

以甘油为底物发酵生产新型黄原胶

王子朝¹, 朱莉², 吴剑荣¹, 郑志永¹, 高敏杰¹, 詹晓北^{*1}

(1. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡格莱克斯生物科技有限公司, 江苏 无锡 214125)

摘要: 经过驯化得到了一株可以利用甘油发酵生产黄原胶的野油菜黄单胞菌突变株, *Xanthomonas campestris* WXLB-006。RT-PCR 结果显示: *X. campestris* WXLB-006 中甘油代谢相关基因 (*glpF*, *glpK*, *glpD*, *fbp*) 的相对表达量均高于原始菌株, 依次为 *glpD* (8.53) > *glpF* (7.64) > *glpK* (6.61) > *fbp* (5.79)。初始甘油质量浓度 40 g/L、变通气量和变搅拌转速 (0~24 h, 0.5 vvm 和 200 r/min; 24~60 h, 1.0 vvm 和 400 r/min) 以及三阶段变速流加甘油策略 (24~34 h, 3 g/L/h; 34~44 h, 2 g/L/h; 44~54 h, 1 g/L/h), 使生物量由 1.65 g/L 增加到 1.94 g/L, 黄原胶产量由 17.8 g/L 提高到 33.9 g/L, 发酵周期由 120 h 缩短至 60 h。重要的是, 以甘油为底物发酵得到的黄原胶具有粘度低、透明性高、水化速率快和反复冻融处理粘度增大的特点。

关键词: 驯化; 野油菜黄单胞菌; 甘油; 黄原胶

中图分类号: Q 815 文献标志码: A 文章编号: 1673-1689(2018)10-1028-07

Production of a New Xanthan Gum with Glycerol as Substrate

WANG Zichao¹, ZHU Li², WU Jianrong¹, ZHENG Zhiyong¹, GAO Minjie¹, ZHAN Xiaobei^{*1}

(1. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Galaxy Biotech Co. Ltd., Wuxi 214125, China)

Abstract: A mutant strain, which was named *X. campestris* WXLB-006 and could use glycerol for xanthan production, was obtained by adaptive evolution. RT-PCR results showed that the transcriptional level of genes related to glycerol metabolism (*glpF*, *glpK*, *glpD*, and *fbp*) in *X. campestris* WXLB-006 was higher than those of the parent strain, and the order of these four genes was *glpD* (8.53) > *glpF* (7.64) > *glpK* (6.61) > *fbp* (5.79). With low glycerol concentration (40 g/L), adoption of variable aeration rate and stirring speed (0~24 h, 0.5 vvm and 200 rpm; 24~60 h, 1.0 vvm and 400 rpm), and three-stage varied speed feeding glycerol strategy (24~34 h, 3 g/L/h; 34~44 h, 2 g/L/h; 44~54 h, 1 g/L/h), biomass increased from 1.65 g/L to 1.94 g/L and xanthan yield from 17.8 g/L to 33.9 g/L, but fermentation time decreased from 120 h to 60 h. Importantly, xanthan gum produced from glycerol has the properties of low viscosity, high transparency, fast hydration rate, and increased viscosity after treated with -20 °C freeze-thaw cycles.

Keywords: adaptive evolution, *Xanthomonas campestris*, glycerol, xanthan gum

收稿日期: 2016-07-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171640); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (JUSRP51632A, JUSRP51504)。

作者简介: 王子朝 (1985—), 男, 河南安阳人, 工学博士, 主要从事微生物多糖的发酵生产及应用研究。E-mail: 6832917@163.com

* 通信作者: 詹晓北 (1962—), 男, 北京人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事高粘度反应器和微生物多糖研究。

E-mail: xzbzhan@yahoo.com

引用本文: 王子朝, 朱莉, 吴剑荣, 等. 以甘油为底物发酵生产新型黄原胶[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(10): 1028-1034.

