

对虾肌肉中隐蔽态 T-2 毒素残留与脂溶性成分含量变化的相关性研究

张晓迪¹, 王雅玲¹, 孙力军¹, 吕鹏莉¹, 徐德峰¹, 刘颖¹, 陈进军¹, 励建荣²

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 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, 广东湛江 524088) (2. 渤海大学, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013)

摘要: 为探明 T-2 毒素持续染毒后的对虾肌肉中 mT-2s 的残留规律, 及其对对虾的脂溶性成分含量的影响。采用 20 d 蓄积染毒法获得不同染毒剂量组 (0、0.5、1.2、2.4、4.8、12.2 mg/kg 饲料) 的对虾肌肉组织, 采用 LC-MS/MS 检测经三氟乙酸 (TFA) 水解处理前后样本中的 T-2 毒素含量, 以 T-2 增量表示 mT-2s 含量。同时采用索氏提取法测粗脂肪, HPLC 法测 VA、VD₃ 和 VE 含量。结果表明, 对虾肌肉经 TFA 水解处理前未发现游离态 T-2 毒素, 水解后检出 T-2 毒素, 即 mT-2s, 且其含量与染毒剂量呈正相关。而染毒剂量对不同脂溶性成分含量的影响表现出较大差异。高剂量染毒时, 粗脂肪、VA 和 VD₃ 含量呈显著下降 ($p < 0.05$), 而 VE 的含量呈波动性变化。低剂量染毒时, 粗脂肪、VD₃ 和 VE 含量显著升高 ($P < 0.05$), 表现出低剂量刺激效应, 但是粗脂肪与 VA 含量与 mT-2s 呈负相关, 可能二者与 mT-2s 的存在形式有关, 此结论为挖掘 mT-2s 的预警指标提供参考。

关键词: 对虾; T-2 毒素; 脂溶性成分; 隐蔽态 T-2 毒素

文章编号: 1673-9078(2016)3-62-67

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.011

Correlation between Masked T-2 Toxin Residues and Changes in

Fat-Soluble Components in Muscles of *Litopenaeus vannamei*

ZHANG Xiao-di¹, WANG Ya-ling¹, SUN Li-jun¹, LV Peng-li¹, XU De-feng¹, LIU Ying¹, CHEN Jin-jun¹,
LI Jian-rong²

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China) (2. Food Safety Key laboratory of Liaoning Province, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: This study explored the content of masked T-2 toxin (mT-2) residues and the effect of this toxin on fat-soluble components in T-2 toxin-exposed muscle tissues of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *L. vannamei* muscle tissues from the groups treated with different doses of T-2 toxin (0, 0.5, 1.2, 2.4, 4.8, and 12.2 mg/kg feed) after 20 days of cumulative exposure. Content of the T-2 toxin in the muscle tissues before and after trifluoroacetic acid (TFA) hydrolysis was determined by performing liquid chromatography-tandem mass spectrometry; content of mT-2 was expressed by the increment of T-2 toxin. Crude fat content was determined by using Soxhlet method, and vitamin A (VA), vitamin D₃ (VD₃), and vitamin E (VE) content was determined by performing high-performance liquid chromatography. Free T-2 toxin was not detected in shrimp muscle tissues before TFA hydrolysis but was detected after TFA hydrolysis. Moreover, its content was positively correlated with the dose of T-2 toxin administered. Different doses of the T-2 toxin exerted significantly different effects on the content of fat-soluble components. Treatment of shrimps with a high dose of the T-2 toxin significantly decreased crude fat, VA, and VD₃ content ($p < 0.05$) but fluctuated VE content. Treatment of shrimps with a low dose of the T-2 toxin significantly increased crude fat, VD₃, and VE content ($p < 0.05$), indicating a low-dose stimulatory effect. Crude fat content was negatively correlated and VA and mT-2 toxin content was positively correlated with the existing form of the T-2 toxin. These results can be used as a reference to determine the indicators of mT-2 toxicity.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; T-2 toxin; fat-soluble components; masked T-2 toxin

