

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180522001

http://www.yykxjz.cn/

饶远, 向泉, 黄先智, 段彪. 蚕粉替代鱼粉对加州鲈幼鱼生长、饲料利用及体成分的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 31-38
Rao Y, Xiang X, Huang XZ, Duan B. Effects of replacement of fish meal with silkworm powder on growth performance, feed intake, and body composition of juvenile black bass (*Micropterus salmonides*). Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 31-38

蚕粉替代鱼粉对加州鲈幼鱼生长、 饲料利用及体成分的影响*

饶远¹ 向泉¹ 黄先智² 段彪¹①

(1. 西南大学动物科学学院 重庆 402460; 2. 家蚕基因组生物学国家重点实验室 重庆 400716)

摘要 本研究评价了蚕粉对加州鲈(*Micropterus salmonides*)幼鱼生长、饲料利用率和体成分的影响。选用初始均体重为(3.13±0.04) g的加州鲈540尾,随机分成6个实验组,每组3个重复,每个重复30尾实验鱼,分别以蚕粉替代0(对照组)、10%、20%、30%、40%和50%的鱼粉设计出6种等氮、等能的饲料配方,按照配方配制实验饲料。由于后期养殖气温下降,不适合继续进行实验,本养殖时间为45 d。结果显示,加州鲈的增重率(WGR)、特定生长率(SGR)及蛋白质效率(PER)均随蚕粉替代水平的升高呈先上升后下降的变化趋势,且其WGR、SGR和PER均在蚕粉替代水平为30%时达到最大(分别为227.87%、1.98%/d和164.55%)($P<0.05$);饲料系数(FCR)则随蚕粉替代水平的升高呈先降后升的变化趋势,且在蚕粉替代水平为30%时达到最低(为1.43)($P<0.05$);肥满度(CF)、肝体比(HSI)、脏体比(VSI)则随蚕粉替代水平的升高而呈先上升后下降并趋于稳定的趋势($P<0.05$);实验期间各组实验鱼的成活率(SR)差异不显著($P>0.05$)。通过二次回归分析可知,加州鲈幼鱼WGR、SGR、FCR及PER最优时饲料的蚕粉替代比例分别为19.90%、22.00%、18.11%和17.90%;加州鲈全鱼粗脂肪含量随蚕粉替代水平的升高呈先降低后升高的变化趋势($P<0.05$),粗蛋白含量随蚕粉替代水平的升高无明显变化($P>0.05$),水分除蚕粉替代水平为10%和40%组差异显著外($P<0.05$),其余各实验组差异不显著($P>0.05$),蚕粉替代水平大于20%时,全鱼灰分显著降低($P<0.05$)。在本实验条件下,综合考虑实验鱼的生长指标、饲料利用和体成分,饲料中蚕粉适宜的替代水平为17.90%~22.00%。

关键词 加州鲈;蚕粉;生长性能;体成分

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)04-0031-08

鱼粉一直被作为水产饲料的重要蛋白源,因其蛋白质含量高,氨基酸组成平衡及抗营养因子少而被广泛应用。近年来,由于海洋渔业资源的减少和水产养殖的快速发展,导致鱼粉的供应量锐减,而需求量猛增,鱼粉价格飙升,使得养殖成本明显增加,给饲料生产企业和养殖业带来了巨大压力和挑战(李晓丽等,2017)。因此,寻求新的鱼粉替代物已经成为水产养

殖业专注的热点问题。蚕粉是饲养家蚕到4龄期时,将全蚕低温干燥粉碎获得,其蛋白质、脂肪含量高,必需氨基酸含量丰富,氨基酸比例均衡(桂仲争等,2004),是一种优质的动物蛋白源。魏艳洁等(2013)研究表明,在花生粕、玉米蛋白粉、豆粕和谷朊粉等4种植物蛋白中添加5%的蚕粉替代40%的鱼粉可显著提高大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)的特定生长率

* 公益性行业科研专项(201303053)和现代农业产业技术体系(CARS-18)共同资助[This work was supported by Special Scientific Research of Public Welfare Profession(201303053), and China Agriculture Research System(CARS-18)]. 饶远, E-mail: atraoyuan@163.com

① 通讯作者: 段彪, 副教授, E-mail: d-biao@126.com

收稿日期: 2018-05-22, 收修改稿日期: 2018-07-22

和摄食率；饲料中添加 1 g/kg 的全蚕粉，饲养 21 d 后鹌鹑体增重增加 11.12%，饲料利用率显著提高(桂钟争等, 2002)。蚕蛹粉是蚕蛹经过干燥、粉碎后的产物，其营养组成与蚕粉相近，都是优质蛋白源。Begum 等(1994)发现，用蚕蛹粉和蚌肉粉的混合物替代 50% 的鱼粉养殖南亚野鲮(*Labeo rohita*)的饲料效率最高。Rangacharyulu 等(2003)报道，用发酵蚕蛹和天然蚕蛹完全替代鱼粉池塘混养麦瑞加拉鲮(*Cirrhinus mrigala*)、喀拉鲮(*Catla catla*)、南亚野鲮，发酵蚕蛹组实验鱼的生长速度和 FCR 显著优于鱼粉组和天然蚕蛹组，而天然蚕蛹组和鱼粉组间的差异不显著；刘丹丹(2009)发现，黄鳝(*Monopterus albus*)对蚕蛹粗蛋白质的离体消化率显著高于鱼粉；梅林等(2015)发现 15% 蛹肽蛋白替代大菱鲆幼鱼饲料中 15% 的鱼粉不影响其生长、饲料利用，且对大菱鲆的非特异免疫具有促进作用。梁丹妮等(2011)报道，建鲤(*Cyprinus carpio var. Jian*)对蚕粉粗蛋白和粗脂肪的表观消化率分别为 78.76% 和 88.04%；说明蚕粉可以部分替代鱼类饲料中鱼粉，但如添加水平过高时将引起鱼类生长下降，肌肉色泽改变及肝组织等的损伤(杨吉园等, 2009)。

