

荧光衍生试剂 1-[2-(对甲苯磺酸酯)乙基]-2-苯基咪唑 [4,5-f] 9,10-菲的合成及其在长链脂肪酸分析中的应用

赵先恩^{1,3}, 索有瑞¹, 丁晨旭^{1,3}, 朱芳², 孙菁^{1,3},
赵文臣², 孙学军², 尤进茂^{1,2}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2 曲阜师范大学化学科学学院, 山东 曲阜 273165; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:合成了新的荧光衍生试剂 1-[2-(对甲苯磺酸酯)乙基]-2-苯基咪唑 [4,5-f] 9,10-菲 (TSEPIP),并将其作为柱前衍生化试剂,在 Eclipse XDB-C₈ 色谱柱上采用梯度洗脱实现了 11 种长链 (C₂₀ ~ C₃₀) 游离脂肪酸 (FFA) 衍生物的基线分离。利用柱后在线的串联质谱并以大气压化学电离源 (APCI) 的正离子模式实现了各组分的质谱定性。对土壤及 3 种苔藓 (东亚毛灰藓、锦丝藓、羽平藓) 中 FFA 组分的定量结果表明,苔藓植物从土壤中富集了大量的长链游离脂肪酸。荧光检测的激发波长和发射波长分别为 260 nm 和 380 nm。线性回归系数大于 0.999 6,检测限为 26.19 ~ 76.67 fmol。所建立的方法具有良好的重现性,对实际样品的测定结果令人满意。

关键词:高效液相色谱-质谱法; 荧光衍生试剂; 荧光检测; 柱前衍生; 长链脂肪酸

中图分类号: O 658 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8713 (2006) 05-0456-06 **栏目类别:** 研究论文

Synthesis of 1-[2-(p-Toluenesulfonate) Ethyl]-2-Phenylimidazole [4,5-f] 9,10-Phenanthrene and Its Application for Analysis of Long-Chain Fatty Acids

ZHAO Xian'en^{1,3}, SUO Youru¹, DING Chenxu^{1,3}, ZHU Fang², SUN Jing^{1,3},
ZHAO Wenchen², SUN Xuejun², YOU Jinmao^{1,2}

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. College of Chemistry Science, Qufu Normal University, Qufu 273165, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A simple and sensitive method for the determination of long-chain free fatty acids (FFAs) using 1-[2-(p-toluenesulfonate) ethyl]-2-phenylimidazole [4,5-f] 9,10-phenanthrene (TSEPIP) as pre-column derivatization reagent by reversed-phase high performance liquid chromatography with fluorescence detection and mass spectrometric identification was developed. Eleven long-chain (C₂₀ - C₃₀) FFA derivatives were separated on Eclipse XDB-C₈ column with a good baseline resolution. Studies on derivatization conditions indicate that FFA reacts rapidly and smoothly with TSEPIP in the presence of K₂CO₃ catalyst at 90 °C in N,N-dimethylformamide solvent to give the corresponding sensitively fluorescent derivatives with maximal yields close to 100% with a 5-fold molar reagent excess. The identification of 11 FFA derivatives was carried out by online post-column mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization source in positive-ion mode. The contents of 11 FFAs in soil and three bryophytes (*Homomallium connexum* (Card.) Broth., *Actinothuidium hookeri*, *Neckera pennata*) were determined. The results indicate that the bryophyte plants enrich an abundance of FFAs from soil. The excitation and emission wavelengths of fluorescence detection were set at 260 nm and 380 nm, respectively. Linear correlation coefficients for the most FFA derivatives were higher than 0.999 6, and the detection limits (at signal-to-noise of 3:1) were 26.19 - 76.67 fmol. The method is sensitive and reproducible for the determination of long-chain FFAs in real samples.

收稿日期: 2005-10-27

第一作者: 赵先恩, 男, 博士研究生, E-mail: xianenzhao@163.com.

通讯联系人: 尤进茂, 男, 博士, 教授, Tel: (0537) 4458501, E-mail: jinyou6304@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 20075016).

