

影响光合细菌净水效果的因素

陈繁忠 丁爱中 傅家谟 盛国英

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640. Email: Chenfan@gig.ac.cn)

摘要 从淡水养鱼池塘底泥中分离得到 1 株光合细菌, 研究了菌液投加量、光照条件、温度、盐度、常用水产药物硫酸铜用量、敌百虫用量对净水效果的影响. 结果表明: 菌液适宜投加量为 10 mg/L, 光照状态下净化效果优于黑暗状态, 温度低于 15℃ 时、氯化钠投加量高于 10 000 mg/L 时、硫酸铜投加量高于 0.4 mg/L 时、敌百虫投加量高于 2.0 mg/L 时分别试验的净化效果均明显下降.

关键词 光合细菌 水质净化 影响因素

光合细菌是水圈微生物的一种, 在水体自净中扮演着重要角色^[1]. 施加人工培养的光合细菌活菌培养液、现场控制水产养殖池水质的方法, 近几年受到广泛关注^[2,3]. 然而光合细菌的使用效果与菌液投加量、水域水质特征、天气条件、水产养殖用药等多种环境因素和人为因素密切相关, 使用不当就难以取得预期的效果. 研究各种因素对光合细菌净化水质效果的影响对深入了解光合细菌生理生态特性、指导光合细菌培养液的正确应用具有重要意义.

本文从养鱼池塘底泥分离得到 1 株光合细菌, 以广州近郊某淡水养鱼池水为研究对象, 以对水产养殖有重要影响的 3 个水质参数 COD_{Cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除率为净水效果指标, 考察了菌液投加量、光照条件、温度、盐度、常用水产药物硫酸铜用量、敌百虫用量对净水效果的影响.

1 材料与方 法

1.1 菌种

从广州近郊采得淡水养鱼池塘底泥样品, 经富集培养、分离纯化, 获得 1 株光合细菌, 自编号为 GH. 经鉴定菌株 GH 归属于红假单胞菌属(*Rhodospseudomonas*). 菌株接种在斜面培养基上^[4], 置于 4℃ 冰箱中保存.

1.2 光合细菌的培养方法

光合细菌培养基组成参见文献[4], 培养温度 30℃, 以 40 W 白炽灯为光源, 以一环斜面种子为接种物, 在试管中培养 5 d. 然后以上述获得的试管种子为接种物 (接种量 5%), 按同样方法在 100 mL 三角瓶中培养, 获得净水实验所需的光合细菌培养液, 置于 4℃ 冰箱中保存. 培养液中活菌数采用计数板直接镜检法^[5]测定, 菌体密度达到 5×10^9 个/mL.

1.3 光合细菌净水实验

实验用水取自于广州近郊某水质较差的淡水养鱼池. 实验时将盛水烧杯置于恒温培养箱中, 光合细菌培养液用池水稀释 100 倍后加入烧杯. 通过单因子实验和正交试验考察光合细菌培养液投加量、光照条件、温度、氯化钠投加量、硫酸铜投加量、敌百虫投加量对净水效果的影响. 所有净水实验采用同一批菌液.

1.4 水质分析方法

COD_{Cr}采用重铬酸钾法, NH₃-N采用纳氏试剂法, NO₂⁻-N采用N-(1-萘基)-乙二胺光度法^[6].

2 实验结果与讨论

2.1 菌液投加量对净水效果的影响

实验用水初始水质参数COD_{Cr}为84.6 mg/L, NH₃-N为1.00 mg/L, NO₂⁻-N为0.32 mg/L, 在一组烧杯中投加不同量的光合细菌培养液, 控制温度为30℃, 40 W白炽灯光照, 96 h后, 测定水质变化, 结果见表1.