加州鲈(*Micropterus salmonides*)，属鲈形目、太阳鱼科、黑鲈属。原产美国密西西比河，20 世纪 80 年代引入我国，是一种肉质鲜美、抗病力强、生长迅速的名贵肉食性鱼类，在我国广东、江苏、浙江和四川等地已有大面积的养殖(黄太寿等, 2017)。目前对加州鲈肌肉营养价值评价(陈佳毅等, 2007)、人工繁育(陈建酬等, 2001)等方面都有一定的研究，但有关蚕粉在鱼类养殖中的应用还鲜有报道。本研究拟通过用蚕粉替代不同比例鱼粉对加州鲈生长性能、机体营养成分和血液生化指标等影响的研究，旨在探讨蚕粉在加州鲈饲料中替代一定比例鱼粉的可行性和适宜比例，为筛选饲料蛋白原料及优化加州鲈的人工饲料配方提供理论基础和数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验用加州鲈为重庆荣昌植物园渔场的同一批鱼苗。平均体重为 (3.06±0.25) g，体长为 (6.44±0.81) cm。选择体质健壮鱼种 600 尾，用 3% 的食盐水消毒后暂养备用。

1.2 实验饲料

实验饲料以鱼粉和蚕粉为蛋白源，混合油(大豆油：花生油=1：1)为脂肪源，配制 6 种等氮(蛋白水

平为 42.48%)、等能(能量为 20.17 kJ/g)的实验饲料。以蚕粉蛋白分别替代 0(对照组)、10%、20%、30%、40% 和 50% 的鱼粉蛋白，每种饲料 3 个重复，饲料原料全过 60 目筛，各组饲料逐级混合均匀，加水拌匀，用 QRLS-150 型电动绞肉机制成粒径 2 mm 颗粒饲料，25℃ 风干后置于 -20℃ 冰箱内储存备用。实验饲料组成及营养成分见表 1。实验所用蚕粉为家蚕基因组生物学国家重点实验室提供，其营养组成及水平见表 2。

表 1 实验饲料的组成及营养水平(风干基础, %)

Tab.1 Composition and nutrient levels of experimental diets (Air-dry basis, %)

原料 Ingredients	蚕粉替代鱼粉的比例 Replacement ratio of fish meal by silkworm powder					
替代水平 Replacement level	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00
鱼粉 Fish meal	40.00	36.00	32.00	28.00	24.00	20.00
蚕粉 Silkworm powder	0.00	4.00	8.00	12.00	16.00	20.00
豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
菜粕 Rapeseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
混合油 Mixed oils ¹	8.00	7.20	6.30	5.50	4.70	3.90
次粉 Wheat middling	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	7.00	7.80	8.70	9.50	10.30	11.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 CaH ₂ PO ₃	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
预混料 Premix ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
营养水平 Nutrient levels ³						
水分 Moisture	10.29	10.32	10.46	10.21	10.18	10.34
粗蛋白 Crude protein	42.85	42.41	42.18	42.43	42.42	42.58
粗脂肪 Lipid	12.47	12.58	12.46	12.52	12.40	12.32
总能 GE(kJ/g)	20.32	20.25	19.86	20.19	19.97	20.41

注：1. 混合油为 1：1 鱼油和豆油；2. 预混料为每 kg 饲料提供的微量元素和维生素：钾 28.0 mg，钙 282.0 mg，镁 9.0 mg，锌 3.5 mg，铁 24.0 mg，铜 1.8 mg，碘 0.25 mg，硒 0.02 mg，维生素 A 8 000 IU，维生素 C 200 mg，维生素 D 900 IU，维生素 E 60 mg，维生素 K 5 mg，维生素 B₁ 15 mg，尼克酸 100 mg，泛酸钙 40 mg，维生素 B₆ 20 mg，维生素 B₁₂ 5 mg，肌醇 100 mg；3. 营养成分为实测值

Note: 1. 1：1 mixture of fish oil and soybean oil; 2. The premix provides mineral and vitamin for a kilogram of diets: K 28.0 mg, Ca 282.0 mg, Mg 9.0 mg, Zn 3.5 mg, Fe 24.0 mg, Cu 1.8 mg, I 0.25 mg, Se 0.02 mg, V_A 8 000 IU, V_C 200 mg, V_D 900 IU, V_E 60 mg, V_K 5mg, V_{B1} 15 mg, nicotinic acid 100 mg, Pantothenate acid 40mg, V_{B6} 20 mg, V_{B12} 5 mg, inositol 100 mg; 3. The feed nutrient content were measured