Key words: high performance liquid chromatography-mass spectrometry (HPLC-MS); fluorescence derivatization reagent; fluorescence detection; pre-column derivatization; long-chain fatty acids

脂肪酸广泛分布于动植物体内,对于调节某些代谢作用和生理功能起着重要作用,其含量测定对进一步深入研究生理学和病理生理学以及对临床诊断具有重要意义^[1-2]。某些动植物体内富含人体必需的多种脂肪酸,对其进行定量分析,对饮食营养和保健品开发同样具有重要的指导意义。

脂肪酸在紫外-可见光区吸收较弱,光度法难以准确测定^[3]。高效液相色谱-荧光检测法(HPLC-UV)具有较高的灵敏度,主要的荧光衍生试剂有溴代香豆素类^[4]和重氮甲烷类化合物^[5],但这两类试剂均不稳定。尽管 Lu 等^[6]采用 2-(2-naphthoxy)ethyl-2-(piperidino)ethane sulfonate (NOEPES) 作荧光衍生试剂对脂肪酸类化合物进行了测定,但衍生过程需在氢氧化钾、冠醚及相转移催化剂均存在的条件下于苯或甲苯溶剂中完成,分离前需进行繁琐的预处理,既费时又费力。本文采用新合成的 1-[2-(对甲苯磺酸酯)乙基]-2-苯基咪唑 [4,5-f]9,10-菲 (TSEPIP) 作柱前衍生试剂,以 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 作溶剂,在 90 °C 条件下以 K₂CO₃ 作催化剂可获得稳定的荧光产物。试剂稳定、衍生化产率高、条件温和、操作简便,衍生溶液不必预处理可直接进样分析。采用梯度洗脱实现了 C₂₀~C₃₀ 脂肪酸衍生物的同时基线分离。对土壤、苔藓植物中的脂肪酸进行了快速、灵敏的测定,结果令人满意。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

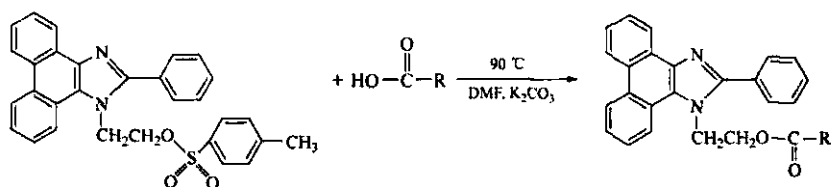


图 1 1-[2-(对甲苯磺酸酯)乙基]-2-苯基咪唑 [4,5-f]9,10-菲与脂肪酸衍生反应的示意图
Fig 1 Derivatization scheme of 1-[2-(p-toluenesulfonate)ethyl]-2-phenylimidazole [4,5-f]9,10-phenanthrene with fatty acids

1.2.3 色谱与质谱条件

色谱柱: Agilent 的 Eclipse XDB-C₈ 柱 (4.6 mm i.d. ×150 mm, 5 μm)。流动相 A: 100%乙腈; 流动相 B: ACN/DMF (体积比为 50/50); 流速 1.0 mL/min。进样量 10 μL, 柱温 30 °C。荧光激发波长和发射波长分别为 260 nm 和 380 nm。线性梯度洗脱程序为 0% B $\xrightarrow{15 \text{ min}}$ 100% B (保持 10 min)。

Agilent 1100 型高效液相色谱-质谱联用仪 (Agilent 公司), 配备四元梯度泵, 在线真空脱气机, 荧光检测器, 100 位自动进样器, 大气压化学电离源 (APCI), 655-10S 型荧光分光光度计 (日本日立)。

TSEPIP (自制); 11 种脂肪酸标准样品 (上海试剂厂); 东亚毛灰藓 (采自山东邹城)、锦丝藓 (采自四川九寨沟)、羽平藓 (采自四川九寨沟); 光谱纯乙腈 (ACN, 德国 Merck 公司), 其他试剂皆为分析纯; 纯水由 Milli-Q 超纯水系统制备。DMF 经减压蒸馏后使用。

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液及衍生试剂的配制

准确取适量脂肪酸标准品, 用 DMF 配成各脂肪酸标准品均为 1.0×10^{-2} mol/L 的混合标准溶液。称取 0.246 0 g TSEPIP 并用 DMF 定容至 10 mL, 浓度为 5.0×10^{-2} mol/L。相应低浓度的衍生试剂 (5.0×10^{-3} mol/L) 及低浓度脂肪酸 (1.0×10^{-4} mol/L) 的混合标准液用 DMF 稀释而成。

