

关英红, 马军, 雷国元, 等. 2008 一株溶藻菌株的分离鉴定及溶藻特性 [J]. 环境科学学报, 28(7): 1288 - 1293

Guan Y H, Ma J, Lei G Y, *et al* 2008 Isolation, identification and algicidal characteristics of an algicidal bacterium [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 28(7): 1288 - 1293

一株溶藻菌株的分离鉴定及溶藻特性

关英红, 马军*, 雷国元, 刘昱

哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090

收稿日期: 2007-05-25 录用日期: 2008-05-15

摘要: 从某湖泊中分离出一株具有溶藻作用的菌株 W4, 并且研究了该菌株溶解铜绿微囊藻的作用效果、作用方式以及铜绿微囊藻与溶藻菌株所处生长期对溶藻效果的影响, 并对溶藻菌株进行了生理生化鉴定. 结果表明, 该菌株对铜绿微囊藻具有很好的去除效果, 加入特定量的菌株培养液, 8d 后铜绿微囊藻的去除率可达 99.5%. 该菌株通过间接作用方式溶解铜绿微囊藻, 并且该菌株分泌的抑藻活性物质为非蛋白质类物质. 菌株 W4 对铜绿微囊藻的溶解作用受藻细胞所处生长期的影响, 但不受该菌株所处生长期的影响. 根据形态特征及生理生化试验初步鉴定 W4 菌株为链霉菌属.

关键词: 溶藻作用; 溶藻菌株; 溶藻活性物质

文章编号: 0253-2468(2008)07-1288-06

中图分类号: X171

文献标识码: A

Isolation, identification and algicidal characteristics of an algicidal bacterium

GUAN Yinghong, MA Jun*, LEI Guoyuan, LIU Yu

School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090

Received 25 May 2007;

accepted 15 May 2008

Abstract: An algae-lysing bacterium W4 was isolated from a lake in Wuhan. The algicidal effect and the mechanism of bacterial lysing of *Microcystis aeruginosa* were discussed in this paper. In addition, the influences of the bacterial and algal growth phase on the algicidal effect were investigated. Bacterium W4 was identified as *Streptomyces* sp. according to its morphological and physiological-biochemical characteristics. The results showed that bacterium W4 had an excellent algicidal effect and 99.5% of *Microcystis aeruginosa* had been removed by 8 days after addition of the bacterial culture. The bacterium lysed *Microcystis aeruginosa* indirectly and the active algicidal substances were non-proteinaceous. The algicidal effect was influenced by the algal growth phase rather than the bacterial growth phase.

Keywords: algicidal effect; algicidal bacterium; active algicidal substances

1 引言 (Introduction)

富营养化水体中藻类会大量繁殖形成“水华”和“赤潮”, 从而改变水体的物理化学性质, 造成水体溶解氧浓度降低, 水中鱼类等好氧生物窒息死亡, 最终导致水质变坏. 水源水中若含有微藻, 其不仅会对制水工艺系统产生不利影响、增加药耗、提高制水成本, 而且对水质也会产生严重影响. 藻细胞及其胞外分泌物 (EPSs) 在氯化过程中能够产生有致癌作用的三氯甲烷、卤乙酸等消毒副产物 (Graham *et al*, 1998; Plummer *et al*, 2001). 因此, 水体中微藻的去除已经成为水处理中亟需解决

的问题.

常用处理微藻的方法可以归纳为物理法、化学法及生物法. 物理法、化学法除藻主要用于水处理工艺, 并不适合用于水源水体; 并且相对于物理法和化学法, 生物法除藻对环境的危害更小, 是一种环境友好的除藻方法. 近年来, 生物法除藻的研究已逐渐被人们所关注, 具有溶藻作用的细菌、病毒也不断从富营养化水体中分离出来 (Caiola *et al*, 1984; Sullivan *et al*, 2003; 廖明军等, 2006). 目前, 国内关于细菌溶藻方面的研究较少, 主要集中在溶藻菌株的分离鉴定以及溶藻效果方面. 本研究从武汉某富营养化湖泊中分离出一株溶藻菌株,

基金项目: 教育部重大项目培育基金 (No. 705013)

Supported by the Cultivation Fund of the Key Project, Ministry of Education of China (No. 705013)

