

Rhodotorula glutinis 发酵糖蜜产油脂影响因素研究

李建政, 王茜, 班巧英

哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室; 市政环境工程学院, 哈尔滨 150001

摘要 微生物油脂生产是解决生物柴油原料问题的重要途径之一。本文以制糖厂废糖蜜为原料, 通过间歇发酵试验, 考查了装液量、pH、接种量、温度, 以及氮素和碳素等因素对黏红酵母 (*Rhodotorula glutinis*) 增殖与油脂合成的影响。结果表明, 在稀释糖蜜 COD 浓度 11100mg/L、初始 pH 值 6.5、30℃ 和 160r/min 条件下发酵 132h, 黏红酵母的总细胞干重和油脂产量分别达到 2.42 和 0.8g/L, 去除单位 COD 的细胞产量和油脂产量分别为 0.35 和 0.12kg/kg; 在黏红酵母发酵系统中, 氮源的补充对细胞增殖具有显著刺激作用, 但对油脂合成与积累无显著影响; 在发酵过程中一次性补加碳源葡萄糖 10g/L, 可使黏红酵母的细胞和油脂产量分别提高到 3.74 和 1.3g/L。

关键词 生物柴油; 微生物油脂; 黏红酵母; 发酵

中图分类号 X24

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)20-0077-05

Influencing Factors in Molass Fermentation by *Rhodotorula glutinis* for Microbial Oil Production

LI Jianzheng, WANG Qian, BAN Qiaoying

State Key Laboratory of Urban Water Resource and Water Environment; School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China

Abstract Microbial oil production is a feasible source of raw materials for biodiesel industry. Because of its excellent capability in grease synthesis and accumulation, *Rhodotorula glutinis* is a good candidate to produce microbial oil by molasses fermentation. The influencing factors, such as culture volume, pH value, inoculum concentration, temperature, nitrogen and carbon nutrition, were investigated by batch cultures. The results indicate that a dry-cell yield of 2.42g/L and a grease yield of 0.8g/L are obtained after fermenting for 132h with an initial COD concentration of 11100mg/L, pH value of 6.5, temperature of 30℃ and swing at 160r/min. The corresponding specific dry-cell and grease yield by COD removal are 0.35 and 0.12kg/kg, respectively. The dry-cell yield and grease yield could be increased to 3.74 and 1.31g/L, respectively, by adding 10g/L glucose instantly at a certain fermentation moment. The addition of nitrogenous nutrients to the fermentation system could promote the multiplication of *R. glutinis* remarkably, but has no observable influence on the grease yield.

Keywords biodiesel; microbial oil; *Rhodotorula glutinis*; fermentation

0 引言

面对能源危机和严重的环境污染, 世界各国都在大力研发和推广应用清洁的替代能源。其中, 利用可再生的生物质资源生产的生物柴油, 具有环保性能好、发动机启动性能好、燃料性能好、具有可再生性等多方面的优点, 倍受世人关注,

成为后续能源领域的一大研究热点^[1]。目前, 国内外对生物柴油的研究主要集中于植物油和餐饮废弃油脂方面, 但是利用植物油作为原料成本较高, 约占总成本的 70%~85%, 经济可行性差^[2]; 以餐饮废弃油为原料存在原料总量有限, 原料组成及性能变化大, 难以收集和运输困难等问题^[3]。因此, 寻找廉

收稿日期: 2010-06-22; 修回日期: 2010-10-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA05Z19); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目(2009RFXXS004)

作者简介: 李建政(中国科协所属全国学会个人会员登记号:E430005045M), 教授, 研究方向为废水处理与资源化, 电子信箱:liz6677@163.com

价而相对易得的原料成为了生物柴油产业化的关键。许多微生物,如酵母、霉菌和藻类等,在一定条件下能将碳水化合物转化为油脂贮存在菌体内,称为微生物油脂^[4]。利用微生物生产微生物油脂,为解决生物柴油原料供给问题提供了一条新途径。

