

2.5 理论休药期的探讨

休药期是指动物从用药后到允许上市的一段时间,药物在组织中的残留限量是制定休药期的依据。制定渔药休药期是为了保障动物食品的安全性,通常根据国家规定的最大残留限量(MRL)标准和动物对药物的残留消除规律来确定。欧盟、加拿大和我国均以氟苯尼考和氟苯尼考胺为检出物,欧盟规定在有鳍肌肉中的残留限量为 $1.0\mu\text{g/g}$ 。加拿大对氟苯尼考及代谢物在鲑科鱼体内的残留限量是 $0.8\mu\text{g/g}$ (加拿大兽药残留 MRL 信息:www.hc-sc.gc.ca/english/index.html)。日本的规定较严格,规定在对鳗鱼类和家畜类的残留限量是 $0.2\mu\text{g/g}$,软体动物和甲壳类等残留限量为 $0.1\mu\text{g/g}$ 。我国规定在鱼类带皮肉中的残留限量为 $1.0\mu\text{g/g}$ (动物性食品中兽药最高残留限量,中华人民共和国农业部公告第235号,2002),与国外比稍嫌高,而最新的农业部无公害渔药残留标准未列出残留限量。故参考国外的残留限量,在本试验的情况下,若达到残留限量 $0.1\mu\text{g/g}$,停药12d后肌肉中氟苯尼考含量就可以达到要求。但是由于血液和肝肾中18d后仍然能检测出很高的氟苯尼考残留,另外考虑到本实验没有测定氟苯尼考代谢物氟苯尼考胺的情况,为了确保食品安全系数更高一些,因此建议牙鲆口服 50mg/kg 氟苯尼考后,并且在本试验的养殖环境下推算,牙鲆养殖过程中的平均温度为 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 时,休药期 $\geq 18\text{d}$ 。用温度与时间乘积表示则不低于324度日。

参 考 文 献

- 中华人民共和国农业部公告第235号. 2002.《动物性食品中兽药最高残留限量》
- 邓树海,张秀珍,邹立家编著. 1992. 药物动力学与生物药剂学. 天津科技翻译出版公司. 436~479
- 加拿大兽药残留 MRL 信息:www.hc-sc.gc.ca/english/index.html
- 李秀波,石波,梁平. 1999. 新型广谱菌药-氟苯尼考. 中国兽药杂志, 26(3):50~52
- 陈淑娟,杨毅梅,刘奕明,张斌,庞雪冰,曾繁典. 2001. 蝙蝠葛碱大鼠体内药物动力学研究. 中国药理学通报, 17(2):225~229
- 刘秀红,王群,李健. 2003. 氯霉素在牙鲆体内的药代动力学及残留消除规律研究. 集美大学学报(自然科学版), 8(4):305~310
- 邱银生,吴佳. 1996. 兽用广谱抗菌药物氟甲砜霉素. 中国兽药杂志, 30(2):47~48
- 余培建,翁祖桐,樊海平,俞道进,陈星. 2005. 氟苯尼考在鳗鲡体内的药物代谢动力学研究. 福建水产, 25(4):52~57
- 高俊岭,高启平. 2004. 氟苯尼考在水产养殖中的应用. 中国水产, 3:52~53
- 徐立文,廖昌荣,刘广峰. 2005. 氟苯尼考用于水产养殖的安全性. 中国水产科学, 12(4):512~518
- 萧志梅. 2000. 氟苯尼考的临床应用及市场状况. 中国兽药杂志, 34(5):53~54
- 廖昌荣,徐立文,陈毕生. 2005. 氟苯尼考对六种海洋致病弧菌的体外抗菌活性研究. 水产养殖, 26(4):1~4
- Ezzet, F., Krishnaet, G., Wexler, D. B. *et al.* 2011. A population pharmacokinetic model that describes multiple peaks due to enterohepatic of ezetimibe. Clin. Therap. 23(6):871~885
- Horsberg, T. E., Hoff, K. A., and Nordmo, R. 1996. Pharmacokinetics of florfenicol and its metabolite florfenicol amine in Atlantic salmon. J. Aquat. Anim. Health, 8:292~301
- Martinsen, B. T., Horsberg, T. E., Varma, K. J. *et al.* 1993. Single dose pharmacokinetic study of florfenical in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in sea-water at 11°C . Aquaculture, 112:1~11
- Pinault, L. P., Millot, L. K., and Sanders, P. J. 1997. Absolute oral bioavailability and residues of florfenicol in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J. Vet. Pharmacol. Therap. 20, SI:297~298
- Samuelsen, O. B., Bergh, ϕ ., and Ervik, A. 2003. Pharmacokinetics of florfenicol in cod *Gadus morhua* and in vitro antibacterial activity against *Vibrio anguillarum*. Dis. Aquat. Organ, 56:127~133