黄原胶的安全性已得到 FDA 和 WHO 认可。同时,黄原胶良好的稳定性、乳化性、悬浮性、增稠性和假塑性使其在食品、医药、日用化工、纺织和石油开采等领域得到广泛应用^[1-6]。黄原胶生产一般采用价格低廉的玉米淀粉作碳源,实验室规模生产和研究也可用蔗糖和葡萄糖。随着粮食价格不断攀升和全球人口不断增加,国内外许多学者都在研究采用一些工农业产品副产物来代替玉米淀粉实现黄原胶工业生产,如木糖、甘蔗糖浆、甜菜糖浆、乳清和脂肪酸等^[7]。如果微生物可以利用甘油实现黄原胶工业生产,不仅可以缓解生物柴油副产物过剩和全球粮食短缺双重危机,还可以降低黄原胶生产成本。作者采用驯化得到了一株可以利用甘油发酵生产黄原胶的野油菜黄单胞菌突变株,其生产的黄原胶与商品黄原胶相比,具有粘度低、透明性高、水化速率快和反复冻融处理后粘度增大的特点。

1 材料与方法

1.1 菌株和培养基组成

X. campestris NRRL B-1459: 购于中国工业微生物菌种保藏管理中心。*X. campestris* WXLB-006 经驯化得到并保藏于本研究室。

X. campestris NRRL B-1459 种子培养基组成(g/L): 蔗糖 20.0, 鱼粉蛋白胨 5.0, 牛肉浸膏 3.0, 酵母浸膏 1.0, pH 7.0。

X. campestris WXLB-006 种子培养基与 *X. campestris* NRRL B-1459 基本一致, 用 100 g/L 甘油替代蔗糖。

驯化培养基: 驯化培养基初始组成为 *X. campestris* NRRL B-1459 种子培养基。随着驯化过程进行, 甘油质量浓度逐渐增加, 蔗糖质量浓度逐渐降低, 培养基中其它成分不变。

平板筛选培养基是在驯化培养基基础上添加 20 g/L 琼脂。

分批发酵培养基(g/L): 蔗糖 40(或甘油 100), 鱼粉蛋白胨 1.5, 酵母浸膏 1.0, NaNO₃ 1.0, NH₄Cl 1.0, MgSO₄ 2.5, FeSO₄ · 7H₂O 0.01, K₂HPO₄ 3.5, KH₂PO₄ 2.0, pH 7.0。

补料发酵培养基(g/L): 甘油 40, 其余成分与分批发酵培养基相同。

1.2 培养条件

1.2.1 种子培养 500 mL 三角瓶装液量 50 mL, 培

养温度 30 ℃, 摇床转速 200 r/min。

1.2.2 分批发酵 500 mL 三角瓶装液量 50 mL, 培养温度 30 ℃, 接种体积分数 10%, 摇床转速 200 r/min。

1.2.3 补料发酵 7 L 发酵罐(LiFlus GM BioTRON 公司产品) 装液量 3 L, 接种体积分数 10%, 培养温度 30 ℃, 发酵过程中用 3 mol/L KOH 和 3 mol/L HCl 调节 pH 维持在 7.0。发酵 0~24 h, 通气量 0.5 vvm, 搅拌转速 200 r/min; 24~60 h, 通气量 1.0 vvm, 搅拌转速 400 r/min。甘油流加策略: 24~34 h, 3 g/L/h; 34~44 h, 2 g/L/h; 44~54 h, 1 g/L/h。

1.3 材料与试剂

商品黄原胶(食品级): 购于山东淄博中轩生化有限公司; 蔗糖、HCl、KOH、鱼粉蛋白胨和 NaNO₃ 等试剂: 购于国药集团化学试剂有限公司; Trizol RNA 提取试剂盒和第一条链 cDNA 合成试剂盒等: 购于生工生物工程(上海)有限公司。

1.4 驯化过程

将 *X. campestris* NRRL B-1459 培养在种子培养基中, 当菌体生长进入对数期, 按体积分数 10% 接种量接入含有 15 g/L 蔗糖和 5 g/L 甘油种子培养基中, 然后按同样接种量在此培养基中连续传代 10 次后, 取 1 mL 对数生长期种子液适当稀释后涂布到相应含有 15 g/L 蔗糖和 5 g/L 甘油平板筛选培养基上, 30 ℃ 恒温培养箱中培养。待菌体长出来之后, 挑取大、透明且凸起的单菌落接种到含有 10 g/L 蔗糖和 10 g/L 甘油种子培养基中进行下一轮驯化、筛选。在接下来连续驯化和筛选过程中, 蔗糖质量浓度逐渐降为 0 g/L, 而甘油质量浓度则逐渐增加至 100 g/L。

1.5 多糖样品的提取与纯化

发酵结束后, 向发酵液中加入 3 倍体积去离子水进行稀释, 然后 20 000 g 离心 30 min 除菌体。向离心得到的上清中加入 3 倍体积无水乙醇沉淀多糖, 40 ℃、0.1 MPa 下干燥 48 h 得到多糖样品。

