Check for updates

JFMSE, 38(5), pp. 1008~1014, 2026.
수산해양교육연구, 제38권 제5호, 통권143호, 2026.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2026.10.38.5.1008

시베리아 철갑상어(*Acipenser baerii*) 치어 사료 내 어분 대체원으로써 블루길(*Lepomis macrochirus*) 분말의 이용성

김이오 · 윤지환* · 공명식** · 이동훈†
충청북도내수면산업연구소(연구관 · *연구사) · **생물다양성보존협회(대표) ·
†경기도해양수산자원연구소(연구사)

Utilization of Bluegill (*Lepomis macrochirus*) Meal as a Replacement of Fishmeal in the Diet of Juvenile Siberian Sturgeon (*Acipenser baerii*)

Yi-Oh KIM · Ji-Hwan YUN* · Myeong-Sik GONG** · Dong-Hoon LEE†
Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute(senior research · *researcher) ·
**Biodiversity conservation association(representative) ·
†Gyeonggi-do Maritime and Fisheries Research Institute(researcher)

Abstract

An 8-week feeding trial evaluated bluegill, *Lepomis macrochirus* meal (BM) as a fish meal (FM) replacer for juvenile siberian sturgeon, *Acipenser baerii* (initial weight, 26.7~27.0 g). Four diets replacing 0% (BM0), 16.5% (BM10), 33.0% (BM20), and 49.5% (BM30) of FM with BM were tested in triplicate. Survival, weight gain, specific growth rate, feed efficiency, and protein efficiency ratio showed no significant differences across treatments ($P>0.05$). While whole-body moisture and crude protein contents showed minor significant differences among groups ($P<0.05$), crude lipid and ash contents remained unaffected ($P>0.05$). These findings indicate that BM can replace up to 49.5% of FM (32.19% of diet) in juvenile siberian sturgeon diets without compromising growth or feed utilization.

Key words : Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*, Bluegill, *Lepomis macrochirus*, Fish meal replacer

Ⅰ. 서 론

어류는 인류에게 양질의 동물성 단백질을 공급하는 핵심 영양원이며, 배합사료의 주원료인 어분(fish meal)은 뛰어난 필수아미노산 조성과 높은 기호성 덕분에 수산사료 산업의 독보적인 원료로 자리 잡아 왔다(Kim et al., 2018). 그러나 글로벌 기후 변화와 어족 자원의 고갈로 인한 공급 불안정은 어분 가격의 장기적인 상승을 유발하며 양식업의 지속 가능성을 위협하고 있다(Majluf et al., 2024). 이에 따라 수산 영양학계에서는 어분을 대체할 수 있는 고효율 단백질원 확보에 집중해 왔다(Kim et al., 2018).

최근에는 곤충 자원이나 식물성 단백질원(대두박 등)을 활용한 어분 대체 연구가 다각도로 수행되고 있으며(Ghaly and Alkoaik, 2009; Gasco et al., 2016; Jeong et al, 2017; Ng et al., 2001; Sankian et al., 2018), 외래 유해어종의 경우 정부 수매사업을 통해 폐기되는 개체를 자원 업사이클링(Upcycling)하여 양어사료 원료로 재활용하는

† Corresponding author : 031-8008-8357, leedh27@gg.go.kr/orcid.org/0000-0002-2150-6778

방안에 대한 관심이 증대되고 있다(Kim and Han, 2023). 자원 업사이클링은 상품 가치가 낮은 폐기물에 기술을 투입하여 고부가가치 제품으로 변환하는 작업을 의미하며, 처리 비용을 들여 폐기되던 생물자원을 유용한 단백질원으로 전환한다는 점에서 친환경적인 이점을 가진다(Jeong et al, 2025).

블루길(*Lepomis macrochirus*)은 검정우럭과에 속하는 외래 어종으로, 타 어종 대비 지방 함량이 적고 단백질, 칼슘, 인, 철 등의 미네랄이 풍부한 것으로 알려져 있다. 특히 칼슘, 인, 철 등의 미네랄 함량이 타 어종에 비해 1.5~4배가량 높아 고급 어분을 대체할 우수한 사료 원료로서의 조건을 갖추고 있다(Zhang et al., 2016). 고대어종인 철갑상어(Acipenseriformes)는 성장 속도가 빠르고 고부가가치 양식 품종으로 주목받고 있으나(Jin et al., 2008), 현대 진골어류와 구별되는 독특한 소화 생리 및 지질·탄수화물 대사 체계를 지니고 있어 사료 원료와 영양소 조성에 따라 기호성과 이용성에 민감한 차이를 나타낸다(Qu et al., 2022). 이에 따라 철갑상어의 적정 영양 공급 및 저비용 배합사료 국산화를 위한 대체 단백질원 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 내수면 유해어종인 블루길을 분말화하여 시베리아 철갑상어(*Acipenser baerii*) 치어 사료 내 어분 대체원으로서의 이용 가능성을 평가하고, 성장, 사료효율 및 전어체 일반성분에 미치는 영향을 조사하고자 수행하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 실험어 및 사육관리

