

# 三聚氰胺在凡纳滨对虾中的 残留消除规律研究

黄 和<sup>1</sup>, 杨玉秀<sup>1</sup>, 廖建萌<sup>2</sup>, 罗 林<sup>2</sup>, 彭树峰<sup>3</sup>

- (1. 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室, 广东海洋大学食品科技学院, 广东海洋大学实验教学部, 广东湛江 524088;  
2. 广东省湛江市质量计量监督检测所, 广东湛江 524043;  
3. 湛江国联水产开发股份有限公司, 广东湛江 524022)

**摘 要:** 在室温(23~29℃)条件下, 凡纳滨对虾用普通饲料驯化 7d 后再用含有不同剂量的三聚氰胺的饲料连续投喂 25d, 研究三聚氰胺在凡纳滨对虾血液、肌肉和肝胰腺组织中的残留消除规律。结果表明: 凡纳滨对虾投喂含有三聚氰胺的饲料后, 三聚氰胺在对虾血液、肌肉和肝胰腺组织中均有残留, 当饲料三聚氰胺含量为 800mg/kg 时, 对虾中三聚氰胺残留量最高部位是肝胰腺, 其残留量达到 6.10mg/kg; 停喂含有三聚氰胺的饲料后, 三聚氰胺在对虾血液、肌肉和肝胰腺组织中消除时间分别为 1、4、6d; 三聚氰胺在凡纳滨对虾体内可代谢为三聚氰酸, 当饲料中三聚氰胺含量为 200~800mg/kg 时, 三聚氰酸只在肝胰腺组织中检出, 在血液和肌肉中均未检出, 在肝胰腺组织中消除时间为 3d。因此, 肝胰腺可作为凡纳滨对虾体内三聚氰胺残留监控的靶器官。

**关键词:** 凡纳滨对虾, 三聚氰胺, HPLC-MS, 分散固相萃取, 残留消除规律

## Study on residue and disappearance of melamine in *Penaeus vannamei*

HUANG He<sup>1</sup>, YANG Yu-xiu<sup>1</sup>, LIAO Jian-meng<sup>2</sup>, LUO Lin<sup>2</sup>, PENG Shu-feng<sup>3</sup>

- (1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, College of Food Science and Technology, Department of Experimental Teaching, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;  
2. Zhanjiang Institute of Supervision & Test on Quality & Measure, Zhanjiang 524043, China;  
3. Zhanjiang Guolian Aquatic Products Co., LTD, Zhanjiang 524022, China)

**Abstract:** The residue and disappearance law of melamine in blood, muscle and hepatopancreas organizations of *Penaeus vannamei* were studied at room temperature of 23~29℃ with containing different doses of melamine in feed food for 25d after domesticating 7d. The results showed that the melamine residues were existed in blood, muscle and hepatopancreas organizations, the highest residues (6.10mg/kg) of the melamine was in the hepatopancreas when the gavage dose of melamine was 800mg/kg. When the feed containing melamine was stopped, the melamine in blood, muscle and hepatopancreas were disappeared in 1, 4 and 6d. When the content of melamine reached 200~800mg/kg, the cyanuric acid was only detected in the hepatopancreas tissue, but not detected in the blood and muscle, the elimination time of cyanuric acid in hepatopancreas tissues was 3d. Therefore, the hepatopancreas can be used as target organ of the melamine residues in *Penaeus vannamei*.

**Key words:** *Penaeus vannamei*; melamine; high performance liquid chromatography mass spectrometry; dispersive solid phase extraction; residues and disappearance

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)07-0335-05

三聚氰胺(melamine)简称三胺, 又称蜜胺, 是一种纯白色单斜棱晶体, 无味的氮杂环有机化工原料, 广泛用于木材、塑料、涂料、造纸、纺织、医药等行业<sup>[1]</sup>。微溶于水, 可溶于甲醇、甲醛、乙酸、热乙二醇、甘油、吡啶等。呈弱碱性(pH≈8), 能与酸形成三聚氰胺盐。在中性或微碱性条件下, 与甲醛缩合而成