收稿日期: 2015-03-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31171634, 31371777, 31201309)

作者简介: 张晓迪 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品质量与安全; 通讯作者: 王雅玲 (1965-), 女, 博士, 教授; 励建荣 (1964-), 男, 博士, 教授

T-2 毒素 (T-2 toxin) 为 A 型单端孢霉烯族毒素中毒性最强的倍半萜烯类化合物, 是镰刀菌产生的次级代谢产物, 其性质稳定, 不溶于水和石油醚, 但易溶于丙酮、甲醇、乙醇、丙二醇等, 有很强的耐热性和紫外线耐受性, 不容易清除^[1]。

T-2 毒素广泛分布于自然界, 不仅存在于养殖环境中, 且常在饲料中被检出^[2]。饲料的污染会对水产养殖业造成危害, 而对虾 (凡纳滨对虾) 作为重要水产品必将受到严重的影响。饲养被 T-2 毒素污染的饲料可导致对虾造血和淋巴组织分离, 肝胰腺萎缩、红肿及退化, 免疫功能下降等, 严重威胁着对虾的健康, 极易造成品质下降^[3]。有研究表明, 急性染毒的对虾肌肉有 T-2 毒素检出, 而蓄积染毒的对虾中未有 T-2 毒素检出, 但 TFA 水解处理后, 有游离 T-2 毒素存在, 即蓄积染毒对虾肌肉中存在 mT-2s^[4]。近年来, 国内外关于 T-2 毒素在体内的结合方式, 即 mT-2s 的存在形式的研究, 主要集中在糖苷和蛋白质。McCormick^[5]等发现, 部分酵母菌可以使受污染的谷物中的 T-2 毒素转化代谢, 糖苷类隐蔽态 T2-3-G 是其中的代谢产物之一。徐娟^[6]等在 2011 年成功获得了 T-2 毒素的蛋白结合物 T-2-HS-BSA 和 T-2-HS-OVA。同时, Chakrabarti^[7]等在香蕉中发现了与脂肪酸相结合的隐蔽态真菌毒素。但关于 T-2 毒素在机体内是否与脂肪结合以及蓄积毒性实验后, mT-2s 毒素的残留规律未见相关报道。

脂肪为机体重要的组成成分和物质储存库, 包含各种脂溶性维生素等, 能促进动物的生长, 改善肌肉品质, 增强机体抗氧化能力, 减少自由基对机体的损害, 防止感染性疾病, 缓解毒素的毒性等^[8]。而 T-2 毒素对对虾脂溶性物质的影响以及与 mT-2s 的相关性未见相关报道。吴朝金^[4]的研究表明 mT-2s 在对虾体内具有蓄积毒性。但目前 mT-2s 的检测方法存在一些不足, 隐蔽态 T-2 毒素的危害指标缺乏, 通过对虾肌肉中隐蔽态 T-2 毒素残留与脂溶性成分含量变化的相关性研究, 有助于进一步探明 T-2 毒素毒效应生物学标记。因此, 本研究以 20 d 蓄积染毒后的对虾肌肉为研究对象, 检测其 mT-2s 毒素的残留量, 脂溶性成分的含量变化以及各指标间的相关性, 为监控 T-2 毒素的蓄积危害提供新的思路和依据, 并为发现 T-2 毒素的预警物质奠定良好的基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

对虾采自广东海洋大学东海岛养殖基地, 平均体

重约 5 ± 0.5 g。T-2 毒素标准品 (Enzo, USA, 纯度 $\geq 98\%$), VA、VD₃ 和 VE 标准品 (Sigma, USA)。

