

## 饲料中赖氨酸和精氨酸含量对大菱鲆幼鱼生长、 体成分和肌肉氨基酸含量的影响

代伟伟, 麦康森, 徐 玮, 张彦娇, 艾庆辉\*

(中国海洋大学水产动物营养与饲料农业部重点实验室, 海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 为研究饲料中精氨酸(Arg)、赖氨酸(Lys)水平及其相互作用对大菱鲆生长、体成分和肌肉氨基酸含量的影响,本实验以初始体质量为 $(18.48 \pm 0.16)$ g的大菱鲆作为研究对象,采用 $3 \times 3$ 双因素设计,在基础饲料中分别添加 Arg(0%、0.9%和2.0%)和 Lys(0%、1.19%和2.39%),配制成9种等氮等能的实验饲料,每个处理设3个重复,每重复30尾鱼,养殖周期为8周。实验结果表明,当饲料中 Lys 添加量为1.19%时,大菱鲆增重率和特定生长率较其他两种添加量组显著升高( $P < 0.05$ ),但精氨酸的添加对其影响不显著且与赖氨酸之间不存在交互作用( $P > 0.05$ )。饲料效率、蛋白质效率、蛋白质保留率和鱼体蛋白质含量受饲料中 Lys 和 Arg 添加量的交互影响( $P < 0.05$ ),在 Arg 和 Lys 添加量分别为0.9%和1.19%时,数值最高,显著高于赖氨酸未添加组和高添加组( $P < 0.05$ )。全鱼粗脂肪、水分、灰分和形体指标不受 Arg 和 Lys 的交互作用影响( $P > 0.05$ )。粗脂肪和水分随 Lys 的添加量升高而显著降低( $P < 0.05$ );肝体比和脏体比均随饲料中 Arg 和 Lys 添加量的升高而显著降低( $P < 0.05$ )。肌肉中大多数氨基酸含量受饲料 Arg 和 Lys 添加量的交互作用,显著性最低值均出现在 Arg 和 Lys 添加量分别为0.9%和2.39%组( $P < 0.05$ )。以上结果表明,Arg 和 Lys 的交互作用显著影响了大菱鲆幼鱼的饲料效率、鱼体蛋白质沉积和肌肉氨基酸含量;Arg 和 Lys 添加量分别为0.9%和1.19%时,大菱鲆有最大生长和饲料利用效率;与 Arg 相比,Lys 为主要影响因素,适量添加 Lys 可以促进生长,而添加量过高 Lys 会与 Arg 产生拮抗作用,抑制生长、饲料利用和肌肉氨基酸沉积。

**关键词:** 大菱鲆; 赖氨酸; 精氨酸; 生长; 交互作用; 拮抗

**中图分类号:** S 963.73

**文献标志码:** A

使用植物蛋白源替代水产饲料中的鱼粉是水产饲料营养学研究的一个重要方向<sup>[1]</sup>。然而,大部分植物蛋白源并不能满足鱼体生长对必需氨基酸的需求,因此,以植物蛋白源为基础的饲料需要补充必需氨基酸以满足鱼类生长所需<sup>[2-3]</sup>。赖氨酸和精氨酸均为碱性氨基酸,且为鱼类生长必需的氨基酸,尤其是赖氨酸是许多植物蛋白原料中的第一限制性氨基酸<sup>[4]</sup>,二者对鱼类具有重要的营养和生理作用<sup>[2]</sup>。

赖氨酸-精氨酸拮抗现象在鸡、鼠和狗中已经被广泛研究<sup>[5-9]</sup>,但对于鱼类是否存在该现象仍存在争论<sup>[10]</sup>。一部分研究者以生长为评价指标,在斑

点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)<sup>[11]</sup>、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)<sup>[12]</sup>、奥利亚罗非鱼 (*Oreochromis aureus*)<sup>[13]</sup>、杂交条纹鲈 (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*)<sup>[14]</sup> 和 黄 鲈 (*Perca flavescens*)<sup>[15]</sup> 上未发现拮抗现象。另一部分研究者则发现了一些生理生化证据,表明鱼类中可能存在赖氨酸和精氨酸拮抗现象<sup>[16-19]</sup>。以上不同种类之间、不同添加量的研究结果(生长、饲料利用、消化、吸收等)差别比较大,目前尚无一个合理的解释。

大菱鲆 (*Scophthalmus maximus* L.) 又名“多宝鱼”,已迅速发展为我国北方优势养殖鱼种,成

收稿日期:2015-01-29 修回日期:2015-04-12

资助项目:现代农业产业技术体系(CARS 50-G08)

通信作者:艾庆辉,E-mail:qhah@ouc.edu.cn

为我国海水养殖业的一个重要组成部分,取得了良好的经济和社会效益<sup>[20-22]</sup>。由生长实验和理想蛋白比例得出大菱鲆最适赖氨酸和精氨酸需求分别为 2.42% (占饲料蛋白的 5.00%) 和 2.02% (占饲料蛋白的 4.22%)<sup>[23]</sup>。本实验采用 3×3 双因素设计,研究饲料中精氨酸、赖氨酸添加量及其相互作用对大菱鲆生长性能、饲料利用、体组成和形体指标的影响,以期为大规模饲料生产中合理添加赖氨酸提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验饲料设计与制作

参照 Peres 等<sup>[23]</sup>大菱鲆饲料配方,以鱼粉、玉米蛋白粉、啤酒酵母、小麦粉和晶体氨基酸为主要蛋白源,鱼油、豆油、大豆卵磷脂为主要脂肪源,制成粗蛋白水平为 48.6%,粗脂肪水平为 13.7% 的基础饲料(表 1)。以大菱鲆全鱼氨基酸含量为必需氨基酸模式,添加相应的晶体氨基酸,使基础饲料中除赖氨酸和精氨酸以外的其他各种氨基酸含量均达到大菱鲆鱼体含量的比例(表 2)。采用 3×3 双因素设计,分别添加精氨酸(0%、0.9% 和 2.0%)和赖氨酸盐酸盐(0%、1.5% 和 3.0%),其中赖氨酸实际添加量为(0%、1.19% 和 2.39%),以等量的甘氨酸作为赖氨酸和精氨酸的等氮替代物,配制成 9 种等氮等能的实验饲料。各组饲料的氨基酸组成见表 2。

实验饲料配制前,所有原料经粉碎,过 80 目筛网。将粉碎好的饲料原料按饲料配方(表 1)由小到大逐一混合均匀,然后加入鱼油、豆油和大豆卵磷脂,手工将油脂微小颗粒搓散,在 V 型高效混合机(STC,中外合资上海天祥健台制药机械有限公司)中混合均匀,最后加入蒸馏水揉匀,用 6 mol/L NaOH 溶液调整饲料 pH 为 7.0~7.5,于单螺杆制粒机中制成直径 4 mm×长 3 mm 的颗粒饲料,在 45℃ 恒温下干燥 12 h,置于 -20℃ 冰箱中备用。

### 1.2 实验鱼与饲养管理

实验用大菱鲆幼鱼(18.48±0.16)g 为当年人工培育的同一批苗种,购于山东省海阳市黄海水产有限公司。养殖实验在山东省海阳市黄海水产公司养殖基地进行。实验前,先取各处理实验饲料等量混合在一起作为暂养料暂养实验鱼 2 周,使之逐渐适应饲料和养殖环境。

表 1 基础配方和常规组成(干物质)  
Tab.1 Composition and proximate analysis of the basal diets(dry matter)

