

饲料中不同添加剂组合对锦鲤生长和体色的影响

张晨¹, 刘倩¹, 顾宪明¹, 何川², 黄文², 陈燕², 汤理思², 刘鑫², 王文峰³

(1. 北京三友创美饲料科技股份有限公司, 北京 101300; 2. 北京市水产技术推广站, 北京 100173; 3. 北京市房山区水产技术推广站, 北京 102488)

摘要: 为研究饲料中不同添加剂组合对锦鲤 *Cyprinus carpio* (初始体质量为 195.88 g±0.98 g) 生长和体色的影响, 并与日本优质锦鲤商品饲料进行增重和增色效果对比, 进行了增重和增色两部分试验, 其中增重部分以三色锦鲤为研究对象, 探讨了试验增重饲料与商品增重饲料对其生长的影响, 增色部分以红白锦鲤为研究对象, 探讨了试验对比饲料、试验增色饲料和商品增色饲料对其体色的影响, 各组均设 3 个重复, 试验周期为 60 d, 每隔 15 d 测定锦鲤的生长和体色指标。结果表明: 添加 L-肉碱、血球蛋白粉、螺旋藻和枯草芽孢杆菌的试验饲料对三色锦鲤的促生长效果与商品增色料无显著性差异 ($P>0.05$), 但试验饲料具有更低的饲料系数; 添加虾青素、螺旋藻和枯草芽孢杆菌的试验饲料对红白锦鲤体色的增艳效果与商品增色料无显著性差异 ($P>0.05$); 投喂两种试验增色料和商品增色料的锦鲤体表各部位对色素的沉积程度相似。研究表明, 采用不同添加剂组合的两种试验饲料与日本优质锦鲤饲料的能效水平相当, 能够分别满足对锦鲤快速增重和增色的要求。

关键词: 锦鲤; 饲料; 生长; 体色

中图分类号: S963.71

文献标志码: A

锦鲤 *Cyprinus carpio* 是中国主要观赏鱼种类之一, 有“会游泳的艺术品”的美称。因其对环境适应性强、食性杂且具有较高的观赏价值, 已逐渐成为人们首选的观赏鱼饲养品种^[1]。根据锦鲤鳞片 and 斑块的差异可将其大致分成 13 个品种, 最常见的为红白、昭和三色和大正三色锦鲤。在锦鲤鉴赏中, 其生长状况, 体型与体态及体表颜色的油润程度, 斑块的构型、位置与色泽, 均是鉴定锦鲤品质的重要条件, 这就对锦鲤饲料的功能性提出了更高的要求。近几年, 随着锦鲤饲料研究的不断深入, 不同种类和功能的饲料添加剂的作用机理以及对锦鲤着色和生长的影响逐步被学者所发掘。

研究表明, 鱼类的体色受内、外两种因素的影响, 其中内在因素包括遗传因素、个体状态和神经调控; 外在因素包括饲料和环境因素^[2]。处于同一养殖条件下的同种鱼类, 饲料对体色的影响更为重要。色素是饲料中对鱼体色产生直接影响的成分, 鱼类可利用的色素主要是类胡萝卜素, 其在鱼体内最终转变成虾青素, 故在实际生产中常以虾青素作为添加剂直接使用。研究表明, 饲料中的虾青