1.6 分析方法

紫外可见分光光度计于 600 nm 下测量菌悬液吸光度并折算为菌体干质量; 蔗糖和甘油浓度测定采用高效液相色谱法; 多糖用 2 mol/L 三氟乙酸水解后采用 Dionex 离子色谱仪进行单糖组分测定; 多糖样品与溴化钾充分研磨压片后, 采用 Nexus 470 红外光谱仪在 400~4000 cm⁻¹ 内对多糖进行红外扫

描;用 Agilent 800 MHz 核磁共振仪对多糖进行核磁分析,以 D₂O 作内标物;采用高效体积排阻色谱测定多糖相对分子质量;采用安东帕 Physica MCR301 高级旋转流变仪测量 1.0 g/dL 多糖溶液流变学特性,测量温度 25 ℃^[8]。

1.7 RT-PCR 分析

将生长进入指数后期的 *X. campestris* NRRL B-1459 和 *X. campestris* WXLB-006 用去离子水洗涤并离心收集,然后采用 Trizol RNA 试剂盒提取总 RNA,并用第一条链 cDNA 合成试剂盒合成第一条链的 cDNA,按试剂盒操作方法进行提取和合成。以 16s rRNA 作为内参基因且每个样品的 RT-PCR 过程均重复 3 次,最终实验结果为 3 次结果平均值。PCR 扩增采用 40 个循环,每个循环依次为:94 ℃ 30 s、51 ℃ 30 s、72 ℃ 30 s;40 个循环之后 72 ℃ 处理 10 min 以终止反应并建立 PCR 产物溶解曲线。采用 LightCycler(version 3.3) 软件分析计算目的基因相对表达量。根据 NCBI 中 *X. campestris* ATCC 33913 基因序列,使用 Premier 5.0 软件设计目的基因上下游引物用于 RT-PCR,引物序列见表 1,并由生工生物工程(上海)有限公司合成引物。

表 1 RT-PCR 引物和引物序列

Table 1 Primers and relevant sequences used for RT-PCR

引物	引物序列	产物长度/ bp
RTf- <i>glpF</i>	5' CTTTCGGTATCTTCGCCATCA 3'	132
RTTr- <i>glpF</i>	5' TTCATTGCCCAGGCTTCC 3'	
RTf- <i>glpK</i>	5' CCAAGGTCAAGTGGATTTCTCG 3'	103
RTTr- <i>glpK</i>	5' AGGTTCCAGATCAGCCAGCTA 3'	
RTf- <i>glpD</i>	5' CGCATCGTGTGTTGCCATT 3'	181
RTTr- <i>glpD</i>	5' TGTAGTTCCACACCATCTCTG 3'	
RTf- <i>fbp</i>	5' CGGCATCTTCATCTACCCCT 3'	161
RTTr- <i>fbp</i>	5' GCAGTTGCGTTCGGTTGAATA 3'	
RTf-16s	5' CCTACGGGAGGCAGCAG 3'	169
RTTr-16s	5' ATTACCGCGGCTGCTGG 3'	

1.8 黄原胶的水化速率测定

两种黄原胶样品分别加入去离子水、pH 5.5 水溶液、质量分数 1.0% NaCl 溶液和 1.0% 蔗糖溶液中测量其不同溶液中水化速率,黄原胶样品一次性加入并使其质量分数为 1.0%。磁力搅拌上 25 ℃、300 r/min 搅拌溶解。溶解过程中固定时间间隔用 Brookfield DV-II 粘度计 25 ℃、3 号转子、6 r/min 测

量各溶液粘度。

1.9 反复冻融对胶溶液粘度的影响

质量分数 1.0% 新型黄原胶和商品黄原胶溶液在 -20 ℃ 冰箱中保存 24 h,然后于室温下放置 24 h。重复此冻融过程 5 次,每次均用 Brookfield DV-II 粘度计 25 ℃、3 号转子、6 r/min 测定各溶液粘度。

1.10 透射电子显微镜观察

将 -20 ℃ 冻融处理前后的新型黄原胶溶液采用日立 H-7650 透射电子扫描显微镜进行观察。

2 结果与讨论

2.1 *X. campestris* NRRL B-1459 和 *X. campestris* WXLB-006 发酵性能对比

通过基因改造可以提高目标产物产量,但转基因技术的潜在危害一直受到人们质疑,尤其在食品领域^[9]。驯化是以达尔文进化论为基础的自然选择过程,其安全性相对较高^[10]。驯化得到的突变株 *X. campestris* WXLB-006,其菌体生长时间(24 h)、发酵周期(60 h)、生物量(1.65 g/L)和黄原胶产量(23.5 g/L)与原始菌株 *X. campestris* NRRL B-1459 基本一样(图 1(a)和(b))。驯化效果可以从图 1(c)和(d)看出,*X. campestris* NRRL B-1459 不能在 100 g/L 甘油培养基中生长;而 *X. campestris* WXLB-006 可以利用 100 g/L 甘油生长并合成黄原胶,且摇瓶中黄原胶产量达到 17.8 g/L。

