

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2017.05.017



太湖芦苇根系中溶藻菌的分离鉴定及溶藻效果

沈红池¹, 潘瑞松², 吴旭鹏¹, 蔡庆庆¹, 张文艺¹

(1. 常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 常州环保科技开发推广中心, 江苏 常州 213022)

摘要:富含氮、磷、钾等营养物质的污水排入河流、湖泊,造成蓝藻爆发,而溶藻菌可以有效降解水体中的蓝藻污染。从蓝藻污染严重的太湖百渎港岸边芦苇根系中筛选出 1 株溶藻菌(*Bacillus sp*),命名为 G6,系统发育分析表明,G6 菌株与芽孢杆菌同源性最高。将培养至对数期的 G6 菌液以菌藻比 1:10 的比例,在温度 28 ℃、光强 2 500 lx、光暗比 12 h:12 h 的条件下经光照培养箱培养 7 d,对铜绿囊藻液 Chla 去除率可达 82%。此外,G6 菌株在无光照条件下也具有溶藻特性,这有利于其在缺少光照的深水域中增殖并发挥溶藻作用。G6 通过分泌溶藻物质杀灭铜绿囊藻,属于间接溶藻,且溶藻物质具有热稳定性,能够在较高温度下发挥溶藻特性。

关键词:溶藻菌;铜绿微囊藻;16SrDNA;溶藻效果

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2017)05-0123-06

Isolation and identification of algicidal bacteria from reed roots in Baidu Port of Taihu Lake and its lytic effect

Shen Hongchi¹, Pan Ruisong², Wu Xupeng¹, Cai Qingqing¹, Zhang Wenyi¹

(1. School of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, Jiangsu, P. R. China; 2. Changzhou Environmental Protection Technology Exploitation and Development Center, Changzhou 213022, Jiangsu, P. R. China)

Abstract: Large amounts of sewage with nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients into the river lake will cause the algae bloom. Algae-lysing bacteria which can effectively degrade cyanobacteria in water is a potential treatment. An algicidal bacterium against toxic *Microcystis aeruginosa* strain G6 is isolated from reed roots in Baidu port of Taihu Lake. According to phylogenetic analysis, strain G6(*Bacillus sp*) is identified as *Bacillus sp*. The strain G6 which cultivated to the logarithmic phase is voted to water with bacteria and algae ratio of 1:10. The Chl-a of algae fluid could be reduced up to 82% when it is placed in the light incubator of 28 ℃ temperature, light intensity 2 500 lux, and photoperiod 12 h:12 h for 7 days. Strain G6 has the character that it can kill the algae cells without light. It is conducive to bacteria breeding and degradate algae in the deep sea which lack of light. The strain G6 could produce substance which can dissolve algae to kill *microcystis aeruginosa*, which is an indirect way to kill algae. The substance has

收稿日期:2016-11-26

基金项目:国家自然科学基金(41571471);常州市科技计划项目(CE20155061、WS201521)

作者简介:沈红池(1992-),女,主要从事水污染控制与环境微生物研究,(E-mail)1543598063@qq.com。

张文艺(通信作者),男,博士,教授,(E-mail)zhangwenyi888@sina.com。

Received:2016-11-26

Foundation item:National Natural Science Foundation of China(No. 41571471); Changzhou Science and Technology Project(No. CE20155061, WS201521)

Author brief:Shen Hongchi(1992-), main research interests: water pollution control and environmental microbes,(E-mail)1543598063@qq.com.

Zhang Wenyi(corresponding author), PhD, professor,(E-mail)zhangwenyi888@sina.com.

thermal stability to kill the algae cells at high temperature.

