

废水中紫色光养细菌产胞外多糖性能比较及高产菌株特性研究*

武敬^{1,2,3} 王一明^{1,2} 林先贵^{1,2†}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008)

(3 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 利用废水生产胞外多糖是一种既能实现废水处理又能达到废水资源化的双赢方法,也是目前胞外多糖研究的热点。为得到能在废水中高产胞外多糖的紫色光养细菌(Purple Phototrophic Bacteria, PPB)菌株,本研究首先以化学合成培养基和不同比例豆制品废水和玉米淀粉废水混合培养基培养 11 株 PPB,提取并测定其胞外多糖,结果发现不同菌株产胞外多糖能力不同,且有机废水较化学合成培养基更有利于菌株分泌胞外多糖。经两轮筛选得到一株产胞外多糖能力较高的菌株 J4,高产培养基为豆制品废水,胞外多糖含量高达 140 mg g⁻¹ 菌体干重。且 J4 在豆制品废水中的生长试验表明,菌株 J4 不仅降低了废水的化学需氧量 COD (>90%),同时分泌大量胞外多糖。通过 Sephadex G-50 柱层析结果发现该胞外多糖的分子量较大,具有一定的研究价值。综上,本试验获得了高产菌株 J4,同时发现利用有机废水能够得到大量的 PPB 胞外多糖,为获得低价的多糖材料提供了一定依据。

关键词 豆制品废水;玉米淀粉废水;柱层析;扫描电镜

中图分类号 X703.1 **文献标识码** A

紫色光养细菌(Purple Phototrophic Bacteria, PPB)是一类能够进行光合作用的原核细菌,其代谢模式丰富,分布广泛。PPB 分解有机物的能力较强,对于重金属和高浓度有机物的损伤有很好的耐受性^[1-3]。PPB 还具有固氮、解磷等能力,可促进植物生长,已成功应用于水稻、番茄及双孢菇种植^[4-6]。此外,可结合以上两点用于污染物的植物修复,利用微生物促进、强化植物的修复效果也是常用的方法^[7]。无论是在废水、植物组织表面或是土壤中,PPB 能缓解不利物质的胁迫、成功存活于植物表面或者土壤并发挥其功能,均依赖于其独特的胞外性质,尤其是胞外多糖。因此,研究 PPB 的胞外多糖对于了解其环境修复能力和定殖机理具有指导意义。Sheng 等^[8]研究表明当培养基中存在有害物质时,PPB 胞外多糖的分泌会增强。

胞外多糖是微生物为抵御环境中的胁迫(如重

金属、高盐)时分泌的一种保护性物质,用以减轻细胞损伤,维持正常生长。研究多次报道微生物的胞外多糖产量明显受到培养基组成的影响,如 Fukuda 等^[9]研究发现 *Lactobacillus fermentum* TDS030603 的胞外多糖产量在不同的培养基和不同的培养条件下差异很大;Kwon 等^[10]以 *Cordyceps militaris* 为对象的研究表明,碳源为葡萄糖或甘露糖,氮源为酵母膏时,该菌株胞外多糖的含量会由 2.53 g L⁻¹ 增加至 6.74 g L⁻¹。此外,碳氮比也对胞外多糖的合成也有很大影响,高碳氮比能够刺激微生物分泌胞外多糖^[11-12]。而通常实验室用化学合成培养基培养微生物获得胞外多糖,培养基中养分比例适宜,有益于微生物生长,但对胞外多糖的分泌不一定有利,而高浓度有机废水中通常有机物质含量高,碳氮比较高,这种环境可能更有利于细菌在生长代谢时分泌胞外多糖。

* 国家“十二五”科技支撑计划(2013BAD11B01)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA05020803)和国家农业部“948”项目(2011-G15)资助

† 通讯作者, E-mail: xglin@issas.ac.cn

作者简介:武敬(1985—),女,河北人,博士研究生,主要从事应用微生物方面的研究。E-mail: wujing@issas.ac.cn

收稿日期:2013-09-04;收到修改稿日期:2013-10-16

本研究旨在通过比较 11 株 PPB 在化学合成培养基与有机废水培养基中胞外多糖积累的差异,获得高产菌株,并确定适宜的培养基,从而为利用有机废水开发新型胞外多糖及获得低价胞外多糖拓展一条途径。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试菌株:11 株 PPB 由本实验室分离保存,经功能基因鉴定均为 *Rhodospseudomonas palustris*, 编号为 J1-J11^[13]。

