

溶藻微生物净化富营养化水体的作用

倪兆林 申元英*

(大理学院 公共卫生学院 云南 大理 671000)

摘要: 湖泊富营养化导致的水华藻类频繁暴发已成为当今世界性的环境问题, 溶藻微生物作为生物法防治有害藻类水华具有广泛的研究前景, 通过查阅文献对微生物控制有害藻类水华进行概述, 并探讨进一步的研究趋势和应用前景, 以期对微生物溶藻方面的研究及开发应用有一定的参考价值。

关键词: 溶藻细菌, 净化, 湖泊富营养化

The effect of algae-lysing microorganism purify to eutrophication water

NI Zhao-Lin SHEN Yuan-Ying*

(School of Public Health, Dali University, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: Recently, harmful algae blooms (HABs) always frequently outbreaks on eutrophication water body and it has been recognized as a serious worldwide environmental problem. It is very important and useful method that algae-lysing microorganisms as biocontrol agents to control HABs and to purify to water. This article reviews on microbial to control harmful algal blooms and discusses application prospect in the future. In additionally, the results are expected to have a certain reference value for researching algae lysing and application in other aspects.

Keywords: Algicidal bacteria, Purify, Eutrophication lake

水体富营养化具有普遍性, 是一个世界性的水环境问题, 有害藻类水华规律地暴发于我国及世界范围富营养化水体中, 其暴发频率有逐年增加的趋势。水体的富营养化污染, 不仅破坏了水生生态系统的平衡, 而且产生有毒、有害的微藻(蓝藻、甲藻、硅藻、异弯藻等)引起水华或赤潮, 释放有毒物质^[1], 对公众健康、牲畜和水源供给带来负面影

响甚至严重危害生态安全^[2]。因此, 寻找合理有效的水华藻类防治方法迫在眉睫。近年来, 在物理和化学方法治理效果不太理想的情况下, 生物法以其经济和环境友好型备受注目, 主要的生物方法是利用微生物主要包括^[3]: 细菌、病毒、原生动物、放线菌和真菌来控制水华或赤潮。本研究将分析总结国内外溶藻微生物(主要是细菌)的最新研究进展,

基金项目: 国家科技重大专项项目(No. ZX07105-004-001-002); 云南省教育厅科学研究基金项目(No. 2012J045); 大理学院洱海保护研究专项课题(No. KYRH201005); 大理市科技局科技项目(No. 2012SF05)

*通讯作者: Tel: 86-872-2257361; ✉: yuanyingshen@163.com

收稿日期: 2013-01-16; 接受日期: 2013-02-06; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2013-11-26

为微生物技术在除藻方面的应用提供参考。

1 溶藻微生物的作用方式

溶藻微生物的作用方式主要有 3 种:一是寄生作用,一些病毒和细菌特异性地寄生于宿主藻细胞,从而抑制有害藻类的生长,二是溶藻作用,包括直接溶藻和间接溶藻,直接溶藻即溶藻微生物与藻细胞直接接触而攻击宿主或者侵入藻细胞内溶解藻细胞,间接溶藻即间接进攻宿主,主要包括溶藻生物与有害藻类竞争有限营养,或者通过分泌胞外物质杀死藻细胞或抑制其生长;三是利用原生动物的捕食作用直接除去有害藻类。

2 溶藻微生物的溶藻作用

控制有害藻类的微生物主要包括:病毒、细菌、真菌、放线菌、原生动物。它们在控制水华或者赤潮方面起重要作用。

2.1 溶藻细菌

溶藻细菌(Algicidal bacteria)是水生生态系统生物种群结构和功能的重要组成部分,对维持藻的生物量平衡具有非常重要的作用。近年来,有研究报道^[4]:水华和赤潮的突然消亡可能与杀藻细菌的感染有关,国内外文献中对溶藻细菌的报道有很多,这些细菌多为革兰氏阴性菌,它们的作用对象也比较广泛,既有蓝藻、硅藻也有甲藻。