许多学者通过驯化得到了类似结果,Kalogiannis 等^[11]采用 200 g/L 甜菜糖蜜对 *X. campestris* ATCC 1395 驯化 5 轮后使黄原胶产量达到 40.5 g/L。Wang et al.^[12]在含有醋酸培养基上对 *Aureobasidium pullulans* CCTCC M2012259 连续驯化 20 轮之后,分离得到一株突变株 *A. pullulans* ARH-1。与原始菌株相比,突变株利用稻壳水解液发酵生产普鲁兰多糖的产量由 15.6 g/L 增加到 22.2 g/L,发酵周期由 60 h 缩短至 48 h。

2.2 黄原胶性能对比

通过单糖组成分析发现,新型黄原胶中只含有葡萄糖、甘露糖和葡萄糖醛酸,且 3 种单糖摩尔比为葡萄糖:甘露糖:葡萄糖醛酸=2.0:1.63:1.0,这与商品黄原胶比较相近(2.0:1.85:1.0)。此外,新型黄原胶的红外和核磁共振图谱与商品黄原胶相吻合(图未给出),进一步说明其是黄原胶。这也与 Sutherland^[13]报道一致,即野油菜黄单胞菌只能产生

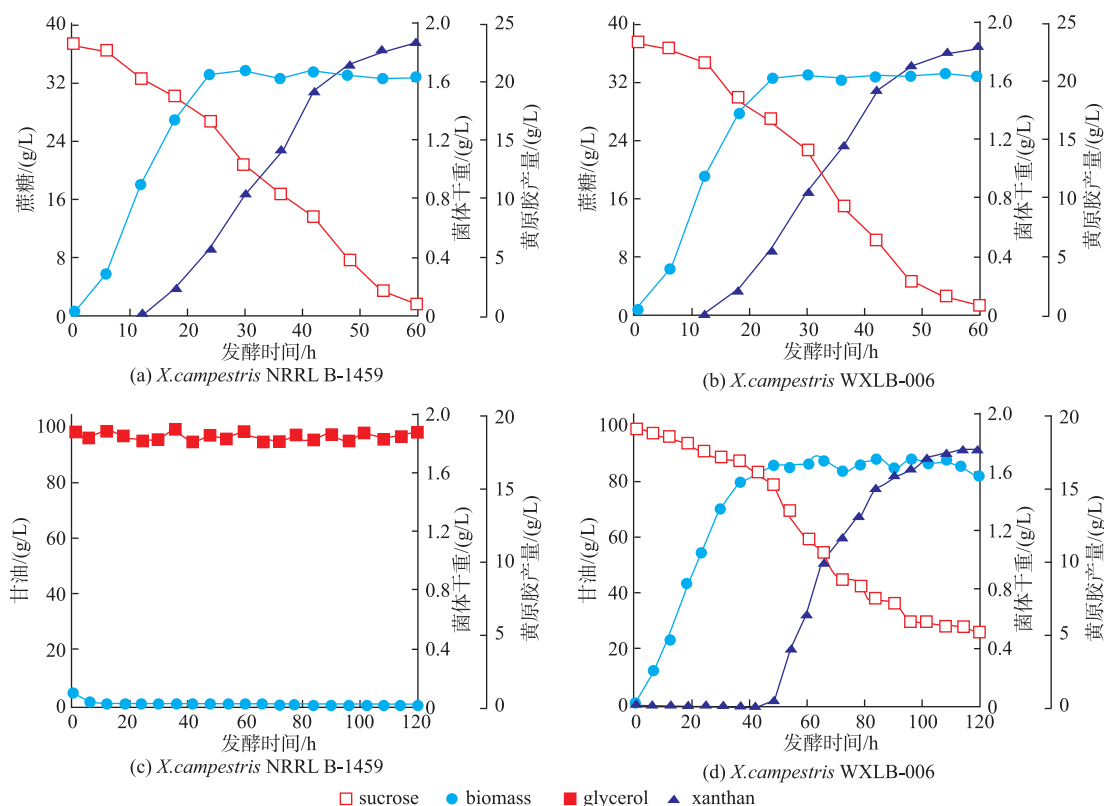


图1 *X. campestris* NRRL B-1459 和 *X. campestris* WXLB-006 利用 40 g/L 蔗糖和 100 g/L 甘油摇瓶发酵结果

