

乳制品厂污水中螺旋藻的生长及其对氮磷去除作用研究

马金才¹, 陈甫华², 陈天乙²

(1. 军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050; 2. 南开大学环境科学与工程学院环境科学系, 天津 300071)

摘要: 利用自制实验装置模拟开放跑道池式培养方式, 采用预处理过的乳制品厂污水为培养基, 在流动状态下, 研究了不同培养液含量和不同流速条件下对螺旋藻养殖的影响。结果表明, 乳制品厂污水经过简单的处理可以用于螺旋藻的培养, 在污水稀释率为 1 d 的情况下, 螺旋藻可以良好的生长并可以获得一定的产量。最高密度达到 $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (湿重), 氮的去除率在 85% 左右, 磷的去除率在 50% 以上。污水养殖螺旋藻的品质基本达到国家标准。

关键词: 螺旋藻; 污水; 营养物质; 去除

中图分类号: X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)05 – 0456 – 03

Growth of *Spirulina Platensis* in a Dairy Effluent and Its Removal of Phosphorus and Nitrogen

MA Jin-cai¹, CHEN Fu-hua², CHEN Tian-yi²

(1. Institute of Hygiene and Environmental Medicine, Academic of Military Medicine Science, Tianjin 300050, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Cultivating *Spirulina platensis* with pretreated dairy effluent under continuous flowing culture condition using modified open raceway pond was studied. The results illustrated that the wastewater was suitable to be used as culture medium of *Spirulina*. When dilution rate was 1d, the alga could grow well in pretreated dairy effluent, and a high biomass was obtained and the nutrient in the wastewater was efficiently removed. The highest density of algae was nearly $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (wet weight), the removal rate of nitrogen was about 85%, while phosphorus was more than 50%. The quality of *Spirulina* cultivated in wastewater reached the national hygiene standard of *Spirulina* with fair grade.

Keywords: *spirulina platensis*; wastewater; nutrient; removal

近年来, 由于大量富含氮磷等营养物质的污水排入近海水域, 使我国沿海地区大规模的赤潮现象时有发生, 造成了比较大的经济损失。如何经济有效地处理污水, 防止水体的富营养化, 更加引起人们的关注。本研究试图利用具有较高营养价值并能与细菌共生的螺旋藻来净化污水, 使污水净化与利用相结合, 达到环境与经济效益的统一。

研究表明, 废水尤其是食品工业废水可以作为生物学意义上的培养基养殖螺旋藻, 这方面已经有一些成功的实例, 而且污水中的氮磷等营养物质也在一定程度上得到了去除^[1,2]。本文利用乳制品厂污水, 在前期分批培养的工作基础上^[3], 利用自制的实验装置,

探讨了流动状态下添加培养液和不同污水稀释率条件下螺旋藻的生长状况和对氮磷等营养物质的去除效率, 探索了如何在流动条件下培养螺旋藻, 为实际应用污水养殖螺旋藻提供可以借鉴的方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 污水

污水取自天津市帕玛拉特乳制品厂的生产废水。经厌氧、加热、过滤等处理后, 即可用于培养螺旋藻。其中厌氧处理的目的是加速有机质的分解。

1.1.2 藻种及培养条件

钝顶螺旋藻 (*Spirulina platensis*) 购自中国科学院武汉水生生物研究所。采用改良的 Zarrouk 培养液保种。取处于对数生长期的螺旋藻用于下面的实验研

收稿日期: 2001 – 12 – 24

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(983606411)

作者简介: 马金才(1973—), 男, 硕士, 助理研究员, 从事环境学和卫生学研究。

究。

1.1.3 实验装置

采用自制的实验装置养殖螺旋藻。装置结构见图 1。

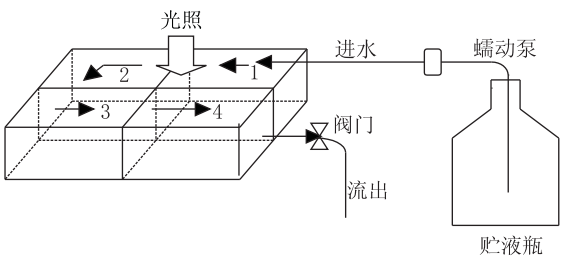


图 1 自制实验装置结构图

Figure 1 The device used to cultivate *S. platensis* 1, 2, 3 and 4 showing four compartments in sequent

实验装置由一个聚乙烯食品箱 (0.48 m × 0.35 m) 制成。被隔流板分为四个隔室 (图 1 中的 1、2、3、4)，隔流板由两块有机玻璃板组成，其中一块的顶部伸出水面，而底部则与箱底留一小缝；另一块恰好相反，两块隔流板相距约 0.05 m，隔流板的侧壁粘在食品箱的内壁上。这样，污水由底部流入，上部流出，污水可以得到混合而不会影响螺旋藻的生长。装置可以容纳大约 15 L 污水，深度约为 0.10 m。

