

聚乙烯薄膜中芥酸酰胺的测定及其稳定性研究

朱丽娴¹, 林勤保¹, 钟怀宁², 刘星东³, 李丹²

(1.暨南大学 包装工程研究所, 珠海 519070; 2.广东出入境检验检疫局技术中心, 广州 510623;

3.安姆科德泉薄膜公司, 佛山 528000)

摘要: **目的** 测定低密度聚乙烯中芥酸酰胺的含量, 并研究芥酸酰胺经紫外照射和高温处理后的稳定性。**方法** 采用二甲苯溶解薄膜, 经离心、氮吹、甲醇复溶提取其中的芥酸酰胺, 用高效液相色谱测定其含量; 采用紫外照射和高温处理芥酸酰胺, 利用高效液相色谱、气相色谱-质谱和傅里叶红外光谱研究芥酸酰胺标准品的稳定性。**结果** 芥酸酰胺在 2~100 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性良好, 相关系数 $R>0.999$, 方法检出限为 0.6 $\mu\text{g/mL}$, 定量限为 2.0 $\mu\text{g/mL}$, 加标回收率为 98.6%~112.3%, 相对标准偏差为 5.6%~8.6%。紫外照射和高温处理芥酸酰胺没有产生新的化学键, 其含量也没有明显减少。**结论** 高效液相色谱法测定芥酸酰胺具有较好的稳定性和灵敏度, 芥酸酰胺在高温、紫外处理后较稳定, 不易发生降解等化学反应。

关键词: 芥酸酰胺; 高效液相色谱; 稳定性; 降解; 聚乙烯; 薄膜

中图分类号: TB484.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)07-0086-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.07.016

Determination of Erucamide in Polyethylene Films and Its Stability

ZHU Li-xian¹, LIN Qin-bao¹, ZHONG Huai-ning², LIU Xing-dong³, LI Dan²

(1.Packaging Engineering Institute, Jinan University, Zhuhai 519070, China;

2.Technical Center of Guangdong Inspection & Quarantine Bureau, Guangzhou 510623, China;

3.Amcor Dequan Film Limited Company, Foshan 528000, China)

ABSTRACT: The work aims to determinate the content of erucamide in low density polyethylene and study the stability of erucamide after ultraviolet radiation and high temperature treatment. The erucamide was extracted from the xylene dissolving films after several procedures like centrifugation, nitrogen blowing and methanol re-dissolving, and its content was measured by high performance liquid chromatography. The erucamide was subject to ultraviolet radiation and high temperature treatment. The stability of standard erucamide was studied by HPLC, gas chromatography-mass spectrometry and Fourier transform infrared spectroscopy. The erucamide had good linearity in the range of 2~100 $\mu\text{g/mL}$ with a correlation coefficient $R>0.999$. The detection limit and the limit of quantitation of the method were 0.6 $\mu\text{g/mL}$ and 2 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The added recovery was at 98.6%~112.3% and the relative standard deviation was at 5.6%~8.6%. No new chemical bond was found in the erucamide after ultraviolet radiation and high temperature treatment, and the content of erucamide was not significantly reduced, either. Determination of erucamide by means of HPLC has good stability and sensitivity. After high temperature treatment and ultraviolet radiation, the erucamide is more stable and chemical reactions like degradation hardly occur.

KEY WORDS: erucamide; high performance liquid chromatography; stability; degradation; polyethylene; film

收稿日期: 2017-09-14

基金项目: 国家质检总局科技计划 (2016IK057); 广东省自然科学基金 (2015A030313329); 广东省动植物与食品进出口技术措施研究重点实验室开放课题 (2015-2017)