Fig. 1 Flask culture profiles of *X. campestris* NRRL B-1459 and *X. campestris* WXLB-006 with 40 g/L sucrose and 100 g/L glycerol as carbon sources

黄原胶唯一一种胞外多糖。

新型黄原胶相对分子质量(3.0×10^6)仅为商品黄原胶(5.8×10^6)一半左右,且其水溶液粘度低于商品黄原胶。低粘度黄原胶在食品和医药等领域比较受欢迎,虽然可以采用物理、化学或者酶等方法降低黄原胶粘度^[14],但是通过发酵直接得到这一低粘度黄原胶,不仅可以省去黄原胶在处理过程中能耗,还可以提高产品安全性。

2.3 RT-PCR

通过 RT-PCR 对两株菌中甘油代谢相关基因相对转录水平分析发现(图2),*X. campestris* WXLB-006 中甘油通道蛋白、甘油激酶、甘油-3-磷酸脱氢酶和果糖-1,6-二磷酸醛缩酶基因的相对表达量均高于原始菌株,依次为:*glpD* (8.53) > *glpF* (7.64) > *glpK* (6.61) > *fbp* (5.79),说明 *X. campestris* WXLB-006 可以利用甘油生长并合成黄原胶的原因与其体内甘油代谢相关基因的激活有关。图1(d)中甘油做碳源时黄原胶产量(17.8 g/L)、底物转化率(25%)和发酵周期(120 h)均不如以蔗

糖做碳源时发酵结果(图1(a)和(b))。合成黄原胶的前体物质是六碳单元(UDP-葡萄糖,GDP-甘露糖和UDP-葡萄糖醛酸),蔗糖主要通过ED途径为黄原胶合成提供前体物质^[5],而甘油在合成黄原胶前体物质时糖异生是必经途径^[15],这可能是导致甘油做碳源时黄原胶产量和底物转化率均较低的原因。其他学者在以甘油为碳源进行不同产物发酵生产时遇到了同样发酵周期长和底物转化率低的问题^[16-17]。

2.4 补料发酵

X. campestris WXLB-006 可以利用甘油发酵生产一种新型黄原胶,但发酵周期长和底物转化率低限制了其工业应用。高搅拌转速引起的剪切力会对菌体造成机械损伤^[18-19];同时,高底物质量浓度不仅抑制野油菜黄单胞菌生长^[20],还会造成碳溢流^[21]。所以,作者选择初始甘油质量浓度 40 g/L,甘油流加策略为:24~34 h,3 g/L/h;34~44 h,2 g/L/h;44~54 h,1 g/L/h。在菌体生长阶段(0~24 h)采用 0.5 vvm 和 200 r/min,24~60 h 采用 1.0 vvm 和 400 r/min。

由图3可以看出,菌体生长阶段采用低通气量

和低搅拌转速, *X. campestris* WXLB-006 生物量由 1.65 g/L 增加到 1.94 g/L, 生物量的提高可以增加黄原胶产量。黄原胶合成属于 Gaden II 型, 即菌体进入稳定期之后开始合成黄原胶, 但随着黄原胶合成并在发酵液中积累, 发酵液的传氧和传质受到限制。因此, 发酵中后期采用高通气量和高搅拌转速提高发酵体系的传氧和传质可以提高黄原胶产量。同时, 变速流加甘油策略可以减少碳溢流而进一步提高黄原胶产量。通过以上策略, 黄原胶产量由 17.8 g/L 提高到 33.9 g/L, 发酵周期由 120 h 缩短至 60 h (图 3)。发酵前期低通气量和低搅拌转速还可以降低由高通气量和高搅拌转速所引起的泡沫而导致的染菌率。

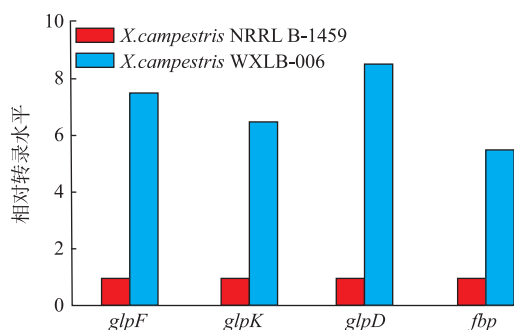


图 2 两株菌中甘油代谢途径相关基因的相对转率水平

Fig. 2 Relative transcription level of glycerol metabolism related genes in two strains

