

# 十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯的合成研究 及其表面性质测定

彭冬梅<sup>1</sup>, 张 灏<sup>1</sup>, 马小涛<sup>1</sup>, 刘旭莹<sup>1</sup>, 何冰芳<sup>2</sup>

(1.南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏省粮油品质控制及深加工技术重点实验室, 江苏 南京 210003;

2.南京工业大学生物与制药工程学院, 江苏 南京 210000)

**摘 要:**以稀氢氧化钠溶液(30mg/mL)为催化剂,以麦芽糖醇和十二烷基琥珀酸酐为原料合成了十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯。通过考察原料配比、酸酐溶剂种类、酸酐滴加时间、反应时间4种因素对十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯产率的影响,确定了最佳反应条件:麦芽糖醇与十二烷基琥珀酸酐物质的量比为2:1,酸酐溶剂为丙酮,酸酐滴加时间1.5h,在35℃条件下反应5h,十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯的产率为89.7%。利用红外光谱和质谱分析方法对合成产品进行表征,并对其表面性质进行测定。当合成产品的质量浓度为1mg/mL时,表面张力为 $31.9 \times 10^{-3}$ N/m,起泡能力为50%,乳化能力为100%,亲水亲油平衡值(HLB)为15.1。

**关键词:**麦芽糖醇;十二烷基琥珀酸酐;合成;十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯;乳化能力;表面活性

## Synthesis and Surface Properties of Maltitol Dodecenyl Succinate

PENG Dong-mei<sup>1</sup>, ZHANG Hao<sup>1</sup>, MA Xiao-tao<sup>1</sup>, LIU Xu-ying<sup>1</sup>, HE Bing-fang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Quality Control and Further Processing of Cereal & Oils in Jiangsu Province, College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing 210003, China; 2. College of Biotechnology and Pharmaceutical Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210000, China)

**Abstract:** The dilute sodium hydroxide-catalyzed synthesis of maltitol dodecenyl succinate from maltitol and dodecenyl succinic anhydride was investigated with respect to anhydride solvents, drop-by-drop addition rate of anhydride, reaction time and maltitol-to-anhydride molar ratio. The maximum product yield of 89.7% was obtained under the optimal reaction conditions: acetone was used to solve dodecenyl succinate; the time required to complete anhydride addition drop by drop was 1.5 h; and the whole reaction duration was 5 h at 35 °C and a maltitol-to-anhydride molar ratio of 2:1. Infrared spectral and mass spectrometric analyses revealed that the surface tension of 1 mg/mL aqueous solution of the synthesized maltitol dodecenyl succinate was  $31.9 \times 10^{-3}$  N/m, the foaming capacity 50%, the emulsification capacity 100% and the HLB 15.1.

**Key words:** maltitol; dodecenyl succinic anhydride; synthesis; maltitol dodecenyl succinate; emulsification; surface activity

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)23-0101-06

十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯属于烯基琥珀酸淀粉糖酯。烯基琥珀酸淀粉糖酯是在溶于水或有机溶剂的淀粉糖中,添加烯基琥珀酸酐,并添加碱或碱金属的醇盐或醇胺进行反应制得的<sup>[1]</sup>。这类淀粉糖酯无毒,有生物降解性,且对人体无刺激<sup>[2-3]</sup>,并且会在油水界面处形成一层强度很大的薄膜<sup>[4]</sup>,可以稳定水包油型乳液,提高其乳化性能。但它又与乳化剂不同,可用于

稳定所需黏度的乳浊液。因此这类产品广泛用于食品、香精、微胶囊、制药及化妆品工业作为乳化剂、稳定剂、增稠剂<sup>[5-6]</sup>和代脂品<sup>[7]</sup>等。

目前国内外研究较多的是以淀粉与烯基琥珀酸酐反应制备烯基琥珀酸淀粉酯,主要包括辛烯基琥珀酸淀粉酯<sup>[8-10]</sup>和十二烷基琥珀酸淀粉酯<sup>[11-13]</sup>的制备研究。2009年,周小娟等<sup>[14]</sup>以蔗糖和辛烯基琥珀酸酐为原料合成了

收稿日期: 2011-06-28

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB724700)