作者简介: 关英红 (1983—), 女, E-mail: guanyinghong@126.com; *通讯作者 (责任作者), E-mail: majun@hit.edu.cn

Biography: GUAN Yinghong (1983—), female, E-mail: guanyinghong@126.com; *Corresponding author, E-mail: majun@hit.edu.cn

拟对其溶藻作用方式及影响溶藻效果的直接相关因素进行研究,期望为进一步研究溶藻作用机理奠定基础。

2 材料和方法 (Materials and methods)

2.1 铜绿微囊藻培养条件及计量方法

铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa* FACHB-315) 来自中国科学院水生生物研究所藻种保藏中心。藻种经活化后,采用 BG11 培养基在温度为 26~28℃、光照强度约为 2500 lx 条件下培养。采用血球计数板计量铜绿微囊藻的浓度,用 752 型紫外光栅分光光度计测定藻液在 680 nm 处的吸光度值 OD_{680} ,表征藻的光密度。

2.2 溶解铜绿微囊藻菌株的筛选及鉴定

将于 2006 年 5 月从武汉某富营养化湖泊中取得的水样,用查氏 (Czapek) 液体培养基在 30℃、转速为 150 r·min⁻¹ 的无光照空气浴振荡器中培养,并用平板涂布和划线的方法分离细菌。将各菌株在上述培养条件下的培养液,等量地加入到铜绿微囊藻液中,并以加入查氏培养基的铜绿微囊藻液为对照。将能使藻液变黄的菌株 W4 接于斜面,4℃ 下保存。用干重法表征菌株的生物量 (参考水和废水标准检验方法 (APHA, 1998) 并改进),将溶藻菌株的培养液经滤纸 (105℃ 烘干至恒重) 过滤,截留菌株的滤纸置于 105℃ 烘箱内烘干至恒重,称重,取前后差值。革兰氏染色、葡萄糖氧化发酵、淀粉水解、硝酸盐还原、葡萄糖利用等生理生化试验参照《污染控制微生物学实验》(马放等, 2002) 进行。

2.3 W4 菌株对铜绿微囊藻的溶藻试验

2.3.1 W4 菌株对铜绿微囊藻溶解作用 采用液体培养铜绿微囊藻的方法来表征菌株溶解藻细胞的效果。将 W4 菌株液体培养至对数生长期 (本试验中处于对数期的 W4 菌株均在 2.2 节的菌株液体培养条件下培养 72 h; 而处于稳定期的 W4 菌株均在 2.2 节的菌株液体培养条件下培养 144 h)。向初始浓度约为 10^6 个·mL⁻¹、体积为 200 mL、处于适应期的铜绿微囊藻液中投加 3 mL 菌株培养液 (其中所含菌株干重约为 0.01 g); 并向相同条件藻液中添加 3 mL 稀释 1 倍的查氏培养基,以此为对照,所有试验样品均做 3 个平行样。

2.3.2 W4 菌株的溶藻方式 将 W4 菌株液体培养至对数生长期。取初始浓度约为 10^6 个·mL⁻¹、处于适应期的铜绿微囊藻液 200 mL,分别加入稀释 1 倍

的查氏培养基 3 mL、W4 菌株培养液 3 mL、培养液过滤液 (0.22 μm 滤膜) 3 mL、培养液经离心 (4000 r·min⁻¹, 10 min) 获得的上清液 3 mL、经 121℃ 灭菌 20 min 的培养液 3 mL; 并以相同条件下添加 3 mL 无菌水的藻液为对照。所有试验样品均做 3 个平行样。

2.3.3 溶藻物质投加量对溶藻效果的影响 将处于对数期的 W4 菌株培养液经 0.22 μm 滤膜过滤,取过滤液 1、2、3、4 mL,分别加入到初始浓度约为 10^6 个·mL⁻¹、体积为 200 mL、处于适应期的铜绿微囊藻液中; 并在相同条件下向藻液中加入相同量、稀释 1 倍的查氏培养基作为对照。所有试验样品均做 3 个平行样。

2.3.4 W4 菌株生长期对溶藻效果的影响 将处于对数期和稳定期的 W4 菌株培养液经 0.22 μm 滤膜过滤,分别取过滤液 3 mL,加入不同铜绿微囊藻样品瓶中 (铜绿微囊藻样品初始浓度为 10^6 个·mL⁻¹, 体积为 200 mL,处于适应期); 并在相同条件下向藻液中添加 3 mL 稀释 1 倍的查氏培养基作为对照。所有试验样品均做 3 个平行样。