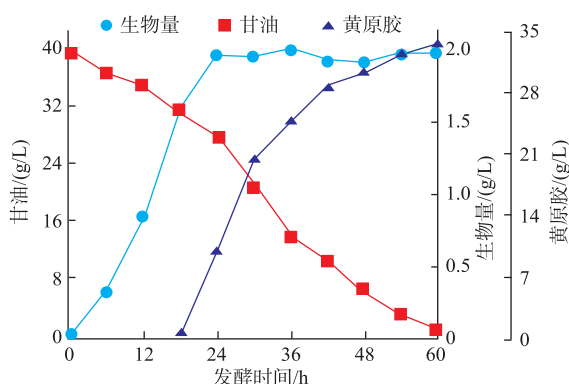


图 3 *X. campestris* WXLB-006 采用变通气量和变搅拌转速补料发酵结果

Fig. 3 Time courses of *X. campestris* WXLB-006 with variable aeration rate and stirring speed in fed-batch fermentation

2.5 水化速率

当前, 黄原胶以其在质量分数 1.0% KCl 溶液

中粘度进行分级, 但这种分级方法忽视了黄原胶的一些实际应用(如透明性和水化速率)。商品黄原胶在去离子水中搅拌溶解 60 min 后达到其饱和粘度(图 4(a)), 而新型黄原胶仅需 20 min(图 4(b)), 这一时间为商品黄原胶三分之一。

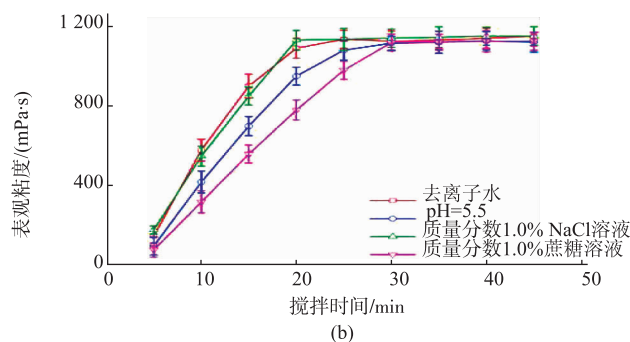
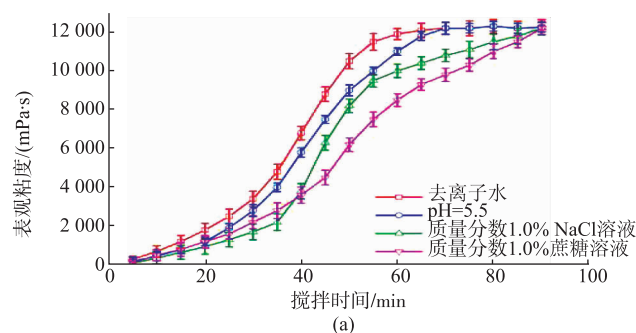


图 4 商品黄原胶和新型黄原胶水化速率

Fig. 4 Hydration rate of commercial xanthan and new xanthan

虽然蔗糖、NaCl 和弱酸对两种黄原胶的水化时间均有延长(商品黄原胶从 60 min 增加到 90 min; 新型黄原胶从 20 min 增加到 30 min), 但是新型黄原胶的水化速率仍快于商品黄原胶。新型黄原胶快速水化的特性, 不仅可以减少在搅拌溶解过程中空气的裹入, 还可以降低搅拌设备投入, 将其应用到速溶类食品中效果极佳。

2.6 反复冻融

很多食品都会选择添加一定量增稠剂、乳化剂或稳定剂等, 这些食品在食用之前会因其中添加成分在冷冻条件下流变学性质的改变而发生形变, 进而影响其外形和口感^[22]。图 5(a)中, 商品黄原胶粘度几乎不受-20℃反复冻融影响, 始终维持在 11 500 mPa·s 左右; 但新型黄原胶粘度随冻融次数增加而逐渐增大, 从初始 1 100 mPa·s 增大到 1 850 mPa·s, 且冻融处理 3 次以后, 粘度基本稳定在 1 850 mPa·s。