作者简介: 朱丽娴 (1995—), 女, 暨南大学硕士生, 主攻食品与药品包装。

通信作者: 林勤保 (1968—), 男, 博士, 暨南大学研究员, 主要研究方向为食品与药品包装。

芥酸酰胺(分子式为 $C_{22}H_{43}NO$)是低密度聚乙烯(LDPE)薄膜中最常添加的爽滑剂之一,其分子结构中含有较长的不饱和 C_{22} 链和极性的胺基,能够迁移到薄膜表面进而在挤压过程中起到减小摩擦力(包括薄膜之间、薄膜与加工设备之间)的作用,防止因薄膜间摩擦力大而紧紧粘贴以及薄膜与设备间摩擦力过大影响生产效率的现象,提高包装线的速度进而提高加工速度^[1-2]。摩擦因数的减小是芥酸酰胺迁移至薄膜表面的结果,摩擦因数的减小程度取决于芥酸酰胺的含量及其迁移速度。爽滑剂一般在产品中的质量分数为 0.08%~0.4%^[3],其中聚合物中芥酸酰胺的质量分数一般较小,在 0.1%左右^[1]。研究表明,聚合物中的无机开口剂能促使其中的芥酸酰胺降解成一种有色物质,可见芥酸酰胺存在降解的可能性^[4]。聚乙烯塑料的制备和使用过程中,可能会受到高温加热或紫外照射处理,其中的芥酸酰胺也可能存在不稳定性,造成的分解或产生的化学反应会使得其含量降低,从而影响其减小摩擦因数的性能,而且其产生的新物质(非有意添加物)也可能会给被包装食品带来一定的安全风险。由此,对于芥酸酰胺稳定性的研究很有必要。

国内外对芥酸酰胺的检测方法主要有气相色谱法^[5]、高效液相色谱法(HPLC)^[6-7]、气相色谱-质谱法^[8-10](GC-MS)、液相色谱-质谱法^[11](HPLC-MS)、红外光谱法^[12]等。对于芥酸酰胺的研究,国内主要集中在其测定方法及其制备^[9, 13-14]等,国外也是对其测定方法^[15-16]以及减小摩擦因数性能^[17-18]的研究居多。对于芥酸酰胺稳定性的研究^[4, 19-20]颇少,且对芥酸酰胺稳定性研究的影响因素较为局限,如吴伟都等^[19]利用油脂氧化稳定仪研究了芥酸酰胺的氧化稳定时间,发现光照明显影响了芥酸酰胺的稳定时间,且加速氧化后芥酸酰胺的红外光谱图出现了羰基峰,根据该实验,可推测芥酸酰胺可能发生了氧化反应,生成醛、酮等低级脂肪酸,其反应条件是高温、足量或过量的氧气;Christopher^[4]研究了无机开口剂对聚合物中芥酸酰胺降解的影响,发现无机开口剂中的杂质如过渡金属氧化物等对芥酸酰胺的分解有重要影响。

文中用高效液相色谱法测定低密度聚乙烯薄膜中芥酸酰胺的含量,使用紫外照射和高温 2 种方式处理芥酸酰胺标准品,结合 HPLC、GC-MS 和傅里叶红外光谱仪初步探索芥酸酰胺的稳定性,以便评估芥酸酰胺在使用过程中可能发生的降解反应及其安全性。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:3 种低密度聚乙烯薄膜(厚度约为 0.05

mm),由小型吹塑机制成,3 种母粒分别为 LLDPE(芥酸酰胺添加量为 1.5 g/kg)、MLLDPE(芥酸酰胺添加量为 1 g/kg)、LDPE(芥酸酰胺添加量为 0.5 g/kg),3 种母粒均由佛山德泉薄膜有限公司提供。主要试剂:甲醇(色谱纯),纯度大于 99%,美国 Merck 投资(中国)有限公司;二甲苯(分析纯),台山市粤侨试剂塑料有限公司;芥酸酰胺标准品,纯度大于 98%,北京百灵威科技有限公司。芥酸酰胺标准溶液的配制:准确称取 25 mg 芥酸酰胺标准品,用甲醇溶解、定容至 25 mL,摇匀作为 1000 $\mu\text{g/mL}$ 的标准储备液置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱冷藏保存。

主要仪器:高效液相色谱仪 Waters Alliance 2695, Waters 2487 双波长检测器,美国 Waters 科技有限公司;Turbo VAPII 样品自动浓缩工作站,美国 Caliper 公司;高速离心机,南京科技发展有限公司;EPED-10TS 超纯水器,南京易普达科技发展有限公司;DHG-P140A 电热恒温鼓风干燥箱,上海培因实验仪器有限公司;ZF-90 暗箱式紫外透射仪(254 nm 时功率为 60 W),上海宝山顾村电光仪器厂;电子天平 FA1604N(精确到 0.0001 g),上海菁海仪器有限公司;Agilent7890A-5975C GC-MS 联用仪,美国安捷伦有限公司;35 型小型实验吹膜机,广州金方圆机械制造有限公司;Nicolet iS50 傅里叶变换红外光谱仪,美国热电公司。

