных островов патогенности (остров-1) *sipA* и *invF*. Исходя из полученных данных, было выдвинуто предположение, что экстракт водорослей может снизить инвазию *S. enteritidis* в организме хозяина за счет ослабления факторов вирулентности. Кроме того, водные экстракты значительно улучшили выживаемость инфицированных *C. elegans*, нарушив способность *S. enteritidis* колонизировать пищеварительный тракт нематод и увеличив экспрессию генов иммунитета *C. elegans* (*irg-1*, *irg-2*, *hsf-1*). Авторы полагают, что экстракты могут также оказывать благотворное влияние на здоровье животных и человека (54, 57).

M.L. Manor с соавт. (58), исследуя влияние микроводоросли *Nannochloropsis oceanica* на кур-несушек кросса Shaver-White Leghorn, выявили увеличение концентрации ω -3-докозагексаеновой кислоты в курином яйце, печени и мышцах, что коррелировало с активацией ключевых генов, участвующих в элонгации (*ELOVL3*, *EKIVL4*, *ELOVL5*) и десатурации (*FADS5*, *FADS6*) полиненасыщенных жирных кислот. Авторы указывают на необходимость дальнейших исследований для подтверждения своих выводов.

При заражении 3-суточных цыплят *Campylobacter jejuni* было обнаружено, что экстракты ламинарина или ламинарина/фукоидана из бурой водоросли *Laminaria digitata* улучшили потребление корма, увеличили экспрессию ключевых генов, участвующих в иммунном ответе (*IL-6*, *IL-8*), способствовали увеличению высоты ворсинок в тонком кишечнике и скорости роста цыплят. Экстракт ламинарина был эффективнее в отношении увеличения высоты ворсинок и экспрессии гена *TLR-4* по сравнению с контролем и группой, получавшей экстракты ламинарин/фукоидан. Однако указанные добавки не повлияли на колонизацию *C. jejuni* (59).

Применение водорослей в скотоводстве. Макроводоросли при включении в рационы крупного рогатого скота (КРС) в количестве < 2 % способны проявить мощную пребиотическую активность, в 5,5 раз большую, чем пребиотики из фруктоолигосахаридов (ФОС) или инулина. В результате применения водорослей снижается патогенная нагрузка, улучшается состояние желудочно-кишечного тракта, повышается продуктивность, укрепляется иммунная система, увеличивается устойчивость животных к стрессу. Благодаря положительным изменениям в составе микробиоты ЖКТ отмечалась повышенная усвояемость всего рациона и сокращение выделения метана (43). P.S. Erickson с соавт. (60) утверждают, что использование добавки водорослей уже достаточно давно практикуют на органических молочных фермах в США.

При исследовании причин заражения *E. coli* у крупного рогатого скота фекалии определили в качестве важного источника при повторном инфицировании. Препарат Tasco («Acadian Seaplants, Ltd.», Канада) на основе *Ascophyllum nodosum*, применяемый в дозе 20 г/кг рациона в течение

7 сут, эффективно уменьшал продолжительность и интенсивность выделения *E. coli* O157:H7 с фекалиями у бычков. Полученные результаты были подтверждены во втором опыте при скармливании добавки ягнятам в дозе 10 г/кг в течение 28 сут (61). С.С. Lopez с соавт. (62) в исследовании на лактирующих коровах доказали, что использование *A. nodosum* в составе комбикорма в количестве 100 г/кг приводило к увеличению содержания йода в молоке у животных опытной группы (до 1,96 мг/л) по сравнению с контролем (0,92 мг/л). Кроме того, добавка способствовала увеличению численности грамположительной бактерии *Lactococcus lactis*, которая необходима при производстве сыра (62).

Микроводоросли могут стимулировать рост микроорганизмов в ЖКТ у КРС. Добавки, содержащие пробиотические микроорганизмы, не приводят к стойкому заселению микрофлорой. А.В. Коновалов с соавт. (63) установили, что суспензия хлореллы в количестве 500 мл увеличивает среднесуточный прирост живой массы молодняка КРС на 89 г и способствует сокращению периода адаптации к изменению рациона в 3-месячном возрасте (63). По данным С.Н. Garces с соавт. (64), введение в рацион КРС породы монбельярд (Montbéliard) микроводоросли спирулины за 21 сут до отела в количестве 15 и 30 г/сут не повлияло на показатели живой массы, продуктивность, содержание соматических клеток в молоке. В молозиве наибольшее содержание IgG (75,6 г/л) отмечали при дозе спирулины 15 г/сут. Содержание лактозы в молоке оказалось наибольшим (5,6 к 5,5 % в контроле) при дозе 30 г/сут (64).

По данным В.В. Петрякова (65), количество спирулины, оптимальное для повышения защитной функции у КРС, составляет 400 мл/сут. В исследовании на коровах красно-пестрой голштинской породы он установил, что скармливание спирулины повышало показатели естественной резистентности: бактерицидной активности сыворотки крови — на 8,5 %, лизоцимной активности — на 6,5 %, фагоцитарной активности нейтрофилов — на 2,1 %.

По данным Е.А. Третьякова с соавт. (66), скармливание в молочный период ремонтным телкам черно-пестрой породы суспензии хлореллы в количестве 500 г/сут способствовало повышению пищевой активности и увеличению среднесуточного прироста. Было выявлено положительное влияние спирулины на микрофлору рубца у молодняка. По физиологическим показателям различий между группами не наблюдали. В опытной группе увеличилось содержание общего белка крови на 6,7 %, гамма-глобулинов до 28 % (в контроле 25,47 %). Остальные показатели оставались в пределах нормы.

