

饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼生长、血液指标及血清酶活性的影响

吴文俊¹, 周飘苹¹, 黎明¹, 申屠基康², 周歧存^{1*}

(1.宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211; 2.宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315010)

摘要: 实验以对照组饲料和分别添加 0.1%的 5'-尿苷一磷酸二钠(UMP)、5'-腺苷一磷酸二钠(AMP)、5'-胞苷一磷酸二钠(CMP)、5'-鸟苷一磷酸二钠(GMP)、5'-肌苷一磷酸二钠(IMP)和以上 5 种核苷酸(1:1:1:1:1)混合物(Mix)的实验饲料(粗蛋白: 45.0%; 粗脂肪: 10.0%)饲养大黄鱼(平均初始质量为 (5.57 ± 0.01) g) 64 d, 研究饲料中不同核苷酸的添加对大黄鱼生长性能、血液常规指标和血清酶活性的影响。实验结果表明, 不同核苷酸的添加对大黄鱼的生长性能、饲料效率、体成分及血液常规指标基本无显著性影响($P > 0.05$)。但肌苷酸组和核苷酸混合物组血清中葡萄糖含量要显著高于其他各组($P < 0.05$)。鸟苷酸组胆固醇和甘油三酯含量要显著高于其他各组($P < 0.05$)。血清酶活性数据表明, 腺苷酸和鸟苷酸组的谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性要显著高于其他各组($P < 0.05$)。腺苷酸、鸟苷酸、肌苷酸和核苷酸混合物组的溶菌酶活性显著高于其他各组($P < 0.05$)。而超氧化物歧化酶活性在各处理组间无显著性差异($P > 0.05$)。总体而言, 饲料中不同核苷酸的添加对大黄鱼生长和血液常规基本无显著性影响, 而肌苷酸和核苷酸混合物的添加能够提高血清中葡萄糖含量, 促进饲料中糖源的吸收; 腺苷酸、鸟苷酸、肌苷酸和核苷酸混合物对大黄鱼的非特异性免疫能力的改善有一定作用。

关键词: 核苷酸; 大黄鱼; 生长性能; 血液指标; 血清酶活性

中图分类号: S965.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 02-0007-06

核苷酸是生物体内各种细胞的主要组分, 在编码遗传基因、调节能量代谢、细胞信号传递等生理和生化过程中发挥着重要作用^[1-2]。由于动物机体内存在核苷酸的从头合成途径和补救途径, 通常无特异性缺乏症。但是当动物处于免疫应激、肝损伤、饥饿及快速生长情况下, 内源核苷酸往往不能满足代谢旺盛的组织和细胞的需要, 这时补充核苷酸尤为重要^[3-4]。另外, 有研究表明, 饲料中添加外源核苷酸能够有效提高罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)^[5]、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)^[6-7]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[8-9]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[10]、苏氏芒鲶(*Pangasius sutchi*)^[11]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[12-13]和石斑鱼(*Epinephelus*

malabaricus)^[14]的生长性能、免疫能力和抗病能力。

目前, 大黄鱼的养殖生产主要是在天然海湾内的传统网箱中进行, 大黄鱼必然会面临潮水风浪等各种应激。高密度养殖时, 大黄鱼还会受到更多应激因子的刺激, 其免疫器官和胃肠道等也会受到更加严重的影响。且已有研究表明, 饲料中添加肽聚糖能够提高大黄鱼的生长率和非特异性免疫力^[15], 但有关核苷酸对大黄鱼生长及免疫应答的影响还未见报道。笔者以快速生长时期的大黄鱼幼鱼为试验对象, 探讨饲料中添加不同类型的核苷酸对大黄鱼生长性能、血液生化指标和血清酶活性的影响, 为大黄鱼幼鱼饲料的开发提供理论依据。

收稿日期: 2014-01-07.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家星火计划重大项目 (2011GA701001); 国家自然科学基金 (31272670); 浙江省钱江人才项目 (2012R10069); 岱衢族大黄鱼饲料产业化关键技术研究示范 (2012C10025); 宁波市自然科学基金 (2011A610011)。

