

## 对虾白斑综合症(WSS)的分子流行病学研究进展

雷质文<sup>1,2</sup>, 黄 健<sup>2</sup>, 寇运同<sup>1</sup>, 战文斌<sup>3</sup>, 俞开康<sup>3</sup>

(1. 中华人民共和国青岛出入境检验检疫局, 山东 青岛 266002; 2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 3. 青岛海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:**本文主要依据1993年以来关于白斑综合症(WSS)的研究结果,对白斑综合症的致病因子与暴露、生物标志与生物学效应、易感性、预防策略进行综合评述,以期有效控制WSS疫情、重振对虾养殖业提供参考。

**关键词:**对虾;白斑综合症;分子流行病学

**中图分类号:**S 941.42

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-8737(2002)03-0260-05

对虾白斑综合症(White spot syndrome, WSS)自20世纪90年开始在亚洲地区养殖对虾中不断暴发并流行,死亡率高达100%。国际兽疫局(OIE)、联合国粮农组织(FAO)以及亚太地区水产养殖发展网络中心(NACA)早在1995年就将其列为需要报告的重要的水生动物病毒性疫病之一。国内外学者利用分子生物学的新理论、新技术、新方法,在分子或基因水平上研究WSS的病原、传播途径以及预防,已取得突破性进展。本文根据近10年的文献资料,对WSS的分子流行病学研究现状进行综述,以期有效控制WSS的疫情、重振对虾养殖业提供参考。

### 1 致病因子与传播方式

#### 1.1 病原体

##### 1.1.1 对虾白斑综合症病毒(WSSV)的命名和分类地位

自1992年以来,不同研究者根据所分离病毒株的地域分布、原始宿主、形态发生以及主要病理症状,给不同分离株以不同的命名,主要包括:皮下与造血组织坏死病毒(HHN-BV)<sup>[1]</sup>,日本对虾杆状细胞核病毒(RV-PJ = PVPD)<sup>[2]</sup>,系统性外胚层和中胚层杆状病毒(SEMBV = PmNoBⅢ)<sup>[3]</sup>,白斑杆状病毒(WSBV)<sup>[4]</sup>。Nadala等<sup>[5]</sup>发现从斑节对虾(*Penaeus monodon*) (印度尼西亚)、日本对虾(*P. japonicus*) (中国大陆)以及白对虾(*P. setiferus*) (美国)分离的病毒粒子的大小、形态十分相似;至少有3条相同的蛋白质电泳带;用

EcoRI消化3病毒株DNA,它们之间没有区别。Lo等<sup>[6]</sup>用RAPD技术比较研究了从中国对虾(*P. chinensis*) (中国1996-116A)、斑节对虾(印度95-314, 食品店96-115)、淡水小龙虾(*Orconectes punctimanus*) (美国国家动物园97-25)、南美白对虾(*P. vannamei*) (泰国95-46, 美国南卡罗来纳97-64)分离的WSSV DNA,发现其PCR产物只有少许差别。根据以上结果,结合染毒对虾临床症状、病理特征、流行特征上的相似性,可以看出不同地域不同宿主的病毒分离株的基因组序列有很大的同源性。这样看来,暂时赋予不同分离株统一命名是完全可以的。Lightner等<sup>[7]</sup>建议将这类杆状病毒暂统一命名为白斑综合症病毒(WSSV),这项建议得到了国际虾类病毒研究者的普遍认可。

中美科学家将WSSV核酸全序列与已知的A型杆状病毒基因相比较,没有同源性,而与多种管状真核生物蛋白质的DNA序列部分同源<sup>[8]</sup>。Marielle等<sup>[9]</sup>对酶切构建的WSSV的基因文库不同片段分别进行测序和基因同源性分析,结果表明WSSV属于真核生物的一个分支,且WSSV与杆状病毒并非源于共同祖先,并推测WSSV或是杆状病毒的一个新属,或是1个全新的病毒。由此看来,WSSV是1种新的病毒。1991年国际分类委员会(ICTV)第5次报告将WSSV归为杆状病毒科(Baculoviridae)无包涵体杆状病毒属(Non-Occluded Baculovirus)<sup>[4]</sup>;1995年第6次ICTV报告中杆状病毒科取消了亚科分类阶元,杆状病毒科只包括核型多角体病毒属(Nucleopolyhedrovirus)和颗粒病毒属(Granulovirus)<sup>[10]</sup>。显然,WSSV不属于以上2个病毒属,其分类位置有待深入研究。

