

研究报告

脱硫工程菌的构建及其脱硫性能分析

李焕杰¹, 余志坚¹, 熊小超², 李玉光², 李信¹

1 中国农业科学院研究生院 生物化学与分子生物学实验室, 北京 100081

2 中国科学院过程工程研究所 绿色过程与工程重点实验室, 北京 100080

摘要: 以专一性脱硫菌德氏假单胞菌 *Pseudomonas delafieldii* R-8 为出发菌株, 利用 pPR9TT 穿梭质粒构建脱硫操纵子表达载体, 转化原始菌培养得到 1 株多拷贝脱硫基因的脱硫工程菌 R-8-1, 并对其脱硫性能进行了研究。结果表明, 在同样的生物催化脱硫反应条件下, 工程菌的脱硫活性达到 6.25 $\mu\text{mol DBT/g dry cell/h}$, 是原始菌的 2 倍; 柴油的脱硫试验表明, 在 12 h 内工程菌静息细胞能将柴油硫含量从 310.8 mg/L 降至 100.1 mg/L, 脱硫率达到 68%, 而原始菌为 53%。进一步比较了重组质粒 pPR-*dsz* 在工程菌株中传代的稳定性, 试验表明 pPR-*dsz* 在工程菌株 R-8-1 中具有良好的遗传稳定性。此研究为生物脱硫提供了 1 株优良的工程菌株, 并为该技术的应用提供了参考。

关键词: 生物脱硫, 德氏假单胞菌, 工程菌, 脱硫操纵子, 二苯并噻吩

Construction and Evaluation of a Genetic Engineered Strain for Biodesulfurization

Huanjie Li¹, Zhijian Yu¹, Xiaochao Xiong², Yuguang Li², and Xin Li¹

1 Laboratory of Biochemical and Molecular Biology, Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Laboratory of Separation Science and Engineering, State Key Laboratory of Biochemical Engineering, Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

Abstract: We first cloned the *dsz* operon of *Pseudomonas delafieldii* R-8 into the expressing plasmid (pPR9TT) to construct the recombinant plasmid pPR-*dsz*, and then reintroduced it into strain R-8 to obtain a multi-copy *dsz* operon engineering strain R-8-1. Compared with the wild-type, strain R-8-1 showed a higher desulfurization activity for dibenzothiophene (DBT). Initial rates of DBT removal by strain R-8-1 were 6.25 $\mu\text{mol/g dry cell/h}$, about 2-fold higher than that for wild-type strain. The recombinant cells were also applied in the desulfurization of diesel. It resulted in a 68% reduction of total sulfur from 310.8 mg/L to 100.1 mg/L, whereas only 53% of sulfur was removed by strain R-8. The stability of pPR-*dsz* in strain R-8-1 was studied. The results revealed the first obtain a multi-copy *dsz* operon engineering strain are helpful for further development in biodesulfurization.

Keywords: biodesulfurization, *Pseudomonas delafieldii* R-8, engineering strain, *dsz* operon, dibenzothiophene

石油、煤炭等含硫燃料的燃烧导致有害的硫氧化物释放到环境中, 成为酸雨形成的主要原因之一^[1], 直接危害着人类健康和生态环境。因此, 开发

对石油产品进行低成本、高效率的脱硫方法就成为研究的热点。目前工业上最常用的石油脱硫的方法是加氢脱硫(Hydrodesulfurization, HDS), 该方法可

Received: June 29, 2008; **Accepted:** October 8, 2008

Supported by: the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program)(No. 2006AA02Z209).

Corresponding author: Xin Li. Tel: +86-10-68919694; E-mail: lixin@mail.caas.net.cn

国家高技术研究发展计划(863 计划) (No. 2006AA02Z209)资助。

以脱除石油中大部分含硫化合物,但在进行深度脱硫时,反应条件苛刻,操作费用高,很难将二苯并噻吩(DBT)等杂环有机硫化物中的硫脱除。生物脱硫(Biodesulfurization, BDS),是一项极具应用前景的石油深度脱硫新技术^[2],它的优点在于选择性高、专一性脱除 DBT 等杂环硫化物、常温常压能耗低、不损失油品的燃烧值,是目前石油产品加氢脱硫加工技术的有利补充^[4],越来越受到国内外研究者的关注。

