

文章编号: 1000-0615(2006)02-0254-06

不同环境条件对溶藻弧菌粘附大黄鱼肠粘液的影响

鄢庆枇^{1,3}, 陈强^{1,2}, 邹文政¹, 马^{1,2}, 庄峙厦³, 王小如³

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021;

2. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003; 3. 厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 研究了不同环境条件下溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附作用。采用细菌计数法测定溶藻弧菌的粘附作用。粘附的细菌经 SYBR Green I 染色后在荧光显微镜下观察, 用数码相机拍照后在电脑上计数。试验结果表明, 溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附量随菌浓度的升高而升高, 并在 1~1.5 h 内趋于饱和; 粘附作用在 15~30 °C、pH 偏酸时较强; 盐度在 5~35 范围内对前肠粘液的粘附作用影响不明显, 后肠粘液的粘附作用在此范围内随盐度增大而加强, 在盐度为 0 时, 溶藻弧菌对前、后肠粘液都无粘附作用; 56 °C 热处理 5 min 及 60 °C 处理 1 h 均能大幅减弱溶藻弧菌对两种肠粘液的粘附作用, 表明溶藻弧菌表面的某些热敏结构在粘附作用中起着重要作用。根据以上结果, 可以认为溶藻弧菌能够很好地粘附于大黄鱼肠粘液层, 其粘附作用受温度、盐度、pH 值等环境因子影响很大, 溶藻弧菌表面的某些热敏结构可能在粘附过程中起着重要作用。研究结果表明, 溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附作用是可控制的, 这对于鱼类养殖疾病的控制有一定的参考价值。

关键词: 溶藻弧菌; 大黄鱼; 粘附作用; 粘液

中图分类号: S941.4 文献标识码: A

Influence of environmental factors on the adhesion of *Vibrio alginolyticus* to the intestinal mucus of *Pseudosciaena crocea*

YAN Qing-pi¹, CHEN Qiang^{1,2}, ZOU Wen-zheng¹, MA Shen², ZHUANG Zhi-xia³, WANG Xiao-ru³

(1. Fisheries College of Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. College of Chemistry & Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: The mucus layer is the most outer defence barrier of fish. The bacterial attachment to mucus layer is a critical step in the host colonization and subsequent occurrence of infection. Adhesion of *Vibrio alginolyticus* to the intestinal mucus of *Pseudosciaena crocea* has been investigated in order to understand the characteristics and mechanisms involved in the adherence of bacteria onto fish mucus so that preventive measures can be devised to reduce infection. *In vitro* adhesion assay was carried out by bacterial counting. The adhesive bacteria were stained with SYBR Green I, observed under fluorescent microscope, counted on computer display after taking pictures. The results showed that the adhesive quantity of *V. alginolyticus* increases with bacterial concentrations and reached equilibrium after being incubated 1-1.5 h; the higher adhesive quantity was achieved at 15-30 °C and acid condition; adhesion of *V. alginolyticus* to the mucus of foregut was not obvious variety with salinity (5-35), but adhesive quantity to the hindgut mucus enhances while salinity increases; *V. alginolyticus* could not adhere to intestinal mucus without salinity; adhesive quantity reduced remarkably after heat treatment of the germ (56 °C 5 min, 60 °C 1 h), which indicated that heat sensitive structure of *V. alginolyticus*

收稿日期: 2005-05-23

资助项目: 国家 863 计划项目(2002AA639600); 福建省自然科学基金(B0410022); 福建省青年创新基金(2002J037)

作者简介: 鄢庆枇(1971-), 男, 福建永泰人, 副教授, 博士, 主要从事水产病害防治研究。E-mail: yanqp@jmu.edu.cn, Tel: 0592-

6180204

might play an important role in adhesion. The conclusions of this paper showed *V. alginolyticus* could adhere to intestinal mucus of *P. crocea* facily in seawater; this adhesion was remarkably affected by environmental factors such as temperature, pH and salinity; *V. alginolyticus* adhered to the intestinal mucus of *P. crocea* by specific adhesion, some heat-sensitive structures on *V. alginolyticus* surface played a crucial role in adherence of the bacteria to gill mucus. The results indicated that the bacterial adhesion of *V. alginolyticus* to intestinal mucus of *P. crocea* was governable. The results obtained are useful for the epidemic control in fish culture.

