Journal of Aquaculture Development
Vol. 20, No. 4, 2027, Pages: 66-80
DOI: 10.71901/jad-2026-2-878

RESEARCH PAPER **OPEN ACCESS**

Effects of lysine different levels in Beluga (*Huso huso*) fed low-protein diet on growth performance, body composition and nutrient digestibility

Hamid Reza Sadeghi[1], Hossein Oraji[1*], Khosro Jani Khalili[1]

1- Department of Fisheries, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU), Sari, Iran

Received: 25 December 2025 **Accepted: 27 February 2026**

Extended Abstract:

Introduction: Among the sturgeon species cultivated in Iran, the Beluga (*Huso huso*) is of great importance due to its faster growth and adaptability to farming conditions, and its farming is economically viable (Mohseni *et al*., 2008). Protein is the most expensive component of the diet and plays the most important role in the growth, appetite, and food price of fish, especially carnivorous fish (Mohseni *et al*., 2016). Finding the optimal amount of protein according to the specificities of each species leads to increased protein efficiency and ultimately growth. (Hosseinpour Aghaei *et al*., 2018; Zhao *et al*., 2021). The best solution to reduce the amount of dietary protein without negatively affecting growth is to provide protein based on the amino acid requirements of the species in question. This strategy has been used in some species and has led to improved nitrogen utilization (Peres and Oliva-Teles, 2008). Lysine is an essential amino acid and its dietary supply is essential for fish growth. Its adequate amount not only enhances growth (Ahmed and Khan, 2004), but also causes nitrogen retention, reduces body fat (Berge *et al*., 1998), reduces oxidation of other amino acids, and consequently reduces the need and use of essential amino acids in synthesis (Kerr and Easter, 1995). However, there is no information on the use of the amino acid lysine in low-protein diets in Beluga . Therefore, the current study aimed to investigate the effects of different levels of lysine supplementation in Beluga fed low-protein diets on growth performance, body composition, and food digestibility.

Material and Methods: For this purpose, 200 belugas with an average initial weight of 68.00±0.45 g were prepared and reared in Shahid Rajaee farm in Sari. After acclimatization, the fish were randomly transferred to 1000-liter polyethylene experimental tanks. Ten fish were distributed in each of the 18 tanks for 8 weeks. Six experimental treatments included a diet containing 42% protein and 24% fish meal (control 1), 37% protein containing 24% fish meal (control 2), 37% protein containing 12% fish meal (control 3), and diets containing control 3 as basal along with 0.25, 0.5 and 1% lysine supplementation. At the end of the 8-week period, the length and weight of the fish in each tank were measured individually using a scale and caliper. The growth indices calculated, including weight gain, specific growth rate, fatness coefficient, feed conversion ratio, feed efficiency ratio, protein efficiency, fat efficiency, visceral index, liver index and fish survival rate, were obtained through the relevant formulas. After 56 days of the rearing period, 2 fish from each treatment were randomly caught and, together with samples of experimental diets and feces, their approximate amounts of protein, fat, moisture, ash and dry matter were calculated using the AOAC (1995) method.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

Results and Discussion: According to the growth results, the final weight, body weight gain and specific growth rate reduced significantly in low-protein and fish meal diet (p<0.05), while these values were compensated by adding 0.25% lysine to the diet (p<0.05). Also, fish fed with 0.25 lysine had higher protein efficiency than that of 1% lysine (p<0.05). Beluga carcass protein fed 0.5% lysine was similar to control 1 and was significantly higher than control 3 (p<0.05), while it was not considerably different from other groups (p>0.05). Also, addition of lysine (0.25, 0.5 and 1%) to low-protein diets, led to significantly decreasing carcass fat (p<0.05). Protein digestibility was significantly diminished by the reduction of protein and fish meal in the diet (control 3) (p<0.05), whereas it improved by supplementation of lysine and reached the control diet at levels of 0.25 and 0.5% lysine. Fat digestibility showed no significant difference between different treatments (p>0.05). Jiang *et al*. (2016) reported that supplementing the amino acids lysine and methionine to a canola meal-based diet in Amur carp (*Ctenopharyngodon idella*) enhanced nutrient digestion and absorption by increasing the capacity of digestive enzymes. In a similar study on crucian carp, adding 4.5 g/kg lysine to the diet improved the protein digestibility of a diet without fishmeal (Ji *et al*., 2021). Fishmeal replacement and fishmeal reduction were also compensated for by adding 0.4 and 0.5% lysine to the diet, respectively, in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (El-Saidy and Gaber, 2002; Cheng *et al*., 2003).

Conclusion: The present study was consistent with these findings, although the optimal level in studies may vary depending on the species and experimental conditions. In general, it can be stated that the addition of 0.25 and 0.5% lysine can compensate for the negative effects of the combined reduction of protein and fish meal in the diet of Beluga .

Conflict of Interest: There is no conflict of interest between the authors of the article.

Acknowledgment: We hereby express our gratitude and appreciation for the assistance of all colleagues in conducting this research.

Key words: Limited fish meal, amino acids, performance improvement, sturgeon, protein

[*] *Corresponding Author: hoseinoraji@yahoo.com*

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

نشریه توسعه آبزی‌پروری، سال بیستم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۵، صفحه های ۸۰-۶۶
DOI: 10.71901/jad-2026-2-878

"مقاله پژوهشی"

تاثیر سطوح مختلف لیزین در فیل ماهی (*Huso huso*) تغذیه‌شده با جیره کم پروتئین بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و قابلیت هضم مواد غذایی

حمید رضا صادقی[۱]، حسین اورجی[۱*]، خسرو جانی خلیلی[۱]