脱硫微生物的脱硫活性低,反应速度慢,一直是制约生物脱硫应用的一个重要因素,针对这一点国内外开展了大量构建高效脱硫工程菌方面的研究。1999年 Folsom 等^[6]将含多组脱硫基因的重组菌 *R. erythropolis* I-19 用于柴油脱硫动力学研究,其脱硫活性比野生菌提高了 25 倍,石油的硫脱除率达 60%。2001年 Toru Matsui 等^[7]重组一株 *Rhodococcus* sp. T09/pRKPP, 引进了一个额外的 *dsz* 操纵子,脱硫活力提高了 3.3 倍。同年日本 Kazuaki 等^[8]将脱硫基因 *dszABC* 及 *dszD* 均克隆到穿梭质粒转化红球菌,结果脱硫活性比原始的红球菌 KA2-5-1 提高了 4 倍。2007 年熊小超等^[9]构建了异源表达血红蛋白的红球菌 LSSE8-1,提高了菌株对氧的利用率,脱硫速率得到提高。

德氏假单胞菌 *Pseudomonas delafieldii* R-8^[10] (ZL 01115921. 9)是由中国科学院过程工程所分离得到的一株革兰氏阴性脱硫菌^[11]。德氏假单胞菌的脱硫基因已克隆^[12],但国内外尚无该菌的脱硫基因工程菌构建方面的研究报道。因此,本研究拟以 R-8 菌为出发菌株,通过基因工程的手段,将含有一套脱硫基因操纵子的复制型重组质粒 pPR-*dsz* 引入原

始菌株,培养过程 pPR-*dsz* 在菌体中复制从而得到多拷贝的脱硫基因高效工程菌,对脱硫特性和对柴油的脱硫作用进行比较研究,以期为生物脱硫提供优良的菌株,并为生物脱硫的工业应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株和质粒

本实验所采用的菌株和质粒见表 1。

1.1.2 培养基

BSM 培养基(L): KH_2PO_4 2.44 g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 14.03 g, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.4 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.75 mg, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1.0 mg, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 4.0 mg, 甘油 1%, NH_4Cl 2.0 g。

LB 培养基(L): Tryptone 10 g, Yeast extract 5 g, NaCl 10 g, pH 7.0 固体培养基添加 1.5%琼脂。培养基在 121°C 高压蒸汽灭菌 20 min。

1.1.3 试剂

PCR 引物由上海生工生物技术有限公司合成。dNTP、LA-*Taq* 酶、PCR 产物回收试剂盒、限制性内切酶、连接酶、脱磷酶等购自 TaKaRa 公司。二苯并噻吩(DBT)从 Sigma 公司购进;二羟基联苯(2-HBP)从日本的 TCI 公司购进。正己烷和甲醇为色谱纯,其余试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 菌株培养

大肠杆菌采用 LB 培养基,于 37°C,转速为 200 r/min 的摇床中培养。德氏假单胞菌采用 BSM 培养基培养,其中加入 0.2 mmol/L 的二苯并噻吩(DBT)作为硫源,于 30°C、转速为 200 r/min 的摇床中培养。

表 1 菌株和质粒
Table 1 Strains and plasmids

Strains and plasmids	Gene type or characteristics	Sources
<i>E. coli</i> DH5 α	<i>recA1 endA1 gyrA96 thi⁻¹ hsdR17 (rk- mk⁺) supE44 reIA1</i>	Lab collection
<i>P. delafieldii</i> R-8	Wild type	CGMCC 0570
<i>P. delafieldii</i> R-8-1	<i>P. delafieldii</i> R-8 with expression plasmid pPR- <i>dsz</i>	This study
pMD18-T	TA cloning vector, <i>lacZ</i> , Amp ^r	TaKaRa
pPR9TT ^[9]	<i>E.coli</i> - <i>Pseudomonas</i> shuttle vector, <i>lacZ</i> , Amp ^r	The gift of Ming Chen (BTI. CAAS)
pMD- <i>dsz</i>	<i>dsz</i> operon from <i>P. delafieldii</i> R-8 in pMD18-T, Amp ^r	This study
pPR- <i>dsz</i>	<i>dsz</i> operon from <i>P. delafieldii</i> R-8 in pPR9TT, Amp ^r	This study

1.2.2 脱硫基因操纵子的克隆

根据 *P. delafieldii* R-8 的脱硫基因操纵子序列 (GenBank Accession No. DQ062154) 设计引物, PCR 扩增 R-8 质粒的脱硫基因操纵子的片段 (*dsz*)。