培养基配制:化学合成培养基即传代培养基,

配制方法为:5.5 g $\text{Na}_2\text{H}_2\text{PO}_4$, 2.0 g Na_2CO_3 , 1.0 g NH_4Cl , 0.25 g MgCl_2 , 0.05 g CaCl_2 , 1.5 g D, L-苹果酸,并添加以下元素:1 ml $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{ClN}_4\text{OS}$ (1 g L^{-1}), 1 ml $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ (0.1 g L^{-1}), 1 ml $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_3\text{S}$ (0.05 g L^{-1}), 0.3 ml H_3BO_4 (10 g L^{-1}), 0.05 ml Na_2MoO_4 (16 g L^{-1}), 0.1 ml ZnSO_4 (2.4 g L^{-1}), 0.2 ml MnSO_4 (8 g L^{-1}), 0.2 ml CuSO_4 (0.2 g L^{-1}), 定容至 1 L, 调节 pH 至 7.0, 115 °C 灭菌 30 min。

有机废水培养基配制:将收集自山东诸城某淀粉厂的玉米淀粉废水和南京某豆制品加工店的豆制品废水按比例配制成 5 种培养基(表 1), 分别标以 A、B、C、D、E, 灭菌前调节 pH 至 7.0, 115 °C 灭菌 30 min。

表 1 不同培养基废水比例

Table 1 Media of wastewater different in composition ratio

培养基 Media	玉米淀粉废水:豆制品废水 Wastewater from corn starch production and from soybean-processing	稀释倍数 Dilution factor	总碳含量 Total C content (g L^{-1})
A	1:0	21	1.00
B	9:1	20	1.00
C	1:1	13	1.00
D	1:9	6	1.00
E	0:1	4.5	1.00

1.2 菌株产胞外多糖能力的比较方法

将 11 株菌分 3 批进行试验,每个菌株 3 个平行。于 125 ml 的经灭菌的三角瓶中分别加入 5 种不同比例的废水培养基,并以化学合成培养基为对照(CK)。加入 10 ml OD600 为 1.2 的菌液接种,随后密封瓶体。放置在强度为 2 400 lux 的白炽灯下照射,于 $30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 培养 5 d。培养结束后,混匀三角瓶中的菌液,取 50 ml 菌液于 100 ml 预先称重的离心管中 $4\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 20 min,弃上清液,置 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱中 48 h, 称重。另取 50 ml 菌液 $4\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 20 min,弃上清液,加入 50 ml 无菌水,重悬菌体, $4\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 20 min,重复 2 次。此后加入 50 ml 无菌水,于 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴加热 1 h,期间每 20 min 混匀一次。加热结束后 $10\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 30 min,取 1 ml 上清液以苯酚硫酸法测胞外多糖的含量。

以胞外多糖产量与菌体干重的比值为比较标准,筛选比值较高的菌株进行再次比较。再次比较中仅用有机废水培养基培养,方法如上所述,每株 3 个平行。最终胞外多糖与菌体干重比较最高的菌株为高产菌株。

1.3 高产菌株的生长曲线与 COD 去除曲线

按照 1.2 将筛选得到的高产菌株接种于高产培养基,培养 120 h,每隔 12 h 测定一次菌体干重,绘制菌体生长曲线;同时收集菌液,测定其胞外多糖含量,绘制胞外多糖的分泌曲线。此外,菌液 $4\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 10 min 后采集上清液,采用重铬酸盐法进行水质化学需氧量(COD)的测定(GB 11914-89)。

1.4 高产菌株胞外多糖的柱层析图谱

以高产培养基培养高产菌株,培养结束后收集菌体,提取菌体胞外多糖,乙醇沉淀、双蒸水重悬、过 Sephadex G-50 分子筛($\Phi 2 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$),分管收集,每 5 管测定多糖浓度得到柱层析图谱。用 Dextran T-3、Dextran T-10 和 Dextran T-70(分子量分别为 3 000、2 万和 7 万)3 个标准分子量对色谱柱进行校准,以确定该多糖的分子量范围。