作者简介: 彭冬梅(1971—),女,实验师,学士,主要从事食品添加剂的合成与分析研究。E-mail: pengdm71@126.com

辛烯基琥珀酸蔗糖酯。而以麦芽糖醇和烯基琥珀酸酐为原料制备烯基琥珀酸麦芽糖醇酯的研究目前尚未见报道。本实验以麦芽糖醇与十二烯基琥珀酸酐为原料,采用湿法合成工艺合成十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯。研究原料配比、酸酐溶剂种类、酸酐滴加时间、反应时间等因素对十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯产率的影响。采用红外光谱和质谱法对产品进行鉴定。并对合成产品的乳化及稳定性、发泡性、表面张力进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

十二烯基琥珀酸酐(优级品) 美国 Dixie 公司; 麦芽糖醇(固含量约为 85%)为工业品; 氢氧化钠、乙酸乙酯、盐酸(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

VAVOVRT 560 FT-TR 红外光谱仪 美国 Thermo Nicolet 公司; Waters Q-TOF micro™ 四极杆-飞行时间串联质谱仪 美国 Waters 公司; SHZ-CD 型循环水式多用真空泵 河南巩义市英峪予华仪器厂; RE52AA 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂; BS224S 电子分析天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; FJ200-S 数显高速分散均质机 上海标本模型厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 合成反应方法

在装有机机械搅拌器、温度计和恒压滴液漏斗的 100mL 四口烧瓶中加入 40% 的麦芽糖醇碱性水溶液(30mg/mL), 油浴加热至一定温度(35℃), 不断搅拌下滴加用有机溶剂溶解的 50% 的十二烯基琥珀酸酐, 在反应过程中用精密 pH 试纸不断检测反应液的 pH 值, 并用 30mg/mL 的氢氧化钠溶液调节反应液的 pH8~9, 反应 5~7h。

向反应液中加入 50mL 水溶解未反应的麦芽糖醇, 然后用盐酸酸化反应液至 pH2~3, 分别用 30mL 乙酸乙酯萃取反应液中的十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯 3 次, 合并乙酸乙酯萃取液, 再分别用 25mL 水洗涤 2 次, 以除去残余的糖醇和无机酸, 萃取液经无水硫酸钠干燥后, 用旋转蒸发仪蒸出溶剂乙酸乙酯得淡黄色粉末状十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯, 真空干燥至质量恒定, 称质量。取 3 次平行实验的平均值, 计算产率。

### 1.3.2 产品鉴定

#### 1.3.2.1 薄层色谱和柱层析分离

薄层色谱条件为: 硅胶板: GF254, 展开剂: 甲苯、乙酸乙酯、乙酸的体积比为 10:10:1, 显色剂: 碘蒸气。

柱层析分离: 将反应得到的粗产品以少量乙酸乙酯

溶解, 上硅胶层析柱(硅胶 100~200 目, 15mm×500mm 玻璃柱)分离。洗脱剂为甲苯、乙酸乙酯、乙酸体积比为 10:10:1, 分段收集洗脱液, 将含有产品(经薄层色谱跟踪确定)的洗脱液经旋转蒸发仪浓缩除去洗脱剂, 真空干燥得微黄色粉末状纯十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯。

#### 1.3.2.2 质谱(MS)分析

经柱层析分离的产品用色谱纯甲醇溶解, 然后进行 MS 分析。质谱条件: 离子化方式为 ESI(-); 质量扫描范围为 80~1000m/z; 毛细管电压为 3000V; 锥孔电压为 30V; 离子源温度为 100℃; 雾化气温度为 200℃; 锥孔气流速为 50L/h; 雾化气流速为 400L/h。

#### 1.3.2.3 红外光谱(IR)分析

经柱层析分离产品用溴化钾压片, 扫描 32 次, 分辨率为 4cm<sup>-1</sup>。

#### 1.3.2.4 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯产率的计算

$$\text{产率}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $m_1$  为产品的实际产量;  $m_2$  为产品的理论产量。

