

doi: 10.3969/j.issn.0253-2417.2019.02.017

## 三聚氰胺包合法分离不饱和脂肪酸



WANG Peiyan

王培燕<sup>1</sup>, 黄元波<sup>1\*</sup>, 刘守庆<sup>1</sup>, 郑志锋<sup>1,2</sup>, 宁德鲁<sup>3</sup>

(1. 林业生物质资源高效利用技术国家地方联合工程研究中心; 西南地区林业生物质资源高效利用国家林业和草原局重点实验室; 云南省生物能源国际联合研究中心, 西南林业大学, 云南 昆明 650224; 2. 福建省生物质高值化技术工程研究中心; 厦门市现代农业生物质高值化技术重点实验室; 厦门大学 能源学院, 福建 厦门 361102; 3. 云南省林业科学院经济林木研究所, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 采用三聚氰胺包合法从混合脂肪酸中分离不饱和脂肪酸(UFAs), 探讨了三聚氰胺/脂肪酸质量比、晶化包合温度、包合时间对包合效果的影响, 并采用傅里叶变换红外光谱(FT-IR)、X射线衍射(XRD)和核磁共振(NMR)对三聚氰胺包合物进行了表征。研究表明: 饱和脂肪酸可以在低温下被三聚氰胺包合; 当脂肪酸 20 g, 96 mL 95% 乙醇溶液, 三聚氰胺/脂肪酸(M/F)质量比为 0.9:1, 在 75 °C 条件下溶解, 并在 9 °C 下晶化包合 7 h, 脂肪酸得率 60.83%、不饱和脂肪酸纯度为 93.75%、包合率为 87.23%。采用气相色谱(GC)分析发现: 与尿素包合法相比, 经三聚氰胺包合后分离获得的不饱和脂肪酸纯度、包合率均较高, 且可将单不饱和与多不饱和脂肪酸同时分离。结构分析表明: 与三聚氰胺晶体相比, 饱和脂肪酸的三聚氰胺包合物晶体结构未发生改变, 饱和脂肪酸能够进入三聚氰胺晶体片层之间形成稳定的结晶包合物, 且三聚氰胺包合后可回收再利用, 其分离不饱和脂肪酸的纯度仍可达 86.28%。

**关键词:** 脂肪酸; 分离; 三聚氰胺包合法

中图分类号: TQ35; TQ645

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2019)02-0115-07

引文格式: 王培燕, 黄元波, 刘守庆, 等. 三聚氰胺包合法分离不饱和脂肪酸[J]. 林产化学与工业, 2019, 39(2): 115-121.

## Separation of Unsaturated Fatty Acids by Melamine Inclusion Method

WANG Peiyan<sup>1</sup>, HUANG Yuanbo<sup>1</sup>, LIU Shouqing<sup>1</sup>, ZHENG Zhifeng<sup>1,2</sup>, NING Delu<sup>3</sup>

(1. National-Local Joint Engineering Research Center for Highly-Efficient Utilization Technology of Forest Biomass Resources; Key Laboratory for Highly-Efficient Utilization of Forest Biomass Resources in the Southwest China, National Forestry and Grassland Administration; Yunnan Provincial International Joint Research Center for Bio-energy, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Fujian Engineering and Research Center of Clean and High-valued Technologies for Biomass; Xiamen Key Laboratory of High-valued Conversion Technology of Agricultural Biomass; College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. Economic Forest Research Institute, Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650201, China)

**Abstract:** Separation of unsaturated fatty acids (UFAs), including monounsaturated (MUFAs) and polyunsaturated fatty acids (PUFAs) from mixed fatty acids (FAs) by melamine inclusion method were investigated. Effects of melamine/FAs mass ratio, crystallization inclusion temperature and inclusion time on yield, purification, and inclusion rate of UFAs were discussed. The melamine inclusion complex was characterized by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy, X-ray diffraction (XRD) and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. Results showed that saturated fatty acids (SFAs) could be employed to form the inclusion crystallization (complex) in ethanol at low temperature by melamine. The optimized conditions were FAS 20 g, 95% ethanol 96 mL, mass ratio of melamine and FAs (M/F) 0.9:1, dissolving at 75 °C, inclusion at 9 °C for 7 h. Under these conditions, the

收稿日期: 2018-11-24

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFD0600802); 云南省重大科技专项计划(2018ZG003); 云南省教育厅科学研究基金项目资助(2018Y119)

