

## 高山被孢霉产孢培养基的筛选

唐鑫, 顾舒婕, 常璐璐, 王旭旭, 赵建新, 张灏, 陈海琴, 陈卫

(江南大学食品学院, 江苏无锡214122)

**摘要:** 为了促进高山被孢霉产孢, 研究分析了8种常用于促进丝状真菌产孢的培养基对高山被孢霉菌丝生长和孢子产量的影响, 并对产孢培养基进行了改良。结果表明, 在40 g/L的玉米粉培养基中补加10 g/L葡萄糖和无机盐(硝酸盐(2 g/L  $\text{KNO}_3$ )、磷酸盐(1 g/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )与镁离子(0.3 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )), 接种高山被孢霉后于28℃培养10 d, 再在4℃培养14 d, 孢子平均产量达到 $8.57 \times 10^6$ 个/mL, 是目前用于高山被孢霉菌株保藏的葡萄糖酵母培养基(GY)(孢子平均产量 $3.85 \times 10^6$ 个/mL)的2.23倍。因此, 在有少量葡萄糖和无机盐促进菌丝生长的前提下, 40 g/L的玉米粉最适合高山被孢霉产孢。

**关键词:** 高山被孢霉; 菌丝生长; 产孢; 培养基

中图分类号: TQ921; TQ225.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)04-0123-05

## Screening of sporulation medium for *Mortierella alpina*

TANG Xin, GU Shujie, CHANG Lulu, WANG Xuxu, ZHAO Jianxin,  
ZHANG Hao, CHEN Haiqin, CHEN Wei

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

**Abstract:** In order to promote the sporulation of *Mortierella alpina*, the effects of eight mediums commonly used to promote the sporulation of filamentous fungi on *Mortierella alpina* mycelium growth and spore production were analyzed, and the sporulation medium was improved. The results showed that the average spore production in 40 g/L corn flour medium supplemented with 10 g/L glucose and inorganic salts (nitrate (2 g/L  $\text{KNO}_3$ ), phosphate (1 g/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) and magnesium ion (0.3 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )) after incubation at 28℃ for 10 d and then at 4℃ for 14 d reached  $8.57 \times 10^6$  spores/mL, which was 2.23 times as high as that in the glucose yeast medium (GY) ( $3.85 \times 10^6$  spores/mL) currently used for the preservation of *Mortierella alpina* strains. Therefore, 40 g/L of corn flour was the most suitable for the sporulation of *Mortierella alpina* in the presence of a small amount of glucose and inorganic salts to promote mycelium growth.

**Key words:** *Mortierella alpina*; mycelium growth; sporulation; culture medium

高山被孢霉是一种具有很强脂质合成能力的产油丝状真菌, 其油脂积累量超过自身干重的50%, 是目前商业化生产花生四烯酸(ARA)的菌株, 同时具有生产二十碳五烯酸(EPA)的潜能<sup>[1-2]</sup>。多年

来, 发酵条件优化、基因改造等手段已成功应用于高山被孢霉中, 用于构建具有高附加值多不饱和脂肪酸(PUFAs)合成能力的工程菌株, 提高高山被孢霉的经济价值<sup>[3-4]</sup>。

丝状真菌的繁殖方式分为无性繁殖和有性繁殖, 一般依靠孢子来完成。丝状真菌产生的孢子数量多、个体小、多干燥, 具有很强的抗逆性和较长的休眠期, 且不同的孢子形态和颜色都各不相同<sup>[5]</sup>。在营养丰富、通气量充足、温度和pH等均适宜的条件下, 菌体生长迅速, 菌丝旺盛, 但孢子的产量却很

收稿日期: 2020-06-16; 修回日期: 2020-12-28

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31901659)

作者简介: 唐鑫(1987), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为食品生物技术(E-mail) xintang@jiangnan.edu.cn。

通信作者: 陈海琴, 教授(E-mail) haiqinchen@jiangnan.edu.cn。

少,甚至不产孢子;而在营养匮乏、高温高压、干燥等对菌体生长不利的恶劣环境下,孢子却大量产生<sup>[6-7]</sup>。因此,一般认为产孢是丝状真菌应对不良环境时的一种应答方式。通过改变培养条件(如碳氮比、湿度、光线、含水量等),能够人为影响丝状真菌产孢,从而达到提高孢子产量的目的<sup>[6]</sup>。

