红曲色素高产菌的诱变选育与发酵优化

黎青华[1,2]，堵国成[*1,2]，李江华[1,2]，刘 松[1,2]
（1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室，江苏 无锡 214122；2. 江南大学 生物工程学院，江苏 无锡 214122）

摘要：红曲红是一种由红曲霉生产的具有较高药用及营养价值的天然色素。为提高红曲红液态发酵产量，利用常压室温等离子体诱变技术(ARTP)对紫红曲霉(*Monascus purpureus*)LBBE进行诱变并优化了发酵条件。确定ARTP诱变条件为：红曲霉孢子浓度10^7个/mL、通气量10 SLM、功率80 W、诱变时间42 s。上述诱变条件下，经10轮诱变，红曲霉正向突变率从44.6 %降至3.8%，突变株LBBE-15的红曲红色价达到1 244 U/mL，较出发菌株提高1.26倍。红曲霉培养条件优化确定为：接种体积分数7%、硫酸锰1 g/L、初始pH 3.7。优化后的红曲红色价达到1 376 U/mL。50 L罐分批发酵显示，红曲红色价为642 U/mL。该研究结果为实现工业大规模生产提供了数据参考。

关键词：红曲霉；红色素；ARTP；筛选
中图分类号：TQ 920.6　**文章编号：**1673-1689(2020)11-0018-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.11.003

Mutation Breedingand Fermentation Optimization of the Strain with High-Yield of *Monascus* Red Pigment

LI Qinghua[1,2]，*DU Guocheng*[*1,2]，*LI Jianghua*[1,2]，*LIU Song*[1,2]
(1. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: *Monascus* red pigment is a natural pigment produced by *Monascus* with medicinal and nutritional values. In order to improve the yield of *Monascus* red pigment through liquid fermentation, the mutagenesis of *Monascus purpureus* LBBE was performed based on atmospheric and room temperature plasma (ARTP), and the fermentation optimization was also conducted. The mutagenesis condition of ARTP was set with 10^7/mL of *Monascus* spore and 10 SLM of aeration at 80 W of power for 42 s. After 10 rounds mutagenesis under the mentioned condition, the positive mutation rate of the strain decreased from 44.6 % to 3.8 %, and the mutant LBBE-15 achieved 1 244 U/mL of the red pigment, which was 1.26 times of the original strain. The optimal culture condition of *Monascus* was determined as follows:7% inoculation quantity, 1 g/L manganese sulfate, and initial

收稿日期：2018-10-04
基金项目：国家自然科学基金项目(31771913)；江苏省重点研发计划社会发展项目(BE2016629)。
* **通讯作者：**堵国成(1965—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事代谢工程、发酵过程优化与控制等方面的研究。
E-mail：gcdu@jiangnan.edu.cn

pH 3.7. Then, the yield of the red pigment reached 1 376 U/mL under the optimized culture condition. As indicated by batch fermentation, the mutant strain produced 642 U/mL red pigmentin 50 L jar-fermenter. The results here provided reference data for realizing industrial scale production of *Monascus* red pigment.

Keywords: *Monascus*, red pigment, ARTP, screening

红曲霉菌——真菌界、子囊菌门、子囊菌纲、散囊菌目、红曲科[1],由法国科学家 Van Tieghem 于1884 年分类并命名。红曲红色素是红曲霉的次级代谢产物,是一种用微生物发酵制备的安全无毒的天然食用色素[2]。随着生活水平的提高和安全意识的增强,红曲色素的市场需求量也随之迅速扩大[3-4]。

红曲红色素可替代亚硝酸盐作为肉制品中的着色剂,不仅赋予肉制品鲜艳的光泽,还大大降低了肉制品中致癌物亚硝酸盐含量[5-6]。红曲红色素应用在红曲饼干、红曲面包、红曲糕点、红曲面条等面制品中,不影响产品的口感[6]。红曲红色素还可作为调色剂应用于饮料和医药方面等[7],如红曲葡萄酒、红曲饮料等。

