

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева)

Кафедра романской филологии

Письменный перевод

по книге Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture:
Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques,
économiques, sociaux et environnementaux
название книги на иностранном языке

выходные данные UICN, Gland, Suisse et Comité français de
l'UICN, Paris, France, 2017
(место издания, год)

перевод стр. с __30__ по __42__

для сдачи кандидатского экзамена
по иностранному языку
(французский язык)

Выполнил:

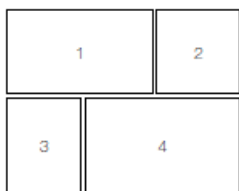
Куадио Яо Седрик Марк Газль,
Аспирант кафедры зоотехнии и
технологии переработки с/х
продукции

Астрахань – 2022 г.

Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture

Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux

GUIDE POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'AQUACULTURE



Photos de couverture :

1 Distribution d'aliments © J.-C. Raymond.

2 Évolution des prix des farines et huile de poisson (détail).

3 Granulés pour poissons © François Simard.

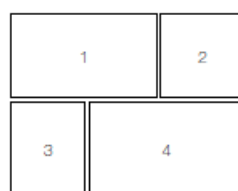
4 Truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus-mykiss*) © Skretting.

La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'UICN, du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, du SNIA et du SPPA sur le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Устойчивость развитие кормления рыб в аквакультуре

Размышления и рекомендации по технологическим, экономическим, социальным и экологическим аспектам

РУКОВОДСТВО ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ АКВАКУЛЬТУРЫ



Фотографии на обложке:

1 Распределение корма © Ж.-К. Раймон.

2 Развитие цен на рыбную муку и рыбий жир (подробно).

3 Рыбные гранулы © Франсуа Симар.

4 Радужная форель (*Oncorhynchus-mykiss*) © Skretting.

Географическая терминология, используемая в данной книге, и ее изложение не означают выражения какого-либо мнения со стороны МСОП, CIPA, COOP de France, FEAP, FFA, SNIA и SPPA относительно правового статуса или полномочий какой-либо страны, территории или района, или относительно делимитации их границ или рубежей.

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN, du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, du SNIA et du SPPA.

Le présent ouvrage a pu être publié grâce au soutien financier du MEEM et grâce à la collaboration du CIPA, de la COOP de France, de la FEAP, de la FFA, de l'ITAVI, du SNIA et du SPPA.

Publié par : UICN, Gland, Suisse et Comité français de l'UICN, Paris, France

Droits d'auteur : © 2017, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources

La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée.

La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur.

Citation : Le Gouvello, Raphaëla et François Simard (eds.) (2017). Durabilité des aliments pour le poisson en aquaculture : Réflexions et recommandations sur les aspects technologiques, économiques, sociaux et environnementaux. Gland, Suisse : UICN, et Paris, France : Comité français de l'UICN. 296 pp.

Édition : François-Xavier Bouillon, F-06800 Cagnes-sur-Mer

Мнения, выраженные в данной публикации, не обязательно отражают точку зрения МСОП, CIPA, COOP Франции, FEAP, FFA, SNIA и SPPA.

Эта книга была опубликована благодаря финансовой поддержке MEEM и сотрудничеству CIPA, COOP Франции, FEAP, FFA, ITAVI, SNIA и SPPA.

Опубликовано МСОП, Гланд, Швейцария и Французский комитет МСОП, Париж, Франция

Авторское право: © 2017, Международный союз охраны природы и природных ресурсов

Воспроизведение данной публикации в образовательных или иных некоммерческих целях допускается без предварительного письменного разрешения правообладателя при условии полной ссылки на источник.

Воспроизведение данной публикации в коммерческих целях, в частности для продажи, запрещено без предварительного письменного разрешения правообладателя.

Цитирование: Ле Гувелло, Рафаэла и Франсуа Симар (ред.) (2017). Устойчивость рыбных кормов в аквакультуре: размышления и рекомендации по технологическим, экономическим, социальным и экологическим аспектам. Гланд, Швейцария: МСОП, и Париж, Франция: Французский комитет МСОП. 296 стр.

Издатель: Франсуа-Ксавье Буйон, F-06800 Кань-сюр-Мер

Impression : Solprint, Mijas, Malaga, Espagne

Disponible auprès de : Comité français de l'UICN 26, rue Geoffroy Saint Hilaire – 75005 Paris Tél. : + 33 1 47 07 78 58 e-mail : uicn@uicn.fr ou UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) Rue Mauverney 28 1196 Gland, Suisse Tel: +41 22 999 0000 marine@iucn.org
www.iucn.org/resources/publications Cet ouvrage est imprimé sur papier recyclé.

ISBN : 978-2-8317-1831-6

DOI : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.02.fr>

Печать: Solprint, Михас, Малага, Испания

Доступно из Французский комитет МСОП 26, rue Geoffroy Saint Hilaire - 75005 Paris Tel: + 33 1 47 07 78 58 e-mail: uicn@uicn.fr или IUCN (Международный союз охраны природы) Rue Mauverney 28 1196 Gland, Switzerland Tel: +41 22 999 0000 marine@iucn.org
www.iucn.org/resources/publications Cet печатается на переработанной бумаге.

ISBN: 978-2-8317-1831-6

DOI : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.02.fr>

Chapitre 1 : BASES DE LA NUTRITION ET FORMULATION EN AQUACULTURE Par **Christine Burel, INRA**

11.1 Historique de l'alimentation des poissons d'élevage

Une approche scientifique de la nutrition des poissons s'est amorcée dès le milieu du 20^{ème} siècle. Ces travaux se sont bien inspirés des connaissances sur l'anatomie du tube digestif, quelques aspects de la physiologie digestive et de l'alimentation des poissons en milieu naturel. L'élevage de poissons était pratiqué en Asie ou en Moyen-Orient déjà au IV^{ème} millénaire av. J.C. En Europe, une aquaculture extensive existait au Moyen-Âge, fournissant un complément alimentaire important à la population locale. Mais dès la fin du XIX^{ème} siècle, la production piscicole s'est étendue à des poissons élevés en bassins. L'alimentation de ces poissons en élevage a reposé pendant longtemps sur des sous-produits divers incluant des sous-produits d'animaux (viscères, foie, graisses, etc.) non consommés par l'homme. Les premiers aliments composés élaborés à partir de matières premières diverses et couvrant, autant que faire se pouvait, les besoins des animaux, ont été les « granulés humides de l'Orégon » des années 1950. Les granulés secs sont apparus aux USA à la fin de la même décennie et au début des Sixties. Dès lors, l'étude des besoins nutritionnels des poissons s'imposait et elle a pris un essor considérable. Selon la FAO (2014), plus de 80 % de la production mondiale de poisson dépend de nos jours d'un apport d'aliment soit de façon exclusive soit comme complément à la nourriture issue du

Глава 1: ОСНОВЫ ПИТИНИЯ И СОСТАВ КОРМОВ В АКВАКУЛЬТУРЕ Кристи́н Бурель, INRA

11.1 История кормления выращиваемой рыбы

Научный подход к питанию рыб начался в середине 20-го века. В этой работе использовались знания об анатомии пищеварительного тракта, некоторых аспектах физиологии пищеварения и кормлении рыб в естественных условиях. Рыбоводство практиковалось в Азии и на Ближнем Востоке еще в четвертом тысячелетии до нашей эры. В Европе обширная аквакультура существовала в средние века, обеспечивая важное продовольственное дополнение для местного населения. Однако с конца 19 века рыбоводство распространилось на рыбу, выращиваемую в аквариумах. Долгое время корма для этих разводимых рыб были основаны на различных побочных продуктах, включая субпродукты животных (внутренности, печень, жир и т.д.), не потребляемые человеком. Первыми комбикормами, изготовленными из различного сырья и максимально удовлетворяющими потребности животных, были "орегонские влажные гранулы" 1950-х годов. Сухие гранулы появились в США в конце того же десятилетия и в начале шестидесятых годов. С этого момента изучение пищевых потребностей рыбы стало необходимым, и оно пошло в гору. По данным ФАО (2014), в настоящее время более 80% мирового производства рыбы зависит от кормов либо исключительно, либо в качестве дополнения к экологическим кормам. Во всем мире разведение

milieu. Au niveau mondial, c'est l'élevage de carpes qui est le plus fort consommateur d'aliments composés (31 % des aliments produits), suivies de celui des crevettes (22 %). Les salmonidés (truites, saumons) n'arrivent qu'en 4ème position (10 %) et les poissons marins (bar, daurade, turbot...) à la 6ème (8 %). La farine de poisson a longtemps été utilisée comme ingrédient majoritaire des aliments aquacoles, notamment pour les espèces de haut niveau trophique (carnivores). Les plus gros consommateurs de farine de poisson en 2008 étaient les crevettes (34 % de la farine de poisson), suivies des salmonidés (20 %) et des poissons marins (19 %). Les carpes, de type omnivore, n'arrivent qu'en 4ème position des consommateurs de farine de poisson (7 %) (FAO, 2014 ; Tacon et Metian, 2015).

1.2 Régimes alimentaires des poissons sauvages

La classe des poissons est immense, les espèces présentent un degré d'évolution très variable et sont adaptés à des milieux de vie très différents. Il en résulte une grande diversité entre les différentes espèces et une grande variabilité de besoins. Dans leur environnement naturel les poissons rencontrent des éléments alimentaires de nature très diverse. Certaines espèces se nourrissent d'animaux morts, d'autres d'animaux vivants, certains se nourrissent uniquement de micro-organismes, d'autres de plantes et d'animaux de plus grande taille, et enfin certaines espèces de poissons sont opportunistes, s'alimentant de tout ce qu'ils peuvent trouver dans leur milieu.