高山被孢霉具有典型的接合真菌无性生殖生活史,主要通过产生孢子进行繁殖<sup>[8]</sup>。在高山被孢霉的研究中,孢子是菌株保藏、发酵接种的主要原料。在诱变育种和根癌农杆菌介导遗传转化试验中,孢子是重要的受体,试验过程对其浓度要求较高,通常需要达到 $10^8$ 个/mL<sup>[9]</sup>。尽管提高高山被孢霉孢子产量对其研究具有重要意义,但是目前缺少针对高山被孢霉产孢培养基的相关研究。而且对于具体的菌株而言,不同丝状真菌的最适产孢培养基之间存在很大差别,这与菌株本身的产孢特性有关。产孢培养基常以一些营养成分简单的天然农作物及秸秆作为原料,这些培养基普遍价格低廉、来源广泛、配制方法简单且产孢效果好。目前,常见的产孢培养基包括马铃薯葡萄糖培养基、燕麦培养基、米糠培养基、麦麸培养基等。因此,本文在前人研究<sup>[10-13]</sup>的基础上,选择常用于丝状真菌保藏的碳、氮源及数种价格低廉的谷物加工副产品,比较高山被孢霉在不同碳、氮源中菌丝生长和产孢量的差异,并进一步优化培养基配方,提供适用于高山被孢霉快速、高效产

孢的培养基。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 菌株

高山被孢霉 ATCC 32222,美国菌种保藏中心。

#### 1.1.2 主要仪器

Ultra-turrax 高速分散机,德国 IKA; DFY-500 高速多功能粉碎机; ST40R 台式冷冻离心机,美国 Thermo Fisher; 正置显微镜,德国 Leica; Microcloth 纤维滤布(孢子过滤用),美国 Calbiochem。

#### 1.1.3 主要试剂

酵母提取物(Oxoid); 酶母膏; 琼脂粉、葡萄糖、NaCl、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{KNO}_3$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 国药集团; 玉米粉、燕麦、米糠、麦麸以及新鲜的马铃薯和胡萝卜,无锡雪浪农贸市场。

#### 1.1.4 培养基

种子培养基(Broth): 20 g/L 葡萄糖, 5 g/L 酵母提取物, 10 g/L  $\text{KNO}_3$ , 0.25 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1 g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 。115℃ 高温高压湿热灭菌 20 min。配制固体培养基时,在灭菌前加入 20 g/L 琼脂粉。

产孢培养基: 根据文献[10-13]报道,筛选用于各类丝状真菌的产孢培养基,并做适当调整,配制固体培养基时,灭菌前加入 20 g/L 琼脂粉,115℃ 高温高压湿热灭菌 20 min。所筛选的产孢培养基配方及处理方法如表 1 所示。

表 1 不同产孢培养基配方及处理方法

培养基	培养基配方	处理方法
葡萄糖酵母膏培养基	葡萄糖 20 g/L, 酵母膏 10 g/L	无
马铃薯培养基	新鲜马铃薯 200 g/L	取马铃薯去皮,切成约 2 cm × 2 cm 小块,加去离子水煮沸 20 min,滤去残渣,留取滤液并补足至 1 L
胡萝卜培养基	新鲜胡萝卜 200 g/L	处理方法同马铃薯
燕麦培养基	燕麦粉 50 g/L	用打碎机将燕麦打碎成粉末,加热煮沸 20 min,纱布过滤,并挤出残渣中残留的汁液,留取滤液并补足至 1 L
米糠培养基	米糠 40 g/L	处理方法同燕麦
玉米粉培养基	玉米粉 40 g/L	玉米粉加热煮沸 20 min,纱布过滤,并挤出残渣中残留的汁液,留取滤液并补足至 1 L
麦麸培养基	麦麸 40 g/L	处理方法同燕麦
马铃薯葡萄糖培养基	新鲜马铃薯 200 g/L, 葡萄糖 10 g/L	马铃薯处理方法不变

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 高山被孢霉的培养

#### 1.2.1.1 活化

取冻存在 -80℃ 冰箱的高山被孢霉 ATCC 32222 的孢子液 200  $\mu\text{L}$ (细胞浓度  $10^7$  个/mL),接种于 100 mL 种子培养基中(250 mL 锥形瓶),28℃、200 r/min 振荡培养 2 d,倒尽上清,使用高速