1.2 仪器与设备

恒温水浴锅, 上海博讯实业有限公司; 电子天平, 北京赛多利斯天平有限公司; TSQ Quantum Access 液相色谱-质谱联用仪, 美国 Thermo Scientific 公司; T25 均质机, 德国 IKA 公司; 离心机, 上海安亭科学仪器厂; 高效液相色谱仪, 日本岛津公司。

1.3 对虾肌肉中 mT-2s 的检测

参考代喆^[8]的方法, 进行对虾 20 d 蓄积毒性实验, 设六个剂量组 (0、0.5、1.2、2.4、4.8、12.2 mg/kg), 取对虾肌肉组织。采用吴朝金^[4]的样品前处理方法以及 LC-MS/MS 检测的实验条件和方法, 检测蓄积毒性实验的对虾肌肉中 mT-2s 的含量。

1.4 T-2 毒素对对虾肌肉中粗脂肪含量影响的检测

采用国标 GB/T 5009.6-2003《食品中脂肪的测定方法》中索氏提取法测定染毒于 T-2 毒素的对虾肌肉中粗脂肪的含量。

1.5 T-2 毒素对对虾肌肉中三种脂溶性维生素含量影响的检测

配制 VA、VD₃ 和 VE 标准贮备液, 用紫外分光光度计分别扫描 VA、VD₃ 和 VE 标准品工作液, 检测出三种维生素的最大吸收波长, 采用高效液相色谱仪, C18 正相色谱柱 (4.6 mm × 150 mm, 5 μm), 紫外检测器 (UVD), 流动相分别选用甲醇-水 (V:V) 为 100:0、99:1、97:3、95:5 等浓度洗脱, 流速选用 0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL/min, 进样量: 20 μL, 柱温为 25 °C, 标准样品和样品进样前过 0.45 μm 的针筒式滤膜。同时, 进行精密度、回收率和检测限 (LOD) 的测定。

取 1.3 中备用的对虾肌肉, 采用传统的样品前处理方法处理, 利用上述建立的 HPLC 的条件, 20 μL 进样, 每个样品分别测定 VA、VD₃ 和 VE, 每样做 6 次平行。

1.6 数据处理

数据采用 JMP7.0 统计软件进行方差分析, 以均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 多重性比较, $P < 0.05$ 表示显著差异; SPSS 21.0 软件做相关性分析。以 T-2 毒素染