表1 光合细菌培养液投加量对净水效果的影响^{a)}

菌液投加量/mg · L ⁻¹	去除率/%		
	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N
5	20.6	31.0	32.9
10	38.8	36.7	59.9
20	42.3	37.8	61.0
30	42.4	44.3	61.9
40	43.2	46.8	65.4

a) 试验日期为1999年5月3日至5月7日

由表1可见, 光合细菌培养液投加量增加, COD_{Cr}, NH₃-N及NO₂⁻-N去除率均有所提高, 但菌液投加量超过10 mg/L后, 净水效果提高不明显.

2.2 光照条件对净水效果的影响

实验用水初始水质参数COD_{Cr}为78.6 mg/L, NH₃-N为0.89 mg/L, NO₂⁻-N为0.34 mg/L, 控制温度为30℃, 光合细菌培养液投加量为10 mg/L, 分别在40W白炽灯光照和黑暗两种状态下, 经96 h后, 测定水质变化, 结果见表2.

表2 光照条件对净水效果的影响^{a)}

光照条件	去除率/%		
	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N
黑暗	20.1	18.7	48.9
40W白炽灯	34.8	38.7	55.9

a) 试验日期为1999年5月12日至5月16日

由表2可见, 光照条件下, 光合细菌净水效果明显提高. 在实际应用时, 应尽量在天气晴朗时施加光合细菌, 有利于提高使用效果.

2.3 温度对净水效果的影响

实验用水初始水质参数COD_{Cr}为76.8 mg/L, NH₃-N为0.87 mg/L, NO₂⁻-N为0.30 mg/L, 控制光合细菌培养液投加量为10 mg/L, 40 W白炽灯光照, 在不同温度条件下, 经96 h后, 测定水质变化, 结果见表3.

表 3 温度对净水效果的影响^{a)}

温度/℃	去除率/%		
	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N
10	25.1	18.8	45.1
15	33.5	30.8	52.0
20	35.7	34.9	53.6
30	36.5	40.7	53.0

a) 试验日期为 1999 年 5 月 20 日至 5 月 24 日

由表 3 可见, 温度升高有利于提高净水效果.

2.4 氯化钠投加量对净水效果的影响

实验用水初始水质参数 COD_{Cr} 为 89.8 mg/L, NH₃-N 为 1.12 mg/L, NO₂⁻-N 为 0.39 mg/L. 在一组烧杯中投加不同量的氯化钠, 控制温度为 30℃, 光合细菌培养液投加量为 10 mg/L, 40 W 白炽灯光照, 经 96 h 后, 测定水质变化, 结果见表 4.

表 4 氯化钠投加量对净水效果的影响^{a)}

氯化钠投加量/mg · L ⁻¹	去除率/%		
	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N
1000	38.5	38.7	51.2
2000	39.9	37.2	50.8
5000	36.2	35.0	47.3
10000	28.0	23.9	47.4
15000	14.9	21.5	27.8

a) 试验日期为 1999 年 5 月 28 日至 5 月 31 日

由表 4 可见, 氯化钠投加量超过 10 000 mg/L 时, 细菌生长受到明显抑制, 净水效果明显下降. 这是因为分离于淡水池塘底泥的菌种, 难以适应高盐度的水环境. 在实际应用中, 淡水光合细菌不能应用于海水养殖.

2.5 硫酸铜投加量对净水效果的影响

实验用水初始水质参数 COD_{Cr} 为 101.8 mg/L, NH₃-N 为 1.03 mg/L, NO₂⁻-N 为 0.40 mg/L. 在一组烧杯中投加不同量的硫酸铜, 控制温度为 30℃, 光合细菌培养液投加量为 10 mg/L, 40 W 白炽灯光照, 经 96 h 后, 测定水质变化, 结果见表 5.

表 5 硫酸铜投加量对净水效果的影响^{a)}

硫酸铜投加量/mg · L ⁻¹	去除率/%		
	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₂ ⁻ -N
0.1	34.5	38.2	53.1
0.2	30.1	37.1	48.2
0.4	30.2	30.0	47.1
0.6	19.1	22.0	39.9
0.8	12.9	18.1	34.8

a) 试验日期为 1999 年 6 月 3 日至 6 月 7 日

由表 5 可见, 硫酸铜投加量超过 0.4 mg/L 时, 细菌生长受到明显抑制, 净水效果明显下降. 硫酸铜为常用的水产杀虫剂, 一般使用量为 0.7 mg/L 左右. 因此光合细菌尽量不要与硫酸铜混用.

