



利用棉籽浓缩蛋白替代条纹锯鲈饲料鱼粉的潜力

张静雅¹, 任 幸¹, 李伟业², 柳敏海³, 王 力¹, 王 岩^{1*}

(1. 浙江大学海洋学院, 浙江 舟山 316021;

2. 舟山市水产研究所, 浙江 舟山 316000;

3. 浙江万里学院, 海洋生物种业研究院, 浙江 宁波 315100)

摘要: 通过 10 周生长实验评价了利用棉籽浓缩蛋白替代条纹锯鲈饲料鱼粉的潜力。采用单因素实验设计, 设 4 个鱼粉替代水平。对照饲料 (C) 中鱼粉含量为 35%, 通过添加棉籽浓缩蛋白分别替代饲料 C 中鱼粉的 40%(R40)、60%(R60) 和 80%(R80)。每个处理设 3 个重复。实验鱼初始体质量为 (29.5±0.5) g。实验期间, 每天分 2 次按饱食量投喂实验饲料。结果发现, 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对鱼摄食、生长、饲料利用效率、鱼体组成和养殖废物(氮、磷和碳)排放量无显著影响, 但单位鱼产量鱼粉消耗量 (RCP) 随饲料鱼粉含量下降而降低。基于生长、饲料成本、饲料利用效率、对环境的影响和 RCP 进行综合分析, 研究表明, 投喂饲料 R80 时的养殖效益与投喂饲料 R40 和 R60 时存在较大差异, 通过添加棉籽浓缩蛋白可将条纹锯鲈饲料鱼粉含量降低至 7%。

关键词: 条纹锯鲈; 棉籽浓缩蛋白; 生长; 饲料利用效率; 废物排放; 鱼粉依赖性

中图分类号: S 963.31

文献标志码: A

随着世界人口数量的增加, 水产养殖在满足人类对优质食品蛋白需求方面所发挥的作用愈来愈大^[1]。2016 年鱼类养殖产量超过水产动物养殖总产量的 67%, 由于多数鱼类养殖中需要人工投饵^[1], 故饲料对鱼类养殖产量和成本具有重要的影响。鱼粉是鱼类饲料配方中最常用的优质蛋白源, 但其资源有限、价格昂贵, 减少饲料鱼粉用量是实现水产养殖产业可持续发展的必经之路^[2]。20 世纪 70 年代中期, 国外学者开始利用各种廉价动物或植物蛋白源替代鱼类饲料中鱼粉的研究^[3], 迄今替代鱼粉仍是鱼类营养和饲料研究的热点。现已证实通过合理添加各种陆生动物或植物蛋白原料, 如鸡肉粉、大豆浓缩蛋白、豆粕等, 可减少鱼类饲料中鱼粉的用量^[4-7]。然而, 由于现有的替代蛋白原料往往存在氨基酸组成不平衡(缺乏蛋氨酸等必需氨基

酸)、蛋白质消化率低、含有抗营养因子等问题, 完全替代肉食性鱼类饲料中的鱼粉仍然存在技术方面的困难^[7-8]。与大豆蛋白原料(大豆浓缩蛋白和豆粕等)相比, 棉粕粗蛋白含量较高(> 50%), 价格较低^[9], 但棉粕中所含的游离棉酚对鱼类有毒, 限制了其在鱼饲料中的添加量。棉籽浓缩蛋白是一种在压榨工艺基础上进一步经过溶剂提取生产的新型饲料蛋白源, 其粗蛋白含量(> 60%) 高于棉粕, 而游离棉酚含量低于后者。研究表明, 通过添加脱酚棉粕可将虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 饲料中的鱼粉含量降低至 23%^[10]; 通过添加脱酚棉籽蛋白可将花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 饲料中的鱼粉含量降低至 23%^[11]; 通过添加棉粕可将长丝异鳃鲈 (*Heterobranchus longifilis*) 饲料中的鱼粉含量降低至 33%^[12]。根据现有资料, 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉的研究仅见对

收稿日期: 2019-11-06 修回日期: 2020-04-04

资助项目: 国家自然科学基金(31772868)

通信作者: 王岩, E-mail: ywang@zju.deu.cn

珍珠龙胆石斑鱼 [*Epinephelus fuscoguttatus*(♀)×*E. lanceolatus*(♂)]^[13] 和卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)^[14] 的报道。

条纹锯鲷(*Centropristis striata*) 属鲈形目 (Perciformes)、鲷科 (Serranidae)、锯鲷属 (*Centropristis*), 又名美洲黑石斑, 主要栖息在美国缅因州湾至佛罗里达州北部沿海海域。2002年我国引进条纹锯鲷, 先后在山东、福建、上海等沿海地区进行工厂化养殖或网箱养殖。有关条纹锯鲷的营养需求和饲料研究已有一些资料。国外学者报道条纹锯鲷幼鱼适宜的饲料蛋白和脂肪水平分别为 45% 和 10%~12%^[15-16]。Anderson 等^[9]报道, 利用脱酚棉籽蛋白粉可完全替代条纹锯鲷饲料中的鱼粉, 而在其他研究中通过添加鸡肉粉和豆粕可将其饲料鱼粉含量分别降低至 7% 和 16%^[8, 17]。上述结果表明, 脱酚棉籽蛋白粉替代条纹锯鲷饲料鱼粉的效果优于鸡肉粉和豆粕, 这与普遍认为利用鸡肉粉替代鱼类饲料鱼粉的效果优于植物蛋白原料的观点相悖。本实验利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对条纹锯鲷摄食、生长、食物利用、鱼体组成和养殖废物排放的影响进行研究, 以探讨棉籽浓缩蛋白作为条纹锯鲷饲料蛋白源的潜力, 为开发低鱼粉配合饲料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼、饲料原料和实验饲料

实验在舟山市水产研究所朱家尖实验基地进行。所用条纹锯鲷购自舟山市普陀区优辰水产养殖专业合作社, 实验前用活水船将鱼运送至基地, 暂养在流水养殖实验系统中, 该实验系