引物 1: 5'-GACAAGCTTCAACGAACTCACCCAAACCAC-3' (*Hind* III);

引物 2: 5'-CTGAAGCTTCGCCTGAAACACCC TCATCCA-3' (*Hind* III)。

PCR 反应体系 (20 μ L): 重蒸水 10.2 μ L, 10% DMSO 4 μ L, 10 \times PCR 缓冲液 2 μ L, dNTP (10 mmol/L) 1 μ L, 引物 1 和引物 2 各 0.8 μ L, 质粒 DNA 1 μ L, LA-*Taq* 酶 (5 u/ μ L) 0.2 μ L。PCR 反应条件: 94 $^{\circ}$ C 5 min; 94 $^{\circ}$ C 1 min, 56 $^{\circ}$ C 1 min, 72 $^{\circ}$ C 4 min, 30 次循环; 72 $^{\circ}$ C 10 min。用重蒸水代替质粒作阴性对照, 反应产物进行琼脂糖凝胶电泳分析。回收脱硫操纵子 (*dsz* 操纵子) 的 PCR 片段, TA 克隆后转化 *E. coli* DH5 α 感

受态, 挑取阳性克隆, 酶切重组质粒验证, 命名为 pMD-*dsz*。实验方法见文献[13]。

1.2.3 脱硫基因表达质粒的构建与鉴定

pMD-*dsz* 用 *Hind* III 单酶切, 回收 *dsz* 操纵子。同时 pPR9TT 质粒用 *Hind* III 单酶切, 回收载体, *dsz* 操纵子与载体在 16 $^{\circ}$ C 连接过夜, 产物转化至 DH5 α 感受态, 在 50 μ g/mL Amp 的 LB 平板上培养, 根据穿梭质粒的 *lacZ* 及 Amp 基因位点, 通过蓝白斑及氨苄抗性筛选含表达质粒的重组菌。表达质粒用 *Pst* I 和 *Hind* III 酶切鉴定, 并命名为 pPR-*dsz*。构建图谱如图 1。实验方法见文献[13]。

1.2.4 pPR-*dsz* 在原始菌 R-8 中的表达与鉴定

制备 R-8 菌的感受态细胞, 将质粒 pPR-*dsz* 电击转化原始菌。电转参数为 15 kV/cm, 400 Ω , 25 μ F。30 $^{\circ}$ C 温育 1 h 后在含有 Amp 的 BSM 培养基平板上培养 4 d, 挑取蓝色菌落培养提质粒并酶切验证。