Keywords: algicidal bacteria; microcystis aeruginosa; 16SrDNA; algicidal effect

随着工农业发展,富含氮、磷、钾等营养物质的污水逐渐排入河流、湖泊中,造成水体富营养化日益加剧,蓝藻大规模爆发,水资源越发紧缺,水生物的生存环境受到威胁^[1-3]。蓝藻的死亡不仅会产生恶臭,其分泌的藻毒素还具有致癌性,严重威胁着饮用水安全和人类的身体健康^[4-6]。

除藻的方法主要有物理、化学和生物方法^[7]。物理法有机械除藻、直接过滤法、超声法等^[8],但这些方法都存在着成本高,耗时长^[9-10]的缺点。化学法主要通过投加化学试剂来进行杀藻,残留的化学药剂仍然滞留在水体中容易造成二次污染^[9-10]。所以,物理和化学方法都不能从根本上解决蓝藻污染问题。溶藻菌控藻正在受到学者们的广泛关注,不少学者认为,每年蓝藻的突然消失可能与自然中存在的溶藻菌有关^[11-15]。溶藻菌来源广泛,繁殖速度快,安全无污染,可以作为一种安全有效的生物除藻方法。陈庆丽等^[16]从水华爆发处的水样中筛选出一株溶藻菌,对藻液作用 18 h 时,藻细胞已经丧失恢复能力。溶藻菌的溶藻方式一般分为直接溶藻和间接溶藻,现在发现的溶藻菌以间接控藻为主。

笔者从蓝藻污染严重的江苏太湖百浪港岸边的芦苇根系中筛选出一株溶藻菌命名为 G6,通过对其进行形态特征观察、生理生化实验和溶藻能力测定,以为蓝藻控制提供高效菌株。实验发现,G6 菌株在无光照和有光照条件下均对铜绿微囊藻具有较好的溶解作用,这种特性有利于降解缺少光照的深水域中爆发的蓝藻,能够更加全面的解决蓝藻爆发问题。在此基础上,提取 G6 菌株的 DNA,测定 16S rDNA 序列,并利用 MEGA 5.05 构建系统发育树,分析其在细菌分类学上的地位。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 藻种及培养 选用的藻种为铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*) FACHB-905,购于中科院武汉水生生物研究所国家淡水藻种库。将购买的藻静置于光照培养箱中培养,培养箱条件:温度 28 ℃、光照强度 2 500 lx、光照周期比 12 h:12 h。

1.1.2 培养基 1)溶藻菌用 LB 液体培养基^[17]:蛋白胨 10 g/L,氯化钠 10 g/L,酵母浸膏 5 g/L,pH7.2;固体培养基再加琼脂 15 g/L;2)藻的培养基为 BG11:微量溶液:H₃BO₃ 2.86 g,MnCl₂·4H₂O 1.86 g,ZnSO₄·7H₂O 0.22 g,Na₂MoO₄·H₂O

0.39 g,CuSO₄·5H₂O 0.08 g,Co(NO₃)₂·6H₂O 0.05 g,蒸馏水 1 000 mL。NaNO₃ 1.5 g,K₂HPO₄ 0.04 g,MgSO₄·7H₂O 0.075 g,CaCl₂·2H₂O 0.036 g,柠檬酸铁铵 0.006 g,EDTA-Na₂0.001 g,Na₂CO₃ 0.02 g,微量溶液 1 mL,蒸馏水 1 L,pH7.1。

上述所用到的培养基均需高压灭菌锅内于温度 121 ℃、100 kPa 条件下灭菌 20 min 后使用。

1.2 方法

1.2.1 溶藻细菌的分离筛选 从太湖岸边挖出整颗芦苇,收集芦苇根系及其周围土壤,并于 4 ℃下保存。称取样品和无菌水以 1:10 的比例混合,置于摇床,在 130 r/min 转速、30 ℃下震荡 6~7 h,采用梯度稀释法稀释后,进行平板涂布,倒置于 30 ℃恒温培养箱中培养。选择不同的菌落分别用接种环划线分离培养 2~3 d,然后纯化培养 3~4 次,得到菌株进行溶藻效果测定。将效果好的优势菌种放置于 4 ℃冰箱内保存,将菌株在液体培养基中培养 18 h,以菌藻比 1:10 投加到新鲜藻液中,6 d 后比较各菌株的 Chla 去除率,选出最佳菌株。