统由 36 个容积为 200 L 的聚乙烯水槽(直径 68.5 cm, 高 73.0 cm)、进水管和供气管道构成。暂养期间投喂鱼粉含量为 35% 的实验饲料, 养殖水源为经过沉淀、砂滤的海水。

所用棉籽浓缩蛋白 (CPC) 由湖南欣瑞生物科技有限公司 (湖南, 常德) 提供。其他饲料原料包括超级蒸汽干燥鱼粉 (新西兰), 宠物级鸡肉粉 (美国), 去皮豆粕、高筋面粉和鱼油等 (浙江科盛饲料股份有限公司, 绍兴)。饲料原料营养组成见表 1。

采用单因素设计, 设 4 个饲料鱼粉水平。对照饲料 (C) 中鱼粉含量为 35%, 其余 3 个处理中分别按等蛋白替代的原则, 利用 CPC 替代饲料 C 中鱼粉的 40%(R40)、60%(R60) 和 80%(R80)。饲料 R40、R60 和 R80 的鱼粉含量分别为 21%、14% 和 7%, CPC 含量分别为 15.1%、22.6% 和 30.2%。所有实验饲料粗蛋白含量为 43%, 脂肪含量为 10%, 总能含量为 18 MJ/kg。

将所用的饲料原料粉碎, 过 80 目筛, 根据实验配方逐一称重各原料并依次用手混合均匀 (最后加入鱼油并用手搓匀)。将手工混合的原料转入饲料搅拌机, 加入适量水继续混合 10 min, 然后用 SLP-450 型单螺杆饲料膨化机 (中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海) 制粒。饲料颗粒直径为 3 mm, 长度为 8 mm。将饲料在室温 (25 °C) 下风干后, 装入自封袋内, 使用前保存在冰箱 (-20 °C) 中。实验饲料配方及营养组成见表 2。

1.2 养殖实验过程

实验开始前 1 周从暂养水槽中捕捞并挑选

表 1 饲料原料营养组成

Tab. 1 Proximate composition of the feed ingredients

原料 ingredient	干物质/% dry matter	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash	总能/(MJ/kg) gross energy
鱼粉 fish meal	92.3	66.8	11.0	16.4	18.6
棉籽浓缩蛋白 cottonseed protein concentrate	93.1	62.0	0.6	7.6	17.4
鸡肉粉 poultry by-product meal	95.6	68.4	11.8	12.2	20.4
豆粕 soybean meal	89.1	47.7	2.0	6.1	17.4
面粉 wheat flour	86.6	16.5	2.1	1.1	15.7
蛋白混合物 protein mix	90.5	61.5	1.4	4.2	15.0

注: 粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能表示为自然储存条件下原料的含量, 数据为 2 次测定结果的平均值

Notes: crude protein, crude lipid, ash and gross energy are expressed as the situation stored in air ($n=2$)

表 2 实验饲料配方和营养组成

Tab. 2 Formulation and proximate composition of the test diets

原料 ingredient	C	R40	R60	R80
鱼粉/% fish meal	35.0	21.0	14.0	7.0
棉籽浓缩蛋白/% cottonseed protein concentrate		15.1	22.6	30.2
鸡肉粉/% poultry by-product meal	10.0	10.0	10.0	10.0
豆粕/% soybean meal	13.0	13.0	13.0	13.0
蛋白混合物/% protein mix	10.0	10.0	10.0	10.0
面粉/% wheat flour	15.5	15.5	15.5	15.5
氯化胆碱/% choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ /%	2.0	2.0	2.0	2.0
膨润土/% bentonite	5.2	2.6	1.4	0.1
牛磺酸/% taurine	0.5	0.5	0.5	0.5
赖氨酸/% lysine	0.5	0.5	0.5	0.5
蛋氨酸/% methionine	0.2	0.2	0.2	0.2
维生素和矿物质预混物/% vitamin and mineral premix	1.5	1.5	1.5	1.5
鱼油/% fish oil	6.4	7.9	8.6	9.3
干物质/% dry matter	86.6	84.0	85.9	85.2
粗蛋白/% crude protein	43.3	43.1	43.5	43.5
粗脂肪/% crude lipid	9.8	9.8	10.0	10.7
灰分/% ash	15.0	11.7	9.8	8.2
磷/% phosphorus	1.5	1.5	1.3	1.3
总能/(MJ/kg) gross energy	17.3	17.5	17.9	18.4

注: 维生素和矿物质预混物每kg饲料提供维生素A, 18 000 IU; 维生素D₃, 3 000 IU; 维生素E, 225 mg; 维生素K₃, 15 mg; 维生素B₁, 30 mg; 维生素B₂, 30 mg; 维生素B₆, 37.5 mg; 维生素B₁₂, 0.15 mg; D-生物素, 1.2 mg; D-泛酸钙, 90 mg; 叶酸, 9 mg; 烟酰胺, 150 mg; 维生素C, 270 mg; 肌醇, 300 mg; FeSO₄, 180 mg; CuSO₄·5H₂O, 15 mg; MnSO₄·4H₂O, 15 mg; ZnSO₄, 75 mg; MgSO₄·7H₂O, 120 mg; CoCO₃, 0.9 mg; KI, 0.975 mg; Na₂SeO₃, 0.375 mg; C₁₄H₁₉NO, 5 mg。粗蛋白、粗脂肪、灰分、磷和总能表示为自然储存条件下饲料的含量, 数据为2次测定结果的平均值

Notes: vitamin and mineral premix provides per kg of feed: vitamin A, 18 000 IU; vitamin D₃, 3 000 IU; vitamin E, 225 mg; vitamin K₃, 15 mg; vitamin B₁, 30 mg; vitamin B₂, 30 mg; vitamin B₆, 37.5 mg; vitamin B₁₂, 0.15 mg; D-biotin, 1.2 mg; D-calcium pantothenate, 90 mg; folic acid, 9.0 mg; niacinamide, 150 mg; vitamin C, 270 mg; inositol, 300 mg; FeSO₄, 180 mg; CuSO₄·5H₂O, 15 mg; MnSO₄·4H₂O, 15 mg; ZnSO₄, 75 mg; MgSO₄·7H₂O, 120 mg; CoCO₃, 0.9 mg; KI, 0.975 mg; Na₂SeO₃, 0.375 mg; C₁₄H₁₉NO, 5 mg. Crude protein, crude lipid, ash, phosphorus and gross energy are expressed as the situation stored in air (n=2)