2.3.5 铜绿微囊藻生长期对溶藻效果的影响 将处于对数期的 W4 菌株培养液经 0.22 μm 滤膜过滤,取过滤液 3 mL,分别加入到处于适应期、对数期、稳定期的藻液中,藻液体积为 200 mL,适应期藻初始浓度为 6×10^5 个·mL⁻¹,对数期藻初始浓度为 2×10^6 个·mL⁻¹,稳定期藻初始浓度为 10^7 个·mL⁻¹; 并在相同条件下向藻液中添加 3 mL 稀释 1 倍的查氏培养基作为对照。所有试验样品均做 3 个平行样。

3 结果 (Results)

3.1 溶藻菌株的筛选和鉴定

采用查氏培养基分离出的 8 株菌中, W4 菌株能够明显地使藻液变黄、变清,具有很好的溶藻效果,如图 1 所示。W4 菌株生长于平板表面,呈现圆

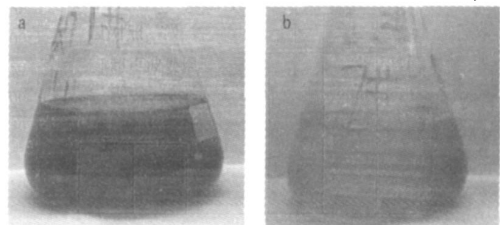


图 1 加入菌株培养液前后的铜绿微囊藻液对比 (a 加入前, b 加入后)

Fig 1 Comparison of the morphology of *Microcystis aeruginosa* between adding bacterial culture and the control sample (a control sample, b treated sample)

形、干燥、凸起、结构致密不易挑起的菌落. 该菌株分泌的色素随培养时间的增加由淡黄色变为褐色, 孢子链为直链, 孢子呈圆形; 经液体培养形成球形菌丝团, 有土腥味, 菌丝直径为 1.5~2μm. 经形态特征和生理生化试验 (见表 1), 参考文献 (Buchanan *et al*, 1984), 初步鉴定归为链霉菌科的链霉菌属.

表 1 W4菌株生理生化试验结果

生理生化试验 Physiological-biochemical test	试验结果 Result
革兰氏染色	阳性
葡萄糖氧化发酵	几乎不产酸
淀粉水解	+ ¹⁾
硝酸盐还原	- ²⁾
葡萄糖利用	+ ¹⁾
蔗糖利用	+ ¹⁾
麦芽糖利用	+ ¹⁾

注: 1) + 是; 2) - 否; Note: 1) + yes; 2) - no

3.2 W4菌株对铜绿微囊藻的溶解效果

W4菌株对铜绿微囊藻具有很好的溶解作用 (见图 1、图 2). 在初始浓度为 10⁶个·mL⁻¹的藻液中加入 W4菌株培养液 2d后, W4菌株对铜绿微囊

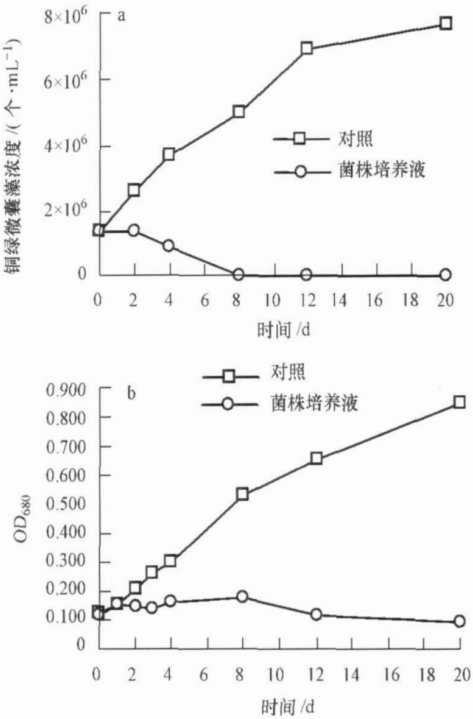


图 2 W4菌株对铜绿微囊藻的溶解效果 (a 浓度变化, b 光密度变化)
Fig 2 The algicidal effect of Bacterium W4 on *Microcystis aeruginosa* (a variation of concentration, b variation of photodensity)

藻有明显的去除效果; 8d后, W4菌株对铜绿微囊藻的去除率已经达到 99.50%; 12d后, 在血球计数板上观察不到铜绿微囊藻细胞的存在; 当试验持续到 20d时, 铜绿微囊藻的数量仍然维持在血球计数板可计量的浓度以下, 溶藻效果并没有反弹, 说明 W4菌株对铜绿微囊藻具有持续抑制作用.

