

饲料中添加核苷酸对凡纳滨对虾幼虾生长、组织生化组成及非特异性免疫功能的影响

曹俊明^{1*}, 许丹丹^{1,2}, 黄燕华¹, 蓝汉冰²,
陈冰¹, 赵红霞¹, 蒋卫亮^{1,2}, 陈晓琪^{1,2}

(1. 广东省农业科学院畜牧研究所, 广东 广州 510640;

2. 华南农业大学动物科学学院, 广东 广州 510642)

摘要: 选用 960 尾初始体重为 (0.43 ± 0.01) g 的凡纳滨对虾, 随机分为 8 组, 分别投喂基础饲料和 7 种添加核苷酸混合物 (mix-NT) 的试验饲料, 5 种核苷酸 (5'-腺苷酸:5'-胞苷酸:5'-尿苷酸二钠:5'-肌苷酸二钠:5'-鸟苷酸二钠) 按照质量比为 1:1:1:1:1 (W/W) 混合, 添加量分别为 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 和 1.2 g/kg 饲料, 试验周期为 5 周。结果显示, 当 mix-NT 添加量为 0.4 g/kg 饲料时, 凡纳滨对虾的增重率 (WGR)、特定生长率 (SGR) 和摄食量 (FI) 显著高于对照组 ($P < 0.05$), 饲料系数 (FCR) 比对照组降低 5.5% ($P > 0.05$)。0.6 和 1.0 g/kg mix-NT 添加组的蛋白质沉积率 (PDR) 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。试验组对虾存活率 (SR) 和肝胰指数 (HSI) 均不同程度的高于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。饲料中添加 mix-NT 对全虾粗脂肪、灰分含量的影响显著 ($P < 0.05$), 各 mix-NT 添加组的全虾干物质和粗蛋白含量均高于对照组, 但差异未达到显著水平 ($P > 0.05$)。肝胰腺 RNA 含量和总蛋白 (TP) 含量均随饲料中 mix-NT 添加量的增加而升高, 其中 0.2 ~ 1.0 g/kg 组的肝胰腺 RNA 含量显著高于对照组 ($P < 0.05$), TP 含量差异未达到显著水平 ($P > 0.05$); 各 mix-NT 添加组的肠道 TP 含量均显著高于对照组 ($P < 0.05$), 0.4 和 0.6 g/kg 组的肠道 RNA 量极显著高于对照组 ($P < 0.01$)。外源 mix-NT 显著降低血清尿酸 (UA) 含量 ($P < 0.05$), 但对 TP、谷丙转氨酶 (GPT)、高密度脂蛋白 (HDL) 含量无显著影响 ($P > 0.05$)。当 mix-NT 添加量为 1.2 g/kg 饲料时, 血清中谷草转氨酶 (GOt) 活性显著性升高 ($P < 0.05$)。鳃和肌肉酚氧化酶 (PO) 活性均在 0.4 g/kg 组达到最大, 其中 0.1 ~ 0.6 g/kg 组的鳃 PO 活性显著高于对照组 ($P < 0.05$), 而各组肌肉 PO 活性无显著差异 ($P > 0.05$)。凡纳滨对虾肝胰腺和血清中溶菌酶 (LZM) 活性随饲料中 mix-NT 添加量的增加而显著升高 ($P < 0.05$)。结果表明, 饲料中添加一定量的 5 种核苷酸混合物能显著提高凡纳滨对虾幼虾的增重率、特定生长率、摄食量、蛋白质沉积率、全虾粗脂肪和灰分含量, 一定程度提高全虾粗蛋白和肝胰腺总蛋白含量, 显著增加肝胰腺 RNA、肠道总蛋白和 RNA 含量, 提高对虾的非特异性免疫功能。

关键词: 凡纳滨对虾; 核苷酸; 生长; 血清生化指标; 非特异性免疫

中图分类号: S 963.73; S 968.22

文献标识码: A

核苷酸包括嘌呤核苷酸和嘧啶核苷酸, 在机体内具有许多重要的生理生化功能, 是遗传物质 DNA、RNA 的重要组成成分。近年来, 许多研究结果表明, 当动物处于免疫应激、肝损伤、饥饿及快速

生长的情况下, 内源核苷酸往往不能满足各种代谢旺盛的组织和细胞的需要, 这时补充外源核苷酸尤为重要^[1]。目前, 对仔猪^[2]、肉鸡^[3]和小鼠^[4]的研究证明, 饲料中添加一定量的核苷酸能促进动物的

收稿日期: 2010-11-25

修回日期: 2011-02-09

资助项目: 广东省自然科学基金研究团队项目 (10351064001000000); 广东省中科院合作项目 (2009B091300136)

通讯作者: 曹俊明, E-mail: junmcao@163.com

生长,影响肠、肝、脾、骨等组织中核苷酸、DNA 和 RNA 的含量,并对相关的非特异性免疫酶活性有调节作用。核苷酸在大菱鲂 (*Scophthalmus maximus*)^[5]、罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[6]、虹鳟 (*Salmo gairdneri*)^[7]、大西洋鲑 (*Salmo salar*)^[8]、美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*)^[9] 中也有相应的研究,结果表明,外源核苷酸可以提高鱼的体重、体长、肠皱褶高度和非特异免疫相关因子的活性。GRIMBLE 等^[10] 报道,日粮中核苷酸缺乏会削弱肝脏、心脏、肠道和免疫系统的功能。

凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 是我国对虾的主导养殖品种和重要的出口水产品之一。在集约化养殖过程中,对虾面临着大量的应激因素,如:拥挤、营养、环境、代谢等的影响。激烈的应激往往会导致对虾抗病力减弱,疾病爆发流行,造成养殖中过度使用兽药和抗生素类饲料添加剂。近年来,抗生素替代品的研究与开发已成为人们关注的热点,通过营养调控提高或激活对虾自身的抗氧化和免疫能力,成为解决上述问题的一条有效途径。蓝汉水等^[11] 结果显示,添加适量的核苷酸粗提物能提高凡纳滨对虾的增重率,降低饲料系数,提高全虾粗蛋白和粗脂肪含量,但研究还不够深入,所用的核苷酸粗提物成分比较复杂,关于核苷酸对免疫功能的影响还缺乏研究。为进一步了解核苷酸对凡纳滨对虾生长性能、组织生化组成和非特异性免疫功能的影响,本试验以凡纳滨对虾为研