中国对虾不同凝集素基因应答 WSSV 侵染的表达差异

高 焕^{1,2} 赖晓芳^{1,2} 王伟继¹ 孟宪红¹ 孔 杰^{1*}

(¹农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(²江苏省海洋生物技术重点实验室 淮海工学院, 连云港 222005)

摘 要 本研究探讨了 7 种细胞凝集素基因在中国对虾中应答白斑综合征病毒(WSSV)感染上的生物学功能差异。结果显示, LT1(DQ167572. 1)、LT2(EU834289. 1)、LT3(EU834292. 1)和 LT5(EU834290. 1)是肝胰腺组织特异、受 WSSV 感染诱导表达的基因, 其他 3 种基因主要在肌肉、肠和腮中表达, 与 WSSV 感染诱导无明显相关; 在应答 WSSV 感染不同时间段的表达特征上, 7 种凝集素基因各不相同; 在各组织中的表达量上, 方差分析表明 7 种凝集素基因除在肝胰腺中的表达上存在显著差异外, 其他组织中不存在显著差异。这些结果显示这 7 个凝集素基因在应答 WSSV 侵染的表达特征上存在较大差异, 推测其在中国对虾体内免疫防御功能上的作用也各不相同。

关键词 中国对虾 白斑综合征病毒 细胞凝集素 表达差异

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)05-0053-06

Expression of seven kinds of lectins after WSSV challenge in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*

GAO Huan^{1,2} LAI Xiao-fang^{1,2} WANG Wei-ji¹ MENG Xian-hong¹ KONG Jie^{1*}

(¹ Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(² Jiangsu Provincial Key Laboratory of Marine Biotechnology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005)

ABSTRACT According to the gene sequences, the lectins in the genome of Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*, could be assorted into seven kinds of genes. In order to explore the expression differences among the seven lectins after WSSV challenge, real-time quantitative PCR was used to detect the expression profiles of these lectins at different time after WSSV challenge in Chinese shrimp. The results showed that, of the seven lectins, LT1(DQ167572. 1)、LT2(EU834289. 1)、LT3(EU834292. 1) and LT5(EU834290. 1) displayed hepatopancreas-specific expression profiles, and were WSSV-induced genes, while the other genes were mainly expressed in gills, intestines and muscles, and were non-WSSV-induced genes. The expression profiles of seven detected genes at different time after WSSV challenge were different with each other. Additionally, the analysis of variance (ANOVA) indicated that no significant difference

中国博士后科学基金(20090461273)、国家自然科学基金项目(31072206)、江苏省自然科学基金(SBK200930340)和山东省自然科学基金项目(ZR2009DQ002)共同资助

* 通讯作者。E-mail: kongjie@sina.com, Tel: (0532)85823291

收稿日期: 2011-09-08; 接受日期: 2012-05-17

作者简介: 高 焕(1976-), 男, 博士, 主要从事海水甲壳类生物遗传育种研究。E-mail: huanmr@163.com, Tel: 13951258651

was found at the expression level of seven lectins in gills, intestines and muscles, except hepatopancreases. These results showed that the biology function of the seven lectins were different from each other in Chinese shrimp *F. chinensis*.