**1.1.2 WSSV的大小和形态结构** Kasornchandra等<sup>[11]</sup>对来自6个亚洲国家的养殖斑节对虾、中国对虾、印度对虾(*P. indicus*)、墨吉对虾(*P. merguensis*)、日本对虾的

收稿日期:2001-03-05.

基金项目:国家重点基础研究规划项目资助(G1999012002).

作者简介:雷质文(1969-),男,青岛出入境检验检疫局兽医,硕士,从事出入境水生动物病害检疫工作。

WSSV分离株进行电镜观察,发现各分离株的病毒粒子大小和核衣壳大小均不同,而Nadala等<sup>[5]</sup>对WSSV-中国株、WSSV-印度尼西亚株、WSSV-美国南卡罗莱纳株进行电镜观察,发现其形态和大小相同。由此看来,即使在相同实验条件下,相同地域相同宿主中所分离的WSSV大小亦不同,而且不同研究者对来源不同、宿主各异的WSSV分离株,在相同实验条件下进行电镜观察,其结果并不一致。但WSSV的形态结构十分相似。完整的病毒粒子横切面为圆形,纵切面为杆状而略带椭圆,粒子外被囊膜,囊膜为双层结构,囊膜内可见杆状的核衣壳和核衣壳内致密的髓核<sup>[3,12]</sup>。病毒的衣壳结构为螺旋圆柱体形,大小约95 nm×450 nm,螺旋带几乎与衣壳长轴垂直,螺距30 nm,每匝螺旋宽26 nm,螺旋间距4 nm,该衣壳螺旋由2条平行的约9 nm宽的螺旋和1条宽约8 nm的中间带组成。每个子粒由2个边缘颗粒和1个中间颗粒组成,呈“<”形结构,子粒排列周期为14 nm<sup>[4,12]</sup>。

**1.1.3 WSSV的化学组成和理化特性** WSSV主要是由蛋白质和核酸(DNA)组成。Wang Q等<sup>[13]</sup>推测1条19 kD的多肽可能是糖蛋白,但其是否含有糖类(糖蛋白)和脂类尚待进一步研究证实。

Maeda等<sup>[14]</sup>和张朴性<sup>[15]</sup>的研究结果表明,射线、化学试剂、pH、温度、盐度、湿度和水中的游离氧(O<sub>2</sub>和O<sub>3</sub>)对WSSV的感染活性有影响,并且不同WSSV分离株对不同外界因素影响的敏感性不同。

**1.1.4 WSSV的基因组及其编码的多肽** 黄捷等<sup>[12]</sup>报道WSSV的核酸DNA是双链结构。陈如为报道<sup>[8]</sup>,中美科学家合作完成了WSSV基因测序,测得的数据准确率达99.9%,WSSV的基因组大小为305 108 bp。

