

不同剂型维生素C对黄颡鱼生长和几种免疫指标的影响

王文辉¹, 王吉桥¹, 程鑫¹, 柳圭泽¹, 李文宽², 骆小年², 李敬伟²

(1. 大连水产学院 生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023; 2. 辽宁省淡水水产研究院, 辽宁 辽阳 111000)

摘要: 黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是新兴淡水养殖对象,其养殖技术和适宜饲料蛋白及维生素C磷酸酯的需要量等已有报道,但对包膜维生素C的生长和免疫反应目前尚未见报道,而维生素C是鱼正常生长和抗病的重要微量营养素。为此,在水温 $(22.0 \pm 3.0)^\circ\text{C}$ 下,将平均体质量10.0 g的黄颡鱼幼鱼放养在30个60 cm×60 cm×120 cm的微流水网箱中,投喂以鱼粉为蛋白源,粗蛋白含量40.0%和粗脂肪8.0%的半精制饲料,按 $300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1\ 500\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的剂量分别添加维生素C磷酸酯和包膜维生素C。经90 d的饲养表明,饲料中维生素C磷酸酯和包膜维生素C的添加量分别为 $1\ 110\sim 1\ 200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $659\sim 900\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,黄颡鱼生长最快,饲料系数最低;添加量为 $1\ 200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $600\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,血清总蛋白含量最高; $961\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $981\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,溶菌酶活性最高; $747\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $507\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,淀粉酶活性最高; $1\ 014\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $919\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,蛋白酶活性最高。包膜维生素C的效果优于磷酸酯维生素C,这与其具稳定性且进入机体后缓释及蛋白酶活性和免疫力高有关。[中国水产科学,2006,13(6):951-958]

关键词: 黄颡鱼;蛋白质;维生素C;生长;免疫力

中图分类号:S963

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2006)06-0951-08

维生素C是维持鱼类正常生理功能必不可少的微量营养素。除鲟形目鱼类^[1]和七鳃鳗^[2-3]能合成少量维生素C外,大多数鱼类缺乏古洛内酯氧化酶(L-gulonolactone oxidase, GLO)而不具备这种能力,必须由外源补充。但是,维生素C不稳定,极易被氧化而失去生物活性,在生产中很少直接添加晶体维生素C,而是添加侧链基团稳定的维生素C,且不同剂型的维生素C在鱼体内的生理功能也不同。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是新兴淡水养殖对象,养殖规模日益扩大。目前有关其生物学和养殖技术的研究很多^[4],但营养需求方面的研究并不多。多数池塘养殖试验结果显示,黄颡鱼饲料的适宜蛋白含量变化在34%~44%^[5];夏维福等^[6]研究认为,在粗蛋白含量为42.5%的饲料中,鱼粉等动物蛋白占67%时,黄颡鱼生长快,成活率高。至于其对各种添加剂的需要量,迄今报道尚少。笔者以前的研究表明,在人工养殖时,在饲料中添加 $600\sim 800\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 维生素C磷酸酯,能促进黄颡鱼种

的生长,增强免疫力,提高成活率^[7]。但有关黄颡鱼对不同剂型维生素C的利用,目前尚未见报道。因此,本研究室于2004年5~10月研究了维生素C磷酸酯和包膜维生素C对黄颡鱼生长及免疫力的影响,旨在合理选用维生素C剂型,提高养殖效益提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验鱼购自辽宁省辽阳市忠信养殖公司,平均体长9.7 cm,体质量10.0 g,暂养饥饿后,从1 200尾中随机挑选规格整齐、体质健壮的鱼750尾,经高锰酸钾溶液消毒后,随机分成30组,每组25尾,放入30个60 cm×60 cm×120 cm的网箱中,投喂10种饲料,每个饲料组设3个重复。网箱放在4个微流水的6.0 m×2.0 m×1.2 m的水泥池中。

1.2 实验饲料

以鱼粉为蛋白源,豆油和鱼油(质量比1:1)为

收稿日期:2005-08-24;修订日期:2006-04-10.

基金项目:辽宁省自然科学基金项目(2002215).

作者简介:王文辉(1979-),硕士,男,从事水产养殖研究,现在大连太平洋海珍品有限公司工作.

通讯作者:王吉桥. Tel:0411-84763528; E-mail:jqwang1950@163.com

1) Dabrowski. K. Ascorbic acid in aquatic organism—present and future. Aquaculture 98 Book of Abstracts. 1998. p. 133.