素可不经转化过程直接沉积于水产动物组织中, 并在适量条件下表现出较好的沉积效果^[3]。从生长上看, 虾青素也被证实能够提高水产动物的生长率、存活率和抗氧化能力^[4]。虽然虾青素对鱼类的生长和着色均有较好的促进作用, 但因价格昂贵, 尚不能广泛使用, 故常用其他功能相似的添加剂替代。目前, 螺旋藻是被研究最为深入的饲料添加剂, 投喂添加螺旋藻的饲料能够使鱼体色变得更加艳丽^[5]。虽然螺旋藻的增色效果不及虾青素^[6], 但其蛋白质含量高, 氨基酸组成均衡, 维生素和矿物质含量全面丰富, 能够促进鱼类的生长, 提高鱼体抵抗力, 因此, 在实际生产中被广泛使用^[7]。近几年, 益生菌的利用逐渐成为饲料添加剂研究的热点。益生菌不仅营养物质丰富, 能在代谢过程中产生水产动物生长所需的各种营养物质, 还可以在鱼体肠道内迅速繁殖, 调节肠道菌群平衡^[8], 部分益生菌也可作为水产动物着色剂使用^[9]。益生菌添加剂的研究中通常以芽孢杆菌作为研究对象。研究表明, 芽孢杆菌能够抑制鱼体肠道内有害细菌的数量^[10], 提高鱼类免疫及抗氧化功能^[11], 促进

收稿日期: 2016-11-04

基金项目: 北京市农业局科研项目 (20160119)

作者简介: 张晨 (1988—), 男, 硕士研究生。E-mail: 316326984@qq.com

通信作者: 何川 (1977—), 男, 高级工程师。E-mail: jinyujinli@126.com

鱼体生长^[12]。

现阶段,中国对于锦鲤饲料添加剂的研究较为深入,但主要集中于同种功能不同物质的添加剂对水产动物的影响,鲜有多种不同功能添加剂配合使用的研究,更未将开发出的功能性饲料与市场中优质产品进行比较,研究过程存在一定的局限性。日本作为现代锦鲤研究的开创者,对锦鲤功能性饲料的研究尤为深入全面,其通过多种添加剂配合使用,开发出一系列高功效的商品饲料,并受到世界的广泛认可。本试验中,以日本优质锦鲤商品饲料作为对照,以色素、微藻和益生菌配合使用作为设计思路,设计出两种与日本优质锦鲤商品饲料功效相同的试验饲料,通过测定锦鲤的生长及体色增长情况来判断试验饲料能否达到对照饲料的功效水平,以期为中国锦鲤饲料的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用锦鲤由北京市水产技术推广站提供,初始体质量为 (195.88 ± 0.98) g。试验在北京三友创美饲料科技股份有限公司(以下简称公司)养殖车间进行。试验前挑选健壮、活泼、表面无明显伤痕的三色锦鲤和红白锦鲤共200尾,分别置于20个体积为 $110\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的透明玻璃水槽中暂养,每个水槽10尾。暂养期间,统一使用公司产品“三友创美增艳金鱼锦鲤专用粮”进行饱食投喂,每天9:00和16:00投喂两次。每周换水并清洗过滤装置两次,水温为 $23 \sim 26\text{ }^\circ\text{C}$,pH为 $7 \sim 8$,全天曝气以保证水体中溶解氧含量充足。

1.2 方法

1.2.1 试验饲料的制备 对照饲料为两种日本优质锦鲤商品饲料,分别具有增色(CP)和增重(CG)的功效,粒径为 $5.0 \sim 5.5\text{ mm}$,由北京市水产技术推广站提供。自主设计3种试验饲料,增色对比(EC)、增色(EP)和增重(EG)各一种,粒径为 $4.0 \sim 4.5\text{ mm}$ 。试验饲料所用原料均由公司采购部门统一采购,由生产部门对原料进行粉碎(过80目筛)、混合后膨化加工而成。3种试验饲料原料配方及营养成分含量见表1和表2,而日本商品增色料和增重料饲料组成未知。

1.2.2 试验设计与饲养管理 从暂养鱼中挑选60尾三色锦鲤用于增重试验,90尾红白锦鲤用于增色试验。选取15个位置较隐蔽的暂养水槽,彻底

清理后每个水槽放10尾鱼。试验分为增重和增色两部分,共5组,每组设3个重复。试验用水均来自储水槽中曝气24 h以上的自来水,每天投喂3次(8:00、12:00和17:00),日投喂量约为体质量的3%,投喂10 min后观察摄食情况,以适当调整下次投喂量。每天换水1次,换水量为总量的 $1/2 \sim 1/3$,同时吸底清理粪便及残饵,每隔1天清理过滤装置1次。试验期间,水位保持在30 cm左右,水温为 $(25 \pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$,24 h曝气。试验周期为60 d,每隔15 d测定锦鲤的生长指标和增色效果。