KEY WORDS *Fenneropenaeus chinensis* WSSV Lectin
Difference in gene express

凝集素(Lectin)作为一种糖结合蛋白,能识别糖蛋白和糖脂,特别是细胞膜表面的碳水化合物结构,在先天免疫防御中是模式识别受体的主要参与者,在虾类等无脊椎动物的先天性免疫防御中起着重要的作用(孙杰等 2007;刘逸尘 2006)。按照糖识别域肽链序列,动物的凝集素主要分成三类:C型凝集素、S型凝集素和P型凝集素。其中C型凝集素是一个庞大的膜蛋白和细胞外蛋白的超家族,其共同特点是都拥有一个二硫键,且与钙离子结合的CRD结构域(刘逸尘 2006)。越来越多的证据表明C型凝集素在免疫系统中起着关键作用,有些在非特异性免疫中作为协调因子出现,还有一些在细胞的迁移,细胞间相互作用等中扮演重要角色(Drickamer *et al.* 1993; Ni *et al.* 1996)。

目前,已经在凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* (Zhao *et al.* 2009; Ma *et al.* 2007)、日本囊对虾 *Penaeus (marsupenaeus) japonicus* (Kondo *et al.* 1992; Yang *et al.* 2007)、斑节对虾 *Penaeus monodon* (Luo *et al.* 2006)、中国对虾 *Fenneropenaeus chinensis* (Liu *et al.* 2007; Sun *et al.* 2008) 等中发现了多种凝集素。其中在中国对虾中,根据已公开的文献共发现了7种C型凝集素,这些凝集素的生物学功能是否一致?尤其是在抗白斑综合征病毒(White Spot Syndrome Virus, WSSV)感染中是否起作用是在中国对虾新品种选育中特别关心的问题。本研究对这7种凝集素基因在中国对虾中应答WSSV侵染的表达情况进行了分析,以期探讨不同凝集素基因应答WSSV侵染的生物学功能差异。

1 材料与方法

1.1 对虾材料

用于WSSV感染实验的中国对虾于2009年8月取自山东海阳市黄海水产有限公司。个体平均大小为 2.06 ± 0.72 g,来源于同一家系。采用投喂含有等量WSSV病毒的饵料(约含 1×10^5 个病毒拷贝)进行病毒感染,分别在0(未感染)、6、12、24、48、72、96、120、156 h收集不同感染时间段的对虾个体,并用液氮保存运回实验室提取RNA,每个感染时间阶段取3~6个样本。实验水温 28.5 ± 0.5 °C,盐度28。

1.2 qRT-PCR

采用Trizol试剂(Invitrogen)提取中国对虾个体的肝胰腺、肠、肌肉和鳃4种组织的总RNA后,再利用反转录酶[M-MLV reverse transcriptase (BBI)]以 $T_7d(T)_{12}$ (引物序列见表1)为引物合成cDNA第一链。

以18S rRNA基因作为内参基因(引物序列见表1),通过荧光实时定量PCR技术对各个WSSV侵染时期对虾个体的凝集素基因表达情况进行相对定量分析。使用TaKaRa公司的实时定量PCR试剂盒进行定量分析,并采用 $20 \mu\text{l}$ 的PCR扩增体系,反应体系中各成分终浓度为: $1 \times \text{SYBR}^{\text{®}}$, Premix Ex TaqTM II、正反向引物量各为400 nmol/L、 $1 \times \text{ROX Reference Dye II}$ 、40 ng cDNA。在ABI 7500型荧光定量PCR仪(Applied Biosystems Inc)上进行PCR扩增和数据采集,扩增程序为:先95°C变性15s,再以95°C变性5s、60°C复性34s进行40个循环,最后是1个熔解曲线程序(95°C进行15s,60°C进行60s,再95°C15s)。采用比较 C_t 法对获得的定量结果进行分析。

