

Альтернативные источники белка в Скандинавских странах

Бутовский Р.О.

д.б.н., профессор, рук. НМЦ «Технология»

Аннотация

Тенденции современного устойчивого развития вызывают необходимость поиска альтернативных источников белка на национальном и региональном уровнях. В статье обобщен скандинавский опыт по выявлению возможных источников, которые могут частично или полностью заместить сою и рыбные белки в животных кормах. Наиболее подходящими организмами для этой цели являются насекомые, грибы, бактерии и микроводоросли, а также некоторые возделываемые растения (злаки, бобовые, зерновые и масличные культуры).

Annotation

The trends of modern sustainable development lead to the necessity of search of alternate protein sources at the national and regional levels. The paper reviews the Scandinavian experience on the identification of the possible sources, which may substitute soya and fish proteins in the animal food completely or partially. The most prominent organisms for this task are insects, fungi, bacteria and micro-algae, as well as several cultivated plants (cereals, legumes, grains and oilseeds).

Введение

Глобальная потребность в пищевых продуктах и белках нарастает как ожидаемое следствие роста человеческой популяции в мире, которая к 2050 г. достигнет 9 млрд. человек. Уже в настоящее время около 1 млрд. человек в мире хронически недоедает. Если не будут предприняты меры, рост потребности в белках вызовет рост цен на продукты и усилит давление на животноводческие хозяйства, а также скажется на продовольственной безопасности как в мире, так и в Российской Федерации. Вместе с тем имеются альтернативы соевым продуктам, богатым белками, которые были обобщены в ряде обзоров (FAO, 2013; Lindberg et al., 2016). Для России в силу сходных климатических условий особый интерес представляет современный опыт скандинавских стран.

Белоксодержащие сельскохозяйственные культуры (в т.ч. бобовые и соя) в Евросоюзе занимают только 3% возделываемых площадей (Euractiv, 2011). В 2012 г. в Евросоюз было импортировано 34 млн т. сои, эквивалентной 15,5 млн т. белка, в основном из Южной Америки, что должно примерно соответствовать 10% площади возделываемых земель (20 млн га) в Европе (De Boer et al., 2014). Европейский парламент недавно поставил перед Евросоюзом задачу снизить зависимость от импорта белоксодержащих культур, используемых в качестве корма для животных, из США, Аргентины и Бразилии (Euractiv, 2011).

Кроме того, продуктивность морских экосистем в настоящее время претерпевает значительные изменения, которые заключаются в переходе от традиционного рыболовства к широкомасштабному (до 50% от общего объема производства) выращиванию аквакультуры на морских фермах. Так, в 2010 г. Норвегия произвела 1 млн т. и ЕС-27 - 1,2 млн т. морепродуктов, в основном лосося. В настоящее время проводятся исследования по наращиванию объемов производства водорослей и мидий для улавливания питательных веществ (компенсаторная продуктивность) и для переработки этой морской биомассы в корм для рыб и домашней птицы с целью замыкания цикла питательных веществ (Submariner, 2013). Наконец, пищевые отходы могут служить субстратом для производства белка насекомыми.

Продуктивность животноводства в Скандинавских странах и ЕС зависит от импортированных белков, в основном соевых бобов. Соя составляет основу импорта белка (30 млн. т ежегодно, примерно 20% от мирового производства). Использование импортного белка в Балтийском регионе, в частности, может вносить существенный вклад в воздействие производства продуктов животноводства на окружающую среду и климат. При этом значительные количества питательных веществ (например, азота и фосфора) мигрируют по пищевым цепям и таким образом вносят вклад в перенасыщение экосистем питательными элементами и усиливают процесс выделения парниковых газов.

Рост поголовья в животноводстве и птицеводстве на российских сельхозпредприятиях также стимулирует увеличение производства кормов и добавок. По информации Союза свиноводов России, в 2016 году прирост отрасли, ставшей драйвером всего животноводческого комплекса, составил 9,4 процента, или 4,3 миллиона тонн мяса. Рост продолжился и в этом году: в январе производство продукции свиноводства увеличилось на 12,6 процента по сравнению с январем 2016 года и достигло 273,9 тысячи тонн. В 2016 г. на 2,1 процента прибавило и птицеводство, увеличив объем готовой продукции до 6,1 миллиона тонн. Общая же цифра производства скота и птицы на убой выросла за год на 3,4 процента, до 13,9 миллиона тонн (Производство..., 2017).

Вместе с интенсивным развитием животноводства и птицеводства и переходом малых производителей на прогрессивные технологии кормления объем производства комбикорма в России также стабильно рос. В результате, согласно данным Росстата, по итогам 2016 года в России производство кормов для птицы увеличилось на 1,2 процента, до 14,2 миллиона тонн, для свиней - на 9,1 процента, до 9,4 миллиона тонн, для КРС - на один процент, до 2 миллионов тонн.