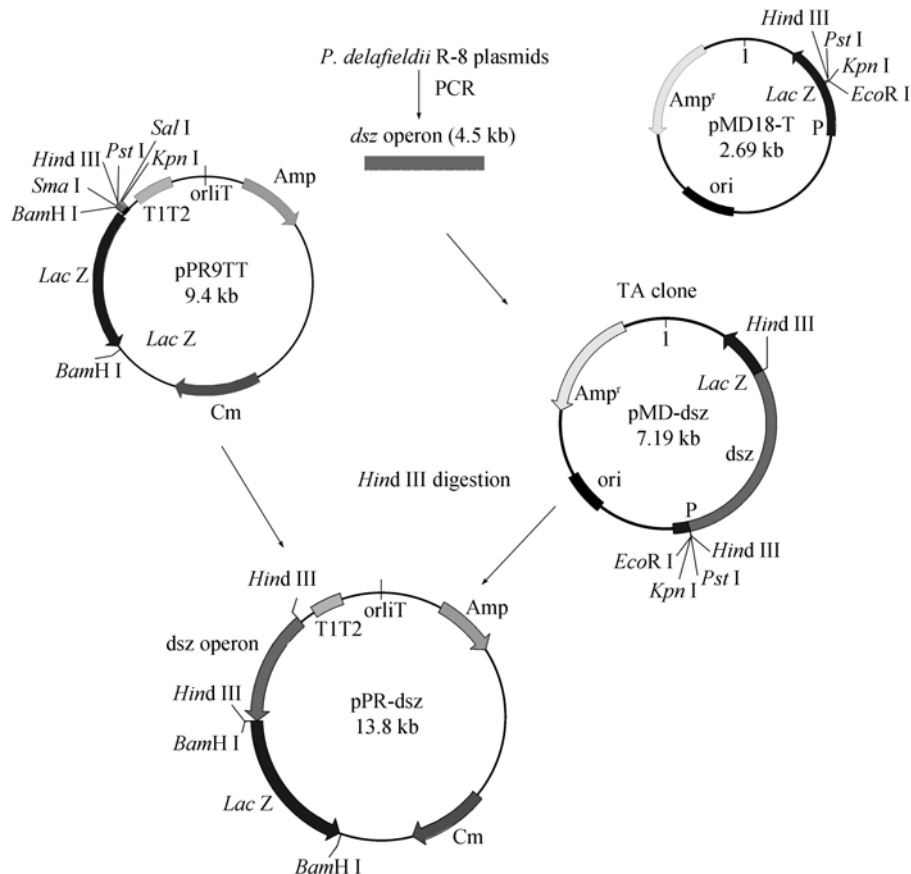


图 1 表达载体 pPR-*dsz* 的构建图谱

Fig. 1 Construction of *dsz* operon expression plasmid pPR-*dsz*

1.2.5 分析方法

生长细胞脱硫活性的测定: 工程菌和原始菌以4%的接种量接种于0.2 mmol/L DBT的BSM培养基中培养, 培养过程不同时间取样测定菌体生长和脱硫活性。菌体生长量以 OD_{600} 值表示, 脱硫活性采用高效液相色谱(HPLC)进行定量(外标法^[4])分析, 以底物DBT的降低量(mmol/L)或产物2-HBP的生成量(mmol/L)表示。脱硫活性的测定方法: 取1 mL菌液, 用1 mmol/L的HCl调pH至2.0, 加入等体积的正己烷振荡萃取2 min, 取有机相(自动进样器进样5.0 μ L)进行HPLC(Agilent 1100)分析。检测条件见参考文献[4]。

静息细胞脱硫活性的测定: 菌体培养72 h, 离心收集菌体, 用生理盐水重悬, 制成细胞浓度为6.0 g dry cell/L的静息细胞脱硫催化反应剂^[9], 加入终浓度为0.2 mmol/L的DBT进行脱硫反应, 每2 h取样进行HPLC分析测定脱硫活性, 重复3次取平均值。

柴油脱硫活性的测定: 取工程菌和原始菌的静息细胞分别与柴油样品(硫含量为310.8 mg/L)混合(油水相体积比1:4)进行柴油脱硫反应, 每2 h取油相进行硫含量的测定, 以柴油中的硫含量(mg/L)降低来表示柴油的脱硫活性。柴油硫含量的测定方法采用RPA-200微库仑仪进行分析。检测条件参照文献[4]。

1.2.6 工程菌质粒的稳定性研究

参照葛保胜等方法^[14]进行。

2 结果与分析

2.1 脱硫基因操纵子的克隆

以德氏假单胞菌 *P. delafieldii* R-8 的脱硫质粒为模板进行PCR扩增, 琼脂糖电泳检测到大小为4.5 kb的特征性条带(图2 A), 与预期 dsz 操纵子的大小相符, 说明成功得到了该基因片段。 dsz 片段TA克隆后经酶切验证, 片段回收。

2.2 pPR-dsz 表达载体的酶切鉴定

回收 dsz 片段与pPR9TT穿梭载体连接, 构建表达载体pPR-dsz, 酶切验证如图2B, 泳道1的小片段即为 dsz 操纵子(4.5 kb)。结果表明表达载体构建成功。将pPR-dsz转化原始菌R-8, 通过Amp抗性和蓝斑筛选到含有脱硫操纵子质粒的多拷贝脱硫基因工程菌R-8-1。

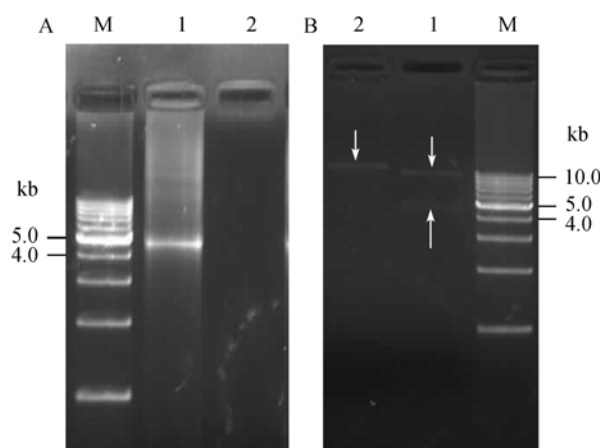


图2 dsz 操纵子的PCR扩增及表达载体pPR-dsz酶切验证电泳图谱

Fig. 2 Agarose gel electrophoresis of dsz operon by PCR and endonucleases-digested plasmid pPR-dsz