Key words: *Vibrio alginolyticus*; *Pseudosciaene crocea*; adhesion; mucus

溶藻弧菌 (*Vibrio alginolyticus*) 是海水环境中常见菌, 在一定条件下对海水动物有较强的致病性, 是近年来鱼、虾、贝等海水养殖动物主要病原菌之一^[1-3]。众所周知, 病原菌对机体致病的第一步是对机体的粘附过程, 这是病原菌对宿主感染致病的先决条件, 对其侵入宿主并有效发挥毒素等方面的作用具有重要意义^[4]。近几十年, 病原菌的粘附机制引起国内外学者的广泛重视, 已阐明了一些粘附素及其受体的成分、结构、粘附素的基因及其调控^[4,5], 现有的研究主要集中在医学领域, 在水产方面才刚刚起步。目前, 国外一些学者如 Bordas^[6] 和 Wang^[7] 等对鳗弧菌、溶藻弧菌等一些水产动物常见致病弧菌的粘附机制已做了一定研究工作; 而国内在水产方面仅对嗜水气单胞菌、拟态弧菌等做了一定研究^[8,9], 并且主要集中在细胞 (如 EPC、HEp-2) 粘附方面。大黄鱼 (*Pseudosciaene crocea*) 是我国近海特有的主要经济鱼类和当前最主要海水养殖鱼类、我国六大优势出口水产品之一。目前随着养殖规模的不断扩大, 各种病害的发生也日趋频繁, 其中由溶藻弧菌引起的疾病, 发病率高、流行范围广, 造成的经济损失巨大^[10-12]。本文以从患病大黄鱼中分离并鉴定的病原菌—溶藻弧菌作为研究对象, 研究其对大黄鱼肠粘液的粘附情况, 同时探讨几种环境因子对其粘附的影响, 以期阐明溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附规律, 为今后进一步研究溶藻弧菌对大黄鱼的致病机理奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 菌株来源及培养条件

溶藻弧菌为患病大黄鱼中分离的病原菌株, 保存于本实验室的-80℃超低温冰箱。溶藻弧菌接种于2% NaCl 胰蛋白胨大豆培养基 (TSB), 在25℃条件下培养18h, 培养液在4℃、2 000 g条件下离心10 min 收集菌体, 然后以0.85%无菌生理盐水清洗2次, 将菌浓度调整到 10^8 CFU·

mL⁻¹左右待用。

1.2 试验用鱼

大黄鱼购自厦门刘五店养殖网箱, 选择外观无伤, 正常摄食, 体重300~500 g 大黄鱼50尾。

1.3 肠粘液制备

参考 Balebona 等方法^[13], 具体步骤如下: 将大黄鱼饥饿48 h后, 解剖取肠, 用无菌生理盐水冲洗3次。将肠分为前肠、后肠分别放入无菌培养皿中, 剪开肠壁, 利用钝塑料片轻轻刮取肠粘膜层上的粘液, 然后放入10 mL 无菌0.01 mol·L⁻¹ PBS (pH 7.2) 中混匀。在4℃、20 000 g条件下离心2次, 每次30 min, 取上清液, 然后依次用0.45 μm、0.2 μm 滤膜过滤除菌。

利用 Bradford 法^[14] 测定所制备粘液的蛋白含量, 用0.01 mol·L⁻¹ PBS (pH 7.2) 将蛋白含量调整到1000 μg·mL⁻¹后保存在4℃下待用。