1.2 方法

1.2.1 初始含量的测定

用超纯水将薄膜冲洗晾干,准确称取 0.100 g(精确到 0.001 g)的薄膜碎片(面积小于 1 cm^2)于烧杯中,用 10 mL 二甲苯在电热板上加热至塑料完全溶解,恢复室温后取 1.5 mL 液体进行高速离心 40 min,转速为 10 000 r/min,取 1 mL 离心上清液进行氮吹至吹干,加 1 mL 甲醇溶解,充分振荡后过 0.22 μm 微孔滤膜过滤后待 HPLC 检测。

1.2.2 稳定性试验

准确称取 0.100 g(精确到 0.001 g)芥酸酰胺标准品 2 份,平铺于直径为 120 cm 的培养皿中。1 份放入恒温鼓风干燥箱,温度为 70 $^{\circ}\text{C}$,放置 2 d 后取出,选择 70 $^{\circ}\text{C}$ 作为试验的高温温度,远远高于室温且低于芥酸酰胺的熔化温度 79 $^{\circ}\text{C}$ 。1 份置于暗箱式紫外透射仪中,设定波长为 254 nm,照射 3 h 后取出,波长为 254 nm 的紫外灯多用于杀菌消毒,用来模拟生产线上食品包装的杀菌消毒。准确称取处理后的样品各 0.010 g(精确到 0.001 g),用甲醇溶解并定容,再稀释至 10 $\mu\text{g/mL}$,待测样品。同时配制 10 $\mu\text{g/mL}$ 未经处理的芥酸酰胺溶液作为空白对照。

分别取少量剩余处理后的样品,与溴化钾混合压片,进行傅里叶红外测试,未经处理的芥酸酰胺标品

作为空白对照。同时, 试验研究甲醇-芥酸酰胺标准溶液的稳定性, 将 25 mL 芥酸酰胺质量浓度为 1000 $\mu\text{g/mL}$ 的标准溶液置于 40, 70 $^{\circ}\text{C}$ 以及室温环境中 20 d, 然后取出稀释至 10 $\mu\text{g/mL}$, 待测样品, 建立标准曲线, 利用高效液相色谱仪进行定量分析, 再利用气相色谱-质谱联用仪检测是否产生新物质。

1.2.3 高效液相色谱条件

XBridge TM C18 色谱柱 (5 μm , 4.6 \times 250 mm); 进样量为 10 μL ; 流动相为甲醇, 流速为 1.0 mL/min, 运行时间为 8 min, 检测波长为 202 nm。

1.2.4 气相色谱-质谱条件

气相色谱条件: HP-5MS 石英毛细管色谱柱 (30.0 $\text{m} \times 250 \mu\text{m} \times 0.25 \mu\text{m}$); 分流进样, 气体分流体积比为 40 : 1; 升温程序中先以 50 $^{\circ}\text{C}$ 保持 0.5 min, 再以 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 270 $^{\circ}\text{C}$, 保持 7 min; 载气为 He (纯度 $\geq 99.9\%$), 流速为 1 mL/min; 进样量为 1 μL 。质谱条件: EI 电离源, 电子能量为 70 eV; 离子源温度为 230 $^{\circ}\text{C}$; 进样口温度为 280 $^{\circ}\text{C}$; 全扫描模式, 质荷比 (m/z) 范围为 50~400; 溶剂延迟 4 min。

2 结果与讨论

2.1 方法优化讨论

2.1.1 HPLC 检测器选择

研究过程采用二极管阵列检测器, 当检测波长为 202 nm 时, 芥酸酰胺的紫外吸收最强。选择双波长检测器在 202 nm 处检测芥酸酰胺, 发现此时芥酸酰胺紫外吸收的响应较好, 灵敏度高于二极管阵列检测器, 标准曲线的线性也较好。

2.1.2 样品提取方法的选择

采用二甲苯溶解 PE 薄膜提取芥酸酰胺的方法, 相比于前人通过回流萃取、快速萃取等方法, 溶解方法能够更快速有效地提取芥酸酰胺。由于二甲苯在 202 nm 处的紫外吸收很强, 该实验通过氮吹的方法除去二甲苯, 而没有选择用溶剂沉淀的方法去除二甲苯, 因为该方法不能完全除去二甲苯, 从而会影响芥酸酰胺的紫外吸收。