究对象,观察了在饲料中添加 5 种纯化核苷酸混合物对其生长性能、体组成、肝胰腺和肠道中总蛋白及 RNA 含量、血清生化指标及酚氧化酶和溶菌酶活性的影响,以便为核苷酸在水产养殖中的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 核苷酸混合物

5 种核苷酸:5'-胞苷酸、5'-腺苷酸、5'-尿苷酸二钠、5'-肌苷酸二钠、5'-鸟苷酸二钠,由南京同凯兆业生物技术有限责任公司提供,纯度均大于 99%。将 5 种核苷酸按照质量比为 1:1:1:1:1 (W/W) 的比例混合均匀制备核苷酸混合物 (mix-NT)。

1.2 试验饲料及制备

以鱼粉、酪蛋白、大豆浓缩蛋白为主要蛋白源,鱼油为主要脂肪源,高筋面粉为糖源配制成基础饲料,其配方和营养组成如表 1 所示。向基础饲料中分别添加 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 和 1.2 g/kg 饲料 mix-NT 配制成 7 种试验饲料,记为 G0 (对照组)、G0.1、G0.2、G0.4、G0.6、G0.8、G1.0 和 G1.2。饲料原料粉碎后过 60 目筛,微量成分采取逐级扩大法添加,核苷酸混合物先溶于水,然后混入各组饲料中。全部混合均匀后用 SLX-80 型双螺杆挤压机制成直径为 1.0 mm 的饲料,在 55 °C 下烘干,冷却后放入密封袋中,于 -20 °C 冰箱中保存待用。

表 1 基础饲料组成及营养水平 (风干基础)

Tab. 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air dry basis)

原料 ingredient	含量 content	原料 ingredient	含量 content
鱼粉 fish meal	5.00	磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	3.00
大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate	26.40	维生素预混料 ^a vitamin premix	2.60
酪蛋白 casein	20.00	矿物质预混料 ^b mineral premix	3.00
高筋面粉 strong flour	23.60	胆固醇 chole sterol	0.70
鱼油 fish oil	6.50	海藻酸钠 sodium alginate	2.00
大豆磷脂 (50%) soybean lecithin	2.00	氯化胆碱 (50%) choline chloride	1.00
微晶纤维素 cellulose	4.00	乙氧基喹啉 ethoxy quinoline	0.10
维 C 酯 vitamin C	0.10	总计 total	100.00
营养水平 nutrient levels			
粗蛋白 crude protein	43.37	水分 moisture	5.56
粗脂肪 crude lipid	10.41	灰分 ash	9.15

注:a. 每千克维生素预混料含有,维生素 A,4 000 000 IU; 维生素 D,2000 000 IU; 维生素 E,30 g; 维生素 K₃,10 g; 维生素 B₁,5 g; 维生素 B₂,15 g; 维生素 B₆,8 g; 泛酸钙,25 g; 叶酸,2.5 g; 生物素,0.08 g; 烟酸,40 g; 维生素 B₁₂,0.02 g,肌醇,150 g.

b. 每千克矿物质预混料含有,一水硫酸镁,12 g; 氯化镁,90 g; 蛋氨酸-铜,3 g; 一水硫酸铁,1 g; 一水硫酸锌,10 g; 碘酸钙,0.06 g; 蛋氨酸-钴,0.16 g; 硒酸钠,0.003 6 g.

Notes:a. One kilogram of vitamin premix contained,VA,4 000 000 IU; VD 2000 000 IU; VE 30 g; VK₃,10 g; VB₁,5 g; VB₂,15 g; VB₆,8 g; calcium pantothenate,25 g; folic acid,2.5 g; biotin,0.08 g; nicotinic acid,40 g; VB₁₂,0.02 g; inositol,150 g.

b. One kilogram of mineral premix contained,MgSO₄ · H₂O,12 g; KCl,90 g; Met-Cu,3 g; FeSO₄ · H₂O,1 g; ZnSO₄ · H₂O,10 g; Ca (IO₃)₂,0.06 g; Met-Co,0.16 g; NaSeO₃,0.003 6 g.

1.3 试验虾及饲养管理

凡纳滨对虾购自珠海斗门虾苗场,饲养试验在广东省农业科学院畜牧研究所水产研究中心室内循环水养殖系统中进行。循环流水过滤玻璃纤维桶容积为350 L(直径80 cm,高70 cm,水体容积300 L),进水速率为1.4 L/min。水温25~30℃,盐度4.5~5.5 pH 7.7~8.0,溶氧>5 mg/L,氨氮≤0.02 mg/L、亚硝酸盐≤0.2 mg/L。

试验虾先在室外水泥池中饲养4周至体重0.43 g左右,然后选择960尾对虾随机分成8组,每组设3个重复,每个重复40尾虾,分别投喂基础饲料和7种试验饲料,养殖期为5周。采用饱食投喂法,每天分别在8:00、15:00和20:00分3次投喂,投喂后30 min吸出残饵,同时根据摄食情况及时调整投喂量,计算采食量和饲料系数。每天观察对虾健康状况,记录死亡情况。

1.4 样品采集和分析

试验结束时,禁食24 h,称终末体重,统计对虾存活率。每个重复随机选取8尾虾用于全虾体成分分析。随机从每个重复取10尾虾,采集虾血、剥离肝胰腺、鳃及肌肉并制备血清、肝胰腺匀浆液、肌肉和鳃匀浆液。每个重复取4尾虾测定肝胰指数。

增重率(GR,%) = (末均重 - 初均重) × 100 / 初均重

特定生长率(SGR, %/d) = [Ln(末均重) - Ln(初均重)] × 100 / 饲养天数;

存活率(SR,%) = (试验结束时虾尾数 / 试验开始时放虾尾数) × 100;

肝胰指数(HSI,%) = (肝胰腺重 / 体重) × 100;

饲料系数(FCR) = 摄食量 / (终末虾体重 + 试验中死亡虾体重 - 初始虾体重);

摄食量(FI,g) = 投饵总量 / [(试验开始时放虾尾数 + 试验结束时虾尾数) / 2]

蛋白质沉积率(PDR,%) = 100 × (试验终末虾体蛋白含量 - 试验初始虾体蛋白含量) / 摄入蛋白量

常规营养成分分析 采用烘干失重法(GB 6435286)、凯氏定氮法(GB 6432286)、索氏抽提法(GB 6433286)和高温灼烧法(GB 6538286)分别测定全虾水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分。