1.4 粘附试验

基本方法 取50 μL 所制备的(前、后)肠粘液滴于载玻片(25.4 mm×76.2 mm)中央, 然后用盖玻片(22 mm×22 mm)均匀涂开, 与盖玻片大小相同, 放置在超净台中过夜干燥后用甲醇固定20 min。将涂有肠粘液的载玻片放入装有20 mL 菌液的培养皿中孵育一定时间, 取出后在无菌生理盐水中振荡清洗5次以洗去未粘附的细菌, 自然干燥后用甲醇固定20 min。待干燥用SYBR Green I 核酸染色液避光染色15 min^[15], 然后在荧光显微镜(×1000)下随机选取20个视野, 用数码相机拍照后在电脑上计数, 取平均值后结果换算为单位面积的细胞数(cell·mm⁻²)。每个试验设3个平行组, 以不涂粘液的载玻片为空白对照。不同孵育时间下的粘附情况按上述方法在25℃下进行粘附试验, 孵育时间设定为15 min、30 min、45 min、1 h、1.5 h、2 h。

不同菌浓度的粘附情况 菌液的A₅₅₀ 设定为0.015、0.074、0.219、0.350、1.1, 按上述方法进行粘附试验, 孵育时间及温度设定为1 h、25℃。

不同理化因子对其粘附的影响 将孵育温度设定为 4、8、15、25、37、44 °C, 首先将菌液放入设定好的温度下预温 30 min, 然后按上述方法进行粘附试验, 孵育时间为 1 h。

利用蒸发或稀释的方法将天然海水(盐度为 23.5)调至盐度分别为 45、35、25、15、5, 再利用配好的不同盐度的灭菌海水清洗、制备菌液, 另外以去离子水制备菌液进行无离子状态(盐度为 0)时的粘附试验, 孵育时间及温度设定为 1 h、25 °C。

分别配制 pH 值为 5、6、7、8、9 的 0.1 mol·L⁻¹ PBS 溶液, 灭菌后用于清洗、制备菌液, 按上述方法进行粘附试验, 孵育时间、温度设为 1 h、25 °C。

热处理对菌粘附作用的影响 将菌液浓度调至 A₅₅₀为 0.39, 然后分别进行 56 °C 5 min 及 60 °C 1 h 处理, 然后按上述方法进行粘附试验, 孵育时间及温度设定为 1 h、25 °C, 以相同浓度未处理菌液为对照组。

2 结果

2.1 孵育时间及菌浓度对粘附情况的影响

溶藻弧菌对大黄鱼后肠粘液的粘附量随着孵育时间的延长而增加, 孵育时间达 1 h 后, 粘附量趋于饱和。溶藻弧菌对大黄鱼前肠粘液的粘附量也随着孵育时间的延长而增加, 但在 1.5 h 后才达到饱和值。在相同孵育时间下, 溶藻弧菌对大黄鱼后肠粘液的粘附量都高于前肠粘液, 表明溶藻弧菌对大黄鱼后肠粘液的粘附作用更强(图 1)。

溶藻弧菌对大黄鱼两种肠粘液的粘附量都随着菌浓度的升高而增大。在相同菌浓度条件下, 溶藻弧菌对大黄鱼后肠粘液的粘附量都高于前肠粘液(图 2)。

2.2 环境因子对溶藻弧菌粘附作用的影响

温度对溶藻弧菌粘附作用影响的结果见图 3。温度在 5~15 °C 时, 粘附量随孵育温度的升高而增大, 温度在 15~30 °C 时溶藻弧菌对前、后肠粘液都有较强的粘附作用, 其中在 15 °C 左右粘附作用最强, 而过高的温度(37 °C 和 44 °C)会使溶藻弧菌的粘附量明显下降。温育温度在 10 °C、15 °C 和 25 °C 时, 溶藻弧菌对后肠粘液的粘附量大于前肠粘液, 这与图 1、图 2 的结果一致。在 4 °C 和 37 °C 条件下, 溶藻弧菌对前肠粘液的粘附量大于对后肠粘液的粘附量。