Красные водоросли *Asparagopsis taxiformis* в рационе молочного скота в количестве 5 % способны снизить выбросы метана. Секвенирование ампликона гена 16S рРНК показало, что водоросли влияют на состав микробиома рубца. Относительное содержание метаногенов значительно снизилось по сравнению с контролем в ферментационных сосудах в условиях *in vitro*. Отмечали быстрое воздействие *A. taxiformis* на метаболическую активность метаногенов рубца, в то время как влияние на состав микробиома (распространенность метаногенов) имело замедленный характер (67).

Водоросли в свиноводстве. Пребиотический эффект и антимикробная активность ламинарина и фукоидана могут оказаться полезны для профилактического лечения ЖКТ заболеваний и повышения усвояемости рациона у поросят после отъема. Добавка ламинарина (600 мг/кг) значительно увеличивает экспрессию генов муцина (*MUC 2* и *MUC 4*), оказывая защитное действие на эпителиальные клетки. Противовоспалительное

действие и снижение цитокинового ответа отмечено при дозе 1 мг/мл. Иммуномодулирующий эффект достигался при использовании экстракта морских водорослей (1,8 г/сут) у супоростных свиноматок. Повышенная выработка иммуноглобулинов А и G у свиней наблюдалась при использовании 0,8 % экстракта (68).

Олигосахарид альгиновой кислоты — природный полисахарид, выделенный из клеточных стенок морских водорослей. Добавка олигосахаридов в количестве 100 мг в рацион поросят-отъемышей повышала среднесуточный прирост, антиоксидантную активность, концентрацию IL-10, IgG и IgA в сыворотке крови. Увеличивалось содержание секреторного иммуноглобулина А, высота ворсинок и активность дисахаридазы (лактазы и сахаразы) в тонкой кишке. Уменьшалась популяция бактерий, в том числе кишечной палочки, увеличивалось обилие *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* (69).

С. Corino с соавт. (41) суммировали данные по введению водорослей в рационы свиней. Особое внимание они уделили бурым морским водорослям, подчеркивая их влияние на иммунную систему, здоровье кишечника и антиоксидантный статус животных. Рекомендуется использование бурых водорослей в рационах поросят-отъемышей для профилактики желудочно-кишечных заболеваний. Отмечено увеличение выработки иммуноглобулина и цитокинов (41).

Установлено (70), что бурая морская водоросль *Ecklonia cava* в количестве 0,15 % рациона способствовала увеличению среднесуточного прироста поросят-отъемышей и изменению микрофлоры кишечника: увеличению количества *Lactobacillus* spp. на 0,26 %, уменьшению *E. coli* spp. на 0,26 % и *Clostridium* spp. на 0,22 %. Добавка не оказала влияния на развитие ворсинок в тонком кишечнике (70).

М. Dell'Anno с соавт. (71) оценили антиоксидантную и антимикробную способность бурой водоросли *A. nodosum* и микроводоросли *Schizochytrium* sp. против кишечного патогена *E. coli* O138 *in vitro* методом бульонного макроразведения. Оказалось, что *A. nodosum* способна модулировать рост кишечной палочки в течение непродолжительного времени, а *Schizochytrium* sp. обладает антиоксидантной способностью, которая может усиливаться благодаря синергетическому эффекту. Учитывая острую потребность в инновационных функциональных кормовых добавках, эти водоросли могут применяться в качестве альтернативы антибиотикам (71).

Порошок морских водорослей в рационах свиноматок (30 г/сут) с 85-суточного срока беременности до конца лактации улучшал иммунный статус поросят. По результатам анализа подгрупп Т-лимфоцитов у 40-суточных поросят отмечали увеличение популяции CD4+ CD8+ Т-клеток в тимусе, лимфатических узлах, миндалинах, мононуклеарных клетках периферической крови, селезенке и печени (72).

Включение *Spirulina platensis* в количестве 2 и 3 г/сут в рационы свиней приводило к среднесуточному приросту живой массы на 14,3 % и улучшению конверсии корма на 6,1 %. Отмечено незначительное влияние на гемопоэз (на 15 и 13 % больше эритроцитов и гемоглобина в сыворотке крови в опытной группе), также наблюдалась тенденция к снижению числа заболеваний на 59 % (73).

Р. McDonnel с соавт. (74) предполагают, что ламинарин способен улучшить состояние кишечника поросят после отъема. Авторами было зафиксировано снижение количества *E. coli* в фекалиях и отмечено увеличение среднесуточного прироста. Совместное применение ламинарина и фукоидана (сульфатированный полисахарид) после отъема способно снизить число случаев диареи у поросят (74). N. Derek с соавт. (75) в опыте на по-

росях наблюдали улучшение микрофлоры кишечника и снижение количества *E. coli*. Эффект предположительно достигался благодаря биоактивным соединениям (альгинаты, фукоиданы, ламинарины, флоратанины), которые присутствовали в экспериментальной добавке *A. nodosum* (75).

С целью усиления иммунной системы и дальнейшей замены антибиотиков в свиноводстве М. Katayama с соавт. (76) рекомендуют использовать морские водоросли (0,8 %) и лакрицу (0,15 %). Авторы отмечают увеличение количества IgA в слизистой оболочке и IgG в крови. Показано, что комплекс добавок усилил противовоспалительный эффект (была обнаружена экспрессия генов интерлейкинов) (76).