脂肪源,配制成含粗蛋白 40.0%、粗脂肪 8.0% 的半精制饲料(总能量约为 $19 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),在饲料中分别添加维生素 C 磷酸酯(P 组)或包膜维生素 C(C 组)300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (P-1 组或 C-1 组)、600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (P-2 组或 C-2 组)、900 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (P-3 组或

C-3 组)、1 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (P-4 组或 C-4 组)、1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (P-5 组或 C-5 组),见表 1。饲料由小型手动式制粒机在室温下压制而成,制粒瞬时温度不超过 40 $^{\circ}\text{C}$,颗粒直径 0.3 cm,长度 0.4 cm,阴干后在 -4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下保存备用。

表1 实验饲料的配方及营养成分

Tab.1 Formulation and proximate compositions of the experiment diets										% .DW
成分 Composition	P ¹⁾ -1	P-2	P-3	P-4	P-5	C ²⁾ -1	C-2	C-3	C-4	C-5
配方成分 Ingredients										
秘鲁鱼粉 Peruvian fish meal	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
糊精 Dextrin	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
油脂 Oil	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
纤维素 Cellulose	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
复合矿物盐 ³⁾ Mineral mix	1	11	1	1	1	1	1	1	1	1
复合维生素 ⁴⁾ Vitamin mix	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
羧甲基纤维素 Carboxymethyl cellulose	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
其他 ⁵⁾ Other	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$V_{\text{e}}/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	300	600	900	1 200	1 500	300	600	900	1 200	1 500
化学成分										
Approximate composition										
粗蛋白 Crude protein	41.01	39.66	39.79	40.16	39.74	39.52	40.53	39.99	40.26	40.97
粗脂肪 Crude fat	8.47	8.78	9.09	9.86	8.32	7.60	8.06	7.50	7.70	8.39
粗灰分 Crude ash	8.55	8.63	8.68	8.69	8.70	8.56	8.58	8.62	8.57	8.58
水分 Moisture	7.41	7.25	7.28	7.11	7.58	7.79	7.51	7.76	7.64	7.39
糖 Carbohydrate	34.56	35.68	35.16	34.17	35.67	36.53	35.33	36.12	35.84	34.67
总能量 $/(MJ \cdot \text{kg}^{-1})$	18.97	18.97	19.03	19.25	18.80	18.61	18.83	18.62	18.71	18.95
Gross energy										
$V_{\text{e}}/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	307	589	913	1 232	1 497	290	605	895	1 187	1 519

注:以 $P < 0.05$ 为差异显著。

1)P 表示维生素 C 磷酸酯,P-1 ~ P-5 组的添加量分别为 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、900 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2)C 表示包膜维生素 C(北京英惠尔生物技术有限公司产),C-1 ~ C-5 组的添加量分别为 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、900 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3)参照 Wilson(1991)推荐的斑点叉尾鮰复合矿物盐:锰,25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;铜,5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;锌,200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;铁,30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;钴,0.05 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

4)参照 Robinson(1989)推荐的斑点叉尾鮰复合维生素: V_A ,4 400 IU $\cdot \text{kg}^{-1}$; V_D ,2 200 IU $\cdot \text{kg}^{-1}$; V_E ,66 IU $\cdot \text{kg}^{-1}$; V_K ,44 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; V_{B1} ,11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; V_{B2} ,13.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; V_{B6} ,11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;泛酸,35.2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;烟酸,88 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;叶酸,22 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; V_{B12} ,0.01 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;氯化胆碱,275 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

5)含有 0.02% 的 BHT 和 0.3% 的山梨酸。

Note: Different significance at $P < 0.05$.

1)Group P was fed with supplemented ascorbic acid-2-phosphate; the contents of ascorbic acid-2-phosphate in groups P-1 to P-5 were 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 900 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 1 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2)Group C was fed with supplemented coated-ascorbic acid; the contents of ascorbic acid in groups C-1 to C-5 were 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 900 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 1 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

3)Mineral mix($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$): Mn, 25; Cu, 5; Zn, 200; Fe, 30; Co, 0.05.

4)Vitamin mix(kg^{-1}): V_A , 4 400 IU; V_D , 2 200 IU; V_E , 66 IU; V_K , 44 mg; V_{B1} , 11 mg; V_{B2} , 13.2 mg; V_{B6} , 11 mg; pantothenic acid, 35.2 mg; niacin, 88 mg; folic acid, 22 mg; V_{B12} , 0.01 mg; choline chloroide, 275 mg.

5)0.02% BHT and 0.3% sorbic acid.

1.3 饲养管理

实验期间平均水温为 $(22.0 \pm 3.0) ^{\circ}\text{C}$,前 45 天日投饲率为 5%,后 45 天为 3%,每天 6:00 和 19:00 各投喂日投饲量的 40% 和 60%。每 3 天换水 1

次,全天充氧,溶解氧每 3 天测定 1 次,保持在 7.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右。每 15 天称量各组鱼体质量,计算增重率 (weight gain rate) $\text{WGR} = [(\text{末体质量} - \text{初体质量}) / \text{初体质量}] \times 100\%$,并以此调整投饲量。

1.4 生化分析方法

实验开始和结束时从每组随机取鱼10尾,断尾取血至冰块保护的5 mL离心管中,分析鱼体生化成分和血液生理生化指标。样品分别在75℃下烘至恒重、用凯式定氮法(总氮 $\times 6.25$)、索氏抽提法(以乙醚为抽提液)、马福炉中灼烧(550℃)5 h和酸碱法测定水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和粗纤维的含量;用差值法求得无氮浸出物的含量;饲料中维生素C含量参照美国全国饲料协会分析方法测定^[8-9]。血清总蛋白含量和溶菌酶活力按文献^[10]中的方法测定。血清补体C3和补体C4含量由解放军第201医院测定。