第一作者: 吴文俊 (1989-), 男, 安徽池州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: 814343972@qq.com

*通信作者: 周歧存 (1967-), 男, 安徽舒城人, 博导/教授, 主要研究方向: 水生动物营养与饲料。E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验饲料制作

以鱼粉、豆粕和小麦蛋白粉为主要蛋白源,以鱼油、豆油和大豆卵磷脂为主要脂肪源,配置7组等蛋白等脂肪的饲料,分别添加0.1%的尿苷酸(UMP)、腺苷酸(AMP)、胞苷酸(CMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)和5种核苷酸(1:1:1:1:1)的混合物(Mix),均以二钠盐形式添加,对照组不添加核苷酸(表1和表2)。原料粉碎后过80目筛网,按配方比例混匀后加适量水揉匀,用双螺杆挤条机(F(II)-26,广州华南理工大学)制成硬颗粒饲料(2种粒径分别为2 mm和4 mm),晾干至水分为10%左右,用塑料袋包装保存于-20℃冰柜中备用。

表1 实验饲料配方 %

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
鱼粉 ⁽¹⁾	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
豆粕	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
小麦蛋白粉	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64
小麦粉	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75	25.75
鱼油	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
豆油	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
大豆卵磷脂	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
磷酸二氢钙	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
无机盐混合物 ⁽²⁾	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素混合物 ⁽²⁾	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
核苷酸 ⁽³⁾	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
纤维素	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注: (1)鱼粉: 秘鲁蒸汽鱼粉(粗蛋白: 660 g kg⁻¹; 粗脂肪: 85.0 g kg⁻¹);

(2)无机盐混合物和维生素混合物参照麦康森等^[16]实验配方;

(3)核苷酸购于上海三杰生物技术有限公司。

表2 饲料常规成分分析 %

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
干物质	89.23	89.39	89.59	89.22	89.42	89.94	90.12
粗蛋白	46.31	47.11	46.46	46.21	46.85	46.05	45.61
粗脂肪	10.11	10.62	9.71	10.66	10.37	10.47	10.08
灰分	10.04	10.07	9.83	9.83	9.80	9.83	9.83

1.2 实验鱼的来源、驯化与养殖管理

实验鱼苗购置于象山港湾水产苗种有限公司,实验在浙江省宁波市象山县西汭港港湾鱼排上进行。实验开始前,鱼苗暂养2周。暂养结束后,挑选规格一致、体格健壮鱼苗(平均初始质量为 (5.57 ± 0.01) g),分配于21个(1.5 m×1.5 m×2.0 m)的小规格海水浮筏式网箱中,每个网箱60尾鱼苗。实验设置7个处理,每个处理3个重复。每天投喂2次(5:00和17:00),采取饱食投喂方式,养殖周期为64 d。实验期间,海水温度为26.5~32.5℃,盐度为32~36 g·L⁻¹,溶解氧含量在7.0 mg·L⁻¹左右。

1.3 样品采集及分析

1.3.1 样品采集

养殖实验结束后,实验鱼饥饿24 h,依次将网箱中的鱼捞出,用丁香酚(1:10000)(上海化学试剂公司)麻醉,然后称重计数,用于计算增重率、成活率等生长指标。称重后每个网箱随机取5尾鱼作为全鱼样,用于鱼体常规成分测定。另取8尾鱼,从尾部静脉抽取血样,其中4尾鱼血样注入抗凝管管中(全血样品检测);另外4尾鱼血样注入1.5 mL离心管中,在4℃冰箱静置过夜,3 500 r·min⁻¹离心10 min制得血清,用于血清指标及酶活性的测定。

1.3.2 鱼体生长指标及饲料利用的测定分析

测定分析计算公式分别如下:

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

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

$$\text{饲料效率} = (W_t - W_0) / F,$$

$$\text{存活率}(\%) = 100 \times (N_t / N_0),$$

式中, W_0 为实验开始时的鱼质量, g; W_t 为实验结束时的鱼质量, g; F 为饲料摄入量, g; t 为实验天数, d; N_t 为实验结束时的鱼数量, 尾; N_0 为实验开始时的鱼数量, 尾。