Основная витаминно-минеральная часть любого корма - это смесь витаминов, макро- и микроэлементов, ферментов, пробиотиков и других веществ, которая называется премикс. В прошлом году в России произведено 273 817 тонн премиксов, что почти на восемь процентов больше, чем в 2015 г. (Производство..., 2017).

Вместе с тем современное устойчивое развитие вызывает необходимость поиска альтернативных источников белка на национальном и региональном уровнях. Имеется несколько возможных источников, которые могут частично или полностью заместить сою и рыбные белки в животных кормах.

Наиболее подходящими организмами для этой цели являются насекомые (Makkar et al., 2014), грибы (Langeland, 2014), бактерии (Skrede et al., 1998) и микроводоросли (Atkinson, 2013). Кроме того, некоторые возделываемые растения (злаки, бобовые, зерновые и масличные культуры) также могут заменить соевый и рыбный белок в животноводстве (Lindberg et al., 2016).

Потребности в белках и аминокислотах

В целом, содержание общего белка в рыбе и ракообразных является высоким по сравнению с домашними животными и составляет 30-55% сухого вещества у рыб и 30-60% сухого вещества у креветок и ракообразных (NRC, 2011).

В свинине эти показатели составляют 12-20% сухого вещества для свиноматок и 20-25% - для поросят, 13-20% - для растущих свиней (NRC, 2012), а в птицеводстве - 14-21% для несушек и 20-26% - для бройлеров (NRC, 1994).

Содержание белка у коров составляет 10-19% сухого вещества у телят и 13-23% - у молочных коров (NRC, 2001).

Необходимо отметить, что содержание общего белка в корме будет зависеть от усвояемости набора аминокислот. Таким образом, компоненты корма с высокой усвояемостью общего белка и сбалансированным аминокислотным профилем должны содержать меньше общего белка, чем компоненты корма с высокой усвояемостью и несбалансированным аминокислотным профилем. Как следствие, в последнем случае

после кормления в навозе животных будет содержаться больше азота (Portejoie et al., 2004; Madrid et al., 2013).

Для построения белков организму необходимы аминокислоты. Для животных с однокамерным желудком и водных организмов корм должен содержать незаменимые аминокислоты (НАК) в достаточных количествах и в необходимом соотношении (NRC, 2011). В противоположность этому жвачные животные менее зависят от профиля АК в корме, поскольку они самостоятельно вырабатывают микробные белки и АК в результате наличия симбиоза с микробиотой рубца (NRC, 2001). Потребности животных в АК определяются такими факторами как генотип, пол, состояние здоровья и окружающей среды (van Milgen, Dourmad, 2013).

Потребности в НАК являются видоспецифическими и сильно различаются между видами, как по лизину, так и по другим НАК, а также среди видов с различной физиологией.

Пищевая ценность альтернативных источников белка

Насекомые

Во многих странах Азии, Латинской Америки и Африки существует традиция использования насекомых в качестве источника пищи (FAO, 2013). Подсчитано, что по крайней мере 2 млрд. человек используют насекомых в качестве корма, причем съедобными считаются 1900 видов насекомых (FAO, 2013). Большинство насекомых растут и быстро размножаются, в том числе и на отходах. В пяти основных группах насекомых содержание общего белка было высоким (Makkar *et al.*, 2014) (табл. 1). Более того, в насекомых содержание липидов было также высоким, в то время как содержание углеводов - низким и варибельным. Содержание зольных элементов могло быть очень высоким и варибельным (Makkar *et al.*, 2014).

Содержание общего белка в насекомых было варибельным, но таким же или даже выше, чем в сое, в то время как оно было ниже, чем в рыбе. Содержание лизина в насекомых может быть недостаточным для выращивания свиней (в т.ч. поросят и подсосных свиноматок) в то время как оно является достаточным для разведения птицы, рыбы и креветок (табл. 1, 2).

Содержание аргинина и серусодержащих АК (метионина и цистина) может быть недостаточным для целей птицеводства, а триптофана – для свиноводства и птицеводства. Другие НАК присутствуют в количествах, достаточных или превышающих потребности отрасли. Высокое содержание жиров может влиять на качество и срок годности продукции, а также на процессы ферментации в рубце. Таким образом, производство обезжиренных кормов из насекомых может позволить избежать возможного негативного воздействия высокого содержания жира и привести к появлению продукта с повышенным содержанием белка. Результаты показали, что насекомые потенциально могут полностью или частично заменить продукты из сои или рыбы в корме для жвачных, свиней, птиц, рыбы и креветок (Makkar *et al.*, 2014). Однако, данных по влиянию кормления отдельными видами насекомых на усвояемость, жизнеспособность и качество животных недостаточно.