原料 ingredients	含量 content
鱼粉 fish meal	13.0
玉米蛋白粉 corn gluten meal	32.0
小麦粉 wheat meal	22.8
啤酒酵母 beer yeast	5.0
氨基酸混合物 amino acid mixture <sup>a</sup>	8.0
鱼油 fish oil	7.0
豆油 soybean oil	2.0
大豆卵磷脂 lecithin	2.0
多矿 mineral premix <sup>b</sup>	1.0
多维 vitamin premix <sup>c</sup>	0.5
其它 others <sup>d</sup>	1.7
精氨酸赖氨酸混合物 Arg and Lys mixture <sup>e</sup>	5.0
主要成分(%干重) proximate composition(dry matter)	
粗蛋白 crude protein(% DM)	48.6
粗脂肪 crude lipid(% DM)	13.7
灰分 ash(% DM)	6.8
干物质含量/% dry matter content	92.3
总能/(kJ/g) gross energy	22.0

注:a.氨基酸混合物(根据大菱鲆全鱼和基础料中氨基酸含量之差确定,% diet):异亮氨酸 0.42,蛋氨酸 0.63,苏氨酸 0.82,缬氨酸 0.85,丙氨酸 0.68,天冬氨酸 2.51,半胱氨酸 0.14,丝氨酸 0.39;b.多矿预混(mg/kg diet):六水氯化钴(1%) 50,五水硫酸铜(25%) 10,一水硫酸亚铁(30%) 80,一水硫酸锌(34.50%) 50,一水硫酸锰(31.80%) 45,七水硫酸镁(15%) 1 200,亚硒酸钠(1%) 20,碘酸钙(1%) 60,沸石粉 8 485;c.多维预混(mg/kg diet):盐酸硫胺素(98%) 25,维生素 B2(80%) 45,盐酸吡哆醇(99%) 20,维生素 B<sub>12</sub>(1%) 10,维生素 K(51%) 10,肌醇(98%) 800,泛酸钙(98%) 60,烟酸(99%) 200,叶酸(98%) 20,生物素(2%) 60,维生素 A(500 000 IU/g) 32,维生素 D(500 000 IU/g) 5,维生素 E(50%) 240,维生素 C(35%) 2 000,抗氧化剂(克氧灵,100%) 3,稻壳粉 1 470;d.其它(% diet):氯化胆碱 0.25,磷酸二氢钙 1.00,诱食剂(甜菜碱) 0.30,防腐剂(丙酸钙) 0.10,抗氧化剂 0.05,三氧化二钼 0.04;e.精氨酸赖氨酸混合物:采用 3×3 双因素设计,分别添加精氨酸(0%、0.9% 和 2.0%)和赖氨酸(0%、1.5% 和 3.0%),以等量的甘氨酸作为赖氨酸和精氨酸的等氮替代物

Notes: a. amino acid mixture (% DM): L-Isoleucine 0.42, L-Methionine 0.63, L-Threonine 0.82, L-Valine 0.85, L-Alanine 0.68, L-Aspartic acid 2.51, L-Cysteine 0.14, L-Serine 0.39; b. mineral premix (mg/kg diet): CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O (1%) 50, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O (25%) 10, FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (30%) 80, ZnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (34.50%) 50, MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (31.80%) 45, MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O (15%) 1 200, Sodium selenite (1%) 20, Calcium iodine (1%) 60, Zoelite 8 485; c. Vitamin premix (mg/kg diet): thiamin (98%) 25, riboflavin (80%) 45, pyridoxine-HCl(99%) 20, vitamin B<sub>12</sub> (1%) 10, vitamin K(51%) 10, inositol (98%) 800, pantothenic acid (98%) 60, niacin acid (99%) 200, folic acid (98%) 20, biotin (2%) 60, retinol acetate (500 000 IU/g) 32, cholecalciferol (500 000 IU/g) 5, alpha-tocopherol (50%) 240, ascorbic acid (35%) 2 000, anti-oxidants (oxygen ling grams, 100%) 3, rice husk powder (100%) 1 470; d. Others (% diet): Choline chloride 0.25, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O 1.00, Attractant (betaine) 0.30, Mold inhibitor (calcium propionic) 0.10, Antioxidant 0.05; Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.04; e. A 3×3 factorial experiment were designed; supplemented with three levels of arginine(0%, 0.9% and 2.0%) crossed with lysine(0%, 1.5% and 3.0%). Equal amino acid nitrogen was maintained by replacing lysine and arginine with glycine

表 2 实验饲料中氨基酸组成<sup>a</sup>(干物质)  
Tab. 2 Amino acid contents<sup>a</sup> of experimental diets (dry matter) %

氨基酸 amino acids	Diet 1-1	Diet 1-2	Diet 1-3	Diet 2-1	Diet 2-2	Diet 2-3	Diet 3-1	Diet 3-2	Diet 3-3	50% 鱼体粗蛋白 50% whole body protein <sup>b</sup>
必需氨基酸 (EAA)										
精氨酸 (Arg)	1.32	1.33	1.32	2.21	2.22	2.23	3.32	3.31	3.33	2.97
赖氨酸 (Lys)	1.03	2.28	3.43	1.05	2.26	3.45	1.03	2.29	3.43	3.42
组氨酸 (His)	0.68	0.66	0.65	0.67	0.64	0.64	0.61	0.64	0.65	0.64
异亮氨酸 (Ile)	1.9	1.86	1.89	1.9	1.92	1.87	1.9	1.87	1.9	1.89
亮氨酸 (Leu)	4.1	4.17	4.17	4.13	4.1	4.13	4.16	4.14	4.12	3.44
蛋氨酸 (Met)	1.32	1.33	1.31	1.3	1.32	1.34	1.31	1.32	1.33	1.40
苯丙氨酸 (Phe)	1.8	1.82	1.83	1.83	1.81	1.81	1.81	1.82	1.83	1.83
苏氨酸 (Thr)	1.94	1.95	1.94	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.94	1.99
缬氨酸 (Val)	2.45	2.44	2.45	2.41	2.45	2.41	2.43	2.44	2.45	2.45
非必需氨基酸 (NEAA)										
丙氨酸 (Ala)	3.2	3.19	3.2	3.23	3.15	3.21	3.14	3.2	3.19	3.25
天冬氨酸 (Asp)	4.7	4.66	4.7	4.68	4.74	4.68	4.72	4.7	4.66	4.75
半胱氨酸 (Cys)	0.59	0.63	0.63	0.6	0.63	0.63	0.63	0.59	0.63	0.62
谷氨酸 (Glu)	8.16	8.34	8.41	8.16	8.32	8.4	8.38	8.31	8.19	6.79
甘氨酸 (Gly)	6.57	4.94	3.5	5.45	4.09	2.82	4.21	3.06	1.97	4.32
丝氨酸 (Ser)	2.07	2.13	2.14	2.16	2.16	2.17	2.15	2.07	2.13	2.16
酪氨酸 (Tyr)	1.38	1.39	1.35	1.36	1.36	1.37	1.36	1.39	1.35	1.16

注: a. 结果均为 3 个样品测定结果的平均值; b. 大菱鲆鱼体 50% 粗蛋白的氨基酸组成

Notes: a. Values are the means of triplication; b. Amino acid profiles in 50% whole body protein of turbot

实验开始前所有鱼苗停食 24 h, 然后称重, 选择大小均匀, 体格健壮、无病的幼鱼, 随机分配于 27 个养殖桶 (500 L, 30 尾/桶), 养殖周期为 8 周。养殖实验期间, 投喂时间和频率与暂养期一致, 每天投喂 2 次至表观饱食 (7:00 和 19:00), 投喂 1 h 后记录每顿的残饵数量, 如有死鱼记录数量并称重, 监测海水温度、盐度和溶氧变化。

养殖用水为浅井海水, 经二级沉淀、砂滤后进入蓄水池, 采用室内长流水系统 (10.6 L/min, 日换水量 > 20 循环); 整个养殖期间均采用 24 h 连续充氧, 采取适当的遮光措施降低室内光线强度; 实验期间水温 19 ~ 24 °C, 盐度 24 ~ 26, 溶氧 6.05 ~ 6.80 mg/L, pH 7.90 ~ 8.05。

