

은연어(*Oncorhynchus kisutch*) 사료내 어분 대체원으로서 대두농축단백의 이용에 따른 성장 및 성분분석

유광열 · 최원석¹ · 배진호² · 윤현호³ · 이승한⁴ · 배승철^{5*}

특허청 식품생물자원심사과, ¹부경대학교 사료영양연구소, ²부경대학교 사료영양연구소, ³CJ 제일제당주식회사, ⁴국립수산과학원 사료연구센터, ⁵FAO 세계수산대학/부경대학교 사료영양연구소

Effects on Growth and Body Composition to Soy Protein Concentrate as a Fishmeal Replacement in Coho Salmon *Oncorhynchus kisutch*

Gwangyeol Yoo, Wonsuk Choi¹, Jinho Bae², Hyeonho Yun³, Seunghan Lee⁴ and Sungchul C. Bai^{5*}

¹Food and Biological Resources Examination Division, Korean Intellectual Property Office, Daejeon 35208, Korea

²Feeds and Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

³CJ Cheiljedang corporation, Seoul 04560, Korea

⁴Aquafeed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37517, Korea

⁵FAO World Fisheries University Pilot Program/Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

This study was conducted to evaluate plant proteins as a replacement for a fishmeal diet in the rearing of coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. Twelve groups of 20 fish averaging 34.0±0.62 g were randomly distributed into 12 rectangular tanks (250 L). Four experimental diets included a control diet containing 60% fishmeal (Control), and three other diets that replaced 20% of fishmeal with soy protein concentrate (SPC), fermented soybean protein concentrate (F-SPC), and enzyme-processed soy protein concentrate (E-SPC). At the end of the feeding trial, fish that were fed Control, SPC and E-SPC diets showed significantly higher weight gain, specific growth rate, feed efficiency, and protein efficiency ratio than those that were fed F-SPC diet. However, there were no significant differences among the fish that were fed Control, SPC, and E-SPC diets. No significant differences were observed in crude protein, crude lipid, and ash of whole body among the fish that were fed all the diets. Therefore, these results indicated that 20% of fishmeal could be replaced by E-SPC or SPC without any adverse effects on the growth performance of coho salmon.

Keywords: Coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, Soybean, Soy protein concentrate, Plant protein

서론

어분(fishmeal)은 고등어, 정어리, 멸치, 명태, 대구 등 식용으로 이용가치가 낮은 어류로부터 생산되고 있으며, 높은 단백질 소화율, 균형 있는 아미노산 조성 및 어류의 높은 기호성 때문에 항상 양식 사료의 주요 단백질 공급원으로 고려되어 왔다(Lim et al., 2004). 근래에는 기후의 변화, 기상이변, 어족자원의 남획 등으로 인해 어분의 공급 및 가격이 불규칙하여 성장하는 양식산업의 수요를 충족시킬 수 없기 때문에 어분을 대체할 수 있

는 단백질 공급원을 찾기 위해 다양한 연구들이 수행되고 있다(NRC 2011; Li et al., 2020). 어분을 대체하여 사용될 수 있는 여러 식물성 단백질 원료 중 세계적으로 가장 많이 이용되는 원료는 콩과에 속하는 유지작물인 대두(soybean)를 들 수 있다(Lim et al., 2004). 대두박은 대두의 기름을 추출하고 남은 부산물로서 다른 식물성 단백질원료에 비해 아미노산 조성이 비교적 균형적이며, 가격 및 원료공급에 있어 시장성이 높기 때문에 양어용 배합사료 내에 가장 널리 사용되고 있는 식물성 단백질 원 중 하나이다(Kikuchi, 1999; Kim et al., 2013). 그러나 대두

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 7922 Fax: +82. 51. 628. 6873

E-mail address: scbai@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0118>

Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 118-123, February 2021

Received 22 January 2021; Revised 26 January 2021; Accepted 27 January 2021

저자 직위: 유광열(심사관), 최원석(대학원생), 배진호(전임연구원), 윤현호(전임연구원), 이승한(연구사), 배승철(교수/소장)