### 1.3.3 表面性质测定

#### 1.3.3.1 表面张力测定

表面张力采用最大起泡法测定, 具体测定方法参照文献[15]。

#### 1.3.3.2 亲水亲油平衡值(HLB 值)的测定(水数法)

称取 0.05g 不同 HLB 值的标准样品(Span 20、Span 40、Span 80、Tween 20、Tween 40 和 Tween 80)于 25mL 比色管中, 加入 *N,N*-二甲基甲酰胺(DMF)与苯的混和液(体积比为 100:5)10mL, 控制温度为 25℃, 不断振荡比色管。用滴定管慢慢滴入蒸馏水至溶液由澄清变为混浊, 记录所耗用的蒸馏水的体积。以 HLB 值为横坐标, 蒸馏水的体积(mL)为纵坐标, 制作标准曲线[16-19]。

称取 0.05g 样品于 50mL 锥形瓶中, 加入 DMF 与苯的混和液 10mL, 重复上述操作过程。记录所耗用蒸馏水的体积, 从标准曲线中查出样品的 HLB 值。取 5 次平行测定的平均值。

#### 1.3.3.3 起泡性能及泡沫稳定性测定

配制质量浓度 0.3~1.2mg/mL 的糖酯溶液。取 10.0mL 糖酯溶液加入到 50mL 刻度试管中, 记录溶液的高度( $H_0$ /mm), 用 FJ200-S 数显高速分散均质机 13500r/min 均质 2min, 停止, 立即记录试管中泡沫的高度( $H_1$ /mm)和溶液的高度( $H_2$ /mm); 静置 45min 后, 再记录试管中泡沫的高度( $H_3$ /mm)。测量时环境温度保持 25℃。糖酯溶液的起泡能力和泡沫稳定性分别用公式(2)、(3)计算[20-21]。取 5 次平行测量的平均值。

$$\text{起泡能力}/\% = \frac{H_1 + H_2 - H_0}{H_0} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{泡沫稳定性}/\% = \frac{H_3}{H_1} \times 100 \quad (3)$$

#### 1.3.3.4 乳化性能及乳化稳定性测定

配制质量浓度 0.3~1.2mg/mL 的糖酯溶液。取 10.0mL 糖酯溶液和 5.0mL 大豆油加入到 50mL 刻度试管中, 用 FJ200-S 数显高速分散均质机 13500r/min 均质 2min。均质结束后, 立即记录试管中乳化层的高度( $h_1$ /mm)和乳状液的总高度( $h_2$ /mm)。乳状液静置 45min 后 1100r/min 离心 5min, 记录试管中乳化层的高度( $h_3$ /mm)和乳状液的总高度( $h_4$ /mm)。测量时环境温度保持 25℃。糖酯溶液的乳化能力和乳化稳定性分别采用公式(4)、(5)计算<sup>[20-21]</sup>。取 5 次平行测量的平均值。

$$\text{乳化能力}/\% = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{乳化稳定性}/\% = \frac{h_3}{h_4} \times 100 \quad (5)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 合成实验的条件优化

经探索实验发现, 当温度为 35℃ 时, 以稀氢氧化钠溶液为催化剂, 十二烷基琥珀酸酐与麦芽糖醇反应的影响因素主要有原料配比、酸酐溶剂、酸酐滴加时间、反应时间。

#### 2.1.1 酸酐溶剂种类对反应产率的影响

反应物之一的十二烷基琥珀酸酐是很黏稠的液体, 需要用适当的溶剂稀释后滴加入反应体系。为此, 选择了吡啶、丙酮、乙醇作为溶剂, 在麦芽糖醇的用量为 0.01mol、十二烷基琥珀酸酐的用量为 0.01mol, 滴加 1h, 35℃ 反应 6h 的条件下进行实验。

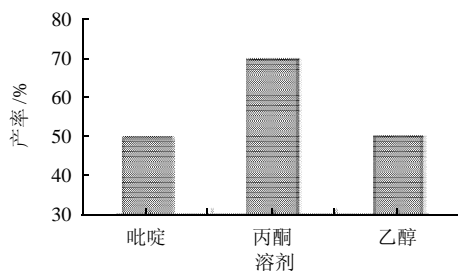


图1 酸酐溶剂种类对反应产率的影响

Fig. 1 Effect of different solvents for dodecenyl succinate on the yield of maltitol dodecenyl succinate