1.3.3 常规成分分析

饲料和鱼体常规成分的测定均参照AOAC(1995)方法^[17]。粗蛋白含量测定采用凯氏定氮法;粗脂肪含量测定采用索氏抽提法;水分含量测定采用105℃烘干恒重法;灰分测定采用550℃高温灼烧法。

1.3.4 血液指标及血清酶活性

血液常规指标均使用日立7600-110型全自动生化分析仪进行检测。

血清中溶菌酶活性参照 Ellis^[18]的方法检测。超氧化物歧化酶(SOD)活性参照 Beauchamp & Fridovich^[19]的方法用南京建成试剂盒进行检测。

1.3.5 统计分析

采用 SPSS 18.0.0 对实验数据进行单因素方差分析(ANOVA),若差异显著,进行 Duncan 多重比较,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 实验结果

2.1 生长数据及饲料利用

由表 3 可知,存活率($>75.56\%$)、增重率、特定生长率和饲料效率均无显著性差异($P>0.05$)。

表 3 饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼生长性能和饲料利用的影响

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
增重率/%	503.33±30.12	492.07±37.88	533.34±28.84	511.40±26.78	500.67±42.15	546.66±18.89	551.87±14.35
特定生长率/(%·d ⁻¹)	2.72±0.08	2.69±0.12	2.79±0.08	2.74±0.08	2.71±0.13	2.83±0.06	2.86±0.22
饲料效率	1.24±0.07	1.17±0.19	1.26±0.09	1.19±0.18	1.15±0.15	1.29±0.11	1.31±0.02
存活率/%	88.89±7.88	77.50±4.17	81.67±7.64	85.00±6.67	75.56±6.94	89.44±9.18	90.00±8.82

注:同行肩注不同英文字母,表示有显著性差异($P<0.05$),平均值±标准差, $n=3$,下同。

表 4 饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼鱼体常规成分的影响

%

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
干物质	25.04±1.14	24.41±0.34	24.99±0.42	25.22±0.26	25.47±0.27	24.97±0.68	25.55±0.87
粗蛋白	16.38±0.35	16.12±0.21	16.58±0.14	16.76±0.49	16.83±0.06	16.56±0.31	16.80±0.31
粗脂肪	9.73±1.17	9.09±1.01	9.38±1.14	9.42±1.02	10.04±0.98	9.77±0.91	9.88±1.14
灰分	3.70±0.13	3.79±0.04	3.76±0.11	3.73±0.14	3.82±0.17	3.79±0.15	3.85±0.03

表 5 饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼血液指标的影响

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
白细胞数/($\times 10^6$ mL ⁻¹)	113.67±11.86	110.95±9.85	112.57±13.61	128.13±15.10	110.65±17.15	116.30±10.08	108.80±14.72
红细胞数/($\times 10^9$ mL ⁻¹)	2.41±0.06 ^a	2.31±0.11 ^a	2.44±0.05 ^{ab}	2.68±0.18 ^b	2.50±0.25 ^{ab}	2.44±0.04 ^{ab}	2.46±0.06 ^{ab}
血红蛋白/(g·L ⁻¹)	48.67±2.89 ^a	49.00±8.00 ^{ab}	51.67±3.21 ^{ab}	59.00±4.36 ^b	54.33±8.39 ^{ab}	52.00±3.00 ^{ab}	54.50±2.50 ^{ab}
红细胞压积/%	36.00±1.00 ^{ab}	34.00±2.00 ^a	35.00±1.00 ^a	39.33±2.08 ^b	36.67±3.51 ^{ab}	35.67±1.53 ^{ab}	36.00±1.00 ^{ab}
总蛋白/(g·L ⁻¹)	20.70±1.71	22.47±1.27	20.47±1.99	23.00±2.34	23.13±1.45	21.13±1.90	22.27±0.71
葡萄糖/(mmol·L ⁻¹)	3.71±0.51 ^{ab}	3.60±0.28 ^a	3.56±0.51 ^a	4.04±0.34 ^{abc}	4.26±0.13 ^{bc}	5.14±0.21 ^d	4.45±0.22 ^c
甘油三酯/(mmol·L ⁻¹)	3.73±0.44 ^a	7.22±0.17 ^c	3.98±0.45 ^a	4.38±0.49 ^a	12.30±0.33 ^d	5.14±0.21 ^b	5.08±0.39 ^b
胆固醇/(mmol·L ⁻¹)	3.14±0.08 ^a	4.03±0.44 ^b	3.65±0.32 ^b	3.95±0.07 ^b	4.60±0.31 ^c	3.74±0.30 ^b	3.71±0.31 ^b