(A) M: 1kb DNA ladder marker; 1: 4.5 kb dsz operon; 2: control
(B) M: 1kb DNA ladder marker; 1: *Hind* III digested: pPR9TT 9.4 kb, dsz 4.5 kb; 2: *Pst* I digested: pPR-dsz 13.8 kb

2.3 工程菌 R-8-1 的脱硫性能鉴定

用含DBT为0.2 mmol/L的BSM培养基培养R-8-1菌株至72 h, 取发酵液进行脱硫活性鉴定分析。结果表明R-8-1菌在72 h内, 脱硫产物2-HBP的生成量为0.197 mmol/L, 证明R-8-1菌具有脱硫活性。

2.4 pPR-dsz 重组质粒的稳定性检查

R-8-1菌株进行50代传代培养, 其生长状况和菌落形态与原始菌相比, 无明显变异。随机挑取重组菌落培养, 质粒提取, 经酶切琼脂糖电泳鉴定表明质粒数量和目标基因的大小稳定。实验结果见表2, 以R-8-1菌株在有Amp的选择压力条件下质粒稳定性作对照, 在没有Amp的条件下, 传代10代的质粒稳定性为100%, 20代、50代质粒稳定性为97%, 表明pPR-dsz在R-8-1菌株中具有较好的遗传稳定性。

表2 工程菌R-8-1传代培养中pPR-dsz的稳定性情况
Table 2 Stability of recombinant plasmid pPR-dsz in strain R-8-1

Stability of recombinant plasmid (%)	Generation			
	1	10	20	50
	100	100	97	97

2.5 工程菌 R-8-1 与原始菌 R-8 的生长情况及脱硫活性比较研究

R-8-1菌株与R-8菌株在含有0.2 mmol/L DBT

的 BSM 培养基中的生长情况如图 3 A。从图中可以看出, R-8-1 菌株生长正常, 在各生长时期菌体浓度略高于 R-8 菌。

图 3B 为 R-8-1 菌株与 R-8 菌株生长过程的脱硫活性比较, 从图中可以看出, 随着培养时间的延长, 菌体量不断增加, DBT 逐渐减少, 脱硫产物 2-HBP 不断增加。菌体培养至 36 h, R-8-1 菌株将培养基中的 DBT 降解了 98%, 而 R-8 菌株为 66%, R-8-1 菌株比 R-8 菌株降解速率高 34%; 培养至 76 h, R-8-1 菌株降解 DBT 生成的终产物 2-HBP 浓度为 0.198 mmol/L, 而 R-8 菌株为 0.12 mmol/L, 结果表明 R-8-1 菌株对

DBT 的脱硫能力比 R-8 菌株提高了 38%。

R-8-1 菌株与 R-8 菌株的静息细胞脱硫活性比较如图 4A 所示, R-8-1 菌株经过 4 h 的反应就达到对底物 DBT 的最大降解, 降解率达到 6.25 μmol DBT/g dry cell /h, 同时生成了 6.23 μmol 的 2-HBP, 是 R-8 菌株的 2 倍。

R-8-1 菌株与 R-8 菌株对柴油的脱硫作用比较试验(图 4B)表明, R-8-1 菌株在 12 h 内能将柴油样品的硫含量降至 100.1 mg/L, 脱硫率为 68%, 而 R-8 菌株则为 146.1 mg/L 和 53%, 在柴油脱硫体系中 R-8-1 菌株比 R-8 菌株的脱硫能力提高了 15%。