### 1.3 样品采集与分析

实验开始前, 实验鱼饥饿 24 h, 随机选取 5 尾麻醉的实验鱼, 保存于 -20 °C 的冰箱中, 用于初始鱼体成分分析。8 周生长实验结束后, 实验鱼饥饿 24 h, 使用 1:10 000 的丁香酚麻醉, 然后计数, 称重。从每桶中随机取 5 尾麻醉的实验鱼, 保存于 -20 °C 的冰箱中, 用于体成分分析; 随机取 6 尾麻醉的实验鱼, 分别称重、测体长, 解剖取内脏和肝脏并称重; 另随机取 3 尾麻醉的

实验鱼, 在背部相同位置取肌肉用于肌肉氨基酸的检测。

原料、饲料及鱼体样品均在 105 °C 烘干至恒重后, 求得干物质含量, 然后进行常规指标分析<sup>[24]</sup>。采用全自动定氮仪 (Kjeltec 2300, Sweden) 测定粗蛋白含量 (N × 6.25); 采用索氏抽提法, 以乙醚为抽提剂测定粗脂肪含量 (Buchli 36680, Switzerland); 将样品在电炉上炭化后, 在马弗炉中 (550 °C) 灼烧 8 h 后测得样品灰分含量; 能量用氧弹计测定 (Parr1281, USA); 饲料和肌肉氨基酸含量的检测使用酸解法, 由全自动氨基酸分析仪 (Biochrom 30, GE, England) 测得。

### 1.4 计算及统计方法

增重率 (WGR, %) = (末重 - 初重) × 100 / 初重

特定生长率 (SGR, %) = (Ln 末重 - Ln 初重) × 100 / 饲喂天数

饲料效率 (FER) = 鱼体湿增重 (g) / 采食干饲料重 (g)

蛋白质效率 (PER) = 鱼体湿增重 (g) / 采食蛋白量 (g)

蛋白保留率 (PR, %) = (鱼体末重 × 实验结

束时鱼体蛋白含量 - 鱼体初重 × 初始鱼体蛋白含量) × 100 / (采食干饲料重 × 饲料蛋白含量)

成活率 (SR, %) = 100 × (实验结束时活鱼数 / 实验开始时活鱼数)

肝体比 (HSI) = 肝重 × 100 / 体质量

脏体比 (VSI) = 内脏重量 × 100 / 鱼体质量

肥满度 (CF, g/cm<sup>3</sup>) = (鱼体质量, g) × 100 / (鱼体长, cm<sup>3</sup>)

所有数值均以平均值表示,采用 SPASS 16.0 进行数据分析。首先以双因素方差分析 (two-way ANOVA) 方法来分析饲料中精氨酸、赖氨酸添加量及其交互作用对大菱鲆生长性能、体组成、形体指标和肌肉氨基酸含量的影响,  $P < 0.05$  时表示差异显著。当精氨酸和赖氨酸之间 (Arg × Lys) 存在显著交互作用时,对所有数据进行一次单因素方差分析 (One-way ANOVA), 并采用 Tukey's 检验进行多重比较来分析各处理组间的显著性,以上标 (a, b, c) 表示 ( $P < 0.05$ ),此时不考虑单个影响因素的作用。当精氨酸和赖氨酸之间不存在显著交互作用时,固定精氨酸或赖氨酸添加量,分析另一因子的作用;当固定赖氨酸,分析精氨酸添加量间的相互作用时,以上标 (p, q) 表示处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ );当固定精氨酸,分析赖氨酸添加量间的相互作用时,以上标 (x, y) 表示处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果

### 2.1 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆生长和饲料利用的影响

双因素方差分析结果显示,饲料中精氨酸 (Arg) 和赖氨酸 (Lys) 添加量对大菱鲆增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR) 和成活率 (SR) 无交互影响 ( $P > 0.05$ ) (表 3)。WGR 和 SGR 随饲料中 Lys 添加量的升高先显著升高后显著降低 ( $P < 0.05$ ), Lys 为主要影响因子,二者不受 Arg 添加量的影响 ( $P > 0.05$ );二者在 Arg 添加量为 0.9% 且 Lys 添加量为 1.19% 时最高,当 Lys 含量继续升高后则抑制生长。饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对大菱鲆成活率没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

饲料中 Arg 和 Lys 添加量对饲料效率 (FER)、蛋白质效率 (PER) 和蛋白质保留率 (PR)

存在显著交互作用 ( $P < 0.05$ ) (表 3); FER、PER 和 PR 受饲料中 Lys 添加量的显著影响,当 Lys 添加量为 1.19% 时,显著高于未添加和高添加组 ( $P < 0.05$ ),但受饲料中 Arg 添加量的影响不显著 ( $P > 0.05$ )。单因素方差分析结果显示,当 Lys 添加量为 1.19% 时,不同 Arg 添加组的 FER、PER 和 PR 无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),其中以 Arg 添加量为 0.9% 时数值在所有处理组中最高;当 Lys 添加量为 2.39% 时,FER、PER 和 PR 均随饲料 Arg 添加量的升高而显著降低,且 2 个 Arg 添加组 (0.9% 和 2.0%) 的数值在 9 个处理组中最低。

### 2.2 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆体组成的影响

双因素方差分析结果显示,饲料中 Arg 和 Lys 添加量对全鱼粗蛋白存在显著交互作用 ( $P < 0.05$ ) (表 4);粗蛋白受饲料中 Lys 添加量的显著影响,随着饲料中 Lys 添加量的升高而显著升高 ( $P < 0.05$ )。单因素方差分析结果显示,无论 Arg 添加与否,所有 Lys 添加组间粗蛋白含量差异不显著 ( $P > 0.05$ ),但显著高于未添加 Lys 处理组 ( $P < 0.05$ )。

饲料中 Arg 和 Lys 添加量对全鱼粗脂肪、灰分和水分含量无交互影响 (表 4)。粗脂肪含量受饲料 Arg 和 Lys 的显著影响,随饲料中 Arg 添加量的升高,粗脂肪先升高后显著降低 ( $P < 0.05$ ),但 2 个 Arg 添加组较未添加组差异不显著 ( $P > 0.05$ );但随饲料中 Lys 的添加而显著降低 ( $P < 0.05$ )。水分含量受 Lys 显著影响,随 Lys 添加量的升高而显著降低 ( $P < 0.05$ )。饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对全鱼灰分含量没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

### 2.3 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆形体指标的影响

双因素方差分析结果显示,饲料中 Arg 和 Lys 添加量对大菱鲆肝体比 (HSI)、脏体比 (VSI) 和肥满度 (CF) 无交互影响 ( $P > 0.05$ ) (表 5)。HSI 和 VSI 均受饲料中 Arg 和 Lys 添加量显著影响,当 Arg 添加量为 2.0% 时,HSI 和 VSI 较未添加组和低添加组显著降低 ( $P < 0.05$ );而添加 Lys 组的 HSI 和 VSI 均显著低于未添加组 ( $P < 0.05$ )。饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对大菱鲆 CF 没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表3 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆生长和饲料利用的影响

Tab 3 Growth performance and nutrient utilization of turbot fed diets with different Arg/Lys levels