본 실험에 사용된 시베리아 철갑상어(*Acipenser baerii*) 치어(평균 무게 약 27 g)는 충청북도 소재 철갑상어 양식장에서 확보하여 실험 수조에 수용하였다. 실험 시작 전 환경 적응을 거친 후, 건강한 치어를 무작위로 20마리씩 3반복으로 12개의 사각수조(용량 120 L)에 배치하여 8주간 사육 실험을 실시하였다.

사육 시스템은 침전조(2,000 L) 1개와 실험조(120 L) 12개 수조로 구성된 순환여과시스템(RAS)을 이용하였다. 사육 실험 동안 수온은 17℃, 수질 환경은 pH 6.4~8.0, 용존산소(dissolved oxygen, DO) 5.5~7.9 mg/L 수준으로 동일하게 유지하였다.

2. 실험사료

실험에 사용된 블루길 어분은 (사)생물다양성보전협회로부터 원료를 제공받아 바이오아쿠아피드(Chuncheon, Korea)에서 제조하였다. 모든 사료 원료와 물은 vertical mixer(HYVM-1214; Hanyoung Corp., Hanam, Korea)를 사용하여 혼합하였으며, 혼합된 원료들을 펠렛성형기(SP-75; Geumgang ENG, Korea)를 사용하여 실험사료를 제조하였다. 60℃전기 건조기(SHI-300; Shinhanil, Gwangju, Korea)에서 2시간 동안 건조 후 −25℃ 냉동고에 보관하였다.

본 실험에 사용한 시베리아 철갑상어 치어의 초기 평균 체중은 약 27 g이었으며, 이와 유사한 체중 범위의 시베리아 철갑상어 치어를 대상으로 2 mm 직경의 펠렛을 사용한 선행연구가 보고되어 있다(Moazenzadeh et al., 2017). 또한 초기 체중 약 25 g의 juvenile hybrid sturgeon을 대상으로 한 연구에서도 2 mm 직경의 펠렛이 사용되었다(Guo et al., 2012). 이를 근거로 본 연구에서도 약 27 g 크기의 철갑상어 치어가 섭취하기에 적합한 2 mm 직경의 펠렛을 제조하여 공급하였다.

실험사료의 대조구(BM0)는 고급 어분을 주요 단백질원으로 배합하였으며, 어분 단백질을 블루길 어분(BM)으로 각각 16.5% 대체한 BM10, 33.0% 대체한 BM20, 49.5% 대체한 BM30의 총 4개 실험사료를 제조하였다. 주요 지질원으로는 어유와 대두유를 혼합하여 사용하였으며, 비타민 및 미네랄 혼합제를 동일하게 첨가하였다. 실험사료의 조성 및 일반성분 조성 분석 결과는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Ingredient and proximate composition of experimental diets for Siberian sturgeon *Acipenser baerii* (% dry matter basis)[1]

Ingredients (%)	Diets			
	BM0	BM10	BM20	BM30
Fish meal[1]	65.00	55.25	45.50	35.75
Bluegill meal[2]		10.73	21.46	32.19
Wheat gluten		0.50	1.00	1.50
a-starch	10.00	10.00	10.00	10.00
Wheat flour	15.00	13.72	12.44	11.16
Fish oil	3.00	2.90	2.80	2.70
Soybean oil	3.00	2.90	2.80	2.70
Vitamin premix[3]	1.50	1.50	1.50	1.50
Mineral premix[4]	1.50	1.50	1.50	1.50
Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50
Choline	0.50	0.50	0.50	0.50
Chemical analysis (% of dry matter basis)				
Crude protein	55.3	54.9	55.3	55.0
Crude lipid	13.8	14.2	13.7	14.2
Ash	9.18	8.61	8.09	8.54