各种羟甲基三聚氰胺, 在弱酸性条件下(pH5.5~6.5)与羟甲基的衍生物进行缩聚反应而生成树脂产物。遇强酸或强碱水溶液水解, 胺基逐步被羟基取代, 生成三聚氰酸二酰胺, 进一步水解生成三聚氰酸一酰胺, 最后生成三聚氰酸<sup>[2-4]</sup>。目前三聚氰胺被认为毒性轻微, 大鼠口服的半数致死量大于 3g/kg 体重<sup>[5-6]</sup>, 三聚氰胺的分子中氮元素占分子质量的 66%。因此, 三聚氰胺被非法的添加到食品中以提高蛋白质的含量。以测量氮元素来折算食品中蛋白质含量的凯氏定氮法是很难检测出来的<sup>[7]</sup>。毒理学研究表明:

收稿日期: 2013-08-26

作者简介: 黄和(1962-), 男, 教授, 研究方向: 水产品质量与安全。

基金项目: 广东省科技计划项目(2009B020316002)。

表1 普通饲料成分分析  
Table 1 components of ordinary feed

成分 含量(%)	粗蛋白 ≥39.0	粗脂肪 ≤10.0	粗灰分 ≤16.0	钙 ≤4.0	粗纤维 ≤5.0	食盐 ≤4.0	赖氨酸 ≥1.9	水份 ≤12.0
-------------	--------------	--------------	--------------	-----------	-------------	------------	-------------	-------------

人体摄入少量的三聚氰胺是没毒性的,三聚氰胺与氰尿酸反应生成三聚氰胺氰尿酸酯可以引起严重的肾结石<sup>[8]</sup>,动物长期摄入三聚氰胺会造成生殖、泌尿系统的损害,膀胱、肾部结石,并可进一步诱发膀胱癌<sup>[5,9]</sup>。

由于三聚氰胺的性质稳定,价格便宜,管理力度不够,为了监测该药的不法使用,研究工作者已进行了三聚氰胺在畜禽动物<sup>[10-12]</sup>和鱼<sup>[13-14]</sup>体内残留消除规律研究,但涉及到凡纳滨对虾的残留消除研究尚属空白。由于不同种类水生动物组织结构和摄食习惯存在差异,因此在具体的动物体内的残留需要进行针对性研究。本文利用高效液相色谱质谱联用法研究了三聚氰胺及其代谢物三聚氰酸在凡纳滨对虾不同组织的代谢特点和残留消除规律,丰富了三聚氰胺在水产品中的残留消除规律研究资料,以期加强对饲料中三聚氰胺的使用监管,从而为水产品的质量安全提供技术保障。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)、凡纳滨对虾3B号料 广东湛江国联水产开发股份有限公司提供;三聚氰胺(化学纯,纯度≥99.5%) 上海凌峰化学试剂有限公司;三聚氰胺(标准品,纯度≥99%)、三聚氰酸(标准品,纯度≥99%) 德国 Sigma aldrich 公司;甲醇、乙腈、乙醇 天津科密欧化学试剂有限公司;除甲醇、乙腈为色谱纯外,其他试剂均为分析纯。

液质联用仪(配有ESI源)TSQ Quantum Access 美国热电公司;电子分析天平 XS205D,瑞士梅特勒托利多公司;高速冷冻离心机 3-18K,德国 Sigma 公司;调速混匀器 VTX-3000L,日本 LMS 公司;超声波清洗器 HU3120B,天津恒奥科技发展有限公司;数控固相萃取仪 SC-8L-150,广州智真生物科技有限公司;双螺杆挤条机 F-75 型,华南理工大学科技实业总厂;摇摆式粉碎机 HL-10A,杭州华菱机械有限公司;增氧泵 HG-370 型,上海富力电机厂;圆锥形玻璃钢桶 1m<sup>3</sup>,湛江市明兴玻璃钢厂。

### 1.2 实验方法

1.2.1 实验设计及饲料制作 本实验分为五组,每组两个平行。根据凡纳滨对虾的生长情况选择凡纳滨对虾3B号料作为普通饲料,饲料配方见表1。普通饲料作为对照组饲料,其他4组的饲料经摇摆式粉碎机粉碎后,添加不同水平的三聚氰胺粉末充分混匀,和水后重新挤条成型,空调下阴干后搓成与普通饲料大小的颗粒封装备用,三聚氰胺在五组实验的三聚氰胺的含量分别为:0mg/kg(A)、200mg/kg(B)、400mg/kg(C)、600mg/kg(D)、800mg/kg(E)。

