

液体培养基中添加天然成分对白腐真菌 *Phanerochaete chrysosporium* 生长的促进作用

林刚, 文湘华, 钱易(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要:通过试验发现,在液体培养基中添加木材、玉米芯、土豆浸出液,对于白腐真菌 *Phanerochaete chrysosporium* 的产量提高有极大的促进作用.在外加碳源为 10g/L 葡萄糖的条件下,经过 3d 培养,添加浸出液的培养基的小球产量均能够达到 80g/L 以上,是未添加浸出液的基础培养基的小球产量的 5 倍.在外加碳源为 5g/L 葡萄糖时,添加了外源天然浸出液后,3d 后小球产量均能达到 69.5g/L 以上,在未添加任何浸出液的基础培养基中,小球产量很低,并且在葡萄糖浓度 1g/L ~ 20g/L 时,3d 产量在 12.5g/L ~ 14.5g/L 范围内.添加土豆浸出液的样品容易染菌,添加玉米芯浸出液的样品培养较长时间后容易发生小球膨胀,添加木材浸出液的培养基用于培养白腐真菌小球,产量高,耐其它微生物污染能力强,能在较长时期内保持良好的泥水分离能力,是较好的液体培养生长促进添加剂.木材、玉米芯、土豆浸出液相互混合有利于白腐真菌的生长.用添加木材浸出液的培养基培养白腐真菌,在不同浓度葡萄糖条件下,小球产量的差别在初期并不明显,随着培养时间增加,小球产量差别逐渐增大.木材浸出液对采用培养基培养菌丝小球的作用是刺激生长,并不是提供生长所需要的有机物.

关键词:白腐真菌;培养基;添加剂

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)04-07-0041

Enhance of Reproduction of *Phanerochaete chrysosporium* by Adding Natural Lixiviums in Liquid Medium

Lin Gang, Wen Xianghua, Qian Yi (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Great promotion to the reproduction of white rot fungus (*Phanerochaete chrysosporium*) by adding natural lixiviums such as from wood, maize core and potato in liquid medium was found in this research. Incubated in the liquid medium contained 10g/L glucose as carbon source with natural lixiviums for three days, the production of mycelium pellet reached more than 80g/L, which was 5 times of without natural lixiviums. Incubated in the liquid medium contained 5mg/L glucose as carbon source with natural lixiviums for three days, the production of mycelium pellet can reach 69.5g/L, while the production of medium without natural lixiviums was very low. When the basic medium contained 1g/L ~ 20g/L glucose as carbon source, the production of mycelium pellet in 3 days can only reach 12.5g/L to 14.5g/L. The media with potato lixiviums were easily contaminated and the media with maize core lixiviums were easily bulking, while the media with wood lixiviums were not easily contaminated and bulking. Medium with wood lixiviums can produce more pellet than other medium, endure contamination and keep better sedimentation capacity. So, wood lixivium is better additive to the culture of white rot fungi in liquid medium. Addition of the mixture of wood, maize core and potato lixiviums is of advantage to the production of mycelium pellet. The difference of the production in the media with different amount of wood lixiviums showed little in the first 3 days, while it expanded after 3 days. Wood lixiviums stimulate the growth of *P. chrysosporium* instead of supply organics which fungi need.

Keywords: white rot fungi; medium; additive

白腐真菌因其具有对难降解有机物很强的降解能力而受到广泛关注^[1,2],包括多环芳烃 (PAHs)^[3~8]、氯酚^[9~11]、多氯联苯 (PCBs)^[12,13]、军工废水^[14~17]、农药^[18]、漂白厂废水^[19]、合成染料^[20~23]、合成多聚物^[24~26]、

和杂芳油^[27]等.在研究白腐真菌小球的生理生

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59138080)

作者简介:林刚(1968~),男,博士生,主要研究方向为环境工程.