本文以甜菜制糖厂的废糖蜜为原料,利用具有积累油脂特性的黏红酵母(*Rhodotorula glutinis*)进行了发酵试验,探讨了*R. glutinis*发酵产油脂条件及其对糖蜜中有机物的去除情况,以期对开发制糖废水处理与资源化和能源化综合技术提供指导。

1 材料与方法

1.1 菌种与种子培养基

黏红酵母(*R. glutinis*)购于中国工业微生物菌种保藏中心。种子培养采用麦芽汁液体培养基^[5]。

1.2 菌种的活化

用接种环挑取低温保藏的菌种,接种于灭菌种子培养基,置于恒温摇床(HZQ-C,哈尔滨东联电子技术开发有限公司),在30℃、160r/min条件下培养20h。摇瓶规格为250mL,装液量为50mL。

1.3 发酵实验

发酵容器为250mL的锥形瓶,发酵底物为加水稀释的制糖厂废糖蜜。将稀释糖蜜50mL装于250mL锥形瓶中,以富氧膜封口、灭菌(121℃、20min)后,接种一定量的种子培养液,于30℃、160r/min条件下培养,发酵时间根据前期探索试验结果定为132h。在考查不同因素对*R. glutinis*发酵产油脂的影响实验中,除了对所考查因素的调控外,保持其余发酵条件不变。每一个发酵条件下设置2个平行实验(发酵瓶),相关指标的检测结果取其平均值。

1.4 油脂提取与定量

1) 菌体回收。将一定体积的发酵液放入离心管,用7500r/min离心5min,弃上清液;加入蒸馏水震荡洗涤后再次离心分离。重复操作3~4次,将收集的菌体在55~60℃烘干,恒重。

2) 菌体细胞的破碎。菌体干燥恒重后,研磨成粉,加蒸馏水,搅拌均匀,并按照每克菌体沉淀6mL的比例加入4mol/L盐酸,充分震荡混匀,在室温下放置30min后,置于沸水浴20min,之后置于-20℃迅速冷却。重复操作3次。

3) 油脂的提取。油脂提取采用索氏提取法和氯仿-甲醇法结合的方式。经干燥恒重研磨成粉状的菌体先采用索氏提取法提取油脂^[6],即将离心干燥后的菌体粉末包于滤纸中,移入索氏提取器,用乙醚反复回流抽提2h,回收乙醚后再经60℃烘干。根据索氏瓶和瓶内物质抽提前后的重量差,得菌体油脂量计作 m_1 。经索氏提取法提取后的菌体粉末用蒸馏水溶解制成菌液,加入2倍体积的氯仿-甲醇(体积比为1:1)提取液,充分震荡,震荡混匀后5000r/min离心5min,取氯仿层,加

入等体积0.1% NaCl溶液,5000r/min离心5min,取氯仿层,挥发去除氯仿层即得到油脂,油脂量计作 m_2 ,菌体油脂量即为: $m=m_1+m_2$ 。

1.5 分析方法

1) 细胞总量的测定。根据研究目的不同分别采用了分光光度法和细胞干重法。分光光度法用于探讨发酵系统的细胞生长与增殖,其具体操作是:将待测发酵液样品进行离心,弃上清液,震荡洗涤后再次离心分离。重复操作3~4次,将收集的菌体加蒸馏水制成菌悬液并适当稀释,并在波长560nm处用紫外可见分光光度计(UV2300,上海天美仪器有限公司)测定其光密度(OD),并按照OD-细胞浓度标准曲线的回归方程,计算样品中的细胞浓度。OD-细胞浓度标准曲线的回归方程为: $y=0.3945x-0.0489$ ($R^2=0.9916$)。细胞干重法则用于细胞产量和油脂含量分析,其操作与第1.4节的菌体回收相同。