2.6 敌百虫投加量对净水效果的影响

实验用水初始水质参数 COD_{Cr} 为 90.8 mg/L, NH_3-N 为 0.92 mg/L, $NO_2^- -N$ 为 0.29 mg/L, 在一组烧杯中投加不同量的敌百虫(市售 90%晶体敌百虫), 控制温度为 30℃, 光合细菌培养液投加量为 10 mg/L, 40 W 白炽灯光照, 经 96 h 后, 测定水质变化, 结果见表 6.

表 6 敌百虫投加量对净水效果的影响^{a)}

敌百虫投加量/mg · L ⁻¹	去除率/%		
	COD_{Cr}	NH_3-N	$NO_2^- -N$
0.1	30.5	32.7	51.4
0.5	26.3	31.1	52.3
1.0	27.1	30.4	49.2
2.0	20.2	23.1	44.9
2.5	11.0	9.5	23.8

a) 试验日期为 1999 年 6 月 24 日至 6 月 28 日

由表 6 可见, 敌百虫投加量超过 2.0 mg/L 时, 细菌生长受到明显抑制, 净水效果明显下降. 敌百虫也是常用的水产杀虫剂, 一般使用量为 0.3 ~ 0.7 mg/L, 本实验结果表明光合细菌能耐敌百虫的常规药量.

2.7 正交试验结果及分析(表 7)

表 7 正交试验的因素与水平

因素	菌液投加量 (A)/ mg · L ⁻¹	光照条件(B)	温度(C)/℃	氯化钠投加量 (D)/ mg · L ⁻¹	硫酸铜投加量 (E)/ mg · L ⁻¹	敌百虫投加量 (F)/ mg · L ⁻¹
一水平	5	40 W 白炽灯	15	0	0	0
二水平	10	黑暗	30	3 000	0.4	0.4

各因素的水平结合淡水水产养殖实际选取. 试验的安排采用正交试验表 $L_8^{[7]}$. 试验用水初始水质参数 COD_{Cr} 为 81.8 mg/L, NH_3-N 为 1.06 mg/L, $NO_2^- -N$ 为 0.40 mg/L, 试验方法见 1.3 节, 净水时间为 96 h, 正交试验的结果见表 8.

表 8 正交试验结果^{a)}

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	去除率/%		
	A	B	C	D	E	F		COD_{Cr}	NH_3-N	$NO_2^- -N$
1	1	1	1	1	1	1	1	14.3	22.7	38.8
2	1	1	1	2	2	2	2	9.2	16.3	30.6
3	1	2	2	1	1	2	2	10.3	11.5	34.9
4	1	2	2	2	2	1	1	9.1	11.0	29.6
5	2	1	2	1	2	1	2	19.5	19.5	36.1
6	2	1	2	2	1	2	1	25.0	28.0	41.9
7	2	2	1	1	2	2	1	15.1	15.7	32.9
8	2	2	1	2	1	1	2	16.8	14.2	39.9
COD_{Cr}	I / 4	10.7	17.0	13.9	14.8	16.6	14.9			
去除率	II / 4	19.1	12.8	16.0	15.0	13.2	14.9			
%	极差	8.4	4.2	2.1	0.2	3.4	0			
NH_3-N	I / 4	15.4	21.6	17.2	17.4	19.1	16.9			
去除率	II / 4	19.4	13.1	17.5	17.3	15.6	17.8			
%	极差	4.0	7.5	0.3	0.1	3.5	0.9			
$NO_2^- -N$	I / 4	33.5	36.9	35.6	35.7	38.9	36.1			
去除率	II / 4	37.7	34.3	35.6	35.5	32.3	35.1			
%	极差	4.2	2.8	0	0.2	6.6	1.0			