收稿日期:2002-09-19;修订日期:2002-12-04

化及降解特性时,大多数研究者采用液体培养基在摇床条件下进行扩大培养,目前多采用合成培养基^[28,29].因为白腐真菌生长需要的营养条件还不是很清楚,为了促进其生长,各研究者对培养基成分进行了调整,所以报道中不同的研究者采用的培养基成分常常各不相同^[30,31],这使得不同研究间的可比性降低.对白腐真菌培养基的专门研究还较少报道,有必要对白腐真菌培养基进行更为深入的研究,为白腐真菌的研究提供更为合理的标准培养基.

根据培养基的组成成分,培养基可分为天然和合成 2 大类.天然培养基含有化学成分不完全明了的天然物质,如蛋白陈、牛肉膏等.其特点为取材方便,成本低,微生物增殖效果较好.合成培养基由已知化学成分的营养物质组成.这种合成培养基的配方成分都是已知的,所以只要在配制过程中按照要求严格操作,各批培养基的质量就可做到稳定一致,但是因为和微生物自然生长状况差别比较大,往往生长效果比较差^[32].

本研究比较了添加天然物质浸出液的培养基和合成培养基产生白腐真菌小球的能力,目的是为白腐真菌扩大培养提供参考.

1 材料与方法

1.1 材料

菌种及培养基:菌种为黄孢平革菌(*Phanerochaete chrysosporium* BMK- F1767),由中国科学院广州化学研究所付时雨研究员提供.

液体培养基基本成分为^[31]: 葡萄糖 10 g/L; KH_2PO_4 2g/L; 酒石酸铵 0.2 g/L; CaCl_2 0.1 g/L; MgSO_4 0.25g/L; 维生素 B_1 5 mg/L; 微量元素 1 ml/L. 微量元素成分: $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.08 g/L; H_2MoO_4 0.05 g/L; $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.07 g/L; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.043 g/L; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 0.05 g/L.

添加成分:土豆、木材、玉米芯浸出液,分别取新鲜土豆 15g、腐朽木材 2.5g、玉米芯 3.75g,切成 $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 见方的小块,加去离子水适量,电炉上煮沸,保持沸腾 20 min,40 目纱网过滤,其中木材浸出液和玉米芯浸出液再用快

速滤纸过滤,取上清液备用,此为一份土豆、木材、玉米芯浸出液.

1.2 实验方法

根据试验需要,分别按照各试验的特定配方加入各种成分,加去离子水至所需体积,配成液体培养基,用 250 mL 锥形瓶分装,每瓶加入培养基 100 mL,8 层纱布封口;在高压灭菌锅中 $121\text{ }^\circ\text{C}$ 下灭菌 10 min;冷却,用接种环轻刮固体培养基表面黄孢平革菌的粉状孢子,接种到液体培养基中;然后置 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温、150r/min 恒转速摇床进行培养;用 40 目筛网过滤收集菌丝球,称量得到湿重.

按各试验要求和表 1 所示,向基础培养基中添加不同浸出液配制培养基一份,相同条件下接种、培养.

表 1 木材、玉米芯、土豆混合浸出液培养基添加成分/份

培养基名称	木材	玉米芯	土豆
	浸液	浸液	浸液
木材、玉米芯、土豆浸出混合液培养基	1/3	1/3	1/3
木材、玉米芯浸出混合液培养基	1/2	1/2	0
木材、土豆浸出混合液培养基	1/2	0	1/2
玉米芯、土豆浸出混合液培养基	0	1/2	1/2
木材、浸出液培养基	1	0	0
玉米芯浸出液培养基	0	1	0
土豆浸出液培养基	0	0	1
基础培养基	0	0	0

1.3 菌丝小球生长的测定

按照各实验要求分别培养一定天数后,用 40 目筛网过滤收集菌丝体,称量以湿重表示;然后返回锥形瓶继续培养、过滤和称量.