RNA含量的测定 试验结束时,每个缸中

随机抽取4尾虾,分别剥离肝胰腺及肠道,保存于-80℃冰箱中。Trizol法提取组织中总RNA,紫外吸收法(岛津UVmini-1240型紫外可见分光光度计)测定RNA溶液浓度和纯度。

生理生化指标分析 血清总蛋白(TP)、肝胰腺和肠匀浆上清总蛋白、谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、尿酸(UA)和高密度脂蛋白(HDL)采用日立7600全自动生化分析仪检测,测定试剂采购自罗氏公司。总蛋白(TP)的测定采用双缩脲法;谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)的测定采用速率法;尿酸(UA)的测定采用尿酸酶过氧化物酶偶联-终点法;高密度脂蛋白(HDL)的测定采用一步法。溶菌酶(LZM)的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定,具体测定方法按照试剂盒的说明进行。酚氧化酶(PO)活性的测定,以L-多巴为底物,把10 μL血清加入96孔酶标板中,然后向各孔中加入200 μL浓度为0.1 mol/L、pH为6.0的磷酸盐缓冲液,最后向各样品孔中加入10 μL浓度为0.01 mol/L的L-多巴液,振荡4次,在酶标仪(550, Bio-Rad)中每隔4 min读取490 nm处的吸光值。酶活力以试验条件下,OD₄₉₀值每分钟增加0.001为1个酶活力单位。

1.5 数据统计分析

试验数据用平均值 ± 标准差(mean ± SD)表示,采用SPSS 16.0版软件进行数据分析和统计,先对数据作单因子方差分析(ANOVA),若处理间有显著差异,再作Duncan氏多重比较, $P < 0.05$ 表示差异性显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 核苷酸混合物对凡纳滨对虾生长性能及饲料利用的影响

各组试验虾的末均重、增重率、特定生长率和摄食量均随着饲料中mix-NT添加量的增加而升高,其中G0.4组与对照组之间差异显著($P < 0.05$),其它各组间差异不显著($P > 0.05$)。与对照组相比,G0.4和G0.6组饲料系数最低,比对照组降低5.5%,但无显著性差异($P > 0.05$)。各mix-NT添加组蛋白质沉积率均高于对照组,其中G0.6和G1.0组显著高于对照组($P < 0.05$)。与对照组相比,添加mix-NT组对虾的成活率和肝

胰指数均无显著差异 ($P > 0.05$), 其中存活率以 G0.6 组比对照组升高 11.4% (表 2)。G0.1 组最高, 比对照组升高 12.6%, 肝胰指数在

表 2 核苷酸对凡纳滨对虾生长性及饲料利用的影响
Tab.2 Effect of mix-NT on growth performance and feed utilization of juvenile *L. vannamei*

指标 index	组别 group							
	G0	G0.1	G0.2	G0.4	G0.6	G0.8	G1.0	G1.2
初均重(g) initial weight	0.43 ± 0.012	0.43 ± 0.009	0.43 ± 0.009	0.44 ± 0.009	0.43 ± 0.004	0.44 ± 0.002	0.43 ± 0.008	0.43 ± 0.002
末均重(g) final weight	3.52 ± 0.20 ^a	3.53 ± 0.22 ^a	3.71 ± 0.12 ^{ab}	3.87 ± 0.12 ^b	3.77 ± 0.17 ^{ab}	3.69 ± 0.09 ^{ab}	3.75 ± 0.19 ^{ab}	3.72 ± 0.15 ^{ab}
增重率(%) WGR	719.3 ± 38.7 ^a	719.5 ± 39.3 ^a	765.1 ± 15.5 ^{ab}	790.4 ± 19.1 ^b	786.1 ± 46.7 ^{ab}	743.0 ± 19.5 ^{ab}	782.5 ± 52.6 ^{ab}	764.1 ± 29.5 ^{ab}
特定生长率(%/d) SGR	6.00 ± 0.14 ^a	6.01 ± 0.14 ^a	6.16 ± 0.05 ^{ab}	6.25 ± 0.07 ^b	6.23 ± 0.16 ^{ab}	6.09 ± 0.07 ^{ab}	6.22 ± 0.17 ^{ab}	6.16 ± 0.10 ^{ab}
摄食量(g) FI	2.82 ± 0.12 ^a	2.79 ± 0.04 ^a	2.85 ± 0.03 ^{ab}	3.00 ± 0.08 ^b	2.94 ± 0.06 ^{ab}	2.94 ± 0.11 ^{ab}	2.92 ± 0.08 ^{ab}	2.92 ± 0.13 ^{ab}
饲料系数 FCR	0.91 ± 0.02	0.88 ± 0.03	0.87 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.86 ± 0.03	0.89 ± 0.03	0.87 ± 0.03	0.87 ± 0.05
蛋白质沉积率(%) PDR	0.429 ± 0.01 ^a	0.448 ± 0.01 ^{ab}	0.468 ± 0.03 ^{ab}	0.466 ± 0.03 ^{ab}	0.472 ± 0.02 ^b	0.446 ± 0.03 ^{ab}	0.473 ± 0.01 ^b	0.459 ± 0.02 ^{ab}
存活率(%) SR	86.7 ± 7.6	97.6 ± 2.4	95.0 ± 6.6	89.2 ± 8.8	88.4 ± 1.6	90.0 ± 9.0	91.7 ± 3.8	89.2 ± 12.3
肝胰指数(%) HSI	4.84 ± 0.48	4.88 ± 0.33	5.09 ± 0.20	4.96 ± 0.28	5.39 ± 0.02	5.27 ± 0.55	4.85 ± 0.22	5.18 ± 0.49

注:同列上标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

Notes: Values in the same line with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same is as follows.