分散机于 8 000 r/min 打散菌体 20 s,再按 1% 接种量接种于 100 mL 种子培养基中,重复 2 次,至菌体生长为状态良好、大小均一的松散毛球状后,使用高速分散机于 8 000 r/min 打散,备用。

#### 1.2.1.2 产孢

取 1.2.1.1 打散后的菌液 0.8 mL,接入各类产孢斜面培养基中,使菌液充分与斜面接触。接种后

的产孢斜面培养基,于28℃恒温培养箱中培养10 d,之后转移至4℃冷库中培养14 d用于产孢。

### 1.2.2 高山被孢霉菌体生长形态观察

肉眼观察高山被孢霉菌在产孢固体斜面培养基和固体平皿培养基中的形态。固体斜面培养见1.2.1.2。固体平皿培养:取少量1.2.1.1中打散的菌液涂布于固体平皿种子培养基中,28℃静置培养2 d,用无菌牙签取单一菌落边缘新菌丝,点植法接入各类产孢平皿培养基中,每皿点植4处,28℃静置培养2 d。

### 1.2.3 孢子计数

从冷库中取出培养好的产孢斜面培养基,加入5 mL 0.9%生理盐水于试管中,用刮勺反复刮取菌丝并搅拌,将带有菌丝的孢子液经无菌 Microcloth

纤维滤布过滤后倒入50 mL离心管中,4℃、12 000 g离心30 min,迅速倒去上清液,加入1 mL 0.9%生理盐水和酸洗玻璃珠充分振荡重悬备用。

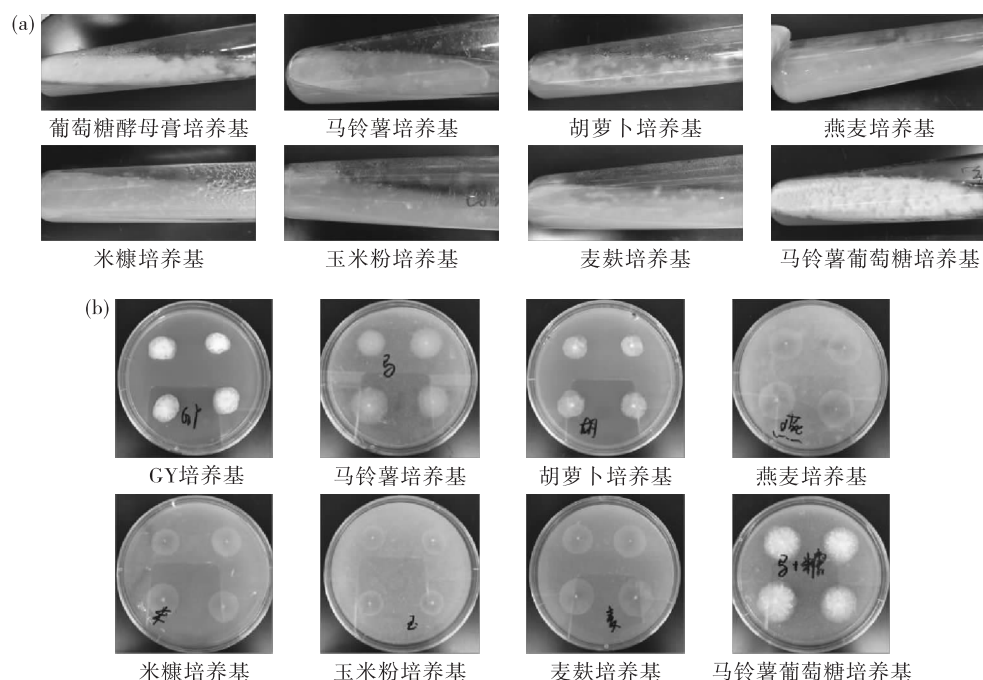
使用血球计数板(25×16),上、下计数室各滴加10 μL孢子液,取左上、右上、左下、右下、中间5个中格,在显微镜(物镜40×、目镜10×)下计数,重复3次。

每种培养基做2个平行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 高山被孢霉菌在不同培养基中生长及产孢情况