Биологически активные вещества водорослей в борьбе с кампилобактериями. Отсутствие чувствительности к антибиотикам у бактерий — один из важнейших факторов риска для здоровья человека, поскольку снижает эффективность лекарственных средств, применяемых для лечения заболеваний. Это также приводит к повышению частоты передачи генов, кодирующих резистентность, другим микроорганизмам, в результате чего в среде обитания появляются новые возбудители с повышенной агрессивностью. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, World Health Organization, WHO), устойчивость бактерий, в основном возбудителей зоонозных болезней, к антибиотическим лекарственным средствам в настоящее время представляет одну из самых больших угроз человечеству (77). Всемирная организация здравоохранения животных (World Organisation for Animal Health), озабоченная стремительным развитием и распространением устойчивости к антибиотикам среди возбудителей болезней животных, разработала соответствующие рекомендации для ветеринарных служб (78).

Важную роль в появлении и распространении резистентных бактерий играет активное использование антибиотиков в качестве стимуляторов роста при откорме животных (79). Интенсификация сельского хозяйства, расширение спектра применяемых дезинфектантов и антисептиков, неконтролируемое использование антибиотиков в животноводстве все чаще приводит к селективному отбору возбудителей пищевых инфекций, обладающих антибиотикорезистентностью, наиболее эпидемиологически значимые из которых относятся к грамотрицательным бактериям семейства *Enterobacteriaceae* и рода *Campylobacter*. Основными факторами передачи при кампилобактериозах становится домашняя птица и полученные из нее продукты (80). Мониторинг кампилобактериоза в Европе официально насчитывает приблизительно 200 000 случаев заболевания в год (81, 82). К возбудителям кишечного кампилобактериоза относятся термофильные бактерии рода *Campylobacter* видов *C. jejuni*, *C. coli*, *C. lari*, *C. upsaliensis* и *C. Helveticus* (83, 84).

Для профилактики и лечения кампилобактериозов у сельскохозяйственной птицы необходимо повышать ее резистентность, связанную с нормализацией микробиоты кишечника (увеличение численности полезных бифидобактерий и лактобацилл), и снижать стрессы при смене рационов и вакцинациях, используемых в традиционных схемах применения ветеринарных препаратов (85).

В водорослях содержатся две важнейшие группы веществ, обладающие широким спектром биологической активности. Первая группа — это фукоиданы, которым свойственна антибактериальная, противовирусная, антикоагулянтная, иммуномодулирующая, противовоспалительная, противоопухолевая активность (86, 89). Вторая важная группа соединений — это полифенолы, а именно флоротанины — полимеры флороглюцина, содержание которого варьирует в зависимости от вида бурых водорослей и

места их произрастания, достигая 20 % от сухой массы (34). Для флоротанинов описаны антиоксидантные (в 2-10 раз выше, чем у аскорбиновой кислоты и α -токоферола) (90), противовирусные (91), противоопухолевые (92), нейропротекторные (93), антитромботические (94), антимикробные (95), противоаллергические (96) свойства.

Различные препараты, содержащие фукоиданы в качестве биологически активных компонентов, разрабатываются для медицинского применения, например в перевязочных материалах (87). Отсутствие токсичности наряду с бактериостатическими свойствами позволяет использовать их в пищевой промышленности, увеличивая сроки хранения продуктов и не подавляя полезную микрофлору (88).

Таким образом, морская среда — это перспективный источник биологически активных соединений, которые в настоящее время недостаточно используются в промышленном животноводстве. Разнообразием биологических свойств водорослей определяется их практическое применение в различных областях, в том числе в производстве кормовых добавок для свиноводства, птицеводства, скотоводства. Водоросли проявляют не только пребиотический эффект из-за содержащихся в них олиго- и полисахаридов, но и антимикробные, иммуномодулирующие, антиоксидантные и противовоспалительные свойства благодаря биоактивным соединениям. В зависимости от цели применения и при соблюдении оптимальной дозировки водоросли способны положительно влиять на онтогенез, продуктивность животных, качество получаемой продукции. Водоросли также могут изменять состав микробных сообществ в положительную сторону, влияя на патогенные микроорганизмы. Снижение риска развития инфекционных болезней связывают с формированием здоровой микробиоты, которая способна обеспечить высокую устойчивость к колонизации кишечника патогенами. Состоянием кишечника определяется здоровье животного, эффективность использования питательных и биологически активных веществ. Применение биологически активных кормовых добавок, в частности водорослей, поддерживающих формирование нормальной микрофлоры кишечника и стимулирующих защитные силы организма, рассматривается как один из наиболее перспективных приемов при профилактике и лечении инфекций и в качестве альтернативы кормовым антибиотикам.

*ФГБОУ ВО Московская государственная академия
ветеринарной медицины и биотехнологии —
МВА им. К.И. Скрябина,*
109472 Россия, г. Москва, ул. Академика Скрябина, 23,
e-mail: kochich.i@mail.ru, eug2.zimin@gmail.com, ilnikov@mgavm.ru ✉

*Поступила в редакцию
4 апреля 2023 года*

Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023, V. 58, № 6, pp. 1006-1020

MARINE ALGAE: EVALUATION OF THE POTENTIAL FOR USE IN FARM ANIMAL DIETS (review)

I.I. Kochish, E.E. Zimin, I.N. Nikonov✉

Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, ul. Akademika Skryabina, Moscow, 109472 Russia, e-mail kochich.i@mail.ru, eug2.zimin@gmail.com, ilnikov@mgavm.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Kochish I.I. orcid.org/0000-0002-8502-6052

Nikonov I.N. orcid.org/0000-0001-9495-0178

Zimin E.E. orcid.org/0009-0007-9244-7334

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 22-16-00009)