2) 其他分析项目。除了黏红酵母油脂含量的测试方法已在第1.3节中阐明,研究涉及的其他分析项目还有pH值和糖蜜废水COD,分析均采用国家标准方法^[7]。

2 结果与分析

2.1 装液量对黏红酵母生长和产油脂的影响

黏红酵母利用糖类基质合成油脂及不饱和脂肪酸的过程属于发酵代谢,发酵系统中溶解氧的供给水平可能影响到其增殖和油脂产量。为了解决溶解氧对黏红酵母发酵稀释糖蜜时的增殖和产油脂的影响,采用容积为250mL的锥形瓶,通过改变发酵液体积(装液量)的方式,在稀释糖蜜COD 12100mg/L、pH值6.5、30℃和160r/min等条件下,对黏红酵母进行了不同装液量的发酵试验。试验采用三组平行试验,其每只锥形瓶的装液量分别为50、100和150mL,菌种接种量均为20%(菌悬液OD=1.161)。试验结果(图1)表明,经过132h的发酵,装液量为50mL的黏红酵母发酵系统,其细胞干重和油脂产量分别达到2.47和0.74g/L,而在装液量为100和

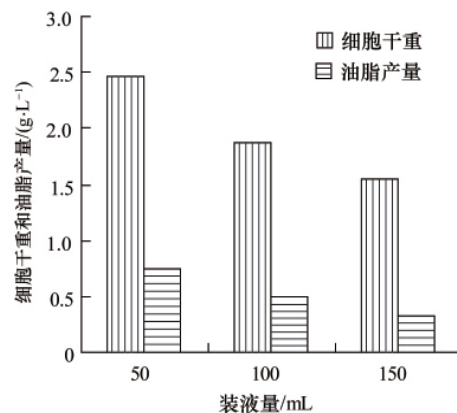


图1 装液量对黏红酵母生长和产油脂的影响
Fig. 1 Effect of culture volume on the multiplication and grease yield of *R. glutinis*

150mL 的发酵系统中, 其细胞干重和油脂产量分别为 1.87、1.56g/L 和 0.49、0.33g/L, 呈现出显著的下降趋势。分析认为, 在发酵容器体积和摇床转速一定的条件下, 装液量较少时, 发酵液中的溶解氧水平较高, 因此可能促进了酵母的增殖和油脂合成。有研究报道^[8], 产油真菌在供氧不足条件下, 甘油三酯合成会强烈受阻, 并引起磷脂和游离脂肪酸大量积累; 通气条件下, 游离脂肪酸会部分转化成含 2 个或 3 个双键脂肪酸, 从而使不饱和脂肪酸大量增加。对于黏红酵母发酵糖蜜产油脂的最佳溶解氧水平, 尚待进一步通过试验确定。

2.2 pH 对黏红酵母增殖和产油脂的影响

以 COD 浓度为 11400mg/L 的稀释糖蜜为发酵基质, 利用 1mol/L HCl 和 1mol/L NaOH 调节其酸碱度, 在装液量 50mL、

种子菌悬液 ($OD=1.274$) 接种量为 10% 的条件下, 考查了初始 pH 值对黏红酵母增殖和产油脂的影响。结果表明 (表 1), 黏红酵母对 pH 有较宽的生态幅, 在 pH 值 4.0~8.0 范围内均能表现出良好的增殖与油脂积累。在初始 pH 值为 4.0 条件下, 经过 132h 的发酵, 黏红酵母菌体干重和油脂产量分别为 0.55 和 0.14g/L。随着初始 pH 值的升高, 黏红酵母菌体干重和油脂产量均呈现递增趋势, 并在初始 pH 值 6.5 时达到最大值, 分别为 2.36 和 0.76g/L。当初始 pH 值进一步升高时, 黏红酵母菌体干重和油脂产量表现出递减趋势。当初始 pH 值升至 8.0 时, 黏红酵母菌体干重和油脂产量分别降为 0.92 和 0.25g/L。从表 1 可以看出, 发酵系统的 COD 去除率与菌体产量和油脂产量呈正相关。在初始 pH 值 6.5 条件下, 发酵液的 COD 浓度