карпов является крупнейшим потребителем комбикормов (31% производимых кормов), за ним следует разведение креветок (22%). Лососевые (форель, семга) находятся только на 4-м месте (10%), а морская рыба (морской окунь, морской лещ, тюрбо и т.д.) - на 6-м месте (8%). Рыбная мука давно используется в качестве основного ингредиента в кормах для аквакультуры, особенно для видов высокого трофического уровня (плотоядных). Крупнейшими потребителями рыбной муки в 2008 году были креветки (34% рыбной муки), за ними следуют лососевые (20%) и морская рыба (19%). Карпы, всеядный вид, занимали лишь 4-е место среди крупнейших потребителей рыбной муки (7%) (FAO, 2014; Tacon and Metian, 2015).

1.2 Рацион дикой рыбы

Класс рыб огромен, его виды сильно различаются по степени эволюции и приспособлены к совершенно разным условиям жизни. В результате существует большое разнообразие между различными видами и большое разнообразие потребностей. В своей естественной среде рыба сталкивается с широким разнообразием элементов питания. Некоторые виды питаются мертвыми животными, другие - живыми, одни питаются только микроорганизмами, другие - растениями и более крупными животными, и, наконец, некоторые виды рыб являются оппортунистами, питаются всем, что они могут найти в окружающей среде.

L'alimentation des poissons sauvages comprend donc détritus, phytoplancton, zooplancton, micro et macroalgues, plantes aquatiques, méiofaune, insectes, crustacés, mollusques, coquillages, poissons, graines et fruits et même des animaux incluant des mammifères (NRC, 2011). Une façon de classer les poissons est de se référer à l'ingrédient majeur de leur régime alimentaire naturel. Ils sont classiquement répartis en 4 grandes catégories (De Silva et Anderson, 1995) :— les herbivores qui s'alimentent de végétaux (le chanos et quelques carpes...),— les détritivores qui mangent des organismes en décomposition (le poisson chat, quelques carpes...),— les omnivores qui ont une alimentation mixte, végétale et animale (la majorité des carpes et quelques tilapias, le mullet...),— les carnivores qui s'alimentent à partir d'autres poissons et d'invertébrés (les salmonidés, les poissons marins tels que daurade, bar, poissons plats...). On parle aussi de poissons piscivores. Mais cette division n'est pas stricte. La majorité des espèces ont une alimentation mixte et de plus, un régime alimentaire peut varier au cours de la vie. Par exemple, les larves de la carpe mangent du zooplancton, alors que les juvéniles et les adultes sont considérés comme herbivores. L'aquaculture traditionnelle, pratiquée dans des pays où le poisson est une source importante de protéines (Asie du Sud-Est), s'est orientée naturellement vers des espèces herbivores ou détritivores à un niveau trophique faible et de nos jours les cyprinidés représentent plus de 60 % du volume de la production mondiale.

Таким образом, рацион дикой рыбы включает детрит, фитопланктон, зоопланктон, микро- и макроводоросли, водные растения, мейофауну, насекомых, ракообразных, моллюсков, ракообразных, рыбу, семена и фрукты и даже животных, включая млекопитающих (NRC, 2011). Одним из способов классификации рыб является классификация по основному ингредиенту их естественного рациона. Классически они делятся на 4 основные категории (De Silva and Anderson, 1995): - травоядные, питающиеся растениями (молочные рыбы и некоторые карповые...),- детритоядные, питающиеся разлагающимися организмами (сом, некоторые карповые...),- всеядные, питающиеся растениями (сом, некоторые карповые...). хищники, питающиеся другими рыбами и беспозвоночными (лососевые, морские рыбы, такие как морской лещ, морской окунь, камбала и т.д.). Они также известны как рыбаоядные рыбы. Но это разделение не является строгим. Большинство видов имеют смешанный рацион, более того, рацион может меняться в течение всей жизни. Например, личинки карпа питаются зоопланктоном, а молодь и взрослые особи считаются травоядными. Традиционная аквакультура, практикуемая в странах, где рыба является важным источником белка (Юго-Восточная Азия), естественным образом сместилась в сторону растительноядных или детритоядных видов на низком трофическом уровне, и в настоящее время циприниды составляют более 60% мирового объема производства.

En revanche, l'aquaculture occidentale, plus récente et pratiquée dans des pays dans lesquels le poisson était surtout issu de la pêche maritime, s'oriente plutôt vers des espèces carnivores, plus appréciées par le consommateur dans les pays concernés : truite arc-en-ciel, saumon, bar, daurade, turbot, ombrine, etc (Cahu, 2004).

1.3 Les besoins nutritionnels des poissons d'élevage

La domestication des animaux et naturellement des poissons passe par la détermination de leurs besoins nutritionnels et la couverture de ces besoins avec des aliments élaborés contenant des ingrédients divers et ceci à un moindre coût. Cette alimentation doit aussi assurer la bonne croissance, la bonne santé, le bien-être physiologique, la qualité de la chair et de faibles impacts sur l'environnement. Par ses principes généraux, la nutrition des poissons ne diffère pas de celle des vertébrés terrestres, mais les poissons présentent cependant de nombreuses particularités nutritionnelles ou physiologiques (début de vie à l'état de larves qui sont très petites particulièrement chez les poissons marins), du caractère ectotherme (absence de thermorégulation) et ammoniotélique (excrétion des déchets azotés préférentiellement sous forme d'ammoniaque), des propriétés du milieu aquatique lui-même (flottaison, présence de minéraux dans l'eau), ainsi que de la nature des nutriments présents dans ce milieu (abondance des protéines, rareté des glucides).

С другой стороны, западная аквакультура, которая возникла совсем недавно и практикуется в странах, где рыба в основном добывается морским промыслом, как правило, фокусируется на плотоядных видах, которые больше ценятся потребителями в соответствующих странах: радужная форель, лосось, морской окунь, морской лещ, тюрбо, умбра и т.д. (Cahu, 2004).

1.3 Потребность в питательных веществах выращиваемой рыбы

Одомашнивание животных, и, конечно же, рыб, включает в себя определение их потребностей в питании и удовлетворение этих потребностей с помощью сложных кормов, содержащих различные ингредиенты по более низкой цене. Этот корм также должен обеспечивать хороший рост, хорошее здоровье, физиологическое благополучие, качество мяса и низкое воздействие на окружающую среду. В своих общих принципах питание рыб не отличается от питания наземных позвоночных, но у рыб есть много пищевых или физиологических особенностей (начало жизни в виде личинок, которые очень малы, особенно у морских рыб), эктотермический (отсутствие терморегуляции) и аммонотелический (выделение азотистых отходов преимущественно в виде аммиака) характер, свойства самой водной среды (плавучесть, наличие минералов в воде), а также характер питательных веществ, присутствующих в этой среде (обилие белков, дефицит углеводов).

1.3.1 Besoins en énergie

Les dépenses énergétiques du poisson sont de 5 à 20 fois plus faibles que celles des vertébrés supérieurs terrestres : au repos, la flottaison permet une quasi-absence de travail musculaire et l'ectothermie amène à ne dépenser pour les fonctions vitales qu'un minimum d'énergie, surtout quand la température de l'eau est basse. Le besoin énergétique de croissance est par contre le même chez les poissons que chez les vertébrés terrestres croissant à la même vitesse. C'est la faible dépense d'entretien qui est à l'origine de l'excellente efficacité alimentaire observée chez les poissons (cf Encart Efficacité alimentaire de ce guide). Les poissons, comme tous les animaux, tirent leur énergie de trois types de molécules : les glucides, les lipides et les protéines. La digestion est assurée par des enzymes extrêmement voisines de celles des mammifères ou des oiseaux et elle conduit aux mêmes molécules : sucres simples, acides gras et acides aminés. Toutefois, l'aptitude des poissons à digérer les macronutriments, bien que variable d'une espèce à l'autre, n'est pas la même que celle des vertébrés terrestres : les poissons digèrent très bien les protéines alimentaires, de façon plus variable les lipides (les lipides saturés solides à basse température étant mal digérés) et de façon médiocre, quoique très variable selon les espèces, certains glucides complexes comme l'amidon cru. Par conséquence, contrairement aux vertébrés terrestres, les nutriments utilisés de façon préférentielle pour la production d'énergie sont les acides aminés dont le catabolisme conduit à la production d'ammoniaque.