1.2.2 溶藻细菌的鉴定 1)生理生化鉴定实验参照文献^[18-19];2)16Sr DNA 序列分析方法:DNA 提取、PCR 扩增及序列测定由微生物分析检测中心完成,确定其种属。挑选 GenBank 数据库中发表的菌株,运用 MEGA 5.05 软件构建系统发育树。

1.2.3 生长曲线绘制 从细菌斜面培养基中挑取一环菌接入装有 200 mL 灭菌后的新鲜细菌液体培养基中,在温度为 30 ℃,转速为 130 r/min 的培养箱中振荡培养。以无菌液体培养基作为空白,每隔 2 h 测定菌株培养液在 600 nm 处的吸光度,测到吸光度明显下降结束。根据测得的数据绘制菌株的生长曲线。

1.2.4 溶藻计算方式 利用乙醇法提取叶绿素,测定每天的叶绿素 a 含量并计算^[20]。

$$\text{溶藻率} = \frac{\text{空白组 Chla} - \text{处理组 Chla}}{\text{空白组 Chla}} \times 100\%$$

$$\text{剩余率} = 100\% - \text{溶藻率}$$

1.2.5 菌藻比对溶藻效果的影响 将培养 18 h 的菌液分别以菌藻比 1:2、1:5、1:10、1:20、1:50 的量投加,并于温度 28 ℃、光强 2 500 lx、光暗周期 12 h:12 h 条件下,在光照培养箱中静置培养,每隔 24 h 取样测定 Chla 剩余含量,计算其溶藻率。

1.2.6 光照时间对溶藻效果的影响 将培养 18 h

的菌液以菌藻比 1:10 的投加量在光暗周期为 0 h:24 h(全黑暗)、24 h:0 h(全光照)、12 h:12 h 这 3 个不同的光照条件下进行溶藻实验,保持光照培养箱温度 28 ℃、光强 2 500 lx,每隔 24 h 取样测定 Chla 含量,计算溶藻率。

1.2.7 菌龄对溶藻效果的影响 设置不同细菌生长阶段(迟滞期、对数期、稳定期、衰亡期),将菌液以菌藻比 1:10 的比例投加到藻液中,并于温度 28 ℃、光强 2 500 lx、光暗周期 12 h:12 h 条件下,在光照培养箱中静置培养,每隔 24 h 取样测定 Chla 含量,计算溶藻率。

1.2.8 溶藻方式对溶藻效果的影响 设置以下 4 种方式处理菌液:1)培养 18~24 h 的对数期菌液;2)将菌液 1)经 0.22 μm 滤膜过滤除菌;3)收集 2)中滤膜,经无菌水洗涤 3~4 次,制备菌悬液;4)将菌液 1)高温高压(121 ℃、1.0×10⁵ Pa)灭活处理 25 min。将上述 4 种菌液按照菌藻比 1:10 的比例投加到 100 mL 新鲜铜绿微囊藻液中。每隔 24 h 取样测 Chla 剩余含量。

2 结果与讨论

2.1 菌株形态

表 1 为 G6 菌株的生理生化特性结果。表 2 是从太湖芦苇根系土中筛选出的 12 株菌株的形态特征及其溶藻效果。图 1 为革兰氏染色后的 G6 在油镜下的显微图像,可见其呈紫色,属于阳性菌。菌细胞呈短杆状,芽孢椭圆。

表 1 G6 菌生化特性结果

革兰氏	明胶水解	接触酶	V. P 试验	M. R 试验
+	-	+	-	-
葡萄糖发酵	淀粉水解	产硫化氢	产胺试验	葡萄糖氧化
+	+	-	+	-

表 2 筛选出的 12 株菌的形态特征及溶藻效果

Table 2 Morphologic characteristics and algae-lysing effect of strains G1-G12

细菌编号	颜色	大小/mm	形状	凹凸	Chla 去除率/%
G1	白	1~2	光滑	凸	30.5
G2	乳白	3~4	光滑	凸	11.5
G3	粉	3~4	光滑	凸	44.1
G4	橘黄	2~3	光滑	凸	42.1
G5	乳白	2~3	锯齿	凹	23.9
G6	乳白	1	光滑	凸	65.1
G7	粉	1	光滑	凸	44.3
G8	淡黄	2~3	光滑	凹	41.5
G9	粉	3~4	光滑	凹	38.7
G10	乳白	3~4	锯齿	凹	44.3
G11	白	1	密集	凸	28
G12	透明	4~5	无规则	平	30.8