出 360 尾个体大小相近、健康的鱼, 驯养在流水养殖系统的 12 个水槽中 (每个水槽中放养 30 尾鱼)。驯养期间每天 9:00 和 15:00 分别按饱食量投喂饲料 C。实验开始时将驯养的鱼停食 24 h, 然后将所有鱼集中在 2 个水槽中, 每次随机捕捞 24 尾鱼, 分批称重后依次放入 12 个实验水槽中 (每个处理设 3 个重复)。实验鱼初始体重为 (29.5±0.5) g (n=12)。放养完成后从剩余的驯养鱼中随机选 3 组鱼 (每组 15 尾), 测量其体长、体质量和肝脏重, 然后保存在 -20 °C 下作为分析鱼体初始组成的样品。

养殖实验时间为 10 周, 实验期间每天 9:00 和 15:00 分别按饱食量投喂实验饲料。每天 24 h

连续流水, 流速为 0.03 L/s。每天下午 17:00 利用虹吸法清除水槽底部沉积的粪便。每天用表面温度计和 HOBO Pendant UA-002-64 水温记录仪 (Onset, 美国) 测定水槽内的水温 (水温记录仪每隔 30 min 自动记录水温变化)。每周用 IS/Mill-E 盐度计 (AS ONE Corporation, 日本) 测量盐度。实验期间水温为 (21.5±2.5) °C (n=3 360, 变化范围为 17.0~28.9 °C), 盐度为 24±2.2 (n=10, 变化范围为 21~27)。

实验结束时将鱼停食 24 h, 然后将各水槽中的鱼依次麻醉、捕出并成批称重。所用麻醉剂为丁香酚 (将丁香酚按 1:9 的比例溶于无水乙

醇中,使用浓度为80 mg/L)。从每个水槽中随机取3尾鱼,测量其体长、体质量和肝脏重,然后将鱼保存在-20℃下作为分析实验结束时鱼体组成的样品。

1.3 化学分析

将实验开始和结束时所取的鱼样品从冰箱中取出,在室温下解冻后放入高压蒸汽灭菌锅蒸煮20 min(蒸煮温度为120℃)。待样品冷却后匀浆、在105℃烘箱中烘干、称重、粉碎并过80目筛。根据AOAC^[18]方法分别测定饲料原料、实验饲料和实验鱼的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和磷含量。粗蛋白含量用FOSS 8400凯氏定氮仪(FOSS,瑞典)测定,脂肪含量用SZF-06A脂肪抽提仪(上海新嘉电子有限公司,中国)测定。样品碳含量用EA3000 CHNS元素分析仪(Euro Vector,意大利)测定,总能用Parr 6200氧弹仪(Parr,美国)测定。

1.4 数据计算与统计分析

摄食率、鱼体增重(WG)、饲料系数(FCR)、饲料营养物质或能量储积效率(氮:NRE;磷:PRE;碳:CRE;能量:ERE)、肥满度、肝体比(HSI)、饲料废物排放量(氮:NW;磷:PW;碳:CW)以及单位鱼产量鱼粉消耗量(RCP)分别按下述公式计算:

$$\text{摄食率}(\%/d) = I / [(N_t + N_0) / 2 \times (W_0 / N_0 + W_t / N_t) / 2 \times t] \times 100\%$$

$$WG(g) = W_t / N_t - W_0 / N_0$$

$$FCR = I / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$NRE(\%) = (W_t \times C_{Nt} - W_0 \times C_{N0} + W_d \times C_{Nd}) / [I \times C_{Nf}] \times 100\%$$

$$PRE(\%) = (W_t \times C_{Pt} - W_0 \times C_{P0} + W_d \times C_{Pd}) / [I \times C_{Pf}] \times 100\%$$

$$CRE(\%) = (W_t \times C_{Ct} - W_0 \times C_{C0} + W_d \times C_{Cd}) / [I \times C_{Cf}] \times 100\%$$

$$ERE(\%) = (W_t \times C_{Et} - W_0 \times C_{E0} + W_d \times C_{Ed}) / [I \times C_{Ef}] \times 100\%$$

$$\text{肥满度}(g/cm^3) = 100 \times W_s / L_s^3$$

$$HSI(\%) = W_L / W_s \times 100\%$$

$$NW[g N/(kg \text{ 鱼产量})] = 1000 \times (I \times C_{Nf}) \times (1 - NRE / 100) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$PW[g P/(kg \text{ 鱼产量})] = 1000 \times (I \times C_{Pf}) \times (1 - PRE / 100) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$CW[g C/(kg \text{ 鱼产量})] = 1000 \times (I \times C_{Cf}) \times (1 - CRE / 100) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$RCP[g \text{ 鱼粉消耗量}/(g \text{ 鱼产量})] = WG \times FCR \times FL / (W_t / N_t \times DMF_t - W_0 / N_0 \times DMF_0 + W_d / N_d \times DMF_d)$$