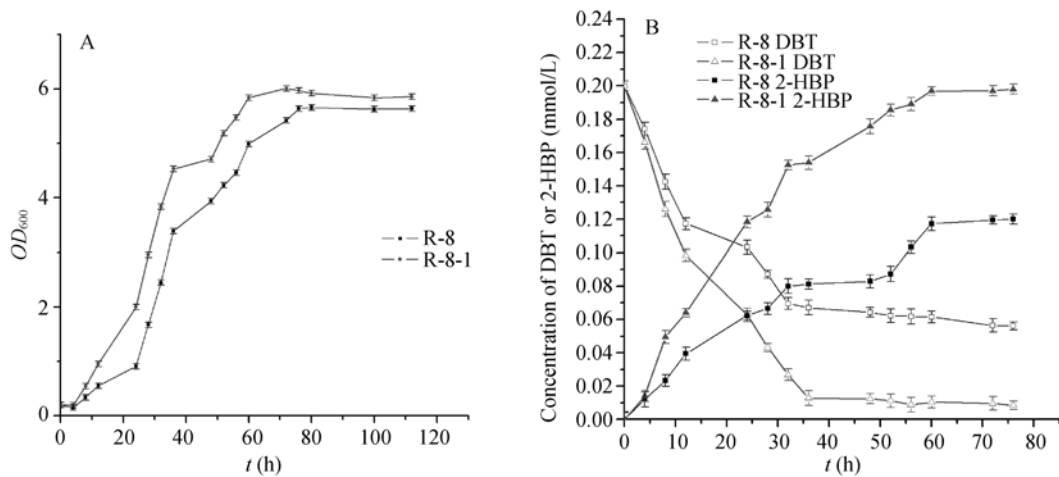


图 3 工程菌 R-8-1 与原始菌 R-8 的生长比较曲线及生长过程脱硫比较曲线

Fig. 3 Growth curve and desulfurization of DBT by growing cells of strains R-8-1 and R-8
(A) growth curve; (B) desulfurization of DBT by growing cells

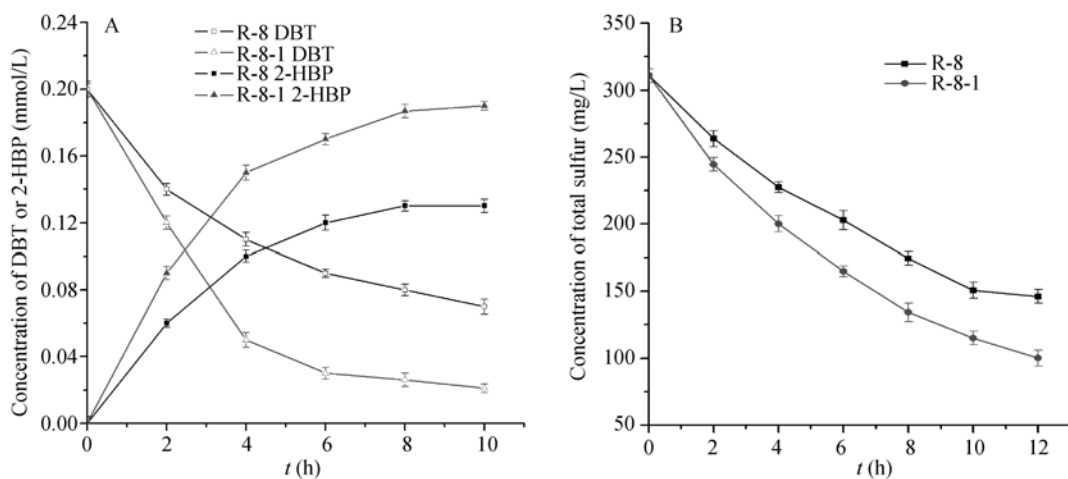


图 4 工程菌 R-8-1 与原始菌 R-8 的静息细胞脱硫和柴油脱硫比较曲线(油水比 1:4)

Fig. 6 Desulfurization of DBT and diesel by resting cells of strains R-8-1 and R-8
(A) desulfurization of DBT by resting cells; (B) desulfurization of diesel by resting cells

上述实验结果表明, 与 R-8 菌株相比, 引入脱硫重组质粒 pPR-dsz 的多拷贝脱硫基因工程菌株 R-8-1 具有更高的脱硫活性, 能够明显降低柴油中的硫含量, 比原始菌更具应用价值。

3 结论

生物脱硫技术能否成功地应用于石油工业, 首先需要解决的问题是脱硫菌株的选育和优化。应用基因工程的方法可以对优良的微生物脱硫菌株进行改造, 构建能更快速有效脱除石油中硫化物的高效脱硫工程菌, 以期应用于超深度脱硫技术。

本实验构建的脱硫基因操纵子表达质粒 pPR-dsz, 转化原始菌后, 得到了多拷贝的脱硫基因工程菌。在相同培养条件下, 工程菌和原始菌相比可以得到更大的菌体量, 有利于菌株的工业化生产。在静息细胞对 DBT 的脱硫过程中, 工程菌的最大比脱硫活性达到 6.25 $\mu\text{mol DBT/g dry cell/h}$, 是原始菌的 2 倍。实际柴油体系的脱硫过程中, 工程菌静息细胞在 12 h 内能将柴油的硫含量降至 100.1 mg/L, 脱硫率达到 68%, 比原始菌的脱硫活性提高 15%, 表明 R-8-1 菌是一株高脱硫活性的工程菌株。本研究首次利用 *P. delafieldii* R-8, 运用基因工程的手段构建了脱硫能力得到提高的多拷贝脱硫基因工程菌 R-8-1, 为生物脱硫提供了一株优良的工程菌株, 为脱硫工程菌的实际应用奠定了基础。