作者简介: 王培燕(1991—), 女, 河南焦作人, 硕士生, 主要从事吸附剂的制备及分离脂肪酸研究

\* 通讯作者: 黄元波, 副教授, 硕士生导师, 主要从事生物质能源与材料、尤其是油脂基材料方面的研究与教学工作; E-mail: youthshow@163.com.

maximum UFAs (yield of 60.83%, purity of 93.75%, and inclusion rate of 87.23%) were obtained. Compared with the ureainclusion method, the purity and inclusion rate of UFAs were higher, and MUFAs and PUFAs could be separated together from SFAs by melamine inclusion method. Compared with melamine crystals by structural analysis, the crystal structure of melamine inclusion complex with SFAs did not change, and SFAs could enter into melamine crystalline lamellae to form stable crystalline inclusion complex. After inclusion, melamine could be recycled, which would be promoted the further development of fatty acids separation.

**Key word:** fatty acids; separation; melamine inclusion method

植物油水解后可产生混合脂肪酸,主要成分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸,当中不饱和脂肪酸及其衍生物被广泛应用于食品、医药、日用化工等行业<sup>[1]</sup>,具有较高的经济价值。若能将饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸分离出来,单独加以利用,具有重要的经济价值。目前,分离脂肪酸主要有真空蒸馏法、尿素包合法、超临界流体萃取法等等<sup>[2-3]</sup>,其中,尿素包合法可同时包合饱和与单不饱和脂肪酸<sup>[4]</sup>,只能分离得到多不饱和脂肪酸。三聚氰胺作为三嗪类含氮杂环有机化合物,具有与尿素分子相同的氨基结构,为白色单斜晶体<sup>[5]</sup>,但其用于脂肪酸分离的研究未见报道。本研究以不同于尿素晶体结构的三聚氰胺为包合剂,研究其在脂肪酸分离中的效果,以期进一步获得氨基化合物在脂肪酸中分离的应用依据。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

混合脂肪酸由云南禄丰油脂科技有限公司提供;三聚氰胺、石油醚(60~90℃)、乙醇(体积分数95%),均为分析纯。

### 1.2 实验方法

**1.2.1 分离方法** 将20g脂肪酸,96mL的95%乙醇加入250mL插有温度计和冷凝管的三口烧瓶中,再按一定比例加入三聚氰胺与脂肪酸,在75℃下搅拌0.5h,形成均匀的混合溶液,然后冷却至一定温度下进行包合。包合后进行过滤,得到饱和脂肪酸的三聚氰胺包合物晶体与含有不饱和脂肪酸的液体(还含有部分饱和脂肪酸)。将含有不饱和脂肪酸的液体经真空旋转蒸馏后即得不饱和脂肪酸,检测脂肪酸组成。三聚氰胺包合法如图1所示。

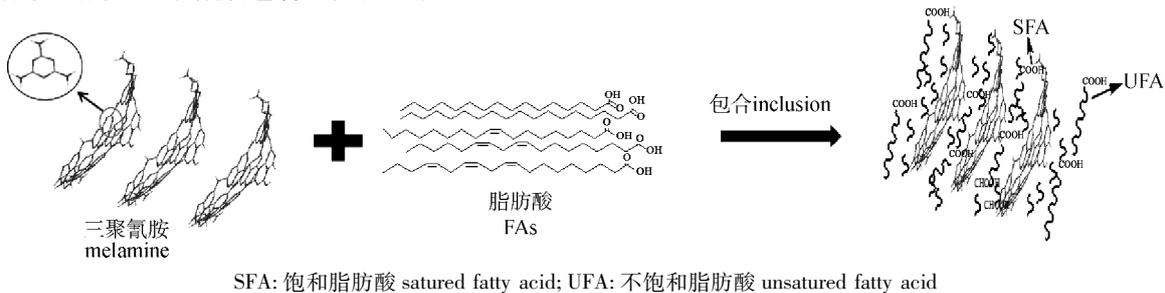


图1 三聚氰胺包合法简图

Fig. 1 The sketch of melamine inclusion

**1.2.2 三聚氰胺回收方法** 将包合后固液分离得到的固体加入一定量的蒸馏水,在100℃搅拌1h,释放包含的脂肪酸。然后向得到的混合溶液中加入正己烷萃取脂肪酸,上层为脂肪酸和正己烷,下层为三聚氰胺水溶液。取上层溶液经真空旋转蒸发去除溶剂后得到脂肪酸,脂肪酸甲酯化后进行GC检测;将下层三聚氰胺溶液在100℃下继续浓缩至几乎无水,低温下结晶,即回收得到三聚氰胺晶体。