目前红曲红色素生产有固态发酵和液态发酵两种方式。郑虹等[8]以大米与玉米粒为基质,红曲霉固态发酵产红曲色素的色价可达到 1 005.42 U/g。童爱均等[9]利用响应面法对固态发酵条件进行优化,使红曲色素色价达到 6 684.16 U/g。由于发酵周期较长、条件不易控制且容易染菌,固态发酵已逐渐失去市场竞争力。液态发酵不但工艺上自动化程度高、周期短,而且产品质量稳定、纯度高[10-11]。然而,红曲霉液态发酵产红曲红色素的能力较低,目前国内液态发酵的平均色价水平为 650 U/mL,这严重制约着液态发酵的推广与应用[12-13]。

选育适于液态发酵产红曲红色素的高产菌株及优化液态发酵工艺是提高液态发酵色素产量的重要策略[14]。常压室温等离子体诱变技术(ARTP)诱变比传统物理与化学诱变技术更高效、安全、便捷,且诱变所得突变株具有良好的遗传稳定性,因而受到广大研究者的青睐[15]。

作者利用 ARTP 技术对紫红曲霉(*Monascus purpureus*)LBBE 进行诱变,获得了高产菌株,优化了高产菌的发酵条件并验证其在 50 L 罐中的发酵性能。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 菌株 紫红曲霉(*Monascus purpureus*)LBBE,作者所在实验室保藏菌种。

1.1.2 培养基

1)斜面培养基(质量分数) 可溶性淀粉 4%,麦芽糖 4%,蛋白胨 3%,琼脂粉 2%;乳酸调至 pH 5.3。

2)种子培养基(质量分数) 籼米粉 5%,玉米浆 1.2%,$NaNO_3$ 0.2%,酵母膏 0.9%,KH_2PO_4 0.18%,$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.09%;乳酸调至 pH 4.5。

3)发酵培养基(质量分数) 籼米粉 12.5%,黄豆粉 2.5%,玉米浆 0.9%,$NaNO_3$ 0.18%。先加入 0.15%~2% 的中温 α-淀粉酶升温至 60 ℃,酶解 30 min,再用乳酸调至 pH 3.7。

1.2 实验方法

1.2.1 活化培养 从成熟的红曲平板上挑取几环红曲霉菌于加有玻璃珠的无菌去离子水中,摇匀打散后用脱脂棉过滤制成孢子悬液,稀释后涂布 PDA 平板,成熟后挑选直径较大、颜色较红的单菌落转接 PDA 试管斜面,33.5 ℃培养 6~7 d。

1.2.2 常压室温等离子体(ARTP)诱变 将红曲霉从试管斜面转接平板,培养成熟后用无菌水刮取洗涤红曲霉平板,利用脱脂棉过滤后获得孢子悬液。然后用无菌去离子水洗涤 2~3 次,去掉溶解的色素,悬浮备用。取制好的孢子悬液,血球计数板计数调整至合适浓度(10^7 个/mL,体积分数 15% 甘油),取 10 μL 孢子悬液均匀涂于载片上进行诱变。诱变条件设为:通气量 10 SLM、功率 80 W、时间分别为 0、10、20、30、40、50、60 s。诱变结束后,将载片浸于 500 μL 的无菌水中振荡洗脱,稀释 10 倍、100 倍、1 000 倍后分别取 50 μL 悬液涂布 PDA 平板,0 s 计数为 B,其他计数为 A。

$$致死率=\frac{B-A}{B}\times100\%$$

其中,A 为诱变后存活孢子数;B 为诱变前总孢子数。

1.2.3 摇瓶发酵 挑取 2~3 环红曲霉菌菌丝体接种到种子培养基中(50 mL/500 mL),33.5 ℃、220 r/min 摇床培养 24 h。然后按 8 %的接种体积分数将种子液转接发酵培养基 (60 mL/500 mL),33.5 ℃、220 r/min 发酵培养 6 d,挑选红曲红色价高的菌株并统计正向突变率。