表2 实验全蚕粉的组成及营养水平(风干基础, %)
Tab.2 Composition and nutrient levels of
silkworm powder (Air-dry basis, %)

项目 Items	含量 Content
常规成分 Routine ingredient	
水分 Moisture	8.80
粗蛋白 Crude protein	64.10
粗灰分 Ash	9.98
粗脂肪 Crude lipid	11.01
粗纤维 Crude fiber	9.23
消化率 Digestibility	86.68
氨基酸 AA	
天冬氨酸 Asp	4.06
苏氨酸 Thr	2.11
丝氨酸 Ser	2.64
谷氨酸 Glu	6.82
脯氨酸 Pro	2.23
甘氨酸 Gly	4.64
丙氨酸 Ala	4.02
胱氨酸 Cys	0.65
缬氨酸 Val	2.73
蛋氨酸 Met	0.94
异亮氨酸 Ile	2.17
亮氨酸 Leu	3.12
酪氨酸 Tyr	2.69
苯丙氨酸 Phe	2.06
组氨酸 His	1.36
赖氨酸 Lys	3.12
精氨酸 Arg	2.42
色氨酸 Trp	0.46
氨基酸总量 TAA	48.24

1.3 实验设计

实验鱼暂养7 d后, 选择健康无伤病的加州鲈540尾随机投入18个水族箱(规格为1.0 m×1.0 m×1.0 m), 分为6个实验组, 每组设3个重复, 每个重复30尾实验鱼。分别投喂用蚕粉替代0、10%、20%、30%、40%和50%鱼粉的实验饲料, 每天按3%~5%的投饵率表观饱食投喂3次(08:00、12:30和17:00), 养殖时间共45 d。养殖池保持微流水, 各养各实验池水每天的交换量为30%。每日监测水温, 溶解氧, 验鱼的摄食行为和死亡数量等。实验期间水温为25~30℃, 水体pH为7.0~7.5, 透明度为50 cm以上, 溶氧为5.5 mg/L以上。

1.4 样品采集

实验开始时, 测定实验鱼的初始体长和体重, 实验结束后对实验鱼饥饿24 h, 然后对每个重复组进行

计数、称重。分别在各实验组中随机取12尾实验鱼用MS-222溶液麻醉, 其中7尾实验鱼分别测定体长和体重。3尾鱼用于测定体重和体长, 并于冰盘解剖后取出内脏团及肝胰脏并称量, 其余2尾用于其全鱼常规营养成分的测定。

1.5 指标测定与方法

饲料原料及实验鱼体样本均在105℃烘干至恒重, 然后进行生化测定, 全鱼的粗蛋白质的测定采用凯氏定氮法, 粗脂肪的测定采用索氏提取法, 粗灰分的测定采用550℃灼烧法(贺建华, 2005)。

增重率(Weight gain rate, WGR, %)=($W_t - W_0$)×100/ W_0

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)=($\ln W_t - \ln W_0$)×100/ t

蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER, %)=($W_t - W_0$)100/ $F \times P$

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)= $F/(W_t - W_0)$

成活率(Survival rate, SR, %)=100×($N_t - N_0$)/ N_0

肝体比(Hepatopancreas somatic index, HSI, %)=100× W_k/W

脏体比(Viscera somatic index, VSI, %)=100× W_v/W

肥满度(Condition factor, CF)=100× W_t/L_t^3

式中, W_0 为实验开始时鱼体重(g); W_t 为实验结束时鱼体重(g); N_0 为实验开始时鱼的尾数; N_t 为实验结束时鱼的尾数; F 为饲料摄入量(g); P 为饲料粗蛋白质含量(%); t 为养殖实验天数(d); L_t 为实验结束时鱼的体长(cm); W 为鱼体重(g); W_k 为鱼体肝胰脏质量(g); W_v 为鱼体内脏团重(g)。

1.6 数据处理

采用SPSS 17.0软件对数据统计分析。先对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 若组间差异显著, 再用Duncan's氏法进行多重比较, 显著水平以 $P < 0.05$ 计。以二次多项式来拟合WGR、SGR、PER和FCR与蚕粉替代鱼粉比例间的相关关系。实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示。

2 结果与分析

2.1 蚕粉替代鱼粉对加州鲈生长及饲料利用率的影响

由表3可知, 实验加州鲈的WGR、SGR及PER均随蚕粉的替代水平的升高呈先上升后下降的变化趋势。且其WGR、SGR和PER均在蚕粉替代水平为30%时达到最大(分别为227.87%、1.98%/d和164.55%), WGR、SGR与蚕粉替代水平为30%、50%

的实验组差异显著($P<0.05$); PER 则与其余各实验组差异显著($P<0.05$); 加州鲈的 FCR 则随蚕粉的替代水平的升高呈先降后升的变化趋势, 且在蚕粉替代水平为 30% 达到最低(为 1.43), 除与蚕粉替代水平为 10%、20% 的实验组差异不显著外($P>0.05$), 与其余各实验组差异显著($P<0.05$); 实验鱼的 CF、HSI 和 VSI 则随蚕粉的替代水平的升高而呈先上升后下降并趋于稳定的趋势, 实验期间各实验组加州鲈的 SR 差异不显著($P>0.05$)。