1.2.2 实验动物与饲养条件 正式养殖实验之前,十个圆形玻璃钢桶分别注入养殖用水0.7m<sup>3</sup>,用碘色素等

消毒液对水体进行消毒,每个玻璃钢桶内放入两根充气头进行充氧1d,健康凡纳滨对虾由湛江国联水产开发股份有限公司提供,于5亩池塘中抛网随机捕捞体长(11±2)cm,体重(13.2±0.3)g的凡纳滨对虾410尾,平均放入10个已经编号(A1,A2,B1,B2,C1,C2,D1,D2,E1,E2)玻璃钢桶,每个桶41尾,饲养条件:室温:(23~29℃),溶氧量7.8~9.0mg/L,pH(8.0±0.3),透明度(35±4)cm,比重1.0010~1.0024,每日清除桶底粪便并换水1次,换水量为1/3。

1.2.3 投料与采样 实验周期为41d,凡纳滨对虾暂养7d,暂养期间投喂普通饲料,每日投料量5g/100g体重,每天分别于8:00,11:00,17:00各投喂一次,投料比例2:3:2。暂养前随机挑取5尾虾,采血,解剖分离肝胰腺和肌肉并分别检测三聚氰胺和三聚氰酸,确定无药物残留后开始实验。暂养7d后停喂24h,A组接着投喂普通饲料,B、C、D和E4组分别改投200mg/kg(B)、400mg/kg(C)、600mg/kg(D)、800mg/kg(E)的药物饲料,连续投喂25d。停药后停喂24h,改投普通饲料。

残留实验的第0、5、10、15、20、25d分别采样4尾,残留消除实验休药当天A组所有的对虾全部采集,其余4组于休药后的第1、2、4、6d分别采样4尾,采血于离心管后解剖分离肝胰腺和肌肉,并用封口袋封存,于-20℃冰箱中保存待测,为防止血液凝固,放置血液的离心管和一次性注射器均用0.1%肝素钠处理备用。

1.2.4 标准溶液的配制 三聚氰胺标准储备液:减量法精密称取0.1g(精确至0.0001g)的三聚氰胺标准品于100mL容量瓶中,用甲醇超声溶解冷却定容至刻度线,配成质量浓度为1.0mg/mL的标准储备液,置于4℃冰箱保存备用。

三聚氰胺标准工作液:准确吸取1.0mg/mL的三聚氰胺的标准储备液,用甲醇:5mmol/L乙酸铵(内含0.1%甲酸溶液,V:V,1:1)逐级稀释配成5、10、20、50ng/mL的标准工作液。

三聚氰酸标准储备液:减量法准确称取0.05g(精确至0.0001g)的三聚氰酸标准品于50mL容量瓶中,加入少量超纯水,超声5min后手摇1min再超声5min直至溶解为止,再用甲醇-水(V:V,3:7)定容至刻度,配成1.0mg/L的三聚氰酸标准储备液,置于4℃冰箱保存备用。

三聚氰酸标准工作液:准确吸取1.0mg/mL的三聚氰酸的标准储备液,用甲醇-水(V:V,3:7)逐级稀释配成5、10、20、50ng/mL的标准工作液。

1.2.5 样品前处理 三聚氰胺提取纯化:准确称取(0.5±0.01)g样品于50mL具刻度离心管中,准确加入20mL甲醇+pH4.5的乙酸铵缓冲溶液(V:V,6:4),漩涡混匀1min,40kHz超声提取20min,-40℃

表2 给药期间凡纳滨对虾血液中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 2 Concentration of melamine in blood of *Penaeus vannamei* during feed administrating diet (mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺残留量				
	A组	B组	C组	D组	E组
1	ND	0.0921 ± 0.00043	0.1817 ± 0.00014	0.2676 ± 0.00027	0.3806 ± 0.00012
5	ND	0.1058 ± 0.00024	0.2567 ± 0.00021	0.3873 ± 0.00032	0.5017 ± 0.00023
10	ND	0.1369 ± 0.00072	0.2601 ± 0.00052	0.3145 ± 0.00043	0.5452 ± 0.00032
15	ND	0.1017 ± 0.00085	0.1815 ± 0.00055	0.3927 ± 0.00046	0.4654 ± 0.00081
20	ND	0.1434 ± 0.00064	0.2617 ± 0.00084	0.3871 ± 0.00053	0.5017 ± 0.00022
25	ND	0.1398 ± 0.00073	0.2012 ± 0.00023	0.2974 ± 0.00019	0.4017 ± 0.00075