包合后液体中的脂肪酸得率、不饱和脂肪酸的纯度和包合率分别按式(1)~(3)计算:

$$Y = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$P = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

$$R = \frac{Y \times P}{P_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $Y$ —包合后液体中的脂肪酸得率,%;  $m_1$ —包合后的总脂肪酸质量, g;  $m_0$ —包合前的混合脂肪酸质量, g;  $P$ —包合后不饱和脂肪酸的纯度,%;  $m_2$ —包合后不饱和脂肪酸的质量, g;  $R$ —不饱和脂肪酸的包合率,%;  $P_0$ —原料中不饱和脂肪酸的纯度, 65.38%。

### 1.3 分析表征

**1.3.1 气相色谱(GC)分析** 脂肪酸甲酯化后通过 Agilent GC-7890A 气相色谱仪, 使用氢火焰离子检测器, 分离柱使用 DB-5ms (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)。载气流量 3.00 mL/min, 柱温设定为以 10 °C/min 从 120 °C 升到 200 °C, 进样口和检测器的温度分别为 200 和 300 °C。进样量为 0.1 μL, 质量分数为 1%。

**1.3.2 红外光谱(FT-IR)分析** 采用 NICOLET IS50 傅里叶变换红外光谱(FT-IR)仪对包合脂肪酸前后的三聚氰胺及其包合物进行检测分析, 扫描范围 400 ~ 4000  $\text{cm}^{-1}$ , 扫描次数 64 次。

**1.3.3 X射线衍射(XRD)分析** 采用 Rigaku Ultima Plus X射线衍射(XRD)仪对三聚氰胺及其脂肪酸包合物进行分析, 扫描步长为 0.02°。测试条件: Cu K $\alpha$  射线源, 管电压 40 kV, 管电流 40 mA;  $2\theta$  范围 10 ~ 80°, 扫描速率 2 (°)/min。

**1.3.4 核磁共振(NMR)分析** 采用 Bruker Avance III 核磁共振(NMR)仪对三聚氰胺及其脂肪酸包合物进行  $^{13}\text{C}$  NMR 和  $^1\text{H}$  NMR 分析检测, 二甲基亚砜为溶剂。 $^{13}\text{C}$  NMR 检测温度 300.0 K, 频率为 150.9 MHz;  $^1\text{H}$  NMR 检测温度 298.5 K, 频率为 600.1 MHz。

## 2 结果与分析

### 2.1 包合工艺对包合效果的影响

**2.1.1 三聚氰胺/脂肪酸质量比** 三聚氰胺/脂肪酸质量比 (M/F) 对包合效果的影响见图 2(a)。由图可知, 三聚氰胺能有效地分离脂肪酸, 由于不饱和脂肪酸的大分子和弯曲结构, 不能进入三聚氰胺晶体片层, 因此三聚氰胺只能有效地包合饱和脂肪酸。随着 M/F 的增加, 包合后脂肪酸得率和饱和脂肪酸的纯度、包合率均随之逐渐增加, 当 M/F 增加至 0.9 时, 其得率、纯度和包合率达到最大, 之后随着 M/F 继续增加包合效果反而下降。这主要是因为增加三聚氰胺用量有利于饱和脂肪酸的包合, 但用量过多时, 体系浓度增大, 分子活性和运动受到抑制, 包合能力下降。脂肪酸与三聚氰胺形成包合物的稳定性与其所涉及分子的形态有关, 任何可能导致直链脂肪酸排列偏差的因素都会破坏包合物的稳定性<sup>[6]</sup>。此外, 大量的饱和脂肪酸进入三聚氰胺的分子层, 导致层间距受到破坏, 破坏了包合物的稳定性, 不饱和脂肪酸也可以被包合, 反而使得包合效果下降。