2 结果与讨论

2.1 不同添加成分对白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球产量的影响

表 2 是在 10g/L 葡萄糖条件下的基础培养基中,添加外源天然成分的培养基对白腐真菌产量的影响.结果表明,培养 3d 后,基础培养基中的白腐真菌小球产量仅为 14.5g/L,添加天然材料浸出液的培养基中的白腐真菌小球产量都在 80g/L 以上,达到未添加天然材料浸出液

的基础培养基的小球产量的 5 倍以上. 试验观察发现, 添加了土豆浸出液的液体培养基很容易染菌而变得浑浊, 而添加了木材浸出液的液体培养基几乎没有发生染菌的情况; 添加玉米芯浸出液的基础培养基培养时间达到 7 d 以上时, 会发生膨胀, 沉降性能降低, 不易泥水分离, 而添加了木材浸出液的液体培养基没有发生膨胀的迹象. 在 10 g/L 葡萄糖条件下, 木材、玉米芯和土豆浸出液中, 以木材浸出液刺激白腐真菌 *P. chrysosporium* 生长效果最佳.

白腐真菌担子果大多在森林土壤、腐朽木材上生长, 说明木材含有白腐真菌必需的成分, 因而获得较高的对其它微生物的拮抗能力, 这可能是加入木材浸出液以后, 培养出来的小球不容易染菌的原因.

表 2 10 g/L 葡萄糖条件下添加不同天然培养基培养 3d 后小球产量

培养基种类	小球重量/g
基础培养基	14.5
添加木材浸出液的培养基	94
添加玉米芯浸出液的培养基	80.5
添加土豆浸出液的培养基	83

这一结果与白腐真菌天然状况下生长性质相吻合, 自然生长特征为: 以菌丝体形式入侵木材内, 在温度、湿度等条件还不是最适的条件下, 缓慢生长, 逐渐分解木质素、纤维素, 使木材腐朽矿化, 在高温、高湿、森林土壤或枯木上能够很快爆发式增长形成担子果^[33]. 它们属于高等腐生真菌, 需要特定复杂成分的外源生长因子, 特别是有机生长因子, 人工合成培养基很难有效提供全面的营养成分, 所以, 添加少量天然有机物, 对于白腐真菌菌丝小球产量有着十分重要的影响.

由此可见, 添加天然复杂化合物的培养基能够大大提高白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球的产量, 说明在合成培养基中, 由于不明生长因子的缺乏, 白腐真菌的生存处于一定生态压力之下, 极大地限制了生物量的增长速度, 采用简

单培养基培养菌丝小球进行白腐真菌降解性能的研究, 还不能充分显示白腐真菌的降解能力, 并非十分合理的方法.

2.2 不同添加成分的培养基中葡萄糖浓度对白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球产量的影响

图 1 是葡萄糖浓度对不同添加成分的培养基培养白腐真菌 3 d 后产生小球能力的影响. 从图中可以看出, 在未添加任何浸出液的基础培养基中, 小球产量很低, 并且在葡萄糖浓度 1 g/L 以上时, 3 d 产量在 12.5 g/L 到 14.5 g/L 范围内, 没有太大变化, 说明在这种条件下, 生长限制因子不是葡萄糖浓度. 而添加木材浸出液的样品, 葡萄糖浓度在 0 ~ 10 g/L 范围内, 小球产量随着葡萄糖浓度的增长明显增加, 当葡萄糖达到 10 g/L 以上后, 3 d 产量增加不明显; 添加玉米芯浸出液的样品, 小球增长曲线较为平缓, 在葡萄糖浓度 0 g/L 时小球产量就能达到 9.55 g/L, 说明浸出液中含有较高浓度的糖类物质, 可以为生长提供碳源; 添加土豆浸出液的样品在葡萄糖浓度达到 5 g/L 以后, 葡萄糖浓度就不再对小球产量有明显的影响.