表 6 饲料中添加不同核苷酸对大黄鱼血清酶活性的影响

饲料	对照	尿苷酸	腺苷酸	胞苷酸	鸟苷酸	肌苷酸	核苷酸混合物
谷丙转氨酶/(IU·L ⁻¹)	10.00±3.00 ^a	9.00±2.65 ^{ab}	14.67±2.52 ^c	12.33±1.53 ^{bc}	14.00±3.00 ^c	10.50±2.50 ^{abc}	12.00±2.00 ^{abc}
谷草转氨酶/(IU·L ⁻¹)	51.50±8.50 ^a	51.50±11.50 ^a	70.50±13.50 ^{bc}	69.67±4.16 ^{bc}	82.00±3.61 ^c	72.00±4.36 ^{bc}	62.50±5.50 ^{ab}
溶菌酶/(U·mL ⁻¹)	23.33±6.29 ^a	22.50±2.50 ^a	43.75±3.75 ^{cd}	19.17±3.82 ^a	36.25±3.75 ^{bc}	32.50±6.61 ^b	48.75±3.7 ^d
超氧化物歧化酶/(U·mL ⁻¹)	136.03±8.47	133.24±10.32	139.77±7.79	137.12±10.38	140.88±4.42	140.34±9.41	142.21±16.68

2.2 鱼体常规成分

由表 4 可知,大黄鱼鱼体的干物质、粗蛋白、粗脂肪和灰分均无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 血液指标

由表 5 可知,血液指标基本无显著性差异,但葡萄糖(GLU)含量在肌苷酸(IMP)组和核苷酸混合物(Mix)组均显著高于对照组($P<0.05$);甘油三酯(TG)和胆固醇(CHOL)含量均在鸟苷酸(GMP)组有最高值,显著高于其他各组($P<0.05$)。

2.4 血清酶活

由表 6 可知,腺苷酸(AMP)和鸟苷酸(GMP)组血清中谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性

均显著高于其他各组($P<0.05$)。腺苷酸(AMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)组的溶菌酶活性要显著高于其他各组($P<0.05$)。超氧化物歧化酶(SOD)活性无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

核苷酸在鱼类营养中的应用研究表明,核苷酸能够促进鱼类早期的生长,增强抗应激能力,调节先天性免疫及适应性免疫应答反应^[20]。正常情况下,动物体内合成的核苷酸能够满足正常生长的需要,但越来越多的研究表明,添加外源核苷酸具有促生长作用。向泉等^[7]报道,日粮中添加 $516 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的酵母核苷酸能够显著提高鲤鱼(*C. carpio* L)的增重率;王广军等^[12]发现酵母提取物(核苷酸含量为 8.6%)能有效提高凡纳滨对虾的增重率和存活率,同时降低饲料系数。但以上实验中,使用的核苷酸均是酵母核苷酸或商业产品,其中可能含有其他微量元素或多糖等,会对水产动物的生长有一定作用。王锐等^[21]用不同水平的核苷酸饲料喂养斑点叉尾鲷幼鱼,结果显示核苷酸添加组的增重率与对照组相比无显著性差异。而本实验结果表明,饲料中添加 0.1%的不同类型核苷酸对大黄鱼生长性能和饲料效率均无显著性影响。核苷酸对各种鱼的生长影响的结果不一致,可能是由于鱼种差异、养殖环境不同所致。此外, Lin 等^[14]研究也表明,饲料中添加不同水平的核苷酸混合物和 $1.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的不同单体核苷酸均显著提高了石斑鱼(*E. malabaricus*)的增重率和饲料效率,但此实验中使用的是纯化饲料(未添加鱼粉)。但鱼粉中含有一定量的核苷酸,因此,饲料配方中原料的不同也是导致结果不一致的原因之一。Li 等^[22]研究表明,饲料中添加不同水平的核苷酸混合物,在实验的第一周内能显著提高美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)幼鱼($(10.2\pm 0.2)\text{g}$)的增重率和饲料效率,后期无显著性差异。核苷酸这种短暂的促生长作用表明,鱼类在某个短暂的特定生长阶段会对外源核苷酸有需求,但对不同鱼的此特定生长阶段如何判定,还需做进一步的实验研究。同时, Li 等^[22]的实验结果也显示,核苷酸的添加对美国红鱼(*S. ocellatus*)的鱼体粗成分无显著性影响。本实验研究也得出同样结果,这与蓝汉冰等^[23]研究结果也是一致的。

