

# 聚甘油脂肪酸酯的性质及其在化妆品中的应用

刘晓青, 刘宇航, 陈玉燕, 蒋丽刚  
(珀莱雅化妆品股份有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 概述了聚甘油脂肪酸酯的合成、结构和性质, 介绍了聚甘油脂肪酸酯在化妆品中的应用情况, 包括卸妆类产品、清洁类产品、化妆水、O/W乳霜、W/O膏霜和彩妆产品, 并展望了聚甘油脂肪酸酯产品的发展方向及其在化妆品行业中的应用前景。

**关键词:** 聚甘油脂肪酸酯; 乳化剂; 化妆品; 天然来源

**中图分类号:** TQ658      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-1803(2020)02-0118-06

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1803.2020.02.008

## Properties of polyglycerol fatty acid esters and its applications in cosmetics

LIU Xiao-qing, LIU Yu-hang, CHEN Yu-yan, JIANG Li-gang  
(Proya Cosmetics Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310012, China)

**Abstract:** The synthesis, structure and properties of polyglycerol fatty acid esters were summarized, and the application of polyglycerol fatty acid esters in cosmetics was introduced, including makeup remover products, cleaning products, lotions, O/W creams, W/O creams and make up products. The development trend of polyglycerol fatty acid ester products and its broad application progress in the cosmetics industry were prospected.

**Key words:** polyglycerol fatty acid ester; emulsifier; cosmetics; natural source

表面活性剂具有乳化、增溶、分散、起泡、润湿等作用, 在化妆品和洗涤用品中广泛应用<sup>[1]</sup>。近年来, 随着环境保护意识的提高, 以及石油来源产品用可再生资源替代的呼声日益增高, 不易于生物降解的含PEG、PPG类表面活性剂的使用量一定程度上都受到了影响。另外, 因为化妆品是直接作用于人体表面, 其安全性和温和性必须确保<sup>[2]</sup>。因此, 天然植物来源、生物降解性好且安全温和成为了未来表面活性剂发展的主要方向之一<sup>[3]</sup>。

聚甘油脂肪酸酯 (Polyglycerol fatty ester, 简称聚甘油酯或PGFE) 是由聚甘油和脂肪酸发生酯化反应而制得的一类非离子表面活性剂, 简称PGFE, 其合成原料来源于天然植物油脂, 属于可再生资源, 并且安全性高、可降解性好、绿色环保<sup>[4]</sup>。通过选择不同的甘油聚合度、脂肪酸的种类及酯化度, 可以得到从亲油到亲水的各种性能聚甘油酯产品, HLB值范围覆盖面宽, 在食品和医药领域的应用已经取得了一

定进展, 在化妆品和洗涤用品中也可具有较广泛的应用<sup>[5-10]</sup>。

## 1 聚甘油脂肪酸酯的简介

### 1.1 聚甘油脂肪酸酯的结构

聚甘油脂肪酸酯是一种非离子表面活性剂, 首先由甘油脱水缩合得到不同聚合度的聚甘油, 再由聚甘油和脂肪酸酯化所得, 其结构通式见图1。

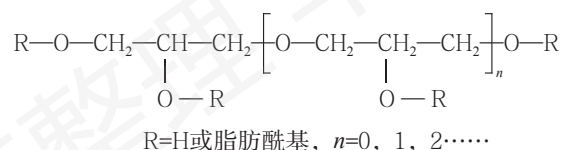


图1 聚甘油脂肪酸酯的结构通式

Fig. 1 General structural formula of polyglyceride fatty acids esters

从结构可以看出, 聚甘油脂肪酸酯是一种多羟基类非离子表面活性剂, 由亲水基部分的聚甘油基团和

收稿日期: 2019-05-16; 修回日期: 2019-12-29

作者简介: 刘晓青 (1987-), 女, 安徽人, 工程师, 从事化妆品乳化剂研究, 电话: 13396556971, E-mail: liuxiaoqing@proya.com。