1.3.1 Энергетические потребности

Энергозатраты рыб в 5-20 раз ниже, чем у высших наземных позвоночных: в состоянии покоя плавучесть позволяет почти не работать мышцам, а эктотермия означает, что на жизненно важные функции тратится минимум энергии, особенно при низкой температуре воды. Напротив, потребность в энергии для роста у рыб такая же, как и у наземных позвоночных, растущих с одинаковой скоростью. Именно низкие эксплуатационные расходы являются причиной превосходной эффективности кормления, наблюдаемой у рыб (см. раздел "Эффективность кормления" в данном руководстве). Рыба, как и все животные, получает энергию из трех типов молекул: углеводов, липидов и белков. Пищеварение осуществляется ферментами, которые очень похожи на ферменты млекопитающих или птиц, и приводит к образованию тех же молекул: простых сахаров, жирных кислот и аминокислот. Однако способность рыб переваривать макроэлементы, хотя и варьируется от вида к виду, не такая же, как у наземных позвоночных: рыбы очень хорошо переваривают пищевые белки, липиды более сложно (насыщенные липиды, твердые при низких температурах, перевариваются плохо) и плохо, хотя и очень изменчиво в зависимости от вида, некоторые сложные углеводы, такие как сырой крахмал. Следовательно, в отличие от наземных позвоночных, питательные вещества, используемые преимущественно для производства энергии, являются аминокислотами, катаболизм которых приводит к производству аммиака

Il est néanmoins possible, chez les salmonidés du moins, de substituer à ces nutriments des quantités importantes de lipides afin de limiter le catabolisme protéique. On peut obtenir aussi une épargne protéique par l'incorporation de glucides digestibles dans l'aliment (cf Encart Glucides de ce guide). On peut exprimer l'énergie d'un aliment de plusieurs façons. L'énergie brute d'un aliment correspond à la quantité totale d'énergie qu'il renferme (Figure 2). Chaque macronutriment fournit l'énergie brute à des degrés divers : les glucides : 16, 7 kJ/g, les matières azotées (Protéines) : 23,6 kJ/g et matières grasses (lipides) : 37,6 kJ/g. Mais lors de la digestion, comme la digestibilité des aliments et des macronutriments peuvent varier, la totalité de cette énergie ne pourra pas être extraite. Une partie se retrouvera dans les fèces du poisson. L'énergie digestible correspond à la différence entre l'énergie ingérée (énergie brute) et l'énergie qu'on retrouve dans les fèces. A partir de l'énergie digestible, on obtient l'énergie métabolisable, lorsque l'on soustrait l'énergie rejetée par le poisson sous forme d'excrétions branchiales et urinaires. L'énergie nette d'un aliment est l'énergie métabolisable moins l'énergie des dépenses liées à la consommation et à l'utilisation de l'aliment. Cette dernière notion, bien employée en production animale terrestre, est encore très peu utilisée en nutrition des poissons.

Тем не менее, можно, по крайней мере, у лососевых, заменить эти питательные вещества значительным количеством липидов, чтобы ограничить катаболизм белка. Экономия белка также может быть получена путем включения усваиваемых углеводов в пищу (см. Вставка углеводов этого руководства). Энергия пищи может быть выражена по-разному. Валовая энергия пищи — это общее количество энергии, которую она содержит (рисунок 2). Каждый макроэлемент обеспечивает сырую энергию в разной степени: углеводы: 16,7 кДж/г, азотистые вещества (белки): 23,6 кДж/г и жир (жир): 37,6 кДж/г. Но во время пищеварения, так как усвояемость пищи и макроэлементов может варьироваться, не вся эта энергия может быть извлечена. Некоторые из них окажутся в фекалиях рыбы. Усваиваемая энергия — это разница между поглощенной энергией (сырой энергией) и энергией, содержащейся в фекалиях. Из усваиваемой энергии получается метаболизируемая энергия, когда мы вычитаем энергию, отторгаемую рыбой в виде жаберных и мочевых выделений. Чистая энергия пищи - это метаболизируемая энергия за вычетом энергии расходов, связанных с потреблением и использованием пищи. Последняя концепция, хорошо используемая в наземном животноводстве, все еще очень мало используется в питании рыб.

D'un point de vue pratique, c'est l'énergie digestible (ED) qui est le plus couramment employée chez les poissons. Plusieurs lois se dégagent : l'ED d'un aliment est étroitement liée à la nature des ingrédients présents dans l'aliment et dépend peu de la taille et de l'état physiologique du poisson. Les plus grandes variations sont rencontrées avec les glucides. La digestibilité d'un amidon peut en effet varier selon son origine botanique, son traitement technologique (les amidons cuits, extrudés,

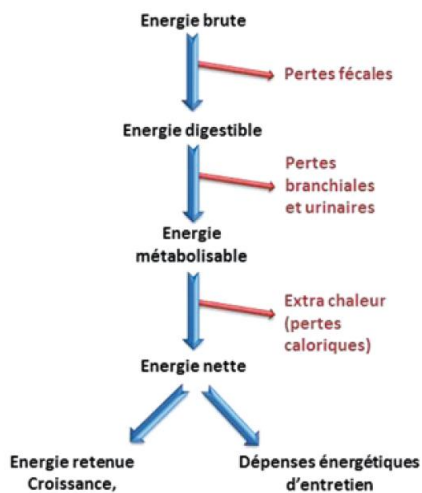


Figure 2.
Bilan d'utilisation de l'énergie alimentaire chez le poisson
(d'après Cho et Kaushik, 1985).

prégélatinisés, sont nettement plus digestibles que les amidons crus) mais aussi selon son niveau d'incorporation dans le régime et même de la température de l'eau. Les espèces réputées omnivores ou herbivores tirent une plus grande quantité d'énergie digestible à partir de l'amidon que les poissons carnivores.

С практической точки зрения, для рыбы чаще всего используется перевариваемая энергия (ПЭ). Очевидны несколько закономерностей: DE корма тесно связана с природой ингредиентов, присутствующих в корме, и мало зависит от размера и физиологического состояния рыбы. Наибольшие колебания наблюдаются в отношении углеводов. Перевариваемость крахмала действительно может варьироваться в зависимости от его ботанического происхождения, технологической обработки (вареный, экструдированный, прежелатинизированный крахмал явно более перевариваемый, чем другие) и его пищевой ценности. Перевариваемость крахмала может варьироваться в зависимости от его ботанического происхождения, технологической обработки (вареный, экструдированный,



рисунок 2
Баланс использования энергии пищи в рыбе
(Чо и Каушик, 1985)

прежелатинизированный крахмал явно лучше переваривается, чем сырой), а также от уровня включения в рацион и даже от температуры воды. Виды, которые считаются всеядными или травоядными, получают большее количество легкоусвояемой энергии из крахмала, чем плотоядные рыбы.

1.3.2 Besoins en protéines / acides aminés indispensables

Chez les poissons situés en haut de la chaîne alimentaire (carnivores), ce sont principalement les protéines et les lipides alimentaires qui leur permettent de couvrir leurs besoins en énergie. Leur ration doit donc être riche en ces deux nutriments. En condition de production, les protéines doivent représenter 38 à 44 % de la ration pour les salmonidés durant la phase de croissance et 40 à 55 % pour les poissons marins, contre 28-38 % pour les poissons situés plus bas dans la chaîne alimentaire (omnivores et végétariens) comme la carpe et le tilapia qui sont plus efficaces pour produire de l'énergie à partir des glucides alimentaires (Tableau 1). Les très jeunes stades nécessitent des contenus protéiques très élevés (de 40 à 55 % quelle que soit l'espèce de poisson), puis les besoins diminuent au fur et à mesure que grandit le poisson (NRC, 2011).

Tableau 1.
Quantité (% de la ration) de protéines recommandées dans l'aliment de différentes espèces de poisson d'élevage en fonction de leur poids. Données NRC (2011).

Espèces	< 20g	20-200g	200-600g	600-1500g	> 1500g
Truite arc-en-ciel	48	40	38	38	36
Saumon atlantique	48	44	40	38	34
Bar	55	50	45	45	-
Daurade	50	45	40	40	-
Carpe	45	38	32	28	28
Tilapia	40	34	30	28	26

Le rôle principal des protéines alimentaires est d'assurer l'entretien et la synthèse des protéines corporelles et donc la croissance protéique, mais toutes les sources protéiques n'ont pas la même efficacité.

1.3.2 Потребность в белке / незаменимых аминокислотах

У рыб, находящихся на вершине пищевой цепи (хищников), в основном пищевые белки и липиды позволяют им покрывать свои энергетические потребности. Поэтому их рацион должен быть богат этими двумя питательными веществами. В производственных условиях протеин должен составлять 38-44% рациона для лососевых рыб на этапе роста и 40-55% для морских рыб, по сравнению с 28-38% для рыб, находящихся ниже в пищевой цепи (всеядных и вегетарианцев), таких как карп и тилапия, которые более эффективно производят энергию из пищевых углеводов (Таблица 1). Очень молодая рыба требует очень высокого содержания белка (40-55% для всех видов рыб), а затем, по мере роста рыбы, потребности снижаются (NRC, 2011).

Таблица 1.
Количество (% от рациона) рекомендуемого протеина в корме для различных видов разводимых рыб в зависимости от их веса. Данные NRC (2011).

Виды	< 20g	20-200g	200-600g	600-1500g	> 1500g
Радужная форель	48	40	38	38	36
атлантический лосось	48	44	40	38	34
Бар	55	50	45	45	-
Морской лещ	50	45	40	40	-
Карп	45	38	32	28	28
Тилапия	40	34	30	28	26

Основная роль пищевого белка заключается в поддержании и синтезе белка в организме и, следовательно, в росте белка, но не все источники белка одинаково эффективны.