1.5 消化酶活性测定

1.5.1 总蛋白酶活性测定 总蛋白酶活性用福林-酚试剂法测定^[10]。在pH 7.5和底物酪蛋白浓度为5 mg $\cdot$ L⁻¹时,在一定温度下保温15 min,以每分钟蛋白酶水解酪蛋白产生1 μ g酪氨酸为1个活力单位。

1.5.2 淀粉酶活性测定 淀粉酶活力用淀粉-碘显色法测定。在pH 7.0和一定温度下,30 min内1 mL酶液完全水解10 mg淀粉为1个淀粉酶活力单位。

1.5.3 脂肪酶活性 参照冯俊荣等^[11]的方法测定。酶活性以每毫克酶蛋白每分钟消耗的NaOH的微摩尔数表示,单位为unit $\cdot$ (min⁻¹ $\cdot$ mg⁻¹)。

1.6 数据处理

所有实验数据用SPSS11.0软件进行相关性检验、方差分析和LSD多重比较。

2 结果

2.1 不同剂型和含量的维生素C对鱼生长的影响

饲料维生素C磷酸酯和包膜维生素C含量由300 mg $\cdot$ kg⁻¹增加到1 500 mg $\cdot$ kg⁻¹,鱼的生长率表现为先上升后降低(表2)。在添加维生素C磷酸酯组中,当添加剂量为1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹时,黄颡鱼的生长率显著($P < 0.05$)高于其他各组;在添加包膜维生素C的组中,添加剂量为900 mg $\cdot$ kg⁻¹时,黄颡鱼的生长率显著($P < 0.05$)高于其他各组。剂量相同时,在饲料中添加包膜维生素C时,黄颡鱼的生长速度快于添加维生素C磷酸酯。根据二次曲线拟合计算拐点对应的添加量表明,黄颡鱼生长最快时维生素C磷酸酯和包膜维生素C在饲料中的添加量分别为1 110 mg $\cdot$ kg⁻¹和659 mg $\cdot$ kg⁻¹。

表2 摄食含不同剂型和剂量维生素C饲料时黄颡鱼的生长和饲料利用率
Tab. 2 Growth performance and dietary utilization by yellow catfish juveniles at different dietary vitamin C levels of different sources

指标 Item	P ¹⁾ - 1	P - 2	P - 3	P - 4	P - 5	C ²⁾ - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5
Vc/(mg $\cdot$ kg ⁻¹)	300	600	900	1 200	1 500	300	600	900	1 200	1 500
增重率/% WGR	120.14 $\pm$ 5.10	137.4 $\pm$ 4.98	137.42 $\pm$ 3.71	162.12 $\pm$ 5.28 ^a	137.46 $\pm$ 6.93	149.81 $\pm$ 5.51	152.88 $\pm$ 1.56	167.81 $\pm$ 9.19 ^a	154.87 $\pm$ 10.53	126.17 $\pm$ 4.52
饲料系数 FCR	2.34 $\pm$ 0.11	2.11 $\pm$ 0.10	2.04 $\pm$ 0.13	1.74 $\pm$ 0.14 ^b	2.04 $\pm$ 0.17	1.89 $\pm$ 0.16 ^a	1.85 $\pm$ 0.18 ^a	1.71 $\pm$ 0.15 ^b	1.82 $\pm$ 0.16 ^a	2.22 $\pm$ 0.19
蛋白质效率 PER	1.07 $\pm$ 0.035	1.24 $\pm$ 0.026	1.23 $\pm$ 0.042	1.45 $\pm$ 0.051 ^a	1.23 $\pm$ 0.026	1.34 $\pm$ 0.043	1.37 $\pm$ 0.013	1.50 $\pm$ 0.052 ^a	1.38 $\pm$ 0.036 ^a	1.13 $\pm$ 0.037

注:1)P表示维生素C磷酸酯,P-1~P-5组的维生素C磷酸酯添加量分别为300 mg $\cdot$ kg⁻¹、600 mg $\cdot$ kg⁻¹、900 mg $\cdot$ kg⁻¹、1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹、1 500 mg $\cdot$ kg⁻¹。

2)C表示包膜维生素C(北京英惠尔生物技术有限公司产),C-1~C-5组的包膜维生素C添加量分别为300 mg $\cdot$ kg⁻¹、600 mg $\cdot$ kg⁻¹、900 mg $\cdot$ kg⁻¹、1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹、1 500 mg $\cdot$ kg⁻¹。

3)a和b表示该值与同行中的其他数值之间差异显著($P < 0.05$)。

Note:1)Group P was fed with supplemented ascorbic acid-2-phosphate; the contents of ascorbic acid-2-phosphate in groups P-1 to P-5 were 300 mg $\cdot$ kg⁻¹, 600 mg $\cdot$ kg⁻¹, 900 mg $\cdot$ kg⁻¹, 1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹ and 1 500 mg $\cdot$ kg⁻¹.

2)Group C was fed with supplemented coated-ascorbic acid; the contents of ascorbic acid in groups C-1 to C-5 were 300 mg $\cdot$ kg⁻¹, 600 mg $\cdot$ kg⁻¹, 900 mg $\cdot$ kg⁻¹, 1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹ and 1 500 mg $\cdot$ kg⁻¹.