从图 1 还可以看出, 添加了天然浸出液的

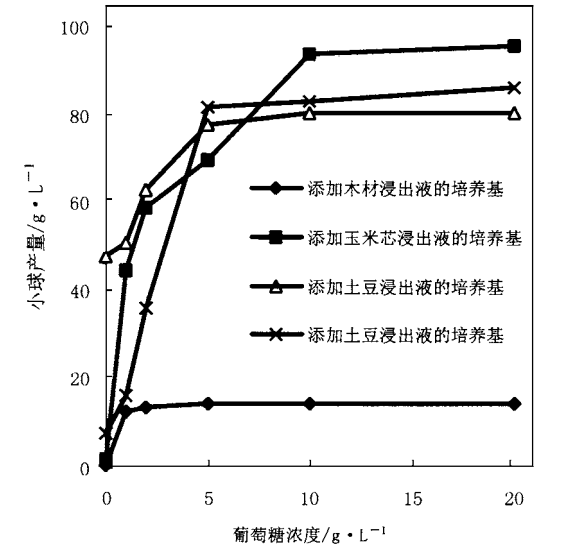


图 1 不同天然添加成分的培养基中葡萄糖浓度对培养 3 d 后的白腐真菌小球产量的影响曲线

Fig.1 Effect of the glucose concentration in the natural media on the production of the white rot fungus in 3 days

培养基中,在葡萄糖浓度为 5g/L 以下时,小球产量的增加速度较快,之后增速减缓,然后基本不变,为此,图 2 进一步比较了在 5g/L 的葡萄糖浓度条件下,各种添加成分的培养基内小球的增长曲线。

从图 2 可以看到,在 5g/L 的较低葡萄糖浓度下,在没有添加外源天然浸出液的情况下,白腐真菌小球的增长速度非常缓慢,产生小球总量也非常少,从第 3 天到第 5 天产量基本维持在 14.5g/L;添加了外源天然浸出液后,3d 后小球产量均能达到 69.5g/L 以上,添加木材浸出液、玉米芯浸出液的培养基产生小球的量能够在 5d 内持续增长,添加土豆浸出液的培养基小球的产量 3d 后略有下降。

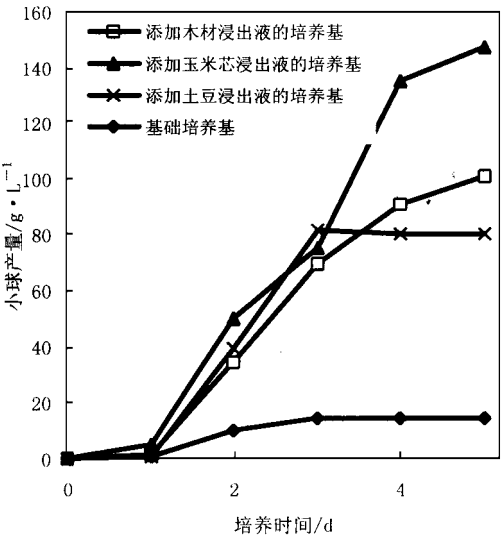


图 2 不同添加成分的培养基在 5g/L 葡萄糖浓度条件下小球随时间增长曲线

Fig.2 The effect of different media with 6g/L glucose on the production of the white rot fungus in 3 days

图 3 是基础培养基在不同葡萄糖浓度条件下,小球产量随培养时间增长的变化曲线,可以看到,在前 6d 的培养中,葡萄糖浓度对小球增长没有明显影响。在第 6d 以后,葡萄糖浓度为 1g/L 的基础培养基中,小球产量开始下降;第 7d 以后,葡萄糖浓度为 2g/L 的基础培养基中,小球产量开始下降;第 8d 以后,葡萄糖浓度为