式中, $I(g)$ 为实验期间每个水槽内投喂的饲料质量; $W_0(g)$ 和 $W_t(g)$ 分别为实验开始和结束时每个水槽内实验鱼整体体质量; N_0 和 N_t 分别为实验开始和结束时每个水槽内实验鱼尾数; $t(d)$ 为生长实验时间; $W_d(g)$ 为每个水槽内死鱼的质量; $C_{N0}(\%)$ 、 $C_{Nt}(\%)$ 和 $C_{Nd}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体的粗蛋白含量以及死鱼的鱼体粗蛋白含量; $C_{P0}(\%)$ 、 $C_{Pt}(\%)$ 和 $C_{Pd}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体的磷含量以及死鱼的鱼体磷含量; $C_{C0}(\%)$ 、 $C_{Ct}(\%)$ 和 $C_{Cd}(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体碳含量以及死鱼的鱼体碳含量; $C_{E0}(MJ/kg)$ 、 $C_{Et}(MJ/kg)$ 和 $C_{Ed}(MJ/kg)$ 分别为实验开始和结束时鱼体总能以及死鱼的鱼体总能; $C_{Nf}(\%)$ 、 $C_{Pf}(\%)$ 、 $C_{Cf}(\%)$ 以及 $C_{Ef}(\%)$ 分别为饲料粗蛋白、磷、碳和总能含量; $W_s(g)$ 、 $L_s(cm)$ 和 $W_L(g)$ 分别为实验结束时所取鱼样品的体质量、体长和肝脏质量; $FL(\%)$ 为饲料中鱼粉含量; $DMF_0(\%)$ 、 $DMF_t(\%)$ 和 $DMF_d(\%)$ 分别为实验开始和结束时鱼体干重和死鱼的鱼体干物质含量。

用单因素方差分析检验饲料鱼粉替代水平对摄食率、WG、FCR、NRE、PRE、CRE、ERE、肥满度、HSI、NW、PW、CW、RCP和鱼体组成(水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、磷、碳和总能含量)的影响,若处理效应显著,则进一步用邓肯氏检验(Duncan's test)比较各处理间的差异。方差分析前对用百分数表示的数据,如存活率、摄食率、NRE、PRE、CRE、ERE、RCP、肝体比和鱼体组成等进行反正弦变换。依据生长速度、饲料成本、饲料利用效率、养殖污染和对渔业资源的影响等5个方面进行聚类分析,综合评价饲料鱼粉替代对养殖效益的影响。方差分析、邓肯氏检验和聚类分析利用SPSS软件(IBM SPSS Statistics 20,美国)完成,取 $P < 0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果

2.1 条纹锯鲷存活、摄食、生长和饲料利用效率

不同饲料鱼粉替代水平下鱼类存活率存在显

著差异(ANOVA, $P < 0.05$), 但 WG、摄食率、FCR、CRE、NRE、PRE 和 ERE 无显著差异(ANOVA, $P > 0.05$)。摄食饲料 C 的鱼存活率明显低于摄食饲料 R60 和 R80 的鱼(Duncan's test, $P < 0.05$)(表 3)。

表 3 条纹锯鲷存活、生长、摄食和饲料利用效率

Tab. 3 Survival, growth, feed intake and feed utilization efficiency of *C. striata* fed the test diets

饲料 diet	鱼末重/(g/尾) final body weight	增重/g weight gain	摄食率/(%/d) feed intake	饲料系数 FCR	氮储积率/% NRE	磷储积率/% PRE	碳储积率/% CRE	能量储积率/% ERE	存活率/% survival
C	66.4±2.5	36.6±2.2	1.49±0.19	1.46±0.21	27.6±5.6	36.7±8.8	28.5±5.2	31.2±6.9	85 ^a
R40	62.8±2.5	33.6±2.3	1.39±0.06	1.50±0.13	25.6±1.8	32.6±4.7	28.3±2.4	29.5±2.9	90 ^{ab}
R60	61.7±2.5	32.4±2.6	1.37±0.02	1.48±0.06	27.0±1.8	36.1±3.5	27.1±4.9	28.5±5.4	94 ^b
R80	63.2±3.2	33.5±2.9	1.27±0.07	1.24±0.04	31.3±0.6	40.5±4.1	33.1±3.6	34.3±2.2	93 ^b

注: FCR为饲料系数; NRE为氮储积率; PRE为磷储积率; CRE为碳储积率; ERE为能量储积率。数据表示为平均值±SD。上标字母表示邓肯检验结果, 同列字母不同者表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: FCR, feed conversion ratio; NRE, nitrogen retention efficiency; PRE, phosphorus retention efficiency; CRE, carbon retention efficiency; ERE, energy retention efficiency. Datas are presented as mean±SD ($n=3$). The superscripts represent the result of Duncan's test, and the data with different letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$

2.2 条纹锯鲷肥满度、肝体比和鱼体组成

饲料鱼粉替代水平对肥满度、肝体比、鱼体组成和总能含量无显著影响(ANOVA, $P > 0.05$)。

实验结束时, 摄食饲料 C、R40、R60 和 R80 鱼在肥满度、肝体比、鱼体组成和总能含量方面无显著差异(Duncan's test, $P > 0.05$)(表 4)。

表 4 条纹锯鲷肥满度、肝体比和鱼体组成

Tab. 4 Condition factor, hepatosomatic index and body composition of *C. striata* fed the test diets

饲料 diet	肥满度/(g/cm ³) condition factor	肝体比/% hepatosomatic index	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash	磷/% phosphorus	碳/% carbon	总能/(MJ/kg) gross energy
初始 initial	2.85±0.10	1.98±0.33	69.5±0.3	16.8±0.2	8.5±0.3	5.2±0.0	1.19±0.05	15.1±0.7	7.2±0.1
C	3.37±0.30	1.79±0.48	69.9±1.0	16.6±0.3	9.3±0.6	4.3±0.1	0.93±0.04	15.2±0.8	7.5±0.3
R40	3.05±0.39	1.80±0.12	69.7±0.4	16.5±0.3	9.5±0.2	4.3±0.1	0.94±0.04	15.8±0.5	7.5±0.2
R60	2.91±0.17	1.59±0.21	70.0±1.1	16.6±0.0	9.1±1.1	4.3±0.1	0.93±0.02	15.3±1.0	7.4±0.5
R80	3.18±0.31	1.47±0.20	69.8±0.7	16.4±0.2	9.4±0.5	4.2±0.1	0.88±0.01	15.8±0.9	7.5±0.2

注: 数据表示为平均值±SD

Notes: datas are presented as mean±SD ($n=3$)

2.3 条纹锯鲷养殖对环境的影响

饲料鱼粉替代水平对氮、磷和碳废物排放量无显著影响(ANOVA, $P > 0.05$), 但对单位鱼产量鱼粉消耗量产生显著影响(ANOVA, $P < 0.05$)。随饲料鱼粉含量下降, 单位鱼产量鱼粉消耗量显著降低(Duncan's test, $P < 0.05$)(表 5)。