[1]Fish Pesquera Bahia Caldera, Caldera, Chile. Fish meal composition (% dry matter) : crude protein, 73.8; crude lipid. 11.0.
[2]Bioaquafeed Industry, Chuncheon, Korea. Bluegill meal composition (% dry matter) : crude protein, 66.7; crude lipid. 11.9.
[3]Aquabest-V, FeedBEST CO., LTD., Cheonan, Korea. Vitamin premix composition (per kg of premix) : Vitamin A, 5,000,000 IU; Vitamin D3, 1,000,000 IU; Vitamin E, 38,000 mg; Vitamin K3, 2,500 mg; Vitamin C, 6,400 mg; Vitamin B1, 5,000 mg; Vitamin B2, 10,000 mg; Vitamin B6, 5,000 mg; Folic acid, 2,500 mg; Biotin, 50 mg; Vitamin B12, 25 mg; Inositol, 75,000 mg; Niacin, 37,500 mg; Calcium pantothenate, 17,500 mg.
[4]Aquabest-M, FeedBEST CO., LTD., Cheonan, Korea. Mineral premix composition (per kg of premix): Ferrous fumarate, 12.5 mg; Calcium iodate, 0.75 mg; Manganese sulfate, 11.3 mg; Zinc sulfate, 13.8 mg; Cobalt sulfate, 0.75 mg; Ferrous sulfate, 20.0 mg; Copper sulfate, 1.25 mg; Magnesium sulfate, 80.2 mg; Aluminum hydroxide, 0.75 mg.

3. 어체 측정 및 성분분석

8주간의 사육실험 종료 후, 24시간 동안 절식시킨 어류를 tricaine methanesulfonate (Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취하여 수조별 총 중량 및 개체 수를 측정하였다. 측정 데이터를 기반으로 증체율(weight gain, WG), 일간성장률(specific growth rate, SGR), 생존율(survival rate), 사료효율(feed eficiency, FE), 일일사료섭취율(daily feed intake, DFI), 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER), 단백질축적률(protein retention, PR) 및 지질축적률(lipid retention, LR)을 산출하였다.

실험사료 및 전어체의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 표준 방법에 따라 실시하였다. 수분은 105℃ 상압가열건조법, 조단백질은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)을 이용한 질소정량법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 600℃ 회화로 직접회화법으로 정량 분석하였다.

4. 통계분석

결과의 통계처리는 SPSS Ver. 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, 사후 분석은 Tukey's multiple range test로 평균 간의 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 성장 및 사료 이용성

8주간 블루길 어분 대체 사료를 공급한 시베리아 철갑상어 치어의 성장 및 사료 이용성에 대한 결과는 <Table 2> 및 <Table 3>과 같다.

실험 기간 동안 철갑상어의 생존율은 BM0구 85.0%, BM10구 85.0%, BM20구 76.7%, BM30구 83.3%로 나타났으며, 실험구 간 유의한 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 최종 어체중은 BM0 68.7 g, BM10 79.3 g, BM20 81.6 g, BM30 81.7 g을 나나내었고, 증체율(WG)은 BM0 155.1%, BM10 197.1%, BM20 207.7%, BM30 203.6%로 나타났다(P>0.05). 일간성장률(SGR) 역시 BM0 1.67%/day, BM10 1.94%/day, BM20 2.00%/day, BM30 1.96%/day로 실험구 간 유의한 차이 없이 블루길 어분 대체구들이 양호한 성장을 유지하였다(P>0.05). 사료효율(FE)은 BM0 68.8%, BM10 94.3%, BM20 80.2%, BM30 79.4%를 나타냈으며, 일일사료섭취율(DFI)은 2.59~2.93% 범위로 실험구 간 유의차가 없었다(P>0.05). 단백질전환율(PER)은 3.09~4.23%, 단백질축적률(PR)은 21.7~28.0%, 지질축적률(LR)은 63.2~81.8% 범위로 나타나 전 사료 이용성 지표에서 실험구 간 통계적 유의한 차이가 없었다(P>0.05).

<Table 2> Growth performance of siberian sturgeon Acipenser baerii fed experimental diets for 8 weeks[1]

Diets	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	Survival (%)	Weight gain (%)[2]	Specific growth rate (%/day)[3]
BM0	27.0±0.05^{ns}	68.7±1.78^{ns}	85.0±0.00^{ns}	155.1±6.88^{ns}	1.67±0.05^{ns}
BM10	26.7±0.07	79.3±0.39	85.0±2.89	197.1±0.78	1.94±0.00
BM20	26.5±0.09	81.6±3.92	76.7±4.41	207.7±14.91	2.00±0.09
BM30	26.9±0.10	81.7±9.44	83.3±4.41	203.6±34.47	1.96±0.20

[1]Values are presented as mean ± SE (n = 3). "ns" superscript letters within the same column indicate no significant difference (P>0.05).