2.2 核苷酸混合物对凡纳滨对虾体成分的影响

由表 3 可以看出,与对照组相比,各添加组干物质和粗蛋白含量均高于对照组,但差异未达到显著水平 ($P > 0.05$)。添加 mix-NT 各组对虾粗

脂肪含量表现出先增加后降低的趋势,其中 G0.4 组显著高于 G1.0 组 ($P < 0.05$)。随着 mix-NT 添加量的升高,全虾灰分含量均显著性升高 ($P < 0.05$)。

表 3 核苷酸对凡纳滨对虾体组成的影响(干重)
Tab.3 Effect of mix-NT on whole-body composition of juvenile *L. vannamei* (dry matter) %

组别 group	干物质 dry matter	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash
G0	24.05 ± 0.16	68.51 ± 1.08	9.34 ± 0.80 ^{ab}	11.85 ± 0.12 ^a
G0.1	24.07 ± 0.46	69.22 ± 0.68	8.88 ± 0.68 ^{ab}	12.46 ± 0.12 ^{bc}
G0.2	24.70 ± 0.20	69.20 ± 1.22	9.25 ± 0.64 ^{ab}	12.33 ± 0.17 ^{bc}
G0.4	24.41 ± 0.67	68.60 ± 0.49	9.99 ± 0.23 ^b	12.49 ± 0.14 ^{bc}
G0.6	24.45 ± 0.52	69.53 ± 0.96	9.68 ± 1.06 ^{ab}	12.52 ± 0.43 ^{bc}
G0.8	24.23 ± 0.69	69.25 ± 1.41	8.93 ± 0.64 ^{ab}	12.91 ± 0.31 ^{cd}
G1.0	24.91 ± 0.33	69.33 ± 0.38	8.44 ± 0.20 ^a	13.11 ± 0.34 ^d
G1.2	24.27 ± 0.25	69.14 ± 1.16	8.61 ± 1.15 ^{ab}	12.95 ± 0.32 ^{cd}

2.3 核苷酸混合物对凡纳滨对虾肝胰腺和肠道匀浆上清液总蛋白及 RNA 含量的影响

8 组对虾肝胰腺和肠道匀浆上清液的总蛋白 (TP) 及 RNA 含量如表 4 所示。饲料中添加 mix-

NT 可显著提高凡纳滨对虾肝胰腺总 RNA 含量 ($P < 0.05$), 其中 G0.2 组 RNA 含量极显著性高于对照组 ($P < 0.01$); 除 0.1 g/kg G0.1 组外, 其他添加组的肝胰腺 TP 含量均高于对照组, 当添

加量为 0.6 g/kg 饲料及其以上时,肝胰腺 TP 含量比对照组升高 15.2% ~ 24.8%,但差异未达到显著水平($P > 0.05$)。各 mix-NT 添加组对虾肠道 TP 和 RNA 含量均高于对照组,并呈先增大后

减小的趋势,其中各试验组肠道 TP 含量都显著性高于对照组($P > 0.05$);G0.4 和 G0.6 组的肠道 RNA 含量极显著高于对照组($P < 0.01$)。

表 4 核苷酸对凡纳滨虾肝胰腺和肠道匀浆上清液蛋白质及 RNA 含量的影响
Tab.4 Effect of mix-NT on TP and RNA content in hepatopancreas and intestine of juvenile *L. vannamei*

组别 group	肝胰腺 hepatopancreas		肠道 intestine	
	总蛋白(g/L) TP	RNA(mg/g)	总蛋白(g/L) TP	RNA(mg/g)
G0	6.18 ± 0.24	2.59 ± 0.46 ^{Aa}	3.47 ± 0.40 ^{Aa}	5.63 ± 0.86 ^{Aa}
G0.1	6.17 ± 0.35	2.78 ± 0.74 ^{ABab}	6.43 ± 1.25 ^{Bb}	8.63 ± 1.94 ^{abABC}
G0.2	6.90 ± 0.15	4.14 ± 0.39 ^{Bc}	5.17 ± 0.15 ^{ABb}	9.29 ± 2.42 ^{abABC}
G0.4	6.47 ± 1.28	3.93 ± 0.76 ^{ABc}	8.37 ± 0.67 ^{Cc}	11.55 ± 3.73 ^{bcBC}
G0.6	7.12 ± 1.11	3.80 ± 0.80 ^{ABbc}	5.83 ± 1.27 ^{Bb}	13.32 ± 3.27 ^{cC}
G0.8	7.71 ± 1.91	3.59 ± 0.34 ^{ABabc}	5.23 ± 0.64 ^{ABb}	6.67 ± 1.35 ^{aAB}
G1.0	7.71 ± 0.67	3.76 ± 0.40 ^{ABbc}	6.60 ± 0.43 ^{BCb}	6.70 ± 0.63 ^{aAB}
G1.2	7.41 ± 1.73	3.64 ± 0.41 ^{ABabc}	5.30 ± 0.46 ^{ABb}	6.32 ± 1.33 ^{aAB}

注:同列上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

Notes: Values in the same line with different small letter superscripts mean significant difference($P < 0.05$), different capital letter superscripts mean extremely significant difference($P < 0.01$).

2.4 核苷酸混合物对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

由表 5 可知,血清中总蛋白(TP)、高密度脂蛋白(HDL)含量各组间差异不显著($P > 0.05$)。谷草转氨酶(GOT)和谷丙转氨酶(GPT)活性随

着 mix-NT 添加量的增加先降低后升高,其中, G1.2 组的 GOT 活性显著高于 G0 ~ G0.6 组($P < 0.05$), GPT 活性的组间差异不显著($P > 0.05$)。尿酸(UA)含量以 G0.6 组最低,显著低于 G0 和 G0.1 组($P < 0.05$)。

表 5 核苷酸对凡纳滨对虾幼虾血清生化指标的影响
Tab.5 Effect of mix-NT on blood biochemical indices of juvenile *L. vannamei*

组别 group	总蛋白 (g/L) TP	高密度脂蛋白 (mmol/L) HDL	谷草转氨酶 (U/L) GOT	谷丙转氨酶 (U/L) GPT	尿酸 ($\mu\text{mol/L}$) UA
	G0	91.53 ± 9.93	0.17 ± 0.04	78.00 ± 6.45 ^a	10.49 ± 1.02
G0.1	99.07 ± 1.10	0.20 ± 0.04	76.90 ± 5.05 ^a	9.54 ± 2.86	40.67 ± 7.57 ^b
G0.2	96.67 ± 6.26	0.16 ± 0.06	77.37 ± 4.61 ^a	9.04 ± 2.13	27.00 ± 5.20 ^{ab}
G0.4	93.13 ± 2.38	0.13 ± 0.01	78.00 ± 10.48 ^a	9.87 ± 2.64	30.33 ± 9.29 ^{ab}
G0.6	89.43 ± 1.00	0.13 ± 0.02	78.83 ± 4.11 ^a	10.48 ± 3.53	22.33 ± 4.93 ^a
G0.8	89.63 ± 12.61	0.15 ± 0.04	104.27 ± 28.14 ^{ab}	11.00 ± 3.08	33.33 ± 12.74 ^{ab}
G1.0	87.57 ± 7.59	0.14 ± 0.03	100.30 ± 21.79 ^{ab}	10.68 ± 2.56	32.00 ± 11.14 ^{ab}
G1.2	87.73 ± 8.09	0.16 ± 0.04	110.50 ± 12.35 ^b	10.76 ± 3.50	35.33 ± 5.13 ^{ab}