亲油端部分的脂肪酸链构成, 其不同主要在于甘油的聚合度、脂肪酸的种类 (C8~22 不同链长、饱和、不饱和、支链脂肪酸等) 和酯化度, 以上三者的差别决定了聚甘油酯的不同性质。聚甘油脂肪酸酯的亲油性取决于脂肪酸的种类和数量, 其中脂肪酸可以是月桂酸 (C12)、肉豆蔻酸 (C14)、棕榈酸 (C16)、油酸 (C18)、硬脂酸 (C18)、花生油酸 (C20) 和山嵛酸 (C22) 等。聚甘油脂肪酸酯的亲水性取决于甘油的聚合度, 由于甘油分子中有两个伯羟基, 一个仲羟基, 脱水缩合反应时根据连接羟基位置不同, 可形成多种结构, 如直链、支链、环链等, 所以两个甘油分子间脱水缩合形成的二聚甘油与甘油分子间进一步脱水缩合, 可形成三聚、四聚、五聚到十聚甘油, 甘油的聚合度越高、亲水性就越好<sup>[11]</sup>。聚甘油脂肪酸酯的性质

随甘油的聚合度、脂肪酸的种类、酯化的程度不同而在较大范围内变化, 因而具有不同的HLB值<sup>[12]</sup>。

## 1.2 聚甘油脂肪酸酯的合成与命名

聚甘油脂肪酸酯的合成分为两步, 第一步, 甘油脱水缩合形成聚甘油; 第二步, 聚甘油与脂肪酸发生酯化反应生成聚甘油脂肪酸酯<sup>[13]</sup>。

### 1.2.1 聚甘油的合成

聚甘油有多种合成方法, 目前适宜于工业化生产的主要是以甘油为原料, 碱作催化剂, 高温条件下使甘油脱水缩合<sup>[14-18]</sup>, 其反应方程式如图2所示。

此法甘油脱水缩合反应时比较随机, 根据连接羟基位置不同, 可形成多种结构, 如直链、支链、环链等不同空间构型的聚甘油<sup>[13]</sup>, 其结构见图3。

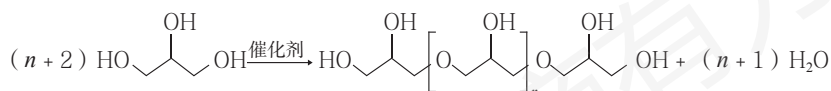


图 2 甘油的聚合反应

Fig. 2 Polymerization of glycerol

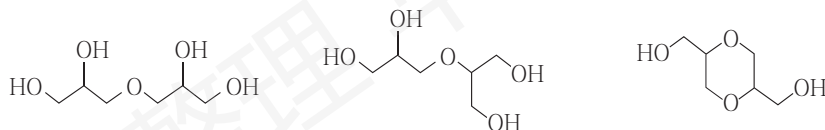


图 3 直链、支链和环状二聚甘油的分子结构式

Fig. 3 Structural formulas of straight chain, branched chain and ring diglycerol

聚甘油是一种混合物, 是三种不同空间结构、不同聚合度的聚甘油混合物。聚甘油的聚合度是指平均聚合度, 也就是聚合度为1的聚甘油和聚合度为2、3…… $n$ 的甘油缩合物与它含量乘积的加和值。聚甘油的平均聚合度一般通过测定折光率、羟值来确定<sup>[19-24]</sup>。

邹英昭等<sup>[16]</sup>用催化剂Z代替NaOH作催化剂, 得到了环状聚甘油含量很低, 而线性聚甘油含量较高的聚甘油产品, 提高了线性聚甘油的纯度。万分龙等<sup>[17]</sup>采用强酸性阳离子交换树脂非均相催化甘油与缩水甘油开环反应制备了低聚甘油, 并通过短程分子蒸馏技术得到了高纯度的低聚甘油。

### 1.2.2 聚甘油的组成

甘油中仲羟基因空间位阻和电子效应较小, 其反应几率较伯羟基小得多。由于甘油分子有两个伯羟基, 聚合反应可以继续下去, 聚甘油的聚合度可以从2~28, 通常的产物是二聚甘油到十聚甘油, 不同聚合度的聚甘油其组成分布有所不同。

不同的聚合反应条件 (催化剂、温度、反应时间

等) 会产生不同组成的聚甘油。聚甘油中不同聚合度的线性聚甘油、环状聚甘油的组成和各种聚甘油含量可用HPLC法 (高效液相色谱法) 测得<sup>[17,18]</sup>。