5g/L 的基础培养基中,小球产量开始下降;高浓度葡萄糖的培养基小球产量还能够继续提高。由此推论,因为葡萄糖消耗完毕,白腐真菌小球产量开始下降。

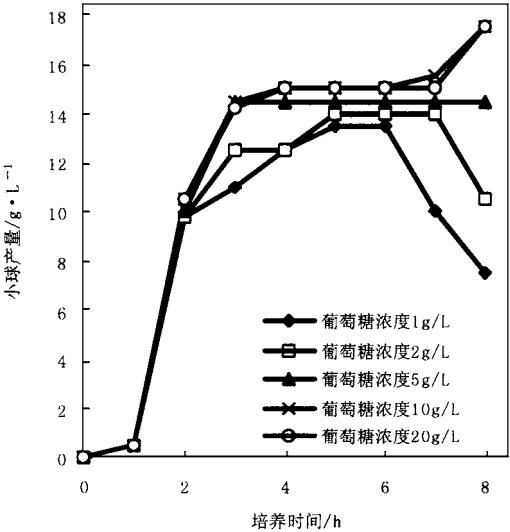


图 3 不同葡萄糖浓度的基础培养基培养白腐真菌小球产量随时间变化曲线

Fig.3 The production of the white rot fungus in the basic media with different glucose concentration varied with culture time

图 4 是不同葡萄糖浓度条件下,添加木材浸出液的培养基产生小球的增长曲线。从图 4 中可以看出,葡萄糖浓度对小球增长的影响非常大,葡萄糖浓度为 1g/L 时,小球产量在 3d 后达到最大值 44.5g/L,7d 后明显下降;葡萄糖浓度为 2g/L 时,小球产量在 3d 后达到最大值 59g/L,9d 后仍然没有下降迹象;葡萄糖浓度为 5g/L 时,小球产量在 6d 后达到最大值 137.5g/L,以后略有下降;葡萄糖浓度为 10g/L、20g/L 时,小球产量在 8d 内持续增加并分别达到最大值 210g/L 和 250g/L。

可以看出,用添加木材浸出液的培养基培养白腐真菌,不同浓度葡萄糖条件下,小球产量的差别在初期并不明显,随着培养时间增加,小球产量差别逐渐增大。葡萄糖浓度对添加木材浸出液的样品产生小球能力影响很大,较高浓度的葡萄糖有利于小球产量的提高,并能在较

长时间内使小球产量维持较高水平,和未添加浸出液的基础培养基相比,添加木材浸出液能够较大幅度地提高单位碳源产生小球的能力。

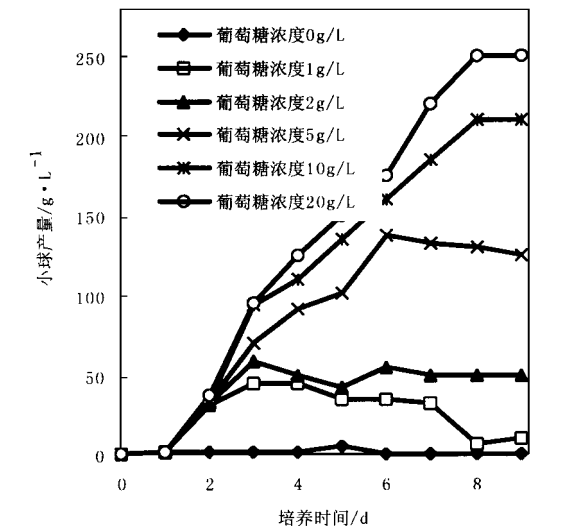


图4 不同葡萄糖浓度条件下添加木材浸出液的基础培养基白腐真菌小球增长曲线

Fig.4 The production of the white rot fungus in the wood media with different glucose concentration varied with culture time

从图4还可以看到,用没有添加葡萄糖为碳源的木材浸出液培养基培养白腐真菌时,小球产量接近于0,说明木材浸出液对采用培养基培养菌丝小球的作用是刺激生长,并不是提供生长所需要的有机物。

2.3 混合添加成分对白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球产量的影响

表3是基础培养基中添加不同混合的木材、土豆、玉米芯浸出液得到的培养基,用于白腐真菌培养3d后得到的小球产量比较。从图中可以看到,将3种浸出液等量混合加入基础培养基时,小球产量最高,达到135.5g/L,将2种浸出液等量混合加入基础培养基时,小球平均产量为99.8g/L,添加单一天然成分的培养基平均产量75.4g/L。