1.2.3 生长指标和饲料利用率的测定与计算 养殖过程中准确记录每天的投喂量。试验开始前对增重组锦鲤的体质量、体长、体周长和尾柄周长进行测定,作为初始值,此后每隔15 d测定上述各指标至试验结束,共计5次。试验结束后根据测定结果计算增重率(%)、肥满度(%)、饲料系数、特定生长率(%/d)和成活率(%)。计算公式为

$$\text{增重率} = (W_t - W_0) / W_0 \times 100\%,$$

$$\text{肥满度} = (W/L^3) \times 100\%,$$

$$\text{饲料系数} = C / (W_t - W_0),$$

$$\text{特定生长率} = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\%,$$

$$\text{成活率} = (N_t / N_0) \times 100\%.$$

其中: t 为试验时间(d); W_0 为试验鱼的初始体质量(g); W_t 为 t 时间内试验鱼的终末体质量(g); W 为试验鱼体质量(g); L 为试验鱼体长(cm); C 为饲料投喂量(g); N_t 为 t 时间后成活尾数(尾); N_0 为初始总尾数(尾)。

1.2.4 锦鲤体表色偏的测定 采用分光测色仪(3nh-NS800)测定红白锦鲤体表红色斑块的色偏值。测定结果以 L^* 、 a^* 和 b^* 值表示,当 L^* 为正值时,表示颜色偏白,反之偏黑;当 a^* 为正值时,表示颜色偏红,反之偏绿;当 b^* 为正值时,表示颜色偏黄,反之偏蓝^[13]。试验以 a^* 值作为主要测定指标,当 a^* 为正值时,测定结果越高,表示锦鲤体表色斑的颜色越接近红色。试验开始前测定增色组每条鱼的初始 a^* 值,此后每隔15 d测定1次至试验结束,共计5次。测定时选择光线较暗的环境进行,测定前先将锦鲤体表的水分擦干,再将测色仪的探头紧贴鱼体体表红斑处进行测定。测定部位为头顶(头部)、背鳍基部(背部)和尾鳍基部(尾部)。

1.2.5 试验饲料成分的测定 分别采用GB/T 6432—1994、GB/T 6433—1994和GB/T 6438—1994中的方法测定饲料的粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量。

表 1 试验饲料组成 (风干基础)

Tab. 1 Ingredient composition of experimental diets (air dry basis)

w/%

组别 group	美国白鱼粉 American white fish meal	大豆浓缩蛋白 soy concentrated protein	面粉 flour	豆油 soya bean oil	谷朊粉 wheat gluten	鸡肉粉 chicken meal	血球蛋白粉 blood-cell protein meal	玉米蛋白粉 corn gluten meal
试验对比料 EC	32.0	18	36	3.0	0	0	0	9
试验增色料 EP	29.0	18	34	3.0	0	0	0	5
试验增重料 EG	28.2	11	33	5.5	2	10	3	0

组别 group	多维多矿 预混料 feed premix	氯化胆碱 choline chloride	膨润土 bentonite	添加剂 additive	L-肉碱 L-carnitine	螺旋藻粉 Spirulina powder	虾青素 astaxanthin	枯草芽孢杆菌粉 Bacillus subtilis powder
试验对比料 EC	0.2	0	1.5	0.2	0	0	0	0.1
试验增色料 EP	0.2	0	1.5	0.2	0	8	1	0.1
试验增重料 EG	0.2	0.5	0	0.2	0.1	6	0	0.3

注: 添加剂包括 0.05% 诱食剂 (DMPT)、0.05% 抗氧化剂和 0.1% 粘合剂 (瓜尔豆胶)