1.5 高产菌株的扫描电镜观察

将培养至胞外多糖分泌高峰期的高产菌体, $4\ 000 \text{ r min}^{-1}$ 离心 10 min,弃上清,加入少量 PBS 缓冲液($1.093 \text{ g L}^{-1} \text{ NaH}_2\text{PO}_4$, $0.3175 \text{ g L}^{-1} \text{ NaHPO}_4 \cdot$

H₂O, 8.475 g L⁻¹ NaCl), 4 °C 保存^[14]。导入 2.4% 戊二醛固定, 在冰箱冷藏 2 h 后用 PBS 缓冲液再次清洗。用 1% 四氧化钨固定 2 h, PBS 缓冲液再次清洗, 乙醇脱水, 用 50%、70% 和 90% 的乙醇分别浸泡 8 min, 然后 100% 乙醇脱水 15 min。每次清洗后均 4 000 r min⁻¹ 离心 10 min。醋酸异戊酯浸泡过夜。用六甲基二硅胺烷 (HMDS) 干燥 3 min。干燥好的菌体粉末用导电胶粘附喷金 3 min, 上镜检^[15]。

1.6 数据统计分析

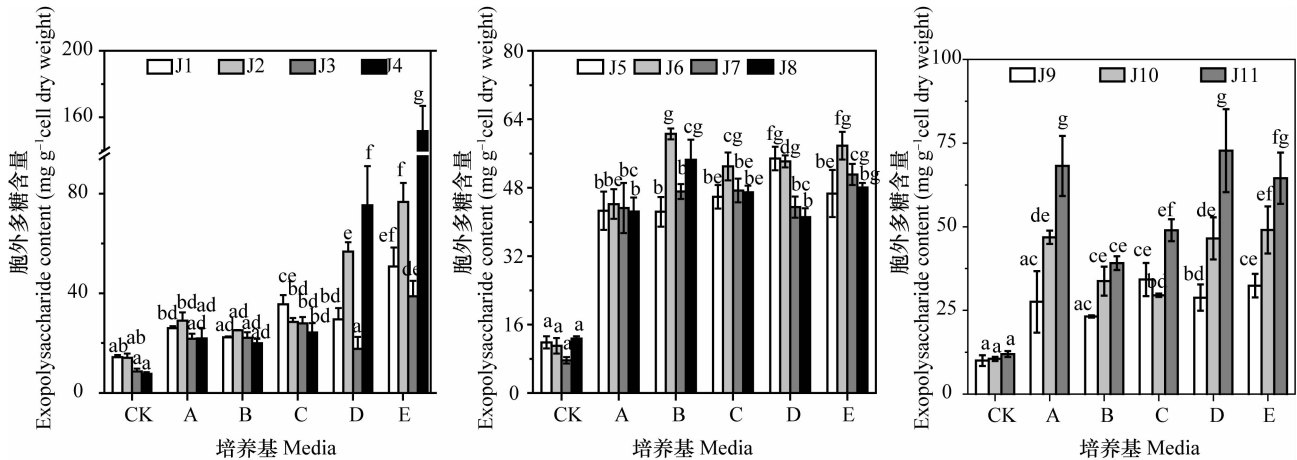
所有结果均有 3 个重复, 运用 SPSS 13.0 进行统计分析, 并使用 Duncan 检验进行多重比较 ($p < 0.05$), 图由软件 Origin 8.0 绘制。