比较图 2a和图 2b发现, 对照藻液和添加 W4菌株培养液的藻液, 在采用血球计数板的数量表征方法中, 两者数量差随着时间的增长明显增加; 而在光密度 OD₆₈₀的数量表征方法中, 加入 W4菌株培养液的铜绿微囊藻液, OD₆₈₀值在 1~8d内并没有降低. 在研究加入菌株培养液过滤液的藻液吸光度值变化时, 也发现相似现象, 这说明藻液中菌株的存在并不是导致这一现象的主要原因. 出现这种现象可能是由于铜绿微囊藻细胞破碎时释放了大量的细胞内物质, 如叶绿素, 而叶绿素在 680nm处也有一定的吸收. 因此, 铜绿微囊藻液在浓度上表现为降低, 而用吸光度值反映却有所升高. 8d之后吸光度值逐渐降低, 这是由于藻液中几乎不再有完整的藻细胞存在, 而释放出来的叶绿素由于光稳定性差 (王敏等, 2003) 已光照分解. 而在 20d时仍具有相对浓度较高的吸光度值, 可能是由于铜绿微囊藻破裂后产生的细胞残体同藻液中的其它组分在 680nm处有吸收.

3.3 W4菌株溶解铜绿微囊藻的作用方式

为了研究 W4菌株对铜绿微囊藻的作用方式, 考察了 W4菌株培养液经过滤、离心、高温灭菌后的溶藻效果, 以及与投加菌株培养液作用效果的对比, 结果见图 3. 试验结果显示, 菌株培养液经过滤、离心、高温灭菌后仍有很好的溶藻效果, 并且由图

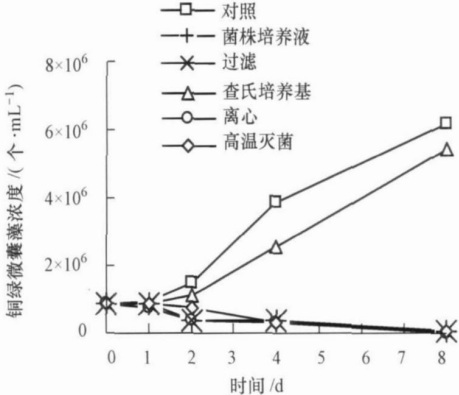


图 3 不同处理方式的菌株培养液溶藻效果
Fig 3 The algicidal effect of bacterial culture treated with different methods

可以看出,菌株培养液过滤液、离心上清液、灭菌液的溶藻效果与该菌株培养液的溶藻效果没有明显区别.

此外,由图 3可以看出,加入查氏培养基的铜绿微囊藻的生长曲线与对照组有所偏离,说明 W4 菌株的培养底物查氏培养基对铜绿微囊藻也有一定的抑制作用,但这种抑制作用相对于 W4 菌株分泌物的抑藻作用很弱.

3.4 溶藻物质投加量对溶藻效果的影响

试验结果显示,随着溶藻活性物质投加量的增加,其对铜绿微囊藻的溶解效果增强(见图 4).在铜绿微囊藻的初始浓度为 10^6 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 的条件下,当投加菌株培养液为 1mL 和 2mL 时,溶藻效果不是很明显;但当投加量增加到 3mL 时,在溶藻试验的第 6d,铜绿微囊藻的去除率达到 90%以上;继续增加细菌培养液的投加量到 4mL 时,对铜绿微囊藻的去除效果却几乎没有增加,维持在 90%左右.这说明,对于初始浓度为 10^6 个 $\cdot \text{mL}^{-1}$ 的铜绿微囊藻,3mL 菌株培养液的除藻效果已经接近极限.铜绿微囊藻的去除率 R 定义为:

$$R = (C_0 - C_e) / C_0 \tag{1}$$

式中, C_0 为对照样铜绿微囊藻浓度(个 $\cdot \text{mL}^{-1}$); C_e 为处理样铜绿微囊藻浓度(个 $\cdot \text{mL}^{-1}$).