박은 어분에 비하여 사료의 이용성을 저하시키는 몇 가지 단점이 있다는 것이 밝혀지면서 대두박의 생물학적 이용성을 높이기 위한 방안으로 발효, 효소처리 및 화학처리 등의 연구가 이루어지고 있다(Dabrowski et al., 1989; Murai et al., 1989; Pongmaneerat and Watanabe 1993; Refstie et al., 2005). 대두농축단백(soy protein concentrate, SPC)은 탈지된 대두와 에탄올을 이용하여 제조되는 것으로서 조단백함량이 60-65%로 45% 내외인 대두박에 비하여 월등히 높은 것이 특징이다. SPC는 불용성 탄수화물 및 섬유소, 항영양인자(antinutritional factors, ANFs)를 불활성 혹은 제거시켜 사료원료 이용성을 증가시키는 효과를 갖지만, 피틴염(phytates)등의 항영양인자를 완벽하게 제거시키지는 못한다(Bureau et al., 1998; Storebakken et al., 2000). 은연어(Coho Salmon *Oncorhynchus kisutch*)는 냉수성 어종으로, 오메가-3가 풍부하여 맛이 좋으며, 성장이 빨라 양식대상어종으로 주목받아 세계적으로 양식되는 연어과 어류 중 대서양연어(*Salmo salar*), 무지개송어(*S. gairdner*) 다음으로 많이 생산되고 있다(Iversen et al., 2020). 은연어는 오호츠크해, 알래스카만 등을 포함하여 북태평양 등지에 주로 분포하며, 북유럽 국가를 중심으로 양식되었으나, 한국에서는 1960년대 후반부터 양식기술을 도입하여 알을 부화시켜 소규모로 양식을 이어왔다. 최근에는 은연어를 해수에 연중 양식하는데 성공하는 등 양식 생산량을 증대시키기 위해 지속적으로 연구가 진행되고 있는 상황이다. 그러나 은연어 양식 사료내 어분단백질 대체원으로 대두박을 이용한 연구는 일부 보고되었으나, SPC를 이용한 연구는 부족한 실정이다(Tacon et al., 1983; Murai et al., 1989; Kim et al., 1992). 따라서 본 연구는 은연어 사료내 어분대체 원료로서 SPC의 이용 가능성을 평가하여, 은연어 양식을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험사료

실험에 사용된 사료원료와 일반성분 조성 및 구성 아미노산은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 실험사료의 주 단백질원으로 어분, 소맥글루텐, 대두농축단백(SPC), *B. Subtilis*로 발효한 SPC (fermented soy protein concentrate, F-SPC) 및 protease로 효소 처리한 SPC (enzyme-treated soy protein concentrate, E-SPC)를 사용하였으며, 실험에 사용된 SPC, E-SPC 및 F-SPC는 CJ제일제당주식회사(Seoul, Korea) 소재연구팀으로부터 제공받았다. 탄수화물원으로는 밀가루를 사용하였으며, 어유를 지질원으로 이용하였다. 대두 단백질의 효과를 검증하기 위해 기초사료(Control, Cont)에 어분단백질을 SPC, E-SPC 및 F-SPC으로 각각 20%씩 대체하여 총 4개 실험구를 설계하였다. 실험사료의 제조는 원료를 혼합한 후 펠릿기를 이용하여 제조하였고 환기가 잘되는 장소에서 자연건조하여 밀봉한 후 냉동실(-20°C)에 보관하여 사용하였다.

실험어류 및 사육관리

은연어는 강원도 고성군에 위치한 (주)동해에스티에프 양식장에서 구입하여 부산에 위치한 부경대학교 영양대사학 연구실내 사육실로 운반하였다. 2주간 기초사료를 공급하면서 예비사육 후, 평균 중량 34.0 ± 0.62 g인 은연어를 12개의 250 L FRP 사각수조(가로 60 cm, 세로 80 cm, 높이 60 cm)에 20마리씩 수용하여 각 실험구 당 3반복으로 무작위 배치하였다. 일일 사료공급량은 만복으로 1일 2회 공급(09:00, 18:00)하였으며, 4주간 사료공급량은 일일 평균 $0.84 \pm 0.08\%$ 를 공급하였다. 실험기간 동안 수온은 냉각기를 사용하여 $13.2 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 를 유지시켜 주었다. 산소공급량은 7.1 ± 0.31 ppm, 유수량은 2 L/min를 동일하게 유지하였다.