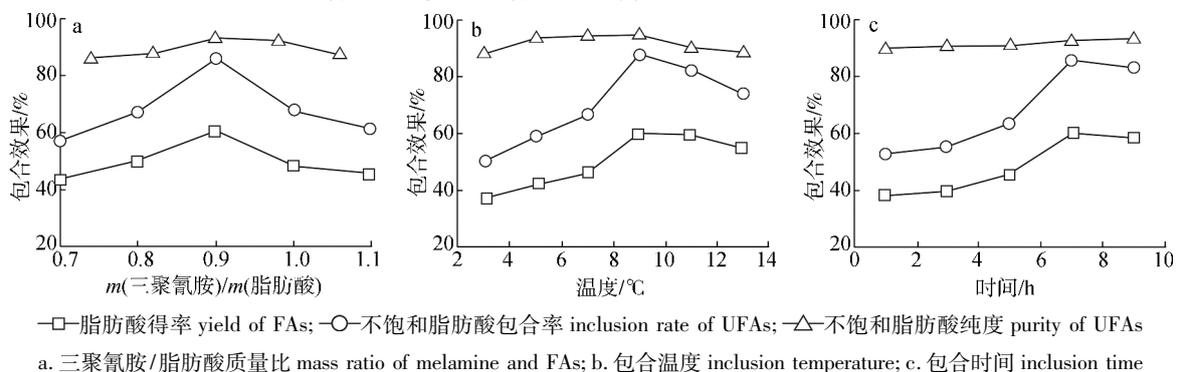


图2 不同的包合工艺对包合效果的影响

Fig. 2 Effects of inclusion conditions on the inclusion of UFAs

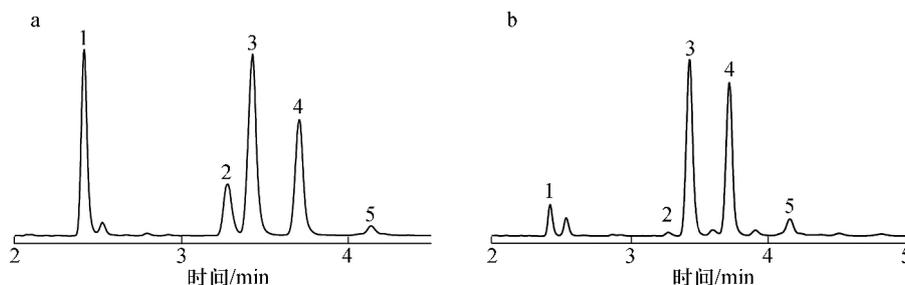
**2.1.2 包合温度** 包合温度对三聚氰胺包合效果的影响如图 2(b) 所示。由图可知, 脂肪酸得率和饱和脂肪酸的纯度、包合率随温度的升高而增加, 在温度为 9 °C 时达到最大值, 之后随温度的升高而呈下降趋势。这主要是因为三聚氰胺包合过程是吸热过程, 适当的包合温度有利于包合物的形成, 且包合体系中存在许多晶核和软而不稳定的晶体, 低温时更易结晶, 形成更多的三聚氰胺-脂肪酸包合物<sup>[6]</sup>。包合温度若进一步提高, 则不利于三聚氰胺晶体的形成, 包合物也变得不稳定, 导致分

离效率下降<sup>[2,7]</sup>。

**2.1.3 包合时间** 包合时间对包合效果的影响如图2(c)所示。由图可知,分离效率随着时间的延长而增加,并在7 h时达到最大值。结晶主要有晶核的形成和晶体的生长2个过程,随着包合时间的延长,三聚氰胺包合物能够进行充分的晶核形成与晶体生长,有利于形成越来越多的完整晶体。当脂肪酸在有限的晶体层中达到饱和时,包合达到动态平衡。

## 2.2 验证实验

脂肪酸包合前后 GC 检测的成分分析结果见图3。原料的脂肪酸 GC 含量分别为棕榈酸( $C_{16}:0$ ) 24.90%,硬脂酸( $C_{18}:0$ ) 9.72%,油酸( $C_{18}:1$ ) 35.19%,亚油酸( $C_{18}:2$ ) 26.33%,亚麻酸( $C_{18}:3$ ) 3.86%。其中饱和脂肪酸 GC 含量为 34.62%、不饱和脂肪酸 GC 含量约 65.38%,单不饱和脂肪酸 GC 含量约 35.19%、多不饱和脂肪酸 GC 含量约 30.19%。



1. 棕榈酸 palmitic acid; 2. 硬脂酸 stearic acid; 3. 油酸 oleic acid; 4. 亚油酸 linoleic acid; 5. 亚麻酸 linolenic acid

图3 脂肪酸包合前(a)和包合后(b)的GC检测结果

Fig. 3 GC results before (a) and after (b) inclusion of the FAs

根据2.1节分析,三聚氰胺包合分离脂肪酸的最佳条件为:三聚氰胺/脂肪酸的质量比为0.9,包合温度 $9^{\circ}\text{C}$ ,包合时间7 h。在此条件下进行3组验证实验,平均值结果如表1所示。