毒剂量或对数为横坐标, 分别以 mT-2s 毒素残留量和脂溶性物质的相对反应度为纵坐标, Origin 8.5.1 软件作柱形图。

2 结果与分析

2.1 mT-2s 毒素在对虾肌肉中的残留规律

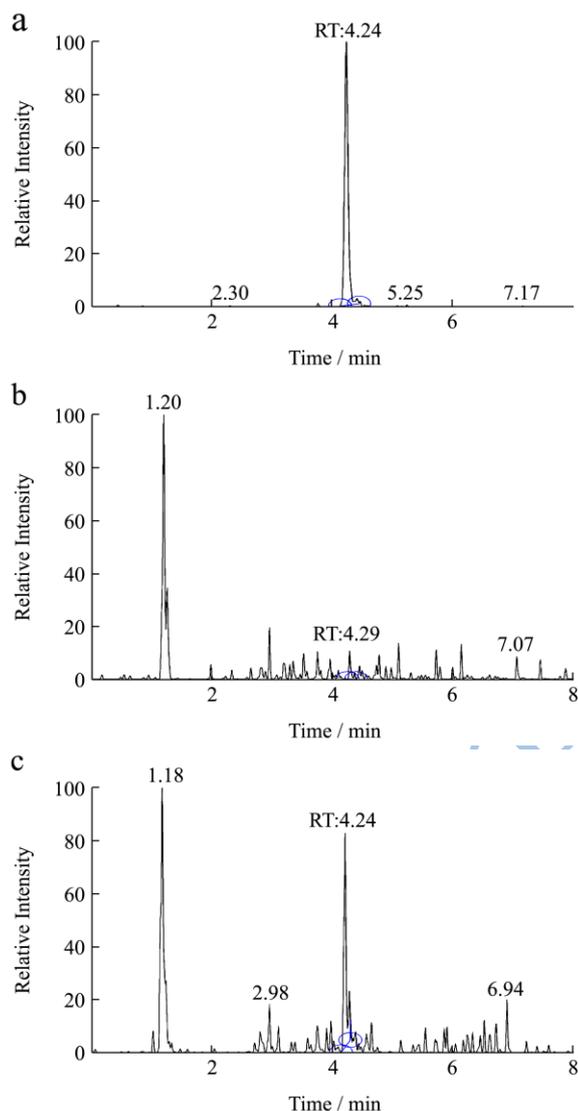


图 1 检测 T-2 毒素的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of the T-2 toxin

注: a-标准品, b-未用三氟乙酸水解处理的样品, c-三氟乙酸水解处理的样品。

针对对虾肌肉样品和标准品, 采用 LC-MS/MS 的全扫描模式 (full scan) 进行检测, T-2 毒素标准品的

保留时间为 4.24 min (图 1a), 结果与吴朝金^[4] (2014) 报道的结果相近。TFA 处理前, 对虾肌肉无游离态 T-2 毒素检出 (图 1b)。TFA 处理后, 在染毒剂量大于 2.4 mg/kg 时, 对虾肌肉中有游离态 T-2 毒素检出; 在 0.5 和 1.2 mg/kg 时, 未有游离态 T-2 毒素检出, 说明 TFA 可以解离 mT-2s, 但在低剂量 (≤ 1.2 mg/kg) 时, 由于 mT-2s 的含量较低和 TFA 提取法的对 mT-2s 的提取不完全^[4], 无游离态 T-2 毒素检出 (图 1c 和图 2)。结果表明, T-2 毒素在对虾肌肉内转化成 mT-2s, 以结合态的形式存在, 且 mT-2s 含量与对虾的染毒剂量呈正相关, 其中染毒剂量为 12.2 mg/kg 时, T-2 毒素的增量最大。

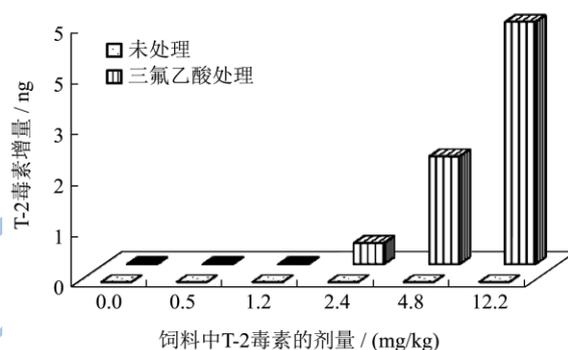


图 2 三氟乙酸水解处理前后染毒对虾肌肉组织 T-2 毒素的增量

Fig.2 Increment in the content of the T-2 toxin in shrimp muscle tissues after TFA treatment

2.2 T-2 毒素对对虾肌肉中粗脂肪含量的影响

脂肪是食品的重要营养成分, 在调解机体生理机能和完成化学反应方面起着重要作用。有研究表明, 饲料中适宜的脂肪酸水平可提高水生动物的免疫力和品质^[9], 即测定粗脂肪的含量具有重要意义。由表 1 和图 3 可知, 20 d 蓄积毒性试验后, 对虾体内粗脂肪的含量随着 T-2 染毒剂量的增加, 呈现先上升后下降的趋势, 且 T-2 毒素对粗脂肪含量影响显著 ($p < 0.05$)。在 1.2 mg/kg 剂量组, 呈显著上升趋势 ($p < 0.05$), 开始出现刺激效应, 2.4 mg/kg 剂量组时, 粗脂肪含量达到峰值 ($p < 0.05$)。在 4.8 mg/kg 剂量组时, 粗脂肪的含量呈显著下降 ($p < 0.05$), 开始出现抑制效应, 并随着 T-2 毒素染毒剂量的增加, 抑制效应有所上升, 但差别不显著 ($p > 0.05$)。与空白组相比, 高剂量的抑制幅度达 400%, 明显高于低剂量的刺激幅度 120%, 表明对虾肌肉组织更易受高剂量 T-2 毒素的影响。