REFERENCES

- [1] Ohshiro T, Izumi Y. Microbial desulfurization of organic sulfur compounds in petroleum. *Biosci Biotechnol Biochem*, 1999, **63**(1): 1-9.
- [2] Kilbane JJ, Jackowski K. Biodesulfurization of water-soluble coal-derived material by *Rhodococcus rhodochrous* IGTS8. *Biotechnol Bioeng*, 1992, **40**(9): 1107-1114.
- [3] Gallardo ME. Designing recombinant pseudomonas strains to enhance biodesulfurization. *J Bacteriol*, 1997, **179**(22): 7156-7160.
- [4] Bai XJ, Xiong XC, Jiang SH, *et al.* Study on specific desulfurization activity and related genes of *Rhodococcus* sp. LY822. *Chin J Proc Eng*, 2008, **8**(1): 125-129.
白雪晶, 熊小超, 姜声华, 等. 脱硫菌 *Rhodococcus*.sp. LY822 专一性脱硫活性及相关基因的研究. *过程工程学报*, 2008, **8**(1): 125-129.
- [5] Jiang SH. Isolation of specific desulfurization microorganism and construction of desulfurizational gene engineering strains. Beijing: CAAS, 2006, 12-18.
姜声华. 专一性脱硫菌 LY822 的分离筛选及脱硫基因工程菌的构建. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2006, 12-18.
- [6] Folsom BR, Schieche DR, Digrazia PM, *et al.* Microbial desulfurization of alkylated dibenzothiophenes from a hydrodesulfurized middle distillate by *Rhodococcus erythropolis* I-19. *Appl Environ Microbiol*, 1999, **65**(11): 4967-4972.
- [7] Matsui T, Hirasawa K, Koizumi K, *et al.* Optimization of the copy number of dibenzothiophene desulfurizing genes to increase the desulfurization activity of recombinant *Rhodococcus* sp.. *Biotech Lett*, 2001, **23**: 1715-1718.
- [8] Kazuaki H, Yoshitaka I, Morio K, *et al.* Improvement of Desulfurization Activity in *Rhodococcus erythropolis* KA2-5-1 by genetic engineering. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2001, **65**(2): 239-246.
- [9] Xiong XC, Xing JM, Li X, *et al.* Enhancement of biodesulfurization in two-liquid systems by heterogeneous expression of vitreoscilla hemoglobin. *Appl Environ Microbiol*, 2007, **73**(11): 2394-2397.
- [10] Jiang CY, Liu HZ, Xing JM, *et al.* *Pseudomonas delafieldii* R-8 and its application of desulfurization for organic sulfur in diesel oil. Chinese patent, 01115921.9.
姜成英, 刘会洲, 邢建民, 等. 德氏假单胞菌菌株及其在脱除含硫有机化合物中硫的应用. 中国: 发明专利申请号 01115921.9.
- [11] Jiang CY, Li L, Yang YT, *et al.* Effect of surfactants on microbial removal of organic sulfur in diesel oil. *Chin J Pro Eng*, 2002, **2**(2): 122-126.
姜成英, 李磊, 杨永谭, 等. 表面活性剂对微生物脱除柴油中有机硫的影响. *过程工程学报*, 2002, **2**(2): 122-126.
- [12] Xiong XC, Li WL, Li X, *et al.* Comparison of the desulfurization activity among several bacteria and analysis of the conservation of their desulfurization genes. *Acta Microbiol Sin*, 2005, **45**(5): 733-737.
熊小超, 李望良, 李信, 等. 专一性脱硫菌脱硫活性与基因保守性研究. *微生物学报*, 2005, **45**(5): 733-737.
- [13] Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T. *Molecular Cloning*. 2nd Edition. Translated by: Jin DY, Li MF. Beijing: Science Press, 1999, 6-69.
Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T. *分子克隆实验指南*. 金冬雁, 黎孟枫译. 第二版, 北京科学出版社, 1999, 6-69.
- [14] Ge BS, Ren YH, Tang ZH, *et al.* Study on the heredity stability of a recombinant plasmid pMal22X in *Escherichia coli*. *Microbiology*, 2005, **32**(4): 32-42.
葛保胜, 任育红, 唐志红, 等. 表达重组别藻蓝蛋白质粒在工程菌株中的遗传稳定性研究. *微生物学通报*, 2005, **32**(4): 32-42.
- [15] Gou ZX, Liu HZ, Luo MF, *et al.* Isolation and characterization of specific desulfurization microorganism.