3)a and b denote the significant differences between the means in the same line($P < 0.05$).

WGR - weight gain rate; PER - protein efficiency ratio (weight gain in g/dietary protein given in g); FCR - feed conversion ratio.

2.2 不同剂型和含量的维生素C对饲料系数的影响

饲料中添加维生素C磷酸酯1 200 mg $\cdot$ kg⁻¹时,饲料系数最低(1.74),显著($P < 0.05$)或极显著($P <$

0.01)低于同剂型的其他组(表2);饲料中添加包膜维生素C 900 mg $\cdot$ kg⁻¹时,饲料系数最低(1.71),显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)低于同剂型的其他组;两

种剂型维生素 C 添加量相同时,饲料系数没有显著差异($P>0.05$)。根据二次曲线拟合计算拐点对应的添加量表明:黄颡鱼饲料系数最低时,维生素 C 磷酸酯和包膜维生素 C 在饲料中的添加量分别为 $1\ 139\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $784\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.3 不同剂型和剂量的维生素 C 对蛋白质效率的影响

饲料中维生素 C 磷酸酯的添加量为 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,饲料的蛋白质效率最高(1.45),显著高于同剂型其他组($P<0.05$)(表2);饲料中包膜维生素 C 的添加量为 $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,饲料的蛋白质效率最高(1.50),显著高于同剂型其他组($P<0.05$);添加量相同时,不同剂型维生素 C 组的蛋白质效率在 $900\text{ mg} \cdot$

kg^{-1} 和 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间存在显著差异($P<0.05$),其他添加量间没有显著差异。根据二次曲线拟合计算拐点对应的添加量表明:饲料中维生素 C 磷酸酯和包膜维生素 C 的添加量分别为 $1\ 110\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $796\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,黄颡鱼的蛋白质效率最高。

2.4 维生素 C 剂型和剂量对血清生化指标和某些免疫因子的影响

2.4.1 对血清总蛋白含量的影响 在饲料中添加维生素 C 磷酸酯时,鱼血清总蛋白含量先升高后降低;维生素 C 磷酸酯和包膜维生素 C 的添加量为 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $600\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,血清总蛋白含量最高(表3)。但不同剂型和添加量间血清总蛋白含量差异不显著($P>0.05$)。

表3 不同剂型和剂量维生素 C 对黄颡鱼血清生理生化因子的影响

Tab. 3 Immunity in yellow catfish juveniles fed different dietary vitamin C levels of different sources

$n=10; \bar{X} \pm \text{SE}$

指标 Item	组别 Group									
	P ¹⁾ -1	P-2	P-3	P-4	P-5	C ²⁾ -1	C-2	C-3	C-4	C-5
总蛋白/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	35.48 ± 1.13	37.29 ± 2.05	38.09 ± 1.48	39.06 ± 1.67	36.75 ± 2.11	37.71 ± 1.32	42.22 ± 1.44	39.77 ± 1.57	39.42 ± 1.29	36.89 ± 1.86
TPP										
IgM/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.615 ± 0.032	0.645 ± 0.018	0.641 ± 0.049	0.646 ± 0.052	0.625 ± 0.016	0.623 ± 0.022	0.640 ± 0.031	0.622 ± 0.043	0.639 ± 0.037	0.651 ± 0.027
溶菌酶/($\text{U} \cdot \text{L}^{-1}$) LS	5.620 ± 1.133	6.033 ± 1.254	14.233 ± 1.364 ^b	13.253 ± 1.523 ^b	5.657 ± 1.085	5.410 ± 1.293	8.043 ± 0.206 ^a	18.703 ± 1.110 ^b	18.257 ± 1.108 ^b	7.573 ± 1.347
补体 3/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) C3	0.793 ± 0.027	0.816 ± 0.034	0.827 ± 0.019	0.765 ± 0.010	0.796 ± 0.021	0.740 ± 0.036	0.823 ± 0.044	0.795 ± 0.039	0.831 ± 0.026	0.820 ± 0.031
补体 4/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) C4	0.176 ± 0.013	0.182 ± 0.015	0.178 ± 0.020	0.185 ± 0.019	0.180 ± 0.011	0.174 ± 0.012	0.185 ± 0.022	0.184 ± 0.017	0.175 ± 0.017	0.181 ± 0.015

注:1)P 表示维生素 C 磷酸酯,P-1~P-5 组的维生素 C 磷酸酯添加量分别为 $300\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $600\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 500\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2)C 表示包膜维生素 C(北京英惠尔生物技术有限公司产),C-1~C-5 组的包膜维生素 C 添加量分别为 $300\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $600\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\ 500\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3)a 和 b 分别表示该值与同行中的其他数值之间存在显著差异($P<0.05$)。

Note:1)Group P was fed with supplemented ascorbic acid-2-phosphate; the contents of ascorbic acid-2-phosphate in groups P-1 to P-5 were $300\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $600\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $1\ 500\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2)Group C was fed with supplemented coated-ascorbic acid; the contents of ascorbic acid in groups C-1 to C-5 were $300\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $600\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $1\ 500\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

3)a and b denote the significant differences between the figures in the same line($P<0.05$).