1.2.4 传代稳定性验证 对挑选出来的高产菌株进行试管斜面传代,培养成熟后再次进行摇瓶发酵,检测红曲色素色价,循环传代 5 次,验证传代稳定性。

1.2.5 培养条件优化

1) 接种体积分数优化 将培养成熟的种子液分别按 5%、6%、7%、8%、9%、10%等 6 个不同的接种体积分数接种到发酵液中,33.5 ℃、220 r/min 培养 6 d,以红曲红色价为指标,考察接种体积分数对色素积累的影响。

2) 发酵的初始 pH 优化 分别选取 3.5、3.7、3.9、4.1、4.3、4.5 为发酵培养基的初始 pH 值,考察色素积累情况。

3)金属离子的优化 在初始培养基的基础上,分别添加 1 g/L 的 $CaCl_2$、$MnSO_4$、$FeSO_4$、$ZnSO_4$,以红曲红色价为指标探究各金属离子的影响。

1.2.6 50 L 罐发酵

1) 摇瓶种子培养 向长有成熟红曲霉的茄子瓶中加入 30 mL 无菌水刮取洗涤孢子,脱脂棉过滤后获得孢子悬液。取 5 mL 孢子悬液接种于装液 600 mL 种子培养基的 3 L 摇瓶中,33.5 ℃、200 r/min 培养 24 h。

2)二级种子罐培养 将 600 mL 摇瓶种子全部接入装液量 70% 的 10 L 种子罐,0.75 vvm、300 r/min 培养 20 h。

3)50 L 罐分批发酵:按 7%的接种体积分数将二级种子罐接入装液量 70%的 50 L 发酵罐,33.5 ℃培养 96 h。期间根据菌丝的生长状态适当调整通气量和转速。接种后,调整通气量和转速分别为 0.25 vvm 和 300 r/min;接种 6 h 后调至 0.38 vvm 和 350 r/min;接种 24 h 调至 0.75 vvm 和 350 r/min,第 37.5 小时调至 0.75 vvm 和 400 r/min 至发酵结束。

1.2.7 色价检测 用移液管准确吸取 10 mL 发酵液于 100 mL 容量瓶中,然后加入 90 mL 体积分数 70%的酒精,摇匀后静置 30 min,离心后取上清液,用体积分数 70%酒精稀释适当的倍数于 1 cm 比色皿中,用分光光度计检测波长为 505 nm 处的吸光度(A)。

色价(U/mL)=A×总稀释倍数

1.2.8 单糖测定 斐林试剂法测定还原糖质量浓度。

1.2.9 总糖测定 取 10 mL 发酵液,加入 5 mL 水和 5 mL 体积分数 50% 硫酸溶液,煮沸 5 min,然后用斐林试剂法测定还原糖质量浓度。

2 结果与分析

2.1 诱变致死率优化

ARTP 即常压室温等离子体,能够在大气压下产生温度在 25~40 ℃之间的、具有高活性粒子浓度的等离子体射流,等离子体会对细胞结构产生破坏而导致细胞死亡[15]。但也有少数细胞会通过自身的修复存活下来,同时会带来突变。采用 ARTP 对红曲红孢子悬液进行诱变,控制诱变时间为惟一变量,通过孢子萌发计数的方法,得出的致死率与诱变时间的关系。随机挑取一定数量的单菌落发酵,统计色价情况,获得正突变率与致死率的变化情况,见图 1。随着诱变时间的延长,孢子的致死率越来越高,30 s 致死率达到 85%以上。正突变率整体呈现先上升后下降的趋势,30 s 和 40 s 的正突变率分别为 45.2%和 44.6%,相差不大,而因为高致死率有利于缩小突变库,故诱变条件确定为:通气量 10 SLM、功率 80 W、时间 40 s,此时保证高正突变率的情况下,致死率达到了 95%。