어체 측정 및 성분분석

어체측정은 실험개시시 및 4주차(28일)에 측정을 실시하였으

Table 1. Formulation and proximate composition of the experimental diets for growing Coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (% of dry matter basis)

Ingredients (%)	Cont	SPC	E-SPC	F-SPC
Fish meal from Chile	60.0	50.0	50.0	50.0
SPC ¹	0.0	11.4	0.0	0.0
Enzyme SPC	0.0	0.0	11.0	0.0
Fermented SPC	0.0	0.0	0.0	10.5
Wheat gluten meal	10.7	10.8	10.8	10.7
Wheat flour	14.4	11.8	12.2	12.9
Fish oil	10.9	11.7	11.6	11.6
Vitamin mix ²	2.0	2.0	2.0	2.0
Mineral mix ³	2.0	2.0	2.0	2.0
Lys	0.0	0.1	0.1	0.1
Met	0.0	0.2	0.2	0.2
Total	100	100	100	100
Proximate analysis (% As-is)				
Moisture	9.7	7.3	8.9	10.1
Crude protein	52.2	53.2	52.1	51.6
Crude lipid	14.6	14.8	14.5	14.4
Crude ash	10.3	9.8	10.0	9.8

¹SPC, Soy Protein Concentrate. ²Contains (as mg/kg in diets): Ascorbic acid, 300; dl-Calcium pantothenate, 150; Choline bitate, 3000; Inositol, 150; Menadion, 6; Niacin, 150; Pyridoxine HCl, 15; Rivoiflavin, 30; Thiamine mononitrate, 15; dl-a-Tocopherol acetate, 201; Retinyl acetate, 6; Biotin, 1.5; Folic acid, 5.4; Cobalamin, 0.06. ³Contains (as mg/kg in diets): NaCl, 437.4; MgSO₄·7H₂O, 1379.8; ZnSO₄·7H₂O, 226.4; Fe-Citrate, 299; MnSO₄, 0.016; FeSO₄, 0.0378; CuSO₄, 0.00033; Calciumiodate, 0.0006; MgO, 0.00135; NaSeO₃, 0.00025.

며, 성장률을 조사하기 위하여 24시간 절식시킨 후 각 수조의 실험어 전체 무게를 측정하였다. 실험종료 후, 성장률(weight gain, %), 사료효율(feed efficiency, %), 일간성장률(specific growth rate, %/day), 사료전환효율(feed conversion ratio), 단백질이용효율(protein efficiency ratio), 및 생존율(survival rate, %)을 조사하였다.

$$\text{Weight gain (WG, \%)} = (\text{final wt.} - \text{initial wt.}) \times 100 / \text{initial wt}$$

$$\text{Feed Efficiency (FE, \%)} = (\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$$

$$\text{Specific growth rate (SGR, \%)} \\ = (\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) \times 100 / \text{days}$$

$$\text{Feed conversion ratio (FCR)} = (\text{dry feed intake} / \text{wet weight gain})$$

$$\text{Protein efficiency Ratio (PER)} = (\text{wet weight gain} / \text{protein intake})$$

$$\text{Survival rate (\%)} = (\text{total fish} - \text{dead fish}) \times 100 / \text{total fish}$$

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 실험어 5마리씩 무작위로 샘플하여 전어체를 분석하였으며, AOAC (2000)방법에 따라 수분은 삼압가열건조법(115°C, 4시간), 조단백은 Kjeldahl