表 1 各 T-2 毒素染毒剂量下粗脂肪的含量 (平均值 \pm 标准差, n=6)

Table 1 Crude fat content in the muscle tissues of *L. vannamei* exposed to different doses of the T-2 toxin

含量/(mg/kg 饲料)	0	0.5	1.2	2.4	4.8	12.2	ANOVA
粗脂肪/%	0.57 \pm 0.01 ^c	0.60 \pm 0.01 ^{bc}	0.74 \pm 0.19 ^{ab}	0.78 \pm 0.00 ^a	0.16 \pm 0.03 ^d	0.13 \pm 0.05 ^d	0.045

2.3 T-2 毒素对对虾肌肉中 VA、VD₃ 和 VE 含量的影响

2.3.1 HPLC 色谱条件的确定

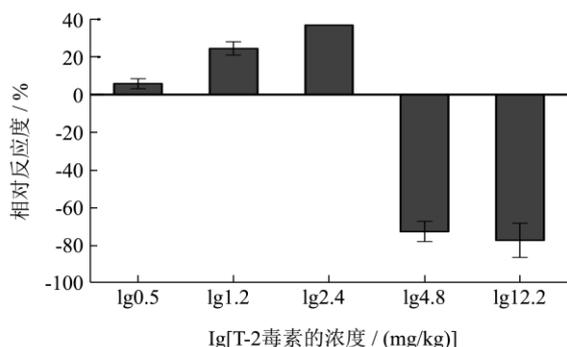


图3 T-2 毒素对对虾中粗脂肪相对反应度的影响

Fig.3 Effects of the T-2 toxin on the relative reactivity of crude fat in *L. vannamei*

VA、VD₃ 和 VE 标品的最大吸收波长分别为 280、264 和 285 nm。流动相甲醇-水 (100:0; V/V)，流速为 1.0 mL/min 时其峰形较为尖锐且基线平稳，线性关系良好，精密度和回收率高，检测限分别为 0.09、0.06 和 0.13 μg/mL。

表 2 各 T-2 毒素染毒剂量下 VA、VD₃ 和 VE 的含量 (平均值 ± 标准差, n=6)

含量	0	0.5	1.2	2.4	4.8	12.2	ANOVA
VA/ng	5.71±0.03 ^a	5.24±0.03 ^{ab}	5.36±1.20 ^a	5.12±0.04 ^{ab}	4.76±0.05 ^{bc}	4.44±0.05 ^c	0.038
VD ₃ /ng	1.33±0.07 ^b	1.646±0.06 ^d	1.20±0.07 ^b	0.80±0.13 ^c	0.60±0.21 ^c	0.56±0.14 ^c	0.015
VE/ng	6.37±0.03 ^b	6.20±0.04 ^{bc}	8.93±0.03 ^a	4.12±0.09 ^d	3.69±0.08 ^e	5.90±0.07 ^c	0.01

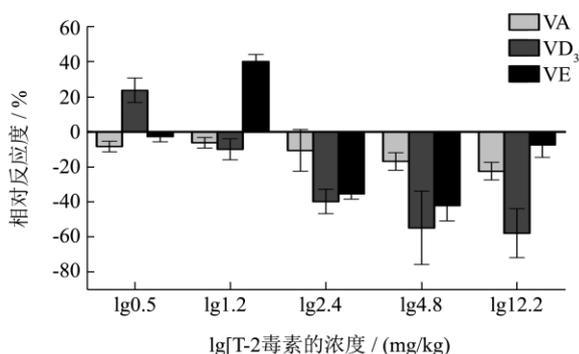


图4 T-2 毒素对对虾中 VA、VD₃ 和 VE 含量相对反应度的影响

Fig.4 Effects of the T-2 toxin on the relative reactivities of VA, VD₃, and VE in *L. vannamei*