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۸

چکیده

هدف از مطالعه حاضر بررسی تاثیر سطوح مختلف لیزین بر عملکرد رشد، ترکیب لاشه و هضم پذیری مواد مغذی در فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با جیره کم پروتئین بود. بدین منظور ۲۰۰ قطعه فیل ماهی با میانگین وزن اولیه ۰/۴۵±۶۸/۰۰ گرم تهیه شده و در مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی آبزیان شهید رجایی ساری پرورش داده شد. ماهیان پس از سازگاری بصورت کاملا تصادفی به تانک‌های آزمایشی ۱۰۰۰ لیتری پلی‌اتیلن منتقل گردیدند. ۱۰ قطعه ماهی در هر یک از ۱۸ تانک به مدت ۸ هفته‌ای توزیع گردیدند. شش تیمار آزمایشی شامل جیره حاوی ۴۲٪ پروتئین و ۲۴٪ پودر ماهی (شاهد ۱)، ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۲۴٪ پودر ماهی (شاهد ۲)، ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۱۲٪ پودر ماهی (شاهد ۳)، و جیره‌های حاوی شاهد ۳ به عنوان پایه همراه با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد مکمل لیزین بودند. طبق نتایج رشد، با کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره وزن نهایی، افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه به طور معنادار کاهش یافتند ($p<$۰/۰۵)، درحالیکه مقادیر مذکور با افزودن ۰/۲۵ درصد لیزین به جیره جبران شد ($p<$۰/۰۵). همچنین، ماهیان تغذیه‌شده با ۰/۲۵ لیزین کارایی پروتئین بالاتری را نسبت به ۱ درصد لیزین داشتند ($p<$۰/۰۵). پروتئین لاشه فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با ۰/۵٪ لیزین مشابه با شاهد ۱ بود و به طور معنی‌داری بالاتر از شاهد ۳ بود ($p<$۰/۰۵)؛ درحالیکه با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>$۰/۰۵). همچنین، با افزودن لیزین (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد) به جیره‌های کم پروتئین چربی لاشه به طور معنی‌دار کاهش یافت ($p<$۰/۰۵). میزان هضم‌پذیری پروتئین با کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره (شاهد ۳) به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<$۰/۰۵)؛ درحالیکه با افزودن لیزین بهبود یافت و در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین به جیره شاهد ۱ رسید. هضم‌پذیری چربی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد ($p>$۰/۰۵). به طور کلی، می‌توان بیان کرد افزودن ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین می‌تواند تاثیرات منفی کاهش توام پروتئین و پودر ماهی را در جیره فیل‌ماهیان جبران نماید.

کلمات کلیدی: محدودیت پودر ماهی، اسیدهای آمینه، بهبود عملکرد، ماهی خاویاری، پروتئین

* عهده‌دار مکاتبات: hoseinoraji@yahoo.com

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

مقدمه

از میان ماهیان خاویاری که در ایران مورد پرورش قرار می‌گیرد فیل ماهی (*Huso huso*) به دلیل رشد سریعتر و سازگاری با شرایط پرورشی اهمیت بالایی داشته و پرورش آن از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است (Mohseni *et al*., 2008). تغذیه، بیشترین هزینه‌های پرورش در سیستم‌های متراکم را به خود اختصاص می‌دهد (FAO, 2009). بنابراین، موفقیت در امر پرورش و تداوم روند سوددهی به مدیریت تغذیه بستگی دارد. پروتئین، پرهزینه‌ترین اجزای جیره بوده و مهمترین نقش را در رشد، اشتها و قیمت غذای ماهیان به خصوص ماهیان گوشتخوار ایفا می‌کند (Mohseni *et al*., 2016). یافتن مقدار پروتئین بهینه با توجه به اختصاصات هر گونه منجر به افزایش کارایی پروتئین و در نهایت رشد می‌شود. مازاد پروتئین منجر به استفاده به عنوان منبع انرژی شده و دفع نیتروژن را به جای استفاده از پروتئین در فرآیند رشد افزایش می‌دهد. این امر سبب کاهش کیفیت آب، افزایش آلودگی آب و تاثیر منفی بر رشد می‌گردد. در مقابل، کمبود پروتئین و عدم بالانس اسیدهای آمینه منجر به کاهش رشد ماهیان می‌گردد. بکارگیری استراتژی‌هایی مناسب جهت کاهش استفاده از پروتئین جیره مورد توجه جیره‌نویسان قرار گرفته است. مطالعات زیادی در مورد استفاده از جیره‌های دارای محرومیت‌های پروتئینی در کوتاه مدت به عنوان راهکاری برای کاهش هزینه و کاهش آلودگی آب انجام شده است (Hosseinpour Aghaei *et al*., 2018; Zhao *et al*., 2021). بهترین راهکار به منظور کاهش مقدار پروتئین جیره بدون تاثیر منفی بر رشد، تامین پروتئین بر اساس نیاز اسید آمینه‌ای گونه مورد نظر است. این استراتژی در برخی گونه‌ها بکار گرفته شده و منجر به بهبود قابلیت استفاده از نیتروژن گردیده است (Peres and Oliva-Teles, 2008). افزودن مکمل اسیدهای آمینه به صورت کریستاله می‌تواند از طریق تامین و بالانس اسیدهای آمینه ضروری، کاهش پروتئین جیره را جبران نماید.

لیزین جزو اسید آمینه ضروری محسوب شده و تامین آن از طریق جیره برای رشد ماهیان ضروری می‌باشد. مقدار کافی آن نه تنها رشد را تقویت می‌نماید (Ahmed and Khan, 2004)، بلکه سبب ابقای نیتروژن، کاهش چربی بدن (Berge *et al*., 1998)، کاهش اکسیداسیون سایر اسیدهای آمینه شده و در نتیجه سبب کاهش نیاز و استفاده از اسیدهای آمینه ضروری در عمل سنتز می‌گردد (Kerr and Easter, 1995). لیزین به عنوان مهره کلیدی در سنتز پپتید، پروتئین و مولکول غیرپپتید، مسیر سیگنالی برای تنظیم سیستم درون ریز بدن، متابولیسم، تولید مثل و پاسخ ایمنی ماهی محسوب می‌شود (Wu *et al*., 2014; Yang *et al*., 2002). بطور کلی، محدودیت یک اسید آمینه ضروری ممکن است سبب اکسیداسیون سایر اسیدهای آمینه ضروری شود. عملکرد ضعیف رشد می‌تواند به دنبال کاهش یا افزایش اسیدهای آمینه ضروری به دلیل عدم بالانس اسید آمینه کل در جیره اتفاق بیفتد (Peres and Oliva-Teles, 2008). کمبود لیزین در جیره ماهی سبب کاهش رشد و کاهش قابلیت استفاده از غذا می‌گردد (Ahmed, 2017)، درحالیکه برخی مطالعات نشان داده‌اند مقادیر اضافی لایزین در جیره محرومیت رشد را در ماهی از بین می‌برد (Ahmed, 2017; Zhou *et al*., 2021). در این راستا، مطالعه در مورد افزودن اسیدهای آمینه لیزین و متیونین به جیره مبتنی بر پروتئین سویا در فیل ماهی انجام