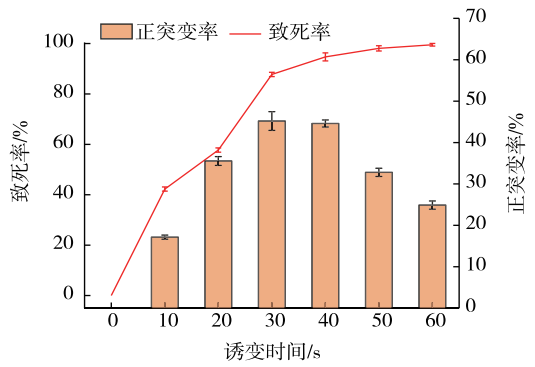


图 1 ARTP 诱变的正突变率与致死率关系

Fig. 1 Relationship between positive mutation rate and lethality rate of ARTP mutagenesis

2.2 多轮迭代诱变对红曲色素发酵的影响

在致死率为95%的条件下对红曲孢子悬液进行诱变,涂板后获得单菌落。为了尽可能挑选高产菌株,观察并比较单菌落与色圈的直径比,比值越小越好,同时观察色圈颜色的深浅,越深越好。将挑选的突变株进行摇瓶发酵,挑选色价最高的菌株传代并作为下一轮诱变的出发菌株。如图2,在第一次诱变时,出发菌株对诱变条件非常敏感,正突变率高达44.6%,随着诱变次数的增加,正突变率明显下降。在经过10轮诱变筛选后,突变株LBBE-15最高色价达到1 244 U/mL,相比最初出发菌株提高了1.26倍,而正突变率由最初的44.6%降到3.8%。可能是随着诱变次数的增加,菌株对诱变条件产生了一定的"疲劳效应"[16]。

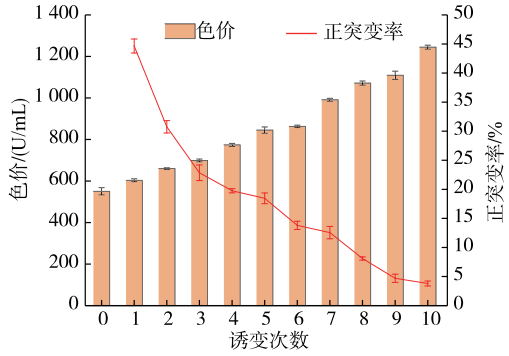


图2 诱变次数对色价及正向突变率的影响

Fig. 2 Effects of mutagenesis on color value and forward mutation rate

2.3 高产菌株遗传稳定性分析

经过10轮诱变,获得的红曲红色素高产突变株LBBE-15形态也发生了较大的变化,见图3。菌丝变得纤长粗壮,交错更加紧密。在深层发酵中,可以将菌丝体的生长状态分为活性生长区域、非活性生长区域、小空泡区、衰退区域与自溶区,次级代谢产物通常与菌丝体的非活性生长部位有关[20]。纤长的菌丝具有更长的非活性生长区域,有利于积累更多的红曲色素。对突变株进行5次连续传代,并且每一代都进行摇瓶发酵培养,以红曲红色价为指标,考察其遗传稳定性,结果见图4。在相同的培养条件下,各代间色价的波动范围很小,说明突变株的遗传稳定性很好。

2.4 培养条件对红曲发酵的影响

基于种群的数量平衡原理[17],摇瓶发酵时,种子液的接种体积分数直接决定了其种群的数量。接种体积分数太低,菌丝生长缓慢,会延长发酵周期,降低发酵效率。接种体积分数太高,菌丝生长太快,营养物质过快被消耗,不利于色素积累。合适的接种体积分数有利于缩短发酵周期,同时也会对红曲色素的积累带来较大影响[10]。如图5所示,相同条件下,接种体积分数为7%时色价最高。

