

酵母 *Candida krusei* 对合成染料的脱色

余志晟, 文湘华

(清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 通过筛选实验, 从土壤中新分离到 1 株对活性艳红 K-2BP 具有明显脱色效果的酵母菌株 Y-G1, 经鉴定为克鲁斯假丝酵母 *Candida krusei*. 该菌株对含活性艳红 K-2BP 起始浓度为 200 mg/L 的培养基, 最大脱色率为 99%, 达到最大脱色率的时间是 12 h. 克鲁斯假丝酵母的最佳接种量应不低于 5% (体积分数), 培养基最适 pH 在 4~9 之间, 氮源 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度不低于 0.1%, 相对应的碳源葡萄糖浓度不低于 0.5%. 对脱色机理的研究表明, 该菌株对活性艳红 K-2BP 的去除属于降解脱色. 此外, 该菌株对另外 9 种染料 (50 mg/L) 的脱色率在 62%~96% 之间. 其中, 对偶氮染料弱酸艳红 B、活性黑 KN-B 和活性红 M-3BE 的脱色率都达到了 90% 以上, 对三苯甲烷染料 (酸性媒介漂蓝 B) 的脱色率达到了 93%. 表明克鲁斯假丝酵母在染料废水的处理上可能具有较好地应用潜能.

关键词: 染料; 活性艳红 K-2BP; *Candida krusei*; 脱色; 筛选

中图分类号: X791 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)05-0137-06

Decolorization of Synthetic Dyes with a New Isolated Yeast *Candida krusei*

YU Zhi-sheng, WEN Xiang-hua

(State Key Joint Laboratory of Environment Simulation & Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A new yeast isolate Y-G1, identified as *Candida krusei*, capable of degrading Reactive Brilliant Red K-2BP, was obtained from soil by screening experiments. This strain gave a maximal decolorization (99%) for Reactive Brilliant Red K-2BP (200 mg/L) after incubation of 12 h. In order to get this decolorization effect, the optimal inoculation volume of *Candida krusei* was not less than 5%, the optimal pH of culture medium was within a range from 4 to 9, and the concentrations of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and glucose were not lower than 0.1% and 0.5%, respectively. The research results on the mechanism of decolorization show that *Candida krusei* could biodegrade Reactive Brilliant Red K-2BP. In addition, *Candida krusei* could also decolorize 62%~96% of another 9 dyes (50 mg/L). Specially for azo dyes, including Weak Acid Brilliant Red B, Reactive Black KN-B and Reactive Red M-3BE, their decolorization rates were over 90%, and for triphenylmethane dye, Mordant Blue B, it was up to 93%. All these results indicate that this strain have potential application in dye wastewater treatment.

Key words: dyes; Reactive Brilliant Red K-2BP; *Candida krusei*; decolorization; screening

合成染料是随印染工业的发展而逐渐发明和生产的一类结构复杂、种类繁多并且化学稳定性高的物质. 在自然界这类化合物难于被分解, 对生物具有一定的毒性, 并且增加水体的色度. 采用细菌、丝状真菌如白腐真菌处理染料的研究已有许多报道^[1~4], 但都还没有形成成熟的工艺或者说仍然存在着缺陷. 例如部分细菌在厌氧条件下虽然能够降解染料, 但生成的中间产物如苯胺类物质对环境仍存在一定的危害. 而白腐真菌如黄孢原毛平革菌 *Phanerochaete chrysosporium* 由于自身生理特性的限制, 如生长慢的缺陷, 迄今为止, 还没有形成成熟的工艺. 酵母菌兼具细菌和丝状真菌的优点^[5,6], 同时又可以避免这 2 类微生物的缺陷, 但目前关于酵母对染料脱色的研究报道还比较有限.

本研究报道了从土壤中新筛选到的 1 株能对染料脱色的酵母菌, 并探讨了它对活性艳红 K-2BP 脱

色的最佳条件和机理, 以及它对另外 9 种染料的脱色能力.