这一结果表明,比较复杂的有机成分有利于白腐真菌的生长,这和它的腐生特性是相吻合的,进一步说明,采用成分较为简单的人工合成培养基对白腐真菌进行培养对真菌小球增长

速率有一定限制,得到的小球用于白腐真菌性质的研究还不能最大限度地反映白腐真菌的降解潜力。

所以尽管白腐真菌原始生长条件很难重现,但是可以考虑通过选用添加复杂成分的天然浸出液的办法,为白腐真菌的生长提供必要的营养成分。

表3 添加不同混合成分的添加液的培养基培养白腐真菌小球3d后的产量比较

培养基种类	小球产量/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
添加木材、玉米芯浸出混合液	108.5
添加木材、土豆浸出混合液	100
添加土豆、玉米芯浸出混合液	91
添加木材浸出混合液	69.5
添加土豆浸出混合液	81.5
添加玉米芯浸出混合液	75.25
添加木材、土豆、玉米芯浸出混合液	135.5
基础培养基	14.5

2.4 不同木材浸出液添加量对白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球产量的影响

图5是5g/L葡萄糖的条件下,不同木材浸出液添加量对白腐真菌 *P. chrysosporium* 小球

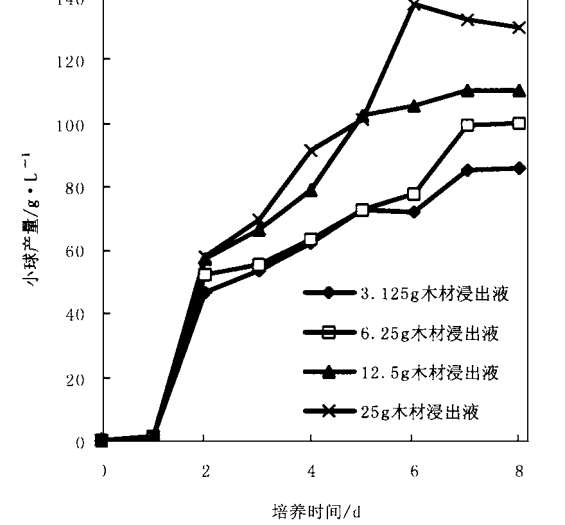


图5 5g/L葡萄糖条件下不同添加量的木材浸出液培养基培养白腐真菌的小球增长曲线

Fig.5 The effects on the production of the white rot fungus *P. chrysosporium* in the media with 5g/L glucose and different wood lixiviums

产量的影响.从图中可以看出,尽管木材浸出液的添加量成倍增加,白腐真菌小球的产量差别并不是成倍增加,特别是在生长前期,几乎没有产生明显的差别.这说明,白腐真菌在生物量快速增长需要时,需要木材中所含有的营养物质的量很小,仅仅微量的复杂成分就能极大提高小球的产量.

综上所述,采用添加天然浸出液的培养基,能够促使白腐真菌处于较佳的生长状态,采用这种培养基培养白腐真菌小球,进行降解性能的研究,更能充分体现白腐真菌的降解潜力和应用前景.

3 结 论

(1)在外加碳源为 10g/L 葡萄糖的条件下,经过 3d 培养,添加浸出液的培养基的小球产量均能够达到 80g/L 以上,是未添加浸出液的基础培养基时小球产量的 5 倍.

(2)葡萄糖浓度在 1~20g/L 时,基础培养基培养 *P. chrysosporium* 3d 产量基本保持在 12.5~14.5g/L 范围内,而添加木材浸出液的样品,葡萄糖浓度在 0~10g/L 范围内时,小球产量随着葡萄糖浓度的增长而从 0 g/L 增加到 94g/L;当葡萄糖为 20g/L 时,与添加 10g/L 葡萄糖时相比,培养 3d 后小球产量增加不明显.

(3)在碳源为 5g/L 葡萄糖时,添加了天然浸出液后,3d 后小球产量均能达到 69.5g/L 以上,在未添加任何浸出液的基础培养基中,小球产量很低,并且在葡萄糖浓度 1g/L 以上时,3d 天产量在 12.5g/L~14.5g/L 范围内.

(4)基础培养基中葡萄糖浓度的提高可以延长白腐真菌保持生物量增长的时间.