1.3 PCR引物设计

搜索NCBI核苷酸序列数据库,共找到7个中国对虾凝集素基因序列,序列号分别为AY871270.1(FT0,

1 482bp)、DQ167572.1 (LT1,571bp)、EU834289.1(FT2,1 219bp)、EU834292.1(LT3,740bp)、EU834293.1 (FT4,1 054bp)、EU834290.1(FT5,1 137bp)、EU834291.1(FT6,1 172bp)。对比 7 个凝集素基因序列遗传进化关系,结果表明,以上 7 个凝集素基因序列差异很大,应被看作 7 个不同的基因序列。为便于阐述,文中对 7 个基因重新编号,分别为 FT0、LT1、FT2、LT3、FT4、FT5 和 FT6,各基因的编号情况及序列长度见上述各个基因序列号后括号内的注释。

表 1 本研究所用 PCR 引物序列
Table 1 Primers used in this study

引物 Primer	序列 Sequence (5'-3')	引物设计扩增区* Amplification zone	片段大小(bp) Length
T ₇ d(T) ₁₂	ACGACTCACTATAGGGCTTTT		
FT0	正向 Forward	AGGTCGGTGACGAATGCTTT	181~463
	反向 Reverse	ATCTCCAGGCAGTCTTCTCC	
LT1	正向 Forward	GAGACGGTTGACTTGTGC	166~402
	反向 Reverse	TGTAGGTATTCCCATTGTTAG	
LT2	正向 Forward	TTCTGGGTGGATGGACGAG	306~431
	反向 Reverse	GAGGGAGTTATCAGGTTGCTG	
LT3	正向 Forward	GACTGCGAGGAGCACCACCACT	200~440
	反向 Reverse	GGAGGGCGTTCTCATTTT	
FT4	正向 Forward	GGAGACCAAGCAGGAGAA	307~598
	反向 Reverse	CAAGCACGATTCGGAGGT	
FT5	正向 Forward	TCCTGAAGGTTACTCGCTCG	148~445
	反向 Reverse	AGGTTGTTGGGTGTCTTGGA	
FT6	正向 Forward	ATTACGCTGCTGTTGTTG	35~331
	反向 Reverse	GTCTCCTTGGTTGCCTCT	
18S rRNA	正向 Forward	TATACGCTAGTGGAGCTGGAA	
	反向 Reverse	GGGGAGGTAGTGACGAAAAAT	

注: * 是指在原始克隆序列中的起始和终止碱基位置

Note: * shows the start and terminal sequence location in the original genes

1.4 数据分析

利用 SPSS(13.0)软件对各组织中不同凝集素基因的表达差异情况进行统计分析,以便获得不同凝集素基因之间在同一组织中的表达情况是否存在显著性差异。

2 结果与分析

2.1 各凝集素基因在不同组织中的表达特征

分别以 LT0、LT1、LT2、LT3、LT4、LT5、LT6 共 7 对引物(表 1)研究相应 7 种类型凝集素基因应答 WSSV 侵染后在腮、肝胰腺、肌肉、肠 4 种组织中的表达特征,具体表达特征分别见图 1(LT0)、图 2(LT1)、图 3(LT2)、图 4(LT3)、图 5(LT4)、图 6(LT5)、图 7(LT6)。

从图 1 可知,凝集素 LT0 基因除在 WSSV 侵染 6h 时,在腮和肠中检测到一定的表达量以及 156h 时在腮和肌肉中检测到一定的表达量外,其他组织中各时间点的表达量均很低。

从图 2 可明显看出,凝集素 LT1 主要在肝胰腺中表达,其他组织中表达量很低甚或不表达。其表达趋势为:LT1 在 0~48h 期间呈上调表达,在 48h 达到峰值后又逐步下降,而在 156h 表达量又上调表达。