Note: The additive includes 0.05% phagostimulant (DMPT), 0.05% antioxidant and 0.1% binder (guar gum)

表 2 试验饲料营养成分

Tab. 2 Nutrients of the experimental diets

w/%

组别 group	粗蛋白质 crude protein	粗脂肪 crude fat	粗灰分 crude ash
试验对比料 EC	43.70	8.33	9.91
试验增色料 EP	43.92	8.36	9.91
试验增重料 EG	44.03	11.12	9.17
商品增色料 CP	>40	>6	<15
商品增重料 CG	>40	>9	<17

1.3 数据处理

采用 Excel 2013 软件对试验数据进行统计处

表 3 三色锦鲤的生长指标及饲料利用率

Tab. 3 Growth parameters and feed utilization efficiency in tricolor koi carp

组别 group	体长增量/cm body length increment	尾柄长增量/cm caudal peduncle length increment	终末体质量/g final body weight	增重率/% weight gain rate	肥满度/% condition factor	饲料系数 food conversion ratio	特定生长率/ (%·d ⁻¹) specific growth rate	存活率/% survival rate
试验增重料 EG	5.87±0.27	196.03±1.3	415.84±11.45	112.11±4.65	3.19±0.05	1.35±0.00	1.25±0.04	100
商品增重料 CG	5.66±0.43	195.73±0.8	423.35±21.09	116.28±10.58	3.06±0.12	1.31±0.09	1.28±0.08	100

2.2 不同增色饲料对红白锦鲤体色的影响

从表 4 可见: 在整个试验期间, L^* 值仅试验增色料组呈降低趋势, 其他两组均呈升高趋势; a^* 值仅试验对比料组呈降低趋势, 其他两组均呈升高趋势; b^* 值试验增色料组与商品增色料组均呈降低趋势, 仅试验对比料组呈升高趋势。

从 L^* 的差值上看, 试验增色料组与商品增色

料, 试验结果用平均值±标准差表示。采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析, 用 Duncan 法进行多重比较, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同增重饲料对三色锦鲤体型和生长指标的影响

由表 3 可知: 在整个试验周期内, 两组锦鲤的存活率均为 100%; 两组锦鲤的生长状况及饲料利用率略有差异, 但均无显著性差异 ($P>0.05$); 商品增重料对锦鲤的增重效果略高于试验增重料, 但试验增重料的饲料系数略好于商品增重料。

料组间有显著性差异 ($P<0.05$); a^* 的差值, 试验对比料组与其他两组间有显著性差异 ($P<0.05$), 而试验增色料组与商品增色料组间无显著性差异 ($P>0.05$); b^* 的差值, 各组间均无显著性差异 ($P>0.05$) (表 4)。从数值上看, 商品增色料组 a^* 和 L^* 值的差值略高于其他两组, 而 b^* 值的差值则是试验对比料组较高。

表4 不同增色饲料对红白锦鲤体表 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响
Tab.4 Effects of different pigmentation diets on the L^* , a^* and b^* values of the skin surface of red and white koi crap

色偏 colour cast	组别 group	初始数值 initial value	终末数值 final value	差值 difference
L^*	试验对比料 EC	50.08±1.18	51.72±0.75	1.64±0.85 ^{ab}
	试验增色料 EP	50.79±2.72	47.53±2.29	-3.26±2.11 ^a
	商品增色料 CP	47.32±1.11	49.18±1.78	1.88±2.86 ^b
a^*	试验对比料 EC	32.05±0.66	31.2±0.71	-0.85±0.33 ^a
	试验增色料 EP	31.84±0.86	35.13±0.84	3.29±0.98 ^b
	商品增色料 CP	31.37±0.67	35.48±0.39	4.11±1.03 ^b
b^*	试验对比料 EC	52.01±1.24	52.41±1.22	0.4±1.88
	试验增色料 EP	52.83±1.39	50.54±0.74	-2.25±1.42
	商品增色料 CP	49.69±2.97	48.81±2.01	-0.88±4.81