Микроводоросли

Микроводоросли являются автотрофами, содержащими хлорофилл. Они относятся к одноклеточным организмам и давно изучаются как возможные источники синтеза белка (Becker, 2007). В целом, в микроводорослях отмечено высокое содержание общего белка

(ОБ), но в них также содержится много липидов и углеводов (в основном не крахмалистые полисахариды) (табл. 3). Дополнительно, они содержат важные витамины (Atkinson, 2013; Lum et al., 2013). Фракция липидов в микроводорослях богата полиненасыщенными жирными кислотами, в частности арахидоновой кислотой (Atkinson, 2013; Lum et al., 2013). Водоросли обладают необходимыми качествами и потенциалом как новый источник белка для животных, водных организмов и человека (Becker, 2007; Atkinson, 2013; Lum et al., 2013). Содержание ОБ в микроводорослях варьируется, но имеет тот же порядок, что и в сое, причем в некоторых случаях его столько же, сколько в рыбе. Содержание лизина в микроводорослях может быть ограничивающим фактором в свиноводстве (для растущих свиней и свиноматок), в то время как его достаточно для разведения птиц, рыбы и креветок. Дополнительно, содержание серусодержащих АК (метионин и цистеин) может служить ограничивающим фактором в птицеводстве, а содержание триптофана может быть ограничивающим фактором при разведении свиней, птицы и рыбы. Остальные НАК присутствуют в необходимых или даже превышающих норму количествах (табл. 3).

Качество ОБ в микроводорослях может варьировать в связи с наличием небелкового азота, содержащегося в нуклеиновых кислотах, азот-содержащих клеточных стенках и аминах (Lum et al., 2013). Нуклеиновые кислоты составляют примерно 10% фракции ОБ.

Микроорганизмы

Клетки представителей царства грибов содержат хитин, в отличие от клеточных стенок растений и клеточных стенок бактерий, содержащих целлюлозу. Хотя описано 1 500 видов дрожжей, наиболее обычным видом является *Saccharomyces cerevisiae*, способный ферментировать сахар с образованием этанола и двуокиси углерода. *Rhizopus oryzae* and *Paecilomyces varioti* – нитчатые грибы, которые содержатся в почве и на гниющем органическом субстрате, биомасса которых богата белком. Они обладают способностью вырабатывать большое количество ферментов и утилизировать разнообразные органические отбросы для роста. *R. oryzae* широко используется для производства корма и различных органических веществ и внеклеточных ферментов. Отмечена высокая видоспецифическая вариабельность дрожжей, бактерий и грибов по содержанию ОБ, причем качество ОБ может изменяться в присутствии небелкового азота, содержащегося в нуклеиновых кислотах (Kuhad et al., 1997). Нуклеиновые кислоты могут обеспечивать 10-20% содержания ОБ (Salo, 1979) (табл. 4).

Растения

В качестве растений, которые способны заместить сою и рыбный белок в корме для животных, рассматриваются злаки, бобовые с высоким содержанием масла в семенах и зерновых и побочные продукты зерновых и масличных культур (Jezierny et al., 2010; Kragbaek Damborg Jensen, 2014; Woyengo et al., 2014). Известно, что семена бобовых (фасоль, горох и люпины), а также масличных культур (рапс) могут заменять сою и животный белок в корме для свиней (Jezierny et al., 2010; Woyengo et al., 2014). Однако, биомасса растений содержит растительные волокна, и может содержать другие вещества, которые оказывают негативное воздействие на усвоение питательных веществ, состояние животных и их здоровье (Jezierny et al., 2010; Woyengo et al., 2014).

Содержание ОБ в растительных фракциях (мякоть, сок и белок) варьируется, но в большинстве случаев ниже, чем в сое и рыбе (табл. 5). Высокое содержание ОБ отмечено в растительном соке и белке зеленых растений. Содержание лизина в растительных фракциях (мякоть, сок и белок) может покрывать потребности в птицеводстве, при разведении рыбы и креветок, но является ограничивающим фактором при разведении свиней и кормлении свиноматок (табл. 5), в зависимости от использованной фракции.

Содержание серусодержащих АК (метионин и цистеин) в растительных фракциях может быть ограничивающим фактором в птицеводстве, при разведении свиней и рыбы. Другие НАК в растительных фракциях содержатся в необходимых количествах.