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

گردیده است و نشان‌دهنده توانایی استفاده موثر از لیزین و متیونین در جیره پایه حاوی ۳۴۴ گرم در کیلوگرم کنجاله سویا به منظور بهبود کارایی رشد، تغذیه و کیفیت لاشه می‌باشد (Mohseni *et al*., 2016). همچنین در مطالعه صورت گرفته در قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) کاهش سطح جیره از ۴۶ درصد به ۴۱.۵ درصد با استفاده از مکمل‌های لیزین، متیونین و ترئونین امکان‌پذیر بوده است (Gaylord and Barrows. 2009). این در حالی است که اطلاعات در مورد استفاده از اسید آمینه لایزین در جیره کم پروتئین در فیل ماهی در دست نیست. بنابراین، تحقیق کنونی به هدف بررسی اثرات سطوح مختلف مکمل لیزین در فیل ماهی تغذیه‌شده با جیره کم پروتئین بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و قابلیت هضم مواد غذایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط انجام پرورش و تیمارهای آزمایشی

تعداد ۲۰۰ قطعه فیل ماهی با میانگین وزن اولیه ۶۸/۰±۰۰/۴۵ گرم تهیه شده و در مرکز بازسازی و حفاظت از ذخایر ژنتیکی آبزیان شهید رجایی ساری پرورش داده شد. ماهیان پس از انتقال با غوطه‌وری در محلول نمک ضدعفونی شده و سپس به مدت ۲ هفته با شرایط آزمایشی سازگار گردید. تیماربندی ماهیان بصورت کاملا تصادفی صورت گرفت و ماهیان پس از وزن‌کشی به تانک‌های آزمایشی ۱۰۰۰ لیتری پلی‌اتیلن منتقل گردیدند. ۱۰ قطعه ماهی در هر تانک قرار گرفتند و در دوره آزمایش ۸ هفته‌ای با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. در این مطالعه ۶ تیمار آزمایشی هر کدام در ۳ تکرار و در مجموع ۱۸ واحد آزمایشی در نظر گرفته شد.

تیمارهای آزمایشی:

۱- جیره با ۴۲٪ پروتئین و حاوی ۲۴٪ پودر ماهی بدون مکمل لیزین
۲- جیره با ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۲۴٪ پودر ماهی بدون مکمل لیزین
۳- جیره با ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۱۲٪ پودر ماهی بدون مکمل لیزین
۴- جیره با ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۱۲٪پودر ماهی + ۰/۲۵ درصد مکمل لیزین
۵- جیره با ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۱۲٪ پودر ماهی + ۰/۵ درصد مکمل لیزین
۶- جیره با ۳۷٪ پروتئین و حاوی ۱۲٪ پودر ماهی + ۱ درصد لیزین

تهیه جیره

جیره پایه با ۴۲ درصد پروتئین و ۱۳ درصد چربی برای فیل ماهی تنظیم شد (Mohseni *et al*., 2016). در جیره‌های آزمایشی به منظور بررسی تاثیر لیزین در جیره کم پروتئین، پروتئین جیره به ۳۷ درصد کاهش یافت. به منظور ساخت جیره‌های آزمایشی مواد اولیه شامل پودر ماهی، پودر ضایعات طیور، کنجاله سویا، گلوتن ذرت و آرد گندم خریداری گردید. همه اقلام با نسبت مورد نظر با هم به خوبی ترکیب شده و مقداری آب اضافه گردید تا زمانیکه مخلوط حالت خمیری پیدا نماید. سپس، با عبور از چرخ گوشت با مش ۲/۵ میلی‌متر خمیر حاصله به رشته‌های طویل تبدیل شده و به اندازه مورد نظر برش داده شدند. پس از خشک شدن پلت در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد تا زمان

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

مصرف نگهداری گردیدند. مقادیر لیزین در سطوح مورد نظر با توجه به نیازمندی این گونه به اسید آمینه مورد نظر انتخاب شده (NRC, 2011) و به صورت مکمل به جیره اضافه شد (Mohseni *et al*., 2016).

ضمنا، آنالیز تقریبی مواد مغذی جیره‌ها (۳ نمونه از هر جیره) طبق روش AOAC (۱۹۹۵) صورت گرفت و در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱: آنالیز ترکیب بیوشیمیایی جیره فیل‌ماهیان حاوی سطوح مختلف پروتئین و لیزین

Table 1: Biochemical composition analysis of elephantfish diets containing different levels of protein and lysine

Diet	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Protein (percentage of dry matter)	41.98±1.87^{a}	36.63±0.58^{b}	36.88±0.67^{b}	37.42±0.48^{b}	36.65±0.35^{b}	37.29±0.61^{b}
Fat (percentage of dry matter)	18.44±0.15^{a}	18.39±0.31^{a}	18.36±0.34^{a}	18.25±0.38^{a}	18.20±0.29^{a}	18.27±0.44^{a} ab
Ash (percentage of dry matter)	8.11±0.21^{a}	7.83±0.60^{ab}	5.92±0.24^{d}	6.86±0.11^{c}	7.13±0.55^{bc}	6.85±0.60^{c}

*وجود حروف نامشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است (p<۰/۰۵).

*The presence of dissimilar letters in each row indicates a significant difference at the 5% statistical level (p<0.05).

بررسی پارامترهای رشد و کارایی غذا

در انتهای دوره ۸ هفته‌ای، طول و وزن ماهیان هر تانک با استفاده از ترازو و کولیس به صورت انفرادی اندازه‌گیری گردید. شاخص‌های رشد مورد محاسبه از جمله میزان افزایش وزن، نرخ رشد ویژه، ضریب چاقی، ضریب تبدیل غذایی، نسبت کارایی غذا، کارایی پروتئین، کارایی چربی، شاخص احشایی، شاخص کبدی و نرخ بازماندگی ماهیان از طریق فرمول‌های زیر بدست آمد:

(وزن اولیه (گرم) – وزن نهایی(گرم)) = افزایش وزن (گرم)

۱۰۰× [طول دوره ی آزمایش÷ (لگاریتم طبیعی وزن اولیه – لگاریتم طبیعی وزن نهایی)] = نرخ رشد ویژه