2.4.2 对血清溶菌酶活性的影响 维生素 C 磷酸酯和包膜维生素 C 的添加量为 $900\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1\ 200\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鱼血清溶菌酶活性极显著($P<0.01$)高于其他组(表3);添加量相同时,不同剂型的维生素 C 差异不显著($P>0.05$)。二次曲线拟合表明,维生素 C 磷酸酯和包膜维生素 C 添加量为 $961\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $981\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,血清溶菌酶活性最高。

2.4.3 对血清 IgM 和补体 C3、C4 的影响 多重

比较表明:黄颡鱼摄食添加不同剂型和剂量维生素 C 的饲料时,血清 IgM、补体 C3 和 C4 的含量(表3)差异不显著($P>0.05$)。

2.5 饲料维生素 C 剂型和剂量对鱼体生化组成的影响

黄颡鱼摄食添加不同剂量和剂型的维生素 C 饲料后,肌肉粗蛋白、粗脂肪和碳水化合物含量差异不显著($P>0.05$),见表4。

表4 黄颡鱼种摄食含不同剂型和剂量维生素C饲料时肌肉的营养成分

Tab. 4 Proximate composition of muscle in yellow catfish fed the diets containing various vitamin C levels and sources
 $n = 10; \bar{X} \pm SE$

成分/% Composition	组别 Group									
	P ¹⁾ -1	P-2	P-3	P-4	P-5	C ²⁾ -1	C-2	C-3	C-4	C-5
粗蛋白 Crude protein	56.96 ± 0.43	52.14 ± 0.52	52.42 ± 0.69	51.58 ± 0.22	56.82 ± 0.34	53.73 ± 0.21	50.79 ± 0.15	51.77 ± 0.32	53.40 ± 0.20	58.96 ± 0.19
粗脂肪 Crude fat	20.93 ± 0.17	22.98 ± 0.15	19.09 ± 0.14	20.99 ± 0.30	24.17 ± 0.20	28.02 ± 0.19	27.83 ± 0.24	23.41 ± 0.31	23.52 ± 0.25	23.92 ± 0.33
粗灰分 Crude ash	9.50 ± 0.04	9.54 ± 0.03	9.52 ± 0.03	9.56 ± 0.02	9.57 ± 0.03	9.57 ± 0.04	9.58 ± 0.03	9.56 ± 0.04	9.54 ± 0.02	9.52 ± 0.03
碳水化合物 Carbohydrate	12.61 ± 1.31	15.34 ± 1.22	18.97 ± 1.43	17.87 ± 1.25	9.45 ± 1.33	8.68 ± 1.23	11.80 ± 1.25	15.26 ± 1.19	13.54 ± 1.17	7.59 ± 1.20
能量/(MJ · kg ⁻¹) Energy	23.90 ± 1.42	24.04 ± 1.31	23.19 ± 1.28	23.56 ± 1.19	24.61 ± 1.30	25.27 ± 1.22	25.03 ± 1.13	24.11 ± 1.34	24.25 ± 1.25	24.70 ± 1.33

注:1)P表示维生素C磷酸酯,P-1~P-5组的维生素C磷酸酯添加量分别为300 mg · kg⁻¹、600 mg · kg⁻¹、900 mg · kg⁻¹、1 200 mg · kg⁻¹、1 500 mg · kg⁻¹。

2)C表示包膜维生素C(北京英惠尔生物技术有限公司产),C-1~C-5组的包膜维生素C添加量分别为300 mg · kg⁻¹、600 mg · kg⁻¹、900 mg · kg⁻¹、1 200 mg · kg⁻¹、1 500 mg · kg⁻¹。

Note:1)Group P was fed with supplemented ascorbic acid-2-phosphate; the contents of ascorbic acid-2-phosphate in groups P-1 to P-5 were 300 mg · kg⁻¹, 600 mg · kg⁻¹, 900 mg · kg⁻¹, 1 200 mg · kg⁻¹, and 1 500 mg · kg⁻¹.

2)Group C was fed with supplemented coated-ascorbic acid; the contents of ascorbic acid in groups C-1 to C-5 were 300 mg · kg⁻¹, 600 mg · kg⁻¹, 900 mg · kg⁻¹, 1 200 mg · kg⁻¹, 1 500 mg · kg⁻¹.

2.6 维生素C剂型和剂量对鱼肠道消化酶活性的影响

2.6.1 对淀粉酶活性的影响 黄颡鱼摄食不同剂型和剂量维生素C后,肠道淀粉酶活性先降低后升高,差异较大(表5)。在饲料中添加维生素C磷酸酯1 200 mg · kg⁻¹和1 500 mg · kg⁻¹时,鱼肠道淀粉酶活性显著高于同剂型的其他组($P < 0.05$);饲料中添加包膜维生素C 1 500 mg · kg⁻¹时,鱼肠中淀粉酶活性最高,极显著高于同剂型的其他组($P < 0.01$),添加900 mg · kg⁻¹和1 200 mg · kg⁻¹时,又显著高于添加300 mg · kg⁻¹和600 mg · kg⁻¹组($P <$