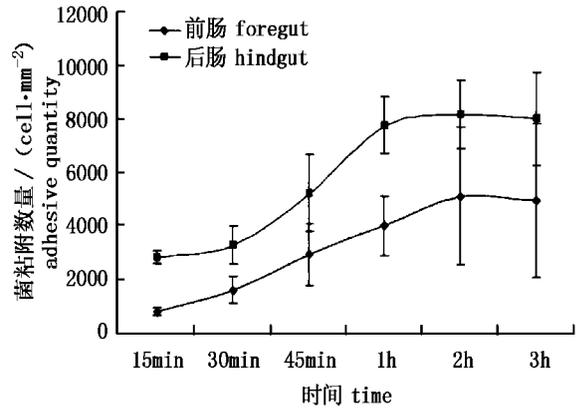


图 1 孵育时间对粘附量的影响

Fig. 1 Influence of incubation time on adhesive quantity of *V. alginolyticus*

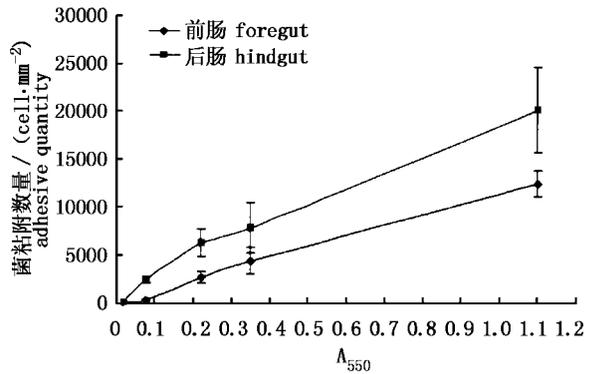


图 2 菌浓度与粘附量的关系

Fig. 2 Relationship of adhesive bacteria number and bacterial concentration

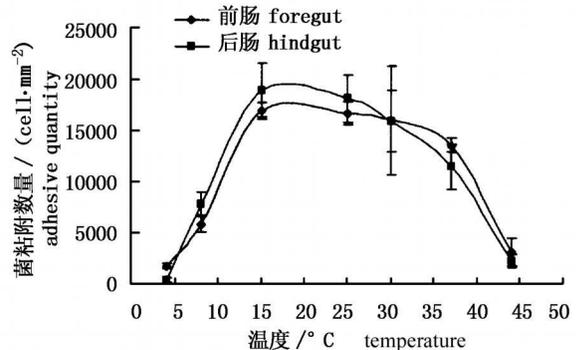


图 3 温度对溶藻弧菌粘附情况的影响

Fig. 3 Influence of temperature on adhesion of *V. alginolyticus*

盐度在 5~35 时溶藻弧菌对前肠粘液的粘附作用无明显变化(图 4), 而溶藻弧菌对后肠粘液的粘附作用随盐度的升高而增强, 在盐度为 35 时

最强。过高的盐度(45)明显抑制溶藻弧菌的粘附作用。溶藻弧菌在无离子(盐度为0)时无粘附作用。

pH对溶藻弧菌粘附作用影响的结果见图5。pH为弱酸性到中性时溶藻弧菌对前、后肠粘液的粘附作用较强,在pH为6时最强,而在偏碱性环境下粘附作用明显下降。在相同pH条件下溶藻弧菌对后肠的粘附作用较强。

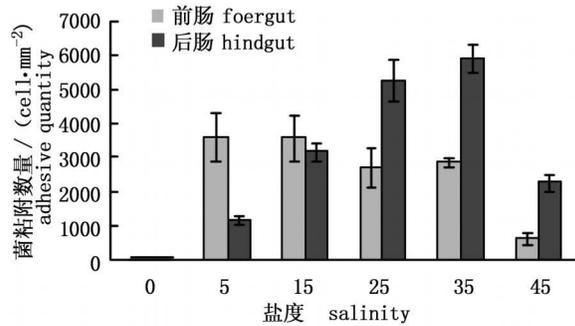


图4 盐度对溶藻弧菌粘附情况的影响

Fig. 4 Influence of salinity on adhesion of *V. alginolyticus*

2.3 热处理对溶藻弧菌粘附作用的影响

溶藻弧菌经56℃ 5 min处理后的粘附作用与对照组比较明显减少(表1),60℃ 1 h处理后的菌的粘附量更少,每一视野的粘附数量小于2个(前肠)或4个(后肠),与空白对照组差不多。*t*检验结果表明,2个处理组与对照组间有极显著差异,而2个处理组之间的数据也存在极显著差异(利用SPSS 10.0进行统计分析)。