Sci China (Series B), 2002, 5(32): 397-405.

缙仲轩, 刘会洲, 罗明芳, 等. 专一性脱硫菌的分离与鉴定.

中国科学 B 辑, 2002, 5(32): 397-405.

- [16] Luo MF, Jiang CY, Xing JM, *et al.* Growth of *Pseudomonas delafieldii* R-8 and biodegradation of

dibenzothiophene in aqueous solution. *Chin J Pro Eng*, 2002, 2(3): 252-256.

罗明芳, 姜成英, 邢建民, 等. 脱硫菌 R-8 的生长及其生物降解水中二苯并噻吩. 过程工程学报, 2002, 2(3): 252-256.

科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

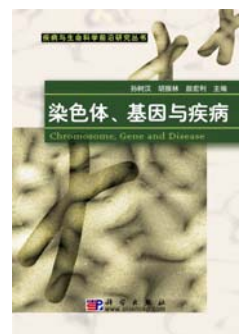
染色体、基因与疾病

孙树汉 胡振林 颜宏利主编

978-7-03-022507-8 ¥98.00 2008年11月出版

本书以人类染色体为主线, 依次介绍了每一条染色体的主要特征、染色体上的致病或易感基因及其与疾病的关系, 尤其对该染色体上的主要基因的名称、定位、生理功能及其与人类疾病的关系进行了归纳总结, 以期对人类基因组计划及其后续的功能基因组和疾病基因组研究的最新成果进行梳理, 给研究者一个比较清晰的脉络。

本书是国内第一本系统介绍染色体、基因与疾病的书籍, 对于生命科学研究人员或临床医生具有很好的参考价值。本书注重体现理论意义和实际应用价值, 适用于生物学、医学、农学、师范院校的教师、研究生以及科研人员使用。



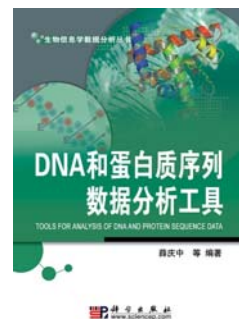
DNA 和蛋白质序列数据分析工具

薛庆中等编著

978-7-03-022633-4 ¥48.00 2008年11月出版

全书分 9 章。第 1 章, 阐述序列比较的核心方法, 即运用 BLAST 和 ClustalX 等工具做序列比对。第 2 章, 重点介绍核苷酸序列分析工具, 主要包括: 基因可读框的识别, CpG 岛、转录终止信号和启动子区域的预测分析, 用 mRNA 序列预测基因等。第 3 章, 介绍电子克隆的概念和具体操作方法。第 4 章, 用 MEGA4 做分子进化遗传分析, 绘制系统进化树, 为研究基因进化打好基础。第 5 章, 对蛋白质基本理化性质、二级结构、结构域和三维空间结构、预测目标蛋白的生物学功能等工具做逐一介绍。第 6 章, 通过 Gene Ontology 和 KEGG 两个数据库, 挖掘基因和蛋白质的功能并做代谢途径分析。第 7 章, 利用 X!Tandem 软件鉴定蛋白质的串联质谱数据, 进而预测蛋白质; 同时借助 TPP 软件包进行蛋白质组学数据统计学分析, 优化检索结果。第 8 章, 使用 TM4 软件实现芯片的数据采集和标准化处理, 并借助 GenMAPP 软件挖掘芯片数据的生物学意义。第 9 章, 通过 Cytoscape 软件演示, 介绍系统生物学分析概况, 展示蛋白质-蛋白质相互作用, 应用插件做网络结构分析。书后附有专业词中英文对照。

本书是为从事生物学、医学、农学及计算机科学等领域研究的研究生、大学生、教师、医生、研究人员、计算机工作人员提供的通俗易懂的手册和工具。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书 (免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街 16 号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 阮芯 联系电话: 010-64034622 (带传真)

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>