Final revision received April 04, 2023

doi: 10.15389/agrobiology.2023.6.1006eng

Accepted April 22, 2023

Abstract

Currently, in the feed industry, along with energy-saving progressive technologies, non-traditional raw materials and secondary products of food industry are widely used. Processing and use of non-traditional resources at food enterprises significantly increases their profitability and reduces grain costs in compound feeds (P. Burtin, 2003). Natural components provide high-quality feeding for animals, strengthen their health and improve production performance. Currently, studies of the biological activity of algae phlorotannins are still relevant. The variety of biological properties determines their practical use, including in the production of feed additives for animals (S.B. Wang et al., 2013). An important problem is the uncontrolled use of antibacterial drugs, which can lead to the transfer of antibiotic resistance from animal to human (I.I. Kochish et al., 2019). Probiotics, prebiotics, symbiotics, organic acids, etc., serve as an alternative to feed antibiotics. These supplements are not inferior to antibiotics in effectiveness, but exclude their negative effects (I.A. Egorov et al., 2019). Seaweeds have a prebiotic effect due to the oligo- and polysaccharides and antimicrobial, immunomodulatory, antioxidant and anti-inflammatory activity due to bioactive compounds. Depending on the purpose of application and with the optimal dosage, seaweeds can positively affect animal ontogenesis, productivity and the quality of the products obtained. In poultry farming, seaweeds strengthen the immune state, reduce the microbial load in the digestive tract and improve product quality (A.M. Abudabos et al., 2012). Green algae (*Enteromorpha prolifera*) contribute to better digestibility of nutrients, increase the level of metabolized energy, lead to higher egg production and a better egg quality (an increase in weight, shell thickness, change in yolk color), as well as reduce the yolk cholesterol level (S.B. Wang et al., 2013). Dried, boiled and autoclaved brown algae (*Sargassum dentifolium*, *Turbinaria conoides*, *Dictyota dentata*, etc.) in the diet of young chickens and laying hens have no adverse effects on productivity performance and feed intake while positively influence yolk coloration and the calcium content in the shell. Dietary brown algae *Sargassum* sp. reduces levels of cholesterol and triglycerides in blood and yolk in laying hens with an increase in the yolk carotene, lutein and zeaxanthin concentrations (M.A. Al-Harhi et al., 2012). Red algae (*Asparagopsis taxiformis*) in the diet of animals can positively change the microbiome of the gastrointestinal tract, increasing the diversity and abundance of beneficial bacteria (B.M. Roque et al., 2019). Thus, due to its special biochemical composition, seaweeds is promising in feeding highly productive crosses of poultry, pigs and cattle.

Keywords: algae, antibiotic resistance, intestinal microflora, immunity, probiotics, prebiotics, *Campylobacter*, polysaccharides, biochemical analysis, feed additive.

REFERENCES

1. Burtin P. Nutritional value of seaweeds. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 2(4): 498-503.
2. Godfray H.C., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818 (doi: 10.1126/science.1185383).
3. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(50): 20260-20264 (doi: 10.1073/pnas.1116437108).
4. Makkar H.P.S., Tran G., Heuze V., Guger-Reverdin S., Lessire M., Lebas F., Ankers P. Seaweeds for livestock diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 212: 1-17 (doi: 10.1016/j.anifeeds.2015.09.018).
5. Sleptsov V.V. *Epokha nauki*, 2017, 9: 96-101 (in Russ.).
6. O'Sullivan L., Murphy B., McLoughlin P., Duggan P., Lawlor P.G., Hughes H., Gardiner G.E. Prebiotics from marine macroalgae for human and animal health applications. *Marine Drugs*, 2010, 8(7): 2038-2064 (doi: 10.3390/md8072038).
7. Kolomiets S.N., Egorova M.A., Farzudinov R.Kh. *Zootekhniya*, 2020, 5: 14-17 (in Russ.).
8. Egorov I.A., Egorova T.A., Lenkova T.N., Vertiprakhov V.G., Manukyan V.A., Nikonov I.N., Grozina A.A., Filippova V.A., Yildirim E.A., Ilyina L.A., Dubrovin A.V., Laptev G.Yu. Poultry diets without antibiotics. ii. intestinal microbiota and performance of broiler (*Gallus gallus* L.) breeders fed diets with a phytobiotic. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2019, 54(4): 798-809 (doi: 10.15389/agrobiol.2019.4.798eng).
9. Kim S.-K. *Handbook of marine microalgae: biotechnology advances*. K.A.S. Gomez, P. Gonzalez (eds.). Academic Press, UK, 2015.
10. van Krimpen M.M., Bikker P., van der Meer I.M., van der Peet-Schwering C.M.C., Ver-eijken J.M. Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products. In: *Wageningen UR Livestock Research. No. 662*. Wageningen UR Livestock Research, Netherlands, 2013.
11. Kochish I.I., Myasnikova O.V., Martynov V.V. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Molekulyarno-geneticheskie tekhnologii dlya analiza ekspressii genov produktivnosti i ustoychivosti k zabolevaniyam zhivotnykh»* [Proc. Int. Conf. «Molecular genetic technologies for