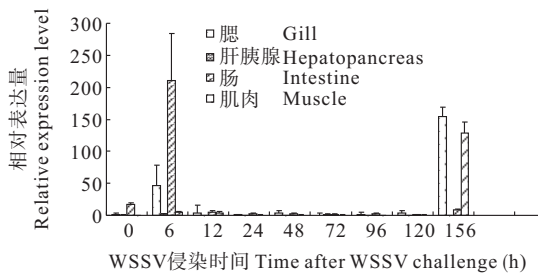


图1 凝集素 LT0 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.1 Expression difference of lectin LT0
in four tissues of Chinese shrimp

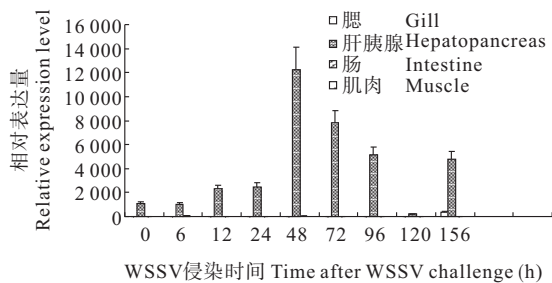


图2 凝集素 LT1 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.2 Expression difference of lectin
LT1 in four tissues of Chinese shrimp

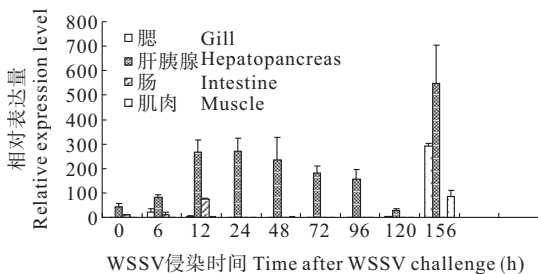


图3 凝集素 LT2 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.3 Expression difference of lectin
LT2 in four tissues of Chinese shrimp

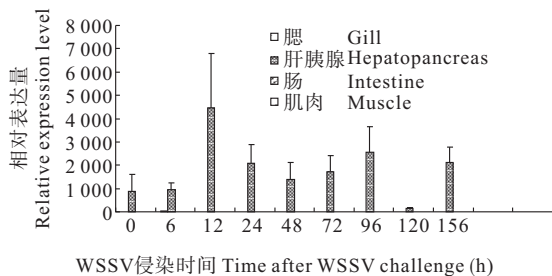


图4 凝集素 LT3 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.4 Expression difference of lectin
LT3 in four tissues of Chinese shrimp

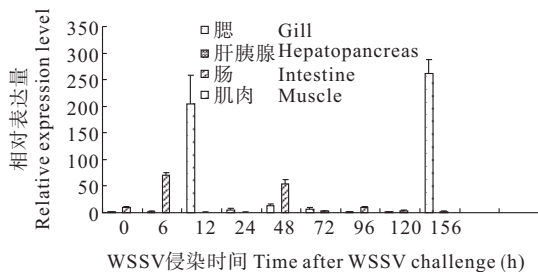


图5 凝集素 LT4 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.5 Expression difference of lectin
LT4 in four tissues of Chinese shrimp

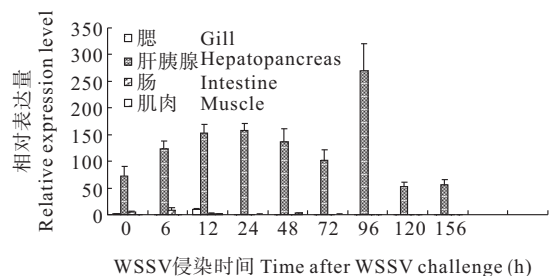


图6 凝集素 LT5 在中国对虾 4 种组织中的表达
Fig.6 Expression difference of lectin
LT5 in four tissues of Chinese shrimp