表 1 初始 pH 值对黏红酵母生长和油脂产量的影响

Table 1 Effect of original pH value on the multiplication and grease yield of *R. glutinis*

初始 pH 值	终点 pH 值	终点 COD / (mg·L ⁻¹)	COD 去除率/%	细胞产量 ^a / (g·L ⁻¹)	COD 细胞产率 ^b / (kg·kg ⁻¹)	油脂产量 / (g·L ⁻¹)	COD 油脂产率 ^c / (kg·kg ⁻¹)
4.0	7.7	9420	17.4	0.55	0.28	0.14	0.07
4.5	7.8	7300	36.0	0.85	0.21	0.2	0.05
5.0	7.5	5680	50.2	0.92	0.16	0.23	0.04
5.5	7.4	5280	53.7	0.95	0.16	0.25	0.04
6.0	7.1	4700	58.8	1.79	0.27	0.50	0.07
6.5	7.1	4180	63.3	2.36	0.33	0.76	0.11
7.0	7.1	4860	57.4	1.62	0.25	0.49	0.07
7.5	7.1	4820	57.7	1.65	0.25	0.49	0.07
8.0	7.1	5720	49.8	0.92	0.16	0.25	0.04

注: a, 菌体干重; b, 去除单位 COD 的细胞产量 (干重); c, 去除单位 COD 的油脂产量。

Notes: a, dry cell; b, dry-cell yield from COD removal; c, grease yield from COD removal.

从初始的 11400mg/L 降低到 4180mg/L, COD 去除率高达 63.3%, 去除单位 COD 的细胞产量和油脂产量分别为 0.33 和 0.11kg/kg, 显著高于其他初始 pH 值不同的发酵系统。

2.3 接种量对黏红酵母生长和产油脂的影响

接种量的大小对微生物生长延滞期长短有显著的影响。通常情况下, 菌种接种量较大时, 微生物群体生长所表现出的迟缓期较短, 很快就能进入对数生长期。但是, 如果菌种接种量过高, 培养基中的营养成分将成为微生物群体生长的限制因素, 因此会影响微生物群体生长状态和油脂积累。为考查接种量对黏红酵母增殖和产油脂的影响, 以 COD 浓度为 11200mg/L 稀释糖蜜为原料, 在装液量 50mL、初始 pH 值 6.5、30℃ 和 160r/min 的条件下, 考查了接种量 (菌悬液 $OD=1.313$) 分别为 10%、15%、20%、30% 时的黏红酵母增殖和产油脂情况。试验结果 (图 2) 表明, 经过 132h 的发酵, 接种量为 20% 的黏红酵母发酵系统, 其总细胞干重和油脂产量最高, 分别达到 2.39 和 0.83g/L。接种量小于 20% 时, 接种量越小, 黏红酵母的增殖和油脂产量也就越低; 当接种量提高到 30% 时, 黏

红酵母总细胞干重和油脂产量则分别降低为 1.43 和 0.37g/L, 甚至比接种量仅为 10% 的黏红酵母发酵系统还要低。

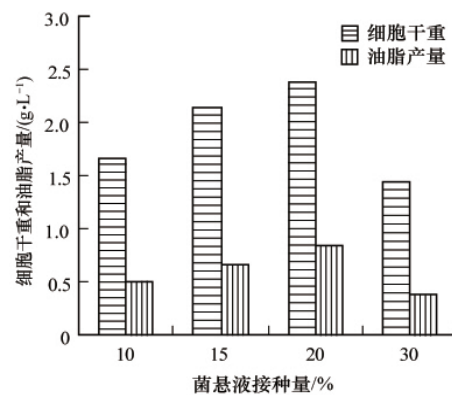


图 2 接种量对黏红酵母增殖和油脂产量的影响
Fig. 2 Effect of inoculum concentration on the multiplication and grease yield of *R. glutinis*