Nadala等<sup>[5]</sup>比较了WSSV-中国株、WSSV-印度尼西亚株、WSSV-美国南卡罗莱纳株的结构蛋白,发现此3株不同地域的WSSV均有3条多肽(19 kD、23.5 kD和27.5 kD),并由此推断此3株WSSV可能具有相似的抗原决定簇。Wang Q等<sup>[13]</sup>对WSSV-中国株、WSSV-美国南卡罗莱纳株、WSSV-泰国株、WSSV-印度株、WSSV-美国德克萨斯株、WSSV-美国国家动物园株的结构蛋白进行比较研究,发现前5株WSSV均有3条主要多肽(19 kD、23 kD和25 kD),从淡水小龙虾分离的23 kD和25 kD这2条多肽很弱,分子量为19 kD的多肽比前5株WSSV的19 kD多肽要粗大得多。WSSV-中国株、WSSV-泰国株、WSSV-美国南卡罗莱纳株和WSSV-美国国家动物园株都有1条14.5 kD的多肽,而WSSV-印度和WSSV-美国德克萨斯缺少这条多肽。不同地域的WSSV分离株的主要结构蛋白电泳带不尽相同。一方面说明了不同地域WSSV的基因组序列有些差异,另一方面可为蛋白质变异提供证据。Wang Q认为多肽14.5 kD、23 kD和25 kD的NH<sub>2</sub>-末端的氨基酸分别为VARGGKTKGRRG、MEFG-NLTNLDVA和MDLS-FTLSVVTVA,并且上述3种多肽NH<sub>2</sub>-末端的某些氨基酸

并不是固定不变的,如14.5 kD多肽1号位置的是V或S,23 kD多肽的1号位置是M或P,25 kD多肽的11号位置是T或其他氨基酸。Marielle等<sup>[16]</sup>对WSSV的位于囊膜上的蛋白VP26和位于核衣壳上的蛋白VP28进行分析,发现其NH<sub>2</sub>-末端的氨基酸分别为MEFGNLTNLDVAI-IAITSIAHIALIVIMVIMIVFN TRVGRSVVAN和MDLS-FTLSVVSAILAITAV IAVFIVIFRYHNTVTKTI EtHsD,并推测二者的NH<sub>2</sub>-末端均有一段跨膜区和二者有多个O-/N-糖苷化位点;WSSV的主要病毒蛋白与已知杆状病毒结构蛋白无同源性,故可推断WSSV可能是1个新病毒科(Whispoviridae)。

## 1.2 传播来源

中国对虾、南美白对虾、斑节对虾、日本对虾、墨吉对虾、脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)等养殖对虾是WSSV的天然宿主<sup>[7]</sup>;天津厚蟹(*Helice tientsinensis*)、日本大眼蟹(*Macrophthalmus japonicus*)、乳斑虎头蟹(*Orithyia mamillaris*)等蟹类皆可被WSSV感染<sup>[17-18]</sup>;此外,在浮游生物、糠虾等其他甲壳动物中均可检测出WSSV<sup>[19]</sup>。可见染毒海洋甲壳动物是WSSV的主要传播来源。

## 1.3 暴露方式

**1.3.1 食物媒介暴露** 从WSSV的传播来源可以看出,在对虾养殖区,WSSV可以食物网循环暴露。

**1.3.2 水媒暴露** Chou等<sup>[20]</sup>报道,用浸泡方法感染对虾,可使之患病死亡。可见,WSSV疫区的海水以及对虾加工场排出的含WSSV废水,均可以海水为媒介进入宿主体内。

**1.3.3 贸易媒介暴露** 带WSSV苗种的引入,带WSSV水产经济甲壳动物的交易,运输设备被WSSV污染以及货船外的附着染毒甲壳动物等,均属于贸易媒介暴露。

**1.3.4 垂直暴露** Lo等<sup>[6]</sup>和笔者<sup>[18]</sup>用分子生物学技术在雄虾生精小管外围的结缔组织检测到WSSV感染,在卵巢的滤泡细胞、卵原细胞以及初级卵母组织检测到WSSV感染,但在发育成熟的卵细胞中没有发现WSSV,推测被感染的初级卵母细胞在发育成熟过程中被WSSV清除。以上证据仅能支持WSSV可能存在垂直暴露的观点。