2.4 条纹锯鲷养殖效益的综合评价

根据 WG、FCR、NRE、NW 和 RCP 进行聚类分析的结果表明, 饲料鱼粉替代水平可影响条纹锯鲷养殖效益(产量、成本、饲料利用效率、环境污染和养殖对鱼粉的依赖性)。投喂饲料 C、R40 和 R60 时的养殖效益接近, 而投喂饲料 R80

时的养殖效益与投喂饲料 C、R40 和 R60 时存在较大差异(图 1)。

3 讨论

3.1 评价饲料鱼粉替代潜力的方法

关于饲料鱼粉替代的确切定义至今未见明确的阐述。以往研究中通常将饲料鱼粉替代理解为通过添加一种或数种替代蛋白源直接替代饲料配方中鱼粉的百分比, 根据这一理解, 多数研究依据替代蛋白源替代基础配方中鱼粉的最高百分比来评价替代蛋白源可替代饲料鱼粉的潜力^[19]。Wang 等^[20]发现当采用替代蛋白源替代基础配方中鱼粉的最高百分比这一评价标准

表 5 条纹锯鲷养殖的氮、磷和碳废物排放量和饲料鱼粉生产效率

Tab. 5 Wastes of nitrogen, phosphorus and carbon and ratio of fish meal consumption to fish production in *C. striata* fed the test diets

饲料 diet	氮排放量/[g N/(kg鱼产量)] nitrogen waste	磷排放量/[g P/(kg鱼产量)] phosphorus waste	碳排放量/[g C/(kg鱼产量)] carbon waste	单位鱼产量鱼粉消耗量/ [g鱼粉消耗量/(g鱼产量)] ratio of fish meal consumption to fish production
C	73.9±18.2	14.1±4.3	371.2±100.4	0.79±0.12 ^d
R40	77.0±9.9	15.2±1.9	425.2±56.3	0.54±0.04 ^e
R60	75.2±5.7	12.6±1.2	440.0±50.5	0.35±0.02 ^b
R80	59.4±2.9	9.3±1.0	352.4±10.3	0.14±0.03 ^a

注：数据表示为平均值±SD。上标字母表示邓肯氏检验结果，同列字母不同者表示差异显著($P<0.05$)

Notes: datas are presented as mean±SD ($n=3$). The superscripts represent the result of Duncan's test, and the data with different letters in the same column are significantly different at $P<0.05$

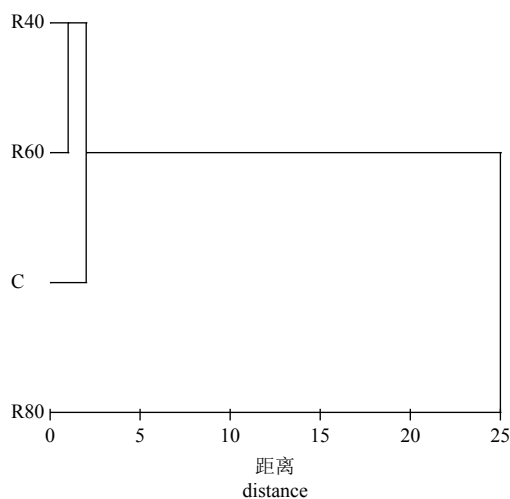


图 1 条纹锯鲷养殖效益分析

Fig. 1 Analysis of production benefits between *C. striata* fed the test diets

时，替代效果很大程度上取决于基础配方中的鱼粉含量，当基础配方中鱼粉含量过高时，会导致过高估计替代蛋白源替代饲料鱼粉的潜力。例如，当基础配方中鱼粉含量为 70% 时，替代 50% 的鱼粉后，配方中的鱼粉含量为 35%^[8]；而当基础配方中鱼粉含量为 35% 时，替代 50% 的鱼粉后，配方中的鱼粉含量仅为 17.5%^[20]。因此，Wang 等^[19-20]认为，添加替代蛋白源后，配方尚存的最低鱼粉含量比替代蛋白源可替代的基础配方中鱼粉的最高百分比能够更恰当地反映出有效替代饲料鱼粉的水平。此外，多数研究根据生长性能和 FCR 评价饲料鱼粉替代潜力，Wang 等^[19, 21]认为评价饲料鱼粉替代的效益时还应考虑对环境的污染和对自然资源的影响。根据上述观点，本研究中采用配方中的最低鱼粉

含量作为评价棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉潜力的标准，从生长、饲料成本、饲料利用效率、对环境的影响和对渔业资源的影响(鱼粉依赖性)5 个方面综合评价替代饲料鱼粉的效益。

在饲料鱼粉替代的研究中，常采用单因素实验设计，利用方差分析评价鱼粉替代水平的效应。方差分析的判定结果很大程度上取决于不同处理组间及其组内不同重复间的数据的变异程度，当同一处理组内不同重复间结果变异较大时，常常掩盖处理间的差异。在鱼类养殖生产中，尽管有时改变饲料鱼粉水平对有限养殖单元所产生的有益影响在统计学上不显著，但由于养殖规模效应的存在，一些小的技术进步仍然对养殖产业产生积极的、巨大的促进作用。为了解决上述矛盾，Zhang 等^[22]提出在方差分析的基础上结合多元统计分析方法综合评价饲料鱼粉替代的效益，聚类分析依据的指标包括生长(增重)、FCR、对环境的影响(氮废物排放量)和养殖对鱼粉的依赖性(单位鱼产量鱼粉消耗量)。根据上述观点，本研究中结合单因素方差分析和聚类分析综合评价了利用棉籽浓缩蛋白替代条纹锯鲷饲料鱼粉的效益。

3.2 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对存活、生长和饲料利用效率的影响

本研究中，条纹锯鲷的存活率为 85%~93%，且不同饲料处理间存活率存在显著差异。早期针对花鲈^[21]、卵形鲳鲹^[23]和大口黑鲈(*Microp-terus salmoides*)^[24]饲料鱼粉替代的实验中鱼类存活率往往超 90%，相比之下，本研究中条纹锯鲷存活率较低。Sullivan 等^[25]报道条纹锯鲷的致死