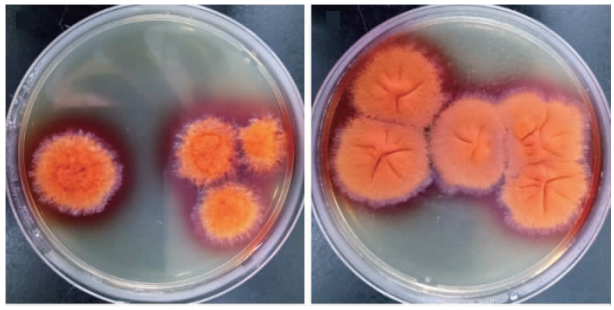


图3 红曲霉单菌落

Fig. 3 Single colony of *Monascus*

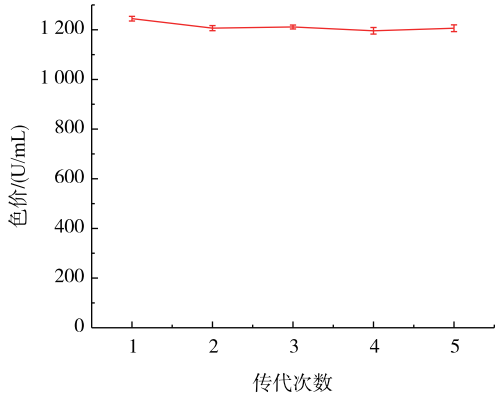


图4 突变株遗传稳定性分析

Fig. 4 Genetic stability analysis of mutant strain

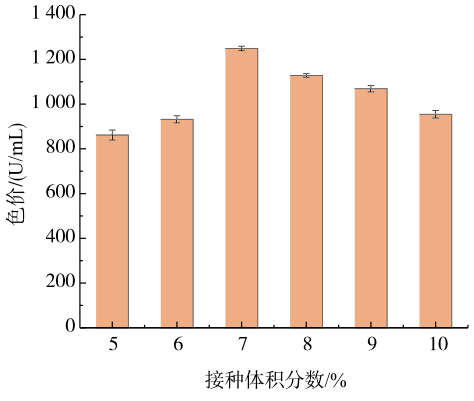


图5 接种体积分数对色价的影响

Fig. 5 Effect of inoculation amount on color value

红曲霉是一种嗜酸菌,尤嗜乳酸,生长的最适

pH 为 3.5~5。培养基的 pH 值会影响微生物的生理特性[18]。细胞膜上的电荷情况会受 pH 的变化而变化,一方面会影响细胞对营养物质的吸收,另一方面会影响色素的分泌。因此,确定好红曲霉生长繁殖的最初 pH 值是提高色价的关键因素之一。如图 6 所示,pH 为 3.7 时,发酵效果最好。

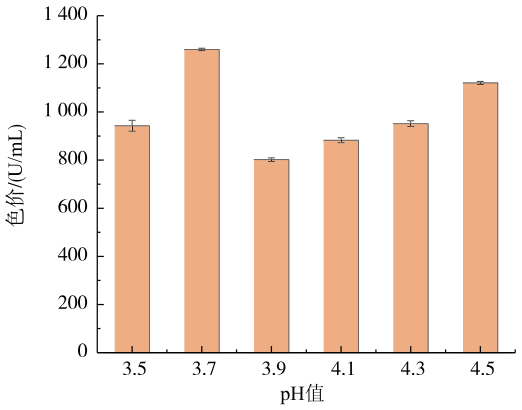


图 6 pH 值对色价的影响

Fig. 6 Effect of pH on color value

根据微生物生长的特性,通过优化培养基的组成,如碳源、氮源、金属离子的浓度及种类,控制丝状真菌形态[19]。有报道证明 Ca^{2+}、Fe^{2+}、Mn^{2+}、Zn^{2+}等离子都与菌丝体合成有关[20-21]。试验选取不同金属离子,考察其对红色素合成的影响,结果见图 7。锰离子和亚铁离子对色素的积累有促进作用,钙离子和锌离子的存在不利于红曲色素的积累。