Содержание ОБ в зернах бобовых ниже, чем в сое и рыбе. Самое высокое содержание ОБ отмечено в бобовых и люпине. Содержание в бобовых и горошке покрывает потребности в белке у птиц, рыб и креветок, но является ограничивающим фактором при разведении свиней и свиноматок. Содержание лизина в люпине недостаточно для птицеводства, но покрывает потребности рыбоводства. Содержание серусодержащих АК (метионин и цистин) в бобах, горошке и люпине достаточно низкое и может быть ограничивающим фактором в птицеводстве, разведении свиней, рыбы и креветок. Более того, содержание изолейцина, треонина, триптофана и валина в бобах и горошке является ограничивающим фактором при разведении свиней и птицы. Остальные НАК имеются в необходимых количествах.

Содержание ОБ в семенах рапса и льна ниже, чем в сое и рыбе (табл. 6). Содержание лизина в семенах рапса покрывает потребности птицеводства, разведения рыбы и креветок, но является ограничивающим фактором в свиноводстве (табл. 6). Содержание лизина в семенах льна не покрывает потребностей при разведении свиней, птицы, рыбы и креветок.

Серусодержащие АК (метионин и цистин) в семенах рапса и льна покрывают потребности при разведении свиней, рыбы и креветок, но являются ограничивающим фактором в птицеводстве. Остальные НАК в семенах рапса и льна содержатся в необходимых количествах.

Ограничения по использованию альтернативных белков

В насекомых и микроорганизмах могут встречаться вещества, которые способны ограничивать их общее использование в качестве корма в животноводстве. Высокое содержание зольных элементов (в т.ч. у насекомых и микроводорослей) может влиять на пищеварение и баланс минеральных веществ в организме.

Пищевые волокна играют важную роль в питании однокамерных животных и требуется минимальное содержание волокон для поддержания физиологической функции пищеварительного тракта (Lindberg et al., 2016). В целом перевариваемость пищевых волокон достаточно низкая. Включение их в корм однокамерных животных часто сопровождается снижением усвояемости питательных веществ и низким выходом чистой энергии (Noblet, Le Goff, 2001). Хитин насекомых и грибов слабо переваривается животными с однокамерным желудком. В то же время хитозан – деацетилированная форма хитина, растворимая в кислых растворах, частично переваривается у животных с однокамерным желудком (Swiatkiewicz et al., 2014). Более того, рыбы и креветки могут переваривать хитин (Lindberg et al., 2016).

Зерна бобовых (фасоль, горох, люпин и соя) содержат определенное количество вторичных биоактивных метаболитов (Jeziorny et al., 2010).

Однако, большинство вторичных растительных метаболитов, таких как конденсированные танины, ингибиторы протеаз, алкалоиды, лектины, гликозиды пиримидина и сапонины классифицируются как анти-питательные факторы (АПФ) в связи с их негативным воздействием на рост, плодовитость и состояние здоровья скота.

Дополнительно, рапсовое масло и его субпродукты содержат глюкозинолаты, которые являются АПФ, которые могут влиять поедаемость корма и оказывать отрицательное воздействие на здоровье животных (Woyengo et al., 2014). Лабильные по отношению к теплу АПФ (такие как ингибиторы протеаз и лектины) чувствительны к температуре и могут быть деактивированы в ходе обработки пищи, в то время как температурно-стабильные АПФ (такие как конденсированные танины, алкалоиды, гликозиды пиримидина и сапонины) не изменяются при обработке пищи, что

ограничивают их использование для питания человека в связи с ограниченной способностью к метаболизму, что приводит к повышению содержания мочевой кислоты в крови (гиперуремия) (Giesecke, Tiemeier, 1982). Существует зависимость между микробной активностью кишечника, активностью кишечных интестинальных нуклеопротеидов и пурина, а также абсорбцией пириимидина и метаболизмом. Замена традиционного белка кормовой добавкой Пекило для свиней и домашней птицы показало очень хорошие результаты без какого-либо доказанного негативного воздействия на состояние животных (Lindberg et al., 2016). Пекило – это белковый продукт, полученный из мицелия гриба *Paecilomyces varioti*, выращенного на сульфитном ликере при содержании нуклеиновой кислоты около 10% от сухого вещества (Salo, 1979). Отмечен риск накопления тяжелых металлов, пестицидов, токсинов и патогенов в насекомых, микроорганизмах и микроводорослях (Kuhad et al., 1997; Lum et al., 2013; Makkar et al., 2014), если они выращиваются на загрязненных субстратах.

Бета-глюканы, хитин и галактоолигосахариды применяются как пищевые добавки для укрепления здоровья для скота и водных животных, и могут вызывать снижение терапевтического эффекта от применения антибиотиков. Их можно разделить на пребиотические вещества, т.к. они являются неперевариваемыми пищевыми ингредиентами, которые ферментируются микробиотой, заселяющей пищеварительную систему и избирательно стимулируют рост и/или активность одного или ограниченного вида бактерий в пищеварительной системе.