2.4 温度对黏红酵母生长和产油脂的影响

微生物可以通过调节细胞内脂肪酸的组成保证细胞膜在不同温度下具有良好的流动性和通透性^[9]。通常情况下,当菌株从高温转移到低温生长时,细胞膜中不饱和脂肪酸及短链脂肪酸含量增加;而当温度升高时,脂肪酸平均链长会增加。为考查温度对黏红酵母增殖和产油脂的影响,以 COD 浓度 11100mg/L 稀释糖蜜为原料,在装液量 50mL、菌悬液($OD=1.161$)接种量为 20%、初始 pH 值 6.5、30℃和 160r/min 条件

下,在 20、25、30、35℃对黏红酵母进行发酵试验。结果表明(表 2),黏红酵母在 20~35℃范围均表现出良好的增殖与油脂积累,经 132h 发酵,其菌体干重和油脂产量分别维持在 2.1~2.42 和 0.62~0.8g/L。比较而言,黏红酵母在 30℃表现出了最佳的增殖和产油脂能力,发酵完成时分别达到 2.42 和 0.8g/L,发酵液的 COD 浓度从初始的 11100mg/L 降到 4180mg/L, COD 去除率高达 62.3%,去除单位 COD 的细胞产量和油脂产量分别为 0.35 和 0.12kg/kg,显著高于其他温度的发酵系统。

表 2 温度对黏红酵母增殖和油脂产量的影响

Table 2 Effect of temperature on the multiplication and grease yield of *R. glutinis*

发酵温度/℃	终点 COD/(mg·L ⁻¹)	COD 去除率/%	细胞产量 ^a /(g·L ⁻¹)	COD 的细胞产率 ^b /(kg·kg ⁻¹)	油脂产量/(g·L ⁻¹)	COD 的油脂产率 ^c /(kg·kg ⁻¹)
20	4280	61.4	2.10	0.31	0.65	0.10
25	4540	59.1	2.10	0.32	0.66	0.10
30	4180	62.3	2.42	0.35	0.80	0.12
35	4360	60.7	2.17	0.32	0.62	0.09

注:a,菌体干重;b,去除单位 COD 的细胞产量(干重);c,去除单位 COD 的油脂产量。

Notes: a, dry cell; b, dry-cell yield from COD removal; c, grease yield from COD removal.

2.5 氮源对黏红酵母生长和产油脂的影响

氮是微生物增殖所必须的大量元素。从微生物营养角度看,以糖类为主要成分糖蜜,其中的氮素相对匮乏。在糖蜜中适当补充一定量的氮素应该有助于黏红酵母的增殖,但是否同样有利于油脂产量的提高是一个需要探讨的问题。本文选择酵母膏、蛋白胨、尿素 $CO(NH_2)_2$ 为有机氮源, $(NH_4)_2SO_4$ 、 KNO_3 、 $NaNO_3$ 为无机氮源,以 COD 浓度为 11600mg/L 稀释糖蜜为原料,在装液量 50mL、菌悬液($OD=1.218$)接种体积比 20%、初始 pH 值 6.5、30℃和 160r/min 的条件下,考查了不同氮源对黏红酵母发酵糖蜜增殖和产油脂的影响,其中各种氮源的投加量按照氮素含量为 1g/L 的标准分别进行折算,即酵母膏(氮含量 7%)14.3g/L、蛋白胨(氮含量 14.5%)6.9g/L、尿素 2.14g/L、 $(NH_4)_2SO_4$ 4.72g/L、 KNO_3 7.2g/L、 $NaNO_3$ 6.06g/L。表 3 结果表明,在所示各种氮源中, KNO_3 对酵母增殖的促进作用最为显著,经 132h 的发酵,黏红酵母细胞干重达到了 2.85 g/L,这一产量远高于不投加氮源发酵系统的产量 2.47g/L(参见图 1)。有研究报道指出,钾离子的加入,为细胞提供了一个低钠离子高钾离子的环境,加强了细胞膜的 K^+-Na^+ 离子泵功能,这种特殊的离子环境对维持细胞的渗透压的平衡、恒定细胞的体积,维持细胞内正常生命活动都是非常必要的^[10]。因此, KNO_3 对黏红酵母增殖的促进作用,究竟是 K^+ 的刺激作用还是氮素营养的作用,仍需进一步探讨。但从产油脂角度分析,氮源的投加并不利于油脂的合成与积累,对于投加 KNO_3 的黏红酵母发酵系统,尽管细胞产率有了大幅提高,但油脂产量并不突出,为 0.73g/L。这一产量比不外加氮源的发酵系统的产量 0.83g/L 有显著降低(参见图 2)。因此,在以糖蜜为原料,利用黏红酵母进行发酵生产油脂时,建议无须外加氮源。