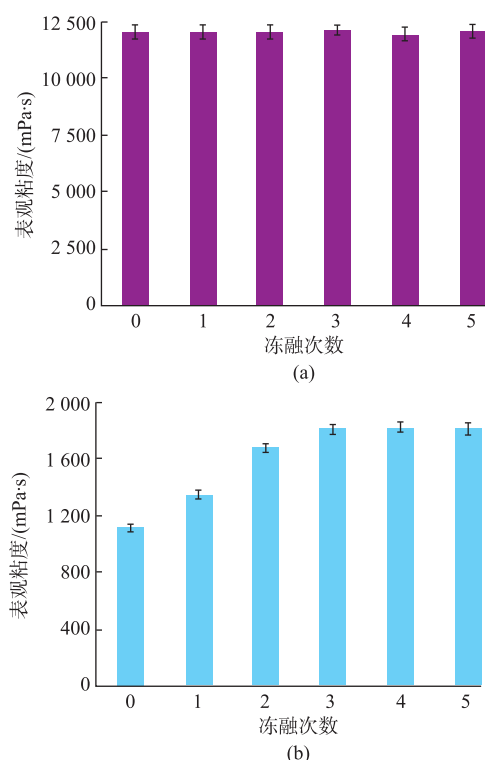


图5 冷冻对商品黄原胶和新型黄原胶粘度影响

Fig. 5 Refrigerated storage on the viscosity of commercial and new xanthan

通过透射电镜对冻融前后新型黄原胶溶液观察发现(图6),反复冻融使新型黄原胶在溶液中进行聚集,具体原因还有待进一步研究。新型黄原胶溶液冻融处理后粘度增大的特性使其应用到食品

中意义重大。首先,复配使用时可以弥补其它增稠剂在冻融处理中粘度降低的不足,维持产品形态;其次,可以减少肉制品在冻融过程中肉汁流失,提高肉制品色泽和品质;最后,在冷链运输过程中,可以减少冰晶对产品结构破坏,提高产品品质并延长货架期^[23]。

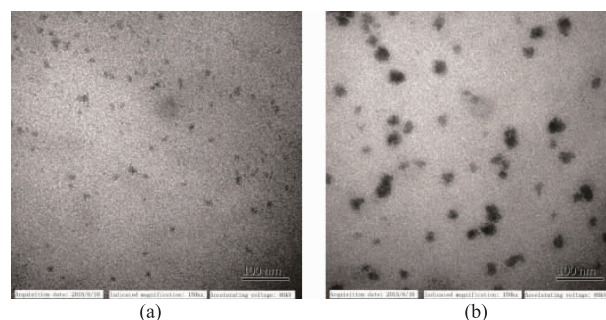


图6 冻融前后新型黄原胶溶液透射电镜图

Fig. 6 TEM images of new xanthan solutions before and after freeze-thaw

3 结 语

通过驯化得到了一株可以利用甘油发酵生产黄原胶的野油菜黄单胞菌突变株。RT-PCR 结果显示突变株中甘油代谢相关基因的相对表达量均明显高于出发菌株。采用不同发酵策略使黄原胶产量达到 33.9 g/L,发酵周期缩短至 60 h,且发酵得到的黄原胶具有粘度低、透明性高、水化速率快和冻融处理后粘度增大的特性。

参考文献:

- [1] YANG F, HANNA M, SUN R. Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production [J]. *Biotechnology for Biofuels*, 2012, 5(1): 1-10.
- [2] GALLARDO R, FARIA C, RODRIGUES L R, et al. Anaerobic granular sludge as a biocatalyst for 1,3-propanediol production from glycerol in continuous bioreactors[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 155: 28-33.
- [3] ANASTACIO G S, SANTOS K O, SUAREZ P A Z, et al. Utilization of glycerin byproduct derived from soybean oil biodiesel as a carbon source for heterologous protein production in *Pichia pastoris*[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 152: 505-510.
- [4] ZHU H, YI X, LIU Y, et al. Production of acetol from glycerol using engineered *Escherichia coli* [J]. *Bioresource Technology*, 2013, 149: 238-243.
- [5] ROSALAM S, ENGLAND R. Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp[J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2006, 39(2): 197-207.
- [6] TANG Minmin, HONG Yan, GU Zhengbiao, et al. Effect of xanthan on long-term retrogradation of rice starch [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2013, 32(7). (in Chinese)
- [7] PALANIRAJ A, JAYARAMAN V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* [J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 106(1): 1-12.
- [8] WANG Z, WU J, ZHU L, et al. Activation of glycerol metabolism in *Xanthomonas campestris* by adaptive evolution to produce a