Бета-глюканы обычно выделяют из клеточных стенок бактерий, дрожжей, грибов и водорослей (Lam, Cheung, 2013). На их биологическую активность влияет уровень разветвленности, размеры и структура молекулы. Бета-глюканы оказывают благоприятное воздействие на здоровье кишечника и могут оказывать иммуностимулирующий эффект.

Хитозан, деацетилированная форма хитина, обычно используют как пищевую добавку в птицеводстве и свиноводстве для усиления иммуномодуляторных, антиоксидантных, антимикробных свойств по понижению содержания холестерина (Swiatkiewicz et al., 2015). Галакто-олигосахариды или а-галактозиды являются растворимыми низкомолекулярными олигосахаридами из группы рафиназ. Содержание галакто-олигосахаридов варьируется среди бобовых при относительно высоком содержании в люпинах по сравнению с бобами, фасолью и соей (Jezierny et al., 2010).

Органическое и традиционное животноводство

При органическом животноводстве не допускается применение синтетических аминокислот, что может привести к избыточному кормлению белком для получения НАК в необходимом количестве (Lindberg et al., 2016). Это вызывает повышенное образование навоза и усиливает потери азота. Причина перекорма заключается в том, что в корме, который используется в органическом (и традиционном) животноводстве отсутствуют важные и незаменимые аминокислоты, такие как лизин и метионин. Однако, по контрасту с органическим животноводством, традиционное животноводство допускает использование синтетических аминокислот, что позволяет сбалансировать состав незаменимых аминокислот в корме без увеличения содержания кормового белка.

Влияние на окружающую среду кормового белка

Значительная часть азота, содержащегося в корме для скота рассеивается в окружающей среде, в том числе в виде аммиака в атмосферу. Подсчитано, что треть азота, который скармливается свиньям, выращиваемым на убой, остается в тушах, треть улетучивается в виде газа и треть остается в навозе (Portejoie et al., 2004). Самым эффективным способом снижения потерь азота с навозом является снижение содержания кормового белка (Portejoie et al., 2004; Velthof et al., 2005).

Однако, в связи с колебаниями цен на корм и вариабельностью содержания сырого белка в корме, оказывается слишком затратным или технически невозможным создать сбалансированный корм в необходимом минимальном содержанием кормового белка. Увеличение содержания волокон в корме стимулирует активность микроорганизмов в кишечнике, что приводит к выработке органических кислот в кишечнике и снижению рН навоза. Повышенная активность микроорганизмов в кишечнике также приводит к связыванию азота в белки микроорганизмов и снижению выделения азота (Canh et al., 1998; Gerdemann et al., 2000; Sørensen, Fernandez, 2003; Clark et al., 2005). Более того, тип волокон может влиять на количество выделяемого азота (Canh et al., 1998) и влиять на утилизацию азота из навоза растениями (Sørensen, Fernandez, 2003).

Приложение_Таблицы

Таблица 1

Основные химические вещества в насекомых, рыбе и сое (по [Makkar et al., 2014](#), с изменениями)

Вещество	Муха <i>Hermetia illucens</i> , лич.	Муха <i>Musca domestica</i>	Хрущак <i>Tenebrio molitor</i>	Саранча	Сверчки	Мормон- ский сверчок	Тутовый шелко- пряд	Куколки тутового шелкопряда (обезжирен- ные)	Рыба	Соя
Общий белок	42.1 (56.9)*	50.4 (62.1)	52.8 (82.6)	57.3 (62.6)	63.3 (76.5)	59.8 (69.0)	60.7 (81.7)	75.6	70.6	51.8
Липиды	26.0	18.9	36.1	8.5	17.3	13.3	25.7	4.7	9.9	2.0
Кальций	7.56	0.47	0.27	0.13	1.01	0.20	0.38	0.40	4.34	0.39
Фосфор	0.90	1.60	0.78	0.11	0.79	1.04	0.60	0.87	2.79	0.69
Соотношение Са:Р	8.4	0.29	0.35	1.18	1.28	0.19	0.63	0.46	1.56	0.57

*В скобках – обезжиренный корм

Таблица 2

Состав аминокислот (г/16 г азота) в насекомых по сравнению с референтными значениями ФАО, и содержанием аминокислот в сое и рыбе (по [Makkar et al., 2014](#), с изменениями)