表1 原料与产物中不饱和脂肪酸的组成

Table 1 UFAs compositions of products and material

样品 samples	棕榈酸 ( $C_{16}:0$ ) palmitic acid	硬脂酸 ( $C_{18}:0$ ) stearic acid	油酸 ( $C_{18}:1$ ) oleic acid	亚油酸 ( $C_{18}:2$ ) linoleic acid	亚麻酸 ( $C_{18}:3$ ) linolenic acid	纯度 purity	得率 yield	包合率 inclusion rate
原料 material	24.90	9.72	35.19	26.33	3.86	65.38	—	—
尿素包合法 urea inclusion method	6.92	15.14	25.35	46.62	5.97	77.94	60.50	72.11
三聚氰胺包合法 melamine inclusion method	4.68	1.57	50.62	37.79	5.34	93.75	60.83	87.23

由表1可知,相同条件下,经三聚氰胺、尿素包合后不饱和脂肪酸的纯度均得到提高(原料纯度为65.38%),其中经三聚氰胺包合后的纯度可达93.75%,经尿素包合后的纯度可达77.94%,三聚氰胺的包合效果优于尿素包合。三聚氰胺具有多个氢键键合点,分子通过氢键作用和 $\pi-\pi$ 堆积作用使晶体形成了二维层状结构,较多的氢键数量和二维层状结构使得三聚氰胺更易与饱和脂肪酸形成稳定的包合物,单不饱和与多不饱和脂肪酸不能进入层结构中,从而被有效地分离。而尿素分子在结晶过程中以直链脂肪酸为轴心,尿素分子之间通过氢键力绕着轴心盘旋上升,与饱和脂肪酸或单不饱和脂肪酸形成稳定的六棱柱晶体包合物析出,而多不饱和脂肪酸由于双键数量多,碳链弯曲,具有一定的空间构型,不易被尿素包合<sup>[8-9]</sup>。因此,尿素包合法中大部分单不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸一起被包合进去了,致使溶液体系中不饱和脂肪酸的纯度低于三聚氰胺包合法。

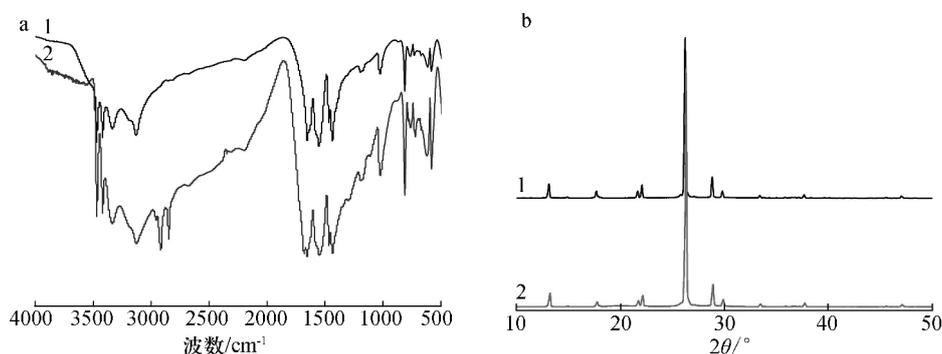
原料和经三聚氰胺包合后的脂肪酸 GC 成分如图3所示。由表1及图3可知,包合后饱和脂肪酸(即棕榈酸和硬脂酸)的含量与原料相比明显下降;不饱和脂肪酸(即油酸、亚油酸和亚麻酸)的含量明显上升。由此可知,三聚氰胺包合法能有效地将饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸(包括单不饱和与多不饱和脂肪酸)分离。

根据国标 GB/T 5532—2008 测定混合脂肪酸原料碘值为 1.010 3 g/g,三聚氰胺包合法最佳条件下分离的不饱和脂肪酸的碘值为 1.245 9 g/g,进一步证明上述结果。

### 2.3 三聚氰胺包合物表征分析

**2.3.1 FT-IR 分析** 三聚氰胺及其包合物的 FT-IR 图如图 4(a) 所示。由图可知,三聚氰胺的特征峰有:3470 和 3420  $\text{cm}^{-1}$  处的  $-\text{NH}_2$  不对称拉伸特征峰,1550  $\text{cm}^{-1}$  处的三嗪环峰 ( $-\text{C}=\text{N}$ ),1660  $\text{cm}^{-1}$  处的  $-\text{NH}$  弯曲振动峰,1020  $\text{cm}^{-1}$  的  $-\text{NH}$  面内和面外扭转振动峰,813  $\text{cm}^{-1}$  处的三嗪环带变形振动峰。对比三聚氰胺与三聚氰胺包合物 FT-IR 图可以看出,三聚氰胺-脂肪酸包合物仍保留了三聚氰胺的基本特征峰,表明包合后的饱和脂肪酸对三聚氰胺晶体结构没有破坏或改变。同时,包合物中出现了饱和脂肪酸的特征峰:2960  $\text{cm}^{-1}$  处的  $-\text{CH}_3$  伸缩振动峰,2920 和 2850  $\text{cm}^{-1}$  处的  $-\text{CH}_2$  对称和反对称伸缩振动峰,这与文献研究结果相一致<sup>[10-11]</sup>。包合物未出现  $\text{C}=\text{C}$  特征峰,进一步表明三聚氰胺包合的是饱和脂肪酸。