### 1.2.3 聚甘油脂肪酸酯的合成

聚甘油脂肪酸酯的合成方法主要有聚甘油与脂肪酸的直接酯化法、聚甘油与油脂的酯交换法以及聚甘油与脂肪酸的脂肪酶合成法, 目前工业生产中应用最广泛的是聚甘油与脂肪酸的直接酯化法<sup>[25-30]</sup>。

聚甘油与脂肪酸的酯化机理与一般的酯化机理相同, 但是由于聚甘油上有多个羟基, 所以酯化情况比较复杂。因为伯羟基的反应活性比仲羟基高, 所以首先发生的是伯醇酯化生成端基酯, 若酸过量则有可能发生仲醇的酯化, 生成双酯或多酯。

从物理性质上看, 聚甘油脂肪酸酯的颜色越浅, 表示产品纯度越高质量越好, 产品的色泽受聚甘油的影响较大而不受酯化过程的影响。因此要想得到高质量的聚甘油脂肪酸酯重要的是采用高质量的聚甘油原料<sup>[17]</sup>。可用HPLC (高效液相色谱法) 和ESI-MS (质谱) 对聚甘油酯的组成进行定性和定量分析<sup>[18]</sup>。

### 1.3 聚甘油脂肪酸酯的命名

聚甘油的命名是按照它们的平均组成,分子中每多一个甘油分子参与聚合就增加一个羟基,产物聚合物以平均聚合度表示,聚甘油脂肪酸酯的命名格式是:聚甘油-聚合度+酯化度+脂肪酸。比如聚甘油-10十油酸酯,表示甘油平均聚合度为10,酯化度为10,参加酯化反应的脂肪酸是油酸;聚甘油-6二硬脂酸酯表示甘油平均聚合度为6,酯化度为2,脂肪酸种类是硬脂酸。

## 2 聚甘油脂肪酸酯的性质

### 2.1 外观

根据甘油的聚合度不同和结合的脂肪酸不同,聚甘油脂肪酸酯的外观呈淡黄色至琥珀色油状液体、淡棕色至中等棕色塑性固体、淡黄色至褐色蜡状固体。杨坤于等<sup>[31]</sup>研究了不同聚合度的脂肪酸酯性质,发现随着甘油聚合度的增加,聚甘油及其酯的色泽逐渐加深;除了不饱和脂肪酸(油酸酯)为液体外,饱和脂肪酸随着碳链增长,相应的酯固化程度越高。

### 2.2 溶解性与HLB值

高HLB值的聚甘油脂肪酸酯可溶于水或分散于水中,低HLB值的聚甘油脂肪酸酯溶于动植物油中。且其亲水性随甘油聚合度增加而增加,亲油性随脂肪酸烷基不同而不同,所以通过改变甘油聚合度、脂肪酸种类和酯化度,可得到一系列HLB值由1~20从亲油性到亲水性不同性能的聚甘油产品<sup>[32,33]</sup>。

含疏水性碳链越长的酯,HLB值越小,亲油性更强;相反,含碳链越短的酯,HLB值越大,亲水性更强,聚合度越大的酯由于含有更多的亲水基团,HLB值较大,亲水性更强。线性聚甘油酯比环状聚甘油酯有更高的HLB值,乳化性能更好<sup>[33]</sup>。日本太阳化学公司通过控制甘油的缩合反应条件得到了不同组成的聚甘油,在高聚合度分布中,控制反应条件生成较少的环状聚甘油,可以得到线性纯度更高的聚甘油,有更好的乳化能力;在特定的聚合度下,控制反应条件使聚合度的分布窄一点,可以生产出聚合度纯度更高的聚甘油,适合用于对聚合度纯度要求较高的产品。已商品化的聚甘油脂肪酸酯HLB的范围约为2~16。表1为聚甘油脂肪酸酯的典型品种和一般性质。

表1 聚甘油脂肪酸酯的典型品种和一般性质

Tab.1 Typical varieties and general properties of polyglyceride fatty acid esters