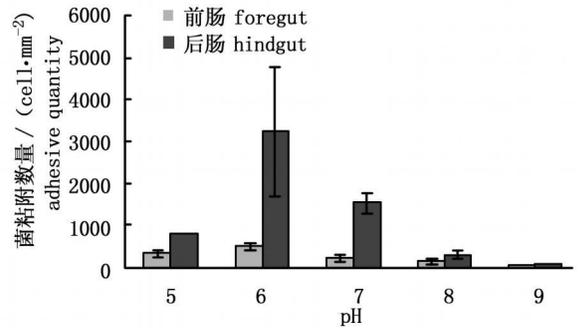


图5 pH值对溶藻弧菌粘附情况的影响

Fig. 5 Influence of pH on adhesion of *V. alginolyticus*

表1 溶藻弧菌热处理后的粘附情况

Tab. 1 Adhesive quantity of *V. alginolyticus* after heat treatment

热处理 heat treatment	3组平行样粘附的数量(cell·mm ⁻²) number of adhesive bacteria of triplicate			平均粘附数量(X±SD) average
56℃ 5 min	338/1533 ^a	477/1444	437/1320	(418±72)/(1432±107)
60℃ 1 h	80/144	50/104	37/137	(56±22)/(98±51)
对照组 control	6603/13345	4204/13434	6074/16784	(5627±1260)/(14521±1960)

注:对照组与2个处理组间经*t*检验为极显著差异($P < 0.01$), a: 前肠/后肠

Notes: The groups treated by two method of heat treatment compared with the contrast are very significantly different ($P < 0.01$), a: foregut/hindgut

3 讨论

鱼体上粘液主要分布在鳃丝、表皮和胃肠道内,是鱼类与外界环境的第一道屏障。鱼体上皮细胞表面覆盖的粘液层可能会抑制细菌在上皮细胞的定植。特别是大黄鱼产生的粘液量很大,粘液在其抗感染免疫中发挥比较重要的作用。同时病原菌感染的前提是能粘附、定植在鱼体表面。因此病原菌对粘液的粘附是其感染所必须的,其粘附的能力是病原菌的毒力因子之一^[14],研究病原菌对粘液的粘附作用是研究病原菌致病机理的重要组成部分。

病原菌在宿主表面的粘附需要一定时间, Belas等^[17]研究表明,副溶血弧菌(*V. parahaemolyticus*)在甲壳质(chitin)上的粘附量,3 h趋于饱和。本试验结果表明当孵育1 h后,随着时间的延长粘附数量增长不明显,趋于饱和,这说明溶藻弧菌对肠粘液的粘附主要在1 h内完成,另一方面也反映了溶藻弧菌对肠粘液的亲和力较副溶血弧菌对甲壳质的亲和力强。本文的研究结果发现溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附量可以高达15 000 cell·mm⁻²左右。溶藻弧菌对大黄鱼肠液粘附速度快、粘附量大,这可能是溶藻弧菌对大黄鱼有较强致病性的原因之一。

病原菌对宿主致病不仅与其所具有的毒性有关,还与其数量有直接的关系。Belas 等^[1]研究了不同类型鞭毛的弧菌在甲壳质上的吸附特性,其中溶藻弧菌这样具有混合类型鞭毛的弧菌,当在适宜表达周生鞭毛条件下时,菌浓度达到一定程度时有吸附饱和现象;而在适宜表达端鞭毛条件下时,则无饱和现象。Sylvia^[18]认为副溶血弧菌等混合类型鞭毛的菌在液态环境下主要是端鞭毛。本文采用液态培养基培养细菌,通过试验结果可知,这与上述的试验结果相符。