从图3可看出,LT2 主要在肝胰腺中表达,在腮、肠和肌肉中的表达量很低或者不表达。其在肝胰腺中的表达趋势为:在0~24h 呈上调表达,至24h 达到峰值后又呈下调表达趋势,而在156h 又再次上调表达。

从图4也可明显看出,凝集素 LT3 也主要在肝胰腺中表达,其他组织中表达量很低或不表达。其在肝胰腺中的表达趋势为:在0~12h 上调表达,12h 时达到峰值后又下调表达,48~96h 时又呈上调表达,120h 又下调表达,而156h 又再次上调表达。

从图5可知,凝集素 LT4 在6h 时主要在肠中表达,在12h 时主要在腮中表达,在48h 时主要在肠中表达,而在156h 时主要在腮中表达,且表达量最高。

从图6可看出,凝集素 LT5 主要在肝胰腺中表达,其他组织中表达量很低或不表达。其在肝胰腺中的表达趋势为:在0~24h 呈上调表达,24~72h 呈下调表达,72~96h 再次呈上调表达,96~120h 呈下调表达,并在156h 保持在一个相对较低的表达水平上。

从图7可知,LT6在WSSV感染后,48h时在腮、肝胰腺、肠和肌肉组织中都有表达,且表达量最高,其他时间段各组织中表达量很低,总体上该基因无明显一致的表达规律。

上述结果表明,在应答WSSV病毒感染的过程中,7种中国对虾凝集素基因在不同组织中的表达存在较大的差异。其中,LT1、LT2、LT3和LT5主要在肝胰腺中表达,在其他组织中不表达或只有极少量表达,而其他凝集素基因主要在腮、肠和肌肉中表达。虽然LT1、LT2、LT3和LT5主要在肝胰腺中表达,但它们的表达规律各不相同。

2.2 同一组织中各凝集素基因表达量的差异

为了分析比较同一个组织中不同凝集素基因之间的表达量是否存在差别,利用SPSS软件分别对腮、肝胰腺、肠和肌肉4种组织中的LT0、LT1、LT2、LT3、LT4、LT5和LT6共7种凝集素基因的表达量进行了方差分析。经方差齐性检验表明,同一个组织不同凝集素基因表达量的方差不齐,故采用Dunnett T3法进行多重比较。

在腮中,方差分析结果表明,7种凝集素基因之间不存在显著性差异, $P>0.05$ 。在肝胰腺中,LT0与LT3差异显著($P=0.035<0.05$),与LT5差异极显著($P=0.009<0.01$);LT1与其他基因的表达量均不存在显著差异;LT2与其他基因的表达量均不存在显著差异;LT3与LT0($P=0.035<0.05$)、LT4($P=0.035<0.05$)和LT6($P=0.039<0.05$)存在显著性差异;LT4与LT3($P=0.035<0.05$)存在显著性差异,与LT5($P=0.008<0.01$)存在极显著差异;LT5与LT0($P=0.008<0.01$)、LT4($P=0.009<0.01$)存在极显著差异;LT6与LT3($P=0.039<0.05$)存在显著性差异。在肠组织中,各凝集素基因之间的表达量不存在显著差异, $P>0.05$ 。在肌肉组织中,各凝集素基因之间的表达量不存在显著差异, $P>0.05$ 。