2 结 果

2.1 菌株产胞外多糖性能比较

11 株 PPB 经培养、提取并测定其胞外多糖后所得结果见图 1。不同 PPB 菌株在不同培养基中产胞外多糖量存在差异。且不同菌株在有机废水培养

基中产胞外多糖的能力均高于化学合成培养基, 其中, 11 株菌产糖量在化学合成培养基中均低于 20 mg g⁻¹ 菌体干重, 而在废水培养基中均高于 20 mg g⁻¹ 菌体干重, 最高可达 150 mg g⁻¹ 菌体干重。此外, 对于同一菌株而言, 在不同培养基中产胞外多糖的能力也不一致, 除 J9 外, 其他菌株在不同的培养基中产胞外多糖量有显著性差异 ($p < 0.05$)。对于本试验中的多数菌株而言, 单一的有机废水培养基更能够刺激菌株分泌胞外多糖, 如 J1、J2、J3、J4、J7 和 J10 在 E 培养基 (豆制品废水) 中胞外多糖的分泌较多, A 培养基 (玉米淀粉废水) 则更有利于 J11 分泌胞外多糖, 而菌株 J9 在 A 和 E 中均能够大量分泌胞外多糖; 此外, 菌株 J5、J6 和 J8 在 B 和 D 培养基 (豆制品和玉米淀粉废水混合培养基) 中分泌胞外多糖的能力较强。综上, E 培养基更有利于 PPB 合成胞外多糖, 并通过比较 11 株 PPB 在不同培养基中的产胞外多糖能力, 选出能力较高的菌株: 为 J4、J6 和 J11。



注: CK 为化学合成培养基, A—E 为玉米淀粉废水与豆制品废水配制而成, 比例为 A. 1:0; B. 9:1; C. 1:1; D. 1:9; E. 0:1; 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 误差线为标准偏差。下同 Note: CK stands for chemical composed medium, A—E for media different in mixing ratio of corn starch wastewater and soybean-processing wastewater, A. 1:0; B. 9:1; C. 1:1; D. 1:9; E. 0:1; Means followed by different lowercase letters are significant in difference at 5% level. Error bar was STD. The same below

图 1 不同 PPB 菌株产胞外多糖性能的比较

Fig. 1 Comparison between different PPB strains in exopolysaccharide producing capacity

将通过比较得到的三株菌进行再次比较, 得到结果如图 2 所示, 各菌株胞外多糖在不同培养基中的分泌规律与上述结果一致, 且得到在 B、E 培养基中均高产胞外多糖的菌株 J4, 其在 E 培养基中产量最高, 可达 140 mg g⁻¹ 菌体干重。

2.2 高产菌株的特性

由图 3a 可以看出, 在豆制品废水中接种菌株 J4 后, 经过 24 h 的生长停滞期进入指数生长期, 第 48 h 达到稳定期, 且稳定期持续至 120 h, 说明培养基营养丰富, 能够维持菌体较长时间的生长。此外,

由于菌株 J4 的生长代谢,豆制品废水的 COD 大大降低,在接种后 36 h 已降低了 79.9%,生长至 108 h,COD 去除率达到 91.8% (图 3b),表明 J4 处理可以降低豆制品废水直接排放所造成的对环境的不利影响。

同时,菌株 J4 分泌的胞外多糖分泌量随着菌体生长也在变化(图 4a),在前 60 h 分泌速度逐渐加快,第 84 小时达到分泌高峰期(160 mg g⁻¹),之后胞外多糖分泌量稍有降低达到相对稳定的水平。将第 84 小时的菌体胞外多糖提取出来,沉淀得到的粗多糖进行柱层析,结果发现仅在层析初期出现了一个较高的多糖吸收峰(图 4b),表明 J4 的胞外多糖为大分子多糖,据标准曲线计算分子量可达 8 ~ 10 万,可能具有一定的应用和研究价值。

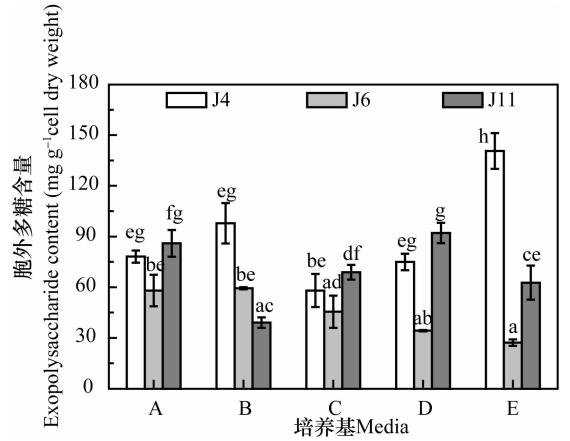


图 2 入选菌株在有机废水培养基中产胞外多糖性能的比较

Fig. 2 Exopolysaccharide producing performances of selected strains in media of organic wastewater