研究表明,血液中白细胞数、红细胞数、血红蛋白和红细胞压积等数据均能指示鱼类的健康状况^[24-25]。本实验中,红细胞数、血红蛋白含量和红细胞压积与对照组相比均无显著性差异,表明各种核苷酸的添加对大黄鱼机体健康不会造成显著性影响。由于血糖是反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态以及内分泌机能的一个重要指标,血糖浓度的升高意味着鱼肠道对饲料中碳水化合物的消化吸收作用加强,本实验结果显示,肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)组血清中葡萄糖含量均显著高于对照组,说明 0.1%的外源肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)有利于大黄鱼对饲料中糖源的吸收。闫俊书等^[26]也报道,饲料肌苷酸可提高 70 日龄雪山草鸡血清中葡萄糖的含量。血清胆固醇和甘油三酯水平则反映体内脂类代谢情况。本实验结果显示,鸟苷酸(GMP)组胆固醇和甘油三酯含量显著高于对照组和其他各组,表明饲料中添加鸟苷酸(GMP)对大黄鱼脂肪的代谢有一定影响。

谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)的活性变化与肝细胞的炎症、变性和坏死密切相关,是反映肝细胞受损伤的主要敏感指标^[27]。本实验中腺苷酸(AMP)和鸟苷酸(GMP)组血清中谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性均显著高于其他各组,表明饲料中腺苷酸(AMP)和鸟苷酸(GMP)的添加对大黄鱼的肝细胞功能有一定影响。

溶菌酶对于鱼类的非特异性免疫尤为重要,是鱼类极为重要的非特异性免疫指标之一^[28],其活性的高低直接反映出溶菌作用的强弱,在防御病原入侵上起着重要作用^[29]。Sakai 等^[30]从酵母 RNA 中分离的核苷酸可显著增强鲤鱼(*C. carpio* L)的非特异性免疫能力,提高血清溶菌酶活性。Song 等^[31]报道,牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)饲料中添加 0.2%~0.4%的肌苷酸能显著提高其血清中溶菌酶活性。本实验结果显示,腺苷酸、鸟苷酸、肌苷酸和核苷酸混合物组溶菌酶活性要显著高于对照组($P<0.05$),说明腺苷酸(AMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)能够提高大黄鱼的非特异性免疫能力。超氧化物歧化酶(SOD)的活性与水生生物的免疫水平密切相关,对于增强吞噬细胞防御能力和整个机体的免疫功能有重要作用^[32]。此外还表明,饲料中添加核苷酸对大黄鱼血

清中 SOD 酶活性无显著性影响,这与许丹丹等^[3]报道结果一致。

综上所述,可知不同核苷酸对大黄鱼的生长性能、饲料效率及血液指标基本无显著性影响,但肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)能显著提高血清中葡萄糖含量,促进饲料中糖源的吸收。同时腺苷酸(AMP)、鸟苷酸(GMP)、肌苷酸(IMP)和核苷酸混合物(Mix)能有效提高大黄鱼的血清溶菌酶活性,对非特异性免疫能力的改善有一定作用。