以二次多项式来拟合 WGR、SGR、PER、FCR 与蚕粉替代比例间的相关关系(图 1~图 4)。以抛物

线回归可知, 加州鲈 WGR、SGR、PER 的回归方程分别为: $Y=-0.0599X^2+2.3835X+192.84(R^2=0.7152)$; $Y=-0.0003X^2+0.0132X+1.7906(R^2=0.7383)$; $Y=-0.0441X^2+1.5972X+135.72(R^2=0.5647)$ 。则在抛物线的最高点分别获得加州鲈 WGR、SGR 和 PER 的最大值, 此时对应的蚕粉替代比例分别为 19.90%、22.00% 和 18.11%。FCR 的回归方程为: $Y=0.0005X^2-0.0179X+1.7276(R^2=0.6084)$, 则 PCR 最小时蚕粉替代比例应为 17.90%。因此, 满足加州鲈的 WGR、SGR、PER 最大, PCR 最小时的蚕粉替代比例应为 17.90%~22.00%。

表 3 蚕粉替代鱼粉对加州鲈生长性能及饲料利用率的影响
Tab.3 Effects of replacement of fish meal with silkworm powder meal on growth performance and feed utilization of *M. salmonides*

项目 Items	蚕粉替代鱼粉的比例 Replacement ratio of fish meal by silkworm powder (%)					
	0	10	20	30	40	50
初始体重 Initial weight (g)	3.16±0.04	3.15±0.03	3.14±0.04	3.17±0.05	3.20±0.03	3.17±0.04
终末体重 Final weight (g)	9.48±0.31 ^{bc}	9.31±0.41 ^{bc}	10.01±0.34 ^{cd}	10.40±0.76 ^d	8.91±0.39 ^{ab}	8.40±0.34 ^a
增重率 WGR(%)	199.57±8.76 ^{bc}	195.51±11.01 ^{bc}	218.68±9.65 ^{cd}	227.87±12.17 ^d	178.20±9.55 ^{ab}	165.33±8.31 ^a
特定生长率 SGR(%/d)	1.83±0.05 ^{bc}	1.81±0.06 ^{bc}	1.93±0.05 ^{cd}	1.98±0.11 ^d	1.70±0.06 ^{ab}	1.63±0.06 ^a
蛋白质效率 PER(%)	140.21±8.74 ^{bc}	135.84±2.94 ^b	151.03±10.14 ^c	164.55±8.73 ^d	107.92±3.97 ^a	111.58±5.54 ^a
饲料系数 FCR	1.68±0.11 ^{bc}	1.73±0.03 ^c	1.56±0.11 ^{ab}	1.43±0.08 ^a	2.18±0.08 ^d	2.11±0.11 ^d
肥满度 CF	2.62±0.10 ^{ab}	2.58±0.04 ^{ab}	2.44±0.21 ^a	2.51±0.03 ^{ab}	2.67±0.05 ^b	2.59±0.04 ^{ab}
肝体比 HSI(%)	1.22±0.08 ^{ab}	1.29±0.04 ^{ab}	1.31±0.04 ^b	1.19±0.07 ^a	1.26±0.04 ^{ab}	1.25±0.07 ^{ab}
脏体比 VSI(%)	6.54±0.14 ^{bc}	6.44±0.11 ^{ab}	6.67±0.12 ^c	6.29±0.09 ^a	6.36±0.11 ^{ab}	6.38±0.16 ^{ab}
成活率 SR(%)	98.38±0.58	99.02±1.52	98.61±1.21	98.29±1.67	98.33±1.19	98.45±1.05

注: 表格中所给数据为平均数及 3 个重复的标准差。同行肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下同

Note: Values are means and standard deviation of three replicates. In the same row, values with same small letter superscripts or no letter superscripts mean no significant differences ($P>0.05$), different small letter superscripts mean significant differences ($P<0.05$), the same as below

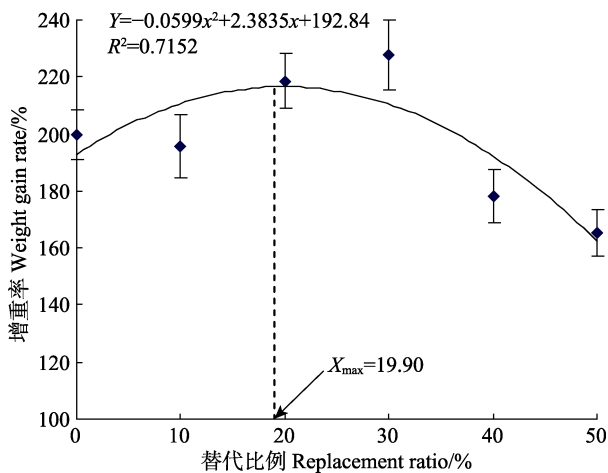


图 1 加州鲈 WGR 与蚕粉替代比例的关系

Fig.1 The relationship between weight gain rate and silkworm powder replacement ratio of *M. salmonides*