[2]Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) × 100 / initial body weight.

[3]Specific growth rate (%/day) = (Ln final weight of fish − Ln initial weight of fish) × 100/days of feeding trial.

<Table 3> Feed utilization of siberian sturgeon *Acipenser baerii* fed experimental diets for 8 weeks[1]

Diets	DFI(%)[2]	FE(%)[3]	DPI(%)[4]	DLI(%)[5]	PER(%)[6]	PR(%)[7]	LR(%)[8]
BM0	2.93±0.04^{ns}	68.8±3.03^{ns}	0.65±0.01^{ns}	0.30±0.00^{ns}	3.09±0.14^{ns}	21.7±0.76^{ns}	63.2±6.17^{ns}
BM10	2.59±0.10	94.3±6.45	0.58±0.02	0.27±0.01	4.23±0.29	28.0±2.32	81.8±7.45
BM20	2.84±0.05	80.2±4.03	0.63±0.01	0.29±0.01	3.60±0.18	24.5±1.33	79.6±4.01
BM30	2.92±0.20	79.4±11.00	0.65±0.04	0.30±0.02	3.56±0.49	23.9±3.39	80.2±7.10

[1]Values are presented as mean ± SE (n = 3). "ns" superscript letters within the same column indicate no significant difference (P>0.05).

[2]Daily feed intake (%) = feed intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

[3]Feed efficiency (%) = fish wet weight gain × 100 / feed intake (dry matter).

[4]Daily protein intake (%) = protein intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

[5]Daily lipid intake (%) = lipid intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

[6]Protein efficiency ratio (%) = weight gain of fish / protein consumed.

[7]Protein retention (%) = protein gain of fish / protein consumed.

[8]Lipid retention (%) = lipid gain of fish / lipid consumed.

2. 전어체 일반성분 조성

8주간의 사육실험 종료 후 분석한 시베리아 철갑상어 전어체 일반성분 분석 결과는 <Table 4>에 제시하였다. 전어체 수분 함량은 BM10구에서 77.1±0.18%로 가장 높았으며, BM20구(76.3±0.02%) 및 BM30구(76.4±0.03%)에 비해 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였다($P<0.05$). 하지만 BM0와 BM10 구간에는 유의차가 나타나지 않았다($P>0.05$). 전어체 조단백질 함량은 대조구(BM0)가 14.2±0.14%로 가장 높았고, BM10구(13.4±0.28%)는 대조구 대비 유의하게 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 반면, BM20구(13.6±0.07%)와 BM30구(13.5±0.12%)는 대조구(BM0) 및 BM10구와 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 전어체 조지방 함량은 5.9±0.47% (BM0)에서 7.2±0.16% (BM20) 및 7.2±0.05% (BM30) 범위를 형성하였으며, 조회분 함량은 2.5±0.13%에서 2.7±0.20% 범위를 나타내어 두 항목 모두 모든 실험구 간 통계적인 유의차가 관찰되지 않았다($P>0.05$).

Ⅳ. 결 론

8주간의 사육실험 결과 시베리아 철갑상어(*Acipenser baerii*) 치어 사료 내 고급 어분 단백질의 최대 49.5%(사료 내 블루길 어분 함량 32.19%)를 블루길 분말로 대체하여 급여하였을 때 생존율, 증체율(WG), 일간성장률(SGR) 및 사료효율(FE) 등 모든 성장성 지표에서 대조구 대비 통계적 유의차가 발생하지 않고 안정적인 성장을 보여주었다. 양식 사료 제조 시 어분을 대체하기 위한 식물성 원료(예: 대두박)는 비전분성 다당류(non-starch polysaccharides, NSP) 및 사포닌 등 항영양소(antinutritional factors, ANFs)의 존재로 인해 장관 내 염증 반응(soybean meal-induced enteritis, SBMIE)이나 지질 소화 흡수 저해를 유발할 위험이 높다(Chikwati et al., 2012; Kim etl al., 2014; Zhang et al., 2021). 반면 동물성 유해어종 분말인 블루길 어분은 본래 조단백질 66.7%, 조지방 11.9%의 뛰어난 영양학적 성상을 가지고 있으며, 필수아미노산 불균형 문제가 적어 고비율 대체 시에도 어류의 생리적 거부감이 적다는 이점을 갖는다(Zhang et al., 2016).