Вещество	Муха <i>Hermetia illucens</i> , лич.	Муха <i>Musca domestica</i>	Хрущак <i>Tenebrio molitor</i>	Саранча	Сверчки	Мормон- ский сверчок	Тутовый шелко- пряд	Куколки тутового шелкопряда (обезжирен- ные)	Рыба	Соя	ФАО, референ- тное значение
НАК											
Метионин	2.1	2.2	1.5	2.3	1.4	1.4	3.5	3.0	2.7	1.32	2.50
Цистин	0.1	0.7	0.8	1.1	0.8	0.1	1.0	0.8	0.8	1.38	
Валин	8.2	4.0	6.0	4.0	5.1	6.0	5.5	4.9	4.9	4.50	3.50
Изолейцин	5.1	3.2	4.6	4.0	4.4	4.8	5.1	3.9	4.2	4.16	2.80
Лейцин	7.9	5.4	8.6	5.8	9.8	8.0	7.5	5.8	7.2	7.58	6.60
Фенилаланин	5.2	4.6	4.0	3.4	3.0	2.5	5.2	4.4	3.9	5.16	6.30
Тирозин	6.9	4.7	7.4	3.3	5.2	5.2	5.9	5.5	3.1	3.35	
Гистидин	3.0	2.4	3.4	3.0	2.3	3.0	2.6	2.6	2.4	3.06	1.90
Лизин	6.6	6.1	5.4	4.7	5.4	5.9	7.0	6.1	7.5	6.18	5.80
Треонин	3.7	3.5	4.0	3.5	3.6	4.2	5.1	4.8	4.1	3.78	3.40
Триптофан	0.5	1.5	0.6	0.8	0.6	0.6	0.9	1.4	1.0	1.36	1.10
Заменимые АК											
Серин	3.1	3.6	7.0	5.0	4.6	4.9	5.0	4.5	3.9	5.18	-
Аргинин	5.6	4.6	4.8	5.6	6.1	5.3	5.6	5.1	6.2	7.64	-
Глутаминовая кислота	10.9	11.7	11.3	15.4	10.4	11.7	13.9	8.3	12.6	19.92	-
Аспарагиновая кислота	11.0	7.5	7.5	9.4	7.7	8.8	10.4	7.8	9.1	14.14	-
Пролин	6.6	3.3	6.8	2.9	5.6	6.2	5.2	-	4.2	5.99	-
Глицин	5.7	4.2	4.9	4.8	5.2	5.9	4.8	3.7	6.4	4.52	-
Аланин	7.7	5.8	7.3	4.6	8.8	9.5	5.8	4.4	6.3	4.54	-

Таблица 3

Химический и аминокислотный состав микроводорослей и цианобактерий
(по Lindberg et al., 2016)

	<i>Chlorella vulgaris</i> *	<i>Dunaliella bardawil</i> *	<i>Spirulina platensis</i> **‡	<i>Arthrospira maxima</i> #	<i>Scenedesmus acutus</i> α	<i>Scenedesmus obliquus</i> α
Общий белок	510–580	10–57	600–700	600–710		
Эфирный экстракт	140–220	7–30	40–160	60–70		
Грубые волокна	-	-	30-70	-		
Зола	-	5–7	30–110	-		
Валовая энергия	-	-	15.0	-		
Лизин, г/16 г N ЕАА, % лизина	6.4	7.0	4.8	4.6	4.6	5.9
Аргинин	108	104	152	141		
Гистидин	31	26	46	39		
Изолейцин	50	60	140	130	67	69
Лейцин	148	157	204	174	152	141
Метионин	20	33	52	30		
Мет + Цистеин	-	50	71	39	69	49
Фенилаланин	86	83	110	106		
Фен + Тирозин	130	136	221	191	28	169
Треонин	83	77	129	100	107	140
Триптофан	-	10	6	30		
Валин	109	83	148	141	102	97

Таблица 4

Химический состав (г/кг сухого в-ва), энергетическая ценность и состав аминокислот дрожжей, бактерий и грибов (по Lindberg et al., 2016)

	Дрожжи *	Торула †	Бактерии **	Пекило ‡	Rhizopus ***
Общий белок	466	500	702	500	479
Эфирный экстракт	10	20	103	20	94
Грубые волокна	-	20		70	
Зола	63	70	81	60	121
Валовая энергия	19.9	-		-	19.7
Лизин, г/16 г N ЕАА, % лизина	7.4	7.7	6.1	6.1	3.8
Аргинин	65	66	105	100	47
Гистидин	30	27	38	33	39
Изолейцин	66	66	79	69	76
Лейцин	93	99	128	110	97
Метионин	28	17	49	25	45
Мет + Цистеин	57	27	59	38	95
Фенилаланин	55	58	70	62	55
Фен + Тирозин	121	-	133	-	108
Треонин	66	67	79	74	52
Триптофан	-	18	34	23	-
Валин	81	73	100	80	92

Примечания:

* *Saccharomyces cerevisiae* (Langeland, 2014).** *Methylococcus capsulatus* (>90%), *Alcaligenes acidovorans*, *Bacillus brevis* & *Bacillus firmus* (Skrede et al., 1998).*** *Rhizopus oryzae* (Langeland, 2014).† *Candida utilis* (Salo, 1979).‡ *Paecilomyces varioti* (Salo, 1979).