Il faut d'abord bien entendu tenir compte de leur digestibilité, mais même à digestibilité égale, l'efficacité peut varier. C'est pour cette raison que l'on a introduit la notion de valeur biologique, aptitude d'une protéine alimentaire, une fois digérée, à permettre la synthèse de protéines corporelles plutôt qu'à servir simplement de source d'énergie. La valeur biologique d'une protéine est fonction de sa teneur en acides aminés indispensables (AAI). Il suffit que l'un d'eux soit en plus faible quantité que nécessaire (carence) pour que la valeur biologique soit réduite. C'est pourquoi les sources protéiques doivent apporter les 10 AAI aux poissons, qui sont pratiquement les mêmes que pour les autres animaux (Tableau 2). Il est préférable qu'elles apportent aussi certains acides aminés semi-indispensables, tels que la cystéine et la tyrosine qui ne peuvent être synthétisés qu'à partir d'AAI, ou comme la proline et la glutamine dont la synthèse est lente chez certaines espèces de poissons. L'ensemble des besoins en AAI n'a été déterminé que pour peu d'espèces de poisson (voir NRC, 2011 ; tableau 2). Des méthodes indirectes ont permis de proposer un profil de besoins en acides aminés pour les poissons marins par exemple (Kaushik, 1998), mais c'est loin d'être satisfaisant. La rétention azotée (proportion relative des gains protéiques corporelles / protéines digestibles ingérées) est généralement optimale lorsque l'apport est réparti à parts égales (ratio de 46/54) entre AAI et Acides Aminés Non Indispensables (AANI) (Green *et al.*, 2002). L'ingrédient alimentaire dont le profil en acides aminés répond le mieux à ces besoins est la farine de poisson. Lorsque l'apport en acides aminés est optimal, les protéines sont retenues avec une plus grande efficacité

В первую очередь, конечно, учитывается их усвояемость, но даже при одинаковой усвояемости эффективность может быть разной. По этой причине было введено понятие биологической ценности, т.е. способности пищевого белка после переваривания обеспечивать синтез белков организма, а не просто служить источником энергии. Биологическая ценность белка зависит от содержания в нем незаменимых аминокислот (НКА). Если какой-либо из них находится в дефиците (нехватке), биологическая ценность снижается. Поэтому источники белка должны обеспечивать рыбу 10 ВСАА, которые практически такие же, как и у других животных (Таблица 2). Предпочтительно, чтобы они также обеспечивали определенные полунезаменимые аминокислоты, такие как цистеин и тирозин, которые могут быть синтезированы только из IAA, или пролин и глутамин, которые медленно синтезируются в некоторых видах рыб. Общая потребность в IAA была определена только для нескольких видов рыб (см. NRC, 2011; Таблица 2). Удержание азота (относительная пропорция прироста белка в организме к количеству поступившего перевариваемого белка) обычно оптимально, когда потребление в равной степени (соотношение 46/54) разделено между ВСА и незаменимыми аминокислотами (НАА) (Green *et al.*, 2002). Пищевым ингредиентом с наилучшим аминокислотным профилем для удовлетворения этих потребностей является рыбная мука. При оптимальном снабжении аминокислотами белки сохраняются в организме рыбы более эффективно,

chez les poissons que chez les mammifères (Mambrini et Guillaume, 1999).

1.3.3 Besoins en lipides / acides gras essentiels

L’apport de lipides dans l’alimentation des poissons, comme dans celle des mammifères, est indispensable pour satisfaire les besoins en acides gras (AG) essentiels (AGE), AG non synthétisés par l’organisme et nécessaire au métabolisme cellulaire ainsi qu’au maintien de l’intégrité des membranes cellulaires.

Tableau 2.
Besoin en acides aminés essentiels (% matière azotée totale) de différentes espèces de poisson d'élevage. Données NRC (2011).

AAI	Truite arc-en-ciel	Saumon atlantique	Bar	Daurade	Carpe	Tilapia
ARG	3.5-4.2	4.1-4.8	3.9	7.7-8.1	4.3	4.0-4.2
HIS	1.0-1.2	ND	ND	ND	2.1	1.7
ILE	1.5-2.8	ND	ND	ND	2.5	3.1
LEU	2.3-9.2*	ND	ND	ND	3.3	3.4
LYS	3.0-8.4*	4.0-5.0	4.4	8.6	5.7	5.1-5.7
MET	0.7-1.9	1.7	1.8-1.9	ND	2.0	2.1-2.8
PHE	2.0	ND	ND	ND	3.3	3.8
THR	2.6	2.6	2.3-2.6	ND	3.9	3.8
TRP	0.3-0.9	ND	ND	ND	0.8	1.0
VAL	1.7-3.4	ND	ND	ND	3.6	2.8

*Les valeurs les plus hautes correspondent aux besoins des alevins de truite.

Les lipides jouent aussi un rôle dans l’absorption de certains composés alimentaires (vitamines liposolubles, pigments caroténoïdes). Comme signalé plus haut, par unité de masse, les matières grasses apportent plus d’énergie dans les aliments que les protéines ou les glucides. Les besoins en AGE diffèrent selon les espèces de poisson. Pour les poissons d’eau douce, le besoin en AGE serait de l’ordre de 1 % d’acide α -linoléique (ALA) ou de 0,5 % d’EPA (acide eicosapentanoïque) et DHA (acide docasohexanoïque), les acides gras longs polyinsaturés de la série oméga 3.

чем у млекопитающих (Mambrini and Guillaume, 1999).

1.3.3 Потребность в липидах / незаменимых жирных кислотах

Потребление липидов в рационе рыб и млекопитающих необходимо для удовлетворения потребности в незаменимых жирных кислотах (НЖК), которые не синтезируются организмом и необходимы для клеточного метаболизма и поддержания целостности клеточных мембран.

Таблица 2.
Потребность в незаменимых аминокислотах (% общего азотистого материала) различных видов разводимых рыб. Данные NRC (2011).

AAI	Форель радуга	атлантический лосось	Бар	Морской лещ	Карп	Тилапия
ARG	3.5-4.2	4.1-4.8	3.9	7.7-8.1	4.3	4.0-4.2
HIS	1.0-1.2	ND	ND	ND	2.1	1.7
ILE	1.5-2.8	ND	ND	ND	2.5	3.1
HOY	2.3-9.2*	ND	ND	ND	3.3	3.4
LYS	3.0-8.4*	4.0-5.0	4.4	8.6	5.7	5.1-5.7
MET	0.7-1.9	1.7	1.8-1.9	ND	2.0	2.1-2.8
PHE	2.0	ND	ND	ND	3.3	3.8
THR	2.6	2.6	2.3-2.6	ND	3.9	3.8
ГТО	0.3-0.9	ND	ND	ND	0.8	1.0
VAL	1.7-3.4	ND	ND	ND	3.6	2.8

*Большие значения соответствуют требованиям мальков форели.

Липиды также играют роль в усвоении некоторых пищевых соединений (жирорастворимые витамины, каротиноидные пигменты). Как упоминалось выше, в расчете на единицу массы жир обеспечивает больше энергии в корме, чем белок или углеводы. Потребности в ЕФА различаются у разных видов рыб. Для пресноводной рыбы потребность в ОДВ составляет порядка 1% α -линоленовой кислоты (ALA) или 0,5% EPA (эйказопентановой кислоты) и DHA (доказогексановой кислоты), длинных полиненасыщенных жирных кислот серии омега-3.

Chez les poissons marins, l'ALA est considéré comme inefficace pour la couverture du besoin en AGE, d'où une nécessité absolue d'apporter ces AGE à un taux de 0,5 à 1 % d'EPA et DHA dans les aliments. Ces derniers acides gras ne sont abondants que dans les produits marins où ils sont, à l'origine, synthétisés par le plancton. Il est donc impossible de se passer de lipides d'origine marine pour l'alimentation des poissons marins. D'une manière générale, les lipides sont bien ou très bien digérés s'ils sont apportés en quantité raisonnable, sauf s'ils sont sous forme solide à la température où vit le poisson. Les AG poly-insaturés sont particulièrement bien digérés (à 90-98 %) ; par contre, pour les AG saturés, l'utilisation digestive est plus faible et elle décroît avec la longueur de la chaîne carbonée, passant de 70 % pour le myristate (14:0) à 50 % pour le stéarate (18:0) chez le saumon. Au cours des dernières décennies, l'évolution de la composition des aliments piscicoles, notamment des salmonidés, a été caractérisée par une diminution de la teneur en protéines (de 50 à moins de 40 %) associée à une augmentation de l'apport lipidique (de 12-15 % à plus de 30 % pour les salmonidés) dans le but de réduire les rejets azotés (épargne protéique) tout en améliorant les performances de croissance. L'effet d'épargne des protéines par les lipides a été montré chez de nombreuses espèces de poissons d'élevage. Il existe cependant des différences entre les espèces dans leur capacité de digérer de grandes quantités de lipides. Ainsi, chez le turbot, la plie, le pagre, le tilapia, la carpe commune et la carpe chinoise, on observe une baisse de l'utilisation digestive des lipides au-delà de 10-15 % de lipides dans l'aliment.

Считается, что в морской рыбе ALA неэффективна для покрытия потребности в ОДВ, поэтому абсолютно необходимо обеспечивать эти ОДВ в количестве от 0,5 до 1% ЭПК и ДГК в корме. Эти жирные кислоты в изобилии содержатся только в морских продуктах, где они изначально синтезируются планктоном. Поэтому в рационе морских рыб невозможно обойтись без липидов морского происхождения. Вообще говоря, липиды хорошо или очень хорошо усваиваются, если они поступают в разумных количествах, если только они не находятся в твердой форме при температуре, при которой живет рыба. Полиненасыщенные жирные кислоты усваиваются особенно хорошо (90–98%), в то время как насыщенные жирные кислоты усваиваются хуже и уменьшаются с длиной углеродной цепи, от 70% для миристата (14:0) до 50% для стеарата (18:0) в лососе. За последние десятилетия эволюция состава кормов для рыб, особенно для лососевых, характеризовалась снижением содержания протеина (с 50 до менее 40%), связанным с увеличением потребления липидов (с 12–15% до более чем 30% для лососевых) с целью снижения отторжения азота (экономия протеина) при улучшении показателей роста. Белково-сберегающий эффект липидов был продемонстрирован на многих видах разводимой рыбы. Однако существуют различия между видами в их способности переваривать большое количество липидов. Например, у тюрбо, камбалы, щуки, тилапии, обыкновенного карпа и китайского сазана пищеварительная утилизация липидов

Actuellement, les aliments commerciaux contiennent des teneurs en lipides comprises entre 19 et 30 % pour les salmonidés en grossissement, 16 à 22 % pour les poissons marins comme le bar ou la daurade et 10 à 16 % pour les poissons d'étang. Il convient de retenir aussi que l'utilisation des aliments « haute énergie », riches en lipides, tend à favoriser l'engraissement des poissons, ce qui peut avoir des répercussions négatives sur la qualité des produits (Corraze, 1999 ; Corraze et Kaushik, 2009).