**2.3.2 XRD 分析** 图 4(b) 为三聚氰胺及其包合物的 XRD 谱。三聚氰胺晶体是通过  $\text{N}-\text{H}-\text{H}$  氢键和  $\pi-\pi$  堆积作用互相连接,形成的二维层状结构<sup>[12-13]</sup>。对比发现,三聚氰胺-脂肪酸包合物的 X 射线衍射吸收峰与结晶度基本没有发生变化,只是吸收峰发生了轻微的偏移,峰形与大小无明显变化,说明饱和脂肪酸是以插层形式进入三聚氰胺的分子层间,发生的是层间包合作用,三聚氰胺包合物的晶体结构未发生变化。

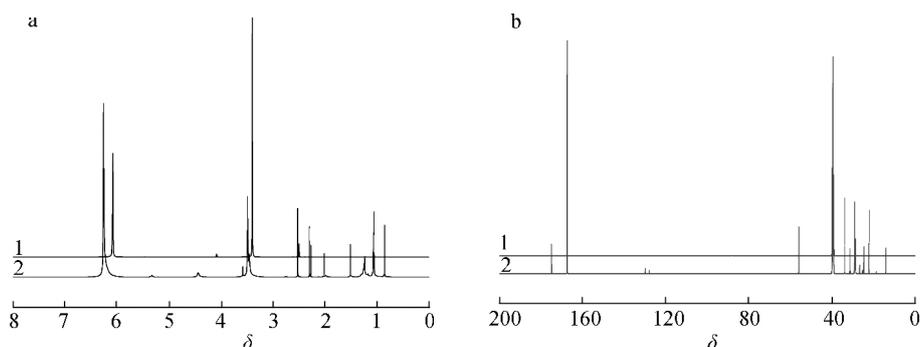


1. 三聚氰胺 melamine; 2. 三聚氰胺/脂肪酸包合物 melamine/fatty acid inclusion complex

图 4 样品的 FT-IR(a) 和 XRD(b) 图

Fig. 4 FT-IR(a) and XRD(b) of samples

**2.3.3 NMR 分析** 图 5(a) 为三聚氰胺及其包合物的  $^1\text{H}$  NMR 谱图。由图对比可知,三聚氰胺/脂肪酸包合物除了具有三聚氰胺的结构特征峰之外,还出现了一系列新峰,即  $\delta$  0.83 ~ 1.05 的饱和链甲基质子峰, $\delta$  2.30 ~ 2.52 的羰基  $\alpha$  位  $-\text{CH}_2$  质子峰, $\delta$  3.58 的与羰基相连的亚甲基特征峰, $\delta$  2.27 的三重态  $\alpha-\text{CH}_2$  质子峰, $\delta$  1.46 的亚甲基质子峰, $\delta$  1.98 的  $\beta$ -羰基亚甲基质子峰,且在包合物中未发现  $\delta$  2.70 ~ 2.84 位移之间的不饱和链的  $\text{CH}_2$ -双烯丙基质子信号<sup>[14-17]</sup>,表明包合物中只有饱和脂肪酸,这一结果与 FT-IR 谱图分析结果一致。



1. 三聚氰胺 melamine; 2. 三聚氰胺/脂肪酸包合物 melamine/fatty acid inclusion complex

图 5 样品的  $^1\text{H}$  NMR(a) 和  $^{13}\text{C}$  NMR(b) 谱图

Fig. 5  $^1\text{H}$  NMR(a) and  $^{13}\text{C}$  NMR(b) spectrum of samples

图5(b)为三聚氰胺及其包合物的 $^{13}\text{C}$  NMR谱图。由图可知,三聚氰胺-脂肪酸包合物除保留三聚氰胺特征峰外, $^{13}\text{C}$  NMR谱图还出现了新的特征峰,即 $\delta$  174.89和56.13处分别出现了一COO—和C—O特征峰, $\delta$  14处出现了甲基末端碳质子峰, $\delta$  22~34的信号峰是饱和脂肪酸中长碳链亚甲基碳引起的。另外, $\delta$  157~160没有出现酰胺键特征峰<sup>[18-21]</sup>,说明三聚氰胺的氨基与脂肪酸的羧基未发生反应形成新的化学键。因此,饱和脂肪酸未进入到三聚氰胺晶体中,而是插入到三聚氰胺晶体层间,通过氢键作用牢牢地被三聚氰胺层间包合,形成稳定的包合物。