注:同列中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$)

Note: The means with different letters within the same column are significant differences at the 0.05 probability level, and the means with the same letters within the same column are not significant differences

从表5可见:初始测定时,试验增色料组的头部与尾部,商品增色料组的头部与背部、尾部,15 d时试验增色料组头部与尾部、商品增色料组头部与背部、尾部,30 d时试验增色料组头部与尾部、商品增色料组头部与尾部,45 d时试验增色料组头部与尾部、背部与尾部,60 d时试验增色料组

表5 试验各阶段不同增色饲料对红白锦鲤体表各部位 a^* 值的影响

Tab.5 Effects of different pigmentation diets on the a^* values of the skin surface of red and white koi crap at different experimental stages

时间/d time	组别 group	头部 a^* a^* on head	背部 a^* a^* on back	尾部 a^* a^* on caudal part	头部 a^* - 背部 a^* difference of a^* between on head-back	头部 a^* - 尾部 a^* difference of a^* between on head-caudal part	背部 a^* - 尾部 a^* difference of a^* between on back-caudal part
0	试验增色料 EP	33.35±0.90 ^a	32.17±1.31 ^{ab}	29.99±0.67 ^b	1.18±1.04	3.36±0.22	2.18±1.08
	商品增色料 CP	33.35±0.66 ^a	31.03±0.58 ^b	29.75±1.09 ^b	2.32±0.76	3.60±0.44	1.28±1.04
15	试验增色料 EP	36.40±0.77 ^a	32.89±1.48 ^{ab}	30.92±0.57 ^b	3.51±2.21	5.49±0.89	1.97±1.46
	商品增色料 CP	36.68±0.69 ^a	33.36±0.96 ^b	31.84±1.07 ^b	3.32±0.81	4.84±1.13	1.52±1.87
30	试验增色料 EP	34.97±0.95 ^a	34.36±1.44 ^{ab}	31.64±0.38 ^b	0.60±0.84	3.32±1.28	2.72±1.63
	商品增色料 CP	36.80±0.76 ^a	34.37±1.77 ^{ab}	32.33±0.86 ^b	2.43±1.76	4.46±1.54	2.03±1.62
45	试验增色料 EC	33.81±2.22 ^a	32.36±2.00 ^a	30.05±2.70 ^b	1.45±1.14	3.77±1.37	2.32±0.70
	商品增色料 CP	34.35±2.71 ^a	32.07±1.65 ^a	30.81±4.11 ^a	2.28±1.09	3.54±1.45	1.26±2.53
60	试验增色料 EC	36.47±0.14 ^{ab}	35.94±0.90 ^a	33.11±1.56 ^b	0.53±0.87	3.36±1.49	2.83±0.71
	商品增色料 CP	37.35±0.31 ^a	35.67±0.91 ^{ab}	33.43±1.22 ^b	1.68±1.12	3.91±1.47	2.23±1.58

注:同行中标有不同小写字母者表示组间有显著性差异 ($P < 0.05$), 标有相同小写字母者表示组间无显著性差异 ($P > 0.05$)

Note: The means with different letters within the same line are significant differences at the 0.05 probability level, and the means with the same letters within the same line are not significant differences