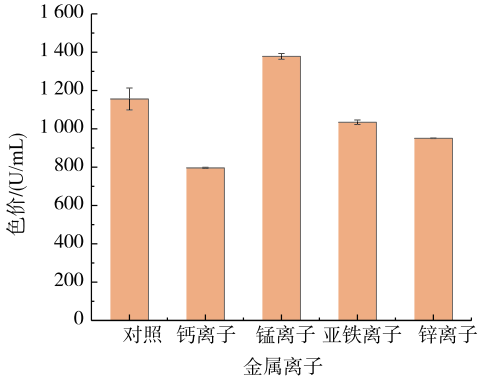
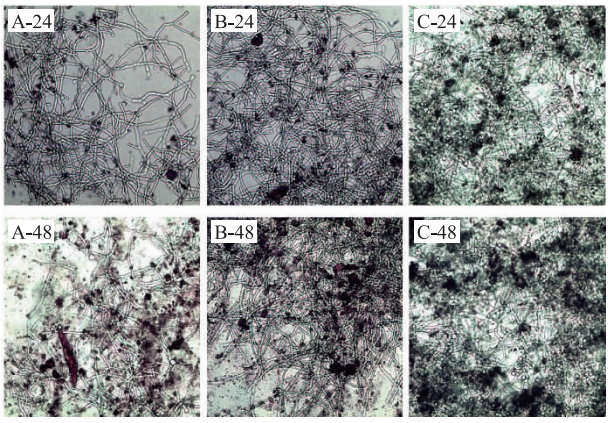


图 7 金属离子对色价的影响

Fig. 7 Influence of metal ions on color value

2.5 50 L 罐发酵

50 L 罐发酵实验中,为了研究溶氧条件对色素积累的影响,恒定转速为 400 r/min,控制通气量分别为 0.5、1.0、1.5 vvm 进行分批发酵,同时对色价和菌丝体的形态进行监控,菌丝形态见图 8。



A-24: 0.5 vvm 溶氧条件下 24 h 的菌丝状态;B-24: 1.0 vvm 溶氧条件下 24 h 的菌丝状态;C-24: 1.5 vvm 溶氧条件下 24 h 的菌丝状态;A-48: 0.5 vvm 溶氧条件下 48 h 的菌丝状态;B-48: 1.0 vvm 溶氧条件下 48 h 的菌丝状态;C-48: 1.5 vvm 溶氧条件下 48 h 的菌丝状态.

图 8 发酵过程中的菌丝状态

Fig. 8 Morphology of mycelium during fermentation

试验结果表明,溶氧的不同会直接影响菌丝体的形态,从而影响色素的积累。0.5 vvm 溶氧条件下,菌丝生长缓慢,菌丝球松散稀疏,主要呈球状菌丝体,色素积累缓慢,发酵周期延长;1.0 vvm 溶氧条件下,菌丝生长迅速,菌丝纤长粗壮。进入稳定期后菌丝相对致密,主要呈簇状菌丝体,此时色素大量积累;1.5 vvm 溶氧条件下,菌丝生长迅猛,菌丝交错致密,呈紧密簇状菌丝体,发酵液粘度增加,发酵体系溶氧不均,在线溶氧波动很大。随后发酵液中出现大量分生孢子,原料消耗很快,发酵周期缩短,色素积累很少。

将高产突变菌株 LBBE-15 进行 50 L 发酵罐分批发酵试验,控制通气量为 1.0 vvm,手动调整转速使溶氧在 20%左右。发酵过程中对 pH、单糖、总糖及色价进行检测,每 12 小时取一次样,结果见图 9。随着菌丝的生长,发酵液的 pH 缓慢上升。在前 24 h,菌丝呈对数生长,溶氧迅速下降。菌丝分泌的淀粉酶对米粉进行酶解使得单糖质量浓度升高,但没有色素积累。24 h 后菌丝继续生长,糖不断被消耗,并开始积累色素。到 96 h 糖基本耗完,发酵结束,最终获得色价为 642 U/mL。

从发酵结果看,发酵罐中的色价水平只有摇瓶的一半,对比分析摇瓶和发酵罐的发酵液发现,发酵罐中菌丝生长不好,菌丝量明显低于摇瓶,分析

主要原因是发酵培养基本身太粘稠造成溶氧总体上处于偏低的水平。而单方面增加通气量和转速会短时间增加发酵体系的溶氧,但菌丝的迅速生长会增加体系的粘稠度造成溶氧不均,且加大转速带来的剪切力会打断菌丝。这也解释了在通气量为 1.5 vvm 时的分批发酵失败的原因, 同时也说明发酵工艺还有很大的改善空间。后续会着重对发酵培养基的成分及比例进一步调整和优化,在保证正常溶氧的基础上再进行发酵条件的优化。