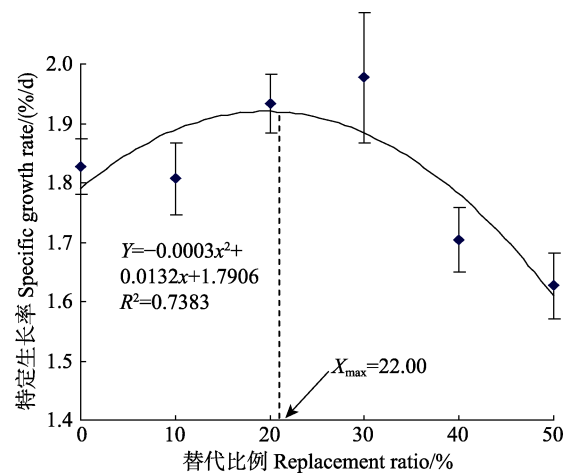


图 2 加州鲈 SGR 与与蚕粉替代比例的关系

Fig.2 The relationship between specific growth rate and silkworm powder replacement ratio of *M. salmonides*

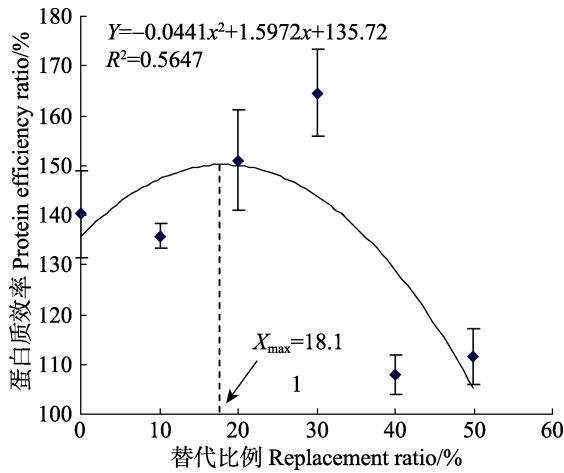


图 3 加州鲈蛋白效率与蚕粉替代比例的关系

Fig.3 The relationship between protein efficiency ratio and silkworm powder replacement ratio of *M. salmonides*

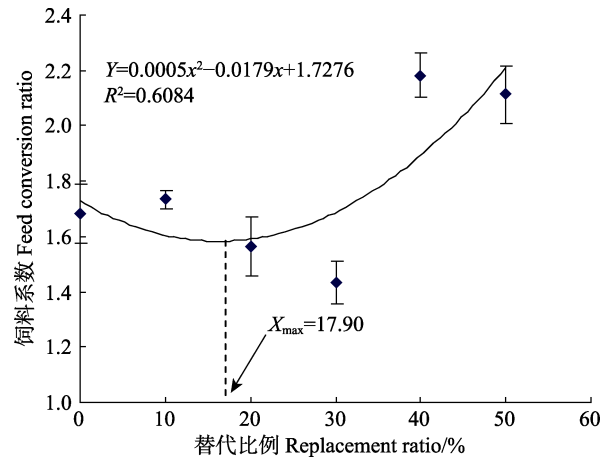


图 4 加州鲈饵料系数与蚕粉替代比例的关系

Fig.4 The relationship between feed conversion ratio and silkworm powder replacement ratio of *M. salmonides*

2.2 蚕粉替代鱼粉对加州鲈体组成的影响

由表 4 可知, 加州鲈全鱼粗脂肪含量随蚕粉替代水平的升高而呈先降低后升高的变化趋势, 在蚕粉替代水平为 20% 时最低, 除与 10% 差异不显著外 ($P > 0.05$), 显著低于其余各实验组 ($P < 0.05$); 实验鱼全鱼

粗蛋白含量随蚕粉替代水平的升高无明显变化 ($P > 0.05$); 各实验组全鱼水分除蚕粉替代水平为 10% 和 40% 组差异显著外 ($P < 0.05$), 其余各实验组差异不显著 ($P > 0.05$)。蚕粉替代水平为 0~10% 时, 全鱼灰分差异不显著 ($P > 0.05$), 蚕粉替代水平大于 20% 时, 各实验组的灰分含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 蚕粉代替鱼粉对加州鲈体成分的影响(以湿重计, %)
Tab.4 Effects of replacement of fish meal with silkworm powder meal on body composition of *M. salmoides* (Wet weight, %)

项目 Items	蚕粉替代鱼粉的比例 Replacement ratio of fish meal with silkworm powder meal (%)					
	0	10	20	30	40	50
水分 Moisture	75.35±0.43 ^{ab}	75.22±0.17 ^a	75.63±0.41 ^{ab}	75.41±0.34 ^{ab}	75.83±0.03 ^b	75.36±0.20 ^{ab}
粗脂肪 Crude lipid	5.44±0.04 ^b	5.38±0.08 ^{ab}	5.28±0.10 ^a	5.56±0.05 ^c	5.66±0.04 ^{cd}	5.73±0.04 ^d
粗蛋白质 Crude protein	16.53±0.42	16.46±0.80	17.10±0.62	16.62±0.61	16.61±0.89	17.26±0.30
灰分 Ash	2.73±0.02 ^c	2.63±0.03 ^{bc}	2.47±0.08 ^a	2.46±0.14 ^a	2.37±0.06 ^a	2.51±0.06 ^{ab}