2.1.1 溶藻细菌的作用方式及可能机理:溶藻细菌对藻细胞的作用方式和可能机理主要有:直接接触溶藻、释放杀藻物质、藻与菌相互竞争营养物质、形成菌胶膜和进入藻细胞内杀灭藻细胞等。直接接触溶藻指溶藻菌直接进攻宿主而杀藻,释放杀藻物质杀藻指通过释放特异性或非特异性的胞外物质抑制和溶解藻细胞,包括通过释放蛋白质、氨基酸、羟胺、含氮化合物、多肽类和抗生素等杀藻物质。

黏细菌是最早报道的通过直接接触溶解蓝藻营养细胞的细菌。恶臭假单胞菌(*Pseudomonas putida*)和荧光假单胞菌(*P. fluorescens* HYK0210-SK09)^[5]可直接作用于冠盘藻、铜绿微囊藻而杀藻。Wei Y. D.等^[6]通过对溶藻细菌 A1 研究

表明,A1 菌能分泌一种热稳定、强亲水性糖类物质溶解青苔藻细胞。Mu R. M.等^[7]从活性污泥中分离筛选出的梭状芽孢杆菌 B5 能分泌一种耐热的细胞外物质溶解铜绿微囊藻、小球藻和栅藻,而且藻细胞的密度和细菌的初始浓度影响着叶绿素 a 的清除速度。Jeong-II Oh 等^[8]从多环旋沟藻中分离出了 5 株能抑制它生长的细菌,该 5 株细菌能在稳定期分泌细胞外化合物特异性地作用于多环旋沟藻,研究中还发现 *Sagittula* sp.是多环旋沟藻的优势附生菌。Chen W. M.等^[9]从中国台湾一个盐场中分离出一株新型细菌 *Aquimarina salinaria* sp. nov. antisso-27^T 细菌,该株细菌能以直接和间接两种方式分别溶解小球藻 211-31 和铜绿微囊藻 MTY01。Park S. C.等^[10]研究发现一种多肽类物质,能在短时间内低浓度下有效溶解赤潮异弯藻和卡盾藻属,而对海洋生物产生最小的影响。Chen W. M.等^[11]在中国台湾南部海域也分离到一株 *Aquimarina* sp. antisso-27 细菌,该株细菌能在稳定期之后分泌一种分子量为 190 kD 的蛋白质,特异性地杀灭铜绿微囊藻。

2.1.2 溶藻细菌的溶藻作用:芽孢杆菌^[12]B1 能分泌一种细胞外物质作用于球形棕囊藻,其清除率为 94.9%,在加入该物质 16 h 后细胞完整性破坏,56 h 细胞完全溶解。Yan R. J.等^[13]从珠海海口分离的两株革兰氏阳性细菌(Y01 和 Y04)能在 6 d 内直接溶解球形棕囊藻。Kim Y. S.等^[14]从韩国水域分离到一株命名为 AB-4 的芽孢杆菌,能溶解海洋卡盾藻、血红哈卡藻、赤潮异弯藻、锥状斯克里普藻等,而且在加入 10%的量时,对海洋卡盾藻的溶藻效率最高。Kim J. D.等^[15]在韩国马山湾分离鉴定了一株新型假交替单胞菌属 AFMB-08041,该细菌能分泌葡萄糖苷酶特异地作用于微小原甲藻,而且在浓度为 2.5×10^4 CFU/mL 时,5 d 内可以使微小原甲藻 90%以上的藻细胞溶解。Shi R. J.等^[16]在中国南海大鹏湾的水体和底泥中分离得到的 4 株细菌(P1、P5、N5、N21),在按体积比为 10%进行溶藻实验后发现:N5、N21 能在 72 h 内直接杀死中肋骨条