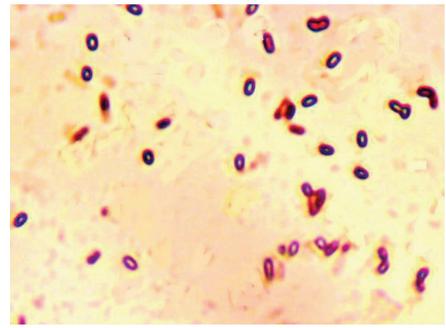


图 1 G6 革兰氏染色显微图像(油镜,×1000)

Fig. 1 Micrograph of G6 (×1000)

2.2 G6 细菌 16SrDNA 序列分析

图 2 的电泳图条带清晰,说明 DNA 提取和 PCR 扩增效果较好。图 3 中挑选 16 株同源性为 99% 菌株进行序列比对,通过系统进化树表明,菌株 G6 与 *Bacillus sp.* hb29 亲缘关系最近,并处于同一分支,自展值为 91,相似性为 99%,所以筛选出来的 G6 菌为芽孢杆菌(*Bacillus sp.*)。马洪瑞从活性污泥中筛选出一株芽孢杆菌对铜绿微囊藻的降解效果达到 91.36%,说明芽孢杆菌确实存在溶藻效果。

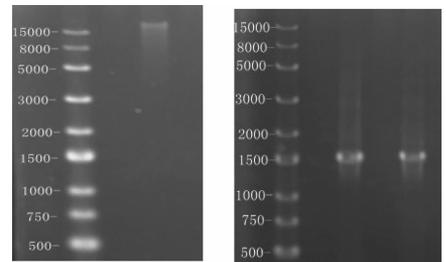


图 2 G6 的 DNA 电泳图和 PCR 扩增电泳图

Fig. 2 The DNA and 16S rDNA amplification product of strain G6

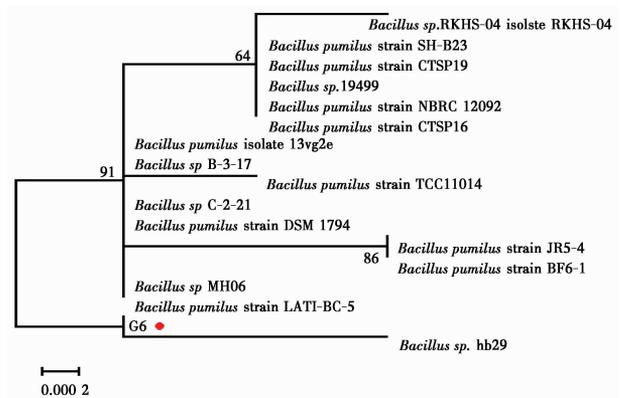


图 3 G6 与其他同源系列的系统发育树

Fig 3 Phylogenetic tree of Strain G6 with other homologous series

2.3 生长曲线

由图 4 可以看出,菌株 G6 最大 OD₆₀₀ 为 0.769。10 h 以后就进入了对数生长期,对数时期营养物质

较充裕,菌能够得到生长所需要的足够的营养,所以生长速度很快,菌数呈恒定几何数增长。44 h 后随着营养物质的消耗,菌的繁殖速度减弱,菌株死亡率升高,G6 的细菌增殖与死亡趋于平衡,进入稳定期。72 h 后营养物质几乎消耗,菌株的死亡率增加超过繁殖速度,进入衰亡期。