- analyzing the expression of genes for productivity and resistance to animal diseases», iss. 1]. Moscow, 2019, vyp. 1: 93-97 (in Russ.).
12. Buyarov V.S. Chervonova I.V., Yarovan N.I., Uchasov D.S., Sein O.B. *Probiotiki i prebiotiki v promyshlennom svinovodstve i ptitsevodstve: monografiya* [Probiotics and prebiotics in industrial pig and poultry farming: monograph]. Orel, 2014 (in Russ.).
 13. Dubrovin A.V. Laptev G.Yu., Il'ina A.A., Filippova V.A., Yldyrym E.A., Kochish I.I., Novikova O.B. *Veterinariya*, 2018, 12: 12-16 (in Russ.).
 14. Kotarev V.I. Lyadova L.V., Morgunova V.I., Denisenko L.I. *Veterinarnyy farmakologicheskiy vestnik*, 2019, 3(8): 85-94 (doi: 10.17238/issn2541-8203.2019.3.85) (in Russ.).
 15. Torshkov A.A., Fomichev Yu.P. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 25(1): 172-175 (in Russ.).
 16. Świątkiewicz S., Arczewska-Włosek A., Józefiak D. Application of microalgae biomass in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 2016, 71(4): 663-672 (doi: 10.1017/S0043933915002457).
 17. Windisch W.M., Rohrer E., Schedle K. Phytogetic feed additives to young piglets and poultry: mechanisms and application. In: *Phytogenics in animal nutrition: natural concepts to optimize gut health and performance*. T. Steiner (ed.). Nottingham, 2009: 19-38.
 18. Garcia-Vaquero M., Rajauria G., O'Doherty J.V., Sweeney T. Polysaccharides from macroalgae: recent advances, innovative technologies and challenges in extraction and purification. *Food Research International*, 2017, 99(3): 1011-1020 (doi: 10.1016/j.foodres.2016.11.016).
 19. Renuka N., Prasanna R., Sood A., Ahluwalia A.S., Bansal R., Babu S., Singh R., Shivay Y.S., Nain L. Exploring the efficacy of wastewater-grown microalgal biomass as a biofertilizer for wheat. *Environmental Science and Pollution research International*, 2015, 23(7): 6608-6620 (doi: 10.1007/s11356-015-5884-6).
 20. Saha D., Bhattacharya S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, 47(6): 587-597 (doi: 10.1007/s13197-010-0162-6).
 21. Schneider T., Ehrig K., Liewert I., Alban S. Interference with the CXCL12/CXCR4 axis as potential antitumor strategy: superiority of a sulfated galactofucan from the brown alga *Saccharina latissima* and fucoidan over heparins. *Glycobiology*, 2015, 25(8): 812-24 (doi: 10.1093/glycob/cwv022).
 22. Audibert L., Fauchon M., Blanc N., Hauchard D., Gall E.A. Phenolic compounds in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*: distribution and radical-scavenging activities. *Phytochemical Analysis*, 2010, 21(5): 399-405 (doi: 10.1002/pca.1210).
 23. Bittkau K.S., Neupane S., Alban S. Initial evaluation of six different brown algae species as source for crude bioactive fucoidans. *Algal Research*, 2020, 45: 101759 (doi: 10.1016/j.algal.2019.101759).
 24. Devaney L., Henchion M., Regan A. Good governance in the bioeconomy. *EuroChoices*, 2017, 16(2): 41-46 (doi: 10.1111/1746-692x.12141).
 25. Atashrazm F., Lowenthal R.M., Woods G.M., Holloway A.F., Dickinson J.L. Fucoidan and cancer: a multifunctional molecule with anti-tumor potential. *Marine Drugs*, 2015, 13(4): 2327-46 (doi: 10.3390/md13042327).
 26. Jr. Goh L.P., Loh S.P., Fatimah M.Y., Perumal K. Bioaccessibility of carotenoids and tocopherols in marine microalgae, *Nannochloropsis* sp. and *Chaetoceros* sp. *Malaysian Journal of Nutrition*, 2009, 15(1): 77-86.
 27. Heffernan N., Brunton N.P., FitzGerald R.J., Smyth T.J. Profiling of the molecular weight and structural isomer abundance of macroalgae-derived phlorotannins. *Marine Drugs*, 2015, 13(1): 509-528 (doi: 10.3390/md13010509).
 28. Heffernan N., Smyth T.J., Soler-Villa A., Fitzgerald R.J., Brunton N.P. Phenolic content and antioxidant activity of fractions obtained from selected Irish macroalgae species (*Laminaria digitata*, *Fucus serratus*, *Gracilaria gracilis* and *Codium fragile*). *Journal of Applied Phycology*, 2015, 27(1): 519-530 (doi: 10.1007/s10811-014-0291-9).
 29. Kılınc B., Cirik S., Turan G., Tekogul H., Koru E. Seaweeds for food and industrial applications. In: *Food industry*. I. Muzzalupo (eds.). InTech, 2012 (doi: 10.5772/53172).
 30. Liu H., Gu L. Phlorotannins from brown algae (*Fucus vesiculosus*) inhibited the formation of advanced glycation end products by scavenging reactive carbonyls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(5): 1326-34 (doi: 10.1021/jf204112f).
 31. Nakamura T., Nagayama K., Uchida K., Tanaka R. Antioxidant activity of phlorotannins isolated from brown alga *Eisenia bicyclis*. *Fisheries Science*, 1996, 62(6): 923-926 (doi: 10.2331/fishsci.62.923).
 32. Pozharitskaya O.N., Obluchinskaya E.D., Shikov A.N. Mechanisms of bioactivities of *Fucoidan* from the brown seaweed *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea. *Marine Drugs*, 2020, 18(5): 275 (doi: 10.3390/md18050275).
 33. Ragan M.A., Jensen A. Quantitative studies on brown algal phenols. II. Seasonal variation in polyphenol content of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. and *Fucus vesiculosus* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1987, 34(3): 245-258 (doi: 10.1016/S0022-0981(78)80006-9).
 34. Puspita M., Deniel M., Widowati I., Radjasa O.K., Douzenel P., Marty C., Vandanjon L., Bedoux G., Bourgougnon N. Total phenolic content and biological activities of enzymatic extracts from *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *Journal of Applied Phycology*, 2017, 29(5): 2521-2537 (doi: 10.1007/s10811-017-1086-6).