۱۰۰× [میزان افزایش وزن (گرم) ÷ میزان غذای مصرف شده (گرم)] = ضریب تبدیل غذایی

۱۰۰× [میزان پروتئین مصرف شده (گرم) ÷ میزان افزایش وزن(گرم)] = کارایی پروتئین

تعداد کل ماهیان/۱۰۰ ×تعداد ماهیان باقی‌مانده در پایان آزمایش=نرخ بازماندگی

ترکیب بیوشیمیایی مدفوع، لاشه و غذا

پس از ۵۶ روز دوره پرورش، ۲ ماهی از هر تیمار به طور تصادفی صید شده و همراه با نمونه جیره‌های آزمایشی و مدفوع مقادیر تقریبی پروتئین، چربی، رطوبت، خاکستر و ماده خشک آن‌ها به روش AOAC (۱۹۹۵) محاسبه شد. در این روش رطوبت پس از قرار

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

گرفتن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و تعیین وزن قبل و بعد از آن محاسبه گردید. مقدار خاکستر با اندازه‌گیری وزن نمونه پس از قرارگیری در کوره الکتریکی تعیین شد. به منظور تعیین درصد چربی، روغن به کمک حلال اتر با کمک دستگاه سوکسوله استخراج و اندازه‌گیری گردید. پروتئین پس از سه مرحله هضم با محلول اسیدی، تقطیر در دستگاه کلدال و تیتراسیون با اسید ۰/۱ نرمال تخمین زده شد.

هضم‌پذیری مواد غذایی

دو هفته پس از پایان دوره آزمایش ماهیان با جیره‌های حاوی کرومیک اکساید به میزان ۰/۶ درصد تغذیه شدند. مدفوع ماهیان به روش سیفون کردن جمع‌آوری شده و در دمای ۶۰ درجه آون خشک گردید. به منظور تعیین مقدار مارکر در مدفوع و غذا به ترتیب ۱ و ۳ گرم از هر کدام وزن شده و در کوره به خاکستر تبدیل شد. سپس نمونه همراه با محلول هضم (شامل مولیبدات سدیم بدون آب، اسیدسولفوریک، اسیدپرکلریک و آب مقطر) در دستگاه هضم تا تغییر به رنگ زرد قرار داده شد. پس از رقیق‌سازی و سانتریفیوژ (۶۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۴۰ نانومتر قرائت گردید. با استفاده از میزان کروم اکساید موجود در غذا و مدفوع، هضم‌پذیری مواد مغذی به روش غیر مستقیم و با کمک رابطه زیر محاسبه گردید (Austreng, 1978):

ضریب هضم‌پذیری ظاهری = [۱ − (غلظت کروم اکساید جیره / غلظت کروم اکساید مدفوع × مواد مغذی مدفوع / مواد مغذی جیره)] × ۱۰۰

تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملا تصادفی با شش تیمار و ۳ تکرار انجام شد. به‌منظور بررسی توزیع نرمال داده‌ها و گروه‌ها و تکرارها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها به‌منظور مقایسه آماری بین گروه‌ها و تیمارها از آزمون آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه (One way Anova) و برای مقایسه میانگین بین تیمارها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

طبق نتایج شاخص‌های رشد ارائه‌شده در جدول ۱، با کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره وزن نهایی، افزایش وزن بدن و نرخ رشد ویژه به طور معنادار کاهش یافتند ($p<۰/۰۵$)، درحالیکه مقادیر مذکور با افزودن ۰/۲۵ درصد لیزین به جیره جبران شد ($p<۰/۰۵$). همچنین، ضریب تبدیل غذایی در شاهد ۱ و جیره ۰/۲۵٪ لیزین به طور معنی‌داری کمتر از جیره ۱ درصد لیزین بود ($p<۰/۰۵$). مقدار غذای خورده‌شده شاهد ۲ بالاتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود ($p<۰/۰۵$). ماهیان تغذیه‌شده با ۰/۲۵ لیزین کارایی پروتئین بالاتری را نسبت به ۱ درصد لیزین داشتند ($p<۰/۰۵$)؛ اگرچه، با سایر گروه‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). بازماندگی ماهیان در تیمارهای مختلف آزمایشی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و در همه تیمارها ۱۰۰ درصد بود ($p>۰/۰۵$).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

جدول ۲: شاخص‌های رشد و تغذیه فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف لیزین در جیره کم پروتئین طی ۸ هفته پرورش

Table 2: Growth and nutritional indices of elephantfish fed with different levels of lysine in a low protein diet during 8 weeks of rearing

Diet	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Initial weight (gr)	68/83±0.38^{a}	68.16±0.14^{a}	67.91±0.52^{a}	68.32±0.28^{a}	67.66±0.72^{a}	68.08±0.82^{a}
Final weight (gr)	399.08±21.84^{a}	401.66±19.25^{a}	349.33±17.88^{b}	391.91±12.25^{a}	374.66±13.14^{ab}	340.66±36.16^{b}
Final length (cm)	45.33±1.20^{a}	45.54±0.49^{a}	45.05±1.29^{a}	46.22±1.93^{a}	44.66±0.83^{a}	43.94±1.10a
Percentage of body weight gain	488.39±33.96^{a}	489.20±27.03^{a}	414.41±27.76^{bc}	473.58±20.06^{ab}	453.66±6.13^{abc}	400.49±54.50^{c}
Specific growth rate (percentage per day)	3.16±0.10^{a}	3.16±0.08^{a}	2.92±0.09^{bc}	3.11±0.06^{ab}	3.05±0.05^{abc}	2.86±0.19^{c}
FCR	1.63±0.10^{b}	1.74±0.10^{ab}	1.90±0.12^{ab}	1.63±0.06^{b}	1.70±0.07^{ab}	1.93±0.27^{a}
Food eaten (gr)	4323.00±0.00^{b}	4643.00±0.00^{a}	4260.00±0.15^{c}	4323.00±0.00^{b}	4275.00±0.15^{c}	4272.00±0.20^{c}
Protein efficiency	1.46±0.09^{ab}	1.56±0.11^{ab}	1.43±0.11^{ab}	1.63±0.04^{a}	1.60±0.08^{ab}	1.40±0.19^{b}
Survival (%)	100.00±0.00^{a}	100.00±0.00^{a}	100.00±0.00^{a}	100.00±0.00^{a}	100.00±0.00^{a}	100.00±0.00^{a}

*وجود حروف نامشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است (p<۰/۰۵).

*The presence of dissimilar letters in each row indicates a significant difference at the 5% statistical level (p<0.05).