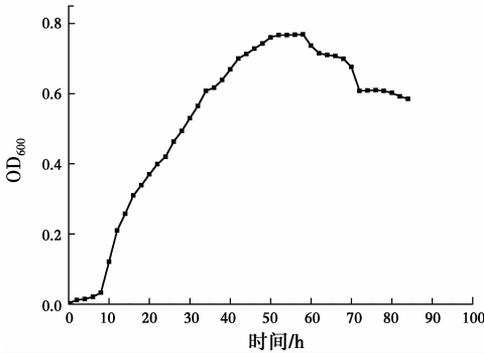


图 4 G6 菌的生长曲线
Fig. 4 Growth curve of strain G 6

2.4 菌藻比对溶藻效果的影响

如图 5 所示,当菌藻比为 1:50 时,此时藻液中培养基的含量很低,没有足够的营养物质供菌生长,铜绿微囊藻的生长速率远高于菌的生长速率,因此,菌藻比为 1:50 时,图中叶绿素的含量呈上升趋势,菌对于除藻没有起到作用。

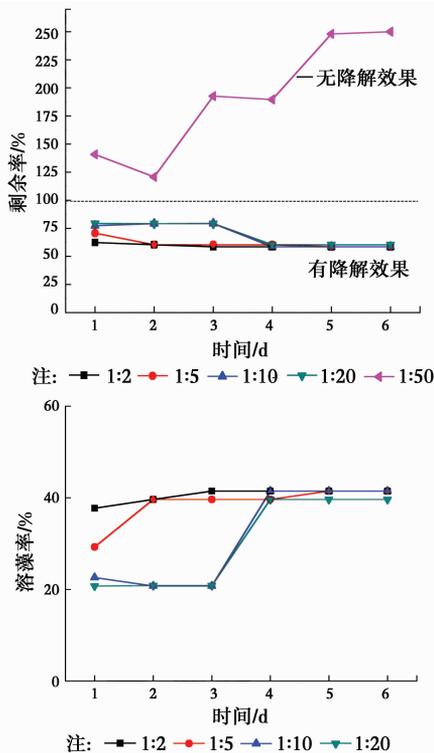


图 5 菌藻比与溶藻效果的关系

Fig. 5 The relationship between ratio of bacteria and algae and algalicidal effect

当菌藻比为 1:2、1:5、1:10、1:20 时,都能对藻液起到降解效果。从蓝藻去除率的关系图中可以看出,随着菌液投加量的增加,溶藻效率逐渐增加。而在 1~3 d 之间,投加量为 20、50 mL 处的溶藻效率从第 1 d 就比较高,但是,随着时间的增长变化不大。而投加量为 5、10 mL 时,前 3 d 的除藻效果并不好,可能是因为投加的菌少,与藻类作用的速度相对减慢。而到第 4 d 时,菌藻比为 1:10、1:20 的去除效果已经基本与菌藻比为 1:2、1:5 一致,而此时,1:10 的菌藻比效果最好,在第 3 d 可以达到去除率 42%。

2.5 光暗周期对溶藻效果的影响

如图 6 所示,在全光照、全黑暗以及光暗周期 12 h:12 h 条件下菌株对铜绿微囊藻都有降解效果。第 1 天全暗条件下藻的去除效果比全光照以及光暗周期 12 h:12 h 时去除效果好,可能是藻缺少光合作用生长速度减慢。随着时间的增加,菌藻混合液的颜色由绿变黄,但从图中看,光暗周期 12 h:12 h 时,藻的去除效果更好一些,说明接近自然光照条件能够使溶藻菌起到更好的溶解藻效果,有利于实际应用。同时,菌在全光照和全黑暗条件下仍对铜绿微囊藻有去除效果,可能是菌种来自黑暗中的芦苇根系土中,所以,菌在黑暗中能够生长,在光亮下也有很好的繁殖能力。G6 菌株的这种特性有利于降解缺少光照的深水域中爆发的蓝藻,能够更加全面地解决蓝藻爆发问题。