温度上限为 33.6 °C。本实验中, 驯养阶段水温一度高达 31.8 °C, 估计驯养阶段水温过高可能是导致对照组成活率较低的原因, 但这一猜测有待进一步实验证明。通过添加棉籽浓缩蛋白, 将饲料鱼粉含量从 35% 降低到 7%, 对摄食率、WG、FCR、NRE、PRE、CRE 和 ERE 无显著影响, 初步证实利用棉籽浓缩蛋白作为替代蛋白源时可将条纹锯鲈饲料鱼粉水平降低至 7%。Anderson 等^[9]报道, 通过添加脱酚棉籽蛋白可将条纹锯鲈(初始体质量 7.7 g) 饲料中鱼粉含量降低至 0%。在其他研究中, 通过添加脱酚棉粕可将虹鳟(初始体质量 39.2 g) 饲料鱼粉含量从 45% 降低至 23%^[10], 将花鲈(初始体质量 5.0 g) 饲料鱼粉含量从 45% 降低至 23%^[11]; 通过添加棉粕可将长丝异鳃鲈(初始体质量 12.0 g) 饲料鱼粉含量从 52% 降低至 33%^[12]; 通过添加棉籽浓缩蛋白可将卵形鲳鲹(初始体质量 25.5 g) 和珍珠龙胆石斑鱼(初始体质量 11.0 g) 饲料鱼粉含量分别降低至 14% 和 40%^[13-14]。鉴于棉籽浓缩蛋白的蛋白含量高于脱酚棉粕, 而游离棉酚和棉籽糖含量低于后者, 初步推测利用棉籽浓缩蛋白替代条纹锯鲈饲料鱼粉的效果应优于脱酚棉粕。由于本实验所设计的最低饲料鱼粉水平为 7%, 无法判断是否可利用棉籽浓缩蛋白作为主要蛋白源配制无鱼粉条纹锯鲈饲料, 尚需进一步的实验来比较棉籽浓缩蛋白与鸡肉粉作为条纹锯鲈饲料鱼粉替代蛋白源的潜力。

必需氨基酸和功能性氨基酸含量是影响饲料蛋白质利用的重要因素之一^[7, 26]。与动物性蛋白原料相比, 植物性蛋白原料中含硫氨基酸(牛磺酸和蛋氨酸等)含量较低^[27-28]。棉籽浓缩蛋白中的赖氨酸含量低于鱼粉^[29], 因此利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉时, 饲料中赖氨酸含量将随替代水平增加而逐渐降低。本实验中, 在饲料配方中添加了晶体 DL 蛋氨酸、L 赖氨酸和牛磺酸, 以免这些氨基酸缺乏对条纹锯鲈摄食和生长产生负面影响。随着棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉水平的增加, 摄食率呈现下降的趋势, 表明增加配方中棉籽浓缩蛋白的添加量或减少鱼粉添加量可导致饲料适口性变差; 与摄食饲料 C、R40 和 R60 的鱼相比, 摄食饲料 R80 的鱼 FCR 略低、NRE 略高, 表明在配方中添加棉籽浓缩蛋白有助于改善饲料蛋白质利用效率。申建飞

等^[14]报道当饲料中棉籽浓缩蛋白含量为 12%, 鱼粉含量为 30% 时, 卵形鲳鲹胃蛋白酶活性最高。据此推测摄食饲料 R80 的鱼 NRE 略高的原因可能与胃蛋白酶活性变化有关, 由于 NRE 同时受摄食率的影响, 胃蛋白酶活性变化是否系摄食率下降所致有待进一步研究。

3.3 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对鱼体形态学和组成的影响

研究发现利用脱酚棉粕和脱酚棉籽蛋白替代饲料鱼粉不会显著影响虹鳟和花鲈的鱼体组成^[10-11]; 申建飞等^[14]报道, 利用棉籽浓缩蛋白替代卵形鲳鲹饲料鱼粉可增加肥满度和鱼体蛋白组成。本研究表明, 通过添加棉籽浓缩蛋白将饲料鱼粉含量从 35% 降低至 7%, 对条纹锯鲈肥满度、肝体比和全鱼组成无显著影响, 表明利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉不会引起鱼体形态和组成的明显变化, 这与申建飞等^[14]的结果不尽一致。从形态学和鱼体组成的角度来看, 初步认为, 通过添加棉籽浓缩蛋白将饲料鱼粉含量降低至 7% 不会对条纹锯鲈形态学和鱼体组成产生明显的不良影响。

3.4 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对环境及渔业资源的影响

鱼类养殖废物排放是造成养殖污染的重要原因, 因此可根据养殖废物排放量评价饲料鱼粉替代对养殖环境的影响^[19, 21]。对花鲈^[21, 30]和卵形鲳鲹^[31]的研究表明, 在一定范围内适当替代饲料鱼粉通常不会导致 NW 或 CW 显著增加。然而, Wu 等^[23]报道利用 γ 辐照豆粕大量替代卵形鲳鲹饲料中的鱼粉可导致 NW 增加; Satoh 等^[32]报道利用玉米蛋白粉替代虹鳟饲料中的鱼粉可降低 PW。本研究中, 摄食饲料 R80 的鱼 PW 明显低于摄食饲料 C、R40 和 R60 的鱼, NW 和 CW 也略低于后者, 表明通过添加棉籽浓缩蛋白将饲料鱼粉含量降低至 7% 时可导致磷废物排放量降低, 但不会显著增加氮和碳的养殖废物排放量。

替代水产饲料鱼粉的目的是通过降低水产养殖对鱼粉的依赖性而减轻其对野生渔业资源的负面效应, 然而以往研究中甚少定量评价替代饲料鱼粉对鱼粉依赖性的影响。Wang 等^[19]提出根据单位鱼产量鱼粉消耗量(RCP)评价饲料对鱼粉的依赖性, 当 RCP<1 时表明鱼类养殖实现