آنالیز تقریبی لاشه فیل‌ماهیان طبق جدول ۳ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار پروتئین و چربی لاشه بین ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف پروتئین و لیزین بود (p<۰/۰۵). درحالیکه رطوبت و خاکستر لاشه به طور معنی‌دار تحت تاثیر جیره‌های آزمایشی قرار نگرفتند (p>۰/۰۵). پروتئین لاشه فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با ۰/۵٪ لیزین مشابه با شاهد ۱ بود و به طور معنی‌داری بالاتر از شاهد ۳ بود (p<۰/۰۵)؛ درحالیکه با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (p>۰/۰۵). همچنین، با افزودن لیزین (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد) به جیره‌های کم پروتئین چربی لاشه به طور معنی‌دار کاهش یافت (p<۰/۰۵) و با شاهد ۱ مشابه بود (p>۰/۰۵).

نتایج هضم‌پذیری مواد غذایی طبق جدول ۳ نشان داد، هضم‌پذیری پروتئین با کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره (شاهد ۳) به طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۵)؛ درحالیکه با افزودن لیزین بهبود یافت و در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین به جیره شاهد ۱ رسید. هضم‌پذیری چربی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد (p>۰/۰۵).

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

جدول ۳: آنالیز لاشه فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف لیزین در جیره کم پروتئین طی ۸ هفته پرورش

Table 3: Carcass analysis of elephantfish fed with different levels of lysine in a low protein diet during 8 weeks of rearing

Diet	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Moisture (percentage)	74.58±0.62^{a}	75.40±1.30^{a}	74.85±2.51^{a}	73.74±3.03^{a}	74.91±1.65^{a}	74.28±1.23^{a}
Protein (percentage of dry matter)	52.17±1.48^{a}	51.42±1.13^{ab}	49.85±0.91^{b}	52.25±1.90^{ab}	53.97±1.87^{a}	51.38±1.64^{ab}
Fat (percentage of dry matter)	41.68±0.19^{b}	43.93±1.21^{a}	44.26±0.74^{a}	40.07±2.06^{b}	39.60±1.37^{b}	41.11±0.52^{b}
Ash (percentage of dry matter)	4.38±0.95^{a}	3.47±1.76^{a}	3.74±0.90^{a}	4.37±0.82^{a}	4.12±1.06^{a}	3.37±0.17^{a}

*وجود حروف نامشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است (p<۰/۰۵).

*The presence of dissimilar letters in each row indicates a significant difference at the 5% statistical level (p<0.05).

جدول ۴: هضم‌پذیری مواد غذایی در فیل‌ماهیان تغذیه‌شده با سطوح مختلف لیزین در جیره کم پروتئین

Table 4: Digestibility of nutrients in elephantfish fed different levels of lysine in a low protein diet diet during 8 weeks of rearing

Digestibility percentage	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Protein (percentage of dry matter)	93.15±0.41^{a}	90.20±1.26^{ab}	85.55±0.30^{c}	92.19±1.02^{a}	92.42±0.32^{a}	88.06±0.53^{b}
Fat (percentage of dry matter)	89.23±1.9^{a}	88.65±1.57^{a}	88.60±0.44^{a}	88.25±1.16^{a}	88.25±0.72^{a}	87.79±1.22^{a}

*وجود حروف نامشابه در هر سطر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است (p<۰/۰۵).

*The presence of dissimilar letters in each row indicates a significant difference at the 5% statistical level (p<0.05).

بحث

یکی از اهداف افزودن اسیدهای آمینه به جیره، رفع کمبود پروتئین و یا متعادل نمودن اسیدهای آمینه در بدن به منظور ساخت پروتئین است. اسیدهای آمینه ضروری به طور طبیعی در بدن ماهی ساخته نمی‌شوند و باید از طریق جیره تامین گردند بنابراین نیازمندی هر گونه بر این اساس تعیین می‌شود. به عنوان یک اصل کلی، جیره‌ای که اسید آمینه متعادلی نداشته باشد به جای رفتن در مسیر رشد صرف انرژی شده و در چرخه سوختن اتلاف می‌گردد. در مطالعه حاضر، عملکرد رشد فیل‌ماهیان با کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره کاهش یافت که نشان‌دهنده نامناسب بودن این سطح از پروتئین دریافتی است، درحالیکه با افزودن ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین به جیره رشد فیل‌ماهیان جبران گردید. لیزین به عنوان مهمترین و اولین محدود کننده اسیدهای آمینه به حساب می‌آید. اهمیت لیزین علاوه بر نقش حیاتی آن بر ذخیره‌سازی پروتئین، فعالیت‌های فیزیولوژیکی و روابط متقابل با سایر اسیدهای آمینه (Madrid *et al*., 2019)، در تعیین میزان بهینه مورد نیاز