2.3.3 对虾肌肉中 mT-2s 与脂溶性物质相关性的研究

由表 3 可知, mT-2s 与粗脂肪和 VA 有显著负相关 ($p < 0.05$), 粗脂肪和 mT-2s 的 Pearson 相关性系数

2.3.2 T-2 毒素对三种脂溶性维生素含量的影响

各染毒剂量与对虾 VA、VD₃、VE 的含量变化见表 2 和图 4。在对虾体内, VE 含量最高, VA 次之, VD₃ 最低。且 T-2 毒素对三种脂溶性维生素影响显著 ($p < 0.05$)。其中, VA 的含量总体呈下降趋势。与对照组相比, 前三个染毒剂量组无显著下降 ($p > 0.05$), 抑制幅度不明显; 在染毒剂量为 4.8 mg/kg 时, 开始出现显著下降 ($p < 0.05$), 抑制幅度较明显, 但与 12.2 mg/kg 相比, VA 的含量无显著差异。VD₃ 含量随着染毒剂量的增加, 呈先上升后下降趋势。在染毒剂量为 0.5 mg/kg 时, VD₃ 含量呈显著上升, 达到最大值 1.64 ng。在 12.2 mg/kg 时, VD₃ 含量最低为 0.56 ng。VE 含量受 T-2 毒素影响波动性较大, 总体呈先上升后下降再上升的趋势, 但第二次上升幅度较小。在染毒剂量为 1.2 mg/kg 时, VE 含量呈显著上升 ($p < 0.05$), 达到 8.93 ng; 在 4.8 mg/kg 时, 含量最低为 3.69 ng, 随后开始逐渐上升。T-2 毒素对不同脂溶性维生素的影响不同, 但高剂量 T-2 毒素对三种维生素均呈现抑制效应, 其中对 VD₃ 抑制效果最大。这可能是由于对虾长期处于高剂量 T-2 毒素环境中, 对虾的组织或细胞已受到一定程度的破坏, 导致维生素大量消耗或者无法正常合成以致含量显著下降。

为 0.858, 而 VA 和 mT-2s 的 Pearson 相关性系数为 0.901, 表明 VA 和 mT-2s 的相关性较强。其他指标之间没有明显的相关性。

表 3 mT-2s 与脂溶性成分的相关性系数

指标	mT-2s	粗脂肪	VA	VD ₃	VE
mT-2s	1				
粗脂肪	-0.858*	1			
VA	-0.901*	0.759	1		
VD ₃	-0.760	0.610	0.778	1	
VE	-0.289	0.392	0.435	0.537	1

注: “*”在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

3 讨论

20 d 蓄积毒性试验后, 经 TFA 水解处理, 不同染

毒剂量组的对虾肌肉中出现 T-2 毒素含量增加的现象,且 T-2 毒素的蓄积量与染毒剂量呈正相关,可得出,经蓄积毒性染毒的对虾体内存在 mT-2s,即 T-2 毒素可以在对虾肌肉内残留和蓄积,这解释了已报道的 T-2 毒素对对虾的各种危害^[4,8]。这与本课题组前期研究,急性毒性染毒后, T-2 毒素在对虾肌肉的蓄积性和隐蔽性相一致^[4]。

粗脂肪作为主要的氧化供能物质,与摄食率呈正相关,且与机体的性能密切相关。其中,脂溶性维生素主要存在粗脂肪中,是一类化学结构不同,营养作用生理功能各异的低分子有机化合物,是维持动物正常生长、繁殖所必需的一种用量极少,作用很大的生物活性物质。这类物质在单胃动物体内,不能合成或合成数量很小,不能满足机体需要,必须从日常饲料中获得。