由图1可见, 以丙酮作为十二烷基琥珀酸酐溶剂时, 反应效果较好, 产率最高。原因可能是丙酮的极性相对于吡啶和乙醇较温和, 它可以很好地溶解反应物十二烷基琥珀酸酐, 又不会对反应产生负面作用。因此本实验选丙酮作为十二烷基琥珀酸酐的溶剂。

#### 2.1.2 酸酐滴加时间对反应产率的影响

在麦芽糖醇的用量为 0.01mol、十二烷基琥珀酸酐的用量为 0.01mol, 以丙酮作为酸酐溶剂, 反应 6h 的条件下, 考察了酸酐的滴加时间对反应产率的影响。

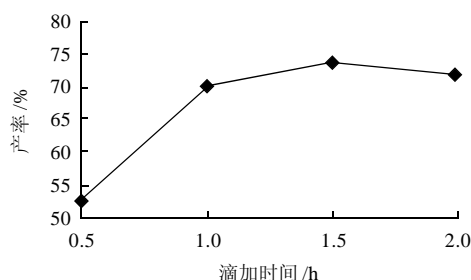


图2 酸酐滴加时间对反应产率的影响

Fig. 2 Effect of addition rate of dodecenyl succinate on the yield of maltitol dodecenyl succinate

由图2可见, 随着酸酐滴加时间的增大, 反应产率增加。分析原因, 该反应是在碱性体系中进行的, 该体系有利于酸酐和糖醇发生酯化反应生成十二烷基琥珀酸单麦芽糖醇酯; 也会促使酸酐发生水解副反应生成羧酸。如果滴加速率过快, 则不利于正反应的进行。当酸酐滴加时间为 1.5h 时, 反应产率达到最高。因此将 1.5h 定为本实验的最佳酸酐滴加时间。

#### 2.1.3 反应时间对反应产率的影响

在麦芽糖醇的用量为 0.01mol、十二烷基琥珀酸酐的用量为 0.01mol、以丙酮作为酸酐溶剂, 酸酐滴加时间为 1h, 反应温度为 35℃ 的条件下, 考察了反应时间对产率的影响。

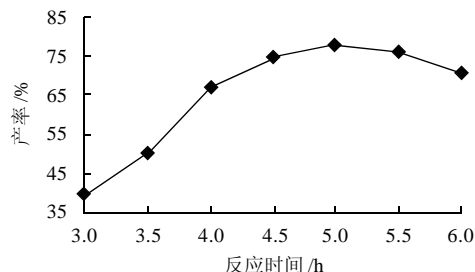


图3 反应时间对反应产率的影响

Fig. 3 Effect of reaction time on the yield of maltitol dodecenyl succinate

由图3可见, 随着反应时间的延长, 反应产率迅速增加, 当反应时间为 5h 时, 产品的产率达到最高。继续延长反应时间, 产品的产率反而下降。分析原因可

能是,当反应达到一定阶段(5h)后,生成的十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯在该反应体系中发生了水解副反应,导致产率有所下降。因此选择5h为本实验的最佳反应时间。

#### 2.1.4 原料比对反应产率的影响

以丙酮作为十二烯基琥珀酸酐溶剂,酸酐滴加时间为1h,在常压35℃的条件下,反应6h,考察不同的原料比对反应产率的影响。

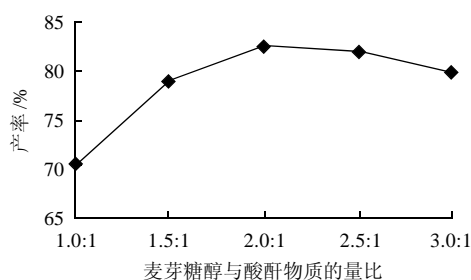


图4 原料比对反应产率的影响

Fig. 4 Effect of maltitol-to-anhydride molar ratio on the yield of maltitol dodecenyl succinate

由图4可知,随着麦芽糖醇用量的增加,反应的产率也不断增加,当麦芽糖醇与酸酐物质的量比为2:1时,反应的产率达到最高,则选择麦芽糖醇与酸酐物质的量比为2:1时为最佳条件。