35. El Gamal A.A. Biological importance of marine algae. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2010, 18(1): 1-25 (doi: 10.1016/j.jsps.2009.12.001).
36. Hayes M. Food proteins and bioactive peptides: new and novel sources, characterisation strategies and applications. *Foods*, 2018, 7(3): 38 (doi: 10.3390/foods7030038).
37. Yip Z.T., Quek R.Z.B., Huang D. Historical biogeography of the widespread macroalga *Sargassum* (*Fucales*, *Phaeophyceae*). *J. Phycol.*, 2020, 56(2): 300-309 (doi: 10.1111/jpy.12945).
38. Murty U.S., Banerjee A.K. Seaweed: the wealth of oceans. In: *Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology*. S.-K. Kim (ed.). Cambridge, 2012: 36-43 (doi: 10.1002/9781119977087.ch2).
39. Edwards M., Hanniffy D., Heesch S., Hernández-Kantún J., Moniz M., Queguineur B., Ratcliff J., Soler-Vila A., Wan A. *Macroalgae fact-sheets*. A. Soler-Vila, M. Moniz (eds.). Irish Seaweed Research Group, Ryan Institute, NUI Galway, 2012.
40. Misurcova L. Chemical composition of seaweeds. In: *Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology*. S.-K. Kim (ed.). John Wiley & Sons, Ltd., 2012 (doi: 10.1002/9781119977087.ch7).
41. Corino C., Modina S.C., Giancamillo A.D., Chiapparini S., Rossi R. Seaweeds in pig nutrition. *Animals*, 2019, 9(12): 1126 (doi: 10.3390/ani9121126).
42. Azenha I. *Cultivo e Avaliação Nutricional de Ulva sp. Comparação com Exemplos Recolhidos em Ambiente Natural*. Bachelor's Thesis Escola Superior Agrária de Coimbra. Coimbra, Portugal, 2019.
43. Evans F.D., Critchley A.T. Seaweeds for animal production use. *Journal of Applied Phycology*, 2013, 26(2): 891-899 (doi: 10.1007/s10811-013-0162-9).
44. Spruijt J., van der Weide R., van Krimpen M. Opportunities for microalgae as ingredient in animal diets. In: *Application Centre for Renewable Resource*. R. van der Weide (ed.). Wageningen UR, Netherlands, 2016.
45. Abudabos A.M. Okab A., Aljumaah R.S., Samara E.M., Abdoun K.A., Al-Haidar A.A. Nutritional value of greenseaweed (*Ulva lactuca*) for broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 2012, 12(2): 177-181 (doi: 10.4081/ijas.2013.e28).
46. Wang S.B., Shi X.P., Zhou C.F., Lin Y.T. *Enteromorpha prolifera*: effects on performance, carcass quality and small intestinal digestive enzyme activities of broilers. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(6): 1332-1337.
47. Wang S.B., Jia Y.H., Wang F.H., Lin Y.T. *Enteromorpha prolifera* supplemental level: effects on laying performance, egg quality, immune function and microflora in feces of laying hens. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(6): 1346-1352.
48. Bradbury E.J. Wilkinson S.J., Cronin G.M., Walk C., Cowieson A. The effect of marine calcium source on broiler leg integrity. In: *Australian poultry science symposium*. E.J. Bradbury (ed.). Poultry Research Foundation, Australia, 2012, 23: 85-88.
49. Al-Harthi M.A. Sexual maturity and performance of pullets fed different preparations and concentrations of brown marine algae (*Sargassum dentifebium*) in pre-laying and early laying periods. *Italian Journal of Animal Science*, 2014, 13(1): 3102 (doi: 10.4081/ijas.2014.3102).
50. Al-Harthi M.A., El-Deek A.A. The effects of preparing methods and enzyme supplementation on the utilization of brown marine algae (*Sargassum dentifebium*) meal in the diet of laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 2011, 10(48): 195-203 (doi: 10.4081/ijas.2011.e48).
51. Al-Harthi M.A., El-Deek A.A. Effect of different dietary concentrations of brown marine algae (*Sargassum dentifebium*) prepared by different methods on plasma and yolk lipid profiles, yolk total carotene and lutein plus zeaxanthin of laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 2012, 11(4): 347-353 (doi: 10.4081/ijas.2012.e64).
52. El-Deek A.A., Al-Harthi M.A., Abdalla A.A., Elbanoby M.M. The use of brown algae meal in finisher broiler diets. *Egypt Poultry Science Journal*, 2011, 31(IV): 767-781.
53. Kulshreshtha G., Rathgeber B., Stratton G., Thomas N., Evans F., Critchley A., Hafting J., Prithiviraj B. Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcoditheca gaudichaudii*, affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens. *Poultry Science*, 2014, 93(12): 2991-3001 (doi: 10.3382/ps.2014-04200).
54. Kulshreshtha G., Rathgeber B., Maclsaac J., Boulianne M., Brigitte L., Stratton G., Thomas N.A., Critchley A.T., Hafting J., Prithiviraj B. Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcoditheca gaudichaudii*, reduce *Salmonella enteritidis* in laying hens. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 567 (doi: 10.3389/fmicb.2017.00567).
55. Ngo D.-H., Kim S.-K. Sulfated polysaccharides as bioactive agents from marine algae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 62: 70-75 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.08.036).
56. Mariey Y.A., Samak H., Ibrahim M. Effect of using *Spirulina platensis* algae as feed additive for poultry diets. *Egyptian Poultry Science Journal*, 2012, 32(1): 201-215.
57. Kulshreshtha G., Borza T., Rathgeber B., Stratton G.S., Thomas N.A., Crithley A., Hafting J., Prithiviraj B. Red seaweeds *Sarcoditheca gaudichaudii* and *Chondrus crispus* down regulate virulence factors of *Salmonella enteritidis* and induce immune responses in *Caenorhabditis elegans*. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 1-12 (doi: 10.3389/fmicb.2016.00421).
58. Manor M.L., Derksen T.J., Magnuson A.D., Raza F., Lei X.G. Inclusion of dietary defatted microalgae dose-dependently enriches ω -3 fatty acids in egg yolk and tissues of laying hens. *The Journal of Nutrition*, 2019, 149(6): 942-950 (doi: 10.1093/jn/nxz032).