产品	颜色	外观	HLB值
聚甘油-2月桂酸酯	乳白	膏状固体	9.20
聚甘油-2肉豆蔻酸酯	浅黄	膏状固体	8.60
聚甘油-2棕榈酸酯	淡黄	固体	7.40
聚甘油-2硬脂酸酯	乳白	固体	6.81
聚甘油-2油酸酯	橙黄	液体	6.97
聚甘油-3月桂酸酯	淡黄	膏状固体	9.36
聚甘油-3肉豆蔻酸酯	深黄	膏状固体	8.94
聚甘油-3棕榈酸酯	浅黄	固体	7.76
聚甘油-3硬脂酸酯	乳白	固体	7.36
聚甘油-3油酸酯	金黄	液体	7.05
聚甘油-4月桂酸酯	棕黄	膏状固体	11.40
聚甘油-4肉豆蔻酸酯	棕黄	膏状固体	10.19
聚甘油-4棕榈酸酯	棕黄	固体	9.15
聚甘油-4硬脂酸酯	棕黄	固体	8.26
聚甘油-4油酸酯	棕黄	液体	8.74

### 2.3 保湿性能

陈剑晖等<sup>[34]</sup>研究了聚甘油脂肪酸酯的保湿性能,发现聚甘油乳化剂确实具备保湿性能,而且能明显提升长效保湿性能。且其保湿性能只与甘油聚合度和浓度有关,与脂肪酸种类没有相关性,即甘油聚合度越高,保湿性能越好;浓度越高,保湿性能越好。聚甘油乳化剂由于分子中含有聚甘油结构,可以在皮肤表面形成一层保水透气的软膜,而聚甘油脂肪酸酯结构中的大量羟基增加了这层软膜的结合水能力,相当于在皮肤角质层外部增加一层“含水”保护层,可以较长时间维持角质层的水分含量。聚甘油脂肪酸酯聚合度越大,羟基越多,结合水的能力越强,保湿性能越好;浓度越高,羟基也就越多,结合水的能力越强,保湿性能越好。所以聚甘油脂肪酸酯在化妆品中可以兼具乳化和保湿的特性。

### 2.4 复配性能(多组分的相互作用和协同效应)

乳化剂由于分子结构、化学基团和空间结构的不同,会表现出性能的差异。实践表明,不同性质的乳化剂配合使用具有互补和相乘作用,因此乳化剂的复配是最有效的使用方式。合适的复配可以提高界面膜中乳化剂的堆砌密度,使之更接近临界堆积参数<sup>[35]</sup>。聚甘油乳化剂与其他乳化剂具有很好的相容性<sup>[36,37]</sup>,

与其他乳化剂、聚合物、高级脂肪醇等复配,会具备如耐离子、防水性、广泛的PH适用范围、更好的乳化性能、保护皮肤屏障等更加突出的优点。

### 3 聚甘油脂肪酸酯在化妆品中的应用

聚甘油脂肪酸酯的HLB值分布比较广,HLB值低的可作消泡剂和W/O型乳化剂,HLB值高的可作O/W型乳化剂,且根据不同的脂肪酸链具有不同的性质,在化妆品中具有增溶、起泡、乳化、保湿、滋润等多种作用,以下从不同类别化妆品分别举例阐述聚甘油脂肪酸酯在其中的应用。

#### 3.1 聚甘油脂肪酸酯在卸妆类产品中的应用

罗利等<sup>[38]</sup>研究了辛酸/癸酸甘油酯类聚甘油-10酯类的性能,发现其具有很强的卸妆能力,同时具有很好的保湿性能。

日本日清油脂公司的经典搭配SALACOS PG-180 (INCI:聚甘油-10油酸酯)和SALACOS DG-180 (INCI:聚甘油-2油酸酯)配合使用具有非常出色的自乳化能力,能与碳氢化合物油和其他多种油脂相容,且能与硅油互配,可配制如冲洗效果非常好的卸妆油、溶于热水中能迅速乳化变白的浴油、微透明的乳白色卸妆啫喱。此类卸妆产品经按摩与脸上的彩妆相容时可从啫喱变为油状发挥卸妆效果,冲洗遇水时又可快速乳化,便于清洗,洗净后清爽不油腻,使用后具有非常好的滋润效果。

日本太阳化学公司SUNSOFT Q-192Y-C (INCI:聚甘油-10二异硬脂酸酯)和SUNSOFT A-173E-C (INCI:聚甘油-5三油酸酯)搭配,可以做成双连续相卸妆液,Bicontinuous型微乳型卸妆产品,因为表面张力小,融合彩妆、卸妆、冲洗效果非常突出,且较市售一般卸妆液具有更好的保湿效果。