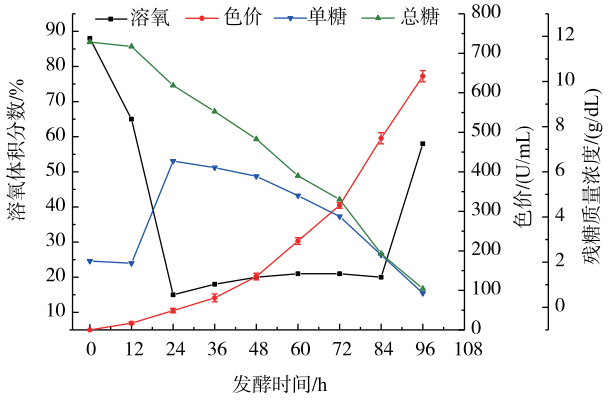


图 9 突变株 LBBE–15 50 L 罐发酵曲线

Fig. 9 Fermentation curve of 50 L jar –fermenter of mutant strain LBBE–15

3 结 语

为提高红曲霉液态发酵产红曲色素能力,加快红曲霉液态发酵生产红曲色素工业化进程。经过 10 轮的 ARTP 诱变和筛选,获得的突变菌株 LBBE–15 最高色价可达 1 244 U/mL, 传代稳定后经简单的培养条件优化,摇瓶色价可达到 1 376 U/mL,较出发菌株色素生产能力有较大提高。在此基础上,尝试对突变株 LBBE–15 进行了 50 L 发酵罐分批发酵试验,通过对转速和通气量的控制,发酵 96 h 可使色价达到 642 U/mL,为后续菌株的放大培养提供参考。

相对于常规的诱变技术,ARTP 诱变更加高效、安全、便于操作,且能有效对红曲霉菌进行诱变,获得高产菌株[15, 22]。但实验中随着诱变次数的增加,菌株表现出了一定的“疲劳效应”,导致正突变率不断降低[16]。因此,多种方式的交叉诱变可减少“疲劳效应”的影响,诱变效果会更好。

在丝状真菌液态深层发酵中,溶氧是一个关键性问题, 溶氧的好坏会直接影响菌丝生长的状态,而菌丝的生长形态直接影响色价的高低。需要注意的是,在丝状真菌液态深层发酵时,丝状真菌生长成菌丝球,会使培养基变得粘稠,不利于溶质传氧[23]。为了保证溶氧,需要提高转速并增加通气量,但增大的剪切力会打断菌丝体, 不利于色素的积累。因此,如何控制转速和通气量是保证所需溶氧的情况下有效提高液态发酵色价的关键。

参考文献:

[1] 张凤瑞. 大规模培养红曲霉产生生理活性物质的研究[J]. 酿酒科技,2002,23(5):29-30.

[2] 付秀荣,王华,连悦. 红曲红粉色素的开发与应用[J]. 肉类研究,1998,12(2):3-5.

[3] 涂志英,邵伟. 国内外红曲的应用现状及发展趋势[J]. 中国酿造,2008,27(7):7-9.

[4] FABRE C E,SANTERRE A L,LORET M O,et al. Production and food applications of the red pigments of *Monascus ruber*[J]. **Journal of Food Science**,1993,58(5):1099-1102.

[5] 王也,胡长利,崔建云. 红曲红色素替代亚硝酸钠作为腊肉中着色剂的研究[J]. 中国国家农产品加工信息,2006,3(2):26-30.

[6] 龙娇妍,李少华,李长滨,等. 红曲色素在食品加工中的应用[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报,2015,35(2):33-35.

[7] 洪泽淳,赵文红,钱敏,等. 红曲色素在碳酸、橙汁饮料中的应用[J]. 中国酿造,2014,33(4):116-119.