2.2 方法的线性范围、检出限和定量限

以峰面积外标法定量, 选取 6 个质量浓度 (2, 5, 10, 20, 50, 100 $\mu\text{g/mL}$) 为横坐标, 色谱图峰面积为纵坐标建立标准曲线。逐步稀释芥酸酰胺标准溶液并上机检测, 当芥酸酰胺的色谱峰高是基线噪音高的 3 倍 (信噪比为 3) 和 10 倍 (信噪比为 10) 时, 分别得到检出限和定量限^[21]。该方法得到的芥酸酰胺平均保留时间为 5.7 min, 芥酸酰胺质量浓度的线性范

围为 2~100 $\mu\text{g/mL}$, 线性方程为 $y=2965.8x+11716$, 相关系数 $R=0.9996$, 方法的检出限为 0.6 $\mu\text{g/mL}$, 定量限为 2.0 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.3 方法的回收率和相对标准偏差

准确称取 0.100 g (精确到 0.001 g) 的空白聚乙烯薄膜于具塞三角瓶中, 加入芥酸酰胺标准品, 按照 1.2.1 节中的方法进行前处理, 使其添加量分别为 0.5, 1, 1.5 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 然后按照 1.3.3 节中的仪器条件进行高效液相色谱检测。每个浓度做 6 个平行, 计算加标回收率和相对标准偏差。方法的加标回收率和相对标准偏差见表 1, 试验所得的加标回收率在 98.6%~112.3% 之间, 相对标准偏差在 5.6%~8.6% 之间, 符合实验要求 (所得到的加标回收率达到 100% 以上的原因可能是甲醇复溶等操作造成了上机时芥酸酰胺溶液的浓缩)。

表 1 加标回收率和相对标准偏差 ($n=6$)

Tab.1 Added recoveries and RSD ($n=6$)

添加量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)	平均检出量/ ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$)	平均回 收率/%	相对标准 偏差/%
0.5	0.49	98.6	8.6
1.0	1.08	108.4	5.6
1.5	1.64	112.3	7.7

2.4 3 种塑料中芥酸酰胺的初始含量

使用 1.2.1 和 1.2.3 节中的方法进行薄膜前处理和含量测定, 每种薄膜做 3 个平行, 测得由 3 种母粒 (LLDPE, MLLDPE, LDPE) 制成的薄膜中芥酸酰胺含量分别为 (1465 \pm 10.9), (963.9 \pm 8.1), (458.9 \pm 6.4) mg/kg 。

2.5 芥酸酰胺标准品经不同处理后的结果

紫外处理前后芥酸酰胺的红外光谱见图 1, 波数为 3361 和 1658 cm^{-1} 处的吸收峰分别为 N—H 键的伸缩振动和 C=O 双键的伸缩振动, 证明了酰胺键的存在; 波数为 3191 和 1658 cm^{-1} 处的吸收峰分别为烯炔 C—H 键的伸缩振动和 C=C 双键的伸缩振动, 证明了芥酸酰胺中 C=C 双键的存在。紫外光照射 3 h 和在 70 $^{\circ}\text{C}$ 的环境中放置 2 d 的芥酸酰胺红外光谱与未处理芥酸酰胺标准品的红外光谱相比没有明显的峰形变化, 未观察到新的化学键生成。同时, HPLC 定量 10 $\mu\text{g/mL}$ 的处理后标准溶液, 结果表明芥酸酰胺的量没有明显减少, 利用 F 检验法判断出处理前后的数据不存在显著性差异 (置信度为 99%), 具体结果见表 2。利用 GC-MS 检测不同方式处理前后芥酸酰胺标准溶液未出现新的色谱峰, 与傅里叶红外检测的结果一致, 由于芥酸酰胺属于酰胺化合物, 含有碳碳双键和酰胺基 2 种官能团, 没有酸碱体系, 同时酰胺

类化合物降解反应的条件较为苛刻,需要在碱性溶液中与卤素作用而发生降解^[22],因此猜测紫外照射和高温(70℃)处理条件下芥酸酰胺较为稳定,在一般的紫外照射、高温条件下不易发生降解。