질소 정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다. 조지방은 Soxtec system 1046 (Tator AB, Höganäs, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 조지질은 조지질추출기(Velp SER 148, Usmate, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후, 측정하였다. 구성아미노산 분석은 시료 0.5 g을 정량 하여 시험관에 넣고 6 N-HCl 15 mL를 가하여 감압 밀봉한 후 110°C의 dry oven에서 24시간 이상 동안 산 가수분해시켰다. Glass filter로 분해액을 여과하고 얻은 여액을 55°C에서 감압 농축하여 염산과 물을 완전히 증발시킨 다음, 농축된 시료를 sodium citrate buffer (pH 2.20)로 25 mL 정용플라스크에 정용하여 0.45 µm membrane filter로 여과 한 시료액을 아미노산 자동 분석기(Biochrom 30, Biochrom Ltd., Cambridge, England)를 사용하여 다음과 같은 조건으로 분석하였다. Cation separation column (oxidised feedstuff column, 4.6 mm×200 mm)을 사용하였고 0.2 M sodium citrate buffer (pH 3.20, 4.25)와 1.2 M sodium citrate buffer (pH 6.45) 및 0.4 M sodium hydroxide solution을 이동상으로 사용하였다. 이동상의 유속은 0.42 mL/min, ninhydrin 용액의 유속은 0.33 mL/min, column 온도는 48-95°C, 반응온도는 135°C로 조절하여 분석하였다.

통계처리

실험수조의 배치는 완전확률계획법(completely randomized design)을 실시하였고, 성장 및 분석결과는 SAS (Version 9.1) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계를 분석하였다. 데이터 값은 최소유의차(LSD) 검정(P<0.05)으로 비교하였으며 데이터는 평균값±표준편차(mean±SD)로 나타내었다.

결과 및 고찰

4주간의 사육실험 종료 후, 은연어의 성장결과는 Table 3에 나타내었다. 증체율(weight gain, WG), 일간성장률(specific growth rate, SGR), 사료효율(feed efficiency, FE), 단백질이용효율(protein efficiency ratio, PER)에 있어 F-SPC가 Cont, SPC 및 E-SPC에 비해 유의한 차이로 낮게 나타났으며(P<0.05), Cont, SPC 및 E-SPC 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P<0.05). 생존율(survival rate)에 있어서는 F-SPC가 SPC에 비해 유의적으로 높은 결과값을 보였으며, Cont와 E-SPC 사이에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P<0.05).

이와 같이 Cont, SPC 및 E-SPC간에는 증체율, 일간성장률, 사료효율, 단백질전환효율에 있어서 유의적인 차이가 없었던 것으로 보아 SPC와 E-SPC 사료원은 은연어 사료 내 어분단백질을 20% 대체하여도 기호성의 차이가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Atlantic halibut (Berge et al., 1999), Atlantic salmon (Refstie et al., 2001), common carp (Escaffre et al., 1997), rainbow trout (Kaushik et al., 1995; Médale et al., 1998; Mambrini et al., 1999) 및 Senegalese sole (Aragão

Table 2. Amino acid composition of the experimental diets

Amino acids (g/100 g diet)	Diets			
	Cont	SPC	E-SPC	F-SPC
Indispensable				
Arginine	2.92	2.83	3.02	3.09
Threonine	2.11	2.16	2.15	2.15
Valine	2.64	2.72	2.76	2.82
Isoleucine	2.37	2.39	2.46	2.55
Leucine	3.89	3.93	4.02	4.11
Methionine	1.43	1.39	1.41	1.38
Lysine	3.58	3.61	3.66	3.73
Phenylalanine	2.34	2.33	2.42	2.48
Histidine	1.75	1.81	1.77	1.87
Dispensable				
Serine	2.17	2.14	2.23	2.21
Glutamic acid	9.83	9.73	10.3	10.3
Proline	3.24	3.24	3.52	3.72
Glycine	2.62	2.69	2.69	2.88
Alanine	2.74	2.88	2.83	2.91
Tyrosine	1.51	1.47	1.58	1.72
Aspartic acid	4.59	4.52	4.71	4.72

Cont, control; SPC, soy protein concentrate; E-SPC, fermented soy protein concentrate; F-SPC, enzyme-treated soy protein concentrate.

