

The Affect of Growth and Phenol Degrading on Phenol Degrading Strain XH-10 with Different Metal Ions*

Yun Tang¹, Li Yue¹, Chao Peng², Yan Song¹, Hong Tan¹

¹College of Biological Sciences, China West Normal University, Nanchong

²School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing

Email: tangyun_502@yahoo.com.cn

Received: Nov. 5th, 2011; revised: Nov. 24th, 2011; accepted: Dec. 6th, 2011

Abstract: This article surveyed the influence which 18 metal ions on phenol degrading bacterium XH-10 growth and the phenol degradation. The results showed: Al^{3+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Ag^+ have intense inhibitory action to the phenol degrading bacterium XH-10 growth and the phenol degeneration; K^+ , Zn^{2+} , Cr^{2+} , Mo^{2+} , Pb^{2+} , Sn^{2+} have certain inhibitory action to the phenol degrading bacterium XH-10 growth and the phenol degeneration, but at low concentrations, XH-10 has certain growth and the phenol degeneration potential; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Mn^{2+} at lower concentration to the phenol degrading bacterium XH-10 growth have promoter action, degrades the inhibitory action to be small, at high concentrations to the bacterium growth and the phenol degradation have obvious inhibitory; Ba^{2+} the inhibitory action which degrades to the phenol is obvious, but at lower concentration have promoter action to the phenol degrading bacterium XH-10 growth; Fe^{3+} the inhibitory action which growth to the bacterium is obvious, but at lower concentration have smaller inhibitory action to the phenol degrading bacterium XH-10 phenol degeneration. The results of the phenol degrading bacterium XH-10 for the treatment of wastewater containing phenol provides certain basis.

Keywords: Phenol Degrading Bacteria XH-10; Heavy Metals Ions; Growth; Phenol Degradation

不同金属离子对苯酚降解菌 XH-10 的生长和苯酚降解的影响*

唐 贇¹, 岳 黎¹, 彭 超², 宋 嫣¹, 谭 洪¹

¹西华师范大学生命科学学院, 南充

²中国地质大学地球科学与资源学院, 北京

Email: tangyun_502@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011 年 11 月 5 日; 修回日期: 2011 年 11 月 24 日; 录用日期: 2011 年 12 月 6 日

摘 要: 本文探测了 18 种金属离子对苯酚降解菌 XH-10 生长和苯酚降解的影响。结果显示: Al^{3+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Ag^+ 对苯酚降解菌 XH-10 的生长和苯酚降解有强烈的抑制作用; K^+ 、 Zn^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Mo^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Sn^{2+} 对苯酚降解菌 XH-10 的生长和苯酚降解有一定的抑制作用, 但在低浓度时, XH-10 有一定的生长和苯酚降解潜力; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Mn^{2+} 在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的生长有促进作用, 对苯酚降解的抑制作用较小, 在高浓度时对菌体生长和苯酚降解的抑制作用明显; Ba^{2+} 对苯酚降解的抑制作用明显, 而在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的生长有促进作用; Fe^{3+} 对菌体生长的抑制作用明显, 而在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的苯酚降解抑制作用较小。其研究结果对菌株 XH-10 用于含酚废水的处理提供了一定的依据。

关键词: 苯酚降解菌 XH-10; 重金属离子; 生长; 苯酚降解

*基金项目: 四川省教育厅自然科学重点项目(09ZA123)和南充市科技局重点项目(2010SF03)资助。

1. 引言

苯酚属芳香族化合物, 是有机合成的重要原料, 在造纸、炼焦、炼油、塑料、农药、医药合成等行业生产中做原料或中间体^[1], 大量用于制造酚醛树脂以及其他高分子材料、药物、燃料、炸药等。随着树脂、化工、高分子材料等企业苯酚需求量的日益增加, 各企业所排放的含苯酚废水量也日益增加^[2]。

菌株 XH-10 属于粘质沙雷氏菌属(*Serratia marcescens*), 24 h 内可完全降解 10 mmol/L 的苯酚, 同时该菌在 20 mmol/L 苯酚的无机盐培养液中也能生长^[3]。因此, XH-10 具有很强的适应能力和苯酚降解能力, 可用于高浓度含酚废水的生物处理, 有较高的研究及应用前景。

金属污染由于其隐蔽性、长期性、不可逆性很难被生物降解, 导致水污染、土壤污染、大气污染、生态系统退化等环境问题; 同时还能进入食物链引起人类生理功能改变, 导致急、慢性疾病或产生远期危害^[4]。

金属离子是微生物生长和代谢产物合成的重要影响因子, 但是过量的金属离子(尤其是重金属离子)存在会影响微生物的生理生化活性, 消除敏感种或个体, 进而影响微生物群落的结构, 并最终导致污水生物处理效率降低乃至出现事故^[5,6]。

因此, 研究不同金属离子对苯酚降解菌 XH-10 菌体生长量和苯酚降解率的影响, 为处理含酚废水工艺研究提供依据, 对污水生物处理系统的调控和功能的恢复具有重要的理论价值和实践指导意义。

2. 材料与方法

2.1. 材料

2.1.1. 菌株

苯酚降解菌 XH-10 分离自四川省南充市炼油厂附近石油污染土壤, 由西华师范大学微生物实验室提供。

2.1.2. 培养基

LB 培养基^[7], 无机盐培养基^[8], 微量元素溶液^[9]。

2.1.3. 金属离子试剂

将 6 种轻金属离子 Na⁺、Mg²⁺、Al³⁺、K⁺、Ca²⁺、Ba²⁺和 12 种重金属离子 Cr²⁺、Mn²⁺、Fe³⁺、Co²⁺、Ni²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Mo²⁺、Ag⁺、Sn²⁺、Hg²⁺、Pb²⁺配制成 100

mmol/L 的母液, 过滤灭菌, 4℃ 保存。

2.1.4. 苯酚溶液

称取苯酚晶体溶解于蒸馏水中, 配制成 3 mol/L 的苯酚溶液, 过滤灭菌, 4℃ 保存。

2.2. 方法

2.2.1. 菌种活化

取-80℃ 保存的苯酚降解菌 XH-10 菌种 100 μL 于 20 mL LB 液体培养基中, 振荡培养 10 h, 离心分离菌体, 用生理盐水洗涤 2 次, 悬于 10 mL 的生理盐水中。