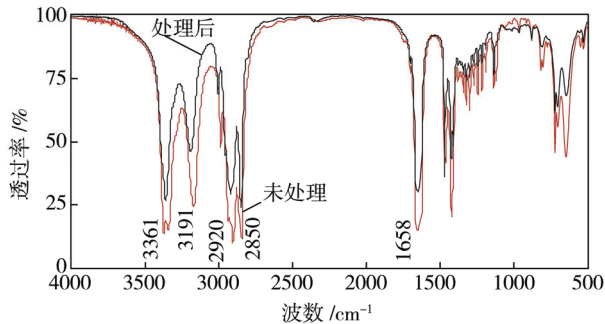


图 1 紫外处理前后芥酸酰胺的红外光谱

Fig.1 Infrared spectrogram of erucamide before and after ultraviolet radiation

表 2 紫外照射和高温(70℃)处理方式下芥酸酰胺的含量

Tab.2 Content of erucamide under ultraviolet radiation and high temperature (70℃) treatment

处理方式	峰面积/(mAU·s)	配制量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	检出量/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	线性方程	相关系数
未处理	37 921	10	9.64		
紫外照射	37 039	10	9.63	$y=3391.6x+4342.7$	0.9993
高温(70℃)	36 012	10	9.61		

芥酸酰胺,可以猜测薄膜中的芥酸酰胺很难向溶液中迁移;在体积分数为 50%和 95%的乙醇浸泡液中均能检测到芥酸酰胺,但是迁移量较少。原因可能是芥酸酰胺在体积分数为 50%和 95%的乙醇溶液中的溶解度都较小,在体积分数为 3%的乙酸溶液中几乎不溶解。

3 结语

经紫外照射和高温处理的芥酸酰胺标准品有较好的稳定性,处理后的芥酸酰胺在 GC-MS 中没有出现新色谱峰,由其红外光谱可知也没有新化学键的产生,由此推测芥酸酰胺在紫外照射和高温处理下不容易发生化学分解或者其化学分解产物微乎其微。利用高效液相色谱法检测经二甲苯溶解聚乙烯提取的芥酸酰胺具有较好的稳定性和灵敏度,该研究为进一步研究聚合物中芥酸酰胺的稳定性、化学迁移及安全性提供基础。

参考文献:

- [1] FARAJZADEH M A, EBRAHIMI M, RANJI A, et al. HPLC and GC Methods for Determination of Lubricants and Their Evaluation in Analysis of Real Samples of Polyethylene[J]. *Microchimica Acta*, 2006, 153 (1): 73—78.
- [2] CHEN J, LI J, HU T, et al. Fundamental Study of Erucamide Used as a Slip Agent[J]. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 2007, 25(4): 886—892.
- [3] 任晓兵. 开口爽滑剂在低密度聚乙烯薄膜中的应用[J]. *当代化工*, 2017, 46(1): 173—176.
REN Xiao-bing. Application of Anti-blocking and Slip Additives in LDPE Film[J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2017, 46(1): 173—176.
- [4] CHRISTOPHER W P, MICHAEL J O, STEPHEN W, et al. Characterising the Degradation of the Polymer Slip Additive Erucamide in the Presence of Inorganic Antiblock Agents[J]. *Polymer Degradation and Stability*, 1998, 62: 285—290.
- [5] 郝萍, 王海, 韩晓昱, 等. 用气相色谱法测定高密度聚乙烯中爽滑剂芥酸酰胺的含量[J]. *石化技术与应用*, 2013, 31(1): 71—73.
HAO Ping, WANG Hai, HAN Xiao-yu, et al. Determination of Content of Slipping Agent Erucic Amide in High Density Polyethylene by Gas Chromatography[J]. *Petrochemical Technology & Application*, 2013, 31 (1): 71—73.
- [6] 张博, 李素真, 黄长荣, 等. 芥酸酰胺的液相色谱分析研究[C]// 第十三次全国色谱学术报告会, 2001.
ZHAG Bo, LI Su-zhen, HUANG Chang-rong, et al. Analysis of Erucic Acid Amide in Liquid Chromatography[C]// The 13th National Chromatography Aca-