1 材料与方法

1.1 酵母菌的分离

酵母菌株从土壤中分离. 土壤取自北京市的果园、农田和公园以及城市垃圾等有机质丰富的地方. 大约 1g 湿土样放入到 3 mL 的液体培养基中富集培养. 然后在固体平板培养基上划线分离. 培养基组成: 葡萄糖 2%, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.5%, KH_2PO_4 0.1%, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.05%, pH 5.0, 固体培养基中加入琼脂 2%.

收稿日期: 2004-09-15; 修订日期: 2004-11-10

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (2003034139); 清华-中大博士后科学基金项目 (202836001-23)

作者简介: 余志晟 (1972~), 男, 博士后, 主要研究方向为环境生物技术及应用.

1.2 染料

本实验以活性艳红 K-2BP 作为主要的研究对象,它属于活性偶氮染料,而这类染料在实际印染工业中应用广泛,另外还选用了其它 9 种染料,包括活性艳蓝 X-BR、酸性媒介漂蓝 B、活性翠蓝 KN-G、酸性媒介黄 GG、酸性媒介红 S-80、依加仑蓝 FBL 200%、弱酸艳红 B、活性黑 KN-B、活性红 M-3BE。染料分别购自清河毛纺厂和天津市新美染料化工有限公司。

1.3 脱色实验

用接种针将已经纯化并且新培养的酵母细胞从斜面上挑取一环转接到装有 10 mL 液体脱色培养基的三角瓶中脱色培养,摇床转速为 200 r/min,一般 28℃ 条件下培养 24h。培养基组成:葡萄糖 1%, KH_2PO_4 0.1%, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.1%, MgSO_4 0.05%, 酵母粉 0.02%, 加入一定浓度的染料,一般情况下为 50 mg/L。

1.4 分析方法

用移液器取 4 mL 培养液,加入到离心管中,9 000 r/min 离心 10 min,取上清液在分光光度计上测定染料最大吸收波长处的吸光度值,并以不接酵母菌的染料培养基为对照,计算脱色率,以表示对染料的脱色能力。脱色率(%) = $(A - B) / A \times 100$ (A 为脱色前脱色培养基的吸光度值, B 为脱色后脱色培养基的吸光度值)。

1.5 酵母菌株的鉴定

根据参考文献[7]提供的方法对酵母菌株进行鉴定。

2 结果与讨论

2.1 酵母菌的筛选和鉴定

在初步的富集培养和分离实验中,获得了大量的酵母菌株。在此基础上,采用含活性艳红 K-2BP 50 mg/L 的液体培养基进行了初步的筛选实验,并最终获得了一株对活性艳红 K-2BP 具有明显脱色效果的酵母菌株 Y-G1。该菌株在显微镜下观察,细胞卵形,大小为 $2.0 \sim 5.5 \mu\text{m} \times 4.5 \sim 15.5 \mu\text{m}$;在液体培养基里形成菌环和醭膜;在固体培养基里菌落灰白色,表面无反光,边缘波浪状,无假菌丝产生;在 37℃ 下,无维生素培养基中能够生长。该菌株的生化特征见表 1。该菌株最终鉴定为克鲁斯假丝酵母 *Candida krusei*。

2.2 不同条件对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

为了探讨克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP

表 1 酵母菌株 Y-G1 的生化特征

鉴定类别	化合物	反应类型	化合物	反应类型
糖类发酵	葡萄糖	能发生反应	麦芽糖	不发生反应
	半乳糖	不发生反应	乳糖	不发生反应
	蔗糖	不发生反应	棉子糖	不发生反应
碳源同化	葡萄糖	能发生反应	D-阿拉伯糖	不发生反应
	半乳糖	不发生反应	核糖	不发生反应
	山梨糖	不发生反应	L-鼠李糖	不发生反应
	蔗糖	不发生反应	甘油	能发生反应
	麦芽糖	不发生反应	赤藓糖醇	不发生反应
	纤二糖	不发生反应	核糖醇	不发生反应
	海藻糖	不发生反应	半乳糖醇	能发生反应
	乳糖	不发生反应	D-甘露醇	不发生反应
	蜜二糖	不发生反应	D-山梨醇	不发生反应
	棉子糖	不发生反应	杨梅苷	不发生反应
	松三糖	不发生反应	DL-乳酸	不发生反应
	可溶性淀粉	不发生反应	琥珀酸	能发生反应
	D-木糖	不发生反应	柠檬酸	能发生反应
L-阿拉伯糖	不发生反应	肌醇	不发生反应	
其它	类淀粉物质产生	不发生反应	同化硝酸盐	不发生反应