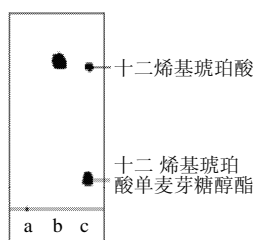
#### 2.1.5 最佳条件验证实验

综合上述实验结果,即在十二烯基琥珀酸酐用量为0.01mol,麦芽糖醇用量为0.02mol,以丙酮作为酸酐溶剂,酸酐滴加时间为1.5h,常压35℃的条件下反应5h,得十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的产率为89.7%。该结果是本实验条件范围内的最好结果。

### 2.2 产品表征

#### 2.2.1 薄层色谱和柱层析分离结果

以薄层色谱法对合成的产物进行分析,发现粗产物中仍有极少量的十二烯基琥珀酸未能除去。通过改变展开剂的种类和配比,最终发现以甲苯、乙酸乙酯、乙酸体积比为10:10:1的展开剂展开时,产品和十二烯基琥珀酸可以完全分离(图5)以此展开剂为洗脱剂将粗产品过层析柱,分段收集洗脱液,薄层跟踪,得到纯净的产品,进行定性分析。



a. 麦芽糖醇; b. 十二烯基琥珀酸; c. 产物。

图5 原料和产物的薄层色谱图

Fig. 5 TLC of maltitol, dodecenyl succinic anhydride and maltitol dodecenyl succinate

#### 2.2.2 质谱(MS)鉴定

经柱层析分离的产品,进行质谱测定,结果如图6所示。

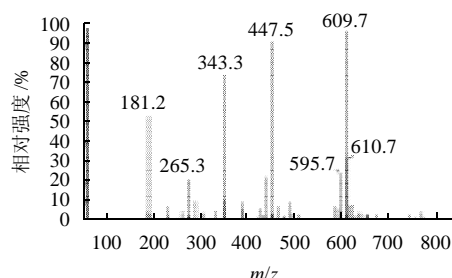


图6 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的质谱图

Fig. 6 MS spectrum of maltitol dodecenyl succinate

由图6可知,十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的相对分子质量为610.7,MS图谱中出现610.7和609.7峰分别为[M]和[M-1]质谱信号,说明合成产品的相对分子质量为610.7,与十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯吻合。

#### 2.2.3 红外光谱分析

经柱层析分离的产品,进行红外光谱测定,结果如图7所示。

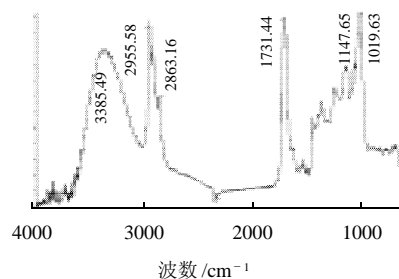


图7 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的红外光谱图

Fig. 7 IR spectrum of maltitol dodecenyl succinate

由图7可知,在波数1731.44cm⁻¹处有酯羰基C=O的伸缩振动吸收,1147.65cm⁻¹和1019.63cm⁻¹处有C-O的伸缩振动吸收,说明产品为酯。

由质谱和红外光谱的分析结果可以推断:本实验合成的产物为十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯。

### 2.3 产品表面性质测定结果

#### 2.3.1 表面张力测定结果

配制质量浓度0.15~1.2mg/mL的十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的水溶液,在20℃条件下测定其对水溶液表面张力的降低情况。

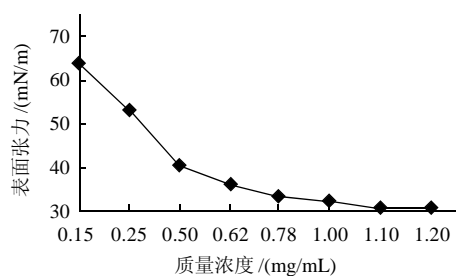


图8 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的质量浓度对水溶液表面张力的影响

Fig. 8 Surface tension of aqueous solutions of maltitol dodecenyl succinate at different concentrations