高山被孢霉菌在不同产孢固体斜面培养基和固体平皿培养基中的生长情况分别如图1(a)和图1(b)所示。



注:(a)固体斜面培养基;(b)固体平皿培养基;GY培养基为高山被孢霉菌保藏培养基,配方为2 g/L  $\text{KNO}_3$ 、1 g/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、0.3 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、酵母膏10 g/L、葡萄糖20 g/L。

图1 高山被孢霉菌在不同产孢培养基中菌丝的生长情况

由图1(a)可见,除对照组葡萄糖酵母膏培养基菌丝能够正常生长外,马铃薯培养基、胡萝卜培养基表面只长出一层稀薄的菌丝,而燕麦培养基、米糠培养基和玉米粉培养基内菌丝基本没有生长,上述培养基对应的固体平皿上菌落生长状态也较差(图1b),菌落薄且菌丝少。值得注意的是,在马铃薯培养基的基础上添加了10 g/L葡萄糖的马铃薯葡萄糖培养基中,可见明显的菌丝生长,说明高山被孢霉菌的菌丝生长对葡萄糖具有较高的依赖性。但是在马铃薯葡萄糖培养基中,菌丝表面皱褶较多,菌丝不蓬松,生长状态不佳,表明高山被孢霉菌仍处于较差的生

长条件。

对上述固体斜面培养基中的孢子进行收集和计数,发现除葡萄糖酵母膏培养基和马铃薯葡萄糖培养基获得的重悬液中可见少量孢子外,其余培养基的孢子重悬液中几乎无孢子可见。说明在这一培养条件下,因为培养基配方不适用于高山被孢霉菌,菌丝生长受到较严重的限制,并进一步影响了产孢。与其他培养基相比,添加葡萄糖的培养基中菌丝含量和孢子数量明显提高,说明高山被孢霉菌的生长对葡萄糖有较强的依赖性,其孢子的产生需要建立在菌丝大量生长的前提下完成。另外,仅添加葡萄糖

虽然可以在一定程度上满足高山被孢霉菌丝生长,但对产孢仍无促进作用。除了必要的碳、氮源外,丝状真菌产孢还受无机盐、pH 和光照等因素的影响,且由于不同菌株自身特性的差异,不同丝状真菌的最适产孢培养基之间存在很大差别<sup>[14]</sup>。为了满足高山被孢霉菌的基本生长,后续将参考高山被孢霉菌株保藏(非产孢)过程中常用的培养基(GY 培养基)对上述培养基进行改良<sup>[8,15]</sup>。

## 2.2 产孢培养基的改良

根据 2.1 的结果,高山被孢霉菌孢子的生长需要依附于大量的菌丝,而菌丝生长对葡萄糖有较强的依赖性。在此过程中,既要保证葡萄糖的供给能满足菌丝生长,又不能引入较多的碳源抑制产孢或启动高山被孢霉菌脂质积累。实验室前期研究发现液体培养的高山被孢霉菌在指数生长期内,其葡萄糖消耗

量为 10 ~ 15 g/L,这一消耗量可保证菌丝的大量生长<sup>[16]</sup>。另外高山被孢霉菌等丝状真菌的菌丝生长和产孢还需要一定量的无机盐。因此,在表 1 培养基配方的基础上,对无葡萄糖的培养基补加 10 g/L 葡萄糖(补加葡萄糖后,马铃薯培养基与马铃薯葡萄糖培养基配方一致,故不再考察马铃薯葡萄糖培养基),并参考高山被孢霉菌保藏所用的 GY 培养基,添加适用于高山被孢霉菌的无机盐,包括硝酸盐(2 g/L  $\text{KNO}_3$ )、磷酸盐(1 g/L  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )与镁离子(0.3 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ),用以辅助高山被孢霉菌丝生长并促进产孢。