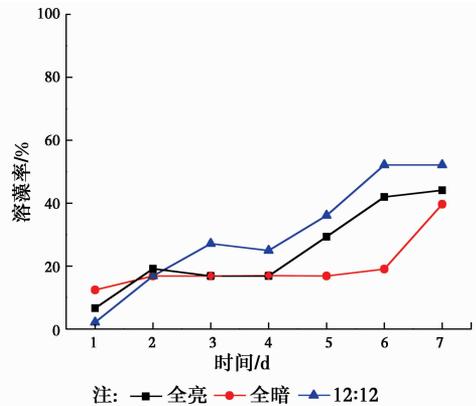


图 6 光暗周期与溶藻率的关系

Fig. 6 The relationship between illumination and algalicidal effect

2.6 菌龄对溶藻效果的影响

根据生长曲线培养不同生长时期的菌液,由图 7 可以看出,迟滞期、对数期、稳定期、衰亡期的菌都对铜绿微囊藻具有降解效果。但是,衰亡期的菌株从第 4 d 开始对铜绿微囊藻的去除效果就没有其他几个生长时期明显。迟滞期菌株开始时降解藻的效果比较明显,第 4~7 d 溶藻率几乎没有提高,可能这个时期的菌活性不强,后期溶藻能力较差。对数

时期和稳定时期的溶藻效果都很明显,1~3 d 时铜绿微囊藻去除效果较慢,到第 4 d 时溶藻效果就较为明显,第 6、7 d 去除率能够达到 76%。这两个时期的菌活性较强,繁殖较快,对铜绿微囊藻的去除效果很明显。

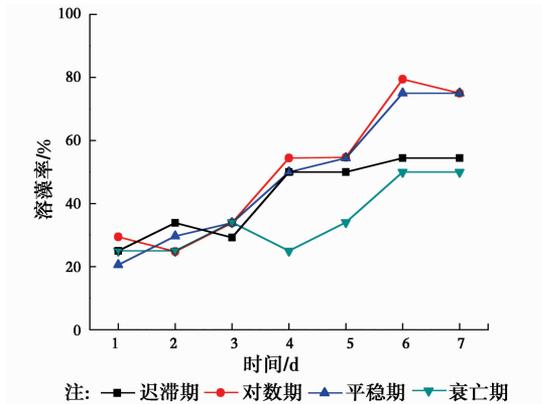


图 7 菌龄与溶藻效果的关系

Fig. 7 The relationship between growth phase of G6 strain and algicidal effect

2.7 溶藻方式对溶藻效果的影响

由图 8 可知,4 种不同的处理方式有 3 种均能不同程度的抑制铜绿微囊藻的生长。细菌在无菌水中不能很好的繁殖,细菌数量不够,达不到溶藻的效果,在水中,菌的繁殖能力也有限。而未处理的菌