0.05)。

2.6.2 对蛋白酶活性的影响 与淀粉酶相反,黄颡鱼摄食添加不同剂型和剂量的维生素C饲料后,肠道蛋白酶活性先升高后降低,变化显著。维生素C磷酸酯的添加量为900 mg · kg⁻¹和1 200 mg · kg⁻¹时,蛋白酶活性最高,极显著地高于同剂型的其他组($P < 0.01$);添加量为300 mg · kg⁻¹时,蛋白酶活性最低;而添加包膜维生素C组的鱼则是在添加量为900 mg · kg⁻¹时,鱼肠道蛋白酶活性最高,极显著地高于其他组($P < 0.01$),见表5。

表5 黄颡鱼种摄食含不同种类和剂量维生素C饲料时的肠道消化酶活性

Tab. 5 Digestive enzyme activity in gut of yellow catfish juveniles at various dietary vitamin C sources and levels
 $n = 10; \bar{X} \pm SE; U \cdot L^{-1}$

指标 item	组别 Group									
	P ¹⁾ -1	P-2	P-3	P-4	P-5	C ²⁾ -1	C-2	C-3	C-4	C-5
Vc/(mg · kg ⁻¹)	300	600	900	1 200	1 500	300	600	900	1 200	1 500
淀粉酶 Amylase	150.39 ± 3.42	110.06 ± 2.22 ^a	130.85 ± 2.15 ^a	151.04 ± 1.59 ^b	180.19 ± 3.24 ^b	136.70 ± 2.59	121.71 ± 4.56	139.77 ± 4.91 ^a	146.02 ± 3.78 ^a	151.11 ± 3.29 ^b
蛋白酶 Proteinase	39.30 ± 2.43	117.37 ± 1.81	131.49 ± 3.22 ^b	119.16 ± 3.08 ^b	53.19 ± 3.13 ^a	52.02 ± 1.27	148.69 ± 2.03	166.33 ± 4.50 ^b	55.15 ± 2.19	58.67 ± 1.64
脂肪酶 Lipase	89.00 ± 3.48 ^b	51.67 ± 2.81	62.33 ± 2.20 ^a	63.00 ± 1.99 ^a	66.00 ± 2.00 ^a	50.33 ± 3.21	54.33 ± 2.45	46.00 ± 1.89	54.33 ± 2.61	51.67 ± 2.57

注:1)P表示维生素C磷酸酯,P-1~P-5组的维生素C磷酸酯添加量分别为300 mg · kg⁻¹、600 mg · kg⁻¹、900 mg · kg⁻¹、1 200 mg · kg⁻¹、1 500 mg · kg⁻¹。

2)C表示包膜维生素C(北京英惠尔生物技术有限公司产),C-1~C-5组的包膜维生素C添加量分别为300 mg · kg⁻¹、600 mg · kg⁻¹、900 mg · kg⁻¹、1 200 mg · kg⁻¹、1 500 mg · kg⁻¹。

3)a、b分别表示该值与同行其他数值间存在显著差异($P < 0.05$)。

Note:1)Group P was fed with supplemented ascorbic acid-2-phosphate; the contents of ascorbic acid-2-phosphate in group P-1 to P-5 were 300 mg · kg⁻¹, 600 mg · kg⁻¹, 900 mg · kg⁻¹, 1 200 mg · kg⁻¹ and 1 500 mg · kg⁻¹.

2)Group C was fed with supplemented coated-ascorbic acid; the contents of ascorbic acid in groups C-1 to C-5 were 300 mg · kg⁻¹, 600 mg · kg⁻¹, 900 mg · kg⁻¹, 1 200 mg · kg⁻¹ and 1 500 mg · kg⁻¹.

3)a and b denote significant differences between figures in the same line($P < 0.05$).

2.6.3 对脂肪酶活性的影响 饲料中维生素 C 磷酸酯添加量为 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,黄颡鱼肠道脂肪酶活性最高(表 5),极显著($P < 0.01$)地高于同剂型的其他组;添加量为 $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,脂肪酶活性最低,显著($P < 0.05$)低于 $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1\,500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 组。饲料中添加包膜维生素 C 时,各组鱼脂肪酶活性差异不显著($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 黄颡鱼对不同剂型维生素 C 的利用

目前生产中多用乙基纤维素和油脂包膜的维生素 C 或硫酸酯、磷酸酯等稳定维生素 C。经加工后,它们的理化性质不同,在鱼类中的应用效果也不尽相同。杂交罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)摄食添加 LAP-Mg(L-抗坏血酸磷酸镁)和 LAP-Na(抗坏血酸磷酸钠)^[12]及 LAP-S(L-抗坏血酸磷酸硫化物)和 LAMP(L-抗坏血酸单磷酸盐)^[13]的饲料时,LAP-Mg 的效果仅为 LAP-Na 的 85%,LAP-S 和 LAMP 的应用效果及在饲料中的添加量较为相近,而 LAMP 对鲈(*Dicentrarchus labrax*)的促生长作用较 LAP-S 更为明显^[14]。