表 3 氮源对黏红酵母增殖和油脂产量的影响

Table 3 Effect of nitrogen nutrition on the multiplication and grease yield of *R. glutinis*

	氮源	细胞产量 ^a /(g·L ⁻¹)	油脂产量/(g·L ⁻¹)
有机氮	酵母膏	1.46	0.33
	蛋白胨	2.28	0.58
	$CO(NH_2)_2$	1.88	0.43
无机氮	$(NH_4)_2SO_4$	2.44	0.71
	KNO_3	2.85	0.73
	$NaNO_3$	1.43	0.35

注:a 为菌体干重。

Note: a express dry cell.

2.6 发酵过程补充碳源对黏红酵母增殖和产油脂的影响

微生物生产油脂分作两个阶段,即菌体增殖阶段和油脂积累阶段。有研究报道^[11],在发酵前期,较低的碳氮比能够促进菌体大量增殖,后期适当添加碳源,则有利于菌体油脂的积累。为了解碳源补加对黏红酵母发酵稀释糖蜜时的增殖和产油脂的影响,在稀释糖蜜 COD 11600mg/L、在装液量 50mL、菌悬液($OD=1.258$)接种体积比 20%、初始 pH 值 6.5、30℃和 160r/min 的条件下,对黏红酵母发酵系统进行了追加碳源的发酵试验。发酵试验中,以不补充碳源的发酵系统为对照,另组装 4 套补加碳源的发酵系统,补充碳源采用葡萄糖,一次性补加量 10g/L,补加时间分别为发酵后的 24、36、48 和 60h,其发酵时间根据前期探索试验的结果分别从对照组的 132h 延长为 168、168、192 和 192h。试验结果(表 4)表明,在黏红酵母发酵糖蜜过程中适量补加葡萄糖的发酵系统,其细胞增殖和油脂产量均显著高于不补加碳源的发酵系统。在发酵系统运

行 36h 时补加碳源,可以获得最大的细胞产量 3.74g/L,而在 48h 时补加碳源则对油脂产量的促进作用最为显著,可达 1.31g/L。通过黏红酵母增殖曲线的测定(数据从略)发现,在发酵的第 24~36h 时,酵母的增殖正处于对数生长期,此时的碳源补加,无疑会直接促进菌体细胞的增殖;而当发酵进行到 48h 时,酵母的增殖已进入稳定期,此时添加碳源,虽对菌体增殖无明显促进作用,却提供了宜于油脂合成与积累的高的碳氮比环境,因此可获得更高的油脂产率。

表 4 发酵过程补加葡萄糖对黏红酵母增殖和油脂产量的影响
Table 4 Multiplication and grease yield of *R. glutinis* by adding glucose during the fermentation process

补料时间/h	发酵时间/h	细胞产量/(g·L ⁻¹)	油脂产量/(g·L ⁻¹)
不补加	132	2.46	0.78
24	168	3.71	1.29
36	168	3.74	1.21
48	192	3.64	1.31
60	192	3.19	0.95

注:a 为菌体干重。

Note: a express dry cell.