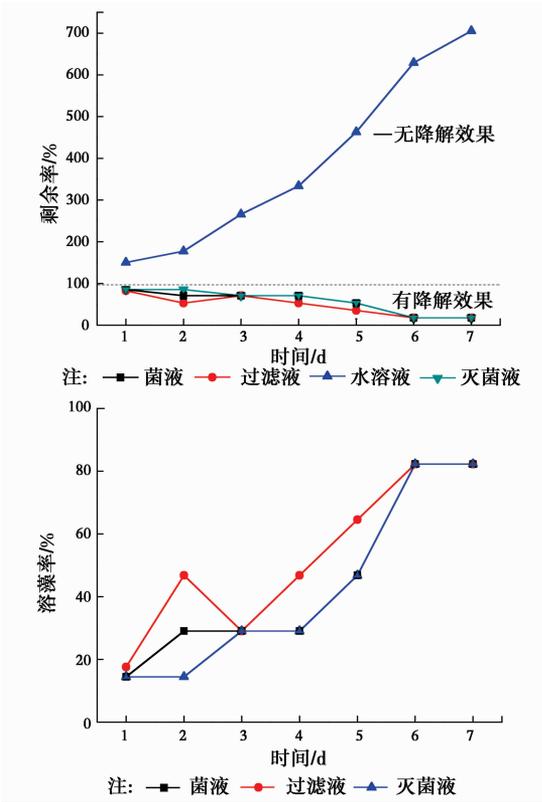


图 8 溶藻方式与溶藻效果的关系

Fig. 8 The relationship between algae-lysing method and algicidal effect

液、菌液过滤液和高温处理菌液均对铜绿微囊藻表现出较为明显的去除效果,最后都能达到 82%。说明溶藻效果并没有随着菌株的高温灭菌或者将菌体过滤掉而减弱,细菌的溶藻方式更有可能是菌株分泌的胞外物质对铜绿微囊藻生长产生了抑制作用。溶藻菌一般是通过分泌蛋白质、氨基酸、多肽等物质来抑制藻的生长,而高温高压下处理过的菌株对铜绿微囊藻仍有较好的降解效果,说明菌株分泌的物质具有热稳定性,可能不属于蛋白质^[21]。因此,G6 菌株可能是通过分泌非蛋白质的胞外物质达到溶藻的目的,属于间接溶藻方式。目前,仍未找到通用的溶藻活性物质的方法,所以,只能通过物质性质初步推算溶藻物质。

3 结论

1)从太湖岸边的芦苇根系分离筛选出 1 株溶藻细菌 G6。菌液在对数期、菌藻比 1:10、光暗比 12 h:12 h 的实验条件下溶藻效果最佳。菌藻培养 7 d 后铜绿囊藻液 Chla 去除率高达 82%。因此,芦苇根系可作为高效溶藻菌筛选的新菌种来源。G6 菌株经生理生化试验及菌株 16SrDNA 分子鉴定可知其为阳性菌,属于芽孢杆菌。

2)G6 通过分泌具有热稳定性的物质,实现对铜绿囊藻的杀灭、溶藻,属于间接溶藻。而 G6 菌株所具有的在无光照条件下也能溶藻这一特性,有利于对缺少光照的深水域中增殖,并对蓝藻进行杀灭、溶解。

参考文献:

[1] 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.
LIAO C L, YANG S S, XU C, et al. Isolation, identification and function of an algicidal bacteria strain [J]. Biotechnology Bulletin, 2012 (8): 163-167. (in Chinese)

[2] 孔赞,朱亮,徐向阳,等.溶藻菌发酵液及其溶藻产物的生物急性毒性试验[J].生态环境学报,2012,21(5):913-918.
KONG Y, ZHU L, XU X Y, et al. Acute toxicity of the fermentation broth of algae-lysing bacteria and its products [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(5): 913-918. (in Chinese)

[3] 王赞,张业猛,李佩佩.醋酸钙不动杆菌的分离鉴定及溶藻特性[J].生物技术通报,2015,31(3):140-145.
WANG Y, ZHANG Y M, LI P P, Isolation, Identification and algicidal activity of acinetobacter calcoaceticus [J]. Biotechnology Bulletin, 2015, 31 (3): 140-145. (in Chinese)