3 讨论

3.1 蚕粉替代鱼粉对加州鲈生长及饲料利用率的影响

蚕粉是一种营养价值较高的动物蛋白资源, 具有较高的开发利用价值。刘丹丹(2009)研究发现, 随着饲料中蚕蛹添加量的上升, 黄鳍肝胰脏、胃及前肠中蛋白酶活性有升高的趋势, 饲料中用蚕蛹替代 30% 以下的鱼粉时, 黄鳍的生长无明显差异, 说明在黄鳍饲料中蚕蛹可以完全或者部分替代鱼粉。吉红等(2012)认为, 框鳞鲤 (*Cyprinus carpio* var. *specularis*) 幼鱼饲料中蚕蛹替代 50% 以下的鱼粉蛋白时, 其 WGR、SGR、FCR 等无显著性差异; Nandeesh 等(2000)报道, 在鲤 (*Cyprinus carpio*) 饲料中蚕蛹添加量达到 50%

而不影响其生长速度及饲料效率, 且在饲料蛋白沉积率在一定范围内随蚕蛹添加量的增大而提高; 陈国定等(1992)报道, 采用蚕蛹粉与等量国产鱼粉、日本鱼粉分别养殖甲鱼 (*Trionyx sinensis*) 108 d, 蚕蛹粉组的饲料利用率明显优于鱼粉组。本研究中, 蚕粉替代水平在 0~30% 时并未对加州鲈的生长和饲料利用率产生不利影响, 与上述研究基本一致。选用 WGR、SGR、PER 和 FCR 作为实验鱼养殖效果的评价指标, 通过二次多项式拟合曲线回归分析可知, 加州鲈饲料中蚕粉是替代比例应为 17.90%~22.00%。但 Boscolo 等(2001)报道, 投喂蚕蛹组饲料的尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 仔鱼的增重和饲料转化率较鱼粉组差, 但摄食量、末均重及存活率等却无明显差

异。张建禄等(2013)认为建鲤 WGR、SGR 和 PER 均随饲料中脱脂蚕蛹替代水平的升高逐渐下降,而 FCR 则呈相反的变化趋势,但在其添加晶体赖氨酸后,实验鱼的各项指标均有所改善;本研究中实验鱼的 CF、HSI 和 VSI 随蚕粉的替代水平的升高而呈先上升后下降并趋于稳定的趋势,与吉红等(2012)对框鳞镜鲤,张建禄等(2013)对建鲤的报道也有一定的差异。这可能与饲料中 Lys 和 Met 含量的升高与降低有关,蚕粉富含 Lys, 缺乏 Met, 随着实验中蚕粉替代水平升高,其 Lys 含量增高,在一定程度上对于加州鲈的生长有一定的改善。这与张建禄等(2013)在脱脂蚕蛹替代鱼粉的研究中,添加晶体赖氨酸后对建鲤生长均有改善一致。而 Nordrum 等(2000)发现饲料中氨基酸特别是 Met 对鱼类营养物质的消化与吸收有促进作用,其在对大西洋鲑(*Salmo salar*)上研究表明, Met 能够提高小鱼与脂肪酶、蛋白酶的活性。本研究中随着蚕粉添加水平的升高, Met 含量降低,而不同鱼类对 Met 的需求量不同,当添加水平达到一定值时, Met 含量低于加州鲈的需求量,导致其生长及对饲料利用率降低。本研究说明,饲料中蚕粉的替代比例小于 30%时不会对加州鲈的生长及饲料转化率产生明显的影响。

3.2 蚕粉替代鱼粉对加州鲈体组成的影响

鱼体的营养成分受饲料营养成分、食物组成和养殖水环境等外界条件的影响(李爱杰, 1996)。张建禄等(2013)发现,在不添加晶体赖氨酸时,随着饲料中蚕蛹替代水平的升高,建鲤全鱼粗蛋白质含量无显著差异,而全鱼粗脂肪含量则逐渐升高,全鱼粗灰分含量呈降低趋势; Nandeesh 等(2000)证实,随着蚕蛹替代比例的增大,鲤全鱼的粗蛋白和粗灰分逐渐升高,而粗脂肪和水分则逐渐降低;随着饲料中蚕蛹替代比例的提高,框鳞镜鲤全鱼、肌肉、肝脏的粗蛋白、粗脂肪及灰分水分含量无明显变化(吉红等, 2012);本研究中,随着饲料中蚕粉替代比例的增大,实验鱼全鱼粗蛋白含量无明显变化,粗脂肪含量呈先降低后升高的变化趋势,而全鱼的水分和灰分则在蚕粉的一定替代比例范围内变化不显著。与王淑雯等(2015)对吉富罗非鱼的研究结论蚕蛹粉可有效利用脂肪,最大程度减少体内脂肪蓄积引起的损伤相一致。可能是由于蚕粉富含 α -亚麻酸,一定范围内蚕粉比例的增加,使饲料中 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的比例趋于适宜,从而提高了饲料脂肪的利用率,降低了全鱼中脂肪的含量,但蚕粉添加比例超过适宜值后, α -亚麻酸的进一步增加引起了饲料中 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的失衡,影响鱼类的