59. Sweeney T., Meredith H., Vigors S., McDonnell M.J., Ryan M., Thornton K., O'Doherty J.V. Extract of laminarin and laminarin/fucoidan from the marine macroalgal species *Laminaria digitata* improved growth rate and intestinal structure in young chicks, but does not influence *Campylobacter jejuni* colonisation. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 232(4): 71-79 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.08.001).
60. Erickson P.S., Marston S.P., Gemmel M., Deming J., Cabral R.G., Murphy M.R., Marden J.I. Short communication: kelp taste preferences by dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(2): 856-858 (doi: 10.3168/jds.2011-4826).
61. Bach S.J., Wang Y., Mcallister T.A. Effect of feeding sun-dried seaweed (*Ascophyllum nodosum*) on fecal shedding of *Escherichia coli* O157:H7 by feedlot cattle and on growth performance of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, 142(1-2): 17-32 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.033).
62. Lopez C.C., Serio A., Rossi C., Mazzarrino G., Marchetti S., Castellani F., Grotta L., Fiorentino F.P., Paparella A., Martino G. Effect of diet supplementation with *Ascophyllum nodosum* on cow milk composition and microbiota. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(8): 6285-6297 (doi: 10.3168/jds.2015-10837).
63. Kononov A.V., Flerova E.A., Zarubin A.V., Bogdanova A.A. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*, 2012, 1(17): 46-49 (in Russ.).
64. Garcés C.N., Vela D., Mullo A., Cabezas V., Alvear A., Ponce C. Spirulina supplementation during the transition period by grazing dairy cattle at tropical highland conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 2019, 51(2): 477-480 (doi: 10.1007/s11250-018-1691-7).
65. Petryakov V.V. *Nauchnyy al'manakh*, 2016, 6-2(19): 442-445 (in Russ.).
66. Mekhanikova M.V., Tret'yakov E.A., Kulakova T.S. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*, 2016, 1(21): 35-42 (in Russ.).
67. Roque B.M., Brooke C.G., Ladau J., Polley T., Marsh L.J., Najafi N., Pandey P., Singh L., Kinley R., Salwen J.R., Eloie-Fadrosch E., Kebreab E., Hess M. Effect of the macroalgae *Asparagopsis taxiformis* on methane production and rumen microbiome assemblage. *Animal Microbiome*, 2019, 1: 3 (doi: 10.1186/s42523-019-0004-4).
68. Maghin F., Ratti S., Corino C. Biological functions and health promoting effects of brown seaweeds in swine nutrition. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 2014, 1(1): 14-16 (doi: 10.15406/jdvar.2014.01.00005).
69. Wan J., Jiang F., Xu Q., Chen D., He J. Alginate oligosaccharide accelerates weaned pig growth through regulating antioxidant capacity, immunity and intestinal development. *RSC Advances*, 2016, 90: 87026-87035 (doi: 10.1039/c6ra18135j).
70. Choi Y., Hosseindoust A., Goel A., Lee S., Jha P.K., Kwon I.K., Chae B.-J. Effects of *Ecklonia cava* as fucoidan-rich algae on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology and caecal microflora in weanling pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2017, 30(1): 64-70 (doi: 10.5713/ajas.16.0102).
71. Dell'Anno M., Sotira S., Rebucci R., Reggi S., Castiglioni B., Rossi L. In vitro evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of algal extracts. *Italian Journal of Animal Science*, 2020, 19(1): 103-113 (doi: 10.1080/1828051X.2019.1703563).
72. Azizi A.F.N., Miyazaki R., Yumito T., Ohashi Y., Uno S., Miyajima U., Kumamoto M., Uchiyama S., Yasuda M. Effect of maternal supplementation with seaweed powder on immune status of liver and lymphoid organs of piglets. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 2018, 80(1): 8-12 (doi: 10.1292/jvms.17-0537).
73. Nedeva R., Jordanova G., Kistanova E., Shumkov K., Georgiev B., Abadgieva D., Kacheva D., Shimkus A., Shimkina A. Effect of the addition of *Spirulina platensis* on the productivity and some blood parameters on growing pigs. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2014, 20(3): 680-684.
74. McDonnell P., Figat S., O'Doherty J.V. The effect of dietary laminarin and fucoidan in the diet of the weanling piglet on performance, selected faecal microbial populations and volatile fatty acid concentrations. *Animal*, 2010, 4(4): 579-585 (doi: 10.1017/S1751731109991376).
75. Derek N., Olyn A., De Smet S. In vitro assessment of the effect of intact marine macroalgae *Ascophyllum nodosum* on the gut flora of piglets. *Livestock Science*, 2010, 133(1-3): 154-156 (doi: 10.1016/j.livsci.2010.06.051).
76. Katayama M., Fukuda T., Okamura T., Suzuki E., Tamura K., Shimizu Y., Suda Y., Suzuki K. Effect of dietary addition of seaweed and licorice on the immune performance of pigs. *Animal Science Journal*, 2011, 82(2): 274-281 (doi: 10.1111/j.1740-0929.2010.00826.x).
77. Panin A.N., Komarov A.A., Kulikovskiy A.V., Makarov D.A. *Veterinariya i zootekhnika*, 2017, 5: 18-24 (in Russ.).
78. Vsemirnaya organizatsiya zdorov'ya zhivotnykh. *Kodeks zdorov'ya nazemnykh zhivotnykh, 28 izdanie*. Rue de Prony, Paris, 2019 (in Russ.).
79. Centers for Disease Control and Prevention (U.S.). *Antibiotic resistance threats in the United States, 2013 (2013)*. Available: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/20705>. No date.
80. Korotkevich Yu.V., Efimochkina N.R., Sheveleva S.A. *Materialy 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye tekhnologii produktov pitaniya»* [Proc. 2 Int. Conf. «Modern food technologies»]. Kursk, 2015, 78-81 (in Russ.).
81. European Food Safety Authority (EFSA). The European Union summary report on trends and