处理数 Diet	精氨酸 添加量/% Arg level	赖氨酸 添加量/% Lys level	增重 率/% WGR	特定增长率/ (%/d) SGR	饲料 效率 FER	蛋白质 效率 PER	蛋白质 保留率 PR	成活 率/% SR
单个处理平均值 individual treatment means								
Diet 1 - 1	0	0	128.86	1.18	0.99 <sup>bc</sup>	2.04 <sup>bc</sup>	24.77 <sup>cd</sup>	98.89
Diet 1 - 2	0	1.19	149.16	1.30	1.11 <sup>ab</sup>	2.29 <sup>ab</sup>	31.57 <sup>ab</sup>	100.00
Diet 1 - 3	0	2.39	149.32	1.30	1.10 <sup>ab</sup>	2.28 <sup>ab</sup>	31.34 <sup>abc</sup>	100.00
Diet 2 - 1	0.9	0	130.00	1.19	0.98 <sup>bc</sup>	2.00 <sup>bc</sup>	22.32 <sup>d</sup>	100.00
Diet 2 - 2	0.9	1.19	168.88	1.41	1.22 <sup>a</sup>	2.49 <sup>a</sup>	35.00 <sup>a</sup>	98.89
Diet 2 - 3	0.9	2.39	120.99	1.13	0.91 <sup>c</sup>	1.88 <sup>c</sup>	26.67 <sup>bcd</sup>	100.00
Diet 3 - 1	2.0	0	124.20	1.15	1.02 <sup>bc</sup>	2.10 <sup>abc</sup>	24.63 <sup>cd</sup>	98.89
Diet 3 - 2	2.0	1.19	153.84	1.33	1.16 <sup>ab</sup>	2.36 <sup>ab</sup>	33.30 <sup>ab</sup>	100.00
Diet 3 - 3	2.0	2.39	130.55	1.19	0.90 <sup>c</sup>	1.83 <sup>c</sup>	24.30 <sup>d</sup>	98.89
总标准误 Pooled SE			3.89	0.02	0.02	0.05	0.93	0.002
主因子平均值 means of main effect								
	0		142.45	1.26	1.07	2.20	29.23	1.00
	0.9		139.96	1.24	1.03	2.12	28.00	1.00
	2.0		136.20	1.22	1.02	2.10	27.41	0.99
		0	127.69 <sup>y</sup>	1.17 <sup>y</sup>	1.00	2.05	23.91	0.99
		1.19	157.29 <sup>x</sup>	1.35 <sup>x</sup>	1.16	2.38	33.29	1.00
		2.39	133.62 <sup>y</sup>	1.21 <sup>y</sup>	0.97	2.00	27.44	1.00
双因子:P 值 ANOVA; P-value								
精氨酸添加量 Arg level			0.69	0.67	0.36	0.26	0.27	0.78
赖氨酸添加量 Lys level			0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.78
精氨酸 × 赖氨酸添加量 Arg × Lys level			0.16	0.17	0.006	0.007	0.015	0.43

注:数据以平均值表示( $n=3$ )。所有数据采用双因素方差分析,进行 Tukey's 多重检验。相同的一列标注有相同上标或无上标表示差异不显著( $P>0.05$ ),下同

Notes: Treatment means represent the average values for three tanks per treatment. All the data were subjected to two-way ANOVA followed by Tukey's multiple range tests. Values in the same column with the same superscript or absence of superscript are not significant different ( $P > 0.05$ ), the same as the following

表4 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆体组成的影响(湿重)

Tab. 4 Proximate composition in whole body of turbot fed diets with different Arg/Lys levels(wet weight) %

处理数 Diet	精氨酸添加量 Arg level	赖氨酸添加量 Lys level	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	水分 moisture
单个处理平均值 individual treatment means						
Diet 1 - 1	0	0.00	13.57 <sup>bc</sup>	3.62	3.85	79.17
Diet 1 - 2	0	1.19	14.43 <sup>a</sup>	3.41	3.74	78.42
Diet 1 - 3	0	2.39	14.44 <sup>a</sup>	3.51	3.70	78.32
Diet 2 - 1	0.90	0.00	13.00 <sup>c</sup>	3.90	3.76	79.57
Diet 2 - 2	0.90	1.19	14.57 <sup>a</sup>	3.37	3.65	78.65
Diet 2 - 3	0.90	2.39	14.75 <sup>a</sup>	3.71	3.83	77.88
Diet 3 - 1	2.00	0.00	13.37 <sup>c</sup>	3.51	3.72	79.50
Diet 3 - 2	2.00	1.19	14.64 <sup>a</sup>	3.15	3.76	78.61
Diet 3 - 3	2.00	2.39	14.20 <sup>ab</sup>	3.05	3.77	79.06
总标准误 Pooled SE			0.12	0.07	0.02	0.12
主因子平均值 means of main effect						
	0		14.15	3.51 <sup>pq</sup>	3.77	78.64
	0.9		14.11	3.66 <sup>p</sup>	3.75	78.70
	2.0		14.07	3.24 <sup>q</sup>	3.75	79.05
		0	13.31	3.67 <sup>x</sup>	3.78	79.41 <sup>x</sup>
		1.19	14.55	3.31 <sup>y</sup>	3.72	78.56 <sup>y</sup>
		2.39	14.46	3.42 <sup>xy</sup>	3.77	78.42 <sup>y</sup>
双因子:P 值 ANOVA; P-value						
精氨酸添加量 Arg level			0.81	0.02	0.92	0.06
赖氨酸添加量 Lys level			<0.001	0.05	0.49	0.000
精氨酸 × 赖氨酸添加量 Arg × Lys level			0.016	0.66	0.29	0.052

表 5 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆形体指标的影响  
Tab.5 Body index of turbot fed diets with different Arg/Lys levels

处理数 Diet	精氨酸添加量 Arg level	赖氨酸添加量 Lys level	肝体比 HSI	脏体比 VSI	肥满度 CF
单个处理平均值 individual treatment means					
Diet 1 - 1	0	0	1.62	6.36	3.12
Diet 1 - 2	0	1.19	1.30	5.45	3.16
Diet 1 - 3	0	2.39	1.36	5.51	3.15
Diet 2 - 1	0.90	0.00	1.53	6.51	3.14
Diet 2 - 2	0.90	1.19	1.33	5.34	3.14
Diet 2 - 3	0.90	2.39	1.29	5.21	3.19
Diet 3 - 1	2.00	0.00	1.39	6.03	3.10
Diet 3 - 2	2.00	1.19	1.07	4.93	3.17
Diet 3 - 3	2.00	2.39	1.06	5.31	3.15
总标准误 Pooled SE			0.04	0.11	0.02
主因子平均值 means of main factor					
	0		1.43 <sup>P</sup>	5.77 <sup>P</sup>	3.15
	0.9		1.38 <sup>P</sup>	5.69 <sup>Pq</sup>	3.16
	2.0		1.17 <sup>q</sup>	5.42 <sup>q</sup>	3.14
		0	1.51 <sup>x</sup>	6.30 <sup>x</sup>	3.12
		1.19	1.24 <sup>y</sup>	5.24 <sup>y</sup>	3.16
		2.39	1.24 <sup>y</sup>	5.34 <sup>y</sup>	3.16
双因子: P 值 ANOVA: P-value					
	精氨酸添加量 Arg level		0.001	0.02	0.95
	赖氨酸添加量 Lys level		<0.001	<0.001	0.74
	精氨酸 × 赖氨酸添加量 Arg × Lys level		0.870	0.26	0.99

#### 2.4 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆肌肉必需氨基酸含量的影响

双因素方差分析结果显示,饲料中 Arg 和 Lys 添加量对大菱鲆肌肉中精氨酸、赖氨酸、组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和总必需氨基酸含量均有显著性交互作用( $P < 0.05$ ) (表 6)。3 种碱性氨基酸、亮氨酸和总必需氨基酸含量均在 Arg 和 Lys 添加量分别为 0.9% 和 2.39% 组显著性最低。肌肉精氨酸和赖氨酸含量的显著性最高值组均出现在二者最高添加量组 (Arg 2.0%, Lys 2.39%)。肌肉组氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和总必需氨基酸含量的显著性最高值均出现在 Arg 添加量为 0%, Lys 添加量为 2.39% 组。