在补加葡萄糖和无机盐后,高山被孢霉菌在不同改良产孢固体斜面培养基和固体平皿培养基中的生长情况分别如图 2(a)和图 2(b)所示。

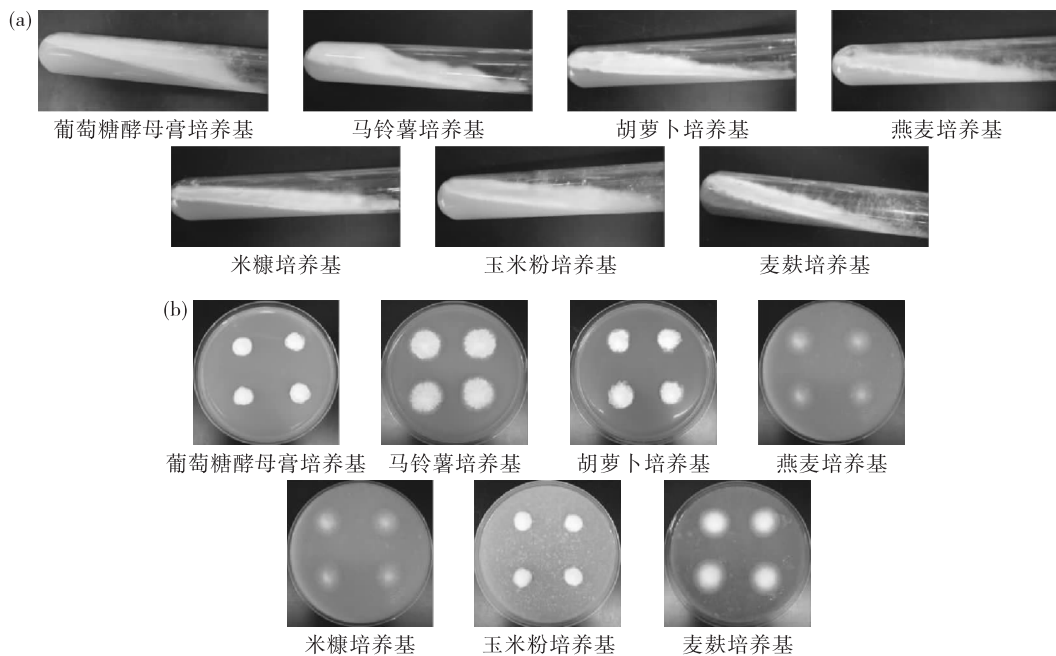
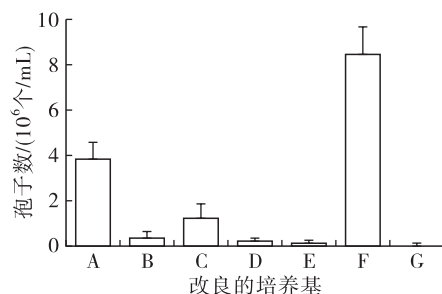


图 2 高山被孢霉菌在改良的产孢培养基中菌丝的生长情况

由图 2 可以看出,各个斜面培养基中菌丝较改良前(图 1)已明显增多。葡萄糖酵母膏培养基在补加无机盐后,菌丝更加丰富,在培养基上形成厚厚一层并充满试管。此外,马铃薯培养基中菌丝含量也较改良前有很大改善。相比之下,胡萝卜培养基、燕麦培养基、米糠培养基、玉米粉培养基和麦麸培养基中虽然菌丝明显增多增厚,但与葡萄糖酵母膏培养基和马铃薯培养基相比菌丝密度相对较低,说明胡萝卜和米糠等对高山被孢霉菌丝生长的促进作用弱于更高浓度的葡萄糖、酵母膏和马铃薯等富含生长因子的物质。

对高山被孢霉菌在上述 7 种改良的斜面培养基中的产孢情况进行统计,结果如图 3 所示。



注:A. 葡萄糖酵母膏培养基;B. 马铃薯培养基;C. 胡萝卜培养基;D. 燕麦培养基;E. 米糠培养基;F. 玉米粉培养基;G. 麦麸培养基。

图 3 改良的产孢培养基对高山被孢霉菌产孢量的影响

由图 3 可见:改良的玉米粉培养基对高山被孢

霉的产孢促进效果最优,孢子数量高达  $8.57 \times 10^6$  个/mL,其次为改良的葡萄糖酵母膏培养基(用于保藏高山被孢霉常用的GY培养基),孢子数量达到  $3.85 \times 10^6$  个/mL,其余培养基经改良后虽然菌丝生长情况有所改善,但产孢量很少甚至几乎不产生孢子,如燕麦、米糠等物质,虽然这些谷物类产品已经成功应用于其他丝状真菌的产孢培养基中<sup>[10-13]</sup>,但不适用于高山被孢霉,这可能是由不同丝状真菌自身对营养物质的需求差异所导致的。此外,虽然改良的葡萄糖酵母膏培养基(GY培养基)和马铃薯培养基中丰富的生长因子有利于高山被孢霉菌丝的生长,但这一丰富的营养状态不利于制造孢子萌发所需的营养胁迫条件,因此对于高山被孢霉产孢的促进作用不够明显,或是抑制了其产孢。