背部与尾部、商品增色料组头部与尾部,均有显著性差异 ($P < 0.05$)。从数值上看,两组锦鲤体表 a^* 值在试验各阶段均呈现头部>背部>尾部的规律。

3 讨论

3.1 不同增重饲料对锦鲤体型和生长指标的影响

在锦鲤养殖中,饲料对锦鲤体型和生长的影响是决定其最终观赏价值的关键因素之一,增重快、增体均匀和抵抗力强成为开发锦鲤增重饲料的重要标准。在满足锦鲤正常营养需求的前提下,通过添加色素、藻类和菌剂来促进锦鲤生长,逐渐成为锦鲤饲料开发的新思路。研究表明,色素物质不仅具有着色的功能,还能够促进鱼体生长、增强抵抗力和改善肉质^[14]。牟文燕等^[15]、孙刘娟等^[16]通过向血鸚鵡鱼饲料中添加适量的辣椒红素或虾青素,证明相应的色素能够提高血鸚鵡鱼的增重率和特定生长率。但这种促进作用并非绝对的,相同色素在饲料中的添加量不同,或者用于不同品种鱼类,其对鱼类生长的作用效果也不同。李建光等^[17]在锦鲤饲料中添加虾青素和辣椒红素等着色剂后得出与上述相反的结论,着色剂能够降低锦鲤的增重率和特定生长率。因此,在试验增重料中使用对鲤生长有促进作用的L-肉碱和血球蛋白粉^[18]取代色素,以降低色素对锦鲤生长可能产生的不利影响。随着对饲料研究的逐步深入,藻类和菌剂因其功效的多

样性已逐渐成为主要研究对象,越来越多的研究结果表明,藻类和菌剂能够促进鱼类生长。杨为东^[19]在锦鲤饲料中添加螺旋藻,沈斌乾等^[20]在青鱼饲料、程远等^[21]在吉富罗非鱼幼鱼饲料中添加枯草芽孢杆菌,结果均表明,添加物对试验鱼的生长产生了显著影响。本试验中,选择具有增重功效的螺旋藻和能够提高动物消化酶活性的枯草芽孢杆菌作为试验增重料的添加剂。经比较,试验增重料与日本商品增重料对锦鲤体型和生长的影响均无显著性差异,说明试验增重料与商品增重料在促进锦鲤生长方面的效果是相似的,且试验增重料具有更低的饲料系数。对于锦鲤的生长指标,商品增重料的数值较试验增重料略高的原因可能是因为添加剂的种类和比例不同所致。

3.2 不同增色饲料对锦鲤体色的影响

鱼类的体色是由类胡萝卜素、黑色素、嘌呤和喋啶共同作用形成,类胡萝卜素是主要色素。现代集约化养殖条件下,鱼类很难从自然环境中获取色素物质,其自身也不能合成类胡萝卜素,因而只能从饲料中获取^[22]。类胡萝卜素种类繁多,不同类型的类胡萝卜素对水产动物的着色效果不同,其中对水产动物着色效果最好的类胡萝卜素是虾青素,为此,本试验增色饲料中选择虾青素为主要色素。大量研究发现,饲料中添加螺旋藻同样可使锦鲤具有较好的着色效果^[23-24],这是因为螺旋藻中含有虾青素的前体物质玉米黄质^[25],锦鲤可以利用玉米黄质合成虾青素,为自身的体色形成提供色素物质。由于鱼类沉积色素有一定限度,饲料中提供过量的色素物质反而会影响色素的沉积^[26],为此,本试验增色料中选择虾青素与螺旋藻搭配使用,降低单一色素使用量的同时可利用二者沉积的快慢不同^[27]以达到更好的着色效果。投喂试验增色料和商品增色料的锦鲤体表斑块处的 a^* 值均显著高于不添加增色剂的试验对比料,说明投喂增色饲料能够显著提高锦鲤体表红色素含量,而试验增色料与商品增色料间的 a^* 值则无显著性差异,说明两者增色效果相近。试验对比料组的锦鲤体表斑块处的 b^* 值比两种增色饲料的大,说明斑块更偏向黄色,其原因是锦鲤体表所含色素组分以杏黄色和橙色为主,红色及其他颜色为辅^[28],若饲料中不提供色素物质,则锦鲤体表斑块一直保持原有橙色的状态。