1.2.2 标准品的衍生过程

向盛有 10 mg 无水 K₂CO₃ 的 2 mL 安瓿瓶中依次加入 195 μL DMF、50 μL 脂肪酸混合标准液 (1.0×10^{-4} mol/L)、55 μL 衍生试剂溶液 (5.0×10^{-3} mol/L), 封口后于 90 °C 恒温水浴下振荡反应 30 min, 取出放冷后, 加入 700 μL ACN/DMF (体积比为 1/1) 溶液稀释后直接进样 10 μL (50 pmol)。其衍生反应过程如图 1 所示。

大气压化学电离源, 正离子模式, 喷雾压力 413.69 kPa (60 psi), 干燥气流量 5 L/min, 干燥气温度 350 °C, 气化温度 450 °C, 毛细管电压 3.5 kV, 电晕电流 4 000 nA (正极性)^[7]。

1.2.4 土壤、苔藓中脂肪酸的提取

称取土壤 20 g, 用 40 mL 氯仿分两次超声振荡提取, 合并提取液, 过滤, 在滤液中加入 1.5 mL 吡

啶,超声振荡 20 s使其转变为相应脂肪酸的有机盐,用 N₂吹干溶剂后以 600 μL DMF定容备用。

将新鲜的苔藓植物水洗干燥,经粉碎后,分别称取东亚毛灰藓 0.255 6 g、锦丝藓 0.219 8 g、羽平藓 0.232 9 g依次放入 3 个 10 mL 容量瓶中,分别用 10 mL 氯仿浸泡,超声振荡数次,放置过夜后过滤,滤液加 1.5 mL 吡啶超声振荡 20 s使其转变为相应脂肪酸的有机盐,经 N₂吹干溶剂后分别用 500 μL DMF定容备用。

2 结果与讨论

2.1 TSEPIP的合成与表征

2.1.1 2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲的合成

2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲的合成参考文献[8]进行:在 500 mL 的三颈烧瓶中加入 16 g 菲醌、10 mL 苯甲醛、120 g 醋酸铵,最后加入 300 mL 冰醋酸溶解,在 80~90 °C 下搅拌反应 3 h,冷却,倒入 300 mL 水中,用氨水调节 pH 7~8,得浅黄色沉淀,抽滤,水洗两次,晾干后粗品在 ACN/DMF(体积比为 5:1)溶液中重结晶,产率为 90%左右。

2.1.2 1-(2-羟乙基)-2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲的合成

在 500 mL 三颈烧瓶中加入 12 g 2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲,4.5 g 碳酸亚乙酯,痕量 KOH 和 150 mL DMF,迅速加热回流 6 h,冷却,倒入 300 mL 水中,过滤,经水洗及乙醇/水(体积比为 3:2)溶液洗,晾干后在 ACN/DMF(体积比为 5:1)溶液中重结晶,得白色针状晶体,产率为 90%以上。熔点(mp):274.5~275.8 °C。元素分析实验值(%):C,81.60;H,5.34;N,8.30。元素分析理论值(%):C,81.63;H,5.36;N,8.28。红外光谱(KBr压片):3193.13(—OH),1603.5(Ph—C=N—),1559.6,1525.5,1496.8,1448.7(Ph),1397.6,1362.8(C—H),1063.3(C—O),1031.1,770.9,749.3,722.4,731.1。质谱[M+H]⁺:m/z 339.0。

2.1.3 TSEPIP的合成

在 100 mL 三角烧瓶中加入 1.5 g 1-(2-羟乙基)-2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲和 50 mL 吡啶,用电磁搅拌器搅拌,冰浴控温 0 °C,30 min 内分批加入 2.53 g 对甲苯磺酰氯,于 0 °C 下搅拌反应 6 h 后再于常温下搅拌反应 4 h,倒入水中,水洗两次,晾干后用乙腈重结晶 2 次,得白色晶体 1.76 g,产率 80.5%。熔点:173.7~174.6 °C。元素分析实验值(%):C,73.13;H,4.90;N,5.71;S,6.52。元素分析理论值(%):C,73.15;H,4.91;N,5.69;S,6.51。红外光谱(KBr压片):3114.7(Ph—N—CH₂—),

1625.3,1609.4(Ph—C=N—),1545.3,1509.6,1473.8,1444.9(Ph),1399.2,1378.75(C—H),1355.7(—C—SO₂—),1190.2,1176.9(Ph—S—),1094.4,1014.2,908.8,781.3,754.3,705.2。质谱[M+H]⁺:m/z 493.0。