脱色的最大能力和最佳脱色条件,研究了在不同培养条件下,克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 的脱色效果。

2.2.1 活性艳红 K-2BP 不同起始浓度对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

如图 1 所示,克鲁斯假丝酵母在 72h 内对不同起始浓度活性艳红 K-2BP 脱色效果是不同的。随着活性艳红 K-2BP 浓度的增加,酵母菌脱色的速率降低,达到最大脱色率的时间也顺次延后。对于起始浓度低于 200 mg/L 的染料培养基,达到最大脱色率的时间不超过 24h,而对于高于 400 mg/L 的染料培养基,在培养 72h 后,脱色率仍有增加的趋势。另外,对于相对浓度较低的染料,如低于 200 mg/L 时,最大脱色率达到了 99% 左右;而对浓度相对较高的染料,如 1 000 mg/L,在培养 72h 后,脱色率只有 31%。为了便于研究其它条件对脱色的影响,确定以 200 mg/L 的染料进行后续实验。因为在实际染料废水中,该浓度已经很高了。

此外,通过实验观察发现,酵母菌对于不同浓度染料的脱色机制可能有所不同,对于起始浓度低于 200 mg/L 的染料,酵母菌的脱色机制可能主要是生物降解作用,因为菌体最终的颜色为白色或者是黄色,而不是活性艳红 K-2BP 的颜色(红色)。而对于起始浓度大于 400 mg/L 的染料,最终菌体的颜色

仍为红色,这时对染料的脱色可能除了降解作用外,还主要依靠对染料的吸附作用.由于合成染料如活性艳红 K-2BP 等对生物都有不同程度的毒性,克鲁斯假丝酵母对染料的吸附加剧了这种生物毒性,从而抑制了它的生长.推测正是这种原因降低了克鲁斯假丝酵母对高浓度活性艳红 K-2BP 的脱色速度和脱色率.

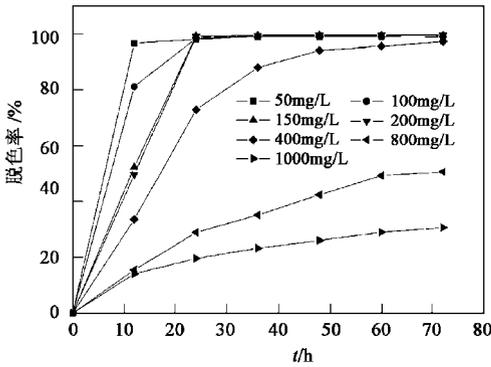


图 1 活性艳红 K-2BP 不同起始浓度对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

Fig.1 Effects of different initial concentrations of Reactive Brilliant Red K-2BP on decolorization with *Candida krusei*

2.2.2 不同接种量对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

图 2 显示了不同接种量对脱色的影响.结果发现当接种量达到 5%(体积分数)后,进一步增加接种量,对脱色率和脱色速度的影响已不明显.这说明对于该菌株,在所测试的染料浓度下,最小的接种量为 5%(体积分数).在此条件下,达到最大脱色率的时间为 12h,最大脱色率为 99%.值得注意的是,当接种量为 3%(体积分数)时,达到最大脱色率的时

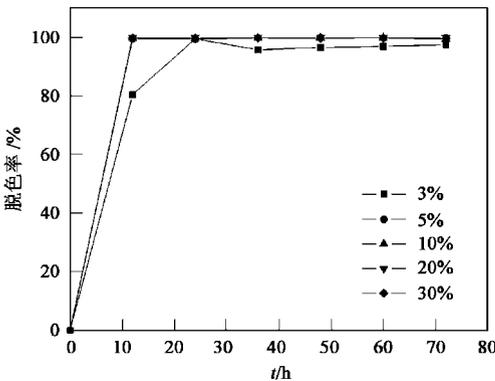


图 2 克鲁斯假丝酵母的不同接种量对其脱色的影响

Fig.2 Effects of different inoculation volumes of *Candida krusei* on its decolorization ability

间推迟为 24h,并且对染料的脱色有一个先上升,后下降,再上升的过程.这个变化过程可能与生成的菌体量和产生的少量次生有色代谢产物有关.当菌体对有色物质的转化和再利用远大于它们的生成时,对溶液的脱色率就增加,反之,脱色率下降.为了增加菌体对活性艳红 K-2BP 染料培养基的适应性,确定 10%(体积分数)的接种量来进行后续实验.