2.2.2. 降解实验

以金属离子母液配制 20 mL 含 0.1~5 mmol/L 不同浓度金属离子的无机盐培养基, 装于 100 mL 的三角瓶内, 同时以不加金属离子的无机盐培养液做对照。然后分别添加苯酚溶液, 使实验组和对照组培养基中苯酚终浓度为 10 mmol/L。将活化洗涤后的菌悬液 (OD_{600} 为 0.975) 以 1% 的接种量接种于各组培养基中, 在恒温摇床中 30℃, 200 r/min 培养 24 h, 测定菌体浓度和苯酚残余量。

菌体生长的测定: 取培养的菌液 5 mL, 用紫外分光光度计在 600 nm 处测定 OD 值。

苯酚含量测定: 采用 4-氨基安替吡啉法^[10], 用紫外分光光度计在 510 nm 处测定 OD 值。

苯酚降解率计算: 苯酚降解率(%) = (苯酚起始浓度 - 苯酚残余浓度)/苯酚起始浓度 × 100%。

3. 结果与讨论

某些金属离子是微生物生长的必需元素, 当处于痕量水平时可促进微生物的生长, 并且菌体会通过各种生理代谢机制维持所需金属离子在体内的动态平衡; 但是当其含量超过一定浓度时, 则会对微生物具有刺激性、抑制性、毒性, 甚至会导致菌体死亡^[11,12]。金属离子对微生物的抑制程度与金属离子的质量浓度、离子存在的形式、离子种类等息息相关^[13,14]。

3.1. 轻金属离子对苯酚降解菌 XH-10 生长和苯酚降解的影响

3.1.1. Na⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

钠是细胞外液中带正电的主要离子, 能够参与水的代谢, 保证水的平衡, 还可以维持酸和碱的平衡。

由图 1 可见, 随 Na^+ 浓度升高, XH-10 生长量整体呈下降趋势, 但 Na^+ 浓度低于 0.5 mmol/L 时, Na^+ 对菌体生长有促进作用; Na^+ 浓度高于 0.5 mmol/L 时, 菌体生长量急剧下降, Na^+ 表现为抑制作用。当 Na^+ 浓度低于 0.4 mmol/L 时, 随浓度升高, 苯酚降解率大致不变, Na^+ 基本无抑制作用, 降解率均高于 98.2%, 且在 0.2 mmol/L 时最高; Na^+ 浓度高于 0.4 mmol/L 时, 苯酚降解率急剧降低, Na^+ 抑制作用明显。实验表明, Na^+ 对 XH-10 的影响非常明显, 最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Na^+ 浓度范围为 0~0.4 mmol/L。

3.1.2. Mg^{2+} 对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

镁几乎参与机体内所有的能量代谢, 在糖酵解、呼吸、氧化磷酸化等过程中起重要作用, 是各种激酶、柠檬酸裂合酶、异柠檬酸脱氢酶、碱(酸)性磷酸酶等的辅助因子, 是多种激酶的激活剂^[15,16]。由图 2 可

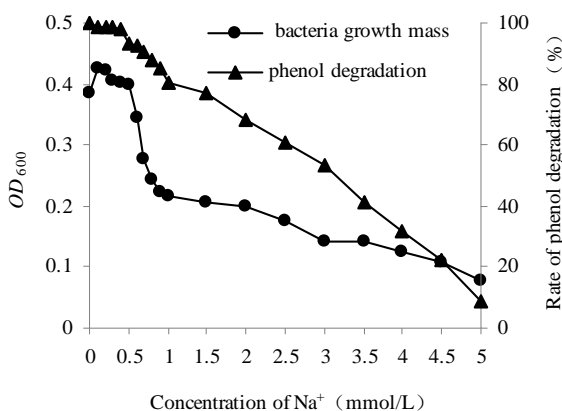


Figure 1. Effect of Na^+ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 1. Na^+ 对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

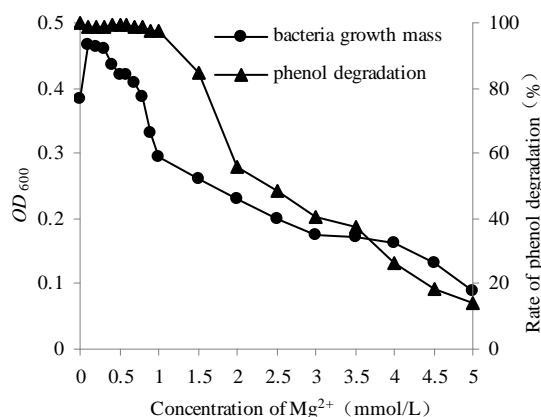


Figure 2. Effect of Mg^{2+} on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 2. Mg^{2+} 对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

见, 随 Mg^{2+} 浓度升高, XH-10 生长量呈下降趋势, 但 Mg^{2+} 浓度低于 0.8 mmol/L 时, Mg^{2+} 对 XH-10 生长有促进作用; Mg^{2+} 浓度高于 0.8 mmol/L 时, 菌体生长量急剧减少, Mg^{2+} 表现为抑制作用。当 Mg^{2+} 浓度低于 1 mmol/L 时, 随浓度升高, 苯酚降解率大致不变, 均高于 97.4%, 且在 0.6 mmol/L 时降解率最高, Mg^{2+} 抑制作用较小; Mg^{2+} 浓度高于 1 mmol/L 时, 降解率急剧降低, Mg^{2+} 抑制作用明显。实验表明, Mg^{2+} 对 XH-10 的影响非常明显, 最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Mg^{2+} 浓度范围为 0~0.8 mmol/L。