Таблица 5

Содержание общего белка (% сухого в-ва) и состав аминокислот в фуражной мякоти, соке и зеленом белке (по Lindberg et al., 2016)

	Красный клевер			Люцерна			Белый клевер			Райграсс		
	Мякоть	Сок	Зеленый белок	Мякоть	Сок	Зеленый белок	Мякоть	Сок	Зеленый белок	Мякоть	Сок	Зеленый белок
Общий белок	168	250	299	209	292	366	310	326	443	193	194	285
Лизин, г/16 г N EAA, % лизина	6.9	5.5	6.1	7.2	6.4	6.4	6.8	6.2	6.1	6.4	6.1	5.9
Аргинин	78	96	93	76	80	92	88	92	102	98	90	107
Гистидин	39	40	39	37	34	39	41	37	41	33	31	37
Изолейцин	74	91	87	69	72	78	78	81	90	80	77	86
Лейцин	120	138	136	117	119	134	132	137	152	144	134	156
Метионин	23	27	28	24	23	28	26	26	31	34	29	36
Мет + Цистеин	38	45	43	40	45	44	40	43	43	50	47	51
Фенилаланин	80	91	93	79	81	94	87	90	103	97	88	107
Фен + Тирозин	143	176	170	139	153	166	140	148	162	150	144	164
Треонин	75	91	82	68	77	77	78	84	85	80	90	88
Триптофан	38	51	46	35	42	42	31	34	34	81	33	34
Валин	96	109	108	89	94	100	97	100	110	103	110	113

Таблица 6

Химический состав (г/кг сухого в-ва), энергетическая ценность и аминокислотный состав зерен бобовых, муки из семян рапса и муки из семян льна (по Lindberg et al., 2016)

	Vicia faba	Pisum sativum	Lupinus	Семена рапса, мука	Семена льна, мука	Соя, мука
Общий белок	301	246	324–381	380	342	516
Эфирный экстракт	13	12	59–95	26	90	22
Грубые волокна						
Зола	87	60	129–165	140	113	68
Валовая энергия	18.7	18.3	20.2–21.2	19.2	20.5	19.7
Лизин, г/16 г N ЕАА, % лизина	6.1	7.0	4.5–4.6	5.3	3.8	6.1
Аргинин	143	121	220	113	237	121
Гистидин	42	35	45	49	71	44
Изолейцин	64	58	94	75	110	75
Лейцин	116	100	147	126	150	121
Метионин	12	13	16	38	45	23
Мет + Цистеин	31	33	49	85	97	47
Фенилаланин	68	68	79	74	126	82
Фен + Тирозин	116	107	175	128	187	138
Треонин	57	53	75	81	100	64
Триптофан	14	13	14	23	39	21
Валин	72	66	88	96	126	79

Литература

Производство кормовых добавок для животноводства в РФ растет. 22.03.2017.
http://milknews.ru/index/novosti-moloko_10105.html

Atkinson, N., (2013). The potential of microalgae meals in compound feeds for aquaculture. *International Aqua Feed* 16 (5), 14–17.

Becker, E. W., (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances* 25, 207–210. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>

Canh, T.T., Sutton, A.L., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Schrama, J. W. & Bakker, G. C. M. (1998). Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and ammonia emission from slurry of growing pigs. *Journal of Animal Science* 76, 1887–1895.

Clark, G.C., Moehn, S, Edeogu, I., Price, J. & Leonard, J., (2005). Manipulation of dietary protein and non-starch polysaccharide to control swine manure emissions. *Journal of Environmental Quality* 34, 1461–1466. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2004.0434>

FAO, (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security*. Forestry paper

171. FAO, Rome, Italy.

De Boer, H.C., Van Krimpen, M.M., Blonk, H., Tyszler, M. (2014). *Replacement of soybean meal in compound feed by European protein sources*. Effects on carbon footprint. Livestock Research Report 819.