et al., 2003) 등 다양한 어종에서도 사료내 40-75%의 어분 단백질을 SPC로 대체하여도 실험어류의 성장에 영향을 끼치지 않는다는 보고와 일치하였다. 반면 Atlantic salmon (Storebakken et al., 1998), chinook salmon and rainbow trout (Deng et al., 2006)에 있어 어분을 발효한 대두농축단백질로 대체하면 어분 60% 이상의 사료를 공급한 실험군에 비해 성장율이 낮아진다고 보고되었다. 이와 같이 어류의 성장에 미치는 영향이 상이한 점에 대해 Deng et al. (2006)은 사료 원료의 조성, 어류의 종류 및 성장단계에 따른 것이라고 보고하였다. 일반적으로 대두박을 포함하는 식물성 사료원료의 발효 및 효소처리하는 영양학적 가치를 향상시켜주는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 E-SPC는 Cont와 성장 및 사료효율에 있어 유의한 차이가 없었다. 이러한 결과는 Atlantic salmon에 있어서 사료내 phytase를 처리한 SPC 첨가 실험구가 phytase를 처리하지 않은 SPC 실험구에 비해 성장 및 사료효율이 양호하였고, largemouth bass에 있어서 사료내 효소 처리한 탈피대두박 첨가 실험구가 대조구에 비해 성장 및 사료효율이 유의한 차이로 증가한다는 연구들과 유사했다(Storebakken et al., 1998; Li et al., 2020). 한편 본 실험에 있어서 F-SPC의 기호성은 감소하였는데 그 이유로는 발효

과정에서 발생하는 발효취 및 추가 열처리로 인한 단백질의 변성 때문인 것으로 추정된다. Yellowtail의 사료내 *Aspergillus* 또는 *Eurotium*을 이용하여 발효시킨 대두박으로 어분단백질을 대체할 경우 단백질과 탄수화물 소화율을 증대시켜 주었으며(Shimeno et al., 1993), Atlantic salmon 사료내 *Lactobacillus*를 이용하여 발효시킨 대두박으로 어분단백질을 대체할 경우에는 지질 소화율을 향상시켰다고 보고되었다(Refstie et al., 2005). 이에 대해 Yamamoto et al. (2010)는 발효로 인해 대두의 항영양인자 중 하나인 oligosaccharides를 감소시켰기 때문이라고 보고했다. 반면에 Li et al. (2020)은 largemouth bass에서 *Saccharomyces cerevisiae*로 발효한 대두박을 첨가한 실험구가 *Lactobacillus bulgaricus*, *Saccharomyces cerevisiae* 및 *Bacillus subtilis* 혼합균주로 발효한 대두박을 첨가한 실험구에 비해 성장 및 사료효율이 유의한 차이로 낮게 나타났다고 보고하였으며, Yamamoto et al. (2010)는 동일한 균주(*Bacillus spp.*)를 이용해 발효조건(수분 30%, 7 h, 80°C; 수분 45%, 10 h, 80°C)을 달리한 대두박들로 실험사료를 제조하여 rainbow trout를 대상으로 사육실험한 결과 발효조건에 따라 성장의 차이가 나타난다고 보고하였다. 따라서 다양한 균주를 이용해 다

Table 3. Growth performance of growing coho salmon *Oncorhynchus kisutch* fed experimental diets for 28 days¹

Items	Cont	SPC	E-SPC	F-SPC
IW (g/fish) ²	34.2±0.72 ^a	33.5±0.14 ^a	34.7±0.76 ^a	34.6±1.15 ^a
FW (g/fish) ³	42.3±0.32 ^a	41.5±0.01 ^{ab}	43.2±1.17 ^a	39.9±0.30 ^b
FI (g/fish) ⁴	9.48±0.04	9.06±0.03	9.33±0.04	9.38±0.02
WG (%) ⁵	23.8±1.65 ^a	24.1±0.55 ^a	24.5±0.64 ^a	15.2±4.67 ^b
SGR (% day ⁻¹) ⁶	0.76±0.05 ^a	0.77±0.02 ^a	0.78±0.02 ^a	0.50±0.14 ^b
FE (%) ⁷	87.4±6.83 ^a	89.3±0.01 ^a	91.9±0.18 ^a	56.7±17.5 ^b
FCR ⁸	1.15±0.09 ^b	1.12±0.00 ^b	1.09±0.00 ^b	1.85±0.57 ^a
PER ⁹	1.68±0.13 ^a	1.68±0.00 ^a	1.76±0.00 ^a	1.10±0.34 ^b
Survival rate (%) ¹⁰	95.0±0.00 ^{ab}	92.5±3.54 ^b	97.5±3.54 ^{ab}	100±0.00 ^a