病原菌、宿主、环境是决定病原菌对宿主感染结局的三大因素,其中温度、盐度、pH 是水环境的重要因子,这些因子的改变对病原菌及宿主都有重要的影响。溶藻弧菌作为嗜温菌,适宜生长温度为 17~35 °C,通常在水温 5 °C 以上时才可从海水中分离到^[19],本文试验结果表明其在 4 °C 时对肠粘液的粘附量很少,而在 15~30 °C 时有较强粘附作用,这正反映了当溶藻弧菌有较强活力时对宿主粘附作用最强。鱼类为变温动物,其体温随着外界水温的变化而发生变化,环境温度直接反映鱼体温度,所以这可能是溶藻弧菌对大黄鱼致病多发生在水温较高的夏季的原因之一。病原菌主要通过特异性或非特异性结合粘附于宿主上^[4],海水中的二价阳离子可在溶藻弧菌与表皮粘液表面间发挥桥接作用从而形成非特异性粘附^[21],Kogure 等^[21]研究表明溶藻弧菌的粘附作用与运动速度有关,Atsumi 等^[22]研究认为 Na⁺ 的动势是溶藻弧菌端鞭毛运动的动力源,本文结果显示在无离子状态下(盐度为 0)溶藻弧菌无粘附现象正与上述相符。Balebona 等^[20]研究表明鳗弧菌对表皮粘液的粘附作用在酸性环境下要比中性时强,在 pH 8.2 时粘附作用最强。本文结果显示溶藻弧菌粘附于前、后肠粘液都在 pH 6 时粘附作用最强,这与上述结果不同的主要原因可能是表皮粘液与肠粘液的化学组成不同引起的。另外经测定,肠道内含物 pH 为碱性,这反映了鱼体主要代谢物质为氨氮,另一方面也可说明这可能是鱼体本身的一种自我保护方式,这种环境下不利于溶藻弧菌在肠道内定植而起到防御效应。

在相同的条件下,溶藻弧菌对大黄鱼前肠粘液和后肠粘液的粘附量有明显差异,这说明其粘附作用与粘液的化学组成有直接关系。如果粘液

的化学组成发生变化,有可能抑制溶藻弧菌的粘附,这也有利于粘液发挥抗感染免疫的第一道“屏障”作用。这个试验结果同时也间接证明溶藻弧菌对大黄鱼肠粘液的粘附作用存在特异性粘附。

病原菌是通过自身存在的粘附素与宿主相应受体相结合而发生粘附作用^[4]。弧菌经 56 °C 5 min 处理将破坏菌表面的热敏结构^[7];而 60 °C 1 h 处理后细菌将被灭活。本文结果显示,溶藻弧菌经 2 种热处理后与正常组相比粘附量明显下降,呈极显著差异,这说明溶藻弧菌表面的某些热敏感结构可能是其粘附所需的粘附素,这些结构的破坏导致菌粘附量的下降;另外,溶藻弧菌被灭活后几乎无粘附作用,这说明了病原菌的自身活力可能对粘附作用也有一定的影响。

根据本文研究的结果,我们认为:病原性溶藻弧菌能够较好地粘附于大黄鱼肠粘液进而为它的进一步侵入创造有利条件;其粘附作用与菌体表面的化学组分和粘液的化学组成都有密切关系,存在特异性粘附;温度、盐度、pH 等环境因子能显著影响其粘附作用;大黄鱼有可能通过改变粘液化学组成、pH 值等抑制病原性溶藻弧菌的粘附,从而有利于保护自身免受病原菌的侵害。

参考文献:

- [1] Liu P C, Chen Y C, Lee K K. Pathogenicity of *Vibrio alginolyticus* isolated from diseased small abalone *Haliotis diversicolor* supertexta [J]. *Microbios*, 2001, 408: 71-77.
- [2] Selvin J, Lipton A P. *Vibrio alginolyticus* associated with white spot disease of *Penaeus monodon* [J]. *Dis Aquat Organ*, 2003, 57: 147-150.
- [3] Liu P C, Lin J Y, Hsiao P T, et al. Isolation and characterization of pathogenic *Vibrio alginolyticus* from diseased cobia *Rachycentron canadum* [J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2004 44: 23-28.
- [4] 戴卓捷,杨光明,汪正清. 细菌粘附素的分子结构和装配机制 [J]. *微生物学免疫学进展*, 2001, 29: 55-59.
- [5] Kihlberg J, Magnusson G. Use of carbohydrates and peptides in studies of adhesion of pathogenic bacteria and in efforts to generate carbohydrate-specific T cells [J]. *Fure & Appl Chem*, 1996 68: 2119-2123.
- [6] Bordas M A, Balebona M C, Zorrilla I, et al. Kinetics of adhesion of selected fish-pathogenic *Vibrio* strains to skin mucus of gilt-head sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62: 3650-3654.
- [7] Wang X H, Leung K Y. Biochemical characterization of different types of adherence of *Vibrio* species to fish epithelial