藻, P1、P5 能在 96 h 内溶解该藻颗粒。Li Y. 等^[17]从污水厂分离的一株土地杆菌属细菌 Ma11-5 能有效抑制铜绿微囊藻的生长, 其抑制作用不受细菌的细胞密度限制, 在 2 d 后抑制效果超过 50%, 10 d 之后就可以达到 75%–85%。Cho J. Y.^[18]分离鉴定研究的一株交替单胞菌 KNS-16 能分泌溶藻活性物质抑制水产养殖中的赤潮异弯藻、多环旋沟藻和亚历山大藻, 其半数致死剂量 LC_{50} 为 0.5–1.1 mg/L。Lee Y. K. 等^[19]分离研究了一株红球菌 (*Rhodococcus* sp. KWR2) 能在 2% (体积比) 时 5 d 内特异性地杀灭 75%–88% 的铜绿微囊藻和鱼腥藻, 但其不能抑制真核藻类、小球藻和栅藻。廖春丽等^[20]从水体中分离得到一株具有溶藻能力的细菌 NP23, 对小球藻、惠氏微囊藻、栅藻和蛋白核小球藻具有一定的去除效果, 叶绿素 a 的去除率分别为 64.1%、53.1%、87.2% 和 84.4%, 而且在 10^{-10} CFU/mL 菌浓度范围内, 藻的去除率与菌液的浓度成正相关。Ye J. Y. 等^[21]从富营养化水体中分离得到一株属于黄杆菌属 (*Chryseobacterium* sp.) 的细菌 S7, 研究表明该菌株能间接高效溶解水华鱼腥藻, 在菌株投加量为藻液量的 30% 时, 7 d 叶绿素 a 的去除率达到 90% 以上, 而且在 pH 为 9、温度 35 °C 的条件下藻的去除率最高。

2.2 藻类病毒

藻类病毒主要分为原核藻类病毒“噬藻体 (Cyanophage)”和真核藻类病毒“藻病毒 (Phycovirus)”两类。其普遍存在于水生生态环境中, 1963 年由 Safferman 首次报道的蓝藻病毒 LPP-1 能特异溶解蓝藻中的鞘丝藻、织线藻和席藻。2007 年, Stoddard 等^[22]报道了海洋聚球藻对噬藻体的抗性与其细胞表面的噬藻体, 指出其与结合位点基因突变有关, 细胞表面受体结合位点的改变会影响噬藻体与宿主的结合。2009 年, Millard 等^[23]从肌病毒科噬藻体中发现了一个“Hyperplastic”区域, 开创了海洋肌病毒噬藻体进化新研究历程。

藻类病毒既能控制水华或赤潮的形成, 又能随

藻细胞数量变化而变化, 从而调节水生生态系统中的藻细胞密度。Tucker S. 等^[24]在澳大利亚亚热带湖分离了一株能有效控制铜绿微囊藻水华暴发的噬藻体 Ma-LBP, 复制周期为 11.2 h, 平均每 28 个噬藻体微粒感染一个藻颗粒。Yoshida T. 等^[25]也分离得到了一株能够感染铜绿微囊藻 NIES298 的噬藻体 Ma-LMM01, 其潜伏期是 6–12 h, 释放量是每个细胞 50–120 个病毒粒子, 这类噬藻体能够被用来控制微囊藻水华。与噬藻体相比, 藻病毒的研究还相当缺乏, 对藻病毒的研究主要是病毒裂解宿主藻细胞转换成有机碳, 从而为细菌所利用, 促进噬藻体的数量增加, 改变碳循环和食物链的结构。

2.3 真菌、放线菌和原生动物

真菌在自然界分布广泛, 资源丰富。其对藻类的作用方式主要有释放抗生素或抗生素类物质和寄生溶藻两种方式。壶菌目真菌 (*Rhizophidium planktonicum*) 是首次被 Canter 等发现的一种能寄生蓝藻的真菌。随后支顶孢属 (*Acremonium*)、翅孢壳属 (*Emericellopsis*) 与轮枝孢属 (*Verticillium*) 的非壶菌真菌持续被报道。Han G. 等^[26]从南京紫金山分离得到大约 60 株溶藻真菌, 在这些真菌中绝大多数属于担子菌门的多孔菌目菌, 而且在分离得到的这些真菌中有一株 *Trametes versicolor* F21a 真菌能在 30 h 内全部溶解藻细胞。