注:ND表示不可检出或低于检测限,表3~表9同。

表3 给药期间凡纳滨对虾肌肉中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 3 Concentration of melamine in muscle of *Penaeus vannamei* during feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺添加水平				
	A组	B组	C组	D组	E组
1	ND	0.0707 ± 0.00042	0.1405 ± 0.00042	0.2166 ± 0.00034	0.3059 ± 0.00029
5	ND	0.0819 ± 0.00038	0.1603 ± 0.00053	0.3041 ± 0.00025	0.3384 ± 0.00045
10	ND	0.1672 ± 0.00034	0.2362 ± 0.00018	0.3659 ± 0.00098	0.4210 ± 0.00037
15	ND	0.1143 ± 0.00048	0.2504 ± 0.00043	0.3703 ± 0.00021	0.3941 ± 0.00068
20	ND	0.1278 ± 0.00046	0.2048 ± 0.00035	0.3610 ± 0.00027	0.4602 ± 0.00049
25	ND	0.1202 ± 0.00037	0.2596 ± 0.00067	0.3758 ± 0.00065	0.4603 ± 0.00075

表4 给药期间凡纳滨对虾肝胰腺中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 4 Concentration of melamine in hepatopancreas of *Penaeus vannamei* during feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺添加水平				
	A组	B组	C组	D组	E组
1	ND	1.0906 ± 0.00023	2.2618 ± 0.00046	3.6162 ± 0.00032	4.5381 ± 0.00034
5	ND	1.4093 ± 0.00067	2.9871 ± 0.00021	4.0719 ± 0.00034	5.2628 ± 0.00026
10	ND	1.5535 ± 0.00089	3.0669 ± 0.00032	4.4876 ± 0.00047	6.0373 ± 0.00028
15	ND	1.9021 ± 0.00067	3.3827 ± 0.00045	4.0103 ± 0.00058	6.0547 ± 0.00075
20	ND	1.9146 ± 0.00059	3.4012 ± 0.00023	4.4276 ± 0.00039	5.4632 ± 0.00039
25	ND	1.9053 ± 0.00045	3.4648 ± 0.00054	4.5198 ± 0.00037	6.1001 ± 0.00028

冷冻10min,8000r/min离心5min。取上清液5mL加入装有100mg中性氧化铝,50mg PSA的离心管中,漩涡振荡2min,8000r/min离心5min,取0.5mL上清液过0.45μm微孔滤膜后上机测定。

三聚氰酸的提取纯化:准确称取(0.5 ± 0.01)g样品于50mL具塞离心管中,加入甲醇-水溶液(内含0.1%甲酸溶液,V:V,3:7)定容至20mL,漩涡混匀1min,40kHz超声提取20min,加入1mL二甘醇,漩涡混匀1min,-20℃冷冻10min,8000r/min离心10min。取上清液0.5mL用1%氨水甲醇定容至2mL过0.45μm的微孔滤膜后供上机测定。

1.2.6 数据处理与统计分析 三聚氰胺日摄入量(mg/kg·w/d)按5g/100g体重计算;饲料系数 =  $R / (M_1 - M_0)$ 。

其中,R为摄食量, $M_0$ 为初均重, $M_1$ 为末均重,t为实验天数;

实验中数据采用SPSS软件进行单因素方差分析,多重比较采用One-Way ANOVA法,计算结果用“平均值 ± 标准差”表示。

## 2 结果与讨论

### 2.1 三聚氰胺在凡纳滨对虾体内的残留和消除规律

2.1.1 三聚氰胺在凡纳滨对虾血液、肌肉、肝胰腺中的残留 本研究模拟对虾养殖过程,经普通饲料驯化7d后连续25d以三聚氰胺不同含量分别投喂,从投药后分别于第0、5、10、15、20、25d采样,前处理后利用HPLC-MS法检测并分析三聚氰胺在凡纳滨对虾肌肉、血液、肝胰腺3种组织中残留量分布规律,结果见表2~表4。