2.2 TSEPIP的稳定性与光谱性质

1-[2-(对甲苯磺酸酯)乙基]-2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲是由 1-(2-羟乙基)-2-苯基咪唑[4,5-f]9,10-菲与对甲苯磺酰氯在吡啶溶剂中缩合反应而成,产物经水洗后在乙腈中重结晶。该衍生试剂对常规有机溶剂和水稳定,固体衍生试剂在试剂瓶中放置 3~6 个月后对脂肪酸的衍生效率未见变化;该衍生试剂的 DMF 溶液在室温下放置两周后再衍生长链脂肪酸,衍生效率未见明显变化,测定 11 种脂肪酸衍生物的峰面积的相对标准偏差(RSD)小于 3.1%,说明该衍生试剂稳定性良好。在乙腈溶液中 TSEPIP 的最大紫外吸收波长为 259 nm,在该波长下的摩尔吸收系数 $\epsilon = 6.0 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。在乙腈溶液中 TSEPIP 的荧光激发波长和发射波长分别为 260 nm 和 380 nm(未校正)。

2.3 衍生条件的优化

TSEPIP 与脂肪酸的衍生化产率随溶剂体系的不同而有显著差异。实验中分别选取苯、甲苯、ACN、DMF(干燥后经减压蒸馏处理)、四氢呋喃(THF)、二甲亚砜(DMSO)作为溶剂体系,以二十酸、二十四酸、二十六酸、二十八酸为代表,对衍生化产率进行了考察,部分结果如图 2-a 所示。尽管 DMSO 具有和 DMF 相当的衍生效果,然而以 DMSO 为溶剂时所获得的衍生物在色谱分离过程中有几个较大的干扰峰,给色谱分离带来困难,因此实验中选择 DMF 作衍生溶剂。

TSEPIP 与脂肪酸的衍生化产率还随碱性催化剂的不同而不同。实验中选择 K₂CO₃、K₂C₂O₄、Na₂CO₃、KAc 和柠檬酸钾等几种碱性催化剂对衍生化产率进行了考察,结果表明:K₂CO₃ 和 Na₂CO₃ 具有最高的衍生化产率。考虑到 K₂CO₃ 在 DMF 中具有较大的溶解度,实验中选择 K₂CO₃ 为碱性催化剂。对 K₂CO₃ 用量的考察结果表明,过高的用量会导致试剂的分解,用量为 10 mg 时具有最大的衍生化产率。

实验中还以二十酸、二十四酸、二十六酸、二十八酸为代表,对衍生化温度进行了考察,结果见图 2-b。衍生化产率随温度的升高而提高,超过 90 °C 后衍生化产率随之降低。因此,实验中选择衍生温度为 90 °C,衍生时间为 30 min。另外,对衍生试剂用量的考察结果表明,衍生试剂的用量为脂肪酸 5