净输出(养殖的鱼产量大于消耗的野生渔业资源量)。研究表明, RCP 随饲料鱼粉含量降低而下降, 通过有效替代饲料鱼粉后, 花鲈、鲩状黄姑鱼 (*Nibea miichthioides*) 和日本黄姑鱼 (*N. japonica*) 养殖单位鱼产量鱼粉消耗量可分别降至 0.29、0.32 和 0.92 g/g^[19, 21, 33]。本研究中, 条纹锯鲷单位鱼产量鱼粉消耗量随饲料鱼粉水平降低而下降, 投喂饲料 R80 时的 RCP(0.14 g/g) 远远低于投喂饲料 C 时的 RCP(0.79 g/g), 这与前期研究^[19, 21, 33] 结果相一致, 也表明条纹锯鲷养殖对鱼粉的依赖性明显低于日本黄姑鱼养殖^[33]。

3.5 利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉对养殖效益的影响

Wang 等^[19, 21] 认为饲料鱼粉替代对养殖效益的影响包括生长、FCR、对环境的影响和对自然资源的影响等多个方面。Zhang 等^[22] 报道根据单一指标(如 WG、FI、FCR、NRE、PRE、NW 和 PW 等)评价饲料效益的结果往往不尽一致, 建议在单一指标评价基础上进一步进行多变量综合评价, 并依据生长、饲料成本、养殖废物排放量和鱼粉依赖性评价替代饲料鱼粉对花鲈养殖效益的影响。本研究中, 依据生长速度(WG)、饲料成本(FCR)、饲料利用效率(NRE)、养殖污染(NW)和对渔业资源的影响(RCP)评价了条纹锯鲷的养殖效益, 投喂饲料 R80 时的养殖效益与投喂饲料 R40 和 R60 时差异较大, 表明通过添加棉籽浓缩蛋白将饲料鱼粉水平降低至 7% 可明显改善条纹锯鲷的养殖效益。

4 结论

利用棉籽浓缩蛋白替代饲料鱼粉不会显著改变条纹锯鲷摄食、生长、饲料利用效率、鱼体组成和养殖废物排放量, 但可明显降低饲料对鱼粉的依赖性。根据生长、饲料成本、饲料利用效率、对环境的影响和对鱼粉的依赖性评价养殖效益, 认为可将条纹锯鲷饲料鱼粉含量降低至 7%。

参考文献 (References):

[1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018[R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2018: 0-228.

- [2] Naylor R L, Hardy R W, Bureau D P, *et al.* Feeding aquaculture in an era of finite resources[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(36): 15103-15110.
- [3] Fowler L G, Banks J L. Animal and vegetable substitutes for fish meal in the Abernathy diet, 1973[J]. *The Progressive Fish-Culturist*, 1976, 38(3): 123-126.
- [4] Yang Y, Xie S Q, Cui Y B, *et al.* Partial and total replacement of fishmeal with poultry by-product meal in diets for gibel carp, *Carassius auratus gibelio* Bloch[J]. *Aquaculture Research*, 2006, 37(1): 40-48.
- [5] López L M, Flores-Ibarra M, Bañuelos-Vargas I, *et al.* Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on growth performance, hematological and biochemical status, and liver histology of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2015, 41(4): 921-936.
- [6] 张艳秋, 纪文秀, 吴玉波, 等. 添加晶体或包膜DL-蛋氨酸对利用豆粕替代花鲈饲料中鱼粉的影响[J]. *水产学报*, 2015, 39(2): 224-232.
- Zhang Y Q, Ji W X, Wu Y B, *et al.* Effects of crystalline and capsulated DL-methionine on fish meal replacement with soybean meal in diets for Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(2): 224-232(in Chinese).
- [7] Wang Y, Ma X Z, Wang F, *et al.* Supplementations of poultry by-product meal and selenium yeast increase fish meal replacement by soybean meal in golden pompano (*Trachinotus ovatus*) diet[J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(4): 1904-1914.
- [8] Dawson M R, Alam S, Watanabe W O, *et al.* Evaluation of poultry by-product meal as an alternative to fish meal in the diet of juvenile black sea bass reared in a recirculating aquaculture system[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2018, 80(1): 74-87.
- [9] Anderson A D, Alam M S, Watanabe W O, *et al.* Full replacement of menhaden fish meal protein by low-gossypol cottonseed flour protein in the diet of juvenile black sea bass *Centropristis striata*[J]. *Aquaculture*, 2016, 464: 618-628.
- [10] Luo L, Xue M, Wu X, *et al.* Partial or total replacement of fishmeal by solvent-extracted cottonseed meal in diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(6): 418-424.