2.5 核苷酸混合物对凡纳滨对虾非特异性免疫功能的影响

如表 6 所示,鳃酚氧化酶(PO)活性和肌肉中 PO 活性均随饲料中 mix-NT 添加量的升高而升高,二者均在 G0.4 组达到最大,其中 G0.1 ~ G0.6 组的鳃 PO 活性显著大于对照组

($P < 0.05$),而各组肌肉 PO 活性无显著性差异($P > 0.05$)。饲料中添加 mix-NT 可显著提高凡纳滨对虾肝胰腺和血清中溶菌酶(LZM)活性($P < 0.05$),其中肝胰腺 LZM 活性最大值出现在 G0.4 组,血清 LZM 活性最大值出现在 G0.8 组。

表 6 核苷酸对凡纳滨对虾幼虾酚氧化酶和溶菌酶活性的影响
 Tab. 6 Effect of mix-NT on PO and LZM activity of juvenile *L. vannamei* U/mL

组别 group	酚氧化物酶 PO		溶菌酶 LZM	
	鳃 gill	肌肉 muscle	肝胰腺 hepatopancreas	血清 serum
G0	2.42 ± 0.57 ^a	3.67 ± 1.03	45.27 ± 9.12 ^a	196.08 ± 33.96 ^a
G0.1	4.64 ± 0.91 ^b	4.20 ± 1.04	64.45 ± 3.85 ^{ab}	258.82 ± 31.13 ^{ab}
G0.2	4.96 ± 1.49 ^b	4.93 ± 0.70	61.11 ± 13.80 ^{ab}	270.59 ± 20.37 ^{ab}
G0.4	5.11 ± 1.18 ^b	4.94 ± 1.09	82.45 ± 13.99 ^b	267.20 ± 34.88 ^{ab}
G0.6	4.50 ± 0.44 ^b	4.33 ± 0.83	65.75 ± 11.99 ^{ab}	267.25 ± 44.12 ^{ab}
G0.8	4.13 ± 0.58 ^{ab}	4.20 ± 1.11	57.78 ± 20.37 ^{ab}	282.35 ± 53.91 ^b
G1.0	4.18 ± 0.90 ^{ab}	3.20 ± 1.00	62.22 ± 7.70 ^{ab}	270.98 ± 60.45 ^{ab}
G1.2	4.07 ± 1.18 ^{ab}	3.70 ± 0.87	48.89 ± 15.4 ^a	247.00 ± 40.76 ^{ab}

3 讨论

3.1 核苷酸对凡纳滨对虾生长性能的影响

饲料中添加一定量的 5 种核苷酸混合物能显著提高凡纳滨对虾幼虾的增重率、特定生长率、摄食量和蛋白质沉积率 ($P < 0.05$), 并一定程度地提高对虾的存活率和降低饲料系数 ($P > 0.05$), 表明核苷酸混合物具有促进凡纳滨对虾摄食和促生长的作用。王广军等^[12]在凡纳滨对虾饲料中添加酵母核苷酸(有效含量为 8.6%)能显著提高对虾的增重倍数及饲料效率, 并提高凡纳滨对虾耐低氧和低温的能力。蓝汉冰等^[11]在凡纳滨对虾饲料中添加核苷酸粗提物(总核苷酸含量 $\geq 75%$)能显著提高凡纳滨对虾的增重率, 降低饲料系数。核苷酸在鱼类的研究应用中也得到类似结果。LIN 等^[13]在饲料中补充 1.5 g/kg 的 5 种核苷酸等比混合物能显著提高点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*) 增重率和饲料效率。

核苷酸为含氮化合物, 对水产动物的味觉、嗅觉神经以及化学感受器有特定作用, 所以可作为水产动物诱食剂的主要有效成分。含肌苷酸 (IMP) 的诱食剂能提高条纹鲈 (*Morone saxatilis*) 的摄食率, 从而提高增重率^[14-15]。本试验结果表明, 外源核苷酸添加量为 0.4 g/kg 时可以显著提高凡纳滨对虾的摄食量和增重率, 部分原因是由于核苷酸提高了饲料的适口性从而提高摄食量, 使增重率增加。LI 等^[16]报道, 核苷酸促进生长的机制可能是在饲喂的初始阶段, 通过提高水产动物的摄食速率, 减少饲料中营养物质的溶失, 以更多的用于体内的营养物质代谢过程。本试验中, 外源核苷酸可以显著提高凡纳滨对虾的蛋白质沉积率 (PDR) 和肠道总蛋白 (TP) 含量 ($P <$

0.05), 一定程度地提高凡纳滨对虾全虾粗蛋白含量 ($P > 0.05$); 除 0.1 g/kg 组外, 其他添加组的肝胰腺 TP 含量均高于对照组, 当添加量 0.6 g/kg 饲料及其以上时, 肝胰腺 TP 含量比对照组升高 15.2% ~ 24.8%, 但差异未达到显著水平 ($P > 0.05$)。咎林森等^[17]认为, 外源核苷酸可能作为蛋白激酶使代谢活性增强, 诱导体内激素或代谢酶的合成, 促进蛋白质的合成, 从而促进生长。

3.2 核苷酸对凡纳滨对虾体成分的影响

本试验结果显示, 饲料中添加 5 种核苷酸混合物可显著影响凡纳滨对虾全虾粗脂肪和灰分含量, 各核苷酸添加组全虾的干物质和粗蛋白含量均高于对照组, 但差异未达到显著水平 ($P > 0.05$)。这一结果与对美国红鱼^[18]和凡纳滨对虾^[19]的研究结果相似。本试验中全虾粗蛋白含量与蛋白质沉积率的变化相一致, 均分别在 0.6 和 1.0 g/kg 组呈现最高值和次高值, 其相互关系值得进一步深入探讨。有学者研究发现, 外源核苷酸能够影响机体某些组织, 如血细胞、血浆、肝脏和脑组织中脂质蛋白或者不饱和脂肪酸的代谢^[20-21], 但有关外源核苷酸对凡纳滨对虾脂肪代谢的研究尚未见报道, 有待进一步深入研究。