本实验中,黄颡鱼生长最快($659 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、蛋白质效率最高($784 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和饲料系数($796 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)最小时,包膜维生素 C 的剂量仅是维生素 C 磷酸酯($1\,110 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\,139 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1\,110 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的 60%~70%,表明包膜维生素 C 的效果优于磷酸酯维生素 C。这种差异可能是包膜维生素 C 稳定,进入机体后缓释所致。本实验结果与草鱼饲料中分别添加包膜维生素 C 和 LAPP^[16]结果及青鱼饲料中添加抗坏血酸多聚磷酸酯($200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和包膜维生素 C($400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的适宜添加量^[16]相反。这种差异可能与鱼类消化系统的结构和包膜材料不同有关。草鱼和青鱼没有酸性的胃,包膜维生素 C 的包膜不易分解,阻碍了维生素 C 的释放,降低了维生素 C 的利用率。黄颡鱼的胃可使包膜维生素 C 分解而缓慢释放,提高了维生素 C 的利用率,因此,包膜维生素 C 的添加量较低。

3.2 不同剂型维生素 C 与黄颡鱼血清生化及免疫因子

很多种鱼类,如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[17]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[18]等缺乏维生素 C 时,抗体的产量降低,补体的活性、巨噬细胞功能和血清溶菌酶的活性下降,易

患病。在饲料中添加不同剂型的高剂量维生素 C 后,黄颡鱼血清总蛋白含量和溶菌酶活性显著增高,说明免疫力有所增强。投喂 LAPP 或乙基纤维素包膜维生素 C 后,剂量相同时,金头鲷(*Sparus aurata*)血清溶菌酶、SOD 活性、总蛋白和补体含量没有显著差异^[19]。虹鳟仔鱼饲料中添加 LAMP-Ca、LAA 和 LAMP-K(L-抗坏血酸单磷酸钾)后发现:LAMP-Ca 组仔鱼体内溶菌酶活性比 LAA 组高,3 种剂型的维生素在肝脏中的沉积量差异显著,但死亡率没有显著差异;血清溶菌酶活性随饲料维生素 C 剂量的增加而降低。但本实验中各组血清 IgM、补体 C3 和 C4 的含量差异不显著,其原因尚待深入研究。

3.3 不同剂型维生素 C 与黄颡鱼肠道消化酶的活性

鱼类通过促进或减缓酶的合成与分泌,形成新的代谢水平,以适应营养条件的改变。黄颡鱼进食后,消化道中蛋白酶和淀粉酶活性显著增强,消化能力升高,生长速度加快,即酶活性越强,鱼体增重越快^[20]。黄颡鱼蛋白酶活性高于团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、鲤(*Cyprinus carpio*),低于淡水白鲳、大眼鲈鲷(*Stizostedion vitreum*);淀粉酶活性高于大眼鲈鲷^[21-22]。

饲料添加剂和矿物质对鱼类的消化酶活性也有影响。本实验中,在饲料中添加包膜维生素 C 和维生素 C 磷酸酯 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1\,500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,黄颡鱼肠道淀粉酶活性最高;包膜维生素 C 和维生素 C 磷酸酯的添加量为 $900 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1\,200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,蛋白酶活性最高。这表明,这些剂量的维生素 C 提高了黄颡鱼的免疫力,增强了鱼的活力和摄食量,自然也提高了酶的活性,促进了消化。但维生素 C 磷酸酯添加量为 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,黄颡鱼肠道脂肪酶活性最高。另外,包膜维生素 C 对黄颡鱼肠道脂肪酶活性的影响不显著,也没有明显规律性。这是否与不同剂型维生素 C 的消化吸收差异有关,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Moreau R, Kaushik S J, Dabrowski K. Ascorbic acid status as affected by dietary treatment in the Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt): Tissue concentration, mobilization and L-gulonolactone oxidase activity[J]. Fish Physiol Biochem, 1996, 5: 431-438.