#### 2.4 三聚氰胺的回收与再利用

将包合物加热、洗涤和低温结晶等可回收75%的三聚氰胺,回收后的三聚氰胺XRD如图6所示。由图可知,经回收处理后的三聚氰胺虽然晶体结构没有发生改变,但结晶度有所下降。将回收后的三聚氰胺再次应用于混合脂肪酸的包合分离时,所得不饱和脂肪酸的纯度仍可达86.28%,虽然纯度有所下降,但仍可重复使用。

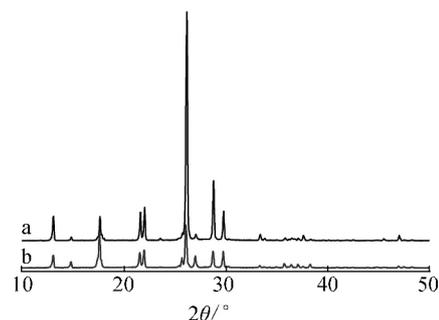


图6 三聚氰胺(a)与回收三聚氰胺(b)的XRD谱图

Fig. 6 XRD of melamine(a) and recycled melamine(b)

### 3 结论

**3.1** 三聚氰胺包合法可较好地分离饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸,其分离脂肪酸的最佳条件为:脂肪酸20 g,95%乙醇溶液96 mL,三聚氰胺/脂肪酸质量比(M/F)为0.9:1,包合温度9℃,包合时间7 h。在此条件下得到的脂肪酸得率60.83%,不饱和脂肪酸的纯度与包合率分别达到93.75%和87.23%。

**3.2** 三聚氰胺及其包合物分析表明:三聚氰胺只包合饱和脂肪酸,经包合后三聚氰胺包合物晶体结构未发生改变,饱和脂肪酸与三聚氰胺之间可形成稳定的层间包合物,从而将饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸有效地分离。

**3.3** 三聚氰胺包合后可通过加热、洗涤和低温结晶等过程回收再利用,其分离脂肪酸的效果仍然保持较好,不饱和脂肪酸纯度依然可达86.28%。

#### 参考文献:

- [1] SHAHIDI F. 贝雷油脂化学与工艺学:第六卷:油脂的工业产品与非食用产品[M]. 6版. 王兴国,金青哲,译. 北京:中国轻工业出版社,2016.  
SHAHIDI F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Volume 6: Industrial and Nonedible Products from Oils and Fats [M]. 6th ed. WANG X G, JIN Q Z, translation. Beijing: China Light Industry Press, 2016.
- [2] SAVALIYA M L, DHORAJIYA B D, DHOLAKIYA B Z. Current trends in separation and purification of fatty acid methyl ester [J]. Separation & Purification Reviews, 2015, 44(1): 28-40.
- [3] 孙永利,卢伟,肖晓明,等. C16、C18混合脂肪酸分离技术研究进展[J]. 化工进展,2014,33(12): 3139-3143.  
SUN Y L, WEI L, XIAO X M, et al. Development of C16 and C18 fatty acid mixtures separation technology [J]. Chemical Industry & Engineering Progress, 2014, 33(12): 3139-3143.
- [4] LIN W, WU F W, YUE L, et al. Combination of urea complexation and molecular distillation to purify DHA and EPA from sardine oil ethyl esters [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(4): 687-695.
- [5] PERPÉTUO G J, JANCZAK J. Solid-state supramolecular architectures formed by co-crystallization of melamine and 2-, 3- and 4-fluorophenylacetic acids [J]. Journal of Molecular Structure, 2018, 1152: 237-247.
- [6] PIANA S, REYHANI M, GALE J D. Simulating micrometer-scale crystal growth from solution [J]. Nature, 2005, 438(3): 70-73.
- [7] BERGLUND K A. Analysis and Measurement of Crystallization Utilizing the Population Balance [J]. Handbook of Industrial Crystallization, 2002: 101-113.
- [8] STROCCHI A, BONAGA G. Correlation between urea inclusion compounds and conformational structure of unsaturated C<sub>18</sub> fatty-acid methyl-esters [J]. Chemistry and Physics of Lipid, 1975, 15(2): 87-94.
- [9] WU M Y, DING H, WANG S, et al. Optimizing conditions for the purification of linoleic acid from sunflower oil by urea complex fractionation