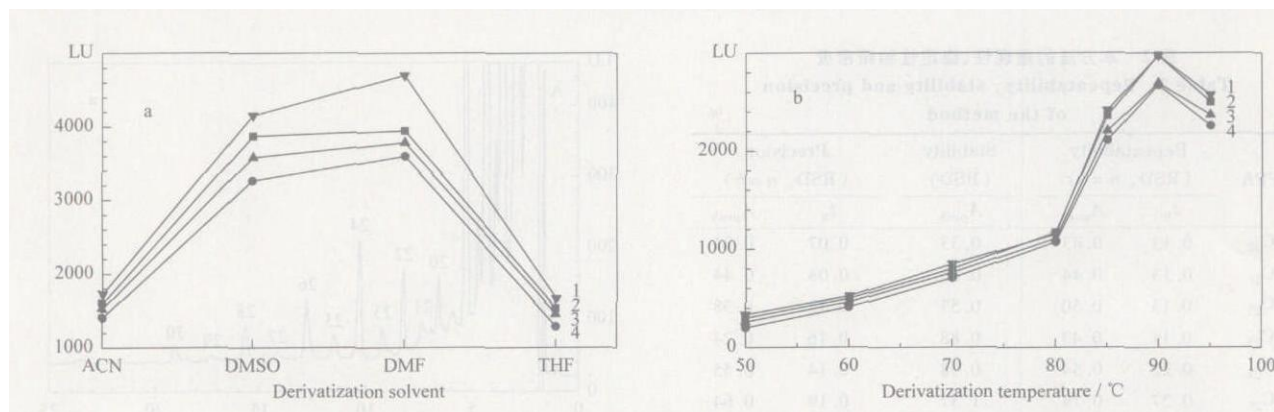


图 2 (a)衍生反应溶剂及(b)反应温度的优化

Fig. 2 Optimization of (a) derivatization solvent and (b) temperature

1. C₂₀ (eicosoic acid); 2. C₂₄ (tetracosanoic acid); 3. C₂₆ (hexacosanoic acid); 4. C₂₈ (octacosanoic acid).

倍以上时衍生化产率恒定,因此实验中选取衍生试剂的用量为脂肪酸总量的 5 倍。

2.4 标准品的色谱分离及质谱鉴定

按前述优化条件,对 11 种标准脂肪酸衍生物进行色谱分离的结果见图 3,可以看出所有衍生物均可获得较好的基线分离。组分定性采用在线柱后质谱鉴定,各组分的一级质谱数据 $[M+H]^+$ 分别为: C₂₀, m/z 633.5; C₂₁, m/z 647.6; C₂₂, m/z 661.6; C₂₃, m/z 675.6; C₂₄, m/z 689.6; C₂₅, m/z 703.6; C₂₆, m/z 717.6; C₂₇, m/z 731.5; C₂₈, m/z 745.6; C₂₉, m/z 759.5; C₃₀, m/z 773.6。

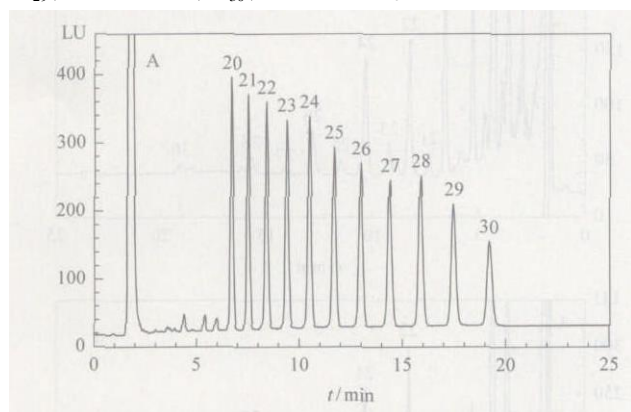


图 3 标准脂肪酸衍生物 (50 pmol) 的色谱分离图

Fig. 3 Chromatogram of standard fatty acid derivatives (50 pmol)

Peak numbers represent the carbon number in fatty acids; peak A: reagent peak.

2.5 TSEPIP 与 9-(2-羟乙基)咪唑 (HEC) 衍生脂肪酸的对比

采用文献 [9] 报道的脂肪酸衍生试剂 HEC 与新合成的 TSEPIP 做衍生长链脂肪酸的对比实验。按照文献 [9] 报道的 HEC 的最佳衍生条件以及本文优化的 TSEPIP 的最佳衍生条件分别衍生 C₂₀ ~ C₃₀ 脂肪酸,注射相同量的衍生物,在各自最佳的检测波长下,对比了二者的荧光检测灵敏度,结果见表

1。从表 1 数据得知, TSEPIP 具有更高的灵敏度,其灵敏度是 HEC 的 3 倍左右。

表 1 TSEPIP 与 HEC 衍生脂肪酸的荧光检测灵敏度对比

Table 1 Comparison of sensitivities of acids derivatized by TSEPIP and HEC

FFA	I_{TSEPIP}/I_{HEC}	FFA	I_{TSEPIP}/I_{HEC}
C ₂₀	2.65	C ₂₆	3.08
C ₂₁	2.62	C ₂₇	3.12
C ₂₂	2.70	C ₂₈	3.26
C ₂₃	2.78	C ₂₉	3.34
C ₂₄	2.86	C ₃₀	3.18
C ₂₅	2.94		

TSEPIP: 1-[2-(p-toluenesulfonate) ethyl]-2-phenylimidazole [4,5-f]9,10-phenanthrene; HEC: 9-(2-hydroxy ethyl) carbazole; I_{TSEPIP} and I_{HEC} : the fluorescent intensities of fatty acid derivatives using TSEPIP and HEC as derivatization reagents, respectively.