## 2 WSSV的致病机理

Chou等<sup>[20]</sup>报道,用投喂和浸泡方法感染对虾,均可使之患病死亡。成文斌等<sup>[22]</sup>运用单克隆抗体方法在人工感染的日本对虾稚虾体内检测到WSSV。WSSV突破对虾的第1道防线,进入体内时,有时仅处于潜伏状态,WSSV携带者的行为和体表特征均正常。在一定的环境因素胁迫下,处于潜伏的WSSV就会被“激活”,并引起被侵袭对象生理异常。黄灿华和汝少国等<sup>[23-24]</sup>报道,患病中国对虾的细胞内线粒体坏死,数目减少;内质网增生,溶酶体数目增多,并且溶酶体内亦有WSSV粒子。吴垠等<sup>[25]</sup>发现染毒中国对虾的血清总蛋白、白蛋白、血糖含量减少,而甘油三酯、尿素氮、肌酐含量增加,血清碱性的磷酸酶(AKP)、谷氨转氨酶(GPT)、乳酸

脱氢酶(LDH)活性增加。黄灿华等<sup>[26]</sup>研究发现患病中国对虾体内酯酶(EST)、苹果酸脱氢酶(MDH)、谷草转氨酶(GOT)相关的同工酶带丢失,酶活性下降;超氧化物歧化酶(SOD)的活性下降,染毒中国对虾免疫防御机能明显衰退。这些结果反映了患病虾体内糖类、脂类、氨基酸等物质代谢紊乱,为病毒存活提供了条件。

### 3 主要检测技术

WSSV是WSS的致病因子,是WSS发生的首要条件。WSSV必须从传染源体内经一定的方式排至环境中,并经一定的传播途径侵入易感者,易感者必须暴露于WSSV才会受到感染。因此,WSSV、暴露和易感者是WSS发生的3个必要条件。

#### 3.1 WSSV的分离与鉴定

分离WSSV是确诊WSS的依据,是进行WSS监测、预防和研究WSSV必须取得的材料。WSSV分离后可用电镜展示和比较不同WSSV分离株的病毒粒子及核衣壳的大小形态<sup>[11-13]</sup>;另外,可用电镜揭示WSSV的细胞病变特征<sup>[1]</sup>,证实WSSV的致病性,确定病毒的宿主和传播途径<sup>[19]</sup>。

#### 3.2 血清学检测技术

免疫学检测技术建立在抗原抗体反应的基础上,检测策略灵活性很大。涂小林等<sup>[27]</sup>采用多克隆抗体酶联免疫技术成功地检测了WSSV。多克隆抗体专一性不强,容易造成WSSV免疫检测中的假阳性;制备高效价抗体是WSSV免疫检测的关键,其最佳方案是制备单克隆抗体。黄健等<sup>[19]</sup>和Zhan<sup>[28]</sup>运用单克隆抗体酶联免疫技术检测WSSV的宿主及其传播途径。这类方法快速、灵敏、简单、低成本,一般的实验室内均可进行,有广阔的应用前景。

#### 3.3 PCR检测技术

Takahashi等<sup>[29]</sup>根据WSSV DNA *Eco*RI-*Hind*III酶切片段Pjd79的序列设计引物,用PCR方法检测不同地域不同对虾的WSSV;Maeda等<sup>[30]</sup>在Takashashi等人的基础上,运用套式PCR来研究WSSV(PRDV)的宿主和致病性。在PCR扩增系统中,常因模板DNA品质不良,而导致假阳性的结果。为了避免这样现象,Lo等<sup>[31]</sup>根据WSSV DNA *Sal*I酶切片段的序列,设计两对引物(146F1/146R1, 146F2/146R2),并针对对虾的共同特定基因序列(18rRNA)设计1组控制引物(143F/145R)来消除DNA不纯而引起的假阳性。孔杰等<sup>[32]</sup>利用RAPD技术分析和研究了1994年和1995年引起中国对虾死亡的病原。Lo等<sup>[6]</sup>利用1套随机片段作为引物,对从不同地域不同宿主分离的WSSV进行随机引物扩增多态DNA分析(RAPD)。

#### 3.4 核酸探针检测技术

核酸探针的制备方法有2种,①分离质粒制备探针<sup>[6,33]</sup>,②采用PCR法<sup>[34-35]</sup>。可利用核酸探针进行斑点杂交和原位杂交检测。斑点杂交是最常用的一种较快捷的基因检测方法,根据杂交膜上点样斑点以有或无强