- [2] Dabrowski K, Moreau R. Do all fish need ascorbic acid? [J]. Aqua Mag, 1996, 22(5):96-98.
- [3] Moreau R, Dabrowski K. Body pool and synthesis of ascorbic acid in adult sea lamprey *Petromyzon marinus*: an agnathan fish with gulonolactone oxidase activity [M]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1998, 95:10 279-10 282.
- [4] 王吉桥. 黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson) 的生物学与养殖技术 [J]. 现代渔业信息, 2003, 18(6):3-8.
- [5] 王兴礼. 黄颡鱼的营养需求量与饲料配制 [J]. 饲料工业, 2004, 2:52-54.
- [6] 夏维福, 韩庆, 罗玉双, 等. 不同动植物蛋白白比对黄颡鱼生长的影响 [J]. 水利渔业, 2003, 23(3):45-46.
- [7] 王吉桥, 王文辉, 程鑫, 等. 饲料蛋白质和维生素C含量对黄颡鱼生长和免疫力的影响 [J]. 水产学报, 2005, 29(4):512-518.
- [8] 中国营养协会. 饲料添加剂分析 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 36-37.
- [9] 张丽英. 饲料分析及饲料质量监测技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002. 45-79.
- [10] 上海市医学化验所. 临床生化检验 (上册) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. 31-35.
- [11] 冯俊荣, 刘红梅, 韩茂森, 等. 宝石斑体内蛋白酶和脂肪酶活性的研究 [J]. 淡水渔业, 2004, 34(5):17-21.
- [12] Shiau S Y, Hsu T S. L-ascorbyl-2-sulfate has equal antiscorbutic activity as L-ascorbyl-2-monophosphate for tilapia (*O. niloticus* × *O. aureus*) [J]. Aquaculture, 1995, 133(2):147-157.
- [13] Shiau S Y, Hsu T S. Quantification of vitamin C requirement for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, an L-ascorbyl-2-monophosphate-Na and L-ascorbyl-2-monophosphate-Mg [J]. Aquaculture, 1999, 175(3-4):317-326.
- [14] Amerio M, Ruggi C, Rovelli R M, et al. Ascorbic acid availability from ascorbyl-2-polyphosphate and ascorbyl-2-sulfate in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1998, 159:233-237.
- [15] 林仕梅, 罗莉, 叶元土, 等. 不同剂型V_C对草鱼生长的影响 [J]. 粮食与饲料工业, 2003, 4:30-32.
- [16] 冷向军, 王道尊, 李小勤, 等. 青鱼鱼种饲料中不同剂型维生素C适宜添加量的研究 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(2):141-143.
- [17] Lim C, Lovell R T. Pathology of the vitamin C deficiency syndrome in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. J Nutr, 1978, 108:1 137-1 146.
- [18] Hardie L J, Marsden M J, Fletcher T C. In vitro addition of vitamin C affects rainbow trout lymphocyte responses [J]. Fish Shellf Immunol, 1993, 3:207-219.
- [19] Andersen F, Lygren B, Maage A. Interaction between two dietary levels of iron and two forms of ascorbic acid and the effect on growth, antioxidant status and some non-specific immune parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts [J]. Aquaculture, 1998, 161(1-4):437-451.
- [20] 叶元土, 林仕梅, 罗莉, 等. 黄颡鱼消化能力与营养价值的研究 [J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(2):23-30.
- [21] 陈章宝, 郑曙明. 淡水白鲢、团头鲂、黄颡鱼主要消化酶活性研究 [J]. 四川畜牧兽医学院学报, 2001, 15(3):11-15.
- [22] 周景祥, 余涛, 黄权, 等. 鲤鱼、黄颡鱼和大眼鲈消化酶活性的比较研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(1):94-96, 120.

Effects of dietary vitamin C levels and sources on growth and immunity of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson)

WANG Wen-hui¹, WANG Ji-qiao¹, CHENG Xin¹, LIU Gui-ze¹, LI Wen-kuan², LUO Xiao-nian², LI Jing-wei²

(1. Life Science and Technique Institute, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China; 2. Liaoning Freshwater Fisheries Institute, Liaoyang 111000, China)

Abstract: Ascorbic acid is an important micronutrient for growth and development in yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), a new candidate species in large-scale freshwater culture. The optimal dosage and source of ascorbic acid supplemented in diet are crucial factors for yellow catfish culture. Yellow catfish juveniles, body weight 10.0 g were stocked into 30 net cages of 60 cm × 60 cm × 120 cm in a circulating pond and fed by semi-purified formulated feed containing 40% protein (fishmeal as only protein source) and 8.0% lipid and supplemented with five levels of coated-ascorbic acid (CAA) or ascorbic acid-2-phosphate (LAAP) (300 mg · kg⁻¹ diet, 600 mg · kg⁻¹ diet, 900 mg · kg⁻¹ diet, 1 200 mg · kg⁻¹ diet, 1 500 mg · kg⁻¹ diet) to investigate the effects of dietary vitamin C levels and sources on growth and immunity of juveniles on the basis of specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER), feed conversion rate (FCR), and compositions in muscle. Water temperature was maintained at (22.0 ± 3.0) °C. The results of 90-day-feeding trial show that the optimal LAAP and CAA ascorbic acid requirements are 1 110 – 1 200 mg · kg⁻¹ diet and 659 – 900 mg · kg⁻¹ diet in yellow catfish juveniles, respectively. The fish groups of 1 200 mg (LAAP) · kg⁻¹ diet and 600 mg (CAA) · kg⁻¹ diet had the maximal serum total protein level; the fish had the maximal lysozyme activity when feeding at 961 mg (LAAP) · kg⁻¹ diet and 981 mg (CAA) · kg⁻¹ diet. The fish had the maximal amylase activity and the maximal proteinase activity when feeding at 747 mg (LAAP) · kg⁻¹ diet, 507 mg (CAA) · kg⁻¹ diet, 1 014 mg (LAAP) · kg⁻¹ diet and 919 mg (CAA) · kg⁻¹ diet, respectively. The different sources and dosage of ascorbic acid had no significant effect ($P > 0.05$) on protein, lipid and carbohydrate levels in muscle and serum Ig M, complements C3 and C4 quantity. The results imply that the reason for CAA having advantage over LAAP should be contributed to the slow release and stableness of CAA which can promote high proteinase activity and immunity. [Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(6): 951 – 958]

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; protein; ascorbic acid; growth; immunity

Corresponding author: WANG Ji-qiao. E-mail: jqwang1950@163.com