饲料中 Arg 和 Lys 添加量对大菱鲆肌肉中蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸和缬氨酸含量无显著性交互作用( $P > 0.05$ )。但是饲料中添加 Lys 显著性升高肌肉蛋氨酸含量( $P < 0.05$ )。饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对苯丙氨酸、苏氨酸和缬氨酸

没有显著影响( $P > 0.05$ )。

#### 2.5 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆肌肉非必需氨基酸含量的影响

双因素方差分析结果显示,饲料中 Arg 和 Lys 添加量对大菱鲆肌肉中丙氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、酪氨酸、总非必需氨基酸和总氨基酸含量均有显著性交互作用( $P < 0.05$ ) (表 7)。除谷氨酸外,这些非必需氨基酸的显著性最低值出现在 Arg 和 Lys 添加量分别为 0.9% 和 2.39% 组 ( $P < 0.05$ )。当 Arg 添加量为 0%, 添加 Lys 后,以上各非必需氨基酸均达显著性最高值( $P < 0.05$ )。饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对肌肉谷氨酸含量没有显著影响( $P > 0.05$ )。

饲料中 Arg 和 Lys 添加量对大菱鲆肌肉中半胱氨酸和丝氨酸含量无显著性交互作用( $P > 0.05$ )。并且饲料中不同添加量的 Arg 和 Lys 对 2 种非必需氨基酸没有显著影响( $P > 0.05$ )。

表6 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆肌肉必需氨基酸含量的影响(干重)

Tab.6 Muscle essential amino acid levels of turbot fed diets with different Arg/Lys levels(dry weight) %

处理数 Diet	精氨酸 添加量/% Arg level	赖氨酸 添加量/% Lys level	精氨酸 Arg	赖氨酸 Lys	组氨酸 His	亮氨酸 Leu	异亮 氨酸 Ile	蛋氨酸 Met	苯丙 氨酸 Phe	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	总必需 氨基酸 TEAA
单个处理平均值 individual treatment means												
Diet 1-1	0	0.00	4.37 <sup>ab</sup>	6.66 <sup>abc</sup>	1.43 <sup>bc</sup>	5.69 <sup>ab</sup>	3.09 <sup>ab</sup>	1.97	3.01	3.55	3.98	33.77 <sup>bc</sup>
Diet 1-2	0	1.19	4.56 <sup>ab</sup>	7.39 <sup>abc</sup>	1.58 <sup>ab</sup>	6.48 <sup>a</sup>	3.61 <sup>a</sup>	2.56	3.24	3.86	4.55	37.84 <sup>ab</sup>
Diet 1-3	0	2.39	4.70 <sup>ab</sup>	7.62 <sup>ab</sup>	1.62 <sup>a</sup>	6.52 <sup>a</sup>	3.64 <sup>a</sup>	2.73	3.55	3.85	4.78	39.01 <sup>a</sup>
Diet 2-1	0.90	0.00	4.51 <sup>ab</sup>	6.92 <sup>abc</sup>	1.48 <sup>abc</sup>	5.99 <sup>ab</sup>	3.3 <sup>ab</sup>	2.29	3.25	3.76	4.22	35.70 <sup>abc</sup>
Diet 2-2	0.90	1.19	4.58 <sup>ab</sup>	7.36 <sup>abc</sup>	1.58 <sup>ab</sup>	6.32 <sup>a</sup>	3.45 <sup>ab</sup>	2.46	3.34	3.88	4.47	37.43 <sup>ab</sup>
Diet 2-3	0.90	2.39	3.94 <sup>b</sup>	6.41 <sup>c</sup>	1.35 <sup>c</sup>	5.46 <sup>b</sup>	3.03 <sup>ab</sup>	2.10	2.79	3.40	3.88	32.36 <sup>c</sup>
Diet 3-1	2.00	0.00	4.45 <sup>ab</sup>	6.62 <sup>bc</sup>	1.44 <sup>bc</sup>	5.78 <sup>ab</sup>	2.97 <sup>b</sup>	2.06	3.20	3.37	4.17	34.06 <sup>bc</sup>
Diet 3-2	2.00	1.19	4.38 <sup>ab</sup>	6.98 <sup>abc</sup>	1.53 <sup>ab</sup>	6.21 <sup>ab</sup>	3.42 <sup>ab</sup>	2.60	3.22	3.62	4.37	36.32 <sup>abc</sup>
Diet 3-3	2.00	2.39	4.83 <sup>a</sup>	7.65 <sup>a</sup>	1.57 <sup>ab</sup>	6.37 <sup>a</sup>	3.41 <sup>ab</sup>	2.50	3.37	3.82	4.46	37.97 <sup>ab</sup>
总标准误 Pooled SE			0.06	0.10	0.02	0.08	0.06	0.07	0.06	0.05	0.10	0.50
主因子平均值 means of main factor												
	0.0		4.54	7.22	1.55	6.23	3.45	2.42	3.27	3.75	4.44	36.87
	0.9		4.34	6.89	1.47	5.92	3.26	2.28	3.13	3.68	4.19	35.16
	2.0		4.55	7.08	1.51	6.12	3.27	2.39	3.26	3.60	4.33	36.11
		0.00	4.44	6.73	1.45	5.82	3.12	2.11 <sup>y</sup>	3.15	3.56	4.12	34.51
		1.19	4.51	7.24	1.57	6.34	3.49	2.54 <sup>x</sup>	3.27	3.79	4.46	37.20
		2.39	4.49	7.23	1.51	6.12	3.36	2.45 <sup>x</sup>	3.23	3.69	4.37	36.44
双因子:P 值 ANOVA; P-value												
精氨酸添加量 Arg level			0.22	0.17	0.06	0.10	0.15	0.56	0.51	0.42	0.57	0.14
赖氨酸添加量 Lys level			0.87	0.01	0.004	0.006	0.01	0.01	0.69	0.16	0.34	0.01
精氨酸×赖氨酸添加量 Arg×Lys level			0.02	0.003	0.001	0.06	0.04	0.11	0.05	0.06	0.37	0.002

表7 饲料中精氨酸和赖氨酸水平对大菱鲆肌肉非必需氨基酸含量的影响(干重)

Tab.7 Muscle non-essential amino acid levels of turbot fed diets with different Arg/Lys levels(dry weight) %