2.2.3 不同 pH 值对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

图 3 显示不同 pH 下,克鲁斯假丝酵母在培养 48h 后对活性艳红 K-2BP 脱色的效果.结果表明,克鲁斯假丝酵母对 pH 的适应范围较宽,在测试的 pH 范围(3~10)内都能对活性艳红 K-2BP 有效脱色,但最适 pH 在 4~9 之间,这时的脱色率能达到 99% 左右.

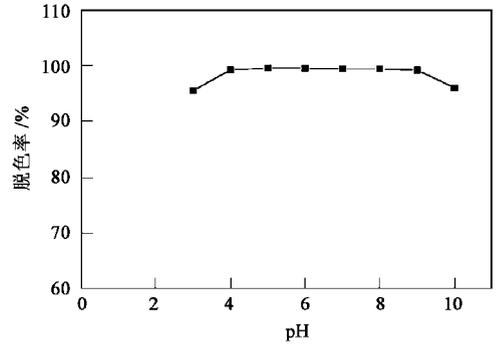


图 3 pH 对克鲁斯假丝酵母脱色的影响

Fig.3 Effects of different pHs on decolorization with *Candida krusei*

此外,该酵母菌在含染料培养基中脱色 48h 后,溶液 pH 值都明显下降了,并且在这个最适的 pH 范围 4~9 内,pH 的降幅都较大,见表 2.如初始 pH 为 9 的培养液,在 48h 后,pH 下降了 6.37.pH 降低的原因可能是由于染料分子中的酸性基团 $-SO_3H$ 被降解到溶液中的缘故.

表 2 克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 脱色 48h 后培养液 pH 的变化

Table 2 Changes of the pHs of culture media after incubating *Candida krusei* to decolorize Reactive Brilliant Red K-2BP for 48 h

初始 pH	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
最终 pH	2.16	2.11	2.12	2.19	2.33	2.46	2.63	5.62

2.2.4 氮源浓度对脱色的影响

由于碳、氮源的浓度对酵母生长的影响较大,同时也必然影响到脱色效果.在这个实验中,首先将葡

葡萄糖的浓度确定为 1%, 然后改变氮源 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的浓度, 探讨氮的量对克鲁斯假丝酵母脱色的影响. 图 4 显示了克鲁斯假丝酵母在不同 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度下对活性艳红 K-2BP 脱色 48h 的效果. 结果表明在不加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的情况下, 该酵母菌就能对活性艳红 K-2BP 具备一定的脱色能力, 且脱色率高于 60% (图 4). 当 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的浓度增加到 0.1% 时, 脱色率迅速达到最大, 为 99%. 这表明一定的氮源对克鲁斯假丝酵母脱色能力的增强是非常有帮助的. 然而, 当继续增加氮源的浓度, 在此实验条件 (活性艳红 K-2BP 起始浓度 200 mg/L) 下, 脱色率仍然保持在 99%. 而白腐真菌, 如 *Phanerochaete chrysosporium*, 需要一定的氮限制, 当氮源过量时, 就影响到它的木质素降解酶的产生^[8], 从而间接影响它对难生物降解物质如染料等的降解.