2.6 重现性、稳定性和精密度

按照上述最优化的衍生条件和色谱分离条件,在相同的实验条件下,对 11 种脂肪酸衍生物分别平行衍生 6 次,在进样量相同的条件下,测定了方法的重现性,结果见表 2。测定 11 种脂肪酸衍生物峰面积的相对标准偏差 (RSD) 为 0.43% ~ 3.69%,测定保留时间的 RSD 为 0.13% ~ 0.79%,说明本方法的重现性良好。

取新衍生的同一份标准品衍生液 (50 pmol),分别在室温下放置 0, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 72 h 时进行色谱分析,计算得出各时间点下测定各脂肪酸衍生物峰面积的 RSD,考察衍生物稳定性,结果见表 2。表 2 中该项考察数据均小于 2.93%,表明衍生物对于常规色谱分析的稳定性良好。

在相同的洗脱条件下,对 50 pmol 脂肪酸衍生物进行 6 次平行分析,考察本方法的精密度,结果见表 2。从表 2 中可看出,保留时间的 RSD 小于 0.34%,峰面积的 RSD 小于 3.55%,表明本方法的精密度良好。

表 2 本方法的重现性、稳定性和精密度
Table 2 Repeatability, stability and precision of the method %

FFA	Repeatability (RSD, n = 6)		Stability (RSD)	Precision (RSD, n = 6)	
	t_R	A_{peak}	A_{peak}	t_R	A_{peak}
C ₂₀	0.13	0.43	0.33	0.07	0.31
C ₂₁	0.13	0.44	0.43	0.08	0.44
C ₂₂	0.13	0.50	0.57	0.12	0.38
C ₂₃	0.14	0.43	0.88	0.16	0.24
C ₂₄	0.22	0.54	0.98	0.14	0.55
C ₂₅	0.27	0.74	1.37	0.19	0.64
C ₂₆	0.33	0.82	1.65	0.23	0.85
C ₂₇	0.48	1.93	2.35	0.23	1.75
C ₂₈	0.58	2.35	2.63	0.28	2.26
C ₂₉	0.64	2.63	2.77	0.32	2.56
C ₃₀	0.79	3.69	2.93	0.34	3.55

Stability: RSD of the peak areas from derivatives stored at room temperature for 0, 1, 2, 4, 8, 16, 24, 72 h.

2.7 线性回归方程及检测限

进样量为 200.0 pmol ~ 97.66 fmol 时, 依据峰面积和实际进样量进行线性回归分析, 所得各脂肪酸衍生物的线性回归方程、相关系数和检测限结果见表 3。各脂肪酸衍生物的线性相关系数为 0.9996 ~ 0.9999, 检测限为 26.19 ~ 76.67 fmol (S/N = 3)。

表 3 游离脂肪酸衍生物的线性回归方程、相关系数和检测限

Table 3 Linear regression equations, correlation coefficients and detection limits of free fatty acid derivatives

FFA	Regression equation	Correlation coefficient	Detection limit/fmol
C ₂₀	Y = 70.93X + 25.35	0.9996	26
C ₂₁	Y = 68.53X + 21.53	0.9997	28
C ₂₂	Y = 71.73X + 21.67	0.9997	29
C ₂₃	Y = 68.76X + 20.66	0.9997	30
C ₂₄	Y = 74.11X + 21.52	0.9997	32
C ₂₅	Y = 66.88X + 20.95	0.9997	37
C ₂₆	Y = 64.77X + 19.68	0.9997	42
C ₂₇	Y = 61.33X + 17.15	0.9998	56
C ₂₈	Y = 65.50X + 17.99	0.9999	51
C ₂₉	Y = 55.36X + 15.02	0.9998	63
C ₃₀	Y = 42.26X + 10.14	0.9998	77

X: injected amount (pmol); Y: peak area

2.8 回收率试验

在土壤样品中加入 10 μL 1.0 × 10⁻⁴ mol/L 脂肪酸标准品后, 按照上述提取方法提取后进行衍生, 重复 3 次所得各脂肪酸的回收率为 84.02% ~ 106.5%。

2.9 实际样品的测定

按照前述优化的衍生条件对土壤和 3 种苔藓样品的提取液进行衍生。实际样品的测定借助柱后在线质谱定性。土壤及 3 种苔藓样品的分离图谱见图 4。各游离脂肪酸含量的测定结果见表 4。