处理数 Diet	精氨酸 添加量 Arg level	赖氨酸 添加量 Lys level	丙氨酸 Ala	天冬 氨酸 Asp	半胱 氨酸 Cys	谷氨酸 Glu	甘氨酸 Gly	丝氨酸 Ser	酪氨酸 Tyr	总非必需 氨基酸 TNEAA	总氨 基酸 TAA
单个处理平均值 individual treatment means											
Diet 1-1	0.00	0.00	4.56 <sup>abc</sup>	8.29 <sup>ab</sup>	0.67	12.97	3.70 <sup>abcd</sup>	3.24	2.42 <sup>ab</sup>	35.83 <sup>ab</sup>	69.60 <sup>abc</sup>
Diet 1-2	0.00	1.19	5.06 <sup>ab</sup>	8.95 <sup>ab</sup>	0.78	14.26	4.20 <sup>a</sup>	3.47	2.71 <sup>ab</sup>	39.41 <sup>a</sup>	77.25 <sup>ab</sup>
Diet 1-3	0.00	2.39	5.19 <sup>a</sup>	8.92 <sup>ab</sup>	0.76	14.04	4.09 <sup>ab</sup>	3.31	2.73 <sup>a</sup>	39.06 <sup>a</sup>	78.06 <sup>a</sup>
Diet 2-1	0.90	0.00	4.82 <sup>abc</sup>	8.61 <sup>ab</sup>	0.65	13.88	3.78 <sup>abcd</sup>	3.50	2.50 <sup>ab</sup>	37.74 <sup>ab</sup>	73.45 <sup>abc</sup>
Diet 2-2	0.90	1.19	4.98 <sup>ab</sup>	9.04 <sup>a</sup>	0.71	14.12	3.95 <sup>abc</sup>	3.44	2.68 <sup>ab</sup>	38.93 <sup>ab</sup>	76.36 <sup>ab</sup>
Diet 2-3	0.90	2.39	4.20 <sup>c</sup>	7.74 <sup>b</sup>	0.70	12.5	3.16 <sup>d</sup>	3.04	2.26 <sup>b</sup>	33.59 <sup>b</sup>	65.95 <sup>c</sup>
Diet 3-1	2.00	0.00	4.46 <sup>bc</sup>	8.13 <sup>ab</sup>	0.48	12.32	3.41 <sup>cd</sup>	3.00	2.30 <sup>ab</sup>	34.10 <sup>ab</sup>	68.15 <sup>bc</sup>
Diet 3-2	2.00	1.19	4.88 <sup>ab</sup>	8.48 <sup>ab</sup>	0.67	13.34	3.63 <sup>abcd</sup>	3.21	2.58 <sup>ab</sup>	36.78 <sup>ab</sup>	73.1 <sup>abc</sup>
Diet 3-3	2.00	2.39	4.81 <sup>abc</sup>	8.88 <sup>ab</sup>	0.79	13.97	3.53 <sup>bcd</sup>	3.29	2.68 <sup>ab</sup>	37.96 <sup>ab</sup>	75.93 <sup>ab</sup>
总标准误 Pooled SE			0.07	0.11	0.05	0.19	0.07	0.05	0.04	0.50	0.96
主因子平均值 means of main factor											
	0.0		4.94	8.72	0.74	13.76	4.00	3.34	2.62	38.10	74.97
	0.9		4.67	8.46	0.69	13.50	3.63	3.33	2.48	36.75	71.92
	2.0		4.72	8.50	0.64	13.21	3.53	3.17	2.52	36.28	72.39
		0.00	4.62	8.34	0.60	13.06	3.63	3.25	2.41	35.89	70.40
		1.19	4.97	8.82	0.72	13.91	3.93	3.37	2.66	38.38	75.57
		2.39	4.73	8.51	0.75	13.50	3.59	3.22	2.56	36.87	73.31
双因子:P 值 ANOVA; P-value											
精氨酸添加量 Arg level			0.05	0.41	0.81	0.38	0.00	0.29	0.20	0.14	0.15
赖氨酸添加量 Lys level			0.01	0.09	0.53	0.11	0.01	0.38	0.01	0.04	0.02
精氨酸×赖氨酸添加量 Arg×Lys level			0.001	0.01	0.96	0.04	0.01	0.16	0.02	0.01	0.003

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆生长和饲料利用的影响

研究表明,饲料中赖氨酸(Lys)和精氨酸(Arg)添加量对大菱鲆生长无交互作用,相似的研究结果在斑点叉尾鲟<sup>[11]</sup>、虹鳟<sup>[12]</sup>、奥利亚罗非鱼<sup>[13]</sup>、杂交条纹鲈<sup>[14]</sup>和黄鲈<sup>[15]</sup>也都有报道。饲料中Lys添加量是影响大菱鲆生长的主要因子。饲料效率、蛋白质效率、蛋白质保留率和鱼体粗蛋白含量受饲料中Lys和Arg添加量的交互作用,即饲料利用和鱼体蛋白质沉积受Lys和Arg的交互影响。饲料中Lys含量对大菱鲆生长和饲料利用均有显著影响( $P < 0.05$ )。在Lys添加量为1.19%时,大菱鲆生长和饲料利用率最高,这表明适宜的Lys添加量可以促进鱼类生长。同样,在黄尾鲷(*Seriola lalandi*)<sup>[25]</sup>、虹鳟<sup>[26]</sup>、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)<sup>[27]</sup>、印度鲤鱼(*Cirrhinus mrigala*)<sup>[28]</sup>、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)<sup>[10]</sup>、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)<sup>[29]</sup>和大黄鱼(*Larimichthys crocea*)<sup>[30]</sup>也有类似的结果。然而,当饲料中Lys添加量为2.39%时,大菱鲆生长和饲料利用率均较低剂量添加组显著降低,说明饲喂高水平Lys对大菱鲆生长不利。在其他鱼类中,如日本鲈鱼<sup>[10]</sup>、草鱼<sup>[27]</sup>、印度鲤鱼<sup>[28]</sup>和虹鳟<sup>[31]</sup>上也有相似报道,推测原因是由于Arg和Lys之间的拮抗作用导致。

本实验中,饲料中未添加Arg时,随饲料中Lys添加量增加,大菱鲆生长和饲料利用率均呈现出先增加后保持不变的趋势。但是,当Arg添加量为0.9%或2.0%时,大菱鲆生长和饲料利用率随Lys的添加呈先显著升高后显著降低。这说明高水平的Lys与Arg间产生拮抗作用,从而影响了大菱鲆的生长和饲料利用率。出现此现象的原因可能是Lys和Arg同为碱性氨基酸,在消化、吸收和吸收后的代谢水平存在竞争抑制<sup>[32]</sup>,过高的Lys与Arg作用通过减少Arg利用率导致机体Arg缺乏,降低饲料效率和蛋白质沉积,进而影响生长性能<sup>[5-6]</sup>。因此,随饲料中Lys添加量增加,有些种类鱼的生长表现为先增加后保持恒定不变<sup>[25,30,33-34]</sup>,而有些表现为先增加后下降<sup>[27-28,31]</sup>,究其原因可能是饲料中Arg含量不同

造成的,也可能是由鱼种间的差异造成。

先前研究结果表明,随着饲料中Arg添加量升高,多种鱼类生长表现出先升高然后进入平台期的趋势,如斑点叉尾鲟<sup>[11]</sup>、鲑(*Salmo salar*)<sup>[18]</sup>、舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)<sup>[35]</sup>、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)<sup>[36]</sup>和眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)<sup>[37]</sup>。然而,本实验双因素分析结果显示,饲料中Arg添加量对大菱鲆生长和饲料利用的影响并不显著。另外,本研究还发现,当Lys添加量为1.19%时,随饲料中Arg添加量升高,生长和饲料利用率表现为先增加后下降趋势,这与尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)<sup>[38]</sup>、遮目鱼(*Chanos chanos* Forsskål)<sup>[39]</sup>及斑节对虾(*Penaeus monodon*)<sup>[40]</sup>中的研究结果类似。然而,当饲料中不添加Lys时,Arg添加与否对大菱鲆生长和饲料利用均无显著影响。而当Lys添加过多时,添加Arg显著降低大菱鲆生长和饲料利用率。究其原因可能是只有当饲料中Lys适量时,或者Lys和Arg的比例最佳时,有利于促进生长;Lys不足或过量,大菱鲆均不能有效利用饲料中的Arg,从而影响饲料利用和蛋白质沉积,进而对生长产生了负面作用。

#### 3.2 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆体组成和形体指标的影响

研究发现,饲料中Arg和Lys含量对全鱼粗蛋白有交互作用;对粗脂肪、灰分和水分无交互影响。Arg和Lys添加量均显著影响全鱼粗脂肪含量,全鱼水分含量主要受饲料中Lys影响。无论Arg添加与否,鱼体粗蛋白均随饲料中Lys含量的添加而显著升高,且两个添加量间数值保持基本恒定不变。相似的研究结果在斑点叉尾鲟<sup>[41]</sup>、虹鳟<sup>[31,42]</sup>、花鲈<sup>[10]</sup>、军曹鱼<sup>[29]</sup>和大黄鱼<sup>[30]</sup>都有报道。然而,Alam等<sup>[36]</sup>在牙鲆上的研究发现,鱼体粗蛋白、粗脂肪、水分和灰分受饲料中Arg添加量影响显著,随Arg的添加,粗蛋白含量在Arg添加量为2.05%时达到显著最高。出现本实验结果的原因可能是Lys为基础饲料中第一限制氨基酸,当缺乏Lys时,加剧了饲料中氨基酸的不平衡,导致组织中氨基酸代谢库的不平衡,增加了组织中氨基酸作为能量的消耗,而用于合成蛋白质的氨基酸减少,致使鱼体滞留的粗蛋白含量降低。然而,也有一些研究者在其他鱼种上研究发现随着鱼体Lys增加并未发现全鱼体组成上的