3.1.3. Al^{3+} 对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

铝对磷、锶、铁、钙等元素的吸收和蛋白酶的活性有抑制作用。由图 3 可见, 随 Al^{3+} 浓度升高, XH-10 生长量和苯酚降解率整体呈急剧下降趋势, Al^{3+} 对 XH-10 表现为抑制作用, 即使 Al^{3+} 浓度为 0.1 mmol/L 时, 苯酚降解率也仅为 15.6%; Al^{3+} 浓度高于 0.5 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明, Al^{3+} 对 XH-10 的影响极其显著, Al^{3+} 对 XH-10 生长和苯酚降解有强烈的抑制作用。

3.1.4. K^+ 对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

K^+ 对磷的传递、苹果酸的脱羧、丙酮酸激酶有激活作用, 可加速糖酵解的进行, 促进 ATP 的合成, 但高浓度 K^+ 则抑制了丙酮酸激酶的活性, 从而抑制 ATP 的合成^[17,18]。由图 4 可见, 随浓度升高, XH-10 生长量和苯酚降解率均呈下降趋势, 但 K^+ 浓度低于 0.9 mmol/L 时, 下降趋势较缓慢, K^+ 对 XH-10 抑制作用较小; 当 K^+ 浓度为 0.9 mmol/L 时, 降解率仅为 66.9%;

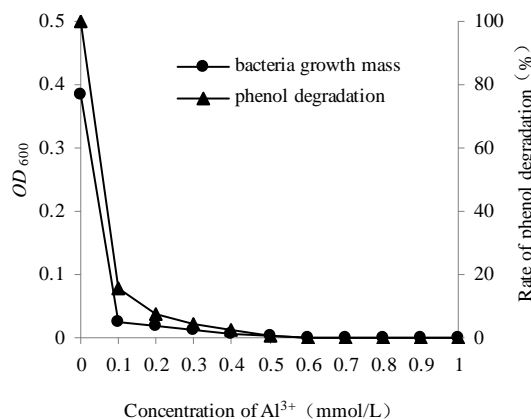


Figure 3. Effect of Al^{3+} on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 3. Al^{3+} 对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

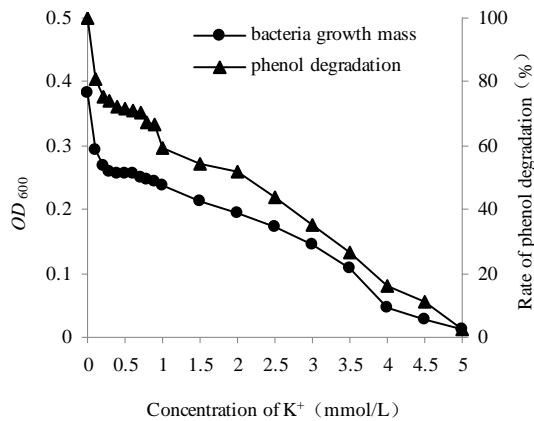


Figure 4. Effect of K⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 4. K⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

K⁺浓度高于 0.9 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率急剧降低, K⁺抑制作用明显。实验表明, K⁺对 XH-10 的影响非常明显, K⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有非常明显的抑制作用, 但在较低的浓度范围内, XH-10 仍有一定的生长和苯酚降解潜力。

3.1.5. Ca²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

Ca²⁺在细胞的功能调节和细胞膜透性调节中具有十分重要的作用, 增加 Ca²⁺浓度可以提高线粒体膜的膜电位, 使 ADP 磷酸化为 ATP, 为细胞增殖提供能量基础, 从而促进菌株的生长^[19]。Ca²⁺是微生物重要的阳离子, 是蛋白酶的激活剂, 在信号的传导方面有着重要的生物意义。由图 5 可见, 当 Ca²⁺浓度低于 0.5 mmol/L 时, 随浓度升高, XH-10 生长量呈上升趋势, Ca²⁺对 XH-10 表现为促进作用; Ca²⁺浓度高于 0.5 mmol/L 时, 菌体生长量急剧减少, Ca²⁺表现为抑制作用。当 Ca²⁺浓度低于 1 mmol/L 时, 随浓度升高, 苯酚降解率大致不变, 均高于 97%, 且在 0.4 mmol/L 时降解率最高; Ca²⁺浓度高于 1 mmol/L 时, 苯酚降解率急剧降低, Ca²⁺抑制作用明显。实验表明, Ca²⁺对 XH-10 的影响非常明显, 最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Ca²⁺浓度范围为 0.2~0.5 mmol/L。

3.1.6. Ba²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

离子态的钡是有剧毒的, 可以导致蛋白质变性, 破坏生物体内各种酶, 使一系列生理活动被破坏。由图 6 可见, 当 Ba²⁺浓度低于 0.1 mmol/L 时, 随浓度升高, XH-10 生长量呈上升趋势, Ba²⁺对 XH-10 表现为促进作用; Ba²⁺浓度高于 0.1 mmol/L 时, 菌体生长

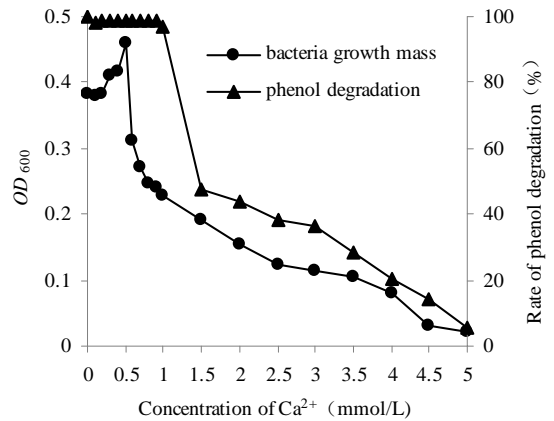


Figure 5. Effect of Ca²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 5. Ca²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