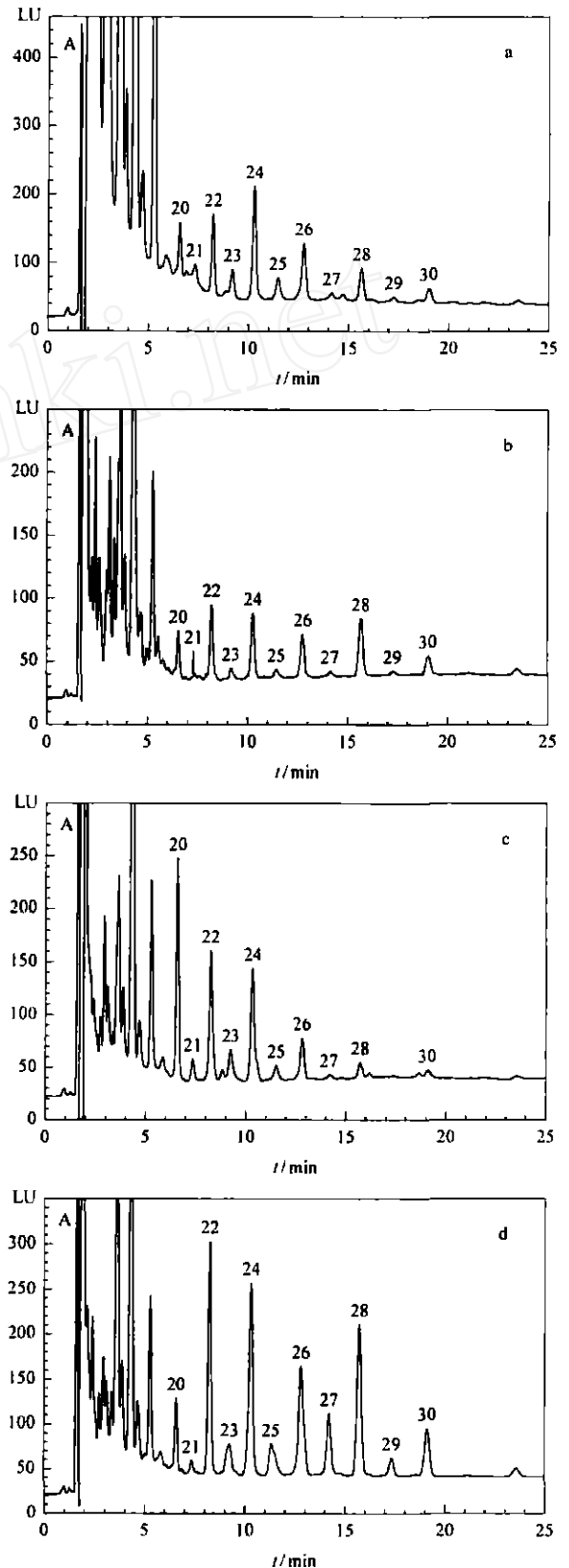


图 4 (a) 土壤样品、(b) 东亚毛灰藓、(c) 锦丝藓和 (d) 羽平藓样品中游离脂肪酸的色谱分离图

Fig 4 Chromatograms of free fatty acids in (a) soil sample, (b) *Homomallium connexum* (Card.) Broth., (c) *Actinothuidium hookeri*, and (d) *Neckera pennata*. For peak identifications, see Fig 3.

表 4 实际样品中游离脂肪酸的含量 (n=3)
Table 4 Contents of free fatty acids
in real samples (n=3)

FFA	Soil	Homomallium connexum (Card.) Broth.	Actinothidium hookeri	Neckera pennata
C ₂₀	0.03393	4.342	28.85	10.46
C ₂₁	0.01722	0.1936	3.531	2.391
C ₂₂	0.06906	7.843	23.05	42.66
C ₂₃	0.02814	1.241	6.416	9.039
C ₂₄	0.1229	9.395	25.19	47.35
C ₂₅	0.03246	1.685	5.229	14.09
C ₂₆	0.09319	8.349	11.63	42.89
C ₂₇	0.009672	0.9505	1.304	22.31
C ₂₈	0.05337	13.18	4.629	54.85
C ₂₉	0.008609	1.019	0	9.238
C ₃₀	0.04582	8.221	3.545	33.10

3 结论

采用 TSEPIP 作柱前衍生化试剂,通过对衍生化条件和色谱分离条件的优化,建立了灵敏度高、重现性好的长链饱和脂肪酸的测定方法。对土壤和苔

藓样品进行测定的结果显示,苔藓植物从土壤中富集了大量的游离脂肪酸,绝大多数脂肪酸在 3 种苔藓中的含量为在土壤中的 100 倍以上,并且偶数碳长链脂肪酸含量明显高于相邻的奇数碳脂肪酸,这可能与其生理活性有关。