3 讨论

对虾养殖业近10年来饱受流行性对虾类白斑综合征病毒(WSSV)病的危害,很多学者都致力于从基因角度找到抗该病毒病的遗传基础,表达产物具有先天免疫防御功能的凝集素基因自然成为重要的候选基因之一。Ma等(2007)对发现于凡纳滨对虾中的一种凝集素基因应答WSSV感染的特征进行了研究,认为其表达特征可能与WSSV感染的诱导有关,但并没有明确该基因是否与抗WSSV相关(Ma *et al.* 2007)。Zhao等(2009)的研究结果则表明另一种凡纳滨对虾凝集素可以与WSSV结合,可有效降低WSSV感染对对虾的致死性。这说明,同一个物种中不同的凝集素基因在免疫应答上存在着较大的差别,也显示它们在同一生物体内可能执行不同的免疫防御功能。本研究中的7种凝集素基因表达特征也存在较大的差别,可以分为两类,一类是肝胰腺特异表达的,另一类不具有特异组织(肝胰腺、腮、肠和肌肉)表达的特征。肝胰腺特异表达的凝集素基因有4种,分别是LT1、LT2、LT3、LT5,它们也同时显示了受WSSV诱导表达的特征。LT1是Sun等(2008)首次报道的,并认为该基因在抵抗病菌入侵中起到模式识别受体的作用,但未进行WSSV感染相关表达的研究。实验结果表明,LT1在0~48h期间的表达量逐渐增多,在48h达到峰值后又逐步下降,而在156h表达量又再次增多。此结果说明该基因的表达与WSSV感染存在着一定的关系。已知LT2基因受WSSV诱导后表达量增加(Zhang *et al.* 2009),研究则表明该基因的表达短期内受WSSV诱导,而随着WSSV在体内的大量增殖反而下降,在156h再次上调表达。LT3是Wang等(2009)报道的一个中国对虾新的凝集素基因,该基因表达后的重组蛋白可以与WSSV的膜蛋白VP28相作用,并在WSSV感染后明显上调表达。本研究中,该基因伴随着感染期的延长,其表达量也在持续增加,此结果表明该基因可能是一个与抗WSSV有关的基因,值得进一步深入探讨。LT5是2010年报道的一个新的中国对虾凝集素基因(Xu *et al.* 2010),在本研究中该基因应答WSSV感染时也一直保持着较高的表达量,说明该基因也是一个潜在的抗WSSV的候选基因。

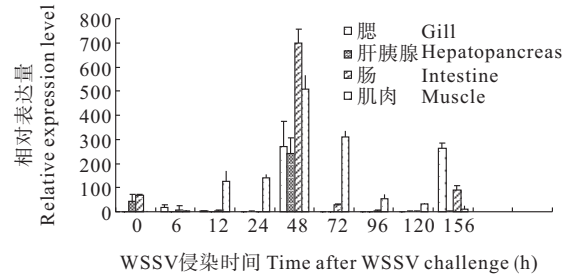


图7 凝集素LT6在中国对虾4种组织中的表达
Fig. 7 Expression difference of lectin LT6 in four tissues of Chinese shrimp

虽然以上4个基因都表现为WSSV诱导型表达,但是具体表达特征存在着显著的差别,如对于LT1而言,48h的表达量最高,而LT2、LT3和LT5分别是156h、12h和96h表达量最高。

LT0、LT4和LT6在肝胰腺、腮、肠和肌肉4种组织中都不存在特异组织表达特征。LT0是刘逸尘等(2007)最早在中国对虾中报道的一种凝集素基因(LT0),对该基因应答WSSV侵染的表达特征研究表明,该基因在感染后前3h逐渐增加,在3h达到峰值,接着在3h以后基因的表达呈明显的下调,在实验的末期(48h)到达低谷,但对3h以后各时间段之间的表达量经过统计分析表明并无明显差异。现研究分别考察了0、6、12、24、48、72、96、120和156h,总体上该基因在6h有明显的表达量,其后下调表达,并几乎一直维持在很低的表达量水平(图5),这与刘逸尘等(2007)的报道相吻合。该结果也显示该基因并非是一个由WSSV诱导表达的基因,一直处于较低的表达量也暗示该基因对于抗或易感WSSV无直接相关。已知LT4是一个中国对虾中与抗鳃弧菌*Vibrio anguillarum*相关的基因(Wang *et al.* 2009b),在作者的研究中,该基因在WSSV侵染情况下,只在12h和156h表达量相对较高外,其他时间段只有很少量的表达,说明该基因也不是WSSV诱导表达型基因。关于LT6具体详细的研究文献还未见报道,在作者研究中,该基因48h之前表达量一直很低,48h时表达量剧增,随后又几乎处于不表达或只有少量的表达。