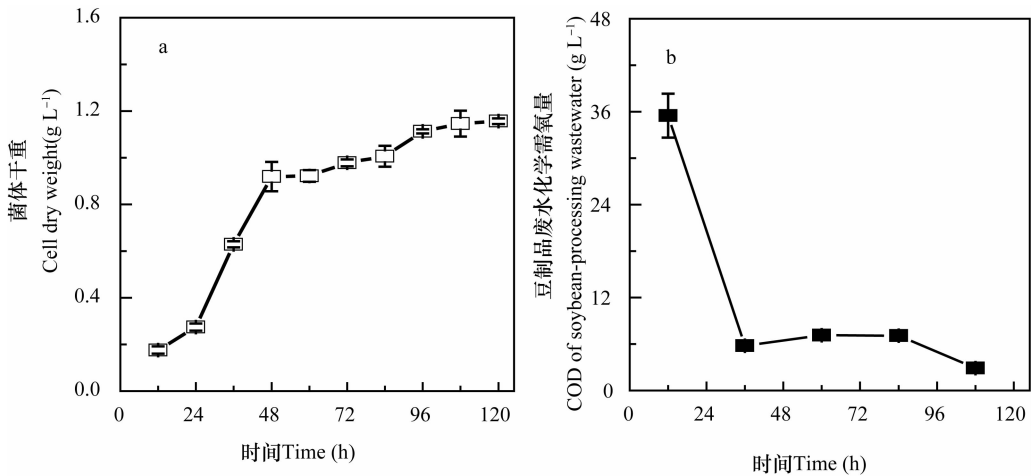


图 3 菌株 J4 在豆制品废水中的生长曲线(a)及废水 COD 的变化(b)

Fig. 3 Growth curve of Strain J4 in wastewater from soybean-processing (a) and variation of COD in the wastewater (b)

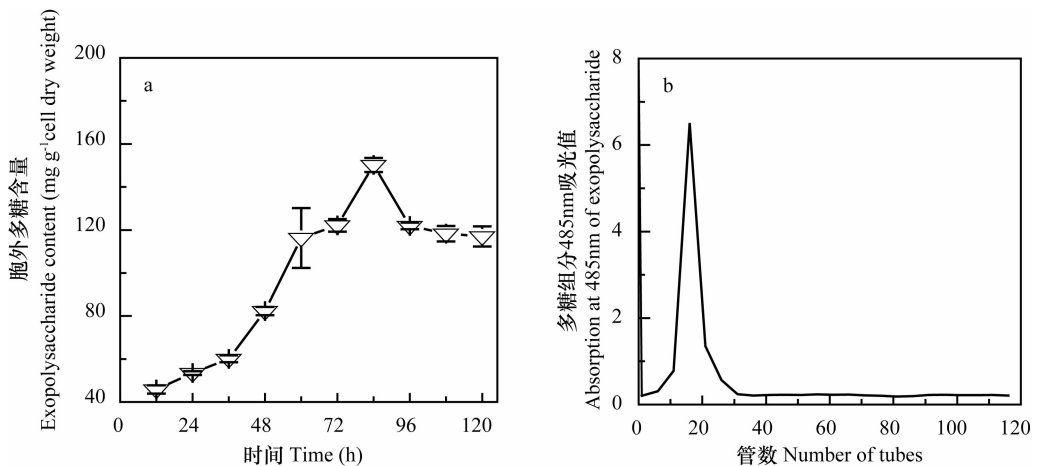


图 4 菌株 J4 在豆制品废水中胞外多糖的分泌曲线及其胞外多糖的柱层析图谱 (a. 胞外多糖产量的变化;b. 胞外多糖的柱层析图谱)

Fig. 4 Exopolysaccharide exudation curve of Strain J4 in wastewater from soybean-processing and chromatography of the exopolysaccharide (a. variation of exopolysaccharide production; b. chromatography of exopolysaccharide)

此外,将接种于豆制品废水中第84小时的J4菌体,即处于胞外多糖分泌高峰期的菌体进行扫描电镜观察,如图5所示,发现在菌体分泌了大量的胞外多糖,胞外多糖将细胞包裹在内形成细胞簇,细胞簇与细胞簇相互粘合,形成紧密的片状结构。