弱就能推测样品是否染毒。Lo等<sup>[6]</sup>和史成银等<sup>[36]</sup>利用此种方法来检测WSSV;另一种核酸探针检测技术是原位杂交,Wang等<sup>[37]</sup>、Chang等<sup>[38]</sup>运用原位杂交技术来确定WSSV的宿主和传播途径,直观定位是WSSV的靶组织及靶组织中对WSSV敏感的细胞类型。

### 3.5 生化检测技术

包括蛋白质电泳、同工酶、酶活性测定等技术,某些检测结果可用来作为检测和诊断WSS的生理生化指标<sup>[25-26]</sup>。

### 4 易感性

海水甲壳动物对WSSV普遍易感。脊尾白虾、南美白对虾、斑节对虾、日本对虾、墨吉对虾、东方白虾、长毛对虾、中国对虾、印度对虾、桃红对虾、蓝对虾、褐对虾、周氏新对虾、日本樱虾、近缘新对虾、长臂虾、刀额新对虾、虾蛄、毛虾等均可被WSSV感染<sup>[7,17]</sup>,其中前12种虾隶属对虾科对虾属,可以看出,对虾科对虾属的对虾比其他属的对虾对WSSV易感。天津厚蟹、日本大眼蟹、乳斑虎头蟹等蟹类尚无种属易感性差异的证据。自然条件下只在淡水小龙虾(*Orconectes punctimanus*)体内检出WSSV;人工感染条件下除克氏螯虾被感染外,罗氏沼虾、中华绒毛蟹、长江华溪蟹等受试蟹类均不被感染<sup>[39]</sup>,说明海水甲壳动物比淡水甲壳动物对WSSV易感。在以上易感生物尚无不同生长期、不同性别对WSSV易感性差别的证据。

对虾的胃上皮、鳃、甲壳下表皮、肝胰腺上皮、循环血细胞、肠上皮、肝胰腺上皮、结缔组织、心脏、肌肉等均可被WSSV感染,感染者有异常临床表现,而蟹类只有鳃、甲壳下表皮被WSSV感染,感染者无异常临床表现。可见,WSSV对上皮组织有较强的组织嗜性,另一方面说明对虾类比蟹类对WSSV易感。

### 5 预防策略

分子流行病学遵循传统的3级预防策略:1级预防,即初级预防,主要针对致病因子或致病危险因素所采取的具体预防性措施,是控制和预防疾病行之有效的根本措施之一;2级预防,又称发病学预防,是指应用预防性药物或方法进行防止或减缓疾病发生、发展的主要措施;3级预防,又称临床学预防。当前,有关WSS的预防策略重点在于1级预防,有条件的地方可开展2级预防。

#### 5.1 1级预防

(1)改善和优化生态环境 对虾养殖池是一个高密度养殖的相对独立的生态系统,生物种类有限,食物网复杂程度不高,自我调节能力小,稳定性差。许多生态环境胁迫因子(stressor)可诱发病害性病害的发生,即生态环境是养虾业面临的最严重的问题。可采用物理、化学和生物的方法改善和优化生态环境<sup>[40]</sup>,构建有利于保持生态稳定的多种群生物群落,立体利用虾池生态位,达到有效防治WSS的目的。

(2)加强和改进饲养管理 使用按对虾营养要求配制的

优良配合饲料,重视培养和使用浮游动植物、可被利用的底栖动物及微生物等基础饵料。根据虾池基础饵料的状况、天气变化以及对虾的生长发育状况准确掌握投喂量,提倡每日多次少量投喂。

(3)筛选、培育无/抗 WSSV 对虾种类 20 世纪 90 年代初启动的无抗特定病原(SPF special pathogen free)和抗特定病原(SPR special pathogen resistant)虾苗技术已取得了初步成功,为筛选和培育无/抗 WSSV 虾苗提供了科学依据和思路。