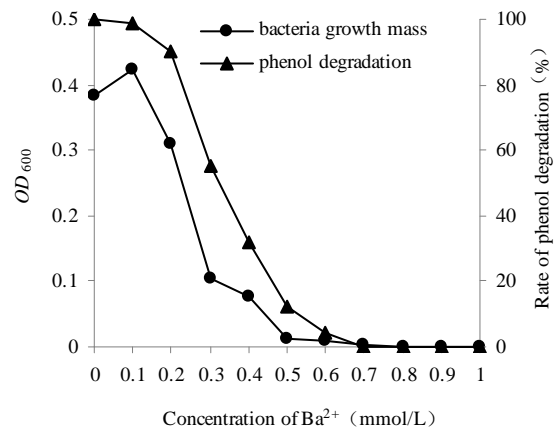


Figure 6. Effect of Ba²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 6. Ba²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

量急剧减少, Ba²⁺表现为抑制作用。随 Ba²⁺浓度升高, 苯酚降解率整体呈下降趋势, Ba²⁺抑制作用明显, Ba²⁺浓度为 0.3 mmol/L 时, 降解率仅为 55.2%; Ba²⁺浓度高于 0.7 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明, Ba²⁺对 XH-10 的影响非常明显, 最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Ba²⁺浓度范围为 0~0.1 mmol/L。

3.2. 重金属离子对苯酚降解菌 XH-10 生长和苯酚降解的影响

3.2.1. Cr²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

所有铬的化合物都具有毒性^[20], 铬的生理功能是与其它控制代谢的物质一起配合起作用, 如激素、胰岛素、各种酶类、细胞的基因物质(DNA 和 RNA)等。由图 7 可见, 随着 Cr²⁺浓度升高, XH-10 生长量和

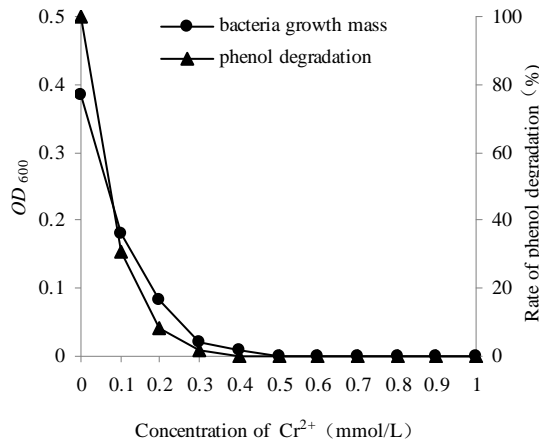


Figure 7. Effect of Cr²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 7. Cr²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

苯酚降解率均呈急剧下降趋势, Cr²⁺对 XH-10 表现为抑制作用; Cr²⁺浓度为 0.1 mmol/L 时, 降解率仅为 31%; Cr²⁺浓度高于 0.4 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明, Cr²⁺对 XH-10 的影响极其显著, Cr²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有强烈的抑制作用。

3.2.2. Mn²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

Mn²⁺超氧化物歧化酶、丙酮酸羧化酶、精氨酸酶等的辅助因子, 是腺嘌呤核苷酸酶和一些水解酶的激活剂。Mn²⁺对微生物生长作用在低浓度时存在促进作用, 过量的 Mn²⁺可使细胞膜脂多糖和脂蛋白构相发生改变, 从而导致细胞膜功能不正常^[21]。由图 8 可见, 当 Mn²⁺浓度低于 0.6 mmol/L 时, 随浓度升高, XH-10 生长量呈上升趋势, Mn²⁺对 XH-10 表现为促进作用; Mn²⁺浓度高于 0.6 mmol/L, 菌体生长量急剧减少, Mn²⁺表现为抑制作用。当 Mn²⁺浓度低于 0.5 mmol/L 时, 随浓度升高, 苯酚降解率变化较小, 均高于 97%, 且在 0.5 mmol/L 时降解率最高; Mn²⁺浓度高于 0.6 mmol/L 时, 降解率急剧降低, 抑制作用明显。实验表明, Mn²⁺对 XH-10 的影响非常明显, 最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Mn²⁺浓度范围为 0.3~0.5 mmol/L。

3.2.3. Fe³⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

铁是细胞色素和铁氧化还原蛋白的氧化还原反应中必不可少的电子载体, 在电子传递体系中起至关重要的作用^[18]。微生物对 Fe³⁺的需求是微量的, Fe³⁺浓度高于需求量会引起抑制或毒害作用^[22]。由图 9

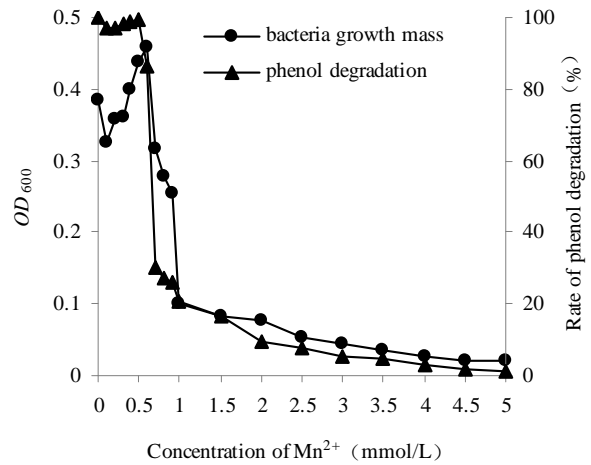


Figure 8. Effect of Mn²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 8. Mn²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