1.2 实验方法

1.2.1 添加培养液条件下的流动培养

取预处理过的污水 (100% 污水)、污水 + 培养液 (体积比 95: 5) 及污水 + 培养液 (体积比 90: 10) 三种条件下连续流动培养螺旋藻。取处于对数生长期的螺旋藻接种到污水中，接种量约为 0.2 g · L⁻¹。实验中光照由 4 根 40W 的日光灯提供，光照强度在 5 000—6 000 Lx 之间，温度为 25 ℃ ± 1 ℃，24 h 光照，实验期间隔日进行藻类计数，计算螺旋藻的比增长速率 (R, d⁻¹)。实验进行 6 d，结束时，收获藻体，烘干称重。并取流出废液分析营养盐残留量。

1.2.2 不同污水稀释率污水培养实验

取预处理后的污水在稀释率 (D) 为 1 d 和 3 d 两种情况下实验。其余同 1.2.1。污水稀释率用下式计算：

$$D = V \cdot u^{-1}$$

式中：D 为污水稀释率，单位 d；V 为培养箱中污水的容积，单位 L；u 为污水流速，单位 L · d⁻¹。

1.2.3 污水养殖螺旋藻品质分析

对照国家食品级螺旋藻卫生标准 (GB/T19919 - 1997)，选取了水分、灰分、蛋白质含量和重金属等指

标来评价污水养殖螺旋藻的卫生安全性。

1.3 测试项目与方法

- (1) 蛋白质的测定采用考马斯亮兰法^[3]。
- (2) 螺旋藻的水分、灰分和重金属等指标参考文献[4]。
- (3) 总氮、铵态氮、总磷和溶解性正磷酸盐分析参照文献[5]。
- (4) 藻体干重：收集藻体在滤纸上 80 ℃ 烘干 4 h 后，在干燥器中冷却至恒重，称量。
- (5) 比增长速率 (R)： $R = \ln(x_2/x_1)/(t_2 - t_1)$ 式中：x₁ 为初始时的藻现存量，x₂ 为结束时的藻现存量；t₁ 为测定 x₁ 的日期 (d)，t₂ 为测定 x₂ 的日期 (d)。

2 结果与讨论

2.1 添加培养液实验

添加培养液实验中，污水的稀释率，即平均污水停留时间定为 6 d。隔日进行藻类计数，实验结束时，分析流出污水中氮磷浓度。计算螺旋藻比增长速率和氮磷去除率。废水成分见表 1。

表 1 添加培养液实验废水成分表 (mg · L⁻¹)

Table 1 The characteristics of wastewater with adding Zarrouk medium tests

项目	COD _{Cr}	T - N	NH ₄ ⁺ - N	T - P	PO ₄ ³⁻ - P	pH	盐度
处理前	587	15.2	0.74	2.96	0.78	7.8	1.1‰
处理后	186	13.4	4.56	2.78	2.24	10.5	—

注：“—”表示未测定。

由表 1 可见，污水的有机碳含量经过处理后下降很快，但是总氮和总磷的浓度没有明显下降。铵态氮上升到处理前的 6 倍，溶解性正磷酸盐的浓度上升到处理前的 3 倍。这样，污水经过厌氧、过滤的前处理后，适合养殖螺旋藻。

2.1.1 生长实验结果

实验结果表明，不添加培养液的一组只有一个隔室生长良好，添加 5% 的培养液有 2 个隔室生长良好，添加 10% 培养液的一组则有 3 个隔室长势良好。比增长速率在 0.3—0.4 d⁻¹ 之间。具体结果见表 2。

2.1.2 藻类生长量结果

添加 10%、5% 培养液的污水养殖的螺旋藻分别获得了高达 3.5 g · L⁻¹、3.2 g · L⁻¹ 的最高藻密度，但是没有添加任何培养液的纯污水也能培养螺旋藻，并且获得了 2.0 g · L⁻¹ 的最高藻密度。

2.1.3 污水中营养物质去除结果

表 2 添加培养液实验藻类生长结果

Table 2 Results of algae growth in adding Zarrouk media

组别	隔室	藻类数量(× 10 ⁴ 条 · L ⁻¹)		比增长速率(R, d ⁻¹)
		t = 1 d	t = 6 d	
污水(100%)	1	41	246	0.33
	1	42	390	0.39
污水 + 培养液 (95: 5)	2	48	325	0.40
	1	62	527	0.31
	2	56	537	0.41
污水 + 培养液 (90: 10)	3	45	340	0.37