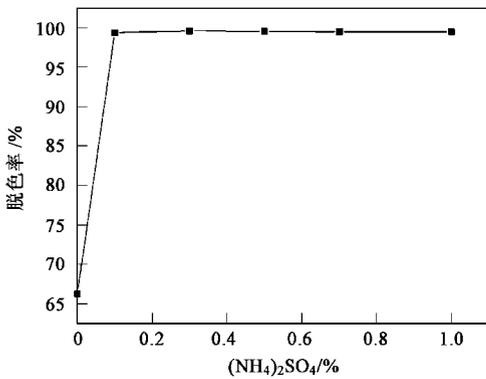


图 4 不同 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度对克鲁斯假丝酵母脱色的影响
Fig. 4 Effects of different $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ concentrations on decolorization with *Candida krusei*

2.2.5 碳源浓度对脱色的影响

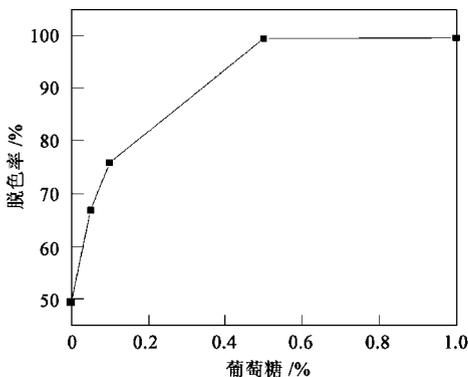


图 5 不同葡萄糖浓度对克鲁斯假丝酵母脱色的影响
Fig. 5 Effects of different glucose concentrations on decolorization with *Candida krusei*

将 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的浓度定为 0.1%, 通过改变葡萄糖的浓度来研究碳的量对克鲁斯假丝酵母脱色的影响. 图 5 显示了克鲁斯假丝酵母在不同葡萄糖浓度下对活性艳红 K-2BP 脱色 48h 的效果. 结果表明在不加葡萄糖的情况下, 克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 具备一定的脱色能力, 但脱色效率低, 略低于 50%. 随着葡萄糖浓度的增加, 酵母菌的脱色效率也增加了. 当葡萄糖浓度增至 0.5% 时, 脱色率达到了最大为 99%.

通过本实验和 2.2.4 的研究, 表明克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 的脱色需要一定浓度的碳、氮源. 就本实验测试的葡萄糖和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 而言, 葡萄糖的浓度应在 0.5% 或者略高于它的范围内, 而 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的浓度应在 0.1% 或者略高于它的范围内. 这样的结果表明克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 的脱色可能是由于共代谢作用的结果, 而不是直接利用染料分子, 如活性艳红 K-2BP, 作为碳源或者氮源.

2.3 克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 脱色的机制

为了确定克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 脱色的基本特征, 追踪了该菌株对活性艳红 K-2BP (起始浓度为 200 mg/L, 接种量为 3%) 的脱色过程, 见图 6. 结果表明, 克鲁斯假丝酵母在培养 24 h 后, 脱色率达到最大, 为 99%, 这时菌体为白色微红. 但随着培养时间的延长, 到 27 h 后, 菌体细胞逐渐变黄. 在整个脱色过程中, 酵母细胞的颜色变化过程为: 红色 → 淡红色 → 粉红色 → 白色微红 → 白色 → 淡黄色, 而与之相对应的培养液经离心后, 颜色变化过程为: 红色 → 淡红色 → 微红 → 无色 → 无色 → 无色. 通过对比发现, 当培养液经离心后已经为无色时, 酵母细胞并未变为白色, 而是红色, 或者部分红色、部分白色. 这说明克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 的脱色是由吸附和降解 2 种机制引起的, 但最终对活性艳红 K-2BP 的去除是依靠生物降解机制来完成的, 整个对活性艳红 K-2BP 去除的过程应该是先吸附后降解. 另外, 在培养后期酵母细胞变黄, 这可能与 2 个原因造成: 一个可能是在培养后期, 部分酵母细胞老化分解; 另一个可能是有些次生代谢产物产生了, 并且与酵母细胞发生了反应, 从而导致了菌体细胞颜色发生了改变. 在有的实验中, 溶液的脱色率在培养后期甚至略有下降, 如 2.2.2 报道的结果, 就有可能是在这种原因造成的.