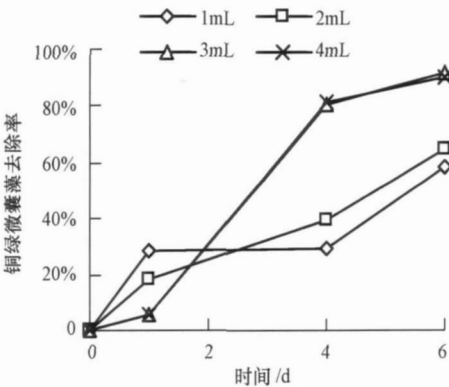


图 4 溶藻物质投加量对溶藻效果的影响

Fig 4 The influence of the volume of algicidal substances on the algicidal effect

3.5 铜绿微囊藻和 W4 菌株所处生长期对溶藻效果的影响

研究结果显示,处于不同生长期的铜绿微囊藻对溶藻物质的响应不同.溶藻物质对处于适应期的铜绿微囊藻去除效果最好,加入菌株培养液 4d 后去除率约为 86%;对处于对数生长期的铜绿微囊藻去除效果次之,同样条件下,去除率约为 24%;对处于

稳定期的铜绿微囊藻去除效果最差,同样条件下,去除率约为 10% (见图 5a).而菌株所处生长期对铜绿微囊藻的去除效果几乎没有影响,结果见图 5b

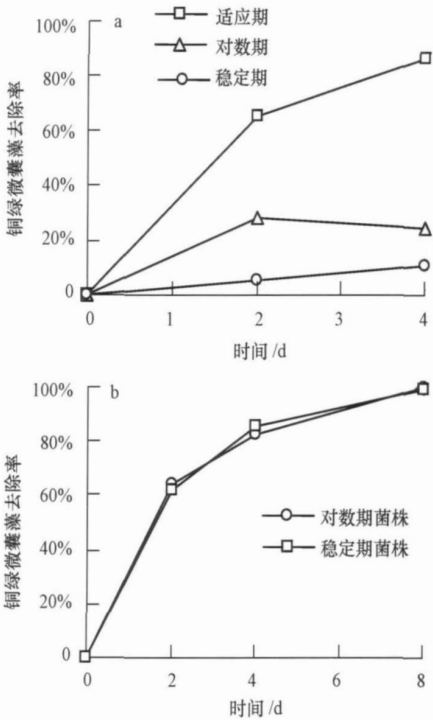


图 5 铜绿微囊藻和菌株所处生长期对溶藻效果的影响 (a 铜绿微囊藻生长期, b 菌株生长期)

Fig 5 The influences of *Microcystis aeruginosa* and bacterial growth phase on algicidal effect (a algal growth phase, b bacterial growth phase)

4 讨论 (Discussion)

可溶解铜绿微囊藻的细菌以前也曾有讨论. Yamamoto 等 (1993)指出,存在于富营养化湖泊中的假单胞菌是湖泊中能够溶解蓝藻的主要菌种. Manage 等 (2000)从日本某富营养化池塘中分离出一株滑动细菌 *Alcaligenes denitrificans*,这种细菌对 *Microcystis aeruginosa*, *M. viridis* 和 *M. wesenbergii* 等几种蓝藻均有很好的抑制作用. Kodani 等 (2002)也曾从池塘中分离出一株能够明显抑制多种蓝藻的假单胞菌 K44-1. Yamamoto 等 (1998)从湖泊底泥中分离出一株可抑制铜绿微囊藻的链霉菌. 本研究中从武汉湖泊中也分离出一株能够溶解铜绿微囊藻的放线菌 W4 菌株,经初步鉴定为链霉属菌株,该菌株对铜绿微囊藻的去除率可达 90%以上,与 Choi 等 (2005)的试验结果相接近.