(5)添加等量木材浸出液的培养基培养白腐真菌,在不同浓度葡萄糖条件下,小球产量的差别在初期并不明显,随着培养时间增加,小球产量差别逐渐增大.木材浸出液对采用培养基培养菌丝小球的作用是刺激生长,并不是提供生长所需要的有机物.

(6)木材、玉米芯、土豆浸出液相互混合有利于白腐真菌的生长.将 3 种浸出液等量混合加入基础培养基时,小球产量最高,达到

135.5g/L,将 2 种浸出液等量混合加入基础培养基时,小球平均产量为 99.8 g/L,添加单一天然成分的培养基平均产量为 75.4 g/L.

(7)对于相同葡萄糖浓度、不同木材浸出液添加量的液体培养基研究表明,随着木材添加量的提高,小球产量仅仅略有提高,而不是成倍增长.

参考文献:

- 1 Archibald F S. A new assay for lignin-type peroxidase employing the dye Azure B. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1992, **58**: 3110~3116.
- 2 Knapp J S, Newby P S, Reece L P. Decolorization of dyes by wood rotting basidiomycete fungi. *Enzyme Microb. Technol.*, 1995, **17**: 664~668.
- 3 Bogan B W, R T Lamar. One-electron oxidation in the degradation of creosote polycyclic aromatic hydrocarbons by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1995, **61** (7): 2631~2635.
- 4 Bumpus J A, M Tien, D Wright, S D Aust. Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus. *Science*, 1985, **228**: 1434~1436.
- 5 Dhawale S W, S S Dhawale, D D Ross. Degradation of phenanthrene by *Phanerochaete chrysosporium* occurs under ligninolytic as well as nonligninolytic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1992, **58**: 3000~3006.
- 6 Hammel K E. Oxidation of aromatic pollutants by lignin-degrading fungi and their extracellular peroxidases, In Sigel H, Sigel A(ed.). *Metal ions in biological systems, Degradation of environmental pollutants by microorganisms and their metalloenzymes*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1992, **28**: 41~60.
- 7 Hammel K E, W Z Gai, B Green, M A Moen. Oxidative degradation of phenanthrene by the ligninolytic fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1992, **58**(6): 1832~1838.
- 8 Hammel K E, B Kalyanaraman, T K Kirk. Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons and dibenzo[*p*] dioxins by *Phanerochaete chrysosporium* ligninase. *J. Biol. Chem.*, 1986, **261**: 16948~16952.
- 9 Armenante P M, N Pal, G Lewandowski. Role of mycelium and extracellular protein in the biodegradation of 2,4,6-trichlorophenol by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1994, **60** (6): 1711~1718.
- 10 Valli K, M H Gold. Degradation of 2,4-dichlorophenol by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *J. Bacteriol.*, 1991, **173**: 345~352.
- 11 Joshi D K, M H Gold. Degradation of 2,4,5-trichlorophenol