以上这些结果显示,7种凝集素基因虽然都具有CRD结构域,但是在应答WSSV侵染时表现出不同的生物学特征。这进一步说明作为免疫防御因子,不同的凝集素在机体内执行着不同的生物学功能,这也解释了为什么对虾等甲壳类无脊椎动物中有多种凝集素分子存在的原因,即各自执行不同的免疫防御作用。

参 考 文 献

- 刘逸尘. 2006. 中国明对虾体内凝集作用相关免疫基因的克隆与表达研究. 见:中国科学院海洋研究所博士学位论文,13~14
- 孙杰,王雷,王宝杰,郭振宇,刘梅,蒋克勇,骆作勇. 2007. 中国明对虾乙酰基专一性凝集素分离纯化方法的研究. 高技术通讯, 17(1): 83~87
- Drickamer, K., and Taylor, M. E. 1993. Biology of animal lectins. *Annual Review of Cell Biology*, 9: 237~264
- Kondo, M., Matsuyama, H., and Yano, T. 1992. The opsonic effect of lectin on phagocytosis by hemocytes of Kuruma Prawn, *Penaeus japonicus*. *Fish Pathol.* 27:217~222
- Ma, T. H., Tiu, S. H., He, J. G. *et al.* 2007. Molecular cloning of a C-type lectin (LvLT) from the shrimp *Litopenaeus vannamei*: early gene down-regulation after WSSV infection. *Fish Shellfish Immunol.* 23(2): 430~437
- Ni, Y., and Tizzard, I. 1996. Lectin-carbohydrate interaction in the immune system. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 44: 251~267
- Liu, Y. C., Li, F. H., Dong, B. *et al.* 2007. Molecular cloning, characterization and expression analysis of a putative C-type lectin (Fclectin) gene in Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Mol. Immunol.* 44:598~607
- Luo, T., Yang, H., Li, F. *et al.* 2006. Purification, characterization and cDNA cloning of a novel lipopolysaccharide-binding lectin from the shrimp *Penaeus monodon*. *Developmental and Comparative Immunology*, 30: 607~617
- Sun, Y. D., Fu, L. D., Jia, Y. P. *et al.* 2008. A hepatopancreas-specific C-type lectin from the Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* exhibits antimicrobial activity. *Mol. Immunol.* 45:348~361
- Wang, X. W., Xu, W. T., Zhang, X. W. *et al.* 2009a. A C-type lectin is involved in the innate immune response of Chinese white shrimp. *Fish & Shellfish Immunology*, 27: 556~562
- Wang, X. W., Zhang, X. W., Xu, W. T. *et al.* 2009b. A novel C-type lectin (FcLec4) facilitates the clearance of *Vibrio anguillarum* in vivo in Chinese white shrimp. *Developmental & Comparative Immunology*, 33(9): 1 039~1 047
- Xu, W. T., Wang, X. W., Zhang, X. W. *et al.* 2010. A new C-type lectin (FcLec5) from the Chinese white shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Amino Acids*, 39: 1 227~1 239
- Yang, H. J., Luo, T., Li, F. *et al.* 2007. Purification and characterization of a calcium-independent lectin (PiLec) from the haemolymph of the shrimp *Penaeus japonicus*. *Fish Shellfish Immunol.* 22:88~97
- Zhang, X. W., Xu, W. T., Wang, X. W. *et al.* 2009. A novel C-type lectin with two CRD domains from Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* functions as a pattern recognition protein. *Molecular Immunology*, 46(8~9): 1 626~1 637
- Zhao, Z. Y., Yin, Z. X., Xu, X. P. *et al.* 2009. A novel C-type lectin from the shrimp *Litopenaeus vannamei* possesses anti-white spot syndrome virus activity. *J. Virol.* 83(1): 347~356