脂肪代谢,使饲料脂肪在鱼体中沉积的量增加,也有可能是蚕粉本身脂肪含量高,而因实验环境限制其活动,导致摄入高替代水平的饲料后,导致体内脂肪沉淀。

4 小结

在本研究条件下,用蚕粉替代一定比例鱼粉具有明显的促进加州鲈生长性能,提高其饲料转化率的作用。通过二元多项式回归分析可知,加州鲈饲料中蚕粉替代鱼粉的适宜比例应为 17.90%~22.00%。由养殖环境受限,本养殖周期为 45 d,虽然养殖效果明显,但较低于饲料源评价周期,蚕粉替代鱼粉在更长的养殖周期内出现的效果还需要进一步探讨。

参 考 文 献

- Begum NN, Chakraborty SC, Zaher M, *et al.* Replacement of fishmeal by low-cost animal protein as a quality fish feed ingredient for Indian major carp, *Labeo rohita*, fingerlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1994, 64(2): 191-197
- Boscolo WR, Hayashi C, Meurer F, *et al.* Fish, meat and bone, poultry by-products and silkworm meals as attractive in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 2001, 30(5): 1397-1402
- Chen GD, Li XY, Xie DS. Study on silkworm pupae as turtle feed. *Feed Research*, 1992(8): 11-12 [陈国定, 李秀艳, 谢德松. 蚕蛹作甲鱼饲料的研究. *饲料研究*, 1992(8): 11-12]
- Chen JC, Su RR, Lü YM. Artificial propagation technique of *Micropterus salmonoides*. *Fisheries Science*, 2001, 20(4): 21-23 [陈建酬, 苏润荣, 吕贻民. 加州鲈人工繁殖技术. *水产科学*, 2001, 20(4): 21-23]
- Chen JY, Ye YT, Guo JL, *et al.* Analysis of nutritional components in muscles of halibut, river bass and California bass. *Feed Research*, 2007(9): 52-54 [陈佳毅, 叶元土, 郭建林, 等. 梭鲈、河鲈和加州鲈的肌肉营养成分分析. *饲料研究*, 2007(9): 52-54]
- Gui ZZ, Chen J, Sun ZP, *et al.* Effect of silkworm powder on the growth, nutrition, immune and endocrine function in quails. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Sciences Edition)*, 2002, 23(3): 33-36 [桂仲争, 陈杰, 孙镇平, 等. 全蚕粉对鹌鹑生长、营养、免疫及内分泌的影响. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2002, 23(3): 33-36]
- Gui ZZ, Dai JY, Chen JJ, *et al.* Studies on the edibility and therapeutic effects of the silkworm powder. *Science of Sericulture*, 2004, 30(1): 107-110 [桂仲争, 戴建一, 陈军建, 等. 全蚕粉的食用价值及其降血糖的临床实验效果. *蚕业科学*, 2004, 30(1): 107-110]
- He JH. *Feed analysis and detection*. Beijing: China Agriculture Press, 2005, 19-46 [贺建华. *饲料分析与检测*. 北京: 中国农业出版社, 2005, 19-46]