放线菌是许多天然生物活性物质的重要来源, 是一种优势微生物类群, 可以产生多种生物活性物质, 如抗生素、酶及酶抑制剂、氨基酸、有机酸、维生素、生物碱、甾体和免疫调节剂等抑制藻细胞的生长。常显波等^[27]从烟台海区沉积物中分离得到一株放线菌 G-57, 该细菌能分泌一种对高温和 pH 均具有较好稳定性的胞外代谢产物溶解铜绿微囊藻, 且在传代 5 次后仍能够保持稳定的溶藻效果, 按 1% 的体积比接种 4 d 后溶藻效率达 98.31%, Bai S. J. 等^[3]第一次分离报道了一株能够分泌一种分子量小于 100 kD、耐热、耐酸碱而且溶藻范围广的放线菌 BS01, 杀灭有毒亚历山大藻。

原生动物是水生食物链中的重要环节, 藻类生

物量的下降往往伴随着原生动物的急剧增加,且原生动物对藻类的吞噬具有选择性,这不仅影响藻类的种群结构的变化,改变藻类群落的演替方向,而且水华或赤潮的消长过程也影响着原生动物群落结构。

3 展望

虽然目前利用病毒、细菌、放线菌、真菌、原生动物等微生物,在大面积的富营养化湖泊中大量培养繁殖来防治水体富营养化、控制水华或者赤潮还有许多技术上的问题尚有待解决,但这并不影响其广泛的研究前景。

(1) 溶藻细菌和溶藻病毒由于具有专一性,而藻类水华或赤潮的暴发是多种藻类同时发生,所以单一的细菌或者病毒不足以达到预期的目的,那么可以通过筛选能作用于不同宿主的细菌或者病毒然后配制复合制剂,即可以用各种细菌复合制剂、各种病毒制剂、细菌病毒制剂或者细菌、病毒、放线菌、真菌、原生动物等的混合制剂。

(2) 在配制的复合制剂等应用于实践时,首先还得做大量的前期工作,确保其安全性和有利性,从水生生态系统的角度出发,使其更符合生态系统的规律,实现生态友好型控藻。

(3) 溶藻微生物由于具有直接溶藻和间接溶藻两种方式,而间接溶藻中又有不同的溶藻机理,所以可以充分利用这一点,提取它们所分泌的大量溶藻物质,通过检验它们的安全性后,直接应用于水体,避免大量加入活体溶藻物质后所带来的负效应。

(4) 目前微生物除藻,大量的国内研究仅仅局限于实验室阶段的理论,未应用于实践,所配制比较成熟的细菌制剂也主要是硝化细菌、反硝化细菌、光合细菌等的制剂,对于微生物的复合制剂目前还未见报道。

(5) 真菌、放线菌、原生动物更是广泛存在于自然水体,但对其的研究仅仅局限于表面,没有深入研究。如真菌溶藻主要为独特的寄生溶藻,其溶藻机理很有必要深入研究,而放线菌虽然在水体中的种类和数量较少,但它是许多天然生物活性物质