a) 试验日期为 1999 年 12 月 3 日至 12 月 7 日

由表 8 可见, 在实验参数范围内, 各因素对 COD_{Cr} 去除率的影响大小依次为菌液投加量、光照条件、硫酸铜投加量、温度、氯化钠投加量、敌百虫投加量; 各因素对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率的影响大小依次为光照条件、菌液投加量、硫酸铜投加量、敌百虫投加量、温度、氯化钠投加量; 各因素对 $\text{NO}_2\text{-N}$ 去除率的影响大小依次为硫酸铜投加量、菌液投加量、光照条件、敌百虫投加量、氯化钠投加量、温度. 综合平衡起来, 菌液投加量、光照条件、硫酸铜投加量 3 个因素对净水效果影响最为显著.

从表 8 还可看到, 光照条件对 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率影响十分显著, 而对 $\text{NO}_2\text{-N}$ 去除率影响相对较小, 即使在黑暗条件下, $\text{NO}_2\text{-N}$ 去除率仍然较高. 根据光合细菌的特性^[1], 黑暗条件下细菌生长受到抑制, 因而可以推断水中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的去除与光合细菌的生长相关性较小, 光合细菌去除 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的重要途径可能是把它氧化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 或还原为 N_2 .

将表 1~8 中实验条件相接近、但实验日期不同的两组实验数据列于表 9.

表 9 光合细菌培养液贮存时间对其净水性能的影响

实验日期	实验条件						去除率/% (净水性能)		
	菌液投加量 /mg · L ⁻¹	光照条件	温度 /℃	氯化钠投加量 /mg · L ⁻¹	硫酸铜投加量 /mg · L ⁻¹	敌百虫投加量 /mg · L ⁻¹	COD_{Cr}	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$
5.3~5.7	10	40 W 白炽灯	30	0	0	0	38.8	36.7	59.9
5.12~5.16	10	40 W 白炽灯	30	0	0	0	34.8	38.7	55.9
5.20~5.24	10	40 W 白炽灯	30	0	0	0	36.5	40.7	53.0
5.28~5.31	10	40 W 白炽灯	30	1 000	0	0	38.5	38.7	51.2
6.3~6.7	10	40 W 白炽灯	30	0	0.1	0	34.5	38.2	53.1
6.24~6.28	10	40 W 白炽灯	30	0	0	0.1	30.5	32.7	51.4
6.3~6.7	10	40 W 白炽灯	30	0	0.4	0	30.2	30.0	47.1
12.3~12.7	10	40 W 白炽灯	30	0	0.4	0	19.5	19.5	36.1

表 9 所示的对比数据初步表明, 光合细菌培养液在贮存两个月内其净水性能变化较小, 但贮存时间过长 (超过 7 个月), 会导致净水性能下降. 这一点在光合细菌培养液生产和使用过程中需引起注意.

致谢 感谢广东省农业科学院兽医研究所水产研究室石和荣先生给予的帮助. 本工作为广东省自然科学基金(编号: 963043)和中国科学院广州地球化学研究所科技开发扶持基金资助项目.

参 考 文 献

- 1 许 积. 光合细菌的某些生物学特性. 水产科学, 1993, 12(2): 27~30
- 2 朱章玉, 俞吉安. 光合细菌的研究与应用. 上海: 上海交通大学出版社, 1992
- 3 Matsuura, Akihisa. US patent. 5820902, 1998-10-13
- 4 Truper H G, Imhoff J P. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol 3. Baltimore: Williams and Wilkins Co, 1989. 1658~1682
- 5 王家玲. 环境微生物学实验. 北京: 高等教育出版社, 1988. 30~34
- 6 国家环保局. 水与废水监测分析方法 (第三版). 北京: 中国环境科学出版社, 1989
- 7 北京大学数学力学系数学专业. 正交设计. 北京: 人民教育出版社, 1976. 164~195

(1999-08-16 收稿, 2000-01-12 收修改稿)