由图8可见,十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯对水溶液的表面张力显著降低。当十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯水溶液的质量浓度为0.5mg/mL时,就可以使水溶液的表面张力降低 $32 \times 10^{-3}$  N/m。当十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯水溶液的质量浓度为1mg/mL时,表面张力为 $31.9 \times 10^{-3}$  N/m,当十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯水溶液的质量浓度为1.1mg/mL时,可使水溶液的表面张力降低至 $30.65 \times 10^{-3}$  N/m。说明十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有较好的表面活性作用。

### 2.3.2 HLB值的测定结果

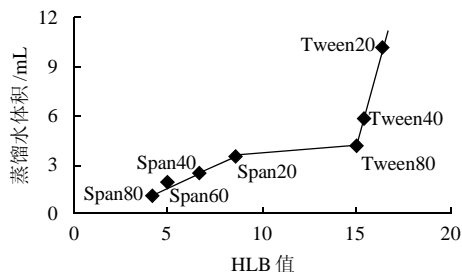


图9 Span和Tween系列乳化剂的HLB值的标准曲线

Fig. 9 HLB standard curve of Span and Tween

图9为Span和Tween系列乳化剂的水数标准曲线。称取0.05g柱层析分离产品,重复标准样品的操作,从标准曲线中查得产品的HLB为15.1,与Tween80的HLB值接近。

### 2.3.3 起泡性能及稳定性

配制质量浓度0.3~1.2mg/mL的合成产品水溶液,测定其起泡性及泡沫稳定性,结果见图10。以1.0mg/mL的十二烷基苯磺酸钠溶液为对比,测得十二烷基苯磺酸钠的起泡能力为106%,泡沫稳定性为90.5%。十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有一定的起泡能力。在其可溶解的范围内,起泡能力和泡沫稳定性随其质量浓度的增大而升高。与同质量浓度(1.0mg/mL)的十二烷基苯磺酸钠相比,合成产品的起泡性(50%)比十二烷基苯磺酸钠

差。但其泡沫稳定性较好(84.6%),与十二烷基苯磺酸钠相当。

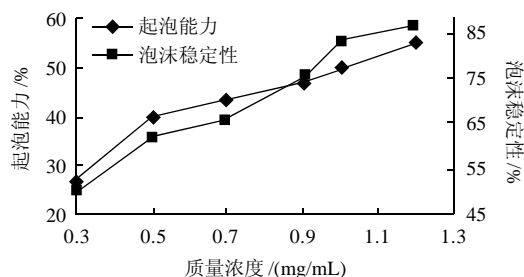


图10 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯质量浓度与起泡能力及泡沫稳定性的关系

Fig. 10 Relationship between maltitol dodecenyl succinate concentration and foaming capacity or foam stability

### 2.3.4 乳化性能及乳化稳定性

配制质量浓度0.3~1.2mg/mL的合成产品水溶液,测定其乳化性及乳化稳定性,结果如图11所示。以1.0mg/mL的Tween 80水溶液为对比,测得Tween 80的乳化能力为100%,乳化稳定性为35.7%。

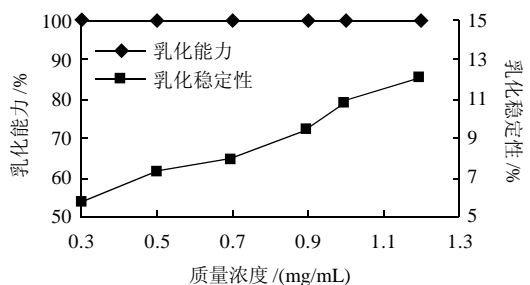


图11 十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯质量浓度与乳化稳定性的关系

Fig. 11 Relationship between maltitol dodecenyl succinate concentration and emulsification capacity or emulsion stability

十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有较好的乳化性能,但其乳化稳定性一般。在其可溶解的范围内,乳化稳定性随质量浓度的增大而升高。与同质量浓度(1.0mg/mL)的Tween 80相比,合成产品的乳化能力(100%)与Tween 80相当,但其乳化稳定性(10.9%)比Tween 80(35.9%)差。

## 3 结论

以十二烯基琥珀酸酐和麦芽糖醇合成十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的适宜条件为:麦芽糖醇与十二烯基琥珀酸酐物质的量比为2:1,酸酐溶剂为丙酮,酸酐滴加1.5h,在35℃常压条件下反应5h,十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的产率可达到89.7%。