¹Values are means from triplicate groups, values in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²IW, Initial weight (g/fish). ³FW, Final weight (g/fish). ⁴FI, Total dry feed intake (g/fish). ⁵Weight gain (WG, %)=(final wt.-initial wt.)×100/initial wt. ⁶Specific growth rate (SGR, % day⁻¹)=(log_e final wt.-log_e initial wt.)×100/days. ⁷Feed Efficiency (FE, %)=(wet weight gain/dry feed intake)×100. ⁸Feed conversion ratio (FCR)=(dry feed intake/wet weight gain). ⁹Protein efficiency ratio (PER)=(wet weight gain/protein intake). ¹⁰Survival rate (%)=(total fish - dead fish)×100/total fish. Cont, control; SPC, soy protein concentrate; E-SPC, fermented soy protein concentrate; F-SPC, enzyme-treated soy protein concentrate.

Table 4. Proximate composition of whole body in coho salmon *Oncorhynchus kisutch* fed the experimental diets for 28 days (% wet weight)¹

	Cont	SPC	E-SPC	F-SPC
Moisture	77.0±0.70	75.8±0.86	76.3±0.95	77.3±0.19
Crude protein	17.0±0.88	17.0±0.28	17.4±0.51	16.6±0.12
Crude lipid	4.44±0.88	4.80±0.26	4.97±0.62	4.43±0.92
Crude ash	2.51±0.18	2.47±0.13	2.49±0.10	2.58±0.02

¹Values are means from triplicate groups, values in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). Cont, control; SPC, soy protein concentrate; E-SPC, fermented soy protein concentrate; F-SPC, enzyme-treated soy protein concentrate.

양한 발효조건으로 발효한 대두농축단백들에 대해 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사육실험 종료 후 실험사료를 섭취한 치어기 은연어의 전어체 일반분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전어체 조단백질, 조지질 및 조회분의 함량은 모든 실험구에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 어분단백질을 대두 단백질로 대체한 flounder (Kim et al., 2013), rainbow trout (Yamamoto et al., 2010) 등을 대상으로 실시한 다른 실험들과 유사한 것으로 대두 단백질로 대체함으로 인해 체조성의 변화에 미치는 영향은 매우 제한적이라는 결과를 뒷받침하고 있다.