本研究中,低染毒剂量时, T-2 毒素对对虾肌肉中粗脂肪、VD₃和 VE 含量呈刺激作用,显示为一种过度补偿效应^[10],即生物体受到外源化合物的刺激,为了维持自身机体的稳态而进行的一种自我调节的反应,一种有益反应的过度表达,增强机体产生对外源化合物的抵御能力。但 T-2 毒素对对虾粗脂肪、VD₃和 VE 的刺激幅度不同,其中粗脂肪在染毒剂量低于 2.4 mg/kg 时,刺激效应呈逐渐增强趋势;VD₃只有在染毒剂量很低(0.5 mg/kg)时才有刺激效应;而 VE 只有在染毒剂量 1.2 mg/kg 时有刺激效应。这可能是因为 VD₃是评价生长情况的标准之一,其对 T-2 毒素更为敏感,徐杰等^[11]报道 VD₃有助于钙的沉积和虾壳的硬化,为对虾外层屏障的指示物,且有利于磷在体内合理分布。虾壳的硬化能够防止虾体免受外界的伤害,对对虾起到良好的保护作用,提高免疫力,防止疾病等,这与本课题组前期研究结果相一致。在高染毒剂量时,四种指标均表现出抑制效应,可能由于虾体长期染毒于 T-2 毒素环境中,对虾的组织或者细胞已受到一定程度的破坏,导致粗脂肪大量消耗用来提供能量,维生素大量消耗用来抵抗自由基和氧化损伤,或者体内无法正常合成以致含量显著下降。这种低剂量刺激效应,高剂量抑制效应,属于毒物刺激效应(Hormesis)^[14]。代喆^[8]报道了在高染毒剂量,对虾的摄食率显著下降,且摄食率与这四种指标均有一定联系。因此,摄食率下降也有可能是四种指标下降的原因。而 VE 含量在高剂量组没有表现出明显的剂量反应关系,可能是由于在对虾体内 VE 含量受多种因素的影响,值得进一步研究。

VA 为重要的抗氧化物质之一。本研究中 VA 含量随着 T-2 毒素染毒剂量的上升而下降,但低剂量时,

下降不显著。宋凤艳^[17]以食品为原料,也发现在作用时间不变的情况下,随着处理温度的升高,VA 含量呈下降趋势。推测原因,对虾在刺激 T-2 毒素下,机体产生抑制效应。

实验结果表明, mT-2s 与粗脂肪和 VA 都有相关性,表明粗脂肪和 VA 都受 mT-2s 含量的影响。谭辉勇(2001)研究了 VA 作为 AFB₁ 预警指示物的可行性和可靠性,结果表明 VA 与 AFB₁ 有一定的相关性,作为 AFB₁ 的预警指示物是可行的,且在实际样品中往往比 AFB₁ 高,因而检测 VA 更方便,安全^[18]。推测 VA 或者粗脂肪也许可以用来做 mT-2s 的预警指示物,由于 mT-2s 检测的复杂性,可以节省大量的人力、物力和财力。且有关 mT-2s 的存在形式仍为一个谜,本研究为后续研究奠定良好的基础。

4 结论

综上所述,长期染毒 T-2 毒素环境,对虾体内的脂溶性物质与染毒剂量呈一定的剂量反应关系,其中粗脂肪、VD₃和 VE 与 T-2 毒素染毒剂量符合毒物兴奋效应,即低剂量刺激,高剂量抑制,这为探明 T-2 毒素在对虾中的蓄积规律即毒性效应奠定基础。LC-MS/MS 检测到蓄积毒性试验后的对虾体内有 mT-2s,且与剂量呈正相关。脂溶性成分 VA 和粗脂肪与 mT-2s 有较强的相关性,因此推测 T-2 毒素可能在对虾体内和 VA 或粗脂肪结合,形成 mT-2s; VA 或粗脂肪也许可以作为 mT-2s 的预警指示物。