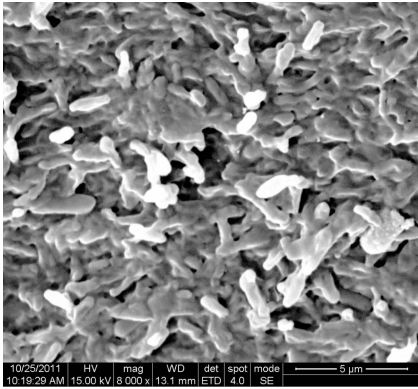


图5 菌株J4的扫描电镜观察(8000×)

Fig. 5 SEM photo of Strain J4 in the core (8000×)

3 讨论

PPB胞外多糖的研究起步较早,作为PPB的重要胞外产物,学者们首先明确了其多糖的组分^[16-17]。此后,研究逐渐集中不同培养条件对于胞外多糖含量、组成以及作用等方面的影响,结果发现PPB胞外多糖在细菌粘附、生物膜的形成,以及抵抗极端不利环境方面具有重要的作用^[18-20]。随着PPB代表菌株*R. palustris*全基因组测序完成,在其全基因组中发现了用于编码胞外多糖的基因*rpa 3342-apa3357*^[21]。但是,已有的研究多局限于多糖一级结构和基本生理作用,对于大分子多聚糖的生物学活性和应用研究缺乏,本研究获得的高产菌株*R. palustris* J4可用作进一步明确胞外多糖生物学意义的研究材料。

报道称胞外多糖的产生是微生物在不利环境下的产物,不同PPB在有机废水中分泌胞外多糖的能力较在化学合成培养基中更强,可能是由于废水中存在的高浓度的有机物和高浓度的盐离子对其产生了一定的胁迫。利用豆制品废水、玉米淀粉废水等有机废水培养PPB能够增强PPB分泌胞外多糖的能力,最大可提高菌株胞外多糖含量达14.3倍。这表明利用废水培养PPB可获得大量胞外多糖,如Lopez等^[22-23]利用橄榄油厂废水培养*Xanthomonas campestris*可生产黄原胶。Aguilera等^[24]

也发现*Paenibacillus jamilae* sp. 利用橄榄油厂废水培养可获得新型胞外多糖。但是不同的有机废水的效果不尽相同,原因可能在于培养基的碳氮比和碳源种类不同影响了胞外多糖的合成^[20,22]。本研究中豆制品废水和玉米淀粉废水碳氮比不同,碳源组分也不相同,可能是导致不同比例废水培养基中产胞外多糖能力改变的重要因素。本研究所用豆制品废水碳氮比为17.6,高于玉米淀粉废水的碳氮比(10.4),研究表明高碳氮比更有利于胞外多糖的分泌^[10];此外,豆制品废水和玉米淀粉废水中的碳源种类不同。据报道,豆制品废水碳源主要有水苏糖、棉子糖等寡糖,柠檬酸等有机酸,大豆乳清蛋白、大豆凝血素、氨基酸、脂类等,而玉米淀粉废水中则以淀粉(多聚糖)和蛋白质为主^[25-26]。PPB具有极其多样的碳代谢能力,在当小分子有机酸作为碳源时,可通过不同的代谢途径分别利用不同类型的有机酸^[27]。豆制品废水中小分子的碳源较多,组成成分丰富,而玉米淀粉废水中碳源为大分子物质且成分相对较少,因此可能PPB针对不同碳源进行了有差异的代谢,胞外多糖也是碳代谢中的一部分,可能因碳代谢途径的改变而产生差异。

从上述结果也可以发现,细菌分泌胞外多糖受多种因素影响,包括环境、培养基成分等,单独用某一种培养基作为普适性培养基来筛选高产胞外多糖的菌株是不合理的,应综合比较不同菌株在不同培养基上的产糖能力,尤其是针对碳代谢多样性的菌株,如PPB,结合不同培养基的产量结果才能够达到筛选的目的。

4 结论

本文经过对比试验得到一株产胞外多糖能力较高的菌株J4,可作为研究PPB胞外多糖的菌种材料;同时发现,资源化利用有机废水可获得PPB胞外多糖,这为胞外多糖的生产提供了一条低成本途径。此外,由于PPB具有碳代谢多样性,综合比较其在多种培养基中的产胞外多糖能力才能够获得高产菌株。