이상의 결과로 볼 때, 대두농축단백과 효소처리 대두농축단백으로 은연어 사료내 어분단백질을 20%까지는 대체할 수 있을 것으로 판단되며, 위 원료들의 정확한 대체율을 평가하기 위해 어분 대체율별 사육실험, 소화율 평가 등이 더 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 CJ제일제당 주식회사의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis, 16th ed. Association of official analytical chemists, Arlington, Virginia, U.S.A.
- Aragão C, Conceição LEC, Dias J, Marques AC and Gomes E and Dinis MT. 2003. Soy protein concentrate as a protein source for Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858) diets: effects on growth and amino acid metabolism of post-larvae. *Aquac Res* 34, 1443-1452. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2003.00971.x>.
- Berge GM, Grisdale-Helland B and Helland SJ. 1999. Soy protein concentrate in diets for atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *Aquaculture* 178, 139-148. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00127-1).
- Bureau DP, Harris AM and Cho C.Y. 1998. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 161, 27-43. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00254-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00254-8).
- Dabrowski K, Poczczynski P, Kock G and Berger B. 1989. Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout *Salmo gairdneri*. New in vivo test exocrine pancreatic secretion. *Aquaculture* 77, 29-49. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90019-7).
- Deng J, Mai K, Ai Q, Zhang W, Wang X, Xu W and Liufu Z. 2006. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 258, 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.004>.
- Escaffre AM, Zambonino Infante JL, Cahu CL, Mambrini M, Bergot P and Kaushik SJ. 1997. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp *Cyprinus carpio* based on growth performance and digestive enzyme activities. *Aquaculture* 153, 63-80. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00010-0).
- Iversen A, Asche F, Hermansen Ø and Nystøyl R. 2020. Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003-2018. *Aquaculture* 522, 735089. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735089>.
- Kaushik SJ, Cravedi JP, Lallès JP, Sumpter J, Fauconneau B and Laroche M. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 133, 257-274. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00403-B](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00403-B).
- Kikuchi K. 1999. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 179, 3-11. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00147-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00147-7).
- Kim PK, Jeon JK, Kim HS, Myoung JG and Huh HT. 1992. Use of soybean meal as a protein source for coho salmon *Oncorhynchus kisutch* diet I. Growth responses on soybean meal. *J Aquaculture* 5, 19-27.
- Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Lee JH, Han HS, Koo JW and Bai SC. 2013. Dietary fermented soybean meal as a replacement for fish meal in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 769-776. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0769>.
- Li S, Ding G, Song F, Sang C, Wang A and Chen N. 2020. Comparison of dehulled, fermented and enzyme-treated soybean meal in diets for largemouth bass *Micropterus salmoides*: Effects on growth performance, feed utilization, immune response and intestinal morphology. *Anim Feed Sci Tech* 267, 114548. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114548>.
- Lim SR, Choi SM, Wang XJ, Kim KW, Shin IS, Min TS and Bai SC. 2004. Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture* 231, 457-468. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.008>.
- Mambrini M, Roem AJ, Cravedi JP, Lallès JP and Kaushik SJ. 1999. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate and of DL-methionine supplementation in high-energy, extruded diets on the growth and nutrient utilization of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *J Anim Sci* 77, 2990-2999. <https://doi.org/10.2527/1999.77112990x>.
- Médale F, Boujard T, Vallée F, Blanc D, Mambrini M, Roem A and Kaushik S. 1998. Voluntary feed intake, nitrogen and phosphorus losses in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed increasing dietary levels of soy protein concentrate.

- Aquat Living Resour 11, 239-246. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)89006-2](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89006-2).
- Murai T, Ogata H, Villaneda A and Watanabe T. 1989. Utilization of soy flour by fingerling rainbow trout having different body size. Nippon Suisan Gakkaishi 55, 1067-1073. <https://doi.org/10.2331/suisan.55.1067>.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington DC, U.S.A.
- Pongmaneerat J and Watanabe T. 1993. Effect of extrusion processing on the utilization of soybean meal diets for rainbow trout. Nippon Suisan Gakkaishi 59, 1407-1414. <https://doi.org/10.2331/suisan.59.1407>.
- Refstie S, Sahlstrom S, Brathen E, Baeverfjord G and Krogedal P. 2005. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon *Salmo salar*. Aquaculture 246, 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.001>.
- Refstie S, Storebakken T, Baeverfjord G and Roem AJ. 2001. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. Aquaculture 193, 91-106. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00473-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00473-7).
- Shimeno S, Mima T, Yamamoto O and Ando Y. 1993. Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellow-tail. Nippon Suisan Gakkaishi 59, 1883-1888. <https://doi.org/10.2331/suisan.59.1883>.
- Storebakken T, Refstie S and Ruyter B. 2000. Soy products as fat and protein sources in fish diets for intensive aquaculture. In: Drackley JK Ed. Soy in Animal Nutrition. Federation of Animal Science Societies, Savoy, IL, U.S.A., 127-170.
- Storebakken T, Shearerb KD and Roem AJ. 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon *Salmo salar*. Aquaculture 161, 365-379. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00284-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00284-6).
- Tacon AGJ, Haster JV, Featherston PB, Kerr K and Fackon AF. 1983. Studies on the utilization of full-fat soybean and extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. Bull Jap Soc Sci Fish 49, 1437-1443. <https://doi.org/10.2331/suisan.49.1437>
- Yamamoto T, Iwashitab Y, Matsunaria H, Sugitaa T, Furuिता H, Akimotoc A, Okamatsuc K and Suzukib N. 2010. Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 309, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.021>.