十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有良好的表面活性。当十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯水溶液的质量浓度

1mg/mL时,表面张力为 $31.9 \times 10^{-3}$ N/m,当产品水溶液的质量浓度为1.1mg/mL时,表面张力约为 $30.65 \times 10^{-3}$ N/m。十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯的HLB值为15.1,与Tween 80接近。

十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有一定的起泡能力,泡沫稳定性较好。与同质量浓度(1.0mg/mL)的十二烷基苯磺酸钠相比,合成产品的起泡性(50%)比十二烷基苯磺酸钠(106%)差。泡沫稳定性(84.6%)与十二烷基苯磺酸钠(90.5%)相当。

十二烯基琥珀酸单麦芽糖醇酯具有较好的乳化性能,但其乳化稳定性一般。与同质量浓度(1.0mg/mL)的Tween80相比,合成产品的乳化能力(100%)与Tween 80相当。但其乳化稳定性(10.9%)比Tween 80(35.9%)差。

#### 参考文献:

- [1] 李建成,金亦之. 淀粉糖酯的开发与应用[J]. 中国食品添加剂, 1998 (4): 43-45.
- [2] 刘巧瑜,张晓鸣. 糖酯的表面活性及其在食品加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 189-192.
- [3] 凌关庭. 食品添加剂手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 883-884.
- [4] 曹兰森,郝长欣. 高黏度蜡质玉米十二烯基琥珀酸酯淀粉的合成[J]. 粮食加工, 2009, 34(1): 37-40.
- [5] 李建成,袁长贵. 淀粉糖酯: 新型的食品乳化剂[J]. 中国食品添加剂, 2001(3): 26-29.
- [6] TESCH S, GERHARDS C H, SCHUBERT H. Stabilization of emulsions by OSA starches[J]. J Food Eng, 2002, 54(3): 167-174.
- [7] 何国庆,宋晓燕,阮晖. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的制备及应用[J]. 中国食品学报, 2007(2): 6-11.
- [8] 刘勋,宋正富,胡敏,等. 辛烯基琥珀酸甘薯淀粉酯的制备[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 70-73.
- [9] SHOGREN L, VISWANATHAN A, FELKER F, et al. Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch[J]. Starch, 2000, 52(4): 196-204.
- [10] 宋广勋,冯光炷,李和平,等. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的合成及其应用研究进展[J]. 粮油加工, 2006(8): 81-84.
- [11] 马冰洁,唐洪波. 十二烯基琥珀酸淀粉酯的合成工艺[J]. 东北林业大学学报, 2005(5): 78-80.
- [12] 周建芹. 十二烯基琥珀酸淀粉酯的制备及其性质研究[J]. 化学世界, 2006(10): 614-617.
- [13] 李润国,张黎斌,赵新刚. 十二烯基琥珀酸淀粉酯的制备工艺研究[J]. 粮油加工, 2008(7): 93-95.
- [14] 周小娟,郑为完,杨静,等. 辛烯基琥珀酸蔗糖酯的制备、鉴定及其在微胶囊中的应用[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 146-148.
- [15] 尹业平,王辉宪. 物理化学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 123-127.
- [16] 刘巧瑜. 麦芽糖月桂酸单酯的酶法选择性合成[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [17] 乔建江,徐心茹. 非离子型表面活性剂亲水-亲油平衡值的水数表征法[J]. 石油学报, 1998, 14(3): 62-65.
- [18] GREENWALD H L, BROWN G L, FINEMAN M N. Determination of the hydrophile-lipophile character of surface active agents and oils by a water titration[J]. Anal Chem, 1976(7): 1693-1696.
- [19] 路亦景. 水数法测定蔗糖酯的HLB值[J]. 表面活性剂工业, 1989(1): 51-55.
- [20] SOULTANI S, OGNIER S, ENGASSER J M, et al. Comparative study of some surface active properties of fructoseesters and commercial sucrose esters[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects, 2003, 227: 35-44.
- [21] HUSBAND F A, SARNEY D B, BARNARD M J, et al. Comparison of foaming and interfacial properties of pure sucrose monolaurates, dilaurate and commercial preparations[J]. Food Hydrocoll, 1995, 12: 237-244.