3.3 核苷酸对凡纳滨对虾肝胰腺和肠道总蛋白及 RNA 含量的影响

LOPEZ-NAVARRO 等^[22]认为, 肝脏和其它组织所需要的核苷酸可以由氨基酸从头合成供给, 但通过饲料途径满足肝脏核苷酸具有节约能量的优势。对哺乳动物和畜禽的研究表明, 核苷酸对维持肝脏正常功能起重要作用, 肝脏中核苷酸的浓度变化影响肝脏的结构和功能, 但是外源核苷酸对凡纳滨对虾肝胰腺作用的研究尚少见报道。本试验中, 肝胰腺 RNA 含量和总蛋白含量均

随着饲料中核苷酸混合物添加量的升高而增加,其中0.2~1.0 g/kg 核苷酸添加组的肝胰腺 RNA 含量显著高于对照组($P < 0.05$)。这表明对虾内源合成的核苷酸并不能完全满足肝胰腺 RNA 合成的需要,添加外源性核苷酸有助于凡纳滨对虾肝胰腺 RNA 表达和蛋白质的生物合成,但有关外源核苷酸对凡纳滨对虾肝胰腺 RNA 表达量变化与蛋白质合成的关系,尚需进行深入研究。对凡纳滨对虾肝胰指数的分析可见,添加核苷酸混合物的各试验组对虾肝胰指数均高于对照组,但未出现显著性差异($P > 0.05$),关于外源核苷酸是否影响凡纳滨对虾肝胰腺的生理功能有待进一步研究。

肠道是对虾营养物质消化吸收的主要场所,其中含有多种营养素消化酶类。快速生长的动物肠道细胞周转较快,对核苷酸需求较多,但是体内和体外试验发现小肠细胞缺乏嘌呤从头合成所需要的一种关键酶—谷氨酸核糖转移酶,因此小肠利用氨基酸从头合成核苷酸的能力有限^[1],小肠中的嘌呤核苷酸主要以补救合成途径进行合成。饲料核苷酸对肠细胞的生理生化功能、细胞成熟及肠道形态完整起重要作用,研究表明核苷酸添加剂能够显著提高雏鸡^[23]和刚断奶的小鼠^[24]肠道粘膜蛋白、RNA 和 DNA 含量,显著增加肠绒毛高度和肠壁厚度,提高小肠粘膜的麦芽糖酶、乳糖及蔗糖酶等酶活性,特别是对十二指肠和空肠近端酶的活性影响较大。但是外源核苷酸影响凡纳滨对虾肠道功能的研究少见报道。本研究结果表明,添加核苷酸混合物组对虾肠道的总蛋白和 RNA 含量均高于对照组($P < 0.05$),并且二者变化趋势一致。5 种核苷酸混合物添加量分别为 0.4、0.6 g/kg 时,TP 和 RNA 的含量都极显著性高于对照组($P < 0.01$),说明添加外源核苷酸可以提高凡纳滨对虾肠道 RNA、蛋白质的合成。王友明等^[3]认为核苷酸、核苷可能通过影响肠 RNA、DNA 含量而影响肠道蛋白质的合成。有研究表明,肠道酶的活性与肠道 mRNA 含量变化相一致,补充核苷酸或核苷后可提高肠碱性磷酸酶,麦芽糖酶,蔗糖酶和乳糖酶活性^[25-26],而这些酶是肠细胞成熟的标志。TSUJINAKA 等^[27]研究发现,添加核苷—核苷酸混合物能促进肠细胞的增殖及细胞功能的完善。HE 等^[28]认为,在初生动物正常肠细胞发育阶段,核苷酸可能是作为半必

需营养物通过满足 DNA 和 RNA 合成的需要而发挥其促进肠道快速生长和机能成熟的功能。

3.4 核苷酸对凡纳滨对虾血清生化指标的影响

转氨酶广泛存在于生物机体内,它们的作用是催化 α -氨基酸的 α -氨基与 α -酮基互换,是机体内中间代谢的重要酶反应。GOT 和 GPT 是二种活性最强的转氨酶,在机体蛋白质代谢中起重要作用,其活性变化也是反映肝细胞受损伤的主要敏感指标。在正常情况下,血清中正常转氨酶活性较小,当组织中毒发生病变,或者受损伤的组织范围较大,可引起血清中 GPT 和 GOT 浓度上升或活性突然持续性增强^[29-30]。本试验结果表明,对虾血清中的 GOT 和 GPT 活性随核苷酸混合物添加量的增加先降低,但随着核苷酸添加量的进一步增加二者均升高,其中 GOT 活性在 1.2 g/kg 组显著升高($P < 0.05$),说明高剂量核苷酸可能对肝胰腺功能有损伤作用。对肝胰腺 TP 和 RNA 含量的分析也表明,当添加高剂量核苷酸混合物时,组织中总蛋白和 RNA 含量均出现降低的趋势,进一步说明高剂量核苷酸混合物对肝胰腺的正常功能产生负面影响。

尿酸是蛋白质和核酸降解的代谢产物。核酸能促进蛋白质的合成代谢,使血清尿酸水平下降,但当添加量超过一定范围后,会导致嘌呤核苷酸的代谢发生紊乱,过多的核酸降解成尿酸,导致血清尿酸增多^[31-33]。由蛋白质沉积率(PDR)的数据可知,当外源核苷酸混合物添加量为 0.6 和 1.0 g/kg 时,凡纳滨对虾的 PDR 显著高于对照组($P < 0.05$)。本试验中,血清尿酸含量在核苷酸添加量为 0.6 g/kg 时最低($P < 0.05$),因此可推测,当核苷酸添加量为 0.6 g/kg 时可促进蛋白质的合成代谢,使血清中的尿酸含量显著性降低。但当外源核苷酸继续升高时,过多的嘌呤核苷酸降解为尿酸,导致尿酸含量逐渐升高,故在核苷酸添加量为 1.0 g/kg 时,血清中尿酸含量未出现显著性降低。有关外源核苷酸对水产动物血清尿酸水平的影响有待进一步深入研究。

3.5 核苷酸对凡纳滨对虾非特异性免疫功能的影响

对虾等甲壳动物的免疫系统不完善,主要以非特异性免疫^[34]来提高对疾病的抵抗力。酚氧化酶(PO)和溶菌酶(LZM)是反映对虾免疫能力的重要指标,在对虾防御体系中发挥重要的作