[8] 郑虹,姚德华. 红曲霉固态发酵产红曲色素的发酵条件优化及稳定性研究[J]. 中国调味品,2016,41(7):26-31.

[9] 童爱均,黄梓芮,洪家丽,等. 红曲固态发酵产色素工艺条件的优化[J]. 福建农业科技,2018,49(5):24-28.

[10] 周建建. 高色价红曲红色素液态深层发酵工艺的研究[D]. 济南:齐鲁工业大学,2013.

[11] MUKHERJEE G,SINGH S K. Purification and characterization of a new red pigment from *Monascus purpureus* in submerged fermentation[J]. **Process Biochemistry**,2011,46(1):188-192.

[12] SILVEIRA S T,DAROIT D J,SANT'ANNA V,et al. Stability modeling of red pigments produced by *Monascus purpureus* in submerged cultivations with sugarcane bagasse[J]. **Food and Bioprocess Technology**,2013,6(4):1007-1014.

[13] 许赣荣,陈蕴,顾玉梅,等. 低产桔霉素红曲霉菌种筛选[J]. 无锡轻工大学学报,2000,19(4):358-360.

[14] 刘颖,林亲录. 红曲霉菌株选育的研究进展[J]. 现代食品科技,2006,22(3):280-283.
[15] 朱瑞敏,邱晨曦,韩悦,等. 微生物育种物理诱变技术 ARTP 的应用进展[J]. 生物技术世界,2016,10(4):20-23.
[16] 叶坚. 应用常压室温等离子体诱变技术选育蛋白质谷氨酰胺酶高产菌株[D]. 上海:华东师范大学,2018.
[17] YU J H,KELLER N. Regulation of secondary metabolism in filamentous fungi[J]. **Annual Review of Phytopathology**,2005,43:437-458.
[18] 王红,王娜,肖军,等. 抗氧化剂和 pH 值对红曲霉色素及生物量的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):495-496.
[19] KRULL R,COEDES C,HORN H,et al. Biosystems Engineering II[M]. Berlin:Springer,2010:1-21.
[20] 熊强,徐晴,顾帅,等. 丝状真菌形态控制及其在发酵过程优化中的应用[J]. 生物工程学报,2012,28(2):178-190.
[21] DU G,LIU L,LI Y,et al. Optimization of fermentation process for achieving high product concentration,high yield and high productivity[J]. **Chemical Industry and Engineering Progress**,2006,25(10):1128-1133.
[22] 张雪,张晓菲,王立言,等. 常压室温等离子体生物诱变育种及其应用研究进展[J]. 化工学报,2014,65(7):2676-2684.
[23] CUI Y Q,OUWEHAND J N W,VAN DER LANS R,et al. Aspects of the use of complex media for submerged fermentation of *Aspergillus awamori*[J]. **Enzyme and Microbial Technology**,1998,23(1-2):168-177.

科　技　信　息

研究发现油菜蜜、洋槐蜜和椴树蜜中标志性成分

近日,中国农业科学院蜜蜂研究所蜂产品与功能评价团队研究揭示了我国产量最大的 3 种蜂蜜——油菜蜜、洋槐蜜和椴树蜜中标志性成分及其在真实性评价上的应用,为进一步开展蜂蜜的品质评价,提供了新的思路和科学依据。

该团队通过液质联用、气质联用和核磁共振等技术,发现了香酸甲酯、红花菜豆酸和椴树素(lindenin)可以分别作为油菜蜜、洋槐蜜和椴树蜜的标志性成分。其中对异丙醇-环己二烯-1-羧酸,由于只存在于椴树蜜中,被命名为椴树素。通过在全国范围内收集和分析油菜蜜、洋槐蜜和椴树蜜的原料蜜样品,分别建立了高效液相色谱指纹图谱。结合靶向标志物和非靶向指纹图谱,提出了 3 种单花蜂蜜真实性的评价方法。

[信息来源]中国农业科学院蜜蜂研究所.研究发现油菜蜜、洋槐蜜和椴树蜜中标志性成分[EB/OL]. (2020-9-3). http://www.caas.cn/xwzx/kyjz/307323.html