螺旋藻对污水中的氮磷有比较好的去除效果。总氮的去除率全污水为 58%，在添加一定的培养液之后，总氮的去除效率有增加的趋势，可能是因为随着氮源供应的充足，藻类生长良好，对氮的利用率较高。由于全污水培养中污水的稀释率比较高，氮磷尤其是氮源的供应不够，造成藻类生长情况不好，反过来影响氮的吸收和利用。我们考虑下一步进行稀释率实验以减少污水停留时间来增加碳氮磷等营养物质的供应(表 3)。

表 3 添加培养液实验营养去除结果

Table 3 Results of the nutrient removal in adding Zarrouk medium tests

组别	总氮/mg · L ⁻¹			总磷/mg · L ⁻¹		
	t = 0d	t = 6d	去除率/%	t = 0d	t = 6d	去除率/%
污水(100%)	13.4	1.34	58.1	2.75	3.24	30.2
污水 + 培养液(95: 5)	34.1	7.70	76.0	4.08	3.15	22.2
污水 + 培养液(90: 10)	53.7	22.5	90.0	4.68	1.94	30.8

2.2 稀释率实验

添加培养液实验结果表明,螺旋藻可以在一定的条件下在 100% 污水中生长并获得一定的生物量。在稀释率实验中,不同的污水稀释率会影响污水对螺旋藻氮磷等营养物质的供应,而对螺旋藻的生长产生不同的影响。在污水的稀释率为 1 d 和 3 d 两种情况下观察藻类的生长和对氮磷等营养物质的去除情况。废水成分见表 4。

2.2.1 生长实验结果

由表 5 可知,污水稀释率为 1 d 的情况下,螺旋藻获得了良好的生长,比增长速率在 0.44—0.45 d⁻¹ 之间。说明污水的稀释率在 1 d 的情况下,螺旋藻因获

表 4 稀释实验废水成分表(mg · L⁻¹)

Table 4 The characteristics of wastewater in dilution tests

项目	COD _{Cr}	T - N	NH ₄ ⁺ - N	T - P	PO ₄ ³⁻ - P	盐度
处理前	956	22.8	1.23	4.21	1.07	1.20‰
处理后	341	21.6	5.57	3.61	2.81	—

注:“—”表示未测定。

表 5 稀释实验藻类生长结果

Table 5 Results of algae growth in dilution tests

组别	隔室	藻类数量(× 10 ⁴ 条 · L ⁻¹)		比增长速率(R, d ⁻¹)
		t = 0 d	t = 6 d	
D = 1 d	1	54	636	0.44
	2	48	789	0.45
	3	51	631	0.44
D = 3 d	1	47	961	0.49
	2	45	567	0.43
	3	42	143	—

注:“—”表示未测定。

得比较充足的营养而良好生长。

2.2.2 生长量实验结果

生长量结果显示(表 6),在稀释率为 1 d 的情况下,获得的螺旋藻最大生长密度达到了近 3 g · L⁻¹,比在稀释率为 3 d 的情况下高出 30%。

表 6 稀释实验生长量结果(g · L⁻¹,湿重)

Table 6 Results of alga production in dilution tests

组别	第一隔室	第二隔室	第三隔室	第四隔室	平均
D = 1d	3.23	3.33	3.21	2.14	2.98
D = 3d	3.36	3.24	1.07	1.04	2.17

2.2.3 营养物质去除结果

表 7 显示,在污水稀释率为 1 d 的情况下氮磷的去除率并没有因稀释率减少而下降。氮的去除率在 85% 左右,磷的去除率在 50% 以上,总有机碳去除率在 84%—87% 之间。

2.3 螺旋藻的品质研究

由表 8 可见,除蛋白质含量略小,其余指标均满足食品级螺旋藻卫生标准。如果改进实验方法,蛋白

表 7 稀释实验营养物质去除结果(%)

Table7 Results of nutrient removal in dilution tests

组别	T - P	PO ₄ ³⁻ - P	T - N	NH ₄ ⁺ - N	COD _{Cr}
D = 1d	49.3	53.7	83.5	87.6	87.0
D = 3d	58.7	70.1	84.2	88.6	84.1

表 8 螺旋藻品质分析结果

Table 8 Quality analysis results of Spirulina Platensis obtained from the wastewater

项目	色泽	气味	杂质	蛋白质/%	水分/%	灰分/%	铅/mg · kg ⁻¹	砷/mg · kg ⁻¹	镉/mg · kg ⁻¹	汞/mg · kg ⁻¹
	墨绿色	鲜藻味	显微镜检无异物	40.2	6.13	6.75	1.12	0.23	0.11	0.01
标准	蓝绿色	鲜藻味	显微镜检无异物	≥55	≤7	≤7	≤2.0	≤0.5	≤0.2	≤0.05