

利用废水、废弃物培养螺旋藻生产单细胞蛋白

CULTIVATION OF *SPIRULINA* IN WASTEWATER AND WASTES AND PRODUCTION OF SINGLE CELL PROTEIN

魏 东¹ 郭祀远² 李 琳²

(¹ 青岛海洋大学海洋生命学院 266003)

(² 华南理工大学轻化工研究所 广州 510641)

目前螺旋藻的生产中仍存在着高成本和低产率两大问题,致使现今规模的生产远未能达到理论指标 50 t/(ha·a)。

利用废水和废弃物培养螺旋藻,不仅可以变废为宝,净化环境,还将为螺旋藻养殖提供廉价原料,实为一举两得。目前,以色列、美国等国家已进行了小规模的应用,培养的螺旋藻可用作单细胞蛋白(SCP)饲料和化工原料,但国内的研究才刚刚起步。因而,利用废水、废弃物生产微藻单细胞蛋白极有应用潜力。

1 废水、废弃物与螺旋藻的养殖

在种类众多的废水、废弃物中,农业废水、生活污水、食品工业废水等含有大量的有机碳和有机氮营养物、无机盐和微量元素,排入水体将造成富营养化,导致水华、赤潮。国内外的研究已经证实,10余种性质不同的废水、废弃物,经过适当的预处理和改性后都能用于培养螺旋藻,废水也能得到净化。其中,农业废水、食品工业废水的绝大部分可直接或间接用于螺旋藻的养殖。

动物粪尿通常用于农业施肥,另一条途径是通过厌氧发酵以转化有机物并产生沼气作为燃料,而厌氧发酵后产生的有机酸和无机盐是藻类良好的营养物。P. Chung 等 1978 年报道,猪粪经厌氧发酵后,在室内螺旋藻光照培养塘内缓慢注入 10% 的废水,添加 NaHCO₃ 等无机盐,螺旋藻的产率可达 5 g/(m²·d),氮的同化效率为 76%。如用作单细胞蛋白饲喂小白鼠,其生物效价高达 67.7%,未发现毒性反应。R. D. Fox 1984 年报告将人的粪便经高温厌氧消化,其液态废水经过滤、稀释后纳入藻池可培养螺旋藻。藻体采用普通衬衣布过滤收集,在太阳下烘干几小时制成干粉,每 100 m² 每天的生物量产量为干藻粉 2 kg。O. Faucher 等 1977 年报道,在富含尿素的海水中添加

NaHCO₃ 或 Na₂CO₃, 以沉淀除去过量的 Ca²⁺ 和 Mg²⁺, 随后添加 2% (v/v) 猪粪尿的厌氧消化废水^[1], 在高速率氧化塘中接种并培养极大螺旋藻,收获的藻体蛋白最高含量达 71%,叶绿素含量达 1.9%。

好氧发酵的动物废物也可用于培养螺旋藻。R. O. Canizares 等 1993 年用猪粪悬液好氧发酵稳定后培养螺旋藻,藻粉中含蛋白质 36%,脂类 6%,粗纤维 0.02%,叶绿素 4 mg/L,完全符合单细胞蛋白的营养要求。此外,某些动物废物不经发酵处理也可直接用于培养螺旋藻。G. Oron 等 1979 年用牛粪作螺旋藻生长的唯一氮源来代替 NaNO₃; J. F. Wu 等 1981 年用牛尿、污水、猪血加到培养基中也可培养螺旋藻。C. V. Seshadri 1979 年和 E. W. Becker 等 1984 年用骨肉、尿为营养源,以粗海盐提供微量元素,在浅水道塘里可获得 8~12 g/(m²·d) 的螺旋藻产量,粗蛋白高达 62.5%,但比绿藻的生产周期长一倍,产量也低于绿藻的平均产量 15~25 g/(m²·d)。另外,G. Shelef 1980 年发现粗牲畜废物首先经过沼气池消化,螺旋藻的生长则不会出现延迟期。

食品及发酵工业废水是生物学上的完全培养基。本文作者用甘蔗糖厂发酵糖蜜生产酒精、酵母所产生的废水培养螺旋藻,取得了良好的效果。先采用 Na₂CO₃ 絮凝法预处理两类废水,经适当稀释后在强光下分批培养螺旋藻,能够获得 1.04 g/L 的螺旋藻最高细胞密度^[1]。随后,又通过补料分批培养将螺旋藻的最高生物量提高到了 2.1 g/L。收获的藻粉中粗蛋白占干重的 41.07%,碳水化合物占干重的 45.7%,光合色素中藻蓝蛋白含量为干重的 11.64%,叶绿黄素和 β-胡萝卜素含量是自养生长时的 2.54 倍和 1.83 倍(结果尚未发表),说明这两种废水培养的藻粉是一种优质单细胞蛋白资源,同时也为废水处理工程带