- [11] 罗琳, 高鹏, 李昕, 等. 脱酚棉籽蛋白在鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)饲料中替代鱼粉的应用研究[J]. *动物营养学报*, 2005, 17(2): 42.
- Luo L, Gao P, Li X, *et al.* Utilization of degossypolled cottonseed protein in diets for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2005, 17(2): 42(in Chinese).
- [12] Toko I I, Fiogbe E D, Kestemont P. Growth, Feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*, Valenciennes 1840) in relation to various dietary levels of soybean or cottonseed meals[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14(3): 193-203.
- [13] Yin B, Liu H Y, Tan B P, *et al.* Cottonseed Protein Concentrate (CPC) suppresses immune function in different intestinal segments of hybrid grouper ♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*Epinephelus lanceolatus* via TLR-2/MyD88 signaling pathways[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, 81: 318-328.
- [14] 申建飞, 陈铭灿, 刘泓宇, 等. 浓缩棉籽蛋白替代鱼粉对卵形鲳鲹幼鱼生长性能、血清生化指标、肝脏抗氧化指标及胃肠道蛋白酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(2): 746-756.
- Shen J F, Chen M C, Liu H Y, *et al.* Effects of fish meal replacement by concentrated cottonseed protein on growth performance, serum biochemical indices, liver antioxidant indices and gastrointestinal tract protease activities of juvenile *Trachinotus ovatus*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(2): 746-756(in Chinese).
- [15] Alam S, Watanabe W O, Carroll P M. Dietary protein requirements of juvenile black sea bass, *Centropristis striata*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2008, 39(5): 656-663.
- [16] Riche M. Effect of dietary lipid level on juvenile black sea bass *Centropristis striata* fed two protein sources[J]. *Fisheries Science*, 2008, 74(5): 1047-1054.
- [17] Alam S, Watanabe W O, Sullivan K B, *et al.* Replacement of menhaden fish meal protein by solvent-extracted soybean meal protein in the diet of juvenile black sea bass supplemented with or without squid meal, krill meal, methionine, and lysine[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2012, 74(2): 251-265.
- [18] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis of association of official analytical chemists[M]. 16th ed. Arlington, Virginia: AOAC, 1995.
- [19] Wang Y, Kong L, Li C, *et al.* The potential of land animal protein ingredients to replace fish meal in diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides*, is affected by dietary protein level[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(1): 37-43.
- [20] Wang Y, Guo J L, Bureau D P, *et al.* Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients in feeds for cuneate drum (*Nibea miichthioides*)[J]. *Aquaculture*, 2006, 252(2-4): 476-483.
- [21] Wang Y, Wang F, Ji W X, *et al.* Optimizing dietary protein sources for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) with an emphasis on using poultry by-product meal to substitute fish meal[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 46(4): 874-883.
- [22] Zhang Y Q, Wu Y B, Jiang D L, *et al.* Gamma-irradiated soybean meal replaced more fish meal in the diets of Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2014, 197: 155-163.
- [23] Wu Y B, Wang Y, Ren G, *et al.* Improvement of fish meal replacements by soybean meal and soy protein concentrate in golden pompano diet through γ -ray irradiation[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2016, 22(4): 873-880.
- [24] Ren X, Wang Y, Chen J M, *et al.* Replacement of fishmeal with a blend of poultry byproduct meal and soybean meal in diets for largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2018, 49(1): 155-164.
- [25] Sullivan M L, Tomasso J R. Limiting and optimal temperatures for the northern Atlantic population of black sea bass[J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2010, 72(3): 258-260.
- [26] Hertrampf J W, Piedad-Pascual F. Handbook on ingredients for aquaculture feeds[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000: 482-483.
- [27] Salze G P, Davis D A. Taurine: A critical nutrient for future fish feeds[J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 215-229.
- [28] Mai K S, Wan J L, Ai Q H, *et al.* Dietary methionine requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R[J]. *Aquaculture*, 2006, 253(1-4): 564-572.
- [29] Wan M G, Peng Y, Fang W P, *et al.* The effect of replacement of fishmeal by concentrated dephenolization cottonseed protein on the growth, body composition, haemolymph indexes and haematological enzyme activ-

- ities of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(6): 1845-1854.
- [30] Zhang Y Q, Ji W X, Wu Y B, *et al.* Replacement of dietary fish meal by soybean meal supplemented with crystalline methionine for Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(1): 243-252.
- [31] 朱明, 吴玉波, 任幸, 等. 利用 γ -射线辐照提高玉米蛋白粉替代卵形鲳鲆饲料中鱼粉的潜力[J]. *水产学报*, 2017, 41(8): 1298-1307.
- Zhu M, Wu Y B, Ren X, *et al.* The potential to replace dietary fish meal with corn gluten meal for golden pompano (*Trachinotus ovatus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(8): 1298-1307(in Chinese).
- [32] Satoh S, Hernández A, Tokoro T, *et al.* Comparison of phosphorus retention efficiency between rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a commercial diet and a low fish meal based diet[J]. *Aquaculture*, 2003, 224(1-4): 271-282.
- [33] Wu Y B, Ren X, Chai X J, *et al.* Replacing fish meal with a blend of poultry by-product meal and feather meal in diets for giant croaker (*Nibea japonica*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24(3): 1085-1091.

Potential of replacing fish meal with cottonseed protein concentrate in black sea bass (*Centropristis striata*) diet

ZHANG Jingya¹, REN Xing¹, LI Weiye², LIU Minhai³, WANG Li¹, WANG Yan^{1*}

(1. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China;

2. Zhoushan Fisheries Research Institute, Zhoushan 316000, China;

3. Institute of Mariculture Breeding and Seed Industry, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

Abstract: Replacement of fish meal in aquafeed has been recognized as a key to sustainable development of aquaculture industry due to the fast expansion of aquaculture industry in the last 40 years. Various plant ingredients, including cottonseed meal, were tested as fish meal substitute in fish feed, however, complete replacement of fish meal with plant ingredients in carnivorous fish feed remains a problem. Cottonseed protein concentrate (CPC) is a novel cottonseed protein ingredient with high protein content and low free gossypol, however, knowledge about CPC as a fish meal substitute in carnivorous fish feed is scarce. In this study, a 10-week feeding trial was conducted to evaluate the potential of replacing fish meal with CPC in black sea bass (*Centropristis striata*) diet. A single factor experiment including four fish meal levels was done. A control diet (C) was formulated to contain 35% fish meal. In the other three diets, 40% (R40), 60% (R60) and 80% (R80) of the fish meal in diet C were replaced with CPC, respectively. Each diet treatment was triplicated. Initial body weight of black sea bass was (29.5±0.5) g. During the trial, fish were fed with the test diets twice daily. The results showed that the replacement of fish meal with CPC did not significantly affect feed intake, growth, feed utilization efficiency, body composition and wastes of nitrogen, phosphorus and carbon. However, the ratio of fish meal consumption to fish production (RCP) declined with the decrease of dietary fish meal level. According to a multiple dimension analysis based on growth, feed cost, feed utilization efficiency, environment impact and RCP, the farming benefits of black sea bass fed diet R80 was different from those fed diets R40 and R60. This study reveals that fish meal content in black sea bass diet could be reduced to 7% by CPC inclusion.

Key words: *Centropristis striata*; cottonseed protein concentrate; growth; feed utilization efficiency; waste output; fish meal dependence

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: ywang@zju.deu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31772868)