Euractiv, (2011). *MEPs want to end 'protein deficit' for EU livestock*. Retrived from <http://www.euractiv.com/cap/eu-parliament-questions-eu-us-blair-house-agreement-news-502925>

Gerdemann, M.M., Machmuller, A., Frossard, E. & Kreuzer, M., (2000). Effect of different feeding strategies on nitrogen fertilization value of slurry for Lolium multiflorum. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162 (4), 401–408.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2624\(199908\)162:4<401::AID-JPLN401>3.0.CO;2-V](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1522-2624(199908)162:4<401::AID-JPLN401>3.0.CO;2-V)

Jezierny, D., Mosenthin, R. & Bauer, E., (2010). The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157, 111–128.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.001>

Kragbaek Damborg Jensen, V., (2014). *Protein yields and amino acid characterization of juice and pulp from white clover, red clover, lucerne and ryegrass*. Aarhus University, Aarhus School of Engineering, Master Thesis.

Kuhad, R. C., Singh, A., Tripathi, K. K., Saxena, R. K. & Eriksson, K. E. L., (1997). Microorganisms as an alternative source of protein. *Nutrition Reviews* 55(3), 65–75.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01599.x>

Lam, K. L. & Cheung, C. K., (2013). Non-digestible long chain beta-glucans as novel prebiotics. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre* 2, 45–64.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2013.09.001>

Langeland, M., (2014). *Nutrition of Arctic charr (Salvelinus alpinus) and Eurasian perch (Perca fluviatilis) and evaluation of alternative protein sources*. Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Doctoral thesis no. 2014:39.

Lindberg J.E, et al. Nordic Alternative Protein Potentials. Mapping of regional bioeconomy opportunities. TemaNord 2016:527. ISSN 0908-6692. Nordic Council of Ministers. 2016. 131 pp.

Lum, K. K., Kim, J. & Lei, X. G., (2013). Dual potential of microalgae as a sustainable biofuel feedstock and animal feed. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4, 53.
<http://dx.doi.org/10.1186/2049-1891-4-53>

Madrid, J., Martinez, S., Lopez, C., Orengo, J., Lopez, M. J. & Hernandez, F., (2013). Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emissions of barrows and gilts. *Animal Production Science* 53, 146–153.
<http://dx.doi.org/10.1071/AN12067>

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P., (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197, 1–33.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Noblet, J. & Le Goff, G. I., (2001). Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 90, 35–52. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00195-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00195-X)

NRC, (1994). *Nutrient requirements of poultry*. 9th revised edition. Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council. The National Academic Press, Washington DC, USA.

NRC, (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th revised edition. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, National Research Council. The National Academic Press, Washington DC, USA.

NRC, (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp*. Committee on the Nutrient Requirements of Fish and Shrimp, National Research Council of the National Academies. The National Academic Press, Washington DC, USA.

NRC, (2012). *Nutrient requirements of swine*. 11th revised edition. Committee on the Nutrient Requirements of Swine, National Research Council of the National Academies. The National Academic Press, Washington DC, USA.

Portejoie, S., Dourmad, J-Y., Martinez, J. & Lebreton, Y., (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science* 91, 45–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.06.013>

Salo, M. L., (1979). *Chemical composition and feed value of the pekilo*. In: Research report of Pekilo-symposium, Tampere 12-15/9, 1978 (Ed. T. Kiiskinen). Agricultural Research Centre, Institute of Animal Husbandry, Report No. 12, pp 9–20.

Skrede, A., Berge, G. M., Storebakken, T., Herstad, O., Aarstad, K. G. & Sundstøl, F., (1998). Digestibility of bacterial protein grown on natural gas in mink, pigs, chicken and Atlantic salmon. *Animal Feed Science and Technology* 76, 103–116. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00208-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00208-9)

Submariner (2013). *Roadmap towards blue-green economy of the Baltic Sea Region*. Retrieved from www.submariner-project.eu

Swiatkiewicz, S., Swatkiewicz, M., Arczewska-Wlosek, A. & Jozefiak, D., (2014). Chitosan and its oligosaccharide derivatives (chito-oligosaccharides) as feed supplements in poultry and swine nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 99, 1–12. <http://dx.doi.org/10.1111/jpn.12222>

Sørensen, P. & Fernandez, J. A., (2003). Dietary effects on the composition of slurry and on the plant utilization of pig slurry manure. *Journal of Agricultural Science* 140, 343–355. <http://dx.doi.org/10.1017/S0021859603003113>

Van Milgen, J. & Dourmad, J. Y., (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 6:15. <http://dx.doi.org/10.1186/s40104-015-0016-1>

Velthof, G. L., Nelemans, J. A., Oenema, O. & Kuikman, J., (2005). Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. *Journal of Environmental Quality* 34(2), 698–706. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2005.0698>

Woyengo, T. A., Beltranena, E. & Zijlstra, R. T., (2014). Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: A review. *Journal of Animal Science* 92, 1293–1305. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2013-7169>