此外, 实验中除了观测溶液颜色、菌体颜色和脱

色率的变化外,还测定了培养液随时间变化的吸收光谱,见图 7. 据此可以看出,随着培养时间的延长,溶液的吸光度迅速降低,培养 24h 后,在活性艳红 K-2BP 最大吸收波长处(533nm)的吸光度已低于 0.25,这与前面观测到的溶液颜色和脱色率的变化是一致的. 另外,在整个脱色过程中,尽管将培养时间延长到 72h,但仍未检测到新的吸收峰出现. 一种可能是克鲁斯假丝酵母将活性艳红 K-2BP 分子彻底降解成了水和二氧化碳;另一种可能是将活性艳红 K-2BP 分子转化成了其它微量小分子,而它们在该测量方法中不能被检测到. 关于克鲁斯假丝酵母降解活性艳红 K-2BP 的途径,还需要进一步做深入细致的研究.

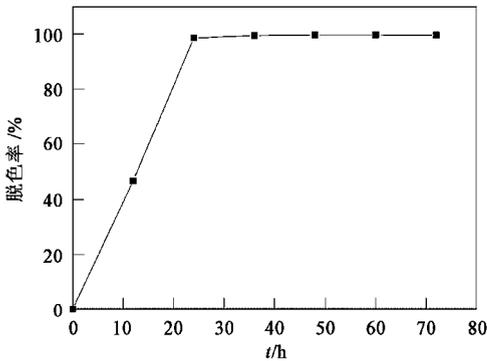
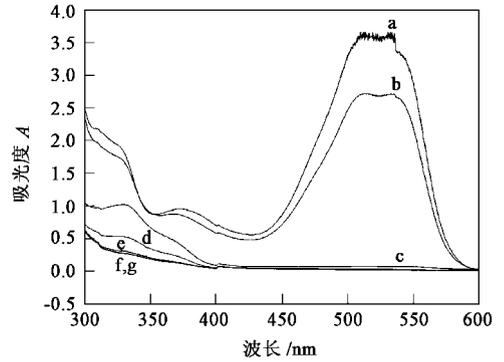


图 6 克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 脱色的变化过程

Fig. 6 Time course of decolorization of Reactive Brilliant Red K-2BP with *Candida krusei*

2.4 克鲁斯假丝酵母对其它染料的脱色

工业废水中通常含有多种染料,为了探讨克鲁斯假丝酵母对不同染料的适应和脱色能力,另外选择了 9 种不同染料进行了脱色实验,见表 3. 结果表明:该菌株对测试的 9 种染料都有不同程度的脱色,脱色率在 62%~96%之间. 值得一提的是该菌株对偶氮染料(弱酸艳红 B、活性黑 KNB 和活性红 M-3BE)表现出了一致的脱色效果,达到了 90%以上的脱色率. 这个结果也与前面对活性艳红 K-2BP 的脱色效果有较好的一致性. 根据对这些染料脱色后菌体的颜色看,克鲁斯假丝酵母对它们的脱色可能也是由降解作用引起的. 这些研究结果表明,克鲁斯假丝酵母对偶氮类染料的脱色具有较强的能力. 此外,该菌株对三苯甲烷染料(媒介漂蓝 B)也有较好的脱色效果(表 3). 表明该酵母在工业染料废水的处理中,将有较好地应用潜力.



活性艳红 K-2BP 的起始浓度为 200 mg/L, a (1.75 倍稀释), b, c, d, e, f, g 分别为在培养时间为 0 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h, 60 h, 72 h 的扫描曲线

Initial concentration of Reactive Brilliant Red K-2BP was 200 mg/L. a (1.75-time diluted solution of initial culture medium), b, c, d, e, f and g are scan profiles at 0 h, 12 h, 24 h, 36 h, 48 h, 60 h and 72 h, respectively

图 7 不同培养时间克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 脱色的扫描图谱

Fig. 7 Scan profiles of Reactive Brilliant Red K-2BP decolorization with *Candida krusei* under different culture time

表 3 克鲁斯假丝酵母对不同染料的脱色¹⁾

Table 3 Decolorization of different dyes with *Candida krusei*

染料	脱色率/ %	菌体颜色
活性艳蓝 X-BR	78	蓝色
媒介漂蓝 B	93	褐色
活性翠蓝 KN-G	62	绿色
酸性媒介黄 GG	72	淡黄色
媒介红 S-80	72	淡黄色
依加仑蓝 FBL 200 %	83	蓝色
弱酸艳红 B	94	白色
活性黑 KN-B	96	灰色
活性红 M-3BE	95	粉红色
活性艳红 K-2BP	97	白色

1) 染料起始浓度均为 50 mg/L, 培养时间为 24 h, 脱色率是 3 次实验的平均值.