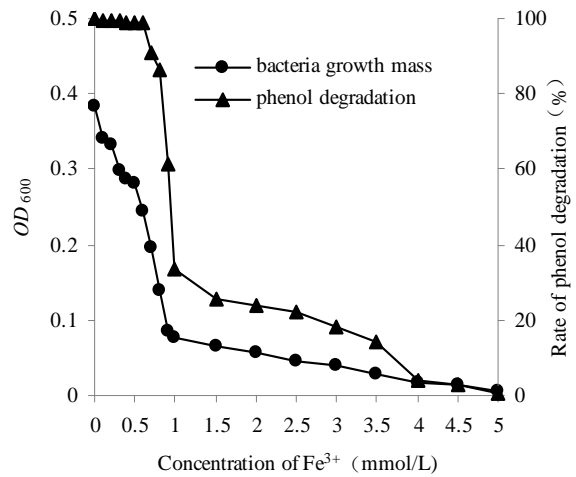


Figure 9. Effect of Fe³⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 9. Fe³⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

可见, 随 Fe³⁺浓度升高, XH-10 生长量整体呈下降趋势, Fe³⁺对 XH-10 表现为抑制作用。当 Fe³⁺浓度低于 0.6 mmol/L 时, 随浓度升高, 苯酚降解率大致不变, Fe³⁺抑制作用很小, 降解率均高于 99%; Fe³⁺浓度高于 0.6 mmol/L, 苯酚降解率急剧减少, Fe³⁺抑制作用明显。实验表明, Fe³⁺对 XH-10 生长具有显著的抑制作用; Fe³⁺对 XH-10 的苯酚降解影响非常明显, 最适宜 XH-10 苯酚降解的 Fe³⁺浓度范围为 0~0.6 mmol/L。

3.2.4. Co²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

钴是维生素 B₁₂ 组成部分, 无机钴对刺激红细胞生成有重要的作用。某些蛋白质的酶容易受 Co²⁺影响而变性。由图 10 可见, 随 Co²⁺浓度升高, XH-10 生

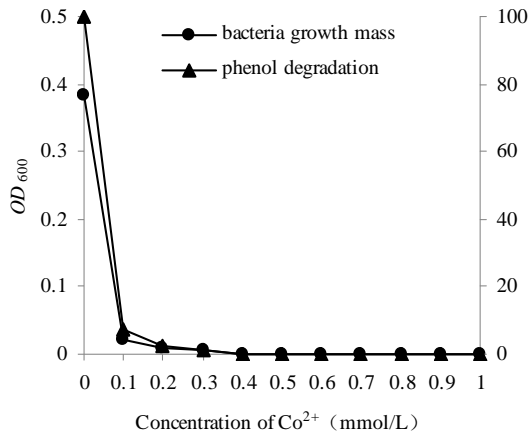


Figure 10. Effect of Co²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 10. Co²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

长量和苯酚降解率均呈急剧下降趋势，Co²⁺对 XH-10 抑制作用明显；Co²⁺浓度为 0.1 mmol/L 时，苯酚降解率仅为 7.4%；Co²⁺浓度高于 0.3 mmol/L 时，菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明，Co²⁺对 XH-10 的影响及其显著，Co²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有强烈的抑制作用。

3.2.5. Ni²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

镍存在于辅酶 F436 之中，是某些水解酶的激活剂^[23]。某些蛋白质的酶容易受 Ni²⁺影响而变性。由图 11 可知，随着 Ni²⁺浓度升高，XH-10 生长量和苯酚降解率均呈急剧下降趋势，Ni²⁺对 XH-10 抑制作用明显；Ni²⁺浓度为 0.1 mmol/L 时，苯酚降解率仅为 6.1%；Ni²⁺浓度高于 0.5 mmol/L 时，菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明，Ni²⁺对 XH-10 的影响极其显著，Ni²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有强烈的抑制作用。

3.2.6. Cu²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

Cu²⁺是多种生物过程的基本辅酶，当 Cu²⁺过量时也会产生活性氧化物，与生物大分子(如蛋白质)结合，破坏该大分子的正常生理功能^[24,25]。由图 12 可见，随着 Cu²⁺浓度升高，XH-10 生长量和苯酚降解率均呈急剧下降趋势，Cu²⁺对 XH-10 抑制作用明显；Cu²⁺浓度为 0.1 mmol/L 时，降解率仅为 6.4%；Cu²⁺浓度高于 0.4 mmol/L 时，菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明，Cu²⁺对 XH-10 的影响极其显著，Cu²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有强烈的抑制作用。

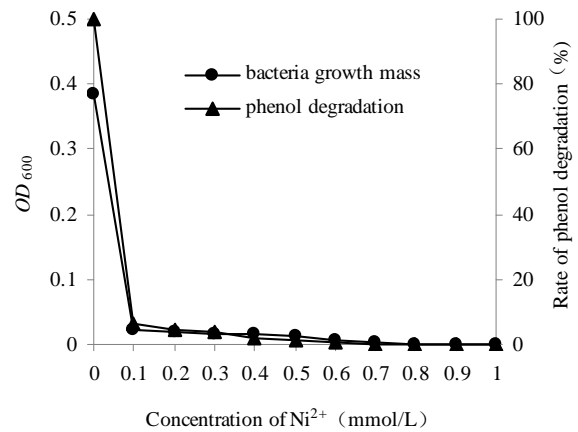


Figure 11. Effect of Ni²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 11. Ni²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