参考文献

- [1] Seki H, Suzuki A, Mitsueda SI. Biosorption of heavy metal ions on *Rhodobacter sphaeroides* and *Alcaligenes eutrophus* H16. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1998, 197(2): 185-190
- [2] Bai H J, Zhang Z M, Guo Y, et al. Biosynthesis of cadmium sulfide nanoparticles by photosynthetic bacteria *Rhodospseudo-*

- monas palustris*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2009, 70(1): 142—146
- [3] Colica G, Caparrotta S, Bertini G, et al. Gold biosorption by exopolysaccharide producing cyanobacteria and purple nonsulphur bacteria. Journal of Applied Microbiology, 2012, 113 (6): 1380—1388
- [4] Han J R. The influence of photosynthetic bacteria treatments on the crop yield, dry matter content, and protein content of the mushroom *Agaricus bisporus*. Scientia Horticulturae, 1999, 82 (1/2): 171—178
- [5] Harada N, Nishiyama M, Otsuka S, et al. Effects of inoculation of phototrophic purple bacteria on grain yield of rice and nitrogenase activity of paddy soil in a pot experiment. Soil Science and Plant Nutrition, 2005, 51(3): 361—367
- [6] Lee K H, Koh R H, Song H G. Enhancement of growth and yield of tomato by *Rhodospseudomonas* sp. under greenhouse conditions. Journal of Microbiology, 2008, 46(6): 641—646
- [7] 马莹, 骆永明, 滕应, 等. 根际促生菌及其在污染土壤植物修复中的应用. 土壤学报, 2013, 50(5): 1022—1032. Ma Y, Luo Y M, Teng Y, et al. Plant growth promoting rhizobacteria and their role in phytoremediation of heavy metal contaminated soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2013, 50 (5): 1022—1032
- [8] Sheng G P, Yu H Q, Wang C M. FTIR-spectral analysis of two photosynthetic H₂-producing strains and their extracellular polymeric substances. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006, 73(1): 204—210
- [9] Fukuda K, Shi T, Nagami K, et al. Effects of carbohydrate source on physicochemical properties of the exopolysaccharide produced by *Lactobacillus fermentum* TDS030603 in a chemically defined medium. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(4): 1040—1045
- [10] Kwon J S, Lee J S, Shin W C, et al. Optimization of culture conditions and medium components for the production of *Mycelial* biomass and exopolysaccharides with *Cordyceps militaris* in liquid culture. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2009, 14 (6): 756—762
- [11] Kim S W, Hwang H J, Xu C P, et al. Influence of nutritional conditions on the mycelial growth and exopolysaccharide production in *Paecilomyces sinclairii*. Letters in Applied Microbiology, 2002, 34(6): 389—393
- [12] Smiderle F R, Olsen L M, Ruthes A C, et al. Exopolysaccharides, proteins and lipids in *Pleurotus pulmonarius* submerged culture using different carbon sources. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 368—376
- [13] 冯有智, 武敬, 王一明, 等. 不同生境中沼泽红假单胞菌基因型多样性分析. 微生物学通报, 2010, 37(12): 1836—1842. Feng Y Z, Wu J, Wang Y M, et al. The genotype diversity of *Rhodospseudomonas palustris* in different habitats (In Chinese). Microbiology China, 2010, 37(12): 1836—1842
- [14] Liu Y, Li J, Qiu X F, et al. Bactericidal activity of nitrogen-doped metal oxide nanocatalysts and the influence of bacterial extracellular polymeric substances (EPS). Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2007, 190: 94—100
- [15] 李培京. 扫描电镜生物样品制备与观察. 现代科学仪器, 2008(3): 124—125 Li P J. Methods of biological sample preparation and observation for scanning electron microscope (In Chinese). Modern Scientific Instruments, 2008(3): 124—125
- [16] Roppel J, Mayer H, Weckesser J. Identification of a 2,3-diamino-2,3-dideoxyhexose in lipid: A component of lipopolysaccharides of *Rhodospseudomonas viridis* and *Rhodospseudomonas palustris*. Carbohydrate Research, 1975, 40(1): 31—40
- [17] Weckesser J, Mayer H, Schulz G. Anoxygenic phototrophic bacteria: Model organisms for studies on cell wall macromolecules// Blankenship R, Madigan M, Bauer C. Anoxygenic photosynthetic bacteria. Vol 2. Advances in photosynthesis and respiration. Netherlands: Springer, 2004: 207—230
- [18] Sheng G P, Yu H Q, Wang C M. FTIR-spectral analysis of two photosynthetic H₂-producing strains and their extracellular polymeric substances. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006, 73(1): 204—210
- [19] Sheng G P, Yu H Q, Yue Z. Factors influencing the production of extracellular polymeric substances by *Rhodospseudomonas acidophila*. International Biodeterioration & Biodegradation, 2006, 58(2): 89—93
- [20] Tapia J M, Munoz J A, Gonzalez F, et al. Extraction of extracellular polymeric substances from the acidophilic bacterium *Acidiphilium* 3. 2Sup(5). Water Science and Technology, 2009, 59 (10): 1959—1967
- [21] Larimer F W, Chain P, Hauser L, et al. Complete genome sequence of the metabolically versatile photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris*. Nature Biotechnology, 2004, 22 (1): 55—61
- [22] Lopez M J, Ramos C A. Xanthan production from olive-mill wastewaters. International Biodeterioration & Biodegradation, 1996, 38(3/4): 263—270
- [23] Lopez M J, Moreno J, Ramos-Cormenzana A. *Xanthomonas campestris* strain selection for xanthan production from olive mill wastewaters. Water Research, 2001, 35(7): 1828—1830
- [24] Aguilera M, Monteoliva-Sanchez M, Suarez A, et al. *Paenibacillus jamilae* sp. nov., an exopolysaccharide-producing bacterium able to grow in olive-mill wastewater. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2001, 51 (5): 1687—1692
- [25] 蔡晶, 柴社立, 芮铭先, 等. 玉米淀粉废水的处理技术. 环境工程, 2007, 25 (1): 3. Cai J, Chai S L, Rui M X, et al. Techniques of corn starch wastewater treatment (In Chinese). Environmental Engineering, 2007, 25(1): 3
- [26] 李林. ABR与MSBR联合处理豆制品废水的工程应用. 长沙: 湖南大学, 2008. Li L. A practical case of soybean processing wastewater treatment with the anaerobic baffled reactor (ABR) and modified sequencing batch reactor (MSBR) (In Chinese). Changsha: Hunan University, 2008
- [27] Pfennig N. Photosynthetic bacteria. Annual Review of Microbiology, 1967, 21: 285—324