1.3.4 Besoins en vitamines

Les premiers aliments semi-synthétiques développés par Halver (USA) avaient en effet pour objet de travailler sur les besoins en acides aminés puis en vitamines. Pour la petite histoire, lors des tout premiers essais réalisés, les chercheurs Américains avaient mis en évidence l'intérêt d'incorporation des sous-produits d'origine animale qui permettaient aux truites et saumons d'avoir une croissance convenable due à un facteur « H ». In fine, ceci correspondait à la vitamine B6 qui incorporé dans un aliment composé permettait d'avoir de très bons résultats. Il s'en est suivi de nombreux travaux qui ont permis de quantifier les besoins en différentes vitamines hydrosolubles (Halver, 1972). Ces premiers travaux ont permis d'élaborer les aliments composés avec un mélange vitaminique adéquat permettant de couvrir les besoins en toutes les vitamines.

снижается при содержании 10-15% липидов в корме. В настоящее время в коммерческих кормах содержание липидов составляет 19-30% для растущих лососевых рыб, 16-22% для морской рыбы, такой как морской окунь или морской лещ, и 10-16% для прудовой рыбы. Следует также помнить, что использование "высокоэнергетических" кормов, богатых липидами, как правило, способствует упитанности рыбы, что может негативно сказаться на качестве продукции (Corraze, 1999; Corraze and Kaushik, 2009).

1.3.4 Потребность в витаминах

Первые полусинтетические корма, разработанные компанией Halver (США), фактически были предназначены для удовлетворения потребностей в аминокислотах, а затем в витаминах. К сведению, во время самых первых проведенных испытаний американские исследователи подчеркнули ценность включения в рацион субпродуктов животного происхождения, что позволило форели и лососю иметь подходящий рост благодаря фактору "H". В целом, это соответствует витамину B6, который, будучи включенным в состав комбикорма, дает очень хорошие результаты. После этого была проведена большая работа по количественному определению потребностей в различных водорастворимых витаминах (Halver, 1972). Эта первоначальная работа позволила разработать комбикорма с адекватной витаминной смесью, покрывающей потребности во всех витаминах.

Une comparaison avec les connaissances disponibles pour d'autres animaux terrestres montrait de très grandes divergences qui ne pouvaient s'expliquer par les différences entre familles de vertébrés. Dans les années 1990, les travaux de Woodward (Canada) chez la truite arc-en-ciel (Woodward, 1994) ont permis de montrer une très grande similitude dans les besoins quantitatifs en vitamines hydrosolubles entre le poulet, le porc et la truite qui a conduit à modifier les recommandations de la NRC en 1993. Ces recommandations sont reprises encore dans sa dernière version (NRC, 2011) (Tableau 3). Ceci fut par ailleurs vérifié aussi chez le saumon et chez le bar (Kaushik *et al.*, 1998). NRC (2011) rapporte que les données les plus complètes ne sont disponibles que pour la truite arc-en-ciel. En l'absence de données précises pour les autres espèces en élevage, dans la pratique, c'est cette base qui sert pour élaborer les mélanges vitaminiques utilisés dans les aliments pour de nombreuses espèces de poissons.

1.3.5. Besoins en minéraux et oligo-éléments (macro et micro-minéraux)

Comme dans le cas des vitamines, les données sur les besoins quantitatifs en minéraux et oligo-éléments sont limitées (Tableau 4). Parmi les éléments minéraux, le phosphore est celui dont le besoin est le plus important. La minéralisation des structures osseuses (colonne vertébrale, opercules, écailles) est très dépendante de l'apport en phosphore. Une carence en phosphore peut se traduire par une diminution de la croissance squelettique et pondérale, la déminéralisation osseuse et des déformations squelettiques. Un excès de phosphore dans les aliments peut aussi se traduire

Сравнение с имеющимися знаниями о других наземных животных показало очень большие расхождения, которые не могут быть объяснены различиями между семействами позвоночных. В 1990-х годах работа Вудворда (Канада) по радужной форели (Woodward, 1994) показала очень высокую степень сходства в количественных потребностях в водорастворимых витаминах между курицей, свиньями и форелью, что привело к изменению рекомендаций NRC в 1993 году. Эти рекомендации по-прежнему включены в последнюю версию (NRC, 2011) (Таблица 3). Это также было подтверждено на лососе и морском окуне (Kaushik *et al.*, 1998). NRC (2011) сообщает, что наиболее полные данные имеются только по радужной форели. В отсутствие точных данных для других культивируемых видов, на практике эта основа используется для разработки витаминных смесей, применяемых в кормах для многих видов рыб.

1.3.5. Потребность в минералах и микроэлементах (макро- и микроминералы)

Как и в случае с витаминами, данные о количественных потребностях в минералах и микроэлементах ограничены (Таблица 4). Из всех минеральных элементов фосфор имеет самую высокую потребность. Минерализация костных структур (позвоночный столб, оперкула, чешуя) сильно зависит от поступления фосфора. Дефицит фосфора может привести к снижению роста и веса скелета, деминерализации костей и деформации скелета. Избыток фосфора в кормах также может привести к значительному выбросу Р в водную

par un rejet important de P dans le milieu aquatique contribuant à l'eutrophisation. Ainsi, l'étude du besoin nutritionnel en P et sa disponibilité ont retenu l'attention des nutritionnistes. Des travaux de synthèse récents permettent d'avoir une idée assez précise du besoin en P et de son utilisation par les poissons (Kaushik, 2005 ; Prabhu *et al.*, 2013, 2014).

среду, способствуя эвтрофикации. Таким образом, изучение пищевой потребности в Р и его доступности привлекло внимание диетологов. Последние обзоры дают достаточно точное представление о потребности и использовании Р рыбами (Kaushik, 2005; Prabhu et al., 2013, 2014).

Tableau 3.
Données sur les besoins quantitatifs en vitamines pour quelques espèces de poissons (d'après NRC, 2011)

Espèce	Saumon atlantique	Carpe commune	Truite arc-en-ciel	Bar
Vitamines liposolubles				
A (mg/kg)	NT	1,2	0,75	31
D (µg/kg)	NT	NT	40	NT
E (mg/kg)	60	100	50	NT
K (mg/kg)	< 10	NT	R	NT
Vitamines hydrosolubles (mg/kg)				
Thiamine	NT	0,5	1	NT
Riboflavine	NT	7	4	NT
Vitamine B6	5	6	3	NT
Acide Pantothénique	NT	30	20	NT
Niacine	NT	28	10	NT
Biotine	NT	1	0,15	NT
Vitamine B12	NT	NR	R	NT
Acide Folique	NT	NR	1	NT
Choline	NT	1500	800	NT
Myoinositol	NT	440	300	NT
Vitamine C	20	45	20	20

R, Besoin reconnu mais pas quantifié ; NR, pas de besoin ; NT, pas testé.

Таблица 3.
Данные о количественных потребностях в витаминах для некоторых видов рыб (из NRC, 2011)

Виды	атлантический лосось	Обыкновенный карп	Форель радуга	Бар
Жирорастворимые витамины				
A (мг/кг)	NT	1,2	0,75	31
D (мкг/кг)	NT	NT	40	NT
E (мг/кг)	60	100	50	NT
K (мг/кг)	< 10	NT	R	NT
Водорастворимые витамины (мг/кг)				
Тиамин	NT	0,5	1	NT
Рибофлавин	NT	7	4	NT
Витамин B6	5	6	3	NT
Пантотеновая кислота	NT	30	20	NT
Ниацин	NT	28	10	NT
Биотин	NT	1	0,15	NT
Витамин B12	NT	NR	R	NT
Фолиевая кислота	NT	NR	1	NT
Холин	NT	1500	800	NT
Миоинозитол	NT	440	300	NT
Витамин C	20	45	20	20

R - потребность признана, но не определена количественно; NR - потребности нет; NT - не проверено.

Bien que reconnaissant l'importance d'un apport adéquat en minéraux et en oligo-éléments, des travaux systématiques n'ont été réalisés que par quelques groupes de recherches. Les travaux dans ce domaine ont beaucoup été réalisés par des chercheurs japonais chez la truite et chez la carpe (le premier ayant proposé un mélange minéral, nommé Ogino Salt mixture) mais également par les américains (poisson chat, saumon de pacifique), taiwanais (tilapia) et plus récemment les norvégiens (saumon atlantique). Pour l'ensemble des minéraux et oligo-éléments, les données sur les

Несмотря на признание важности адекватного потребления минералов и микроэлементов, систематическая работа была проведена лишь несколькими исследовательскими группами. Большая часть работы в этой области была проделана японскими исследователями по форели и карпу (первые предложили минеральную смесь, названную солевой смесью Огино), а также американцами (сом, тихоокеанский лосось), тайваньцами (тилапия) и совсем недавно

норвежцами (атлантический лосось). Для всех минералов и микроэлементов данные о

besoins quantitatifs ne sont disponibles que pour quelques espèces : truite arc-en-ciel, carpe commune, poisson chat, tilapia, saumon du pacifique (NRC, 2011). Un travail important de méta-analyse / revue systématique des données disponibles pour l’ensemble des minéraux chez de nombreuses espèces de poissons vient d’être réalisé (Prabhu *et al.*, 2014).