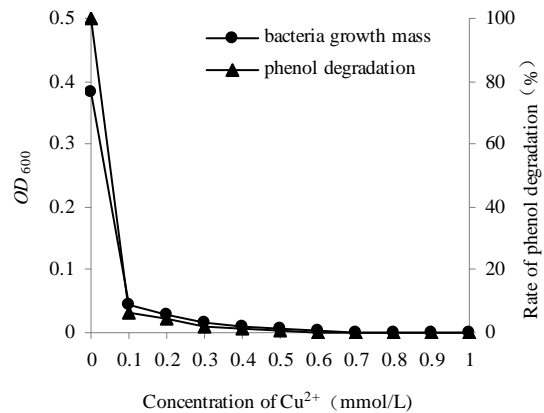


Figure 12. Effect of Cu²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 12. Cu²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

3.2.7. Zn²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

锌是各种金属蛋白酶、Cu (Zn)-超氧化物歧化酶、碳酸酶、醇脱氢酶等的辅助因子，广泛存在于一系列涉及糖、蛋白质和核酸代谢中的水解酶中。由图 13 可见，当 Zn²⁺浓度低于 0.1 mmol/L 时，随着浓度升高，XH-10 生长量呈上升趋势，Zn²⁺对 XH-10 表现为促进作用；Zn²⁺浓度高于 0.1 mmol/L 时，菌体生长量急剧减少，Zn²⁺对 XH-10 表现为抑制作用。当 Zn²⁺浓度低于 0.1 mmol/L 时，苯酚降解率大致不变，达 99% 以上；Zn²⁺高于 0.1 mmol/L 时，苯酚降解率急剧降低，Zn²⁺抑制作用明显。实验表明，Zn²⁺对 XH-10 的影响非常明显，最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Zn²⁺浓度范围为 0~0.1 mmol/L。

3.2.8. Mo²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

钼是不可缺少的一种微量元素，少量的钼有利于

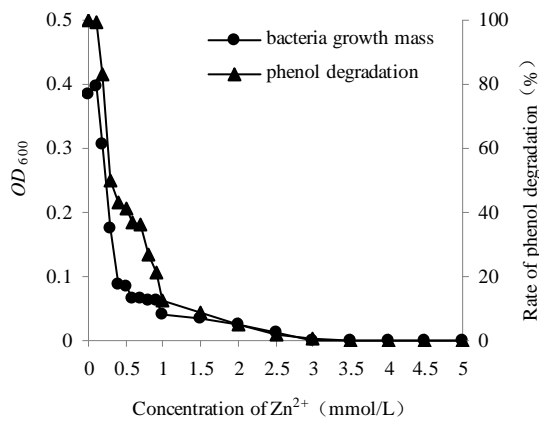


Figure 13. Effect of Zn²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 13. Zn²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

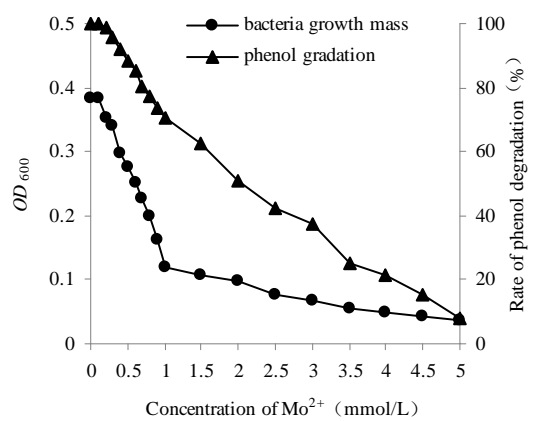


Figure 14. Effect of Mo²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 14. Mo²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

微生物的活性和生长。钼在硝酸根的还原和醛类、嘌呤类以及亚硫酸盐的氧化中是不可或缺的^[26]。由图 14 可见，当 Mo²⁺浓度低于 0.1 mmol/L 时，随浓度升高，XH-10 生长量呈上升趋势，Mo²⁺对 XH-10 表现为促进作用；Mo²⁺浓度高于 0.1 mmol/L 时，菌体生长量急剧减少，Mo²⁺对 XH-10 表现为抑制作用。当 Mo²⁺浓度低于 0.2 mmol/L 时，苯酚降解率变化较小，均达 98.7% 以上；Mo²⁺浓度高于 0.2 mmol/L 时，苯酚降解率急剧降低，Mo²⁺抑制作用明显。实验表明，Mo²⁺对 XH-10 的影响非常明显，最适宜 XH-10 生长和苯酚降解的 Mo²⁺浓度范围为 0~0.1 mmol/L。

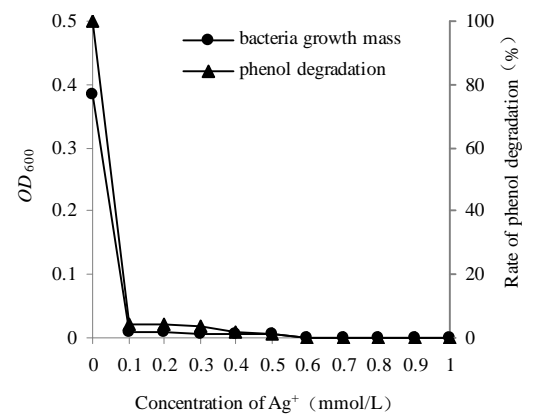


Figure 15. Effect of Ag⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 15. Ag⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

3.2.9. Ag⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

银在水中能分解出极微量的银离子，这种银离子能吸附水中的微生物，使微生物赖以呼吸的酶失去作用，从而杀死微生物。由图 15 可见，随着 Ag⁺浓度升高，XH-10 生长量和苯酚降解率都呈急剧下降趋势，Ag⁺对 XH-10 抑制作用明显；Ag⁺浓度为 0.1 mmol/L 时，降解率仅为 4.2%；Ag⁺浓度高于 0.4 mmol/L 时，菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明，Ag⁺对 XH-10 的影响极其显著，Ag⁺对 XH-10 生长和苯酚降解具有强烈的抑制作用。