从表2~表4可以看出,三聚氰胺在投药当天就能在各组织中被检出。同一天通过不同的实验组之间的数据比较,三聚氰胺剂量大的实验组比三聚氰胺剂量小的实验组的残留量要大,且呈递增趋势,首次采样(即第1d)三聚氰胺的残留量最低,末次采样(即第25d)三聚氰胺的残留量最大;同一实验组中,随着实验天数的延长,三聚氰胺的残留量也在逐渐增大;各实验组之间基本上呈现剂量效应,随着摄入量增大而增大,残留分布水平呈现下面规律:肝胰腺 > 血液 ≥ 肌肉(血液和肌肉的残留量相当)。

从以上结果可以看出,对虾肝胰腺是三聚氰胺蓄积的主要组织部位(约为肌肉和血液的10倍),这

表6 停药后凡纳滨对虾肌肉中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 6 Concentration of melamine in muscle of *Penaeus vannamei* after feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺添加水平				
	A组	B组	C组	D组	E组
26	ND	0.0775 ± 0.00042	0.1568 ± 0.00078	0.2149 ± 0.00054	0.3247 ± 0.00018
27	ND	ND	ND	0.0359 ± 0.00056	0.0418 ± 0.00078
29	ND	ND	ND	ND	ND
31	ND	ND	ND	ND	ND

表7 停药后凡纳滨对虾肝胰腺中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 7 Concentration of melamine in hepatopancreas of *Penaeus vannamei* after feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺添加水平				
	A组	B组	C组	D组	E组
26	ND	1.2037 ± 0.00056	1.18087 ± 0.00076	3.7146 ± 0.00021	4.5686 ± 0.00014
27	ND	0.6172 ± 0.00036	0.9043 ± 0.00043	1.9352 ± 0.00032	2.7909 ± 0.00023
29	ND	0.1273 ± 0.00034	0.2365 ± 0.00018	0.2703 ± 0.00054	0.2932 ± 0.00053
31	ND	ND	ND	ND	ND

与相关的急性和亚慢性毒性实验报道相类似。三聚氰胺作用的靶器官是泌尿系统<sup>[15-18]</sup>和黄慧贤等<sup>[12]</sup>报道的三聚氰胺主要在猪的肾脏中沉积的报道相一致。Baynes等<sup>[19]</sup>和Buur等<sup>[20]</sup>报道停药一段时间后三聚氰胺可以经过泌尿系统消除。与之相类似,本研究中三聚氰胺的残留量在停药一段时间后都降到仪器检出限(0.01mg/kg)以下。在投喂药饵期间,三聚氰胺在不同剂量组之间都显示出逐渐增大的趋势,高剂量组残留量高于低剂量组,可能是饲料中三聚氰胺含量越高,通过动物的吸收进入体内的速度就越快,所以在最后一次投药(25d)时残留量最高。

各实验组在喂药25d后,改用不含三聚氰胺的普通饲料投喂,直至三聚氰胺在凡纳滨对虾各组织中未被检出。凡纳滨对虾血液、肌肉和肝胰腺组织中的残留量见表5~表7。

表5 停药后凡纳滨对虾血液中三聚氰胺的残留量(mg/kg)

Table 5 Concentration of melamine in blood of *Penaeus vannamei* after feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰胺添加水平				
	A组	B组	C组	D组	E组
26	ND	ND	ND	ND	ND
27	ND	ND	ND	ND	ND
29	ND	ND	ND	ND	ND
31	ND	ND	ND	ND	ND

从表5~表7可以看出,停药后,三聚氰胺在各组织中的残留量呈现逐渐减少的趋势。其中三聚氰胺在凡纳滨对虾血液中消除最快,停药后第1d各组织的三聚氰胺残留量均降到检测限以下。三聚氰胺在肌肉中的残留消除较快,停药后第2d,B和C两个实验组残留量降低到检测限以下,两个高剂量组D和E组在停药后第4d才降到仪器检测限(0.01mg/kg)以下。肝胰腺中三聚氰胺在停药后逐渐降低,停药后第6d各剂量组三聚氰胺的残留量均降低到检测限以下。各实验组之间基本上呈现剂量效应,三聚