이전 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)를 대상으로 동일한 블루길 어분을 공급한 연구에서도 30% 대체 수준까지 성장 및 사료효율에 차이가 없음을 보고하였으며(Jeong et al, 2025), 이는 본 철갑상어 연구 결과와 동일한 경향을 보였다. 한편, 전어체 일반성분 분석 결과 수분과 조단백질 함량에서 실험구 간 유의미한 변동이 관찰되었다($P<0.05$). 수분 함량의 경우 BM10구(77.1%)가 가장 높고 BM20구(76.3%)가 가장 낮게 나타났는데, 이는 수분 함량과 역의 상관관계를 가지는 수산동물의 전어체 지질 축적 특성과 관련이 깊다(Moon et al., 2010). 통계적 유의차는 없었으나 조지방 함량이 BM0(5.9%) 대비 BM20 및 BM30

<Table 4> Whole body proximate composition of siberian sturgeon *Acipenser baerii* fed experiment diets for 8 weeks[1]

	Diets			
	BM0	BM10	BM20	BM30
Proximate composition (% wet weight)				
Moisture	76.8±0.10^{ab}	77.1±0.18^{a}	76.3±0.02^{c}	76.4±0.03^{bc}
Crude protein	14.2±0.14^{a}	13.4±0.28^{b}	13.6±0.07^{ab}	13.5±0.12^{ab}
Crude lipid	5.9±0.47^{ns}	6.3±0.68	7.2±0.16	7.2±0.05
Ash	2.5±0.17^{ns}	2.7±0.20	2.5±0.13	2.5±0.17

[1]Values are presented as mean ± SE (n = 3). Different superscript letters within the same raw indicate significant differences ($P<0.05$), whereas "ns" indicates no significant difference ($P>0.05$).

구에서 7.2%로 다소 증가하는 경향을 나타냄에 따라 상대적으로 전어체 수분 비율이 약간 감소한 것으로 해석된다. 전어체 조단백질 함량의 경우 대조구(BM0, 14.2%) 대비 BM10구(13.4%)에서 소폭 낮게 관찰되었으나, 블루길 어분 대체 비율이 더 높아진 BM20(13.6%) 및 BM30(13.5%)구에서는 대조구와 유의차를 보이지 않았다. 이는 블루길 어분 첨가 수준이 증가함에 따라 단백질 결핍이나 대사 저해가 나타나는 것이 아니라, 치어기 철갑상어의 개체 간 영양소 축적 차이가 미세한 변동 범위 내에 존재하는 것으로 사료된다. 실제로 단백질전환효율(PER) 및 단백질축적률(PR) 지표에서 실험구 간 유의차가 없었던 점이 이를 뒷받침한다. 블루길 어분 공급구에서 대조구 대비 성장이 우수하거나 대등하게 유지될 수 있었던 핵심 원인은 블루길 어분이 타 어종 대비 칼슘, 인, 철 등 필수 미네랄 성분을 1.5~4배가량 높게 함유하고 있어, 철갑상어의 무기질 대사를 원활하게 도왔기 때문으로 분석된다(Zhang et al., 2016).

본 연구를 통해 내수면 외래 유해어종인 블루길(*Lepomis macrochirus*) 분말은 시베리아 철갑상어(*Acipenser baerii*) 치어 사료 내 고급 어분을 대체할 우수한 고단백 자원임이 입증되었다. 이러한 결과는 폐기 처리되던 외래 유해어종을 사료 원료로 자원 업사이클링함으로써, 양어사료 제조단가 절감과 환경 생태 보전을 동시에 달성할 수 있는 친환경 양식기술 구축의 기초자료로 유용하게 활용될 수 있음을 제시한다.

References

AOAC(Association of Official Analytical Chemists)(1995). Official Methods of Analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.

Chikwati EM, Venold FF, Penn MH, Rohloff J, Refstie S, Guttvik A, Hillestad M and Krogdahl Å(2012). Interaction of soyasaponins with plant ingredients in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. British Journal of Nutrition, 107, 1570~1590. https://doi.org/10.1017/S0007114511004892

Gasco L, Henty M, Piccolo G, Marano S, Gai F, Renna M, Lussiana C. Antonopoulou E, Mola P and Chazifotis S(2016). *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and *in vivo* apparent digestibility. Animal Feed Science and Technology, 220, 34～45. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003

Ghaly AE and Alkoaik FN(2009). The yellow mealworm as a novel source of protein. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 4, 319～331. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2009.319.331