COMPARISON BETWEEN PURPLE PHOTOTROPHIC BACTERIA IN EXOPOLYSACCHARIDE-PRODUCING PERFORMANCE IN WASTEWATER AND CHARACTERIZATION OF HIGH-YIELD STRAIN

Wu Jing^{1,2,3} Wang Yiming^{1,2} Lin Xiangui^{1,2†}

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Joint Open Laboratory of Soil and the Environment, Hong Kong Baptist University & Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(3 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract Production of exopolysaccharide (EPS) using wastewater is an optimal approach to treating wastewater by turning it into resource and hence a hot pot in the study of EPS. To screen out a high-EPS-producing strain of Purple Phototrophic Bacteria (PPB), an in-lab experiment was carried out cultivating 11 strains of PPB in a kind of chemically composed medium and media of organic wastewater composed of wastewaters from soybean-processing and corn starch production at different ratios, separately. In the end of the experiment, the media were analyzed for extraction of EPS and for comparison. Results show that the strains of PPB varied in EPS producing capacity and that organic wastewater was more conducive to EPS production than the chemical medium. After two cycles of comparison, Strain J4 was screened out to be the highest- EPS-producing strain. In the wastewater from soybean processing, Strain J4 produced as high as 140 mg g⁻¹ cell dry weight of EPS and as a result, it reduced wastewater COD by over 90%. The analysis with Sephadex G-50 chromatography shows that the EPS produced by J4 is high in molecular weight and has a certain research value. To sum up, through the cultivation experiment, a strain of high-EPS-producing PPB, J4 was obtained, and was proved to be able to produce large volumes of EPS by organic wastewater, which could be used as a basis for finding and producing cheap polysaccharide materials.

Kdy words Wastewater from soybean-processing; Wastewater from production of corn starch; Chromatography; SEM

(责任编辑:卢 萍)