致谢 感谢象山港湾水产苗种有限公司徐万土场长、象山宁港水产养殖公司罗敏章场长的帮助和支持,感谢实验期间帮助分苗和取样的老师和同学们。

参考文献:

- [1] Carver J D, Walker W A. The role of nucleotides in human nutrition[J]. J Nutr Biochem, 1995(6):58-72.
- [2] Cosgrove M. Nucleotides[J]. Nutrition, 1998, 14:748-751.
- [3] 许丹丹, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、肠道形态及抗氧化酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5):1115-1124.
- [4] Savaiano D A, Clifford A J. The precursor of nucleotide acids in intestinal cells unable to synthesize purines denovo[J]. Nutrition, 1981, 111:1816-1822.
- [5] Ramadan A, Afifi N A, Moustafa M, et al. The Effect of ascogen on the immune response of tilapia fish to aeromonas hydrophila vaccine[J]. Fish Shellfish Immun, 1994(5):159-165.
- [6] 苟德明, 鲁安太, 王智新. CNT 组合剂对鲤鱼的增重试验[J]. 畜牧兽医杂志, 1995(8):5-8.
- [7] 向泉, 周兴华, 陈建, 等. 酵母核苷酸对鲤生长性能、体组成及血清免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(1):171-178.
- [8] Adamek Z, Hamackove J, Kouril J, et al. Effect of ascogen probiotics supplementation on farming success in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and wells (*Silurus glanis*) under conditions of intensive culture [J]. Krmiva (Zagreb), 1996, 38(1):11-20.
- [9] Ahmad T K, Saeed K, Amin N et al. Dietary administration of nucleotides to enhance growth, humoral immune responses, and disease resistance of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fingerlings[J]. Fish Shellfish Immunol, 2011, 30:189-193.
- [10] Burrells C, William P D, Southage P J, et al. Dietary nucleotides: A novel supplement in fish feeds I. Effects on resistance to diseases in Salmonids[J]. Aquaculture, 2001, 199:159-169.
- [11] 苗玉涛, 王安利. 核苷酸在苏氏芒鲶配合饲料中的应用效果[J]. 广东饲料, 2005, 14(2):36-37.
- [12] 王广军, 朱旺明, 谭永刚. 酵母核苷酸对凡纳滨对虾生长、免疫及抗应激影响的研究[J]. 饲料工业, 2006, 78: 29-32.
- [13] Murthy H S, Li P, Lawrence A, et al. Dietary b-glucan and nucleotide effects on growth, survival and immune responses of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. J Appl Aquac, 2009, 21:160-168.
- [14] Lin Y H, Wang H, Shiau S Y. Dietary nucleotide supplementation enhances growth and immune responses of grouper (*Epinephelus malabaricus*)[J]. Aquacult Nutr, 2009, 15:117-122.
- [15] 张春晓, 麦康森, 艾庆辉, 等. 饲料中添加肽聚糖对大黄鱼生长和非特异性免疫力的影响[J]. 水产学报, 2008, 32(3):411-415.
- [16] Mai K S, Wan J L, Ai Q H, et al. Dietary methionine requirement of large yellow croaker (*Pseudoscia enacroe*) [J]. Aquaculture, 2006, 253:564-572.
- [17] Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis[M]. 16th ed. Arlington: International Press, 1995.
- [18] Ellis A E. Lysozyme assay. Techniques in fish immunology[C]. Stolen J S, Fletcher T C, Anderson D P, et al. Fair Haven, NJ: SOS Publication; 1990:101-103.
- [19] Beauchamp C, Fridovich I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels[J]. Anal Biochem, 1971, 44:276-287.
- [20] Li P, Gatlin III D M. Nucleotide nutrition in fish: Current knowledge and future applications[J]. Aquaculture, 2006, 251:141-152.
- [21] 王锐, 李琴, 朱惠玲, 等. 外源核苷酸对斑点叉尾鲷的生长及肠道组织发育的影响[J]. 水产科学, 2010, 29 (12):718-720.
- [22] Li P, Gatlin III D M, Neill W H. Dietary supplementation of purified nucleotide mixture transiently enhanced growth and feed utilization of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*)[J]. J World Aquacult Soc, 2007, 38: 281-286.
- [23] 蓝汉冰, 曹俊明, 李国立, 等. 饲料中添加不同类型核苷酸对凡纳滨对虾生长性能的影响[J]. 现代渔业信息, 2009, 24(6):3-5.
- [24] Buentello J A, Reyes-Becerril M, Romero-Geraldo M J, et al. Effects of dietary arginine on hematological