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

سایر اسیدهای آمینه ضروری زمانیکه هر دو اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری در بدن محدود هستند مطرح شده است (van Milgen and Dourmad, 2015). به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر استراتژی کاهش پروتئین از ۴۲ به ۳۷ درصد و کاهش پودر ماهی از ۲۴ به ۱۲ درصد و تامین پروتئین بر اساس نیاز اسید آمینه‌ای گونه با افزودن ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین بدون تاثیر منفی بر رشد در جیره فیل‌ماهیان محقق شده باشد. اگرچه، با افزایش سطح لیزین به ۱ درصد این امر تحقق نیافت که می‌تواند به دلیل بر هم خوردن تعادل اسیدهای آمینه باشد زیرا کمبود یا مازاد اسیدهای آمینه ضروری به دلیل عدم بالانس اسید آمینه کل در جیره رشد را کاهش می‌دهند (Peres and Oliva-Teles, 2008). ماهیانی که اسیدهای آمینه نامتعادلی را دریافت می‌نمایند به دلیل دفع بیشتر مواد آمونیاکی انرژی بیشتری را باید صرف حفظ سلامت نمایند. از این‌رو، توجه به سطح مناسب افزودن اسید آمینه به صورت مکمل اهمیت زیادی دارد. در این راستا مطالعات زیادی تاکنون انجام گردیده است به عنوان مثال، Ahmed و Ahmad (۲۰۲۱) افزودن سطح ۲۱/۵ گرم اسید آمینه لیزین را به عنوان سطح بهینه برای رسیدن به بالاترین رشد در قزل‌آلای رنگین‌کمان پیشنهاد کردند درحالیکه سطوح کمتر (۱۴ و ۱۶/۵ گرم بر کیلوگرم) و سطوح بالاتر (۲۴ و ۲۶/۵ گرم بر کیلوگرم) رشد کمتری را نشان دادند. این محققین بیان کردند ناکافی بودن و یا مازاد لیزین در جیره می‌تواند از طریق کاهش اشتها و یا کارایی غذا بر عملکرد رشد ماهی تاثیر منفی بگذارد. همچنین، افزودن اسیدهای آمینه لایزین و متیونین به جیره مبتنی بر پروتئین سویا در فیل ماهی (*Huso huso*) حاوی ۳۴۴ گرم در کیلوگرم کنجاله سویا سبب افزایش کارایی رشد و تغذیه شد که با افزایش قابلیت هضم پروتئین در ارتباط بود (Mohseni *et al*., 2016). Wang و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند در ماهی خاویاری هیبرید (*Acipenser schrenckii* ♀ × *Acipenser baerii* ♂) افزودن مکمل لیزین به جیره مبتنی بر آرد ضایعات طیور بدون تاثیر منفی بر عملکرد رشد امکان جایگزینی کامل آن را با پودر ماهی فراهم می‌نماید. لیزین سبب افزایش بیان پپتید ترنسپورتر شده و این امر منجر به انتقال مقادیر زیادی از اسیدهای آمینه به فرم پپتید از سلولهای روده شده و در نتیجه مواد غذایی لازم برای رشد و متابولیسم ماهی فراهم می‌شود (Terova *et al*., 2009). Yu و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند از میان سطوح مختلف لیزین (۱/۹۳، ۲/۰۵ ، ۲/۲۱، ۲/۳۱ و ۲/۴۴ درصد جیره) در جیره گربه ماهی کانالی (*Ichtalurus punctatus*) افزودن ۲/۳۱ درصد لیزین میزان افزایش وزن و ضریب رشد ویژه را به طور معنی‌دار افزایش داد. علاوه بر این، بهترین عملکرد رشد در باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*) تغذیه‌شده با با ۳/۳۳ ٪ لیزین در مقایسه با سایر سطوح لیزین (۲/۱۱، ۲/۵۶ ، ۲/۹۲، ۳/۳۳، ۳/۶۸ و ۴/۰۹ درصد جیره) بدست آمد (Huang *et al*., 2022). سطح بهینه لیزین با توجه به فرمولاسیون جیره، اندازه، سن، رژیم غذایی، گونه و شرایط آزمایشی گوناگون ممکن است متفاوت باشد (Ahmed and Khan, 2004; Mai *et al*., 2006). در مطالعه حاضر، با توجه به کاهش پروتئین و پودر ماهی جیره به نظر می‌رسد مقدار ۰/۲۵ درصد لیزین سطح بهینه به منظور دستیابی به بهترین رشد باشد.

کاهش توام پروتئین و پودر ماهی در جیره (شاهد ۳: حاوی ۳۷٪ پروتئین + ۱۲ درصد پودر ماهی) فیل‌ماهیان،

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]
[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

پروتئین لاشه را به طور منفی تحت تاثیر قرار داد درحالیکه افزودن لیزین به خصوص سطح ۰/۵٪ لیزین به بهبود پروتئین انجامید و تیمار مذکور به شاهد ۱ رسید. به طور عکس، چربی لاشه با افزودن سطوح مختلف لیزین (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد) و شاهد ۱ کمتر از سایر تیمارها بود. عدم بالانس اسیدهای آمینه بر کیفیت لاشه تاثیرگذار است بطوریکه می‌تواند پروتئین‌سازی را متوقف سازد (Li *et al*., 2021). از طرفی، کارنیتین طی فعل و انفعالات بیوشیمیایی از لیزین سنتز می‌شود (Ahmed and Khan, 2004)، که نقش مهمی در انتقال اسیدهای چرب بلند زنجیر جهت انجام بتا-اکسیداسیون در سطح میتوکندریایی دارد (Ahmed and Ahmad, 2021). در جیره‌های دارای لیزین محدود در اکسیداسیون چربی‌ها مشکل ایجاد می‌گردد (Walton *et al*., 1984). از طرف دیگر، لیزین به عنوان مهمترین محدود کننده اسیدهای آمینه ضروری می‌تواند به تبدیل اسیدهای آمینه به پروتئین کمک نماید. زیرا مازاد اسیدهای آمینه که صرف پروتئین‌سازی نمی‌گردند آمین‌زدایی شده و به چربی یا گلیکوژن متابولیزه می‌شود (Langeland *et al*., 2016). این امر می‌تواند افزایش چربی لاشه را در جیره‌های کم پروتئین فاقد مکمل لیزین توجیه نماید. Ahmed و Ahmad (۲۰۲۱) به طور مشابه گزارش کردند کمترین مقدار پروتئین در جیره‌ای یافت شد که مکمل لیزین افزوده نگردید (حاوی ۱۴ گرم بر کیلوگرم لیزین در جیره) و بالاترین مقدار در قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۱/۵ گرم لیزین مشاهده شد. Ahmed و Khan (۲۰۰۴) نتیجه مشابهی را در کپور هندی (*Cyprinus mrigala*) گزارش کردند. افزایش پروتئین لاشه تحت تاثیر سطح معینی از لیزین جیره‌ای می‌تواند به دلیل سنتز پروتئین‌های مشخص یا افزایش ترنس‌آمیناسیون در بدن باشد (Madrid *et al*., 2019). در مقابل، افزودن مکمل اسیدهای آمینه لیزین و متیونین در برخی مطالعات بر روی گربه ماهی کانال (*Ictalurus punctatus*)، باس دهان بزرگ (*Micropterus salmoides*)، کاراس (*Carassius auratus gibelio*) و سیم پوزه کلفت (*Megalobrama amblycephala*) تاثیری بر ترکیب بدن ماهیان نشان نداد و دلیل این مغایرت می‌تواند به تفاوت در متابولیسم گونه‌ای مربوط باشد (Li and Robinson, 1998; Huang *et al*., 2022; Ren *et al*., 2017; Cai *et al*., 2017).