количественных потребностях имеются только для нескольких видов: радужной форели, обыкновенного карпа, сома, тилапии, тихоокеанского лосося (NRC, 2011). Только что был завершен крупный мета-анализ/систематический обзор имеющихся данных по всем минералам во многих видах рыб (Prabhu *et al.*, 2014).

Таблица 4:
Данные о количественных потребностях в минеральных веществах для некоторых видов рыб (из NRC, 2011)

Виды	атлантический лосось	Обыкновенный карп	Тилапия	Сом	Радужная форель	Тихоокеанский лосось	Бар
Макроминералы (%)							
Это	NR	0,34	R/0,7*	R/0,45*	NR	NR	NT
Cl	NT	NT	0,15	0,17	NT	NT	NT
Mg	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	NT	NT
P	0,8	0,7	0,4	0,33	0,7	0,6	0,65
K	NT	NT	0,20-0,30	0,26	NT	0,8	NT
Na	NR	NT	0,15	0,06	NR	NT	NT
Микроминералы (мг/кг)							
Cu	5	3	5	5	3	NT	NT
I	R	NT	NT	1,1	1,1	1	NT
Fe	30-60	150	85	30	NT	NT	NT
Mn	10	12	7	2,4	12	NT	NT
Перейти к	NT	NT	NT	0,25	0,15	R	NT
Zn	37	15	20	20	15	NT	NT

R - потребность признана, но не определена количественно; NR - потребности нет, NT - не проверено.

Tableau 4 :
Données sur les besoins quantitatifs en minéraux pour quelques espèces de poissons (d'après NRC, 2011)

Espèce	Saumon atlantique	Carpe commune	Tilapia	Poisson chat	Truite arc-en-ciel	Saumon du Pacifique	Bar
Macrominéraux (%)							
Ca	NR	0,34	R/0,7*	R/0,45*	NR	NR	NT
Cl	NT	NT	0,15	0,17	NT	NT	NT
Mg	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	NT	NT
P	0,8	0,7	0,4	0,33	0,7	0,6	0,65
K	NT	NT	0,20-0,30	0,26	NT	0,8	NT
Na	NR	NT	0,15	0,06	NR	NT	NT
Microminéraux (mg/kg)							
Cu	5	3	5	5	3	NT	NT
I	R	NT	NT	1,1	1,1	1	NT
Fe	30-60	150	85	30	NT	NT	NT
Mn	10	12	7	2,4	12	NT	NT
Se	NT	NT	NT	0,25	0,15	R	NT
Zn	37	15	20	20	15	NT	NT

R, Besoin reconnu mais pas quantifié ; NR, pas de besoin ; NT, pas testé.

1.4 Evolution des aliments aquacoles vers une diminution de l’utilisation des farines et des huiles de poissons.

Bien que les premiers aliments pour salmonidés n’aient pas été à base de farines de poissons, avec le développement de l’industrie des farines et huiles de poissons, l’intérêt de l’emploi de tels ingrédients s’est imposé assez rapidement.

1.4 Развитие кормов для аквакультуры ведет к сокращению использования рыбной муки и рыбьего жира.

Хотя первые корма для лососевых рыб не были основаны на рыбной муке, с развитием промышленности по производству рыбной муки и рыбьего жира ценность использования таких ингредиентов стала очевидной довольно быстро.

En ce qui concerne la couverture des besoins en acides aminés indispensables, la farine de poisson correspond le mieux comme ingrédient de référence. En effet, des analyses avaient démontré depuis de longue date qu'il existe une corrélation très étroite entre le profil en acides aminés des poissons entiers et le profil des besoins en AAI. La majorité des farines de poisson sont produites à partir de poissons entiers, présentant, en principe, un faible intérêt pour le marché de consommation humaine (pêche minotière : poissons de petite taille, présence d'arêtes). Les procédés industriels de cuisson, de pressage, d'ajout de solubles et de séchage, permettent de préserver la valeur biologique de la farine de poisson pour l'alimentation animale, mais il faut quatre à cinq tonnes de poisson frais entier pour produire une tonne de farine de poisson. La qualité des farines de poissons peut varier de façon importante selon l'espèce, l'origine et les procédés mis en œuvre dans sa fabrication. Les meilleures farines de poisson contiennent de 66 à 72 % de protéines hautement digestibles. Elles peuvent aussi contenir jusqu'à 12 % d'huile riche en acides gras longs polyinsaturés (AGPI) de la série oméga 3, ainsi que des minéraux et oligo-éléments. Son contenu énergétique élevé (20-22 kJ/g MS) et l'absence de facteurs antinutritionnels sont d'autres atouts en faveur de cet ingrédient (NRC, 2011). De la même manière, il conviendra de retenir l'importance des huiles d'origine marine, seules contenant les AGE pour les poissons et surtout les poissons marins.

Рыбная мука является наиболее подходящим эталонным ингредиентом для удовлетворения потребностей в незаменимых аминокислотах. Анализы уже давно показали, что существует очень тесная корреляция между аминокислотным профилем цельной рыбы и профилем потребности в ИАА. Большая часть рыбной муки производится из целой рыбы, которая в принципе малоинтересна для рынка человеческого потребления (мелкомасштабное рыболовство: мелкая рыба, наличие костей). Промышленные процессы варки, прессования, добавления растворителей и сушки сохраняют биологическую ценность рыбной муки для корма животных, но для производства одной тонны рыбной муки требуется четыре-пять тонн свежей целой рыбы. Качество рыбной муки может значительно отличаться в зависимости от вида, происхождения и процессов, используемых при ее производстве. Лучшие рыбные продукты содержат 66-72% легкоусвояемого белка. В нем также может содержаться до 12% масла, богатого длинными полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) серии омега-3, а также минералы и микроэлементы. Высокое содержание энергии (20-22 кДж/г ДМ) и отсутствие антипитательных факторов являются дополнительными преимуществами этого ингредиента (NRC, 2011). Аналогичным образом, следует помнить о важности масел морского происхождения, которые являются единственными, содержащими EFAs для рыбы и особенно морской рыбы.

Mais les captures de la pêche dans son ensemble et la pêche minotière en particulier restent stables depuis 30 ans (FAO, 2014) et par conséquent la disponibilité en farines et huiles de poissons provenant de ces sources est constante, alors que l'aquaculture se développe et avec elle, les besoins en matières azotées (acides aminés indispensables) et en matières grasses (acides gras essentiels). En outre, l'utilisation de farines et d'huiles de poisson provenant de poissons sauvages pour produire du poisson d'élevage fait débat depuis de nombreuses années. D'une manière un peu schématique, on peut dire qu'on produit des poissons avec des poissons, alors que même si les poissons sont de bons transformateurs des protéines ingérées, on conviendra aisément que l'objectif principal doit être la production de protéines animales de qualité pour la nutrition humaine à partir d'autres sources protéiques. Des scientifiques ont tenté de calculer la quantité de poissons sauvages qui serait nécessaire pour produire une tonne de saumon d'élevage (rapport FIFO pour Fish In/Fish Out²). Tacon & Metian (2008) ont donné le rapport de 4,9:1 pour le saumon, ce qui signifie qu'il faut 4,9 tonnes de poisson sauvage pour produire 1 tonne de saumon, 3,4:1 pour la truite³, 2,2:1 pour les poissons marins, 0,4:1 pour le tilapia, 0,5:1 pour le poisson chat, 0,2:1 pour la carpe, etc. Bien que les chiffres cités peuvent varier beaucoup, les calculs en prenant en compte le progrès réalisé dans le domaine de la substitution des farines et d'huiles de poissons et dans l'amélioration de l'efficacité alimentaire montrent qu'en réalité, l'aquaculture produit plus de protéines d'origine aquatique qu'elle n'en consomme (Torstensen et al., 2008).

Oднако уловы рыболовства в целом и промышленного рыболовства в частности остаются стабильными в течение последних 30 лет (FAO, 2014), поэтому доступность рыбной муки и рыбьего жира из этих источников постоянна, в то время как аквакультура растет, а вместе с ней растет и потребность в азотистых веществах (незаменимые аминокислоты) и жирах (незаменимые жирные кислоты). Кроме того, использование рыбной муки и рыбьего жира из дикой рыбы для производства выращенной рыбы обсуждается уже много лет. Несколько схематично можно сказать, что рыба производится из рыбы, но даже если рыба является хорошим переработчиком проглоченного белка, легко согласиться, что главной целью должно быть производство качественного животного белка для питания человека из других источников белка. Ученые попытались рассчитать количество дикой рыбы, которое потребуется для производства одной тонны культивируемого лосося (соотношение FIFO для Fish In/Fish Out²). Tacon & Metian (2008) привели соотношение 4,9:1 для лосося, что означает, что для производства 1 тонны лосося требуется 4,9 тонны дикой рыбы, 3,4:1 для форели», 2,2:1 для морской рыбы, 0,4:1 для тилапии, 0,5:1 для сома, 0,2:1 для карпа и т.д. Хотя приведенные цифры могут сильно варьироваться, расчеты, учитывающие прогресс, достигнутый в замене рыбной муки и рыбьего жира и в повышении эффективности кормов, показывают, что в действительности аквакультура производит больше белка водного происхождения, чем потребляет (Torstensen et al., 2008).