#### 3.2 聚甘油脂肪酸酯在清洁类产品中的应用

作为清洁用的化妆品主要有香波、沐浴露和洗面奶等,除了要求具有清洁、发泡、润湿功能外,目前主要还考虑对皮肤的温和性,要求其中的表面活性剂不损伤表皮细胞,不和皮肤的蛋白质发生作用,不渗透到皮肤中,使皮肤油脂及皮肤本身保持正常状态<sup>[39-41]</sup>。

聚甘油脂肪酸酯的去污能力优越,如亲水性强的聚甘油-10月桂酸酯和聚甘油-10肉豆蔻酸酯由于无毒且不刺激皮肤和黏膜,很适合用于温和洗涤产品。BASF公司以聚甘油脂肪酸酯为表面活性剂做成了一款

婴儿无泪清洁产品已经获得了专利授权<sup>[42]</sup>。

德国赢创公司的TEGOSOFT PC 31 (INCI:聚甘油-3癸酸酯),是一种不含PEG的赋脂剂,在头发和皮肤护理产品中具有优异的增稠性能。瑞士龙沙公司的Polyaldo 10-1-S (INCI:聚甘油-10硬脂酸酯)在洗发产品中具有很好的起泡性能,能让头发表面保持光滑,控制飞丝现象,并且无沉积残留问题,应用在皂基体系中可以增加体系的稳定性。

#### 3.3 聚甘油脂肪酸酯在化妆水中的应用

化妆水中有时需要添加一些不溶的油性成分如精油或者活性物,表面活性剂在水溶液中形成胶团后,能使不溶或微溶于水的有机物的溶解度显著地高于在纯水中的溶解度,形成热力学稳定的、各向同性的、均匀的溶液,这种作用称为加溶作用<sup>[43]</sup>。具有显著加溶作用的表面活性剂称为增溶剂,增溶剂以HLB值在15~18之间、增溶量大、无毒无刺激最佳<sup>[44]</sup>。由于阳离子表面活性剂的毒性和刺激性较大,一般不用作增溶剂。就表面活性剂的毒性和刺激性大小而言,非离子表面活性剂小于离子型<sup>[45]</sup>。可作为增溶剂使用的非离子表面活性剂有亲水性高的聚氧乙烷蓖麻油、脂肪醇聚氧乙烷醚和聚甘油脂肪酸酯等,其中聚甘油脂肪酸酯更加绿色环保。日本坂本药业生产的10G-L (INCI:聚甘油-10异硬脂酸酯)还可以增溶角鲨烷等大分子油脂,比PEG-40氢化蓖麻油具有更滋润且不黏腻的肤感。

#### 3.4 聚甘油脂肪酸酯在O/W乳霜中的应用

可应用在水包油乳霜中的聚甘油脂肪酸酯品类比较多,比如法国嘉法狮公司的经典乳化剂Emulium Mellifera (INCI:聚甘油-6二硬脂酸酯、霍霍巴酯类、聚甘油-3蜂蜡酸酯、鲸蜡醇)是酯交换法做的聚甘油复合乳化剂,来源于天然蜂蜡和霍霍巴,符合ECOCERT和COSMOS标准和NPA认证,含有的天然蜡类具有长效保湿和舒缓功效,具有低残留膜和低油腻感的特点,有良好和轻盈的肤感,宣称能自动适应气候和季节,能适应不同国家和地区的肤感需求。

另一款源自太阳花籽油的聚甘油脂肪酸酯复配脂肪醇和阴离子乳化剂的有FLORATECH公司的Emulsun (INCI:氢化太阳花籽油聚甘油-3酯类、氢化太阳花籽油甘油酯类、鲸蜡硬脂醇、硬脂酰乳酸钠),由氢化后的太阳花籽油酯化得到,具有很好的氧化稳定性;具有自增稠效果,且与其他增稠剂相容性良好;可形成液晶结构,具有很好的使用肤感;

与不同油脂和酒精相容性很好,酒精添加量可高达10%,配方中可添加15%~40%的油脂;在pH=4~11范围都具有很好的乳化效果,在弱酸性条件下会具有更好的乳化黏度;对皮肤屏障也有一定的修复效果。