رشد موجودات به طور عمده وابستگی زیادی به هضم و جذب مواد غذایی و آنزیم‌های گوارشی دارد. پودر ماهی یک منبع پروتئینی مناسب برای ماهی بوده و حذف یا جایگزینی آن با سایر منابع پروتئینی به خصوص پروتئین گیاهی می‌تواند به دلیل برهم زدن تعادل اسیدهای آمینه بر هضم و جذب پروتئین و مواد مغذی اثر بگذارد (Güroy *et al*., 2013). همانطور که در مطالعه کنونی مشاهده شد، کاهش توام پروتئین و پودر ماهی هضم‌پذیری پروتئین را کاهش داد اگرچه با افزودن لیزین بخصوص در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین به جیره هضم‌پذیری پروتئین جبران گردید. Ahmed و Ahmad (۲۰۲۱) بیان کردند لیزین در تقویت آنزیم‌های گوارشی دخالت داشته و میزان مناسب آن افزایش هضم‌پذیری پروتئین را در پی دارد. این سطح در قزل‌آلای رنگین‌کمان ۲۱/۵ گرم در جیره گزارش گردید و با افزایش این مقدار روند کاهشی در هضم‌پذیری و رشد مشاهده گردید. این محققین بیان کردند اسید آمینه لیزین در سنتز آنزیم‌های گوارشی در

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

پانکراس نقش دارد و به ترشح و آزادسازی آنها در بدن ماهی کمک می‌نماید. همچنین، پژوهش‌ها نشان می‌دهد لیزین ترشح هورمون تیروئیدی را مهار کرده که در نتیجه آن فعالیت آنزیم آمیلاز افزایش پیدا می‌کند (Li *et al*., 2014). از طرفی، تعادل اسیدهای آمینه جیره به جذب بیشتر آنها از طریق انتروسیت‌های روده‌ای می‌انجامد و به نظر می‌رسد این امر از طریق افزودن لیزین به جیره حاوی پروتئین ۳۷٪ و پودر ماهی ۱۲٪ ایجاد گردیده باشد.

Jiang و همکاران (۲۰۱۶) عنوان کردند افزودن مکمل اسید آمینه لیزین و متیونین به جیره مبتنی بر کنجاله کانولا در آمور (*Ctenopharyngodon idella*) هضم و جذب مواد مغذی را از طریق افزایش ظرفیت آنزیم‌های گوارشی تقویت می‌نماید. در تحقیق مشابهی بر روی کاراس، افزودن ۴/۵ گرم بر کیلوگرم لیزین به جیره هضم‌پذیری پروتئین جیره بدون پودر ماهی بهبود یافت (Ji *et al*., 2021). جایگزینی پودر ماهی و کاهش پودر ماهی به ترتیب در تیلاپیا نیل (*Oreochromis niloticus*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) نیز با افزودن ۰/۴ و ۰/۵ درصد لیزین به جیره جبران شدند (El-Saidy and Gaber, 2002; Cheng *et al*., 2003).

نتیجه گیری

مطالعه حاضر با این یافته‌ها همسو بود اگرچه، سطح بهینه در مطالعات ممکن است با توجه به گونه و شرایط آزمایشی متفاوت باشد. به طور کلی، می‌توان بیان کرد افزودن ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد لیزین می‌تواند تاثیرات منفی کاهش توام پروتئین و پودر ماهی را در جیره فیل‌ماهیان جبران نماید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از بابت یاری کلیه همکاران در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع

1. Ahmed, I. and Ahmad, I., 2021. Dietary lysine modulates growth performance, haemato-biochemical indices, non-specific immune response, intestinal enzymatic activities and antioxidant properties of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, *27*(5), pp.124–139. DOI: 10.1111/anu.13409
2. Ahmed, I., 2017. Effects of dietary amino acid l -lysine on survival, growth and haemato-biochemical parameters in Indian catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch, 1974), fingerlings. *Journal of Applied Ichthyology*, *33*(5), pp.1027–1033. DOI: 10.1111/jai.13355
3. Ahmed, I. and Khan, M.A., 2004. Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). *Aquaculture*, *235*(1-4), pp.499–511. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2003.12.009
4. AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1995.Official methods of analysis of the Association Official Analytical Chemists. 16th edition. AOAC, Inc., Arlington, Virginia, USA.
5. Austreng, E., 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, *13*(3), pp.265-272. DOI: 10.1016/0044-8486(78)90008-X
6. Berge, G.E., Sveier, H. and Lied, E., 1998. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*); the requirement and metabolic effect of lysine. *Comparative Biochemistry and Physiology*, *120*(3), pp.477–485. DOI: 10.1016/S1095-6433(98)10049-1
7. Cai, W.C., Jiang, G.Z., Li, X.F., Sun,

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

C.X., Mi, H.F., Liu, S.Q., Liu, W.B., 2017. Effects of complete fish meal replacement by rice protein candncentrate with or without lysine supplement on growth performance, muscle development and flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Aquaculture Nutrition*, *24*(1), pp.481-491. DOI: 10.1111/anu.12581

8. Cheng, Z.J., Hardy, R.W. and Usry, J.L., 2003. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture*, *218*(1-4), pp.553-565. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00502-1
9. El-Saidy, D.M. and Gaber, M.M., 2002. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-Lys supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, *33*(3), pp.297–306. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00506.x
10. FAO (Food and Agriculture Organization)., 2009. Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production. Rome, Italy: FAO Publications.
11. Gaylord, T.G. and Barrows, F.T., 2009. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds. *Aquaculture*, *287*(1), pp.180-184. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.10.037
12. Güroy, D., Şahin, İ., Güroy, B., Merrifield, D. L., Bulut, M. and Tekinay, A.A., 2013. Replacement of fishmeal with rice protein concentrate in practical diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax* reared at winter temperatures. *Aquaculture Research*, *44*(3), pp.462‑471. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03053.x
13. Hosseinpour, Aghaei., R., Abedian Kenari, A., Yazdani Sadati, M.A. and Esmaeili, M., 2018. The effect of time-dependent protein restriction on growth factors, nonspecific immunity, body composition, fatty acids and amino acids in the Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Aquaculture Research*, *49*(2), pp.3033-3044. DOI: 10.1111/are.13764
14. Huang, D., Liang, H., Ge, X., Zhu, J., Li, S., Wang, Y., Ren, M. and Chen, X., 2022. Effects of dietary lysine levels on growth performance and glycolipid metabolism via the AKT/FoxO1 pathway in juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *Aquaculture Nutrition*, pp.1-15. DOI: 10.1155/2022/1372819
15. Ji, K., He, J., Liang, H., Ren, M., Ge, X. and Masagounder, K., 2021. Response of gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) to increasing levels of dietary lysine in zero fish meal diets. *Aquaculture Nutrition*, *27*(1), pp.49-62. DOI: 10.1111/anu.13164
16. Jiang, J., Shi, D., Zhou, X.Q., Feng, L., Liu, Y., Jiang, W.D., Wu, P., Tang, L., Wang, Y. and Zhao, Y., 2016. Effects of lysine and methionine supplementation on growth, body composition and digestive function of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed plant protein diets using high-level canola meal. *Aquaculture Nutrition*, *22*(5), pp.1126-1133. DOI: 10.1111/anu.12339
17. Kerr, B.J. and Easter, R.A., 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *Journal of Animal Science*, *73*(10), pp.3000–3008. DOI: 10.2527/1995.73103000x
18. Langeland, M., Vidakovic, A., Vielma, J., Lindberg, J.E., Kiessling, A. and Lundh, T., 2016. Digestibility of microbial and mussel meal for Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture Nutrition*, *22*, pp.485‑495. DOI: 10.1111/anu.12268
19. Li, M. and Robinson, E., 1998. Effects of supplemental lysine and methionine