3 结论

(1) 通过筛选实验,从土壤中分离到 1 株对活性艳红 K-2BP 具有明显脱色效果的酵母菌株 Y-G-1, 经鉴定为克鲁斯假丝酵母.

(2) 对脱色条件的研究表明,克鲁斯假丝酵母对活性艳红 K-2BP 起始浓度为 200 mg/L 的培养液,脱色的最佳接种量不低于 5% (体积分数),最适 pH 在 4~9 之间,氮源 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 浓度不低于 0.1% 和碳源葡萄糖浓度不低于 0.5%,此时,最大脱色率为

99% ,达到最大脱色率的时间是 12 h .

(3)对脱色机理的研究表明,克鲁斯假丝酵母菌株对活性艳红 K-2BP 的去除属于生物降解脱色 .

(4)克鲁斯假丝酵母菌株对另外 9 种染料的脱色率在 62% ~ 96% 之间 .其中,对弱酸艳红 B、活性黑 KNB 和活性红 M3BE 的脱色率都达到了 90% 以上,对酸性媒介漂蓝 B 的脱色率达到了 93% .

参考文献:

- [1] Banat I M, Nigam P, Singh D, *et al.* Microbial decolorization of textile-dye-containing effluents: a review [J]. *Bioresource Technology*, 1996, **58**:217 ~ 227 .
- [2] Fu Y, Viraraghavan T. Fungal decolorization of dye waste waters: a review [J]. *Bioresource Technology*, 2001, **79**: 251 ~ 262 .
- [3] Tien M, Kirk T K. Lignin-degrading enzyme from the hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* [J]. *Science*, 1983, **221**: 661 ~ 623 .
- [4] Bumpus J A, Tien M, Wright D, *et al.* Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus [J]. *Science*, 1985, **228**: 1434 ~ 1436 .
- [5] Yang Q, Yang M, Hei L, *et al.* Using ammonium-tolerant yeast isolates: *Candida halophila* and *Rhodotorula glutinis* to treat high strength fermentative wastewater [J]. *Environmental Technology*, 2003, **24**:383 ~ 390 .
- [6] 金新梅. 味精废水的微生物转化与效益 [J]. *环境污染与防治*, 1997, **19**:13 ~ 16 .
- [7] Barnett J A, Payne R W, Yarrow D. *Yeasts: Characteristics and Identification* (2nd ed) [M]. New York: Cambridge University Press, 1990. 124 ~ 240 .
- [8] Dosoretz C G, Chen A H C, Grethlein H E. Effect of oxygenation conditions on submerged cultures of *Phanerochaete chrysosporium* [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1990, **34**:131 ~ 137 .

欢迎订阅《环境工程》杂志

《环境工程》是国家科技部批准,中冶集团建筑研究总院和中国环境科学学会环境工程分会主办的综合性环保技术刊物.读者对象是从事环境保护科研、设计、生产、教学的广大科技人员、院校师生、管理人员.《环境工程》是中国自然科学中文核心期刊,中国环境科学类核心期刊,中国科技论文统计源期刊.

《环境工程》刊主要报道污染防治的实用技术,主要内容有水、烟气、噪声、固体废物的污染防治技术、环境评价、监测分析、厂矿环境污染治理经验、国内外环保科技信息等.

《环境工程》为双月刊,大16开本,每期80页,双月22日出版,每期定价10.00元,全年6期共60.00元(包括邮费).欢迎读者到当地邮局订阅(邮发代号82-64),也可通过银行或邮局汇款直接向本刊编辑部订阅.

经北京市工商行政部门批准,本刊辟有广告专栏,为国内外广告客户服务.

开户银行:中国工商银行北京北太平庄支行 帐号:0200010019200071570

单位:中冶集团建筑研究总院(13)

地址:北京市海淀区西土城路33号《环境工程》编辑部 邮编:100088

电话:(010)82227637/7638(编辑)/7236(发行)/7677/7238(广告)