不同<sup>[23,43-44]</sup>。

实验表明,饲料中 Lys 添加量对大菱鲆形体指标无显著交互作用。但随饲料中 Arg 或 Lys 添加量升高显著降低大菱鲆肝体比和脏体比。此结果与虹鳟<sup>[45]</sup>、金头鲷(*Sparus aurata* L.)<sup>[46]</sup>和舌齿鲈<sup>[35]</sup>上的研究结果类似,与 Luo 等<sup>[34]</sup>报道的结果相反。而对于 Arg 和 Lys 联合使用对其他鱼类的作用,国内外尚鲜见文献报道。

### 3.3 饲料中精氨酸和赖氨酸添加量对大菱鲆肌肉氨基酸含量的影响

研究结果表明,饲料中 Arg 和 Lys 的添加不仅影响 2 种氨基酸在肌肉中的含量,并且显著影响其他必需和非必需氨基酸的含量。实验发现,肌肉中包括 Arg 和 Lys 在内的绝大多数必需和非必需氨基酸的最低值均出现在 Arg 和 Lys 添加量分别为 0.9% 和 2.39% 组,这与大菱鲆的生长、饲料利用和蛋白质效率结果一致,即在此添加水平组 Arg 和 Lys 的拮抗作用最强。Berge 等<sup>[18-19]</sup>发现,随着鲑饲料中 Lys 含量的升高,影响了血浆 Arg 和尿素含量;同样,当升高饲料中 Arg 或 Lys 含量均会发现二者代谢性的相互作用。肌肉中 Arg 和 Lys 含量的最高值均出现在二者最高添加量组,推测原因可能是由于二者含量在一定范围内有较大的拮抗作用,一旦二者浓度达到一定阈值后,二者的吸收和沉积均可升高。同样的结果在鲑<sup>[19]</sup>中也有报道,结果表明,血浆和肌肉中 Lys 含量均随饲料中的 Lys 添加量的升高出现显著性升高后又降低然后显著升高。然而,除 Arg 和 Lys 外,其他绝大多数必需和非必需氨基酸含量的最高值出现在 Arg 添加量为 0%,赖氨酸添加量为 1.19% 或 2.39% 组,表现出随饲料中 Arg 的添加而显著降低的趋势,说明饲料中 Arg 添加量与其他氨基酸之间有负面的相互作用。实验发现,肌肉中 Arg 和 Lys 出现最高值的处理组与其他必需氨基酸出现最高值的处理组不同,这导致了相应处理组肌肉氨基酸的相对不平衡,不利于肌肉蛋白质的沉积,因此大菱鲆生长、饲料利用和蛋白质效率最高值组并不是肌肉各氨基酸出现最高值的处理组,而是在肌肉氨基酸组成相对平衡的 Lys 和 Arg 添加量分别为 1.19% 和 0.9% 组。

综合以上实验结果可知:(1)Lys 和 Arg 添加量分别为 1.19% 和 0.9% 时,大菱鲆有最大生长和饲料利用率;(2)饲料中 Lys 和 Arg 添加量对

饲料效率、鱼体蛋白质沉积和肌肉氨基酸含量有显著的交互作用;(3)大菱鲆的生长、饲料利用、体组成、形体指标和肌肉氨基酸含量受饲料 Lys 的影响大于 Arg;(4)饲料中 Lys 和 Arg 对大菱鲆生长、饲料利用和组织氨基酸沉积存在拮抗作用,当 Lys 和 Arg 添加量分别为 2.39% 和 0.9% 时拮抗作用最强。

### 参考文献:

- [1] Fournier V, Gouillou-Coustans M F, Metailler R, et al. Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilisation in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and turbot *Psetta maxima* [J]. *Aquaculture*, 2003, 217(1-4): 559-576.
- [2] NRC (National Research Council). *Nutrient Requirements of Fish* [M]. Washington D C, USA: National Academy Press, 1993.
- [3] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, et al. 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* [J]. *Aquaculture*, 1995, 133(3-4): 257-274.
- [4] Hauler R C, Carter C G. Reevaluation of the quantitative dietary lysine requirements of fish [J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2001, 9(3): 133-163.
- [5] Jones J D. Lysine-arginine antagonism in the chick [J]. *Journal of Nutrition*, 1964, 84(4): 313-321.
- [6] Jones J D, Wolters R, Burnett P C. Lysine-Arginine electrolyte relationships in the rat [J]. *The Journal of Nutrition*, 1966, 89(2): 171-188.
- [7] Jones J D, Petersburg S J, Burnett P C. The mechanism of the lysine-arginine antagonism in the chick; Effect of lysine on digestion, kidney arginase, and liver transaminase [J]. *The Journal of Nutrition*, 1967, 93(1): 103-116.
- [8] Fico M E, Hassan A S, Milner J A. The influence of excess lysine on urea cycle operation and pyrimidine biosynthesis [J]. *The Journal of Nutrition*, 1982, 112(10): 1854-1861.
- [9] Czarnecki G L, Hirakawa D A, Baker D H. Antagonism of arginine by excess dietary lysine in the growing dog [J]. *The Journal of Nutrition*, 1985, 115(6): 743-752.
- [10] Mai K S, Zhang L, Ai Q H, et al. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax*