用^[34]。酚氧化酶原系统是一个复杂的酶级联系统,类似于高等动物的补体激活途径,在免疫中起着重要作用。酚氧化酶原以酶原形式存在于甲壳动物体内,外来异物能特异性地引发该酶级联反应,产生有活性的酚氧化酶参与宿主的防御反应,包括释放具有调理作用的粘性蛋白,促进血细胞的吞噬和包裹,产生多种因子介导凝集和凝固,以及产生杀菌物质等^[35]。溶菌酶是吞噬细胞杀菌的物质基础,可以水解革兰氏阳性菌细胞壁中粘肽的乙酰氨基多糖,并使之裂解被释放出来,形成水解酶体系,破坏和消除侵入体中的异物。本试验发现,鳃 PO 活性和肌肉 PO 活性均随饲料中 mix-NT 添加量的升高而升高,其中 0.1 ~ 0.6 g/kg 组的鳃 PO 活性显著大于对照组 ($P < 0.05$)。核苷酸可能通过激活对虾的酚氧化物酶原系统,从而提高 PO 活性,增强对虾对异物的识别和防御能力,但其机制有待进一步研究。从各试验组溶菌酶 (LZM) 指标得知,饲料中添加 0.4 g/kg mix-NT 可显著提高凡纳滨对虾肝胰腺 LZM 活性 ($P < 0.05$),添加 0.8 g/kg mix-NT 可显著影响血清中 LZM 活性 ($P < 0.05$)。本试验结果与 SAKAI 等^[36]等的结果不完全一致,SAKAI 等研究发现,各核苷酸添加组均可提高鲤 (*Cyprinus carpio*) 血清溶菌酶活性。外源核苷酸影响机体非特异性免疫功能的机理尚不够清楚,可能的原因是参加免疫的大部分细胞不能合成足够的核苷酸,当补充外源核苷酸后,核苷酸进入体内的核苷酸池供白细胞、吞噬细胞等利用,促进免疫因子的分泌及免疫细胞的增殖、分化,提高了体液和细胞免疫反应能力,从而增强机体免疫作用^[37]。

4 结论

饲料中添加一定量的 5 种核苷酸混合物能显著提高凡纳滨对虾的增重率、特定生长率、摄食量、蛋白质沉积率和全虾粗脂肪、灰分含量,一定程度提高全虾粗蛋白和肝胰腺总蛋白含量,显著增加肝胰腺 RNA、肠道总蛋白和 RNA 含量,降低血清谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性和尿酸含量,提高鳃中酚氧化酶活性及血清和肝胰脏中溶菌酶活性。

参考文献:

- [1] SAVAIANO D A, CLIFFORD A J, ADCNIN C. The precursor of nucleotide acids in intestinal cells unable to synthesize purines de novo[J]. J Nutr, 1981, 111: 1816 - 1822.

- [2] 冯尚连,李星,朱建津,等. 核苷酸和低聚糖对仔猪生产性能的影响[J]. 中国饲料, 2000, 17: 14.
- [3] 王友明,许梓荣. 酵母核苷酸对肉鸡生长性能和胴体组成的影响[J]. 浙江大学学报, 2002, 28(3): 309 - 313.
- [4] LOPEZ-NAVARRO A T, ORTERA M A, PERAGON J, et al. Deprivation of dietary nucleotides decreases protein synthesis in the liver and small intestine in rats [J]. Gastroenterology, 1996, 110(6): 1760 - 1769.
- [5] PERSON-LE R J, MENU B, CADENA-ROA M, et al. Use of expanded pellets supplemented with attractive chemical substances for the weaning of turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. World Maric Society, 1983, 14: 676 - 678.
- [6] RAMADAN A, ATEF M. Effect of the biogenic performance enhancer (Ascogen "S") on growth rate of tilapia fish [J]. Acta Vet Scand, 1991, 37: 304 - 306.
- [7] ADAMEK Z, HAMACKOVA J, KOURIL J, et al. Effect of Ascogen probiotics supplementation on farming success in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and wels (*Silurus glais*) under conditions of intensive culture [J]. Krmiva (Zagreb), 1996, 38: 11 - 20.
- [8] BURRELLS C, WILLIAM P D, FORNO P F. Dietary nucleotides: a novel supplement in fish feeds I: Effects on resistance to diseases in salmonids [J]. Aquaculture, 2001, 199: 159 - 169.
- [9] LI P, DELBERT M, GATLIN, et al. Dietary supplementation of a purified nucleotide mixture transiently enhanced growth and feed utilization of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. J World Aquacult Soc, 2007, 38(2): 281 - 286.
- [10] GRIMBLE G K, WESTWOOD O M R. Nutrition and immunology: principles and practice [M]. USA: Humana Press Inc, 2000: 135 - 144.
- [11] 蓝汉冰,曹俊明,许丹丹,等. 饲料中添加核苷酸粗提物对凡纳滨对虾生长性能的影响[J]. 广东农业科学, 2009, 10: 143 - 145.
- [12] 王广军,朱旺明,谭永刚,等. 酵母核苷酸对凡纳滨对虾生长、免疫以及抗应激影响的研究[J]. 饲料工业, 2006, 27(8): 29 - 32.
- [13] LIN Y H, WANG H, SHIAU S Y. Dietary nucleotide supplementation enhances growth and immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15