- by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 1993, **59**(6): 1779 ~ 1785.
- 12 Thomas D R, K S Carswell, G Georgiou. Mineralization of biphenyl and PCBs by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Biotech. Bioeng., 1992, **40**(11): 1395 ~ 1402.
- 13 Yadav J S, J F Quensen, J M Tiedje, C A Reddy. Degradation of polychlorinated biphenyl mixtures (Aroclors 1242, 1254, and 1260) by white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* as evidenced by congener-specific analysis. Appl. Environ. Microbiol., 1995, **61**(7): 2560 ~ 2565.
- 14 Bumpus J A, Tatarko M. Biodegradation of 2,4,6-trinitrotoluene by *Phanerochaete chrysosporium*: identification of initial degradation products and the discovery of a TNT-metabolite that inhibits lignin peroxidase. Curr. Microbiol., 1994, **28**(3): 185 ~ 190.
- 15 Hawari J, Halasz A, Beaudet S, Paquet L, Ampleman G, Thiboutot S. Biotransformation of 2,4,6-trinitrotoluene with *Phanerochaete chrysosporium* in agitated cultures at pH4.5. Appl. Environ. Microbiol., 1999, **65**(7): 2977 ~ 2986.
- 16 Jackson M M, Hou L H, Banerjee H N, Sridhar R, Dutta S K. Disappearance of 2,4-dinitrotoluene and 2-amino,4,6-dinitrotoluene by *Phanerochaete chrysosporium* under non-ligninolytic conditions. Bull Environ Contam Toxicol., 1999, **62**(4): 390 ~ 396.
- 17 Hodgson J, Rho D, Guiot S R, Ampleman G, Thiboutot S, Hawari J. Tween 80 enhanced TNT mineralization by *Phanerochaete chrysosporium*. Can. J. Microbiol., 2000, **46**: 110 ~ 118.
- 18 Bumpus J A, Aust S D. Biodegradation of DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl) ethane] by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 1987, **53**: 2001 ~ 2008.
- 19 Michel F C J, Dass S B, Grulke E A, Reddy C A. Role of manganese peroxidases (MNP) and lignin peroxidases (LIP) of *Phanerochaete chrysosporium* in the decolorization of kraft bleach plant effluent. Appl. Environ. Microbiol., 1991, **57**: 2368 ~ 2375.
- 20 Bumpus J A, Brock B J. Biodegradation of crystal violet by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 1988, **54**: 1143 ~ 1150.
- 21 Swamy J, Ramsay J A. Evaluation of white rot fungi in the decoloration of textile dyes. Enzyme and Microbial Technology. Elsevier Science Inc., 1999, **24**(3 ~ 4): 130 ~ 137.
- 22 Cripps C, Bumpus J A, Aust S D. Biodegradation of azo and heterocyclic dyes by *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol., 1990, **56**: 1114 ~ 1118.
- 23 Larking D M, Crawford R L, Christie G B Y, Lonergan G T. Enhanced degradation of polyvinyl alcohol by *Pycnoporus cinnabarinus* after pretreatment with fenton's reagent. Appl Environ. Microbiol., 1999, **65**(4): 1798 ~ 1800.
- 24 Deguchi T, Kitaoka Y, Kakezawa M, Nishida T. Purification and characterization of a nylon-degrading enzyme. Appl. Environ. Microbiol., 1998, **64**(4): 1366 ~ 1371.
- 25 Kirbas Z, Keskin N, Guner A. Biodegradation of polyvinylchloride (PVC) by white rot fungi. Bull Environ Contam Toxicol., 1999, **63**(3): 335 ~ 342.
- 26 Kennes C, Lema J M. Degradation of major compounds of creosotes (PAH and phenols) by *Phanerochaete chrysosporium*. Biotechnol. Lett., 1994, **16**(7): 759 ~ 764.
- 27 Knapp J S, Newby P S, Reece L P. Decolorization of dyes by wood rotting basidiomycete fungi. Enzyme Microb. Technol., 1995, **17**(7): 664 ~ 668.
- 28 Eliana P C, Lucia R D. Decolorization of azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus sajorajii*. Enzyme and Microbial Technology, 2001, **29**: 473 ~ 477.
- 29 C Srinivasan, T M D' souza, K Boominathan, C A Reddy. Demonstration of Laccase in the White Rot Basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium* BKM ~ F1767. Applied and Environmental Microbiology, 1995, **61**(12): 4274 ~ 4277.
- 30 Ilgi K K, Fikret K, Geoffrey M Roger. Effect of environmental conditions on biological decolorization of textile dyestuff by *C. versicolor*. Marchant Enzyme and Microbial Technology, 2000, **26**: 381 ~ 387.
- 31 Arora D S, Gill P K. Laccase production by some white rot fungus under different nutritional conditions. Bioresource Technology, 2000, **73**: 283 ~ 285.
- 32 王钦升,周正明,高屹. 实用医学培养基手册(第1版). 北京:人民军医出版社,1999. 2 ~ 18.
- 33 赵继鼎. 中国真菌志(第三卷,多孔菌科). 北京:科学出版社,1998. 1 ~ 19.