### 3.5 聚甘油脂肪酸酯在W/O膏霜中的应用

低HLB值的聚甘油脂肪酸酯可应用在油包水产品中,例如法国仙婷公司的复合聚甘油乳化剂EMULPROTECT (INCI:聚甘油-3聚蓖麻醇酸酯、聚甘油-3蓖麻醇酸酯),来源于植物甘油和蓖麻油的两种聚合结构的协作混合,其宽大的亲油端和窄小的亲水端组成了三角形立体结构,使形成的乳液中分散液滴曲率较大,即形成的分散液滴较小,优于传统的W/O乳化剂稳定机理。在化妆品配方中可以与任何油脂相容,可耐受高达20%的电解质,得到具有防水性,既即时又长效的保湿效果,同时具有柔软滋润、不黏腻的薄透感。

### 3.6 聚甘油脂肪酸酯在彩妆产品中的应用

彩妆产品中常需要添加滑石、云母、二氧化钛、炭黑等无机颜料和酞菁蓝等有机颜料,这些粉体可使化妆品具有好的色调、具有良好的美白、遮瑕及防晒等功效。为了最大限度地发挥粉体的功能,必须将他们均匀地分散于化妆品中,因此需要添加分散剂以提高粉体的分散度。分散剂需具有良好的润湿性能、利于分散过程的进行、能稳定形成分散体系等特点。常采用表面活性剂作为分散剂,将固体粒子均匀稳定地分散在化妆品中<sup>[46]</sup>。

一些低HLB值的聚甘油脂肪酸酯表现出很好的W/O乳化能力和对色粉的分散能力。美国BASF公司的Dehymuls PGPH (INCI:聚甘油-2二聚羟基硬脂酸酯)是一种适用于低黏度的油包水型乳霜的乳化剂,可冷操作,配方中可兼容大量的高分子量油脂如植物油,对色粉具有很好的分散能力,可用于防晒和粉底产品。BASF公司的Lameform TGI (INCI:聚甘油-3二异硬脂酸酯)乳化能力强,肤感油润不腻,对色粉和钛白粉有很好的分散能力,可用于制备无水唇膏及防水、防晒产品。

## 4 结束语

聚甘油脂肪酸酯的HLB值分布比较广,且根据不同的脂肪酸具有不同的性质,具有良好的乳化、分散、润湿、稳定、起泡等多重性能,可应用于卸妆、清洁、化妆水、乳液、膏霜、彩妆等多种产品,具有

非常广阔的应用前景。聚甘油脂肪酸酯不仅具有表面活性还具有天然的保湿功能,非常适合作温和洗涤用表面活性剂和温和乳化剂。聚甘油脂肪酸酯对离子和酸碱的耐受能力比较好,且与其他乳化剂增稠剂具有很好的协同增效作用,已经有多家国际公司开发了聚甘油脂肪酸酯的复合乳化剂。在倡导绿色化工和能源紧缺的情况下,聚甘油脂肪酸酯因来源天然、绿色环保可生物降解、温和安全的优点,正好符合可持续发展的方针,已经在医药和食品行业取得了广泛应用,在化妆品领域的应用必定是未来研究的热点。

我国对聚甘油脂肪酸酯的开发和应用研究起步较晚,经过多年的探索,生产量已经取得了一定的进步,但相比欧美和日本的进口品还存在产品单一和色泽较深等问题,更多优质聚甘油脂肪酸酯产品亟待开发。目前关于聚甘油脂肪酸酯中不同空间构型的组成对性质的影响研究较少,还应进一步研究聚甘油脂肪酸酯中线性结构和环状结构组成不同对其性质和应用的影响,从而开发出针对性更好的聚甘油脂肪酸酯产品。另外,关于不同聚甘油脂肪酸酯与其他乳化剂和增稠剂的复配性能以及在化妆品中的应用研究还比较少,还有很大的探索空间。