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

in low protein diets on weight gain and body composition of young channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, *163*, pp.297–307. DOI: 10.1016/S0044- 8486(98)00239-7

20. Li, X., Tang, L., Hu, K., Liu, Y., Jiang, W., Jiang, J., Wu, P., Chen, G., Li, S., Kuang, S., Feng, L. and Zhou, X., 2014. Effect of dietary lysine on growth, intestinal enzymes activities and antioxidant status of sub-adult grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Fish Physiology and Biochemistry*, *40*(3), pp.659–671. DOI: 10.1007/s10695-013-9874-7
21. Li, X., Han, T., Zheng, S. and Wu, G., 2021. Nutrition and functions of amino acids in aquatic crustaceans. Amino Acids in Nutrition and Health: Amino Acids in the Nutrition of Companion, Zoo and Farm Animals, pp.169-198.
22. Madrid, J., Pohlenz, C., Viana, M.T. and Lazo, J.P., 2019. Dietary lysine requirement for juvenile, *Totoaba macdonaldi*. *Aquaculture*, 500, 92-98. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.10.003
23. Mai, K.S., Zhang, L., Ai, Q.H., Duan, A.Y., Zhang, C.X., Li, H.T., Wan, J.L. and Liufu, Z.G., 2006. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, (*Lateolabrax japonicus*). *Aquaculture*, *258*(1-4), pp.535–542. DOI:10.1016/j.aquaculture.2006.04.043
24. Mohseni, M., Pourkazemi, M., Seyed Hassani, M.H. and Pourali, H., 2016. Effects of dietary lysine and methionine supplementation on growth, nutrient utilization and carcass compositions in beluga, *Huso huso*, fed soy protein-based diet. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, *25*(1), pp.119-133. DOI: 10.22092/ISFJ.2017.110228
25. Mohseni, M., Ozorio, R.O.A., Pourkazemi., M. and Bai, S.C., 2008. Effects of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition in beluga sturgeon (*Huso huso*) juveniles. *Journal of Applied Ichthyology*, *24*(6), pp.646-649. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2008.01121.x
26. NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press:Washington.
27. Peres, H. and Oliva-Teles, A., 2008. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles. *Aquaculture*, *275*, pp.283–290. DOI:10.1016/j.aquaculture.2007.12.015
28. Ren, M., Liang, H., He, J., Masagounder, K., Yue, Y., Yang, H., Ge, X., Xie, J. and Xi, B., 2017. Effects of DL-methionine supplementation on the success of fish meal replacement by plant proteins in practical diets for juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture Nutrition*, *23*(5), pp.934-941. DOI: 10.1111/anu.12461
29. Terova, G., Corà, S., Verri, T., Rimoldi, S., Bernardini, G. and Saroglia, M., 2009. Impact of feed availability on PepT1 mRNA expression levels in sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, *294*(3-4), pp.288-299. DOI:10.1016/j.aquaculture.2009.06.014
30. van Milgen, J. and Dourmad, J.Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *6*(1), pp.1-11. DOI:10.1186/s40104-015-0016-1
31. Walton, M.J., Cowey, C.B. and Adron, J.W., 1984. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout. *British Journal of Nutrition*, *52*(1), pp.115-122. 10.1079/bjn19840077
32. Wang, W., Yang, P., He, C., Qin, Y., Mai, K. and Song, F., 2021. Lysine supplemented to poultry by-product meal replacement diet modulates body growth, metabolism and related gene expressions of hybrid sturgeon (*Acipenser schrenckii* ♀ × *Acipenser baerii* ♂). *Aquaculture Research*, *52*, pp.5419-5429. DOI:10.1111/are.15411
33. Wu, G., Bazer, F. W., Dai, Z., Li, D., Wang, J. and Wu, Z., 2014. Amino acid nutrition in animals: Protein synthesis and beyond. Annual Review of Animal Biosciences, *2*(1), pp.387–417.

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]

DOI: 10.1146/annurev-animal-022513-114113

34. Yang, S.D., Liou, C.H. and Liu, F.G., 2002. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture, 213*(1), pp.363–372. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00120-5
35. Yu, H., Yang, M., Xiao, T., Luo, Y., Ren, W., Ye, L., Zhang, Y., Dong, X. and Li, Y., 2022. Effects of dietary lysine levels on growth performance and antioxidative capacity in channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture Research*, *53*(12), pp.4414-4425. DOI: 10.1111/are.15939
36. Zhao, W., Luo, H., Zhu, W., Yuan, X. and Shao, J., 2021. Effects of time-dependent protein restriction on growth performance, digestibility, and mTOR signaling pathway in juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Physiology*, *12*, 379. DOI: 10.3389/fphys.2021.661107
37. Zhou, Z., Wu, X., Gatlin, D., Wang, X., Mu, W., Ye, B. and Ma, L., 2021. Dietary valine levels affect growth, protein utilisation, immunity and antioxidant status in juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂). *British Journal of Nutrition*, *125*(4), pp.408–419.DOI:10.1017/S0007114520002858

[Downloaded from aqudev.lahijan.iau.ir on 2026-06-18]

[DOI: 10.71901/jad-2026-2-878]