氰胺残留量越高,其残留消除所需时间越长。随着停药时间的延长,各组织的残留量逐渐减少,其残留消除快慢呈现下面规律:血液 > 肌肉 > 肝胰腺。停药后第6d,所有组织中三聚氰胺的残留量均降低到仪器检测限(0.01mg/kg)以下。

## 2.2 三聚氰酸在凡纳滨对虾体内的残留消除规律

按照2.1三聚氰胺残留消除规律的处理方法,研究三聚氰酸在凡纳滨对虾从投药到残留消除期间的三聚氰酸在不同组织的残留分布及消除规律。经过取样分析,发现三聚氰酸在凡纳滨对虾血液和肌肉中均未检出,在肝胰腺中被检出。可能是作用剂量较小,也可能是跟三聚氰胺的选择性代谢部位不同有关,结果见表8、表9。从表8、表9中可以看出,在开始投药饵的第1d,三聚氰酸在两个高剂量组才检出;第5d,三聚氰酸在三个高剂量组被检出;到第10d,三聚氰酸在所有剂量组被检出。同一实验组,三聚氰酸残留量随着养殖时间的延长呈现递增趋势;在同一采样时间,不同的实验组之间,三聚氰酸残留量随着饲料中三聚氰胺剂量的增大而增大。停药后三聚氰酸在肝胰腺中迅速下降,停药后第2d,各实验组三聚氰酸在肝胰腺中均未检出。

## 3 结论

3.1 在室温(23~29℃)条件下,凡纳滨对虾用普通饲料驯化7d后连续25d投喂含有不同剂量的三聚氰胺饲料,各实验组三聚氰胺在凡纳滨对虾血液、肌肉和肝胰腺中的残留量随时间的延长逐渐递增,并呈现剂量效应。当饲料中三聚氰胺含量为800mg/kg时,肝胰腺中的残留量最高,达到6.10mg/kg,高于血液和肌肉组织(约为肌肉组织的10倍)。

3.2 停喂含有三聚氰胺的饲料后,三聚氰胺含量在凡纳滨对虾体内显著下降。在给药剂量分别为200、400、600、800mg/kg的情况下,投药当天各组织中均有三聚氰胺残留,随着投药时间的延长,残留量越大。停药后,血液、肌肉和肝胰腺中的三聚氰胺分别于第1、第4和第6d降到检测限0.01mg/kg以

表8 凡纳滨对虾肝胰腺中三聚氰酸的残留量(mg/kg)

Table 8 Concentration of cyanuric in hepatopancreas of *Litopenaeus vannamei* during feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰酸残留量(mg/kg)				
	A组	B组	C组	D组	E组
1	ND	ND	ND	0.0129 ± 0.00032	0.1114 ± 0.00018
5	ND	ND	0.0123 ± 0.00053	0.1259 ± 0.00035	0.2459 ± 0.00032
10	ND	0.0135 ± 0.00034	0.0247 ± 0.00018	0.1486 ± 0.00048	0.2373 ± 0.00034
15	ND	0.0901 ± 0.00048	0.1085 ± 0.00043	0.1523 ± 0.00041	0.3138 ± 0.00048
20	ND	0.1061 ± 0.00046	0.1418 ± 0.00035	0.1762 ± 0.00025	0.4372 ± 0.00044
25	ND	0.1205 ± 0.00037	0.1383 ± 0.00067	0.2176 ± 0.00034	0.5024 ± 0.00035

表9 停药后凡纳滨对虾肝胰腺中三聚氰酸的残留量(mg/kg)

Table 9 Concentration of cyanuric acid in hepatopancreas of *Litopenaeus vannamei* after feed administrating diet(mg/kg)

日期(d)	三聚氰酸残留量(mg/kg)				
	A组	B组	C组	D组	E组
26	ND	0.0637 ± 0.00037	0.0894 ± 0.00023	0.0864 ± 0.00056	0.0981 ± 0.00063
27	ND	ND	ND	ND	ND
29	ND	ND	ND	ND	ND
31	ND	ND	ND	ND	ND