(4)切断对虾病毒传播途径,降低对虾病毒密度 为了切断 WSSV 的暴露途径,降低对虾病毒密度,必须强化病毒性病害的检疫,严格检疫包括加强亲虾和苗种检疫、产地检疫、养殖区检疫、对虾加工场检疫、以及进出口检疫等。一旦发现病毒性病害的流行,应迅速隔离并及时处理患病对虾,严格封锁疫区,对污染区进行紧急消毒。

## 5.2 2 级预防

执行 1 级预防的同时可用现代生物技术对对虾进行早期诊断评估,并利用免疫增效剂或灭活疫苗,提高虾体免疫力。王雷等<sup>[40]</sup>、Direkbusarakom 等<sup>[41]</sup>研究发现口服免疫多糖或中草药使对虾免疫活性和抗毒力得到提高;王振堂等<sup>[42]</sup>研究发现投喂蝇蛆可使对虾增强抗杆状病毒的免疫能力;Boonyaratpalin 等<sup>[43]</sup>和 Itami<sup>[44]</sup>等研究发现投喂细菌的肽聚糖,对虾血淋巴的免疫活性和抗 WSSV 得到了明显的提高;Teunissen 等<sup>[45]</sup>研究发现菌苗可增强对虾的免疫力和抗 WSSV 力。总之,早发现、早诊断、早治疗是 2 级预防的主要措施。

## 参考文献:

- [1] 黄健,宋晓玲,于佳,等.杆状病毒性的皮下及造血组织坏死——对虾暴发性流行病的病原和病理学[J].海洋水产研究,1995,16(1):1-10.
- [2] Inouye K, Yamano K, Ikeda N, et al. The panæid rod-shaped DNA virus (PRDV), which causes penaeid acute viremia(PAV)[J]. Fish Pathology, 1996, 31(1):39-45.
- [3] Wongteerasupaya C, Vickers J E, Sriunairatana S, et al. A non-occluded, systemic baculovirus that occurs in cells of ectodermal and mesodermal origin and causes high mortality in the black tiger prawn *Penaeus monodon*[J]. Dis Aquat Org, 1995, 21:69-77.
- [4] Wang C H, Lo C F, Leu J H, et al. Purification and genomic analysis of baculovirus associated with white syndrome (WSBV) of *Penaeus monodon*[J]. Dis Aquat Org, 1995, 23:239-242.
- [5] Nadala E C B Jr, Tapay L M, Loh P C. A comparative study of three different isolates of white spot virus[J]. Dis Aquat Org, 1998, 33:231-234.
- [6] Lo C F, Lightner D V, Ho C H, et al. Specific genomic DNA fragment analysis of different geographical clinical samples of shrimp white spot syndrome virus[J]. Dis Aquat Org, 1999, 35:175-185.
- [7] Lightner D V. A handbook of shrimp pathology and diagnostic procedures for disease of cultured penaeid shrimp[M]. Section 3: Viruses World Aquaculture. Louisiana: Baton Rouge. 1996.
- [8] 陈如为.中美科学家合作完成对虾白斑杆状病毒基因组测序[N].科学时报,1999-11-10(3).
- [9] Marielle C W van Hulten, Tsai M F, Schipper C A, et al. Analysis of a genomic segment of WSSV containing ribonucleotide reductase genes and repeat regions[J]. J Gene Vir, 2000, 81:307-316.