- Huang TS, Bai JJ, Li SJ, *et al.* Current situation and green development of California bass culture in China. *China Fisheries*, 2017(12): 44–47 [黄太寿, 白俊杰, 李胜杰, 等. 我国加州鲈养殖现状和绿色发展问题探讨. *中国水产*, 2017(12): 44–47]
- Ji H, Chen XF, Li J, *et al.* Effect of dietary replacement of fish meal protein with silkworm pupae on the growth performance, body composition, and health status of *Cyprinus carpio* var. *specularis* fingerlings. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(10): 159–161 [吉红, 程小飞, 李杰, 等. 蚕蛹替代鱼粉对框鳞镜鲤幼鱼生长性能、体成分及健康状况的影响. *水产学报*, 2012, 36(10): 159–161]
- Li AJ. Nutrition and feed of aquatic animals. Beijing: China Agriculture Press, 1996, 82–83 [李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 1996, 82–83]
- Li XL, Wang L, Song K, *et al.* Effects of dietary low-molecular-weight fish hydrolysate (LWFH) on nonspecific immunity and antioxidant capacity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 85–91 [李晓丽, 王玲, 宋凯, 等. 低鱼粉饲料中添加低分子水解鱼蛋白对凡纳滨对虾非特异性免疫力和抗氧化能力的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 85–91]
- Liang DN, Jiang XJ, Liu WB, *et al.* Apparent digestibility of nutrients in six kinds of non-conventional protein ingredients for Jian Carp. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(6): 1065–1072 [梁丹妮, 姜雪姣, 刘文斌, 等. 建鲤对6种非常规蛋白质原料中营养物质的表观消化率. *动物营养学报*, 2011, 23(6): 1065–1072]
- Liu DD. Study on partial replacement for fish meal with silkworm chrysalis in feed for rice field eel (*Monopterus albus*). Master's Thesis of Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2009, 28–29 [刘丹丹. 蚕蛹在黄鳝饲料中替代鱼粉的应用研究. 西北农林科技大学硕士研究生学位论文, 2009, 28–29]
- Mei L, Zhou HH, Mai KS, *et al.* Effects of dietary substitution of fishmeal by fermented silkworm pupae on the growth, feed intake, digestion and immunity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 85–92 [梅琳, 周慧慧, 麦康森, 等. 蛹肽蛋白替代鱼粉对大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)幼鱼生长、饲料利用、消化代谢酶及免疫性能的影响. *渔业科学进展*, 2015, 36(3): 85–92]
- Nandeesh, MC, Gangadhara B, Varghese TJ, *et al.* Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of nondefatted silkworm pupae. *Asian Fisheries Science*, 2000, 13(3): 235–242
- Nordrum S, Krogdahl A, Røsjø C, *et al.* Effects of methionine, cysteine and medium chain triglycerides on nutrient digestibility, absorption of amino acids along the intestinal tract and nutrient retention in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under pair-feeding regime. *Aquaculture*, 2000, 186(3): 341–360
- Rangacharyulu PV, Giri SS, Paul BN, *et al.* Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps. *Bioresource Technology*, 2003, 86(1): 29–32
- Wang SW, Huang XZ, Luo L, *et al.* Effects of replacement of fish meal with silkworm pupae on growth performance, body composition and serum biochemical indices of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(9): 2774–2783 [王淑雯, 黄先智, 罗莉, 等. 蚕蛹替代鱼粉对吉富罗非鱼生长性能、体成分及血清生化指标的影响. *动物营养学报*, 2015, 27(9): 2774–2783]
- Wei MJ, He Y, Mai KS, *et al.* Effects of partial substitution of dietary fish meal by a mixture of feedstuffs on growth performance in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Papers of the 9th World Chinese Fish and Shrimp Nutrition Symposium*, 2013, 176 [魏艳洁, 何良, 麦康森, 等. 复合蛋白源部分替代饲料中的鱼粉对大菱鲆生长的影响. 第九届世界华人鱼虾营养学术研讨会论文集, 2013, 176]
- Yang JY, Ye MQ, Qi ZS, *et al.* Processing technology of silkworm pupae for feed and its application in animal husbandry and aquatic industry. *China Sericulture*, 2009, 30(4): 11–13 [杨吉园, 叶明强, 邝哲师, 等. 饲料用蚕蛹的加工技术及其在畜牧水产业中的应用. *中国蚕业*, 2009, 30(4): 11–13]
- Zhang JL, Yu P, Huang JQ, *et al.* Effects of fish meal replacement by defatted silkworm pupae on growth performance, body composition and health status of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(7): 1568–1578 [张建禄, 余平, 黄吉芹, 等. 脱脂蚕蛹替代饲料中鱼粉对建鲤生长性能、体成分及健康状况的影响. *动物营养学报*, 2013, 25(7): 1568–1578]

Effects of Replacement of Fish Meal with Silkworm Powder on Growth Performance, Feed Intake, and Body Composition of Juvenile Black Bass (*Micropterus salmonides*)

RAO Yuan¹, XIANG Xiao¹, HUANG Xianzhi², DUAN Biao¹①

(1. College of Animal Sciences, Southwest University, Chongqing 402460;

2. State Key Laboratory Silkworm Genome Biology, Chongqing 400716)

Abstract This experiment evaluated the effects of fish meal (FM) replacement by silkworm powder (SP) on the growth performance and body composition of juvenile black bass (*Micropterus salmonides*). Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated by the replacement of 0 (control), 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% FM with SP. Each diet was fed to three replicate groups of 30 juvenile black bass (total, 540 fish) with an initial body weight of (3.13±0.04) g. Owing to the decline in the temperature, the breeding cycle was 45 days. The results show that weight growth rate (WGR), special growth rate (SGR), and the protein efficiency ratio (PER) of black bass increased first and then decreased as along with the replacement rate increased, and reached maximum when replacement level was 30%, with increases of 227.87%, 1.98%/day, and 164.55%, respectively ($P<0.05$). The feed conversion rate (FCR) decreased first, then increased as along with the replacement rate increased, and reached a minimum when replacement level was 30%, with a decrease of 1.43 ($P<0.05$). The condition factor (CF), hepatopancreas somatic index (HSI), and viscera somatic index (VSI) increased first, then decreased as the replacement rate increased, and finally tended towards stability ($P<0.05$). The survival rate (SR) of the six groups of black bass was not significantly different ($P>0.05$). Through quadric regression analysis, when WGR, SGR, FCR, and PER reached the optimum values, the replacement rates were 19.90%, 22.00%, 18.11%, and 17.90%, respectively. The content of crude lipid decreased first and then increased as the replacement rate increased ($P<0.05$); whole body crude protein did not change significantly as the replacement rate increased ($P>0.05$); moisture content in the whole body was not significantly different in any group ($P>0.05$) except the 10% and 40% groups ($P<0.05$); and the ash content of the whole fish decreased significantly when the replacement rates were above 20% ($P<0.05$). Therefore, under the experimental conditions, the measurement of the growth performance and body composition of black bass indicated that the optimum substitution rate of SP with FM was between 17.90% and 22.00%.

Key words Black bass (*Micropterus salmonides*); Silkworm powder; Growth performance; Body composition

① Corresponding author: DUAN Biao, E-mail: d-biao@126.com