- sources of zoonoses, zoonotic agents and foodborne outbreaks in 2013. *European Food Safety Authority Journal*, 2015, 13(1): 3991 (doi: 10.2903/j.efsa.2015.3991).
82. Meunier M., Guyard-Nicodeme M., Dory D., Chemaly M. Control strategies against *Campylobacter* at the poultry production level: biosecurity measures, feed additives and vaccination. *Journal of Applied Microbiology*, 2016, 120(5): 1139-1173 (doi: 10.1111/jam.12986).
 83. Efimochkina N.R., Korotkevich Yu.V., Stetsenko V.V., Pichugina T.V., Bykova I.V., Markova Yu.M., Minaeva L.P., Sheveleva S.A. *Voprosy pitaniya*, 2017, 86(1): 17-27 (doi: 10.24411/0042-8833-2017-00016) (in Russ.).
 84. Sukhinin A.A., Rozhdestvenskaya T.N., Pankratov S.V., Smirnova L.I., Makavchik S.A. *Veterinariya i kormlenie*, 2021, 3: 52-54 (in Russ.).
 85. 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., Usov A.I., Ustyuzhanina N.E., Grachev A.A., Sanderson C.J., Kelly M., Rabinovich G.A., Lacobelli S. A comparative study of the anti-inflammatory, anticoagulant, antiangiogenic and antiadhesive activities of nine different fucoidans from brown seaweeds. *Glycobiology*, 2007, 17(5): 541-552 (doi: 10.1093/glycob/cwm014).
 86. Morua V.K., Kim J., Kim E.-K. Algal fucoidan: structural and size-dependent bioactivities and their perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2012, 93(1): 71-82 (doi: 10.1007/s00253-011-3666-8).
 87. Zinov'ev E.V., Luk'yanov S.A., Tsygan V.N., Kul'minskaya A.A., Lapina I.M., Zhurishkina E.V., Lopatin I.M., Asadulaev M.S., Artsimovich I.V., Kostyakov D.V., Paneyakh M.B., Shabunin A.S., Zubov V.V., Zhilin A.A., Davletova L.A., Stekol'shchikova E.A. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2019, 1(65): 148-152 (in Russ.).
 88. Potoroko I.Yu., Uskova D.G., Paymulina A.V., Bagale U. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i Biotekhnologii*, 2019, 7(1): 58-70 (doi: 10.14529/food190107) (in Russ.).
 89. Bogolitsyn K.G., Kaplitsin P.A., Pochtovalova A.S. Amino-acid composition of arctic brown algae. *Chemistry of Natural Compounds*, 2014, 49(6): 1110-1113 (doi: 10.1007/s10600-014-0831-1).
 90. Shibata T., Ishimaru K., Kawaguchi S., Yoshikawa H., Hama Y. Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese *Laminariaceae*. *Journal of Applied Phycology*, 2007, 20(5): 705-711 (doi: 10.1007/s10811-007-9254-8).
 91. Ryu Y.B., Jeong H.J., Yoon S.Y., Park J.Y., Kim Y.M., Park S.J., Rho M.C., Kim S.J., Lee W.S. Influenza virus neuraminidase inhibitory activity of phlorotannins from the edible brown alga *Ecklonia cava*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(12): 6467-6473 (doi: 10.1021/jf2007248).
 92. Lezcano V., Fernández C., Parodi E.R., Morelli S. Antitumor and antioxidant activity of the freshwater macroalga *Cladophora surera*. *Journal of Applied Phycology*, 2018, 30(5): 2913-2921 (doi: 10.1007/s10811-018-1422-5).
 93. Kojima-Yuasa A. Biological and pharmacological effects of polyphenolic compounds from *Ecklonia cava*. In: *Polyphenols: mechanisms of action in human health and disease*. R.R. Watson, V.R. Preedy, S. Zibadi (eds.). Academic Press, London, 2018: 41-52 (doi: 10.1016/B978-0-12-813006-3.00005-2).
 94. Lee M.H., Lee K.B., Oh S.M., Lee B.H., Chee H.Y. Antifungal activities of dieckol isolated from the marine brown alga *Ecklonia cava* against *Trichophyton rubrum*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2010, 53(4): 504-507 (doi: 10.3839/jksabc.2010.076).
 95. Kim H.-J., Dasagrhandhi C., Kim S.-H., Kim B.-G., Eom S.-H., Kim Y.-M. In vitro antibacterial activity of phlorotannins from edible brown algae, *Eisenia bicyclis* against streptomycin-resistant *Listeria monocytogenes*. *Indian Journal of Microbiology*, 2018, 58(1): 105-108 (doi: 10.1007/s12088-017-0693-x).
 96. Barbosa M., Lopes G., Valentro P., Ferreres F., Gil-Izquierdo Á., Pereira D.M., Andrade P.B. Edible seaweeds' phlorotannins in allergy: a natural multi-target approach. *Food Chemistry*, 2018, 265:233-241 (doi: 10.1016/j.foodchem.2018.05.074).