的重要来源。

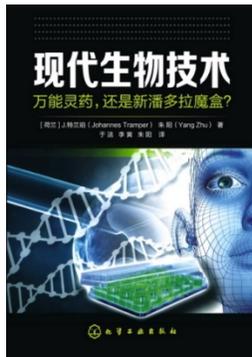
参考文献

- [1] Qian H, Hu B, Yu S, et al. The effects of hydrogen peroxide on the circadian rhythms of *Microcystis aeruginosa*[J]. PLoS One, 2012, 7(3): e33347.
- [2] Anderson DM. Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs)[J]. Ocean & Coastal Management, 2009, 52(7): 342-350.
- [3] Bai SJ, Huang LP, Su JQ, et al. Algicidal effects of a novel marine actinomycete on the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*[J]. Current Microbiology, 2011, 62(6): 1774-1781.
- [4] 汪小雄, 姜成春, 朱佳, 等. 微生物在除藻方面的应用研究[J]. 工业水处理, 2011, 31(2): 1-4.
- [5] Jung SW, Kim BH, Katano T, et al. *Pseudomonas fluorescens* HYK0210-SK09 offers species-specific biological control of winter algal blooms caused by freshwater diatom *Stephanodiscus hantzschii*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2008, 105(1): 186-195.
- [6] Wei YD, Dai M, Wang SX, et al. Preliminary study on algae-lysing active substances of algae-lysing bacteria[J]. Plant Diseases and Pests, 2011, 2(1): 56-59.
- [7] Mu RM, Fan ZQ, Pei HY, et al. Isolation and algae-lysing characteristics of the algicidal bacterium B5[J]. Journal of Environmental Sciences (China), 2007, 19(11): 1336-1340.
- [8] Oh JI, Kim MJ, Lee JY, et al. Isolation and characterization of algicidal bacteria from *Cochlodinium polykrikoides* culture[J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering December, 2011, 16(6): 1124-1133.
- [9] Wm C, Sheu FS, Sheu SS. *Aquimarina salinaria* sp. nov., a novel algicidal bacterium isolated from a saltpan[J]. Archives of Microbiology, 2012, 194(2): 103-112.
- [10] Park SC, Lee JK, Kim SW, et al. Selective algicidal action of peptides against harmful algal bloom species[J]. PLoS One, 2011, 6(10): e26733.
- [11] Chen WM, Sheu FS, Sheu SY. Novel L-amino acid oxidase with algicidal activity against toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* synthesized by a bacterium *Aquimarina* sp.[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2011, 49(4): 372-379.
- [12] 李蕾, 赵玲, 尹平河. 芽孢杆菌 B1胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究[J]. 环境科学, 2012, 33(3): 838-843.
- [13] 晏荣军, 尹平河, 裘俊红. 2株球形棕囊藻溶藻细菌的分离及鉴定[J]. 环境科学, 2011, 32(1): 225-230.
- [14] Kim YS, Lee DS, Jeong SY, et al. Isolation and characterization of a marine algicidal bacterium against the harmful raphidophyceae *Chattonella marina*[J]. Journal of Microbiology (Seoul, Korea), 2009, 47(1): 9-18.
- [15] Kim JD, Kim JY, Park JK, et al. Selective control of the *Prorocentrum* minimum harmful algal blooms by a novel algal-lytic bacterium *Pseudoalteromonas haloplanktis* AFMB-008041[J]. Marine Biotechnology (New York, N.Y.), 2009, 11(4): 463-472.
- [16] Shi R, Huang H, Qi Z, et al. Algicidal activity against *Skeletonema costatum* by marine bacteria isolated from a high frequency harmful algal blooms area in southern Chinese coast[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2013, 29(1): 153-162.