- [4] 刘晶,潘伟斌,秦玉洁,等. 两株溶藻细菌的分离鉴定及其溶藻特性[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(2): 17-22.
LIU J, PAN W B, QIN Y J, et al. Isolation and identification of two algae-lysing bacteria and their lytic character [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 30(2): 17-22. (in Chinese)
- [5] PARK S C, CHOI C Y, JEONG G W, et al. Algicidal effects of free-amine water-soluble chitosan to marine harmful algal species [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, 34: 139-145.
- [6] SEUNG W J, SUK M Y, JAE W Y, et al. Can the algicidal material Ca-aminoclay be harmful when applied to a natural ecosystem? An assessment using microcosms[J]. Journal of Hazardous Materials, 2015, 298(15): 178-187.
- [7] 方旭东,张茜. 饮用水中藻类污染及其控制技术[J]. 天津化工, 2013, 27(3): 35-37.
FANG X D, ZHANG Q. Algae pollution in drinking water and its control technology[J]. Tianjin Chemical Industry, 2013, 27(3): 35-37. (in Chinese)
- [8] 王波,张光明,王慧. 超声波去除铜绿微囊藻研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(4): 47-49.
WANG B, ZHANG G M, WANG H. Removal of microcystis aeruginosa by ultrasound [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2005, 6(4): 47-49. (in Chinese)
- [9] 史顺玉. 溶藻细菌对藻类的生理生态效应及作用机理研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006.
SHI S Y. Studies on the *ecophysiological* effects and mechanisms of algae-lysing bacteria against the algae [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2006. (in Chinese)
- [10] HILT S, GHOBRIAL M G N, GROSS E M. In situ allelopathic potential of myriophyllum verticillatum (haloragaceae) against selected phytoplankton species [J]. Journal Phycology, 42(6): 1189-1198.
- [11] 叶姜瑜,钟以蓉,俞岚,等. 一株水华鱼腥藻溶藻菌的分离鉴定及菌藻关系初探[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(29): 18121-18124.
YE J Y, ZHONG Y R, YU L, et al. Identification of an algae-lysing bacterium of anabaena flosaquae and primary research on their relationship [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(29): 18121-18124. (in Chinese)
- [12] 李小彩,裴海燕,胡文容. 溶藻细菌及溶藻物质研究进展[J]. 工业水处理, 2007(6): 10-12.
LI X C, PEI C H, HU W R. Development of the research on algicidal bacteria and its algicidal substances [J]. Industrial Water Treatment, 2007(6): 10-12. (in Chinese)
- [13] 王志勇,石春芳,曹菊梅. RZ1 溶藻菌溶藻特性研究[J]. 现代农业科技, 2016, 2(1): 29-231.
WANG ZY, SHI C F, CAO J M. Lytic Character of algicidal bacteria RZ1 [J]. Xiandai Nongye Keji, 2016, 2(1): 29-231. (in Chinese)
- [14] MARIE D, CRISTINA G F, MERCEDES B, et al. Algicidal microorganisms and secreted algicides: New tools to induce microalgal cell disruption [J]. Biotechnology Advances, 2015, 33(8): 1615-1625.
- [15] HU X, LIU Y G, ZENG G M, et al. Effects of limonene stress on the growth of and microcystin release by the freshwater cyanobacterium Microcystis aeruginosa FACHB-905 [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014, 1051: 21-127.
- [16] 陈庆丽,景澄茗,付韵馨,等. 寒区水体中溶藻铜绿假单胞菌的分离和性质研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(3): 692-698.
CHEN Q L, JING C M, FU Y X, et al. Isolation and characteristics of algicidal Pseudomonas aeruginosa from water body in cold region [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35(3): 692-698. (in Chinese)
- [17] 母锐敏,贾静静,张盛至. 溶藻细菌 FS1 的溶藻效果与机制初探[J]. 微生物学杂志, 2015, 35(6)1: 6-20.
MU R M, JIA J J, ZHANG S Z. Initial investigation on algicidal effect and mechanism of algae-lytic bacteria FS1 [J]. Journal of Microbiology, 2015, 35(6)1: 6-20. (in Chinese)
- [18] 王兰,王忠. 环境微生物学实验方法与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 75-85.
WANG L, WANG Z. Environmental microbiology experimental methods and techniques [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 75-85. (in Chinese)
- [19] R E 布坎南. 伯杰细菌鉴定手册 [M]. 8 版. 北京: 科学出版社, 1984.
BUCHANAN R E. Bergey's manual of systematic bacteriology [M]. 8th. Beijing: Science Press, 1984. (in Chinese)
- [20] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
CHEN J X, WANG X F. Plant physiology experiment guidance [M]. 2^{ed}. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [21] 马迪迪,赵耕毛,王长海. 2 株溶藻菌培养条件优化及溶藻特性研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2015, 28(1): 24-29.
MA D D, ZHAO G M, WANG C H. Culture condition optimization and algicidal properties of two of algicidal bacteria [J]. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering Edition), 2015, 28(1): 24-29. (in Chinese)