参考文献

- [1] Meissonnier G M, J Laffitte, Raymond I, et al. Subclinical doses of T-2 toxin impair acquired immune response and liver cytochrome P450 in pigs [J]. Toxicology, 2008, 247(1): 46-54
- [2] 王雅玲,孙力军,吕国忠.封闭环境气载镰孢菌及其 T-2 毒素发生规律的研究进展[J].菌物研究,2008,6(4):240-244
WANG Ya-ling, SUN Li-jun, LV Guo-zhong. Advance of researches on occurrence rules of airborne fusarium and T-2 Toxin in closing environment [J]. Journal of Fungal Research, 2008, 6(4): 240-244
- [3] Meissonnier G M, J Laffitte, Raymond I, et al. Subclinical doses of T-2 toxin impair acquired immune response and liver cytochrome P450 in pigs [J]. Toxicology, 2008, 247(1): 46-54
- [4] 吴朝金.凡纳滨对虾体内隐蔽态 T-2 毒素的共性表征与危害识别[D].广东海洋大学,2014
WU Chao-jin. The common representation and hazard

- identification of masked T-2 toxin in *Litopenaeus vannamei* [D]. Guangdong Ocean University, 2014
- [5] McCormick S P, Price N P, Kurtzman C P. Glucosylation and other biotransformations of T-2 toxin by yeasts of the trichomonascus clade [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78(24): 8694-8702
- [6] 徐娟,洪淑娟,付建英,等.T-2 毒素人工抗原的制备[J].化学与生物工程,2010,27(9):66-69
XU Juan, HONG Shu-juan, FU Jian-ying, et al. Preparation of T-2 toxin antigen [J]. Chemistry and Bioengineering, 2010, 27(9): 66-69
- [7] Chakrabarti D K, Ghosal S. Occurrence of free and conjugated 12,13-epoxytrichothecenes and ZONralenone in banana fruits injected with *Fusarium moniliforme* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1986, 51(1): 217-219
- [8] 代喆.T-2 毒素诱导凡纳滨对虾肌肉品质典型性状的变化规律[D].广东海洋大学,2013
DAI Zhe. Regulation of *litopenaeus vannamei* muscle quota effected by T-2 toxin [D]. Guangdong Ocean University, 2013
- [9] Erdal I, Evensen O, Kaurstad K, et al. Relationship between diet and immune response in atlanticsalmon (*salmosalar l.*) after feeding various levels of ascorbic acid and Omega-3 fatty acids [J]. Aquaculture, 1991, 98(4): 363-379
- [10] Calabrese E J. Overcompensation stimulation a mechanism for hormetic effects [J]. CritRev Toxico, 2001, 31: 425-4701
- [11] 徐杰.饵料中添加维生素 D 对日本沼虾生长的影响[D].河北大学,2001
XU Jie. The effect of Vitamin D in diet on the growth of macrobrachium nipponense [D]. Hebei University, 2001
- [12] Chapman PM. The implications of hormesis to ecotoxicology and ecological risk assessment [J]. Human and perimental Toxicology, 2001, 20: 499-50
- [13] 宋凤艳,詹嘉红,董学忍.温度及作用时间对食品中维生素 A 含量的影响[J].韩山师范学院学报,2008,29(3):69-72
SONG Feng-yan, ZHAN Jia-hong, DONG Xue-ren. Effects of temperture and duration to Vitamin A in foods [J]. Journal of Hanshan Normal University, 2008, 29(3): 69-72
- [14] 谭辉勇.VA 作为 AFBI 预警指示物的研究及其酶传感器检测方法的探讨[D].暨南大学,2010
TAN Hui-yong. Study of VA as a bio-marker indicator for AFBI predietion and its biosensor detection [D]. Jinan University, 2010