- cells [J]. *Microbiology*, 2000, 146: 989-998.
- [8] 朱兴国, 范红结, 陆承平, 等. 嗜水气单胞菌 J-1 株粘附素及其受体分析 [J]. *南京农业大学学报*, 2002, 25(2): 82-84.
- [9] 胡守奎, 李耀年, 余为一. 蟹源致病性拟态弧菌的粘附及侵袭特性 [J]. *水产学报*, 2004, 28: 540-541.
- [10] 林克冰, 周辰, 刘家富, 等. 海水网箱养殖大黄鱼弧菌病的病原菌 [J]. *台湾海峡*, 1999, 18: 342-346.
- [11] 鄢庆枇, 王军, 苏永全, 等. 网箱养殖大黄鱼弧菌病研究 [J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2001, 6: 191-196.
- [12] 金珊, 蔡完其, 王国良, 等. 养殖大黄鱼细菌性疾病的病原研究 [J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2002, 21: 225-230.
- [13] Balebona M C, Andreu M J, Bordas M A, *et al.* Pathogenicity of *Vibrio alginolyticus* for cultured gilt-head sea bream (*Sparus aurata* L.) [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1998, 64: 4269-4275.
- [14] Bradford N M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Annual Biochemistry*, 1976, 72: 248-254.
- [15] Noble R T, Fuhrman J A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria [J]. *Aquat Microb Ecol*, 1998, 14: 113-118.
- [16] Beachey E H. Bacterial adherence: adhesion-receptor interactions mediating the attachment of bacteria to mucosal surfaces [J]. *J Infect Dis*, 1981, 143: 325-345.
- [17] Belas M R, Colwell R R. Adsorption kinetics of laterally and polarly flagellated *Vibrio* [J]. *Journal of Bacteriology*, 1982, 151: 1568-1580.
- [18] Sylvia M K. Bacteria that express lateral flagella enable dissection of the multifunctional roles of flagella in pathogenesis [J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2003, 224: 151-159.
- [19] Stefan H, Helmut W, Karin N B, *et al.* Isolation of *Vibrio alginolyticus* from seawater aquaria [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2000, 203: 169-175.
- [20] Balebona M C, Morinigo M A, Faris A, *et al.* Influence of salinity and pH on the adhesion of pathogenic *Vibrio* strains to *Sparus aurata* skin mucus [J]. *Aquaculture*, 1995, 132: 113-120.
- [21] Kogure K, Ikemoto E, Morisaki H. Attachment of *Vibrio alginolyticus* to glass surfaces is dependent on swimming speed [J]. *Journal of Bacteriology*, 1998, 180: 932-937.
- [22] Atsumi T, Mccarter L, Imae Y. Polar and lateral flagellar motors of marine *Vibrio* are driven by different ion-motive forces [J]. *Nature*, 1992, 355: 182-184.

最新信息

《水产学报》和《上海水产大学学报》刊载文章入选《学科发展蓝皮书(2005 卷)》

为及时总结、报道自然科学各有关学科发展的最新研究进展, 便于广大科技工作者追踪、了解、把握学科的发展动态, 促进学科间的广泛交流, 由中国科学技术协会和国家自然科学基金委员会共同组织编纂《学科发展蓝皮书》。在《蓝皮书》(2005 年卷)中共收录综述性学术论文 111 篇, 其中水产学科仅有两篇入选。一篇是由孙效文等撰写的《水产养殖动物基因组研究现状及其应用前景》, 刊登在《水产学报》2004 年第 28 卷第 6 期, 另一篇是由黄艳平等撰写的《水产动物疾病控制的研究和进展》, 刊登在《上海水产大学学报》2004 年第 13 卷第 1 期。