#### 参考文献:

- [1] Wu Wangbo, Zhao Li, Zhang Huatao, et al. Performance and applications of surfactants (□□□): Applications of surfactants in cosmetics [J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2016, 46(2): 75-78.
- [2] Tan Biao, Han Yu. Application and development status of surfactants in cosmetics [J]. Chemical Enterprise Management, 2015(21): 12-14.
- [3] Sun Yongqiang. Progress in industrialization of China's oil-based surfactants [C] // The 7<sup>th</sup> China Oil and Fat Industry Annual Conference Proceedings. Beijing: China Washing Products Industry Association, 2014: 63-72.
- [4] Liu Yilang, Lin Jing, Li Yali. Research on effects of different polymerization different polyglycerol fatty acid esters on emulsion stability of a loquat-containing milk beverage [J]. The Beverage Industry, 2018, 21(4): 7-10.
- [5] Liu Haotian, Li Yuanyuan, Kong Baohua. Research progress of application of natural emulsifier in food emulsions [J]. The Food Industry, 2017, 38(7): 223-227.
- [6] Liang Qinghua. Exploration of food emulsifier [N]. China Food Newspaper, 2013-11-04(007).
- [7] Huang Yao, Deng Zeyuan, Hu Jiangning. Application of new emulsifier polyglyceride fatty acid ester in food industry [J]. The Food Industry, 2017, 38(12): 244-248.
- [8] Zheng Zijian, Fan Yaohui, Yang Jing, et al. The application of new