3 结论

1) 黏红酵母具有较强的合成和积累油脂的能力,以 COD 浓度为 11100mg/L 稀释糖蜜为原料,在初始 pH 值 6.5、30℃和 160r/min 条件下,经 132h 发酵,其总细胞干重和油脂产量可分别达 2.42 和 0.8g/L, COD 去除率为 62.3%,去除单位 COD 的细胞产量和油脂产量分别为 0.35 和 0.12kg/kg。

2) 在黏红酵母发酵稀释糖蜜系统中,氮源的补充对细胞增殖具有显著刺激作用,但对油脂的合成与积累无显著影响。在以扩培黏红酵母为目的时,建议采用的氮源为 KNO₃,参考剂量为 7.2g/L。

3) 在发酵过程中补加碳源葡萄糖,对黏红酵母的增殖和油脂积累具有显著的促进作用。在发酵系统运行 36h 时一次

性补加葡萄糖 10g/L,可获得最大的细胞产量 3.74g/L;而 48h 时补加则对油脂产量的促进作用最为显著,可达 1.31g/L。

参考文献 (References)

- [1] Xin Y. Development situation and application foreground of biodiesel fuel[J]. *China Oils and Fats*, 2005, 30(3): 49-53.
- [2] Gemma V, Bautista L F, Rodríguez R. Biodiesel production from biomass of an oleaginous fungus[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2009, 48(1): 22-27.
- [3] Wang F, Wang Y, Xie H. Discussion on raw material diversity of biodiesel oil production in China [J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2008, 30(1): 4-9.
- [4] Zhao Z, Hua Y. How to secure triacylglycerol supply for Chinese biodiesel industry[J]. *China Biotechnology*, 2005, 25(11): 1-6.
- [5] 沈萍, 范秀荣, 李广武. 微生物学实验 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1999: 214.
- [6] 孙晓璐, 孙玉梅, 曹芳, 等. 对产油脂酵母的细胞破碎方法及油脂提取效果的比较[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(4): 67-69.
- [7] Sun Xiaolu, Sun Yumei, Cao Fang, et al. *Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition*, 2007, 28(4): 67-69.
- [7] Eaton A D, Clesceri L S, Greenberg A E. Standard methods for the examination of water and wastewater [M]. 19th ed. Washington DC: American Public Health Association, 1995.
- [8] 项广明, 赵相英, 刘建军. 隐球菌研究通过发酵生产条件 aerius 脂质研究[J]. 粮油, 2009(3): 17-20.
- [8] Xiang Guangming, Zhao Xingying, Jianjun Liu. *Cereals & Oils*, 2009, 3: 17-20.
- [9] 刘波, 孙艳, 刘永红, 等. 产油微生物油脂生物合成与代谢调控研究进展[J]. 微生物学报, 2005, 45(1): 153-156.
- [9] Liu, Bo Sun Yan, Liu Yonghong, et al. *Acta Microbiologica Sinica*, 2005, 45(1): 153-156.
- [10] Wu S -T, Yu S -T, Lin L. Effect of culture conditions on docosahexaenoic acid production by *Schizochytrium* sp. S31 [J]. *Process Biochemistry*, 2005, 40: 3103-3108.
- [11] Ratledge C. Fatty acid biosynthesis in microorganisms being used for single cell oil production[J]. *Biochimie*, 2004, 86: 807-815.

(责任编辑 王芷)

·学术动态·

“第四届国际光电子探测与 成像技术学术交流会征文



中国宇航学会、国际光学工程学会(SPIE)将于 2011 年 5 月 24—26 日在北京市召开“第四届国际光电子探测与成像技术学术交流会”。

会议分 7 个专题研讨,征文内容包括:传感器与微机械光器件技术,激光探测和成像技术,红外成像技术及应用,成像探测器技术与应用,太赫兹技术与应用,空间探测技术与应用,生物激光及其医学应用。

征文摘要截止时间:2010 年 12 月 31 日,全文截止时间:2011 年 4 月 30 日。

联系方式:天津市 225 信箱 32 分箱(300192) 赵雪燕,电话:022-23669275,022-23613813,电子信箱:conf@cnoenet.com。会议网站:www.ispdiconf.org。