- [10] 徐耀先,解梦霞,向近敏,等.病毒命名与分类系统研究进展[J].中国病毒学,1999,14(3):191-204.
- [11] Kasornchandra J, Wongteerasupaya C, Sitdilokratana N, et al. Detection of white-spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Asia: Microscopic observation and PCR[J]. Aquaculture, 1998, 164:243-251.
- [12] 黄健,于佳,宋晓玲,等.对虾皮下及造血组织坏死杆状病毒的精细结构、核酸多肽及血清学研究[J].海洋水产研究,1995,16(1):11-23.
- [13] Wang Q. SDS-PAGE of the structural protein of six geographic isolates of the white spot syndrome virus and partial aminoacid sequencing of three of the major structural ploypeptides[D]. Arizona: University of Arizona. 1999. 112-132.
- [14] Maeda M, Kasornchandra J, Goodall S D, et al. Effect of various treatments on white spot syndrome virus (WSSV) from *Penaeus jiraporn* Kasornchandra, Toshiaki Itami: japonicus (Japan) and *P. monodon* (Thailand) [J]. Fish Pathology, 1998, 33(4):381-187.
- [15] 张朴性.数种理化因子对白斑杆状病毒感染力的研究[A].虾类的健康养殖[M].北京:海洋出版社,1998.157-172.
- [16] Marielle C W van Hulten, Marcl Westenberg, Stephen D Goodall, et al. Identification of two major virion protein genes of white spot syndrome virus of shrimp[J]. Virology, 2000, 266:227-236.
- [17] 何建国,周仕民,姚伯,等.白斑综合症杆状病毒的感染途径和宿主种类[J].中山大学学报(自然科学版),1999,38(2):59-65.
- [18] 雷质文,黄健,史成银,等.白斑综合症病毒(WSSV)的宿主调查[J].海洋与湖沼,2002,33(3):250-258.
- [19] 黄健,于佳,王秀华,等.单克隆抗体酶联免疫技术检测对虾及造血组织坏死病的病原及其传播途径[J].海洋水产研究,1995,16(1):40-50.
- [20] Chou H Y, Huang C Y, Lo C F. Studies on transmission of WSBV in *P. monodon* and *P. japonicus* via waterborne contact and oral ingestion[J]. Aquaculture, 1998, 164:263-276.
- [21] Lo C F, Ho C H, Chen S E, et al. Detection and tissue tropism of white spot syndrome baculovirus (WSBV) in a captured brooders of *Penaeus monodon* with a special emphasis on reproductive organs[J]. Dis Aquat Org, 1997, 30:53-72.
- [22] 战文斌,王远红,钟木信,等.白斑症病毒在日本对虾体内的感染增殖[J].水产学报,1999,23(3):278-282.
- [23] 黄灿华,石正丽,张立人,等.两种病毒侵染中国对虾后细胞超微病理学变化与免疫标记[J].中国病毒学,1997,12(3):171