影响水产动物着色的主要因素不仅包括其本身的遗传因素,还取决于其所处的环境及摄食的饲

料^[29]。因此,鱼体不同部位的体色存在差异。本试验中,初始测定时还未投喂增色饲料,此时锦鲤体表不同位置的 a^* 值已出现明显的差异,主要以头部和尾部的颜色有显著性差异,说明鱼类遗传特性起关键性作用。从开始投喂试验增色料和商品增色料两种增色饲料至试验结束,锦鲤体表不同位置的 a^* 值大小均呈现头部>背部>尾部规律,这与投喂前的颜色差异完全一致,且各阶段鱼体表各部位 a^* 值的始末差值基本相似,说明两组锦鲤体表各部位对色素的沉积程度是相似的,此时饲料中的色素含量起关键性作用。

综上所述,试验增色料和商品增色料对鱼体体表的增色效果较为均匀,不会因为位置不同而产生差异。

4 结论

采用6%的螺旋藻和0.3%的枯草芽孢杆菌作为添加剂配合使用,能够较好地促进锦鲤的生长,采用8%的螺旋藻和1%的虾青素作为添加剂配合使用,对锦鲤着色效果明显,两种添加剂组合的实际功效均能达到日本优质锦鲤商品饲料的功效水平。在实际生产中,建议将虾青素、螺旋藻和枯草芽孢杆菌配合使用以达到增重和增色双重效果,但其最适用量还需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 许品章. 锦鲤的发展现状与历史渊源[J]. 水族世界, 2014(2): 118, 120, 122-131.
- [2] 贺国龙, 刘立鹤. 鱼类体色成因及其调控技术研究进展(下)[J]. 水产科技情报, 2010, 37(3): 115-120, 124.
- [3] 赵樾, 王锡昌, 吴旭干. 饲料中虾青素对水产动物品质影响的研究进展[J]. 水产科学, 2016, 35(4): 440-445.
- [4] 裴素蕊, 管越强, 马云婷. 饲料中添加虾青素对凡纳滨对虾生长、存活和抗氧化能力的影响[J]. 水产科学, 2009, 28(3): 126-129.
- [5] 王洋, 韩英. 浅析观赏鱼着色剂的种类和应用[J]. 黑龙江水产, 2013(4): 30-32.
- [6] 张晓红, 吴锐全, 王海英, 等. 虾青素与螺旋藻对血鹦鹉体色的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(1): 79-82.
- [7] 蔡风英, 李磊, 刘来亭. 螺旋藻在养殖上的应用进展[J]. 河南水产, 2007(3): 7-9.
- [8] 张民, 刁其玉. 微生物制剂在饲料工业中的应用[J]. 动物科学与动物医学, 2002, 19(9): 50-53.
- [9] 吴向华, 杨启银, 刘五星, 等. 光合细菌的研究进展及其应用[J]. 中国农业科技导报, 2004, 6(2): 35-38.
- [10] 尹恒, 高启平, 谢骏, 等. 饲料中添加三种芽孢杆菌对建鲤生长及肠道菌群比较研究[J]. 饲料工业, 2012, 33(18): 16-19.