2 Equation du rapport FIFO proposée par Kaushik et Troell (2010):

$$FIFO = \frac{\text{Teneur de l'aliment en farine de poisson (\%)}}{\text{Rendement des captures en farine de poisson (\%)}} + \frac{\text{Teneur de l'aliment en huile de poisson (\%)}}{\text{Rendement des captures en huile de poisson (\%)}} \times IC$$

IC = Indice de consommation (rapport aliment consommé (g)/gain de poids (g)) Le rendement des captures de pêche en farine de poisson varie de 20 à 25 % et le rendement en huile de poisson varie de 5 à 12 %.

3 Ce chiffre d'un FIFO de 3,4 pour la truite, proposé par Tacon & Metian (2008) est cependant remis en cause. Selon la FEAP en 2015, il est de 1,78 (FIFO brut), associé à 13 % d'incorporation de farine de poisson et 8 % d'huile de poisson. Dans Fish Farming International (2015), un FIFO en dessous de 1 est même annoncé pour le saumon. Afin de préserver les ressources naturelles tout en permettant un développement durable de l'aquaculture, il a donc été impératif de diminuer le taux d'incorporation d'ingrédients d'origine marine, en ayant recours à d'autres types de matières premières. Les résultats de recherches dans ce domaine montrent qu'il est possible de s'affranchir de la farine de poissons ou du moins renverser les tendances de façon significative. L'application de ces résultats sur un plan industriel dépendra des contraintes d'ordre économiques. Les produits végétaux constituent de bonnes alternatives. Ils sont disponibles en plus grande quantité et avec plus de régularité que les farines et huiles de poissons.

2 Уравнение соотношения FIFO, предложенное Kaushik и Troell (2010):

$$\Phi ИФ\Phi = \frac{\text{Содержание рыбной муки в корме (\%)}}{\text{Выход рыбной муки из улова (\%)}} + \frac{\text{Содержание рыбьего жира в корме (\%)}}{\text{Выход рыбьего жира из улова (\%)}} \times I$$

I = индекс потребления (отношение потребленного корма (г)/прирост веса (г)) Выход рыбной муки из рыбных уловов варьируется от 20 до 25%, а выход рыбьего жира - от 5 до 12%.

3 Эта цифра FIFO 3,4 для форели, предложенная Tacon & Metian (2008), однако, подвергается сомнению. По данным FEAP за 2015 год, он составляет 1,78 (брутто FIFO) в сочетании с 13% включением рыбной муки и 8% рыбьего жира. В публикации Fish Farming International (2015) FIFO ниже 1 даже объявлен для лосося. Поэтому для сохранения природных ресурсов и обеспечения устойчивого развития аквакультуры необходимо снизить процент включения ингредиентов морского происхождения, используя другие виды сырья. Результаты исследований в этой области показывают, что можно отказаться от рыбной муки или, по крайней мере, значительно обратить эту тенденцию вспять. Промышленное применение этих результатов будет зависеть от экономических ограничений. Продукты растительного происхождения являются хорошей альтернативой. Они доступны в больших количествах и с большей регулярностью, чем рыбная мука и рыбий жир.

En 2011, il ne restait plus que 20 à 25 % de farine de poisson dans les aliments des espèces dites carnivores, alors que les taux d'incorporation des ingrédients végétaux ont explosé : ils sont maintenant les composants majoritaires des aliments commerciaux aquacoles.

Des huiles végétales sont également maintenant utilisées afin de réduire la quantité d'huile de poisson dans la formule. Les produits végétaux sont utilisés en combinaison afin de fournir les AAI et les AGE en quantité suffisante pour répondre aux besoins des poissons (Burel et Médale, 2015). Les sources protéiques d'origine végétale les plus utilisées en Europe sont des graines d'oléagineux (soja, colza, tournesol) sous forme de tourteaux ou de concentrés protéiques, des protéagineux (lupin, féverole, pois), des céréales (maïs, blé) ou des extraits de protéines obtenus à partir de céréales, comme par exemple les glutens. Le remplacement partiel de la farine de poisson par une combinaison de ces ingrédients végétaux donne d'excellents résultats, même s'il est souvent nécessaire de compléter les aliments avec des acides aminés de synthèse (lysine et méthionine principalement). Néanmoins, les études ayant porté sur des taux de substitution très élevés (peu ou pas de farine de poisson) ont mis en évidence des verrous physiologiques bien que les régimes aient contenu tous les nutriments nécessaires (apport d'acides aminés de synthèse inclus) : une baisse de la consommation alimentaire, de l'efficacité alimentaire et du taux de croissance des poissons, ainsi que des modifications métaboliques.

K 2011 году только 20-25% рыбной муки оставалось в кормах для так называемых плотоядных видов, в то время как уровень включения растительных ингредиентов резко возрос: теперь они составляют большинство компонентов кормов для коммерческой аквакультуры. Растительные масла также теперь используются для уменьшения количества рыбьего жира в формуле. Растительные продукты используются в комбинации для обеспечения ИАА и ОДВ в количестве, достаточном для удовлетворения потребностей рыбы (Burel and Médale, 2015). Наиболее часто используемыми источниками белка растительного происхождения в Европе являются масличные семена (soя, рапс, подсолнечник) в виде жмыха или белковых концентратов, белковые культуры (люпин, конские бобы, горох), зерновые (кукуруза, пшеница) или белковые экстракты, полученные из зерновых, например, глютен. Частичная замена рыбной муки комбинацией этих растительных ингредиентов дает отличные результаты, хотя часто необходимо дополнять корм синтетическими аминокислотами (в основном лизином и метионином). Однако исследования с очень высокими показателями замещения (мало или совсем нет рыбной муки) показали физиологические ограничения, несмотря на то что рационы содержали все необходимые питательные вещества (включая синтетические аминокислоты): снижение потребления корма, эффективности кормления и темпов роста рыбы, а также изменения в обмене веществ.

Les travaux de recherche doivent être poursuivis afin d'améliorer l'efficacité nutritionnelle des produits végétaux via une réduction des facteurs antinutritionnels qu'ils contiennent (Burel et Médale, 2015).

Une autre stratégie est d'incorporer dans l'aliment des sources de protéines aujourd'hui sous-utilisées provenant des sous-produits d'animaux terrestres. Ces sous-produits animaux sont disponibles en grandes quantités en Union Européenne (UE) et d'un point de vue durabilité, ce sont des ingrédients précieux car ce sont les co-produits des productions animales destinées à l'alimentation de l'homme. En 2008, le plus grand producteur de farines de protéines animales était les États-Unis (USA) avec 4.1 Mt suivie par l'UE avec 3,9 Mt. La production mondiale de ces farines (13 Mt) est plus de deux fois celle rapportée pour la farine de poisson, pourtant, l'utilisation totale de ces farines représente moins de 1% des ingrédients entrant dans la production des aliments pour poisson, avec une grande variation entre les grands pays producteurs. La valeur biologique de ces farines d'origine animale terrestre a fait l'objet de nombreuses études chez différentes espèces de poissons et les résultats montrent que les ingrédients tels que la farine de sang et les farines de sous-produits de volailles sont tous efficaces dans les aliments d'un certain nombre d'espèces aquatiques.

Neobходимы дальнейшие исследования для повышения питательной эффективности растительных продуктов путем снижения содержащихся в них антипитательных факторов (Burel and Médale, 2015).

Другая стратегия заключается во включении в корм недостаточно используемых в настоящее время источников белка из побочных продуктов наземных животных. Эти побочные продукты животного происхождения доступны в больших количествах в Европейском Союзе (ЕС) и с точки зрения устойчивости являются ценными ингредиентами, поскольку являются сопутствующими продуктами животноводства для потребления человеком. В 2008 году крупнейшим производителем муки из животного белка были Соединенные Штаты (США) с 4,1 млн тонн, за ними следовал ЕС с 3,9 млн тонн. Мировое производство белковой муки животного происхождения (13 млн тонн) более чем в два раза превышает объем производства рыбной муки, однако общий объем использования этой муки составляет менее 1% ингредиентов, используемых в производстве рыбных кормов, причем между основными странами-производителями наблюдаются большие различия. Биологическая ценность этих мучных изделий из наземных животных была широко изучена на различных видах рыб, и результаты показали, что такие ингредиенты, как кровяная мука и мука из субпродуктов домашней птицы, эффективно используются в кормах ряда водных видов.

Dans les pays extra-européens, ces produits sont utilisés comme sources de protéines dans les aliments aquacoles, alors que ces farines d'origine animale terrestre ont été interdites dans l'UE depuis 2001 dans tous les régimes des animaux d'élevage pour éradiquer les encéphalopathies spongiformes transmissibles.

Néanmoins, après une évaluation intensive des risques, l'interdiction de l'utilisation dans les aliments aquacoles de protéines animales transformées (PAT) de non-ruminants a été levée récemment.

Les PAT ne sont pas des farines animales. Ce sont des sous-produits issus d'animaux sains, c'est-à-dire des animaux issus de la chaîne alimentaire conventionnelle, abattus à des fins d'alimentation humaine, mais dont certains morceaux ne sont pas consommés pour des raisons commerciales (morceaux non nobles, pieds de porc, aspects visuels, etc.). Alors que les farines animales sont issues de cadavres d'animaux impropres à la consommation alimentaire. Les PAT présentent de hautes teneurs en protéines avec de bons profils d'acides aminés et pas de facteurs antinutritionnels avérés et elles sont très digestibles chez les poissons et représentent un bon gisement potentiel pour l'alimentation aquacole, à condition que leur emploi soit strictement encadré (cf Guide C). Concernant le remplacement de l'huile de poisson, les principales huiles végétales produites au niveau mondial sont les huiles de soja et de palme qui représentent plus de 55 % du marché, mais également les huiles de colza et de tournesol (respectivement 14 et 9 % des volumes produits en 2006).