W4 菌株对铜绿微囊藻的溶解过程宏观表现为

铜绿微囊藻细胞破裂、藻液变黄,继而藻液底部有黄色沉淀,说明藻细胞在 W4 菌株作用下被溶解. 细菌溶解藻细胞的作用方式可归结为 2 种方式:一是直接溶藻 (Direct attack),这种方式需要菌体与藻细胞直接接触,通过分泌溶解纤维素的酶来消化掉微藻细胞壁,进而溶解整个藻细胞 (Yamamoto *et al*, 1977),或者细菌进入藻细胞溶藻 (Caiola *et al*, 1984);二是间接溶藻 (Indirect attack),即通过分泌细胞外物质溶藻,非选择性地杀伤藻细胞 (Lovejoy *et al*, 1998),或者通过竞争有限营养物质抑制微藻生长 (赵以军等, 1996). W4 菌株培养液的过滤液、离心上清液、121 高压灭菌液均有溶解铜绿微囊藻的效果,并且溶藻效果与该菌株培养液没有明显区别. 这说明, W4 菌株的溶藻作用方式为间接溶藻,即通过该菌株分泌的溶藻活性物质实现溶藻作用,并且这种溶藻活性物质具有热稳定性,推测为非蛋白质类物质. Yu 等 (2008)指出链霉菌能够产生抗生素;而张冬宝等 (2007)指出,氯霉素、红霉素、林可霉素和金霉素等 4 种从链霉菌属分离出的抗生素、以及由小单孢菌分离出的庆大霉素抗生素,对塔玛亚历山大藻具有抑制作用. 因此,推测 W4 菌株可能亦通过分泌抗生素溶解铜绿微囊藻,但这种溶藻活性物质还有待于进一步研究.

W4 菌株对铜绿微囊藻的溶解效果受铜绿微囊藻所处生长期的影响,对适应期的藻细胞溶解作用最好,对对数期的藻细胞溶解效果次之,对稳定期的藻细胞溶解效果最差. 这可能与稳定期的铜绿微囊藻细胞分泌的胞外分泌物 (EPSs)较多有关. Wangstadh 等 (1988)证明了细菌在饥饿的条件下,为了降低细胞表面的憎水性而导致胞外分泌物增多. 而 Costerton 等 (1987)指出,胞外分泌物能够起到抵抗抗生素、原生动物捕食的保护屏障作用. 溶藻效果受藻类生长期的影响,推测是由于铜绿微囊藻经历适应期、对数期、稳定期的过程中,可利用营养物质不断减少,胞外分泌物不断增加, EPSs 对藻细胞的保护作用也增强,故而体现为藻细胞去除率的降低. 但是, W4 菌株对藻细胞的溶解效果却不受菌株所处的生长期影响,说明本试验中 W4 菌株的培养液在对数生长期取样点 (72h)和稳定生长期取样点 (144h),所含溶藻活性物质浓度几乎相同. 可以说, W4 菌株主要在生长的初期阶段分泌溶藻活性物质,并且这种活性物质不被 W4 菌株作为优先营养源利用或者不能再被 W4 菌株作为营养源

利用.

5 结论 (Conclusions)

1) W4 菌株对铜绿微囊藻的去除效果较好,向 200mL 藻液中加入 W4 菌株培养液 3mL 时 8d 后对铜绿微囊藻的去除效果可达 99.5%.

2) W4 菌株对铜绿微囊藻的溶解作用属于间接作用方式,且 W4 菌株分泌的抑藻活性物质具有热稳定性,为非蛋白质类物质.

3) W4 菌株对铜绿微囊藻的溶解效果受藻细胞所处生长期影响,但不受菌株所处生长期影响.

责任作者简介:马军 (1962—),男,“长江学者奖励计划”特聘教授,从事水处理理论与技术研究. Email: majun@hit.edu.cn

References:

- APHA. 1998 Method 4110B. Standard methods for the examination of water and wastewater (20th ed) [S]. Washington DC, USA: APHA
- Buchanan R E, Gibbons N E. 1984. Bergey's manual of determinative bacteriology (8th ed) [M]. Baltimore: Williams and Wilkins Company, 910—1227
- Caiola M G, Pellegrinis. 1984. Lysis of *Microcystis aeruginosa* by *Bdellovibrio*-like Bacteria [J]. J Phycol, 20 (4): 471—475
- Choi H J, Kim B H, Kim J D, *et al*. 2005. *Streptomyces neyagawaensis* as a control for the hazardous biomass of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in eutrophic freshwaters [J]. Biological Control, 33: 335—343
- Costerton J W, Cheng K J, Geesey G G, *et al*. 1987. Bacterial biofilms in nature and disease [J]. Ann Rev Microbiol, 41: 435—464
- Graham N J D, Wardlaw V E, Perry R, *et al*. 1998. The significance of algae as trihalomethane precursors [J]. Water Sci Technol, 37 (2): 83—89
- Kodani S, Inoto A, Mitsutani A, *et al*. 2002. Isolation and identification of the anti-algal compound, harmaline (1-methyl- β -carboline), produced by the algicidal bacterium, *Pseudomonas* sp. K44-1 [J]. J Appl Phycol, 14: 109—114
- Liao M J, Cheng K, Zhao Y J, *et al*. 2006. Ecological effects of cyanobacteria lysis by cyanophage in cement ponds [J]. Acta Ecologica Sinica, 26 (6): 1745—1749 (in Chinese)
- Lovejoy C, Bowman J P, Hallegraeff G M. 1998. Algicidal effects of a novel marine *Pseudoalteromonas* isolate (class Proteobacteria, gamma subdivision) on harmful algal blooms species of the Genera *Chattonella*, *Gymnodinium* and *Heterosigma* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 64 (8): 2806—2813
- Ma F, Ren N Q, Yang J X. 2002. Microbiology experiment of environmental engineering [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 53—77 (in Chinese)

- Manage P M, Kawabata Z, Nakano S. 2000. Algicidal effect of the bacterium *Alcaligenes denitrificans* on *Microcystis* spp [J]. *Aquat Microb Ecol*, 22: 111—117
- Plummer J D, Edzwald J K. 2001. Effect of ozone on algae as precursors for trihalomethane and haloacetic acid production [J]. *Environ Sci Technol*, 35(18): 3661—3668
- Sullivan M B, Waterbury J B, Chisholm S W. 2003. Cyanophage infecting the oceanic cyanobacterium, *Prochlorococcus* [J]. *Nature*, 424: 1047—1051
- Wang M, Jiang L, Zhang W M. 2003. Study on the stability of chlorophyll in fresh holly leaves [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 30(4): 455—458 (in Chinese)
- Wrangstadh M, Conway P L, Kjelleberg S. 1988. The role of an extracellular polysaccharide produced by the marine *Pseudomonas* sp S9 in cellular detachment during starvation [J]. *Can J Microbiol*, 35: 309—312
- Yamamoto Y, Kouchiwa T, Hodoki Y, et al. 1998. Distribution and identification of actinomycetes lysing cyanobacteria in a eutrophic lake [J]. *J Appl Phycol*, 10: 391—397
- Yamamoto Y, Niizuma S, Kuroda N, et al. 1993. Occurrence of heterotrophic bacteria causing lysis of cyanobacteria in a eutrophic lake [J]. *Jap J Phycol*, 41: 215—220
- Yamamoto Y, Suzuki K. 1977. Ultrastructural studies on lysis of blue-green algae by a bacterium [J]. *Faculty of Agriculture*, 23(3): 285—295
- Yu J C, Liu Q. 2008. Effect of liquid culture requirements on antifungal antibiotic production by *Streptomyces rimosus* My α [J]. *Bioresource Technology*, 99(6): 2087—209
- Zhang D B, Sui Z H, Mao Y X, et al. 2007. Study on the sensitivities of eight antibiotics on *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 29(2): 123—130 (in Chinese)
- Zhao Y J, Liu Y D. 1996. Possible microbial control on the adverse impacts of algae-current information about the relationship between algae and microbes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 20(2): 173—181 (in Chinese)

中文参考文献:

- 廖明军,程凯,赵以军,等. 2006. 模拟生态系统中噬藻体裂解蓝藻宿主的生态学效应 [J]. *生态学报*, 26(6): 1745—1749
- 马放,任南琪,杨基先. 2002. 污染控制微生物学实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 53—77
- 王敏,姜莉,张为民. 2003. 冬青叶绿素稳定性的试验研究 [J]. *安徽农业大学学报*, 30(4): 455—458
- 张冬宝,隋正红,茅云翔. 2007. 8种抗生素对塔玛亚历山大藻生长的影响 [J]. *海洋学报*, 29(2): 123—130
- 赵以军,刘永定. 1996. 有害藻类及其微生物防治的基础——藻菌关系的研究动态 [J]. *水生生物学报*, 20(2): 173—181