- 177.
- [24] 汝少国, 姜明, 李永祺, 等. 中国对虾肝胰腺上皮细胞质中杆状病毒增殖的电镜观察[J]. 青岛海洋大学学报, 1996, 26(1): 127-129.
- [25] 吴垠, 邢殿楼, 祝国芹, 等. 中国对虾暴发性流行病的血液病理研究[J]. 中国水产科学, 1998, 5(3): 53-57.
- [26] 黄灿华, 陈德华. 中国对虾病虾体内同工酶表型变化的初步研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(1): 45-49.
- [27] 涂小林, 钟江, 高双城, 等. 中国对虾一种杆状病毒的 ELISA 检测方法[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 315-321.
- [28] Zhan Wen-Bin, Wang Y H, Fryer J L, et al. Production of monoclonal antibody against white spot virus (WSSV)[J]. J Aqu Anim Health, 1999, 11: 17-22.
- [29] Takahashi Y, Itami T, Kondo M, et al. PCR amplification of RV-PJ in *P. japonicus* Bate and SEMBV DNA in *P. monodon* Fabricius[J]. J Fish Dis, 1996, 19: 399-403.
- [30] Maeda M, Kasornchandra J, Itami T. Detection of PRDV in wild-caught shrimp another crustaceans[J]. Fish Pathology, 1998, 33(4): 373-380.
- [31] Lo C F, Ho C H, Peng S E, et al. WSBV detected in cultured and captured shrimp, crabs and other arthropods[J]. Dis Aquat Org, 1996, 27: 215-225.
- [32] 孔杰, 石拓, 刘萍, 等. 中国对虾一种 C 型杆状病毒随机扩增多态性 DNA 分析[J]. 海洋与湖泊, 1997, 28(4): 394-398.
- [33] Wongteerasupa C, Wongwiansri S, Boonseeng V, et al. DNA fragment of *Penaeus monodon* baculovirus PmNOB II gives positive in situ hybridization with white-spot viral infections in six penaeid shrimp species[J]. Aquaculture, 1996, 143: 23-32.
- [34] Nunan L M, Lightner D V. Development of a non-radioactive gene probe by PCR for detection of white spot syndrome virus (WSSV)[J]. J Vir Methods, 1997, 63: 193-201.
- [35] 雷质文, 史成银, 黄捷, 等. PCR 法制备地高辛标记探针斑点杂交检测白斑综合症病毒 (WSSV)[J]. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(2): 201-210.
- [36] 史成银, 宋晓玲, 黄捷. 核酸斑点杂交分析法检测对虾皮下及造血组织坏死杆状病毒[J]. 海洋与湖泊, 1999, 30(5): 486-489.
- [37] Wang C S, Tsai Y J, Chen S N. Detection of white spot baculovirus infection in shrimp using in situ hybridization[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1998, 72: 170-173.
- [38] Chang P S, Chen H C, Wang Y C. Detection of WSSV in experimentally infected wild shrimp, crab and lobsters by in situ hybridization[J]. Aquaculture, 1998, 164: 233-242.
- [39] 黄灿华, 石正丽, 张建红, 等. 对虾白斑综合症病毒体内增殖模型的建立[J]. 中国病毒学, 1999, 14(4): 358-362.
- [40] 王雷, 李光友, 王远兴, 等. 口服免疫型药物对中国对虾病害防治作用的研究[J]. 海洋与湖泊, 1995, 25(5): 486-491.
- [41] Direkbusarakom S, Herunsalee A, Boonyaratpalin S, et al. Effect of *Phyllanthus* spp. against yellow-head baculovirus infection in black tiger shrimp, *Penaeus monodon* [A]. Diseases in Asian Aquaculture II [C]. Manila: Asian Fisheries Society, 1995. 81-88.
- [42] 王振堂, 王巍, 梁林, 等. 蝇蛆增强对虾对于杆状病毒的免疫力的初步研究[A]. 第二届全国人工养殖对虾疾病综合防治和环境管理学术研讨会论文集[C]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1996. 171-176.
- [43] Boonyaratpalin S, Boonyaratpalin M, Supamattaya K, et al. Effects of PG on growth, survival immune response and to larence to stress in black tiger shrimp, *P. monodon* [A]. Diseases in Asia Aquaculture II [C]. Manila: Asia Fisheries Society, 1995. 469-477.
- [44] Itami T, Asano M, Tokushige K, et al. Enhancement of disease insistence of Kuruma shrimp *Penaeus japonicus*, after oral administration of peptidoglycan derived from *Bifidobacterium thermophilum*[J]. Aquaculture, 1998, 164: 277-288.
- [45] Teunissen Q S P, Faber R, Booms G H R, et al. Influence of vaccination on vibriosis resistance of the giant black shrimp *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1998, 164: 357-366.

## Review on research of molecular epidemiology of white spot syndrome (WSS) in prawn

LEI Zhi-wen<sup>1</sup>, HUANG Jie<sup>2</sup>, KOU Yun-tong<sup>1</sup>, ZHAN Wen-bin<sup>3</sup>, YU Kai-kang<sup>3</sup>

(1. Qingdao Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau of P. R. China, Qingdao 266002, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, 266071, China;

3. College of Fisheries, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003, China)

**Abstract:** Based on the data of white spot syndrome (WSS) from 1993 to 2000, the pathogenic factors and exposure, biomarkers and biological effects, susceptibility and tertiary prevention of white spot syndrome (WSS) were reviewed in this article.

**Key words:** prawn; white spot syndrome (WSS); molecular epidemiology