- [11] 沈文英,李卫芬,梁权,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对草鱼生长性能、免疫和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2011,23(5):881-886.
- [12] 刘克琳,何明清. 益生菌对鲤鱼免疫功能影响的研究[J]. 饲料工业,2000,21(6):24-25.
- [13] 崔培,姜志强,韩雨哲,等. 饲料脂肪水平对红白锦鲤体色、生长及部分生理生化指标的影响[J]. 天津农学院学报,2011,18(2):23-31.
- [14] 韩杰,于宁. 着色剂在水产养殖中的应用研究进展[J]. 养殖与饲料,2007(3):68-70.
- [15] 牟文燕,韦敏侠,翟胜利,等. 辣椒红素对血鹦鹉生长、体形、体色及抗氧化能力的影响[J]. 水产科技情报,2015,42(2):88-92.
- [16] 孙刘娟,吴李芸,白东清,等. 虾青素对血鹦鹉体色、生长和非特异性免疫指标的影响[J]. 北方农业学报,2016,44(1):91-95.
- [17] 李建光,胡世然,刘霆,等. 四种增色剂对锦鲤的生长、形体、体色和抗氧化能力的影响[J]. 中国饲料,2009(16):33-36,40.
- [18] 王桂芹,张雅斌,杜晓燕,等. 饲料添加剂对野鲤生长、体形、体色和肉质的影响[J]. 饲料工业,2011,32(10):15-20.
- [19] 杨为东. 螺旋藻对锦鲤生长和养分消化率的影响[J]. 饲料工业,2011,32(8):23-25.
- [20] 沈斌乾,陈建明,郭建林,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对青鱼生长、消化酶活性和鱼体组成的影响[J]. 水生生物学报,2013,37(1):48-53.
- [21] 程远,黄凯,黄秀芸,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对吉富罗非鱼幼鱼生长性能、免疫力和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报,2014,26(6):1503-1512.
- [22] 冷向军,李小勤. 水产动物着色的研究进展[J]. 水产学报,2006,30(1):138-143.
- [23] 何培民,张饮江,何文辉. 螺旋藻对锦鲤生长和体色的影响[J]. 水产学报,1999,23(2):162-168.
- [24] 方春林,贺刚,余智杰,等. 饲料中三种添加剂对金鱼体色影响的研究[J]. 科学养鱼,2013(8):73-74.
- [25] 林仕梅,刘汉林. 水产动物饲用着色剂研究的新进展[J]. 广东饲料,2005,14(1):26-28.
- [26] 崔培,周文礼,刘芳,等. 虾青素对红白锦鲤体色、生长的影响[J]. 水产科技情报,2013,40(1):37-40.
- [27] 姜志强,崔培,秦强,等. 类胡萝卜素在锦鲤组织器官中的沉积与分布[J]. 大连海洋大学学报,2012,27(1):22-26.
- [28] 王安利,刘金海,王维娜. 锦鲤总色素及色素组分的比较研究[J]. 水生生物学报,2005,29(6):694-698.
- [29] 刘金海,王安利,王维娜,等. 水产动物体色色素组分及着色剂研究进展[J]. 动物学杂志,2002,37(3):92-96.

Effects of different additive combination in diets on growth and body pigmentation of koi carp *Cyprinus carpio*

ZHANG Chen¹, LIU Qian¹, GU Xian-ming¹, HE Chuan², HUANG Wen²,
CHEN Yan², TANG Li-si², LIU Xin², WANG Wen-feng³

(1. Beijing Sanyou Beautifying Feed Science and Technology Company Limited, Beijing 101300, China; 2. Beijing Aquatic Product Technology Promotion Department, Beijing 100173, China; 3. Fangshan District Fisheries Technology Extension Station, Beijing 102488, China)

Abstract: Koi carp *Cyprinus carpio* with initial body weight of (195.88±0.98)g was fed three kinds of diets, Japanese commercial diet (as control) and the diets containing growth-promoting additive complex (L-carnitine, blood-cell protein meal, *Spirulina* powder and *Bacillus subtilis* powder), and pigmentation-promoting additive complex (astaxanthin, spirulina and *Bacillus subtilis*) at water temperature of (25±1)°C for 60 days with triplication to investigate effects of different additive combination in diets on growth and body pigmentation of koi carp. Growth performance and body pigmentation of koi carp were determined every 15 days during the 60 d experimental period. Results showed that the koi carp fed the diets containing growth-promoting additive complex and Japanese commercial diets showed similar growth performance, with lower food conversion ratio than the koi carp fed the Japanese diets. The diets containing pigmentation-promoting additive complex led to improve the body pigmentation of the red and white koi carp, which is comparable to the koi carp fed the control diets. The similar degree of pigmentation was observed in the koi carp fed both experimental pigmentation diets, indicating that the two experimental diets with different feed additive combination have the equivalent effects with Japanese commercial diets and that can match the standard in promoting the growth and body pigmentation of koi carp.

Key words: koi carp *Cyprinus carpio*; diet; growth; body pigmentation