В неевропейских странах эти продукты используются в качестве источника белка в кормах для аквакультуры, в то время как в ЕС с 2001 года эти мучные изделия наземного животного происхождения запрещены в рационе всех сельскохозяйственных животных для искоренения трансмиссивных губчатых энцефалопатий.

Однако после интенсивной оценки рисков недавно был снят запрет на использование переработанного животного белка (РАР) нежвачных животных в кормах для аквакультуры.

ТАР - это не мясокостная мука. Это побочные продукты от здоровых животных, т.е. животных из обычной пищевой цепи, забитых для потребления человеком, но от которых некоторые части не потребляются по коммерческим причинам (неблагородные части, свиные ноги, визуальные аспекты и т.д.). В отличие от этого, мясокостную муку получают из тел животных, которые не пригодны для употребления в пищу человеком. ТАР имеют высокое содержание белка, хороший аминокислотный профиль и отсутствие известных антипитательных факторов. Они хорошо усваиваются рыбой и представляют собой хороший потенциальный источник корма для аквакультуры, при условии, что их использование строго контролируется (см. Руководство C). Что касается замены рыбьего жира, то основными растительными маслами, производимыми в мире, являются соевое и пальмовое масло, на которые приходится более 55% рынка, а также рапсовое и подсолнечное масла (14% и 9% соответственно от объема производства в 2006 году).

Cependant, la composition en AG des huiles végétales est très différente de celle des huiles de poisson. Elles sont dépourvues d'AGPI à longue chaîne oméga 3 et contiennent des proportions élevées d'AG des séries oméga 6 et oméga 9 (en particulier les acides linoléique et oléique), mais aussi d'AG saturés (acide palmitique, en particulier dans l'huile de palme). Certaines d'entre elles contiennent des proportions assez importantes d'ALA, comme dans l'huile de colza (8-10 %), mais surtout dans l'huile de lin (plus de 50 %).

Compte tenu de ces différences de composition, l'incorporation d'huiles végétales peut donc avoir des répercussions sur la croissance et la qualité nutritionnelle des produits car la nature des lipides incorporés dans les aliments conditionne la composition en acides gras (AG) de la chair. Or, la préservation de la teneur en acides gras oméga 3 dans la chair des poissons reste l'objectif primordial, surtout pour l'alimentation de l'homme. La substitution de l'huile de poisson par des huiles végétales est donc beaucoup plus problématique que celle des farines de poisson.

Une alternative aux huiles végétales est constituée par les graisses d'origine animale, telle que la graisse de volaille. Comme dans le cas des PAT, seule les graisses de type C3, c'est-à-dire issues des animaux dont la viande est propre à la consommation humaine, sont autorisées. Toutes les graisses C3 de volaille et de porc sont autorisées en France, respectivement depuis 2003 et 2004.

Oднако состав ГА растительных масел сильно отличается от состава рыбьего жира. Они лишены длинноцепочечных ПНЖК омега-3 и содержат высокие доли ФА ряда омега-6 и омега-9 (в частности, линолевую и олеиновую кислоты), а также насыщенные ФА (пальмитиновая кислота, особенно в пальмовом масле). Некоторые из них содержат довольно высокую долю ALA, например, в рапсовом масле (8-10%), но особенно в льняном (более 50%).

Учитывая эти различия в составе, включение растительных масел может повлиять на рост и питательные качества продукции, поскольку природа липидов, включенных в корм, определяет состав жирных кислот (ЖК) в мясе. Поддержание содержания омега-3 жирных кислот в мясе рыбы остается главной задачей, особенно для потребления человеком. Поэтому замена рыбьего жира растительными маслами является гораздо более проблематичной, чем замена рыбной муки. Альтернативой растительным маслам являются жиры животного происхождения, например, жир домашней птицы. Как и в случае с ТАРs, разрешены только жиры C3, т.е. полученные от животных, мясо которых пригодно для потребления человеком. Все жиры птицы и свинины C3 были разрешены во Франции с 2003 и 2004 годов соответственно.

Par contre, certaines graisses C3 de ruminants demeurent interdites en alimentation des monogastriques (pour éviter des contaminations croisées des aliments pour ruminants) : certains suifs collectés après fente de carcasse, certaines graisses contenant ou préparées à partir de tissus osseux de ruminants, toutes graisses issues de la production de farine de viande et d'os de ruminant. Des plus, lorsqu'elles proviennent de ruminants, les graisses C3 doivent, pour pouvoir être valorisées en alimentation animale, être purifiées pour contenir moins de 0,15 % d'impuretés protéiques.

Les graisses animales ne sont pas sources d'AGPI à longue chaîne oméga 3, mais ce sont des sources d'énergie et elles augmenteraient l'appétence des aliments en comparaison avec les huiles végétales. Une des solutions trouvées à ce jour pour produire des poissons d'élevage ayant une chair riche en acides gras de type oméga 3, malgré une réduction de l'incorporation d'huile de poisson dans les aliments piscicoles, est de procéder à une période d'alimentation de finition de l'ordre de 12 semaines, en fin de cycle d'élevage, afin de maintenir la valeur nutritionnelle de la chair des poissons (Corraze et Kaushik, 2009). Cette solution pose néanmoins des problématiques de mise en œuvre au niveau des élevages, dans la mesure où les dates de sortie des lots ne sont pas définies très en avance.

Oднако некоторые жиры жвачных животных С3 все еще запрещены в кормах для моногастрических животных (во избежание перекрестного загрязнения кормов для жвачных животных): некоторые жиры, собранные после расщепления туши, некоторые жиры, содержащие или приготовленные из костной ткани жвачных животных, все жиры, полученные при производстве мясокостной муки для жвачных животных. Кроме того, жиры С3, полученные от жвачных животных, должны быть очищены до содержания менее 0,15% белковых примесей, чтобы использоваться в кормах для животных.

Животные жиры не являются источниками длинноцепочечных омега-3 ПНЖК, но они являются источниками энергии и повышают вкусовые качества корма по сравнению с растительными маслами. Одним из решений, найденных на сегодняшний день для получения выращенной рыбы с мясом, богатым омега-3 жирными кислотами, несмотря на снижение содержания рыбьего жира в кормах, является проведение финишного кормления в течение примерно 12 недель в конце цикла выращивания, чтобы сохранить питательную ценность мяса рыбы (Corraze and Kaushik, 2009). Однако это решение создает проблемы с реализацией на уровне фермы, поскольку даты выпуска партий не определены далеко вперед.

1.5 Enjeux et perspectives

Les résultats de la recherche dans le domaine de la nutrition des poissons ont été utilisés par l'industrie pour faire évoluer la composition des aliments aquacoles. Les ingrédients végétaux sont maintenant devenus majoritaires dans les régimes de toutes les espèces aquacoles. Le choix des ingrédients et la formulation des aliments ont été affinés à partir des réponses des différentes espèces aux différents substituts végétaux et l'adaptation des procédés technologiques a permis d'améliorer les qualités nutritionnelles des composés végétaux. Toutefois, les taux de substitution très élevés restent critiques et il faut donc poursuivre l'effort de recherche concernant cette thématique.

Des stratégies d'alimentation innovantes pouvant améliorer l'utilisation des régimes végétaux sont étudiées, incluant l'exposition précoce des alevins à des aliments végétaux ou à des nutriments particuliers (glucides par exemple, cf Encart Glucides). Par ailleurs, on observe au sein des lots de truites nourries avec ces aliments à base de végétaux une importante variabilité des performances individuelles, certains individus s'adaptant mieux que d'autres. D'où l'idée qu'il pourrait exister au sein des populations d'élevage une variabilité génétique à l'origine de ces écarts, variabilité susceptible d'être exploitée par sélection pour accélérer l'adaptation des cheptels à des environnements alimentaires contraignants.

1.5 Проблемы и перспективы

Результаты исследований в области питания рыб были использованы промышленностью для изменения состава кормов для аквакультуры. В настоящее время растительные ингредиенты стали составлять большую часть рациона для всех видов аквакультуры. Выбор ингредиентов и рецептуры кормов был уточнен на основе реакции различных видов на различные растительные заменители, а адаптация технологических процессов позволила улучшить питательные качества растительных соединений. Однако очень высокие показатели замещения остаются критическими, и в этой области необходимы дальнейшие исследования.

В настоящее время изучаются инновационные стратегии кормления, которые могут улучшить использование растительных рационов, включая раннее ознакомление мальков с растительной пищей или конкретными питательными веществами (например, углеводами, см. врезку "Углеводы"). Кроме того, в партиях форели, вскармливаемой этими растительными кормами, наблюдается значительная изменчивость индивидуальных показателей, причем некоторые особи адаптируются лучше, чем другие. Это говорит о том, что в размножающихся популяциях может существовать генетическая изменчивость, ответственная за эти различия, которая может быть использована отбором для ускорения адаптации стад к ограничивающим условиям кормления.

Les protéines animales transformées (PAT) qui ont une très bonne valeur biologique et qui viennent d'être autorisées en alimentation aquacole commencent aussi à remplacer la farine de poisson, mais d'autres types d'ingrédients peuvent également être utilisés pour participer au remplacement de la farine et de l'huile de poisson, tels que des macro ou microalgues, des farines d'insectes, des protéines unicellulaires, etc.

Переработанные животные протеины (ПЖП), который обладает очень хорошей биологической ценностью и недавно был одобрен для использования в кормах для аквакультуры, также начинает заменять рыбную муку, но другие виды ингредиентов также могут быть использованы для замены рыбной муки и рыбьего жира, например макро- или микроводоросли, мука насекомых, одноклеточные белки и т.д.