收稿日期:1998-06-16

来了效率和收益,具有极其光明的应用前景。另外,李祥林等 1987,1993 年报道了味精肌苷废水、制药、酿造、制革等工业有机废水也可培养螺旋藻。刘慧等 1993 年用缫丝废水培养钝顶螺旋藻,当废水量占 10% 时,藻类生物量可达 11.2 g/L。在螺旋藻浅水道培养池中适当添加造纸黑液,生物量产量可高达 9.01 g/d^[5]。废水处理厂的二级废水(活性污泥法的出水)培养极大螺旋藻,可获得的最大生物量干重为 0.77 g/L,蛋白含量占干重的 28.3%~50.5%。

2 废水性质与螺旋藻混合营养生长

以前认为螺旋藻是一种专性的自养微藻。F. J. Marquez 等 1993 年的研究发现,螺旋藻在光下能利用有机碳(如葡萄糖、醋酸盐)和有机氮(氨基酸、尿素等)化合物进行异养生长和混合营养生长,且混合营养生长要优于光自养生长,其生长速率等于自养与异养生长速率之和,并未发现延迟期。N. Kosaric 等 1974 年指出,螺旋藻在废水中的生长状态取决于许多因素,如藻的浓度、废水中各类营养物的起始浓度以及培养条件等。在大多数情况下,氮磷比是藻类生长的限制因子,但在含氮、磷很丰富的废水中,碳有可能成为生长限制因子。在高浓度的废水中,特别是当水体混浊时,光更可能是限制因子。

已有的研究表明,螺旋藻的混合营养生长是个限制性过程,在低光强或低有机碳化合物浓度下会限制细胞的生长;但光强过高或有机碳化合物浓度过高亦会限制细胞的生长。葡萄糖和醋酸盐的存在能促进螺旋藻藻蓝蛋白的产生,但醋酸盐浓度过高将抑制细胞的生长。在混合营养下,光合作用和葡萄糖氧化代谢同时存在。在相对高的光强下,光合作用为主;但在低光强下,葡萄糖氧化代谢为主^[2]。

螺旋藻能利用多种有机氮化合物作为氮源。在适当的浓度下,蛋白水解物对螺旋藻的生长有明显的刺激作用^[4]。尿素能在低浓度下(0.2 g/L)作为 NaNO₃ 的替代物供螺旋藻生长之用,且供氮效率要比 NaNO₃ 高出一倍,但是尿素浓度高于 2 g/L 时将抑制螺旋藻的生长。蛋白胨和葡萄糖共存对螺旋藻生长有协同促进作用。

3 利用废水、废弃物培养螺旋藻生产单

细胞蛋白的优势和所面临的问题

早在 1969 年, Oswald 就提出用甲烷发生器的废水生产小球藻(*Chlorella*)和栅裂藻(*Scenedesmus*)等微藻作为单细胞蛋白。但因为它们体积非常微小,需要用离心或絮凝法收获,导致成本提高。而螺旋藻藻丝自动絮凝上浮,无需离心或絮凝就可以收获,避免了大量设备投资和复杂操作。另外,螺旋藻具有良好的生态适应性,藻体含有大量的蛋白质和其他天然产物,营养均衡,很适合作为单细胞蛋白或深加工的原料,应用范围极为广范。因此,在近 20 a 来,利用废水中的营养物质培养螺旋藻以生产单细胞蛋白取得了相当大的进展。

但是,废水培养螺旋藻尚存在着不少有待于解决的问题,主要包括:(1)所用的螺旋藻种大多未经过专门驯化和筛选,与其他绿藻和细菌相比,生长速度慢,世代时间长,相对生物量产量低,生长竞争力弱。(2)一般只能用其他方法的出水进行培养,能承受的有机负荷较低,需要消耗大量的稀释水,加之生长受自然条件和操作条件等许多客观因素的制约,实现大规模应用还有相当的难度。(3)对螺旋藻的混合营养生理学还缺乏了解,实际应用中缺乏系统的理论指导和依据。因此,只有对螺旋藻的混合营养生理学进行更深入系统的研究,结合驯化和筛选高效混合营养型藻种,实现优化工艺设计与配套,才能真正利用废水、废弃物培养螺旋藻生产单细胞蛋白,以取得良好的社会效益。

参考文献

- 1 魏东、郭祀远等。中国甜菜糖业,1997,6:13~16
- 2 Chen, F. and Yiming Zhang *et al.* *Biotechnol. Lett.*, 1996, 18: 603~608
- 3 E. J. Olguin and B. Hernandez *et al.* *World J. Microbiol. Biotechnol.* 1994, 10: 576~578
- 4 G. Singh and R. M. Kothari *et al.* *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 1995, 50: 285~290
- 5 V. S. Chauhan and G. Singh *et al.* *Biotechnol. Prog.*, 1995, 11: 457~460