- parameters and innate immune function of channel catfish[J]. J Aquat Anim Health, 2007, 19:195-203.
- [25] Zhou Q C, Wu Z H, Tan B P, et al. Optimal dietary methionine requirement for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J]. Aquaculture, 2006, 258: 551-557.
- [26] 闫俊书, 周维仁, 张惠, 等. 饲料肌苷酸对雪山草鸡胴体品质、肉质性状及血清中生化指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(6):1378-1385.
- [27] 惠天朝, 施明华, 朱荫湄. 硒对罗非鱼慢性隔中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响[J]. 中国兽医学报, 2000, 20(3): 264-266.
- [28] Christopher J B, Gerwick L. The acute phase response and innate immunity of fish[J]. Developmental and Comparative Immunology, 2001, 25:725-743.
- [29] 陈家长. 铬对鲤鱼非特异性免疫功能的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2002, 21(1):13-15.
- [30] Sakai M, Taniguchi K, Mamoto K, et al. Immuno-stimulant effects of nucleotide isolated from yeast rna on carp, *Cyprinus carpio* L[J]. J Fish Dis, 2001, 24:433-438.
- [31] Song J W, Lim S J, Lee K J. Effects of dietary supplementation of inosine monophosphate on growth performance, innate immunity and disease resistance of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Fish Shellfish Immunol, 2012, 33:1050-1054.
- [32] 牟海津, 江晓路, 刘树清, 等. 免疫多糖对栉孔扇贝酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, 29(3):463-468.

Effects of Different Nucleotides Supplementation on Growth Performance, Hematological Characteristics and Serum Enzyme Activities of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena crocea*)

WU Wen-jun¹, ZHOU Piao-ping¹, LI Ming¹, SHENTU Ji-kang², ZHOU Qi-cun^{1*}

(1.School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Ningbo Ocean and Fishery Research Institute, Ningbo 315010, China)

Abstract: Feeding trial is conducted to investigate the effects of different nucleotide supplementation on growth, hematological characteristics and serum enzyme activities of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). A basal diet (without nucleotide) is supplemented with 0.1% uridine-5'-monophosphate (UMP), adenosine-5'-monophosphate (AMP), cytidine-5'-monophosphate (CMP), guanosine-5'-monophosphate (GMP), inosine-5'-monophosphate (IMP) and 5 nucleotides mixture (Mix) (1:1:1:1:1) respectively to formulate experimental diets (crude protein: 45.0%; crude lipid: 10.0%), each diet is fed to large yellow croaker (average initial weight (5.57±0.01) g) for 64 days. The results indicate that growth performance, feed efficiency, whole body proximate composition and hematological characteristics are not notably affected ($P>0.05$). But the serum glucose in the IMP and Mix groups are found to be significantly higher than the other groups ($P<0.05$), triglyceride and cholesterol in serum are much higher ($P<0.05$) in GMP group. The results from serum enzyme activities suggest that aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase activities are significantly higher in AMP and GMP groups ($P<0.05$). Serum lysozyme activities are significantly higher in AMP, GMP, IMP and Mix groups ($P<0.05$), and the serum superoxide dismutase activities shows no significant differences among all experimental groups ($P>0.05$). Therefore, different nucleotides supplementation almost has no effects on growth and hematological characteristics, but IMP and nucleotide mixture can improve the serum glucose, facilitating the absorption of sugar source in diet. The AMP, GMP, IMP and nucleotide mixture (Mix) may also improve innate immunity.

Key words: nucleotide; *Pseudosciaena crocea*; growth; hematological characteristics; serum enzyme activities

(责任编辑 章践立)