- [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2008, 85(7): 677-684.
- [10] TARIQ M, ALI S, AHMAN F, et al. Identification, FT-IR, NMR ( $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$ ) and GC/MS studies of fatty acid methyl esters in biodiesel from rocket seed oil [J]. Fuel Processing Technology, 2011, 92(3): 336-341.
- [11] LI G L, ZHAO G. Efficient Acetylation of alcohols and phenols catalyzed by recyclable lithium bis(perfluoroalkylsulfonyl) imide [J]. Synthetic Communications, 2013, 43(1): 34-43.
- [12] JANCZAK J, PERPETUO, G J. Melaminium chloride hemihydrate [J]. Acta Crystallographica, 2001, 57 ( Pt 9 ): 1120-1122.
- [13] JANCZAK J, PERPETUO, G J. Melaminium maleate monohydrate [J]. Acta Crystallographica, 2004, 60 ( Pt 3 ): 211-214.
- [14] MONTEIRO M R, AMBROZIN A R P, LIAO L M, et al. Determination of biodiesel blend levels in different diesel samples by  $^1\text{H}$  NMR [J]. Fuel, 2009, 88(4): 691-696.
- [15] SAMIOS D, PEDROTTI F, NICOLAU A, et al. A transesterification double step process: TDSP for biodiesel preparation from fatty acids triglycerides [J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90(4): 599-605.
- [16] KNOTHE G. Monitoring a progressing transesterification reaction by fiber-optic near infrared spectroscopy with correlation to  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2000, 77(5): 489-493.
- [17] LI J, ZHAO X L, LIU Y X, et al.  $^1\text{H}$  NMR-based metabolomic profile of rats with experimental acute pancreatitis [J]. BMC Gastroenterology, 2014, 14(1): 1-7.
- [18] 金立维, 王春鹏, 储富祥, 等. E1级MDF用三聚氰胺改性脲醛树脂的定量 $^{13}\text{C}$ -NMR结构研究 [J]. 林产工业, 2006, 33(6): 38-41.
- JIN L W, WANG C P, CHU F X, et al. The quantitative ( $^{13}\text{C}$ -NMR analysis of melamine-modified UF resin for E1 type MDF [J]. China Forest Products Industry, 2006, 33(6): 38-41.
- [19] MELLO V M, OLIVEIRA F C, FRAGA W G, et al. Determination of the content of fatty acid methyl esters (FAME) in biodiesel samples obtained by esterification using  $^1\text{H}$ -NMR spectroscopy [J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 2010, 46(11): 1051-1054.
- [20] GELBARD G, BRES O, VARGAS R M, et al.  $^1\text{H}$  nuclear magnetic resonance determination of the yield of the transesterification of rapeseed oil with methanol [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1995, 72(10): 1239-1241.
- [21] BARBARA J, IRRAN E, JURGEN S, et al. Melem (2,5,8-Triamino-tri-s-triazine), an important intermediate during condensation of melamine rings to graphitic carbon nitride: Synthesis, structure determination by X-ray powder diffractometry, solid-state NMR, and theoretical studies [J]. Journal of the American Chemical Society, 2003, 125(34): 10288-10300.



## 《林产化学与工业》继续被 Scopus 数据库收录

2017年,《林产化学与工业》被全球著名学术出版商爱思唯尔出版集团(Elsevier)旗下的Scopus数据库收录,并将追溯2016年的文献数据。

Scopus数据库与EI数据库一样,同属全球著名学术出版商Elsevier公司旗下,是目前世界上最大的文摘及引文数据库。Scopus收录了5000余家出版社发行的科技、医学和社会科学方面的22000多种期刊。相较于其他的数据库,Scopus的内容更加全面,学科更加广泛,特别是在获取欧洲及亚太地区的文献方面,Scopus更具优势。通过Scopus,用户可以检索到1823年以来的近4000万条摘要和题录信息,以及1996年以来所引用的参考文献。目前,Scopus数据库只收录了约600种中国期刊。在Elsevier中国二次文献中心老师们尽心的协调和沟通下,Scopus数据库将继续收录《林产化学与工业》,并将追溯2016年的文献数据,从而保证了《林产化学与工业》Scopus中数据的完整性。

《林产化学与工业》编辑部将以此为契机和动力,再接再厉,在主管主办单位的关心与支持下,在编委会、同行专家和广大作者的支持下,不断提高期刊质量与水平,充分发挥期刊在林产化工和生物质化工研究中的桥梁与纽带作用,为科研成果的广泛传播做好服务。