- [17] Li Y, Hongyi W, Komatsu M, et al. Isolation and characterization of bacterial isolates algicidal against a harmful bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*[J]. Biocontrol Science, 2012, 17(3): 107-114.
- [18] Cho JY. Algicidal activity of marine *Alteromonas* sp. KNS-16 and isolation of active compounds[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2012, 76(8): 1452-1458.
- [19] Lee YK, Ahn CY, Kim HS, et al. Cyanobactericidal effect of *Rhodococcus* sp. isolated from eutrophic lake on *Microcystis* sp.[J]. Biotechnology Letters, 2010, 32(11): 1673-1678.
- [20] 廖春丽, 杨闪闪, 许晨, 等. 一株溶藻细菌 NP23的初步分离鉴别及其溶藻作用研究[J]. 生物技术通报, 2012(8): 163-167.
- [21] Ye JY, Zhong YR, Lan Y, et al. Identification of an algae-lysing bacterium of *Anabaena flosaquae* and primary research on their relationship[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(1): 202-205.
- [22] Stoddard LI, Martiny JB, Marston MF. Selection and characterization of cyanophage resistance in marine *Synechococcus* strains[J]. Applied and Environment Microbiology, 2007, 73(17): 5516-5522.
- [23] Millard AD, Zwirgmaier K, Downey MJ, et al. Comparative genomics of marine cyanomyoviruses reveals the widespread occurrence of *Synechococcus* host genes localized to a hyperplastic region: implications for mechanisms of cyanophage evolution[J]. Environmental Microbiology, 2009, 11(9): 2370-2387.
- [24] Tucker S, Pollard P. Identification of cyanophage Ma-LBP and infection of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* from an Australian subtropical lake by the virus[J]. Applied and Environment Microbiology, 2005, 71(2): 629-635.
- [25] Yoshida T, Takashima Y, Tomaru Y, et al. Isolation and characterization of a cyanophage infecting the toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*[J]. Applied and Environment Microbiology, 2006, 72(2): 1239-1247.
- [26] Han G, Feng X, Jia Y, et al. Isolation and evaluation of terrestrial fungi with algicidal ability from Zijin Mountain, Nanjing, China[J]. Journal of Microbiology (Seoul, Korea), 2011, 49(4): 562-567.
- [27] 常显波, 张鹏, 杨启霞, 等. 一株高效溶藻放线菌的分离及溶藻特性的研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(23): 11545-11546.

书 讯

现代生物技术——万能灵药，还是新潘多拉魔盒？



作者: (荷兰)Johannes Tramper & Yang Zhu;

于洁, 李寅, 朱阳(译)

出版: 化学工业出版社

ISBN: 978-7-122-17499-4

定价: 49 元

开本: 16

装帧: 平装

页码: 248

现代生物技术在解决人类社会面临的人口、健康、资源和环境等重大问题上表现出了巨大的应用潜力。然而，与历史上任何新兴技术面世的时候一样，广大民众对现代生物技术这样一种新兴高技术的内涵并不清楚，因此容易产生怀疑、误解，甚至恐惧，阻碍了现代生物技术的正常发展和应用。

为了更好地认识现代生物技术的科技内涵，本书以现代生物技术在食品和医疗领域的发展和应用为主线，希望以事实为依据，为读者提供一个丰富且可靠的信息来源，从而消除偏见，正确判断现代生物技术对人类带来的福音还是灾难。

本书共分四部分。第一部分是引言，重点介绍了现代生物技术的两面性。第二部分“日常饮食”，分别从奶酪、烘烤食品、葡萄酒、生物技术肉制品和所谓“妖魔食品”等入手，阐述生物技术和各种日常饮食之间的渊源。第三部分“健康也有极限”，则从抗生素、荷尔蒙、基因治疗、异种器官移植、人类基因组计划和干细胞治疗等六个与健康与医学相关的方面，分析现代生物技术与人类的密切关系。最后一部分是“尾声”，希望给读者留下一个印象和认识：“生物技术不一定是有害的！”

本书主要选材于日常生活中与现代生物技术密切相关的实例，所参考的文献多来自《自然》、《科学》等国际知名期刊或杂志，将专业的理解和大众的视角结合起来，向人们介绍现代生物技术的基本原理及其利弊；语言通俗易懂，大量使用简明易懂的插图和插页，深入浅出地解释生物技术的热门话题。

本书适合于生物类专业及其他拟了解现代生物技术的人士阅读参考。

订购方式：各大网站

化学工业出版社: <http://shop.cip.com.cn/product/20131001/283979787122174994.html>