- emulsifier in coffee-based beverage [ J ] . China Food Additives, 2018 ( 7 ): 150-154.
- [ 9 ] Li Jiancheng. Six kinds of food emulsifiers highlight the development potential [ N ] . China Food Newspaper, 2016-02-18 ( 003 ) .
- [ 10 ] Zhang Hongmei. Sinerga launched natural antioxidants and emulsifiers for skin care [ J ] . China Cleaning Industry, 2017 ( 12 ): 98.
- [ 11 ] Zhang Yu. Preparation of polyglycerol fatty acid ester as the cosmetic emulsifier [ D ] . Wuhan: Wuhan Textile University, 2012.
- [ 12 ] Ni Linghong. Synthesis and application of polyglycerol fatty acid ester [ J ] . Cereals & Oils, 2003 ( 1 ): 45-46.
- [ 13 ] Bai Fangqing. Study on synthesis and properties of nonionic surfactant polyglycerol fatty ester [ D ] . Shandong: Shandong University, 2007.
- [ 14 ] Yao Licheng. Study on synthesis and emulsification properties of nonionic surfactant polyglycerol fatty ester [ D ] . Nanjing: Nanjing University of Technology, 2011.
- [ 15 ] Fu Jinguo, Xu Xiaoyan, Meng Fei, et al. Domestic and international research progress of polyglycerol [ J ] . Guangdong Chemical Industry, 2012, 39 ( 1 ): 59-61.
- [ 16 ] Zou Yingzhao, Zou Huasheng, Yu Jianghong. Synthesis of food emulsifier linear polyglycerol fatty acid ester [ J ] . Food Science and Technology, 2005 ( 8 ): 46-48.
- [ 17 ] Wan Fenlong, Teng Yinglai, Wang Yong, et al. Synthesis of highly pure oligomerized polyglycerol catalyzed by strongly acidic cationic exchange resin [ J ] . Cereals&Oils, 2014, 27 ( 7 ): 43-47.
- [ 18 ] Fu Jinguo, Meng Fei, Chen Junjia, et al. Determination of the composition of oligoglycerols by high performance liquid chromatography with evaporative light scattering detector [ J ] . Guangdong Chemical Industry, 2012, 39 ( 232 ): 148-150.
- [ 19 ] Meng Fei, Fu Jinguo, Chen Junjia, et al. The study of oligomerization of glycerol synthesis [ J ] . Guangdong Chemical Industry, 2012, 39 ( 238 ): 33-34.
- [ 20 ] Wang Renlang. Preparation of polyglycerol with medium polymerization degree by alkali catalysis [ D ] . Nanchang: Nanchang University, 2013.
- [ 21 ] Wang Mingquan, Rui Ping, Zhang Jinlong. Study on synthetic of polyglycerol [ J ] . Guangzhou Chemical Industry, 2016, 44 ( 8 ): 78-80.
- [ 22 ] Rui Ping, Wang Mingquan, Zhang Jinlong, et al. Research progress in the development of polyglycerol [ J ] . Science & Technology Vision, 2015 ( 4 ): 46, 69.
- [ 23 ] Qu Jiawei. Study on solid alkali catalysts for polyglycerol synthesis [ D ] . Nanchang: Nanchang University, 2013.
- [ 24 ] Wang Minyi, Wang Renlang, Qu Jiawei, et al. Effect of alkali catalyst on catalytic synthesis of polyglycerine [ J ] . Journal of Nanchang University ( Engineering Edition ), 2013, 35 ( 2 ): 103-106.
- [ 25 ] Geng Erhuan. Synthesis and performance of high polymerized polyglycerol fatty acid ester [ D ] . Taiyuan: China Research Institute of Daily Chemical Industry, 2014.
- [ 26 ] Tian Jing. Study on synthesis and properties of polyglycerol isostearate [ D ] . Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [ 27 ] Zeng Zheling, Zou Qiang, Nie Rongrong, et al. Synthesis of medium carbon chain fatty acid polyglyceride catalyzed by solid alkali [ J ] . China Oils and Fats, 2012, 37 ( 5 ): 39-43.
- [ 28 ] Huang Yao. Study on enzymatic synthesis of polyglyceride fatty acid ester and its function [ D ] . Nanchang: Nanchang University, 2017.
- [ 29 ] Xiao Yisha. Study on synthesis of oligoglycerides from vegetable oil fatty acids [ D ] . Guangzhou: Jinan University, 2012.
- [ 30 ] Wan Fenlong. Green preparation and characterization of oligoglycerolesters of fatty acids [ D ] . Guangzhou: Jinan University, 2015.
- [ 31 ] Yang Kunyu, Jiang Wenwei, Chu Yuyu. Surface properties of polyglyceride fatty acids [ J ] . Detergent & Cosmetics, 2010, 33 ( 5 ): 26-28.
- [ 32 ] Qiao Guohua. Study on synthesis and application of polyglyceride fatty acid ester [ D ] . Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [ 33 ] Zhou Yanxia, Cui Zhengang, Chenli. Synthesis and application of polyglycerol fatty acid ester [ J ] . Cereals & Oils, 2008 ( 7 ): 6-10.
- [ 34 ] Chen Jianhui, Deng Hui, Lin namei, et al. Study on moisture retention of polyglycerol fatty acid ester emulsifier [ J ] . Guangdong Chemical Industry, 2018, 45 ( 14 ): 99-100.
- [ 35 ] Jiang Yingtao. Complex of emulsifier [ J ] . Shanghai Coatings, 2007, 45 ( 5 ): 5-6.
- [ 36 ] Shen Lijuan, Zheng Haiping, Zhu Xizhong, et al. Composition of emulsifier and thickener and its application in peanut butter protein beverage [ J ] . Modern Food Science & Technology, 2012, 28 ( 2 ): 204-206.
- [ 37 ] Mei Fangyi. Study on preparation and properties of mixed micelles of lecithin and nonionic surfactant [ D ] . Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [ 38 ] Luo Li, Li Wenfeng, Raogang, et al. The application of polyglycerol ester in cosmetics [ J ] . Guangdong Chemical Industry, 2018, 45 ( 16 ): 66-68.
- [ 39 ] Wang Peiyi, Xu Baocai, Wang Jun. Surfactants: synthesis-properties-applications [ M ] . Beijing: Beijing Chemical Press, 2007.
- [ 40 ] Liu Meiling. Application of surfactants in cosmetics [ J ] . Jiang Xi Hua Gong, 2014 ( 1 ): 239-240.
- [ 41 ] Shu Ying, Zhou Pei. Biosurfactant and its application in cosmetics [ J ] . Detergent & Cosmetics, 2010, 33 ( 3 ): 26-28, 39.
- [ 42 ] Seren Frantz, Jeffrey Parker, Miroslav majcen. Tear free baby cleanser: US9511007 [ P ] . 2016-12-06.
- [ 43 ] Qiu Bingyi, Gao Zhihong. Modern cosmetics science and technology [ M ] . Beijing: China Light Industry Press, 2015: 1018-1020.
- [ 44 ] Cui Zhenggang. Fundamentals of surfactants, colloids, and interface chemistry [ M ] . Beijing: Chemical Industry Press, 2015: 298-301.
- [ 45 ] Nan Guofeng. Selection of cosmetic emulsifier [ J ] . Ability and Wisdom, 2009 ( 22 ): 150-151.
- [ 46 ] Yang Jisheng. Principle and application of surfactants [ M ] . Nanjing: Southeast University Press, 2012.

(编辑: 周 婷)