- high-transparency and low-viscosity xanthan gum from glycerol[J]. **Bioresource Technology**, 2016, 211:390-397.
- [9] SUN X M, REN L J, JI X J, et al. Adaptive evolution of *Schizochytrium* sp. by continuous high oxygen stimulations to enhance docosahexaenoic acid synthesis[J]. **Bioresource Technology**, 2016, 211:374-381.
- [10] SHAW R G, SHAW F H. Quantitative genetic study of the adaptive process[J]. **Heredity**, 2014, 112(1):13-20.
- [11] KALOGIANNIS S, IAKOVIDOU G, LIAKOPOULOU-KYRIAKIDES M, et al. Optimization of xanthan gum production by *Xanthomonas campestris* grown in molasses[J]. **Process Biochemistry**, 2003, 39(2):249-256.
- [12] WANG D, JU X, ZHOU D, et al. Efficient production of pullulan using rice hull hydrolysate by adaptive laboratory evolution of *Aureobasidium pullulans*[J]. **Bioresource Technology**, 2014, 164:12-19.
- [13] SUTHERLAND I W. Microbial polysaccharides from gram-negative bacteria [J]. **International Dairy Journal**, 2001, 11(9):663-674.
- [14] LI R, FEKE D L. Rheological and kinetic study of the ultrasonic degradation of xanthan gum in aqueous solutions [J]. **Food Chemistry**, 2015, 172:808-813.
- [15] LI J, LIU R, CHANG G, et al. A strategy for the highly efficient production of docosahexaenoic acid by *Aurantiochytrium limacinum* SR21 using glucose and glycerol as the mixed carbon sources[J]. **Bioresource Technology**, 2015, 177:51-57.
- [16] SWINNEN S, KLEIN M, CARRILLO M, et al. Re-evaluation of glycerol utilization in *Saccharomyces cerevisiae*: characterization of an isolate that grows on glycerol without supporting supplements[J]. **Biotechnology for Biofuels**, 2013, 6(1):1-25.
- [17] BRETZ K. Succinic acid production in fed-batch fermentation of *Anaerobiospirillum succiniciproducens* using glycerol as carbon source[J]. **Chemical Engineering & Technology**, 2015, 38(9):1659-1664.
- [18] BANDAIPHET C, PRASERTSAN P. Effect of aeration and agitation rates and scale-up on oxygen transfer coefficient, kLa in exopolysaccharide production from *Enterobacter cloacae* WD7[J]. **Carbohydrate Polymers**, 2006, 66(2):216-228.
- [19] CASAS J A, SANTOS V E, GARCIA-OCHOA F. Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties[J]. **Enzyme and Microbial Technology**, 2000, 26(2-4):282-291.
- [20] KRISHNA L J, SHARMA G. Studies on xanthan production from *Xanthomonas campestris*[J]. **Bioprocess Engineering**, 2000, 23(6):687-689.
- [21] CHEN S, CHU J, ZHUANG Y, et al. Enhancement of inosine production by *Bacillus subtilis* through suppression of carbon overflow by sodium citrate[J]. **Biotechnology Letters**, 2005, 27(10):689-692.
- [22] CHO H M, YOO B. Rheological characteristics of cold thickened beverages containing xanthan gum-based food thickeners used for dysphagia diets[J]. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, 2015, 115(1):106-111.
- [23] LAN H J, ZHAO L, SU L, et al. Food cold chain equilibrium based on collaborative replenishment [J]. **Journal of Applied Research and Technology**, 2014, 12(2):201-211.

会 议 消 息

2018 年食品安全与环境工程国际研讨会 (FSEE 2018)

会议时间: 2018-11-30 至 2018-12-02

会议地点: 广东广州 主办单位: 广东食品药品职业学院 广东省国际学术交流研究院

联系人: 徐老师 电话: +8618819373035 Email: FSEE@gdaiae.org

官方网址: <http://www.gdaiae.org/FSEE2018> 收录检索: EI & SCI

会议简介: 2018 年食品安全与环境工程国际研讨会(FSEE2018)将于 2018 年 11 月 30 日-12 月 20 日在中国广州隆重举行, 由广东食品药品职业学院与广东省国际学术交流研究院联合主办。本次论坛旨在为从事食品安全与环境工程研究的专家学者、工程技术人员、技术研发人员提供一个共享科研成果和前沿技术, 了解学术发展趋势, 拓宽研究思路, 加强学术研究和探讨, 促进学术成果产业化合作的平台。

本届大会将继续遵循学术性、国际性的原则, 特邀国内外食品安全与环境工程领域内的学者专家前来参会, 并做出精彩的报告。本次大会旨在为行业内专家和学者分享技术进步和业务经验, 聚焦食品安全与环境工程学术领域的前沿研究, 提供一个交流的平台。