### 3 结论

高山被孢霉是被广泛研究且具有良好开发价值的产油丝状真菌,本文对高山被孢霉产孢培养基进行研究,分析了8种培养基及外加葡萄糖、无机盐对高山被孢霉产孢的影响,确定了最适用于高山被孢霉产孢的玉米粉培养基及其配制方法。试验发现高山被孢霉必须经过正常的营养菌丝生长阶段生长出相应的子实体才能为产孢创造条件,这也说明高山被孢霉孢子的形成对营养成分要求较高且与其他非产油丝状真菌有较大的差异。所以,在保证高山被孢霉菌丝生长的同时,要注意平衡营养水平与产孢条件的关系,保证产孢所依赖的菌丝生长的同时适当限制营养条件,以便更好地促进其孢子产生。无机盐也是影响菌丝生长和孢子产生的重要因素,后期还可进一步分析生长因子、无机盐浓度及种类在菌丝生长和孢子产生之间的作用,结合分子生物学手段,分析不同培养条件在基因水平对孢子产生的影响,以更好地研究高山被孢霉等产油丝状真菌的最适产孢条件。

### 参考文献:

- [1] BOZARTH R F, GOENAGA A. Purification and properties of mycoferritin from *Mortierella alpina* [J]. *Can J Microbiol*, 1972, 18(5): 619-622.
- [2] WANG L, CHEN W, FENG Y, et al. Genome characterization of the oleaginous fungus *Mortierella alpina* [J/OL]. *PLoS One*, 2011, 6(12): e28319[2020-06-16]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028319>.
- [3] HAO G F, CHEN H Q, GU Z N, et al. Metabolic engineering of *Mortierella alpina* for enhanced arachidonic acid production through the NADPH-supplying strategy [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2016, 82(11): 3280-3288.
- [4] GE C F, CHEN H Q, MEI T T, et al. Application of a *omega*-3 desaturase with an arachidonic acid preference to eicosapentaenoic acid production in *Mortierella alpina* [J/OL]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2017, 5: 89[2020-06-16]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29404322>.
- [5] 赵胜, 杨艳艳, 杨中路, 等. 大豆平头炭疽菌的产孢因素[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(3): 384-387.
- [6] SETLOW P. Spore germination[J]. *Curr Opin Microbiol*, 2004, 6(6): 550-556.
- [7] LOUNDS C, EAGLES J, CARTER A T, et al. Spore germination in *Mortierella alpina* is associated with a transient depletion of arachidonic acid and induction of fatty acid desaturase gene expression [J]. *Arch Microbiol*, 2007, 188(4): 299-305.
- [8] 郝光飞. 高山被孢霉脂肪酸合成过程转录水平调控和还原力来源研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2014.
- [9] AKINORI A, YOSUKE S, HIROAKI N, et al. Establishment of *agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of an oleaginous fungus, *Mortierella alpina* 1S-4, and its application for eicosapentaenoic acid producer breeding[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2009, 75(17): 5529-5535.
- [10] JIA J, YANG X F, WU Z L, et al. Optimization of fermentation medium for extracellular lipase production from *Aspergillus niger* using response surface methodology [J/OL]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 497462[2020-06-16]. <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/497462>.
- [11] 刘伟, 许强, 黎晓珊, 等. 两株少孢节丛孢菌在不同培养基中的形态学差异及生长特性[J]. *动物医学进展*, 2016, 37(8): 60-64.
- [12] 柳莉, 李秀璋, 郭长辉, 等. 不同培养基对禾草内生真菌 *Epichloë* 生长与产孢的影响[J]. *草业科学*, 2015, 32(6): 859-869.
- [13] 狄雪嫒, 杨茂发, 邹晓. 防治稻水象甲优效球孢白僵菌 YS03 菌株产孢培养基优化[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(4): 800-806.
- [14] WOLKEN W A M, TRAMPER J, WERF M J V D. What can spores do for us? [J]. *Trends Biotechnol*, 2003, 21(8): 338-345.
- [15] 史海粟.  $\Delta 6$  脂肪酸脱饱和酶底物选择性研究及其在高山被孢霉中的应用[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2016.
- [16] 常璐璐, 唐鑫, 张灏, 等. 不同碳、氮源质量浓度对高山被孢霉脂类积累及 SNF1 复合体转录调控的影响研究[J]. *中国油脂*, 2018, 43(7): 113-118, 140.