- (2):117-122.
- [14] PAPATRYPHON E, JOSEPH H, SOARES J. The effect of dietary feeding stimulants on growth performance of striped bass, *Morone saxatilis*, fed-a-plant feedstuff-based diet [J]. *Aquaculture*, 2000, 185:329-338.
- [15] PAPATRYPHON E, JOSEPH H, SOARES J. Optimizing the levels of feeding stimulants for use in high-fish meal and plant feed stuff-based diets for striped bass, *Morone saxatilis* [J]. *Aquaculture*, 2001, 202:279-288.
- [16] LI P, GATLIN D M III. Nucleotide nutrition in fish: current knowledge and future applications [J]. *Aquaculture*, 2006, 251:141-152.
- [17] 咎林森, 邱怀. 关于环核苷酸与家畜生长之调控 [J]. *甘肃畜牧兽医*, 1994, 5:27-28.
- [18] LI P, BURR G S, GOFF J B, *et al.* A preliminary study on the effects of dietary supplementation of brewers yeast and nucleotides, singularly or in combination, on juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36: 1120-1127.
- [19] LI P, ADDISON L, LAWRENCE, *et al.* Preliminary evaluation of a purified nucleotide mixture as a dietary supplement for Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) [J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38:887-890.
- [20] CARVER J D, WALKER W A. The role of nucleotides in human nutrition [J]. *J Nutr Biochem*, 1995, 6:58-72.
- [21] SATO N, MURAKAMI Y, NAKANO T, *et al.* Effects of dietary nucleotides on lipid metabolism and learning ability of rats [J]. *Biosci Biotech Bioch*, 1995, 59:1267-1271.
- [22] LOPEZ-NAVARRO A T, BUENO J D, GIL A, *et al.* Morphological changes in hepatocytes of rats de-prived of dietary nucleotides [J]. *Brit J Nutr*, 1996, 76:579-589.
- [23] 邬小兵, 乐国伟, 施用晖. 肉仔鸡日粮外源核苷酸营养作用初探 [J]. *中国畜牧杂志*, 2001, 17(5): 15-17.
- [24] 王兰芳, 乐国伟, 施用晖, 等. 日粮核苷酸对早期断奶小鼠生长发育的影响 [J]. *无锡轻工大学学报*, 2003, 22(4):18-22.
- [25] NUNEZ M C, AYUDARTE M V, MORALES D, *et al.* Effect of dietary nucleotides on intestinal repair in rats with experimental chronic diarrhea [J]. *J Parenter Enteral Nutr*, 1990, 14(6):598-604.
- [26] UAUY R, STRINGEL G, THOMAS R, *et al.* Effect of dietary nucleosides on growth and maturation of the developing gut in the rat [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 1990, 10(4):497-503.
- [27] TSUJINAKA T, KISHIBUCHI M, IJIMAN S, *et al.* Nucleotides and intestine [J]. *Japan J Parenter Enter Nutr*, 1999, 23(1):74-77.
- [28] HE Y, CHU S W, WALKER W A. Nucleotide supplements alter proliferation and differentiation of cultured human (Caco-2) and rat (IEC-6) intestinal epithelial cells [J]. *Nutrition*, 1993, 123: 1017-1027.
- [29] 赵维信, 魏华, 贾江, 等. 铬对罗氏沼虾组织转氨酶活性及组织结构的影响 [J]. *水产学报*, 1995, 19(1):21-27.
- [30] 惠天朝, 施明华, 朱荫媚. 硒对罗非鱼慢性镉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.
- [31] MUKHIN I V, IGNATENKO G A, NIKOLENKO V Y. Dys hormonal disorders in gout; experimental and clinical studies [J]. *J Exp Biol Med*, 2002, 133(5): 491-493.
- [32] WORTMANN R L. Gout and hyperuricemia [J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2002, 14(3):281-286.
- [33] AGUDELO C A, WISE C M. Gout; diagnosis, pathogenesis and clinical manifestations [J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2001, 13(3):234-239.
- [34] RENGPIPAT S, RUKPRATANPORN S, PIYATIRATITIVORAKUL S, *et al.* Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus S11*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 191:271-288.
- [35] 樊廷俊, 汪小锋. 中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 酚氧化酶的分离纯化及其部分生物化学性质 [J]. *化学与生物物理学报*, 2002, 31(5):589-591.
- [36] SAKAI M, TANIGUCHI K, MAMOTO K, *et al.* Immunostimulant effects of nucleotide isolated from yeast RNA on carp, *Cyprinus carpio* L. [J]. *J Fish Dis*, 2001, 24:433-438.
- [37] 许群, 王安利. 核苷酸对动物摄食、生长与免疫功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2004, 16(4): 13-17.

Effects of dietary nucleotides on growth performance, tissue biochemical composition and non-specific immunity of juvenile *Litopenaeus vannamei*

CAO Jun-ming^{1*}, XU Dan-dan^{1,2}, HUANG Yan-hua¹, LAN Han-bing¹, CHEN Bing¹,
ZHAO Hong-xia¹, JIANG Wei-liang^{1,2}, CHEN Xiao-ying^{1,2}

(1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: This study was undertaken to investigate the effects of dietary nucleotides on growth performance, body composition, tissue biochemical composition and non-specific immunity of juvenile shrimp (*Litopenaeus vannamei*). 960 shrimp (0.43 ± 0.01) g were randomly allocated into 8 groups. The control group was fed with the basal diet, while the other seven groups were fed with the basal diet added with 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 and 1.2 g/kg mixture of adenosine-5'-monophosphate (AMP), cytidine-5'-monophosphate (CMP), uridine-5'-monophosphate disodium salt (UMP), inosine-5'-monophosphate disodium salt (IMP) and guanosine-5'-monophosphate disodium salt (GMP) (1:1:1:1:1 W/W, mix-NT) respectively. After 5 weeks feeding, the results showed that weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR) and feed intake (FI) in shrimp fed 0.4 g/kg mix-NT were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). Protein deposit rate (PDR) in 0.6 and 1.0 g/kg groups increased significantly compared with the control group. No significant difference was found among all the treatments in feed conversion rate (FCR), survival rate (SR) and hepatosomatic index (HSI) ($P > 0.05$). The crude lipid and ash content were significantly affected by the dietary mix-NT levels ($P < 0.05$), while the dry matter and protein content showed no significant difference ($P > 0.05$). RNA content in hepatopancreas increased significantly ($P < 0.05$) with dietary mix-NT increasing, TP content was not significantly affected ($P > 0.05$). TP and RNA content in intestine increased significantly with dietary nucleotides increasing ($P < 0.05$). The uric acid (UA) content in serum decreased significantly in 0.6 g/kg group and glutamic-oxalacetic transaminase (GOT) activity increased significantly in 1.2 g/kg group ($P < 0.05$). Dietary mix-NT significantly increased PO activity in gill, lysozyme (LZM) activity in hepatopancreas and serum ($P < 0.05$). However no significant difference was observed in all the trial groups in glutamic-pyruvic transaminase (GPT) activity, high-density lipoprotein (HDL) content and muscle PO activity ($P > 0.05$). In conclusion, dietary mix-NT could improve growth performance and nutrition metabolism, raise total TP and RNA content in hepatopancreas and intestine, and enhance non-specific immunity of juvenile *L. vannamei*.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; nucleotides; growth performance; blood biochemical indices; non-specific immunity

Corresponding author: CAO Jun-ming. E-mail: junmcao@163.com