- demic Report, 2001.
- [7] GB/T 25277—2010, 塑料 均聚聚丙烯(PP-H)中酚类抗氧化剂和芥酸酰胺爽滑剂的测定 液相色谱法[S]. GB/T 25277—2010, Plastics-Determination of Phenolic Antioxidants and Erucamide Slip Additives in Polypropylene Homopolymer Formulations-Liquid Chromatography(LC)[S]
- [8] 于文涛, 金明杰, 李艳, 等. GC-MS 直接测定芥酸酰胺[J]. 分析实验室, 2009, 28(2): 120—122.
YU Wen-tao, JIN Ming-jie, LI Yan, et al. Determination of Erucic Amide by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2009, 28(2): 120—122.
- [9] 焦艳娜, 丁利, 肖家勇, 等. 气相色谱-质谱法同时测定塑料包装材料中多种有毒有害物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(4): 981—987.
JAO Yan-na, DING Li, XIAO Jia-yong, et al. Simultaneous Determination of Multiple Harmful Substances in Food Plastic Packing Materials by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2013, 4(4): 981—987.
- [10] LYU G, WANG L, LIU J, et al. Method for Determination of Fatty Acid Amides in Polyethylene Packaging Materials-Gas Chromatography/Mass Spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2009, 48: 8545—8548.
- [11] MORETA C, TENA M. Determination of Plastic Additives in Packaging by Liquid Chromatography Coupled to High Resolution Mass Spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2015(8): 77—87.
- [12] 陈民助, 吴玉蓉, 匡晓帆, 等. 红外光谱法测定芥酸酰胺含量的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1997, 34(6): 154—156.
CHEN Min-zhu, WU Yu-rong, KUANG Xiao-fan, et al. The Quantitative Determination of 13-Docosanamide by Ftir[J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 1997, 34(6): 154—156.
- [13] 刘志娟, 侯倩倩, 许峰, 等. 气相色谱法测定 BOPP 塑料膜中爽滑剂芥酸酰胺的含量[C]// 第三届环渤海色谱质谱学术报告会, 2014.
LIU Zhi-juan, HOU Qian-qian, XU Feng, et al. Determination of Content of Slipping Agent Erucic Amide in BOPP Plastic by Gas Chromatography[C]// The Third Circular Bohai Chromatography Mass Spectrometry Symposium, 2014.
- [14] 范淑敏. 泸天化芥酸酰胺新工艺开发成功[J]. 精细与专用化学品, 2003(5): 29.
FAN Shu-min. New Process Development of Erucic Acid Amide[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2003(5): 29.
- [15] GARRIDO-LOPEZ A, ESQUIU V, TENA M T. Comparison of Three Gas Chromatography Methods for the Determination of Slip Agents in Polyethylene Films[J]. Journal of Chromatography A, 2007(1): 178—182.
- [16] GARRIDO-LOPEZ A, ESQUIU V, TENA M T. Determination of Oleamide and Erucamide in Polyethylene Films by Pressurised Fluid Extraction and Gas Chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2006(1): 51—56.
- [17] RAMIREZ M X, WALTERS K B, HIRT D E. Relationship between Erucamide Surface Concentration and Coefficient of Friction of LLDPE Film[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2005, 11(1): 9—12.
- [18] WALP L, TOMLINSON H. Effect of Erucic Acid Percentage on Slip Properties of Erucamide[J]. Journal of Plastic Film & Sheeting, 2004, 20(4): 275—287.
- [19] 吴伟都, 朱慧, 李卫群, 等. 山嵛酸酰胺与芥酸酰胺的氧化稳定性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(8): 3166—3172.
WU Wei-du, ZHU Hui, LI Wei-qun, et al. Oxidation Stability of Docosanamide and Erucylamide[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(8): 3166—3172.
- [20] SHULER C A, JANORKAR A V, HIRT D E. Fate of Erucamide in Polyolefin Films at Elevated Temperature[J]. Polymer Engineering and Science, 2004, 44(12): 2247—2253.
- [21] GB/T 27404—2008, 实验室质量控制规范 食品理化检测[S].
GB/T 27404—2008, Criterion on Quality Control of Laboratories-Chemical Testing of Food[S].
- [22] 唐玉海, 龙盛京, 靳菊情, 等. 医用有机化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
TANG Yu-hai, LONG Sheng-jing, JIN Ju-qing, et al. Medical Organic Chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2014.
- [23] EU 10/2011, Plastic Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food[S].