- japonicas* [ J ]. Aquaculture, 2006, 258 ( 1 - 4 ): 535 - 542.
- [ 11 ] Robinson E H, Wilson R P, Poe W E. Arginine requirement and apparent absence of a lysine-arginine antagonist in fingerling channel catfish [ J ]. The Journal of Nutrition, 1981, 111(1):46 - 52.
- [ 12 ] Kim K I, Kayes T B, Amundson C H. Requirements for lysine and arginine by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [ J ]. Aquaculture, 1992, 106 ( 3 - 4 ): 333 - 344.
- [ 13 ] Chyng-Hwa L. Lysine and sulfur amino acid requirements of juvenile blue tilapia (*Oreochromis aureus*) [ D ]. Texas: Texas A & M University, 1989.
- [ 14 ] Griffin M E, Wilson K A, Brown P B. Dietary arginine requirement of juvenile hybrid striped bass [ J ]. The Journal of Nutrition, 1994, 124 ( 6 ): 888 - 893.
- [ 15 ] Twibell R G, Brown P B. Dietary arginine requirement of juvenile yellow perch [ J ]. The Journal of Nutrition, 1997, 127(9):1838 - 1841.
- [ 16 ] Kaushik S J, Fauconneau B. Effects of lysine administration on plasma arginine and on some nitrogenous catabolites in rainbow trout [ J ]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1984, 79(3):459 - 462.
- [ 17 ] Kaushik S J, Fauconneau B, Terrier L, et al. Arginine requirement and status assessed by different biochemical indices in rainbow trout (*Salmo gairdneri* L) [ J ]. Aquaculture, 1988, 70 ( 1 - 2 ): 75 - 95.
- [ 18 ] Berge G E, Lied E, Sveier H. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): The requirement and metabolism of arginine [ J ]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1997, 117(4):501 - 509.
- [ 19 ] Berge G E, Sveier H, Lied E. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): The requirement and metabolic effect of lysine [ J ]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1998, 120(3):447 - 485.
- [ 20 ] Ma A J, Wang X A, Lei J L. Genetic parameterization for turbot *Scophthalmus maximus*: Implication to breeding strategy. Oceanologia et Limnologia Scinica, 2009, 40 ( 2 ): 187 - 194. [ 马爱军, 王新安, 雷霖霖. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 不同生长阶段体重的遗传参数和育种值估计. 海洋与湖沼, 2009, 40(2):187 - 194. ]
- [ 21 ] Lei J L. Profile of turbot feeding in England [ J ]. Fisheries Science & Technology Information, 1983 ( 2 ): 26 - 27. [ 雷霖霖. 英国养殖大菱鲆简况. 水产科技情报, 1983(2):26 - 27. ]
- [ 22 ] Lei J L. Turbot farming technology [ M ]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2003, 8. [ 雷霖霖. 大菱鲆养殖技术. 上海: 上海科学技术出版社, 2003, 8. ]
- [ 23 ] Peres H, Oliva-Teles A. Lysine requirement and efficiency of lysine utilization in turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles [ J ]. Aquaculture, 2008, 275(1-4):283 - 290.
- [ 24 ] Liu Y, He G, Wang Q, et al. Hydroxyproline supplementation on the performances of high plant protein source based diets in turbot (*Scophthalmus maximus* L. ). Aquaculture, 2014, 433:476 - 80.
- [ 25 ] Ruchimat T, Masumoto T, Hosokawa H, et al. Quantitative lysine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) [ J ]. Aquaculture, 1997, 158 ( 3 - 4 ): 331 - 339.
- [ 26 ] Encarnação P, deLange C, Rodehutscord M, et al. Diet digestible energy content affects lysine utilization, but not dietary lysine requirements of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) for maximum growth [ J ]. Aquaculture, 2004, 235 ( 1 - 4 ): 569 - 586.
- [ 27 ] Wang S, Liu Y, Tian L, et al. Quantitative dietary lysine requirement of juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idella* [ J ]. Aquaculture, 2005, 249 ( 1 - 4 ): 419 - 429.
- [ 28 ] Ahmed I, Khan M A. Dietary lysine requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) [ J ]. Aquaculture, 2004, 235 ( 1 - 4 ): 499 - 511.
- [ 29 ] Zhou Q, Wu Z, Chi S, et al. Dietary lysine requirement for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [ J ]. Aquaculture, 2007, 273 ( 4 ): 634 - 640.
- [ 30 ] Zhang C, Ai Q H, Mai K S, et al. Dietary lysine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. [ J ]. Aquaculture, 2008, 283(1-4):123 - 127.
- [ 31 ] Cheng Z, Hardy R W, Usry J L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients [ J ]. Aquaculture, 2003, 215(1-4):255 - 265.
- [ 32 ] Wang J, Zhu S, Xu C. Biochemistry ( part ii ) [ M ]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 303 - 314.

- [王镜岩,朱圣庚,徐长法.生物化学(下册).北京:高等教育出版社,2003:303-314.]
- [33] Forster I, Ogata H Y. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major* [J]. *Aquaculture*, 1998, 161(1-4):131-142.
- [34] Luo Z, Liu Y, Mai K S, *et al.* Quantitative L-lysine requirement of juvenile grouper *Epinephelus coioides* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(3):165-172.
- [35] Tibaldi E, Tulli F, Lanari D. Arginine requirement and effect of different dietary arginine and lysine levels for fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Aquaculture*, 1994, 127(2-3):207-218.
- [36] Alam M S, Teshima S, Koshio S, *et al.* Arginine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* estimated by growth and biochemical parameters [J]. *Aquaculture*, 2002, 205(1-2):127-140.
- [37] Barziza D E, Buentello J A, Gatlin D M. Dietary arginine requirement for juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) based on weight gain and feed efficiency [J]. *The Journal of Nutrition*, 2000, 130(7):1796-1799.
- [38] Santiago C B, Lovell R T. Amino acid requirements for growth of Nile tilapia [J]. *The Journal of Nutrition*, 1988, 118(12):1540-1546.
- [39] Borlongan I G, Coloso R M. Requirements of juvenile milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) for essential amino acids [J]. *The Journal of Nutrition*, 1993, 123(1):125-132.
- [40] Millamena O M, Bautista-Teruel M N, Reyes O S. Requirements of juvenile marine shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius) for lysine and arginine [J]. *Aquaculture*, 1998, 164(1-4):95-104.
- [41] Zarate D D, Lovell R T. Free lysine (L-lysine · HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 1997, 159(1-2):87-100.
- [42] Rodehutsord M, Borchet F, Gregus Z, *et al.* Availability and utilization of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): 1. Effect of dietary crude protein level [J]. *Aquaculture*, 2000, 187(1-2):163-176.
- [43] Borlongan I G, Benitez L V. Quantitative lysine requirement of milkfish (*Chanos chanos*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 1990, 87(3-4):341-347.
- [44] Tantikitti C, Chimsung N. Dietary lysine requirement of freshwater catfish (*Mystus nemurus* Cuv. & Val.) [J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32 (suppl. 1):135-141.
- [45] Walton M J, Cowey C B, Adron J W. The effect of dietary lysine levels on growth and metabolism of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. *British Journal of Nutrition*, 1984, 52(1):115-122.
- [46] Marcouli P A, Alexis M N, Andriopoulou A, *et al.* Dietary lysine requirement of juvenile gilthead seabream *Sparus aurata* L [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(1):25-33.

## Effects of lysine-arginine interaction on growth performance, body composition, and muscle amino acid levels of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)

DAI Weiwei, MAI Kangsen, XU Wei, ZHANG Yanjiao, AI Qinghui\*

(Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** A feeding experiment was conducted to investigate the effects of lysine, arginine and their interaction on the growth performance, whole body composition and muscle amino acid levels of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [initial weight ( $18.48 \pm 0.16$ ) g]. Nine isonitrogenous and isoenergetic diets according to a  $3 \times 3$  factorial were designed; the basal diet as the control diet supplemented with three levels of arginine (0%, 0.9% and 2.0%) crossed with lysine (0%, 1.19% and 2.39%). Each diet was randomly allocated to triplicate groups of juvenile turbot for 10 weeks. The results showed that the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) were significantly increased at the level of lysine (1.19%) supplement diets ( $P < 0.05$ ), while the addition of arginine had no additional effect ( $P > 0.05$ ). Dietary lysine and arginine had significant interactions on feed efficiency rate (FER), protein efficiency rate (PER), protein retention (PR) and crude protein content ( $P < 0.05$ ), the maximal value of which was obtained at the levels of lysine (1.19%) and arginine (0.9%) supplement diet. However, weight gain (WGR), the specific growth rate (SGR), crude lipid content, ash and body indexes were not affected by the interaction of arginine and lysine ( $P > 0.05$ ). Crude lipid content and moisture were decreased with the increased levels of lysine ( $P < 0.05$ ), while the gradient arginine showed no significant effect ( $P > 0.05$ ). Hepatosomatic indexes (HSI) and visceral indexes (VSI) were greatly reduced with the increased levels of both lysine and arginine ( $P < 0.05$ ). Dietary lysine and arginine had significant interactions on majority muscle individual amino acid levels, the minimum value of which was obtained at the levels of lysine (2.39%) and arginine (0.9%) supplement diet ( $P < 0.05$ ). It was concluded that lysine and arginine had interaction for the aspects of feed efficiency, body protein retention and muscle individual amino acid levels, while the interaction effect of the growth and body index does not exist; juvenile turbot maintained maximal growth and feed efficiency at the supplement levels of lysine (1.19%) and arginine (0.9%); compared to arginine, lysine seems to be the major factor, proper supplementation promotes growth, while excessive level inhibits turbot growth, feed efficiency and muscle amino acids retention through the antagonism with arginine.

**Key words:** turbot; lysine; arginine; growth; interaction; antagonism

**Corresponding author:** AI Qinghui. E-mail: qhai@ouc.edu.cn