参考文献:

- [1] Johnson D W. Clin Biochem, 2005, 38: 351
- [2] Rosenfeld J M. Anal Chim Acta, 2002, 465: 93
- [3] Ingalls S T, Minkler P E, Hoppel C L, Eric Nordlander J. J Chromatogr, 1984, 299: 365
- [4] Takadate A, Masuda T, Murata C, Haratake C, Isobe A, Irikura M, Goya S. Anal Sci, 1992, 8: 695
- [5] Yoshida T, Uetake A, Yamaguchi H, Nimura N, Kinoshita T. Anal Biochem, 1988, 173: 70
- [6] Lu C Y, Wu H L, Chen S H, Kou H S, Wu S M. J Agric Food Chem, 2002, 50(1): 71
- [7] Friso S, Choi S W, Dolnikowski G G, Selhub J. Anal Chem, 2002, 74: 4526
- [8] Steck E A, Day A R. J Am Chem Soc, 1943, 65(3): 452
- [9] You J M, Zhang W B, Zhang Y K. Anal Chim Acta, 2001, 436: 163

欢迎订阅《高等学校化学学报》

《高等学校化学学报》是中华人民共和国教育部委托吉林大学和南开大学主办的化学学科综合性学术刊物,以研究论文、研究快报、研究简报和综合评述等栏目集中报道我国高等院校和中国科学院各研究所在化学学科及其相关的交叉学科、新兴学科、边缘学科等领域所开展的基础研究、应用研究和重大开发研究所取得的最新成果。

本刊以“新(选题新、发表成果创新性强)、快(编辑出版速度快)、高(刊文学术水平和编辑出版质量高)”为办刊特色,载文学科覆盖面广,信息量大,学术水平高,刊载国家自然科学基金、攀登计划、“八六三”和“九七三”计划资助项目及其他科学基金资助项目成果文章达 90% 以上。从 1995 年起被美国科技信息研究所 (ISI) 数据库和《SCIE》、《RA》、《CCI》、《CC/PC & ES》和《RCI》等出版物收录,从 1999 年起被该所主办的世界著名的检索刊物《科学引文索引》(SCI) 核心选刊收录。据 ISI 期刊引证报告 (JCR) 公布的文献计量学数据,2005 年本刊的总被引频次为 2808, 影响因子为 0.771。本刊刊文长期被《中国化学化工文摘》、《中国科学引文数据库》、美国《化学文摘》(C.A.)、美国《EI Page one》和俄罗斯《文摘杂志》(P. . .) 等 20 多种国内外著名检索刊物和文献数据库摘引和收录,在《C.A.》“千种表”中连续多年居中国入选科技期刊之榜首。在《中文核心期刊要目总览》化学类核心期刊中居第一位。在中国科技期刊引证报告 (CJCR) 公布的中国科技期刊总被引频次和影响因子排序表中连续多年居前列,2004 年总被引频次和影响因子分别达到 3689 和 0.888。本刊连续多次荣获全国、国家教育部和吉林省的优秀科技期刊奖和十佳期刊称号,2000 年荣获首届国家期刊奖,2001 年入选中国期刊方阵双高(高知名度、高学术水平)科技期刊行列,并居第 3 位,2002 年荣获第二届国家期刊奖,2004 年荣获第三届国家期刊奖,2002~2005 年连续四届入选中国百种杰出学术期刊。

《高等学校化学学报》为月刊,16 开本(A4),每期 13 印张(208 页),采用微机排版,胶版印刷,装帧质量高。2007 年国内单价 30 元,全年 360 元,公开发行,国际刊号 ISSN 0251-0790,国内刊号 CN 22-1131/O6,邮发代号 12-40。国内读者可通过当地邮局订阅,国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅,国外发行代号:M305。补订者可与本刊编辑部联系。竭诚欢迎广大科研工作者踊跃投稿和订阅。

编辑部联系方式:

电话:0431-8499870, 8499867, 8499216; 传真:0431-8925344; Email: cju@jlu.edu.cn

网址: http://www.cju.jlu.edu.cn

通讯地址:长春市吉林大学前卫校区北区《高等学校化学学报》编辑部 邮政编码:130021