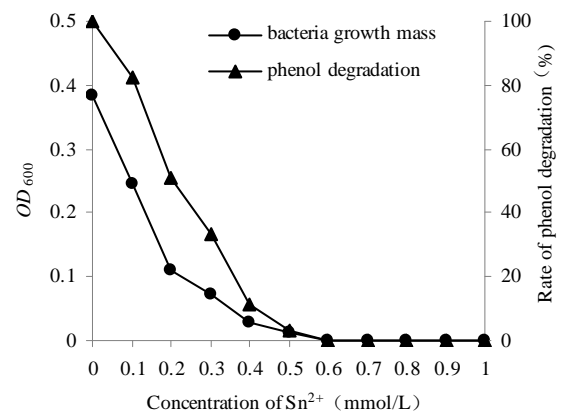


Figure 16. Effect of Sn²⁺ on the growth and phenol degradation of the strain XH-10
图 16. Sn²⁺对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

3.2.10. Sn²⁺对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

锡可以促进蛋白质和核酸的合成，有利于生长发育，并且组成多种酶以及参与黄素酶的生物反应，能够增强体内环境的稳定性等。但是有机锡的毒性非常高，尤其锡的三烷基化合物可以摧毁含硫的蛋白质。由图 16 可见，随着 Sn²⁺浓度升高，XH-10 生长量和

苯酚降解率均呈下降趋势，Sn²⁺对 XH-10 抑制作用明显；Sn²⁺浓度为 0.2 mmol/L 时，苯酚降解率为 50.8%；Sn²⁺浓度高于 0.5 mmol/L 时，菌体生长量和苯酚降解

率几乎为 0。实验表明, Sn^{2+} 对 XH-10 的影响非常明显, Sn^{2+} 对菌体生长和苯酚降解具有一定的抑制作用, 但在较低的浓度范围内, XH-10 仍有一定的生长和苯酚降解潜力。

3.2.11. Hg^{2+} 对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

汞离子易与巯基结合, 使与巯基有关的细胞色素氧化酶、丙酮酸激酶、琥珀酸脱氢酶等失去活性, 汞还与氨基、羧基、磷酸基结合而影响功能基团的活性。由图 17 可见, 随 Hg^{2+} 浓度升高, XH-10 生长量和苯酚降解率均呈急剧下降趋势, Hg^{2+} 对 XH-10 抑制作用明显; Hg^{2+} 浓度为 0.1 mmol/L 时, 苯酚降解率仅为 12%; Hg^{2+} 浓度高于 0.8 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明, Hg^{2+} 对 XH-10 的影响极其显著, Hg^{2+} 对 XH-10 生长和苯酚降解有强烈的抑制作用。

3.2.12. Pb^{2+} 对 XH-10 生长和苯酚降解的影响

Pb^{2+} 是一种对大多微生物具有强烈抑制作用的重金属离子, 细胞内的多种内含物如蛋白质、核酸和可溶性糖等在绝大多数处理中都随着 Pb^{2+} 浓度的升高而降低^[27]。由图 18 可见, 随 Pb^{2+} 浓度升高, XH-10 生长量和苯酚降解率均呈急剧下降趋势, Pb^{2+} 对 XH-10 抑制作用明显; Pb^{2+} 浓度为 0.1 mmol/L 时, 苯酚降解率仅为 72.9%; Pb^{2+} 浓度高于 0.5 mmol/L 时, 菌体生长量和苯酚降解率几乎为 0。实验表明, Pb^{2+} 对 XH-10 的影响非常明显, Pb^{2+} 对 XH-10 生长和苯酚降解具有一定的抑制作用, 但在较低的浓度范围内, XH-10 仍有一定的生长和苯酚降解潜力。

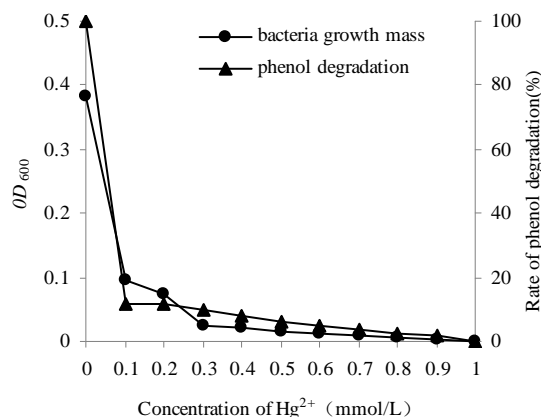


Figure 17. Effect of Hg^{2+} on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 17. Hg^{2+} 对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

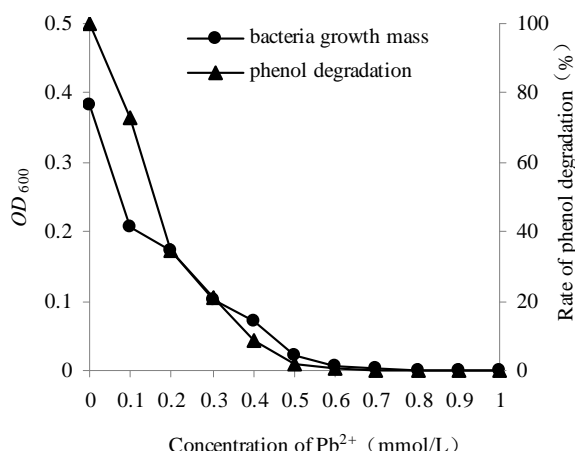


Figure 18. Effect of Pb^{2+} on the growth and phenol degradation of the strain XH-10

图 18. Pb^{2+} 对菌株 XH-10 生长和苯酚降解的影响

4. 结论

菌株 XH-10 属于粘质沙雷氏菌属 (*Serratia marcescens*), 其生长和降解苯酚的最适温度为 $20^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$, 最适 pH 值为 6.0~9.0, 24 h 内对 10 mmol/L 的苯酚降解率可达 99.29%, 在含有 20 mmol/L 苯酚的无机盐培养基中该菌也能生长。通过不同金属离子对菌株 XH-10 的生长和苯酚降解影响的研究发现:

- 1) Al^{3+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Ag^{+} 对苯酚降解菌 XH-10 的生长和苯酚降解有强烈的抑制作用。
- 2) K^{+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{2+} 、 Mo^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Sn^{2+} 对苯酚降解菌 XH-10 的生长和苯酚降解有一定的抑制作用, 但在低浓度时, XH-10 有一定的生长和苯酚降解潜力。
- 3) Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 Mn^{2+} 在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的生长有促进作用, 对苯酚降解的抑制作用较小; 在高浓度时对菌体生长和苯酚降解的抑制作用明显。
- 4) Ba^{2+} 对苯酚降解的抑制作用明显; 而在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的生长有促进作用。
- 5) Fe^{3+} 对菌体生长的抑制作用明显; 而在较低浓度时对苯酚降解菌 XH-10 的苯酚降解抑制作用较小。

5. 致谢

本文得到四川省教育厅和南充市科技局提供的项目资助, 西华师范大学微生物学实验员蒲世华和研究生刘亮同学为本文实验提供了很多帮助, 在此一并感谢。

参考文献 (References)

- [1] 吴培诚, 唐莉丽, 武波. 琼氏不动杆菌菌株 GXP04 的苯酚降解特性[J]. 广西农业生物科学, 2003, 22(4): 293-296, 306.
- [2] 杨广花, 蔡志强, 赵希岳, 项静英, 朱孝霖, 李亮. 耐冷苯酚降解菌 Phe311 的分离和降解特性[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(19): 8869-8870.
- [3] 岳黎, 唐赞, 杨艳, 宋嫣, 谭洪, 王晓玉. 石油污染土壤中高效苯酚降解菌的分离鉴定及特性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12295-12300.
- [4] 雯航, 高勇伟, 田景环. 我国土壤污染概况及危害性[J]. 河南科技, 2008, 5: 7.
- [5] R. E. 斯皮思, 李亚新, 译. 工业废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [6] 沈同, 王镜岩. 生物化学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [7] J. 莎姆布鲁克, D. W. 拉塞尔, 黄培堂等, 译. 分子克隆实验指南(第三版)[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1595.
- [8] A. Mutzel, U. M. Reinscheid, G. Antranikian, et al. Isolation and characterization of a thermophilic bacillus strain that degrades phenol and cresols as sole carbon source at 70°C. Applied Microbiology and Biotechnology, 1996, 46(5-6): 593-596.
- [9] W. E. Balch, G. Fox, L. J. Margrum, et al. Methanogens: Reevaluation of a unique biological group. Microbiology Reviews, 1979, 43(2): 260-296.
- [10] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 294-295.
- [11] G. Claudia, K. Mark. Identification of the copper regulon in *saccharomyces cerevisiae* by DNA microarrays. The Journal Biological Chemistry, 2000, 275(41): 32310-32316.
- [12] Z. Q. Hao, S. L. Chen. Cloning, expression and characterization of cadmium and manganese uptake genes from *lactobacillus plantarum*. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(11): 4746-4752.
- [13] A. Cabrero, S. Fernandez, F. Mirada, et al. Effects of copper and zinc on the activated sludge bacteria growth kinetics. Water Research, 1998, 32(5): 1355-1362.
- [14] Y. M. Lin, X. F. Yang and Y. Liu. Kinetic responses of activated sludge microorganisms to individual and joint copper and zinc. Journal of Environmental Science and Health, 2003, 38(2): 353-360.
- [15] 孟雪征, 赖震宏, 龙腾锐. 金属离子对好氧活性污泥活性的影响[J]. 安全与环境学报, 2004, 6: 43-45.
- [16] 周崇松, 兰昌云, 范必威等. 金属离子在生命过程中的作用机制[J]. 广州化学, 2005, 30(1): 58-63.
- [17] 廖鲜艳, 王蓓, 堵国成等. 金属离子对面包酵母合成 ATP 的影响机制初探[J]. 过程工程学报, 2005, 5(4): 420-424.
- [18] 寇明旭, 刘全阳. 金属离子对活性污泥微生物影响研究进展[J]. 山西建筑, 2007, 2, 33(5): 176-177.
- [19] P. Yang, F. Gao. Principles of biological abiochemistry. Beijing: Higher Education Press, 2000, 8: 9-12.
- [20] 朱贤英. 论有毒重金属污染对人体健康的危害及饮水安全[J]. 湖北教育学院学报, 2006, 23(2): 72-74.
- [21] 刘国生, 李学梅, 李用芳等. 六种金属离子对 *Bacillus subtilis* 肌苷产率的影响[J]. 中国医药工业杂志, 2003, 34(8): 385-387.
- [22] 王秀衡, 任南琪, 王爱杰等. 铁锰离子对硝化反应的影响效应研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(1): 122-125.
- [23] R. E. Speece, J. H. Sherrand. Nickel stimulation of anaerobic digestion. WaRes, 1983, 17(6): 677-683.
- [24] C. A. Perry. Role of a *Candida albicans* P12Type AT Pase in resistance to copper and silver ion toxicity. Journal of Bacteriology, 2000, 182(17): 4899-4905.
- [25] 叶锦韶, 尹华, 彭辉. 微生物抗重金属毒性研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(4): 1-4.
- [26] 曹相生, 龙腾锐, 孟雪征, 赖震宏. Mn^{2+} 、 Mo^{6+} 和 Zn^{2+} 对活性污泥胞外聚合物组分的影响[J]. 环境科学, 2004, 25(4): 70-73.
- [27] 张建民, 王转斌. 重金属离子对酵母影响的研究[J]. 微生物学通报, 1999, 26(1): 18-20.