## 发酵稀奶油工艺优化及脂肪酸组成分析

唐诗宇, 杨 宽, 蔡丽莎, 何林枫, 李珊珊, 曾 珍, 李 诚

(四川农业大学 食品学院, 四川 雅安 625000)

**摘要:**采用乳酸乳球菌乳脂亚种、干酪乳杆菌、植物乳杆菌植物亚种混合发酵稀奶油,以模糊数学感官评分和酸度为指标,通过单因素试验和正交试验优化发酵工艺,同时分析稀奶油发酵前后常规理化指标和乳酸菌数,利用气相色谱-质谱联用仪分析稀奶油发酵前后脂肪酸组成的变化。结果表明:稀奶油最佳发酵条件为发酵温度35℃、发酵时间10h、接种量3%、菌种比例为乳酸乳球菌乳脂亚种与干酪乳杆菌、植物乳杆菌植物亚种菌液体积比1:1.5:0.5,所制备的发酵稀奶油感官品质较好,蛋白质含量1.36%、脂肪含量36.54%、pH 4.57、酸度67.05 °T、乳酸菌数 $2.7 \times 10^8$  CFU/mL;稀奶油发酵前后脂肪酸组成种类不变,共检测出18种脂肪酸,主要以肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸和油酸为主,发酵后己酸、辛酸、癸酸含量增加,从而使发酵稀奶油香气更浓郁。

**关键词:**发酵;稀奶油;工艺优化;脂肪酸

中图分类号:TS252.9;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)04-0128-05

### Optimization of fermentation of cream and its fatty acid composition

TANG Shiyu, YANG Kuan, CAI Lisha, HE Linfeng, LI Shanshan,  
ZENG Zhen, LI Cheng

(Food College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625000, Sichuan, China)

**Abstract:**The cream was fermented by the mixture of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum*. Using fuzzy mathematics sensory score and acidity as indicators, the fermentation process was optimized through single factor experiment and orthogonal experiment, and the physicochemical indexes and the number of lactic acid bacteria of cream before and after fermentation were analyzed. Moreover, the changes of fatty acid composition were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that the best fermentation conditions of cream were obtained as follows: fermentation temperature 35 °C, fermentation time 10 h, inoculation volume 3%, strain volume ratio of *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* to *Lactobacillus casei* to *Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum* 1:1.5:0.5. The fermented cream prepared had better sensory quality, and its protein content, fat content, pH, acidity and lactic acid bacteria number were 1.36%, 36.54%, 4.57, 67.05 °T and  $2.7 \times 10^8$  CFU/mL respectively. The fatty acid composition of cream before and after fermentation unchanged, and a total of 18 fatty acids were detected, mainly myristic acid, palmitic acid, stearic acid and oleic acid. The contents of capric acid, caproic acid and caprylic acid in the fermented cream increased to provide more aroma.

**Key words:**fermentation; cream; process optimization; fatty acid

收稿日期:2020-06-24;修回日期:2020-12-23

基金项目:四川省重点研发项目(2018NZ0033)

作者简介:唐诗宇(1992),女,硕士研究生,研究方向为油脂加工(E-mail)80937230@qq.com。

通信作者:李 诚,教授(E-mail)lichenglcp@163.com。

稀奶油作为脱脂牛奶的副产品,是从牛奶中分离的脂肪含量较高的部分。稀奶油中含有磷脂、糖脂、类胡萝卜素<sup>[1-2]</sup>,还含有许多对于人体有益的脂肪酸,如部分短链脂肪酸、 $\alpha$ -亚麻酸、二十碳五烯酸<sup>[3-5]</sup>。相较于人造奶油,稀奶油价格偏高,商家为了降低成本大多使用人造奶油,但人造奶油部分产