Guo Z, Zhu X, Liu J, Han D, Yang Y, Lan Z and Xie S(2012). Effects of dietary protein level on growth performance, nitrogen and energy budget of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baerii* ♀ × *A. gueldenstaedtii* ♂. Aquaculture, 338–341, 89–95. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.01.008

Jeong SM, Kim E, Jang TH, Lee YS and Lee SM(2017). Utilization of mealworm *Tenebrio molitor* as a replacement of fishmeal in the diet of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 50, 372～377. https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0372

Jeong SM, Min BH, Yun JH, Gong MS and Kim YO(2025). Utilization of Bluegill Meal *Lepomis macrochirus* as a Replacement of Fishmeal in the Diet of Juvenile Mandarin Fish *Siniperca scherzeri*. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 37(5), 1053~1061. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2025.10.37.5.1053

Jin SI, Kim YC, Kang SW, Jeong CH, Choi SJ, Kim JK, Choi SG and Heo HJ(2008). Analysis of nutritional components and development of an intermediate moisture food from sturgeon. Korean Journal of Food Preservation, 15(5), 719~724. Retrieved from https://koreascience.kr/article/JAKO200835062474437.pdf on July 12, 2026.

Kim SS, Oh DH, Cho SJ, Seo SH, Han HS and Lee

KJ(2014). Evaluation of acid-concentrated soybean meal as a fishmeal replacement and its digestibility in diets for juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 47(6), 824~831. https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0824

Kim GR, Lee IG and Kim BH(2018). A study on stable supply plan of fish meal: A case study of livestock industry. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 30(1), 365~375. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.365

Kim BR, Lim TJ, Park SB, Lee JW, Lee JH and Ahn JC(2018). Effects on growth performance and fatty acids and amino acids composition in marbled eels (*Anguilla marmorata*) fed formula feeds containing alternative sources (fermented soybean meal, squid liver powder and corn gluten meal) of fishmeal. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 30(1), 156~166. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.156

Kim JY and Han SC(2023). Resourcization characteristics of using ecosystem disturbing fish species. Journal of Korea Society of Waste Management, 40(1), 44~55. https://doi.org/10.9786/kswm.2023.40.1.44

Majluf P, Matthews K, Pauly D, Skerritt DJ and Palomares MLD(2024). A review of the global use of fishmeal and fish oil and the Fish In:Fish Out metric. Science Advances, 10(42), eadn5650. https://doi.org/10.1126/sciadv.adn5650

Moazenzadeh K, Islami HR, Zamini A and Soltani M(2017). Dietary zinc requirement of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) juveniles, based on the growth performance and blood parameters. Int Aquat Res, 9, 25~35. https://doi.org/10.1007/s40071-017-0153-6

Moon SK, Kim IS, Hong SN, Lim DH and Jeong BY(2010). Changes in the proximate and fatty acid compositions of chub mackerel, *Scomber japonicus* muscle during cultivation. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 43(6), 589~597. Retrieved from https://koreascience.kr/article/JAKO201013351027043.pdf on July 09, 2026.

Ng WK, Liew FL, Ang LP and Wong KW(2001). Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alterative protein sources in practical diets for Afican catfish *Clarias gariepinus*. Aquaculture Research, 32, 273~280. https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x

Qu HT, Ke W, Wen ZH, Guo BF, Lu XB, Zhao Y and Yang YJ(2022). Effects of dietary carbohydrate on growth, feed utilization, hepatic glucose and lipid metabolism in endangered Yangtze sturgeon (*Acipenser dabryanus*). Aquaculture Reports, 26, 101334. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101334

Sankian Z, Khosravi S, Kim YO and Lee SM(2018). Effect of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, pkasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish, *Siniperca scherzeri*. Aquaculture, 496, 79～87. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.012

Zhang Y, Dudenhoeffer GA, Giri N and Wetzel JE (2016). Amino acid profiles in the tissues of juvenile bluegill (*Lepomis macrochirus*) from the wild and commercially-fed fish. Cooperative Extension Research Publications, 4. Retrieved from https://bluetigercommons.lincolnu.edu/lucer-pubs/4 on July 10, 2025.

Zhang W, Tan B, Deng J and Zhou H(2021). Multiomics analysis of soybean meal induced marine fish enteritis in juvenile pearl gentian grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolata* ♂. Scientific Reports, 11, 23319. https://doi.org/10.1038/s41598-021-02278-z

• Received : 30 July, 2026
• Revised : 14 August, 2026
• Accepted : 20 August, 2026