下。与血液、肌肉相比较,肝胰腺中三聚氰胺的消除时间相对较长。

3.3 三聚氰胺在对虾体内可代谢为三聚氰酸,三聚氰酸只在在对虾肝胰腺中被检出,在肌肉和血液中均未检出。当饲料中三聚氰胺含量为800mg/kg时,三聚氰酸最高残留量为0.50mg/kg,其残留消除时间为2d。

参考文献

[1]李德良.食品及饲料中三聚氰胺残留量液相色谱检测方法的研究[J].南昌高专学报,2007,73(6):131-135.  
 [2]李爱军,张代辉,马书氏,等.液相色谱-串联质谱法测定饲料中三聚氰胺残留[J].分析化学,2008,36(5):699-701.  
 [3]余晓华,孙泽祥,吕燕,等.GC/MS法研究鸡体内三聚氰胺的残留及代谢规律[J].浙江农业学报,2009,21(4):379-384.  
 [4]Fainerman V B, Vollhardt D, Aksenenko EV, et al. Molecular recognition kinetics of nonsurface active pyrimidine derivatives dissolved in the aqueous subphase by an amphiphilic melamine type monolayer: A theoretical approach[J]. J Phys Chem B, 2005, 109(29):14137-14143.  
 [5]Puschner B, Poppenga R H, Lowenstine L J, et al. Assessment of melamine and cyanuric acid toxicity in cats [J]. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation, 2007, 19(6):616-624.  
 [6]Dobson R L, Motlagh S, Quijano M, et al. Identification and characterization of toxicity of contaminants in pet food leading to an outbreak of renal toxicity in cats and dogs [J]. Toxicological Sciences, 2008, 106(1):251-262.  
 [7]Alison Snyder. Protein Pretense: Cheating the standard protein tests is easy, but industry hesitates on alternatives [J]. Scientific American Magazine, 2007, (8):759-761.  
 [8]Brown D. How Two Innocuous Compounds Combined to Kill Pets [J]. Washington Post, 2007, 7:26-28.  
 [9]Okumura M, Hasegawa R, Shirai T, et al. Relationship

Between Calculus Formation and Carcinogenesis in the Urinary Bladder of Rats Administered the Non-genotoxic Agents Thymine or Melamine [J]. Carcinogenesis, 1992, 13(6):1043-1045.  
 [10]Ogasawara, Wong S N, Chiu M C. The scare of melamine tainted pig products [J]. HK J Paediatr (New Series) 2008, 13(7):230-234.  
 [11]陈义强,王宗义,张丽英,等.气相色谱-质谱法测定鸡蛋中三聚氰胺残留[J].中国畜牧杂志,2009,5:45-47.  
 [12]黄慧贤,张勇清,叶嘉文,等.猪喂食三聚氰胺饲料的残留分布研究[J].中国卫生检验,2009,11:2668-2669.  
 [13]刘海燕,张伟,薛敏,等.三聚氰胺对花鲈的急性毒性实验研究[J].水生生物学报,2009,33(2):157-163.  
 [14]黄和,黄春丽,高平,等.三聚氰胺在罗非鱼体内的残留和消除规律研究[J].食品科技,2012,37(5):307-312.  
 [15]Brown C A, Jeong K S, Poppenga R H, et al. Outbreaks of renal failure associated with melamine and cyanuric acid in dogs and cats in 2004 and 2007 [J]. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation, 2007, 19(5):525-531.  
 [16]林祥梅,王建峰,贾广乐,等.三聚氰胺的毒性研究[J].毒理学杂志,2008,22(3):216-218.  
 [17]邵静君,温家琪,徐世文.三聚氰胺毒理学研究进展[J].现代畜牧兽医,2007,12:52-54.  
 [18]燕磊,郭吉原,孙作为,等.饲喂不同含量三聚氰胺日粮后肉鸭组织中三聚氰胺的残留分析[J].中国家禽,2009,31(13):16-19.  
 [19]Baynes RE, Smith G, Mason SE, et al. Pharmacokinetics of melamine in pigs following intravenous administration [J]. Food Chem Toxicol, 2008, 46(3):1196-1200.  
 [20]Buur JL, Baynes RE, Riviere JE. Estimating meat withdrawal times in pigs exposed to melamine contaminated feed using a physiologically based pharmacokinetic model [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2008, 51(3):324-331.