

文章编号: 0254-5357(2010)04-0363-05

## 气相色谱法测定土壤中的脂肪酸成分

李培昌<sup>1</sup>, 韩彬<sup>1</sup>, 张鹏<sup>2</sup>, 曹磊<sup>1,3</sup>, 郑晓玲<sup>1</sup>, 何鹰<sup>1</sup>, 王小如<sup>1\*</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 266061; 2. 桓台县环境保护局, 山东淄博 256400;  
3. 上海海洋大学, 上海 201306)

**摘要:** 用气相色谱-质谱联用仪对脂肪酸进行定性, 气相色谱配合标准溶液进行定量, 建立了一种完整的测定土壤中脂肪酸含量的方法。方法应用于实际样品的检测, 各组分的线性相关系数为 0.9913 ~ 0.9999, 仪器精密性(RSD,  $n=6$ )为 0.73% ~ 2.57%, 检出限为 0.016 ~ 0.038 mg/L, 平均回收率为 97.86%。建立的方法能够较准确地测定土壤中各种脂肪酸的含量, 且可以满足实际样品的测定需要。

**关键词:** 土壤; 脂肪酸成分; 气相色谱法

中图分类号: O623.61; S151.93; O657.71 文献标识码: A

## Gas Chromatographic Analysis of the Fatty Acid Components in Soil Samples

LI Pei-chang<sup>1</sup>, HAN Bin<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, CAO Lei<sup>1,3</sup>, ZHENG Xiao-ling<sup>1</sup>, HE Ying<sup>1</sup>, WANG Xiao-ru<sup>1\*</sup>

(1. First Institute of Oceanography State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China;  
2. Hantai Environment Protection Bureau, Zibo 256400, China;  
3. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** A method for the determination of components in fatty acid in soil samples was established. Fatty acid components in the samples were separated and identified by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and each component was quantified by GC with standard solution calibration. The linear correlation coefficients ( $R^2$ ) of the method for each component were 0.9913 ~ 0.9999. The detection limits of the method for the components were 0.016 ~ 0.038 mg/L. Average recovery of the method was 97.86% with precision of 0.73% ~ 2.57% RSD ( $n=6$ ). The method has been applied to the quantitative analysis of fatty acid components in soil samples with satisfactory results.

**Key words:** soil; fatty acid component; gas chromatography

土壤微生物群落是土壤生物区系中最重要的功能组分, 在土壤中以复杂的群落形式存在, 是土壤中生理、生化等各种反应的参与者和推动者, 是生物圈中 C、H、N、O 和 S 等元素基本生物循环的主要参与者。土壤微生物是生态系统结构和功能变化的敏感

响应者, 能对土壤生态机制的变化和环境胁迫作出反应, 使自身的群落结构发生变化, 从而反映出土壤的质量状况和健康程度。土壤中的微生物种类繁多, 数量庞大, 组成复杂。传统的土壤生物研究方法无法获得土壤中微生物的真实状况以及土壤生态系统的重

收稿日期: 2009-11-10; 修订日期: 2010-03-22

基金项目: 海洋公益性行业科研专项资助(200705011); 中国海洋发展中心科研项目资助(AOCQN200918); 国家海洋局海洋赤潮灾害立体监测技术与应用重点实验室基金项目(MATHAB200913); 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室开放研究基金资助(200808, 200908); 国家海洋局海洋一所基本科研业务费专项(2010G14)

作者简介: 李培昌(1982-), 男, 山东平度人, 硕士研究生, 主要从事海洋环境监测研究。E-mail: lpc@fio.org.cn。

通讯作者: 王小如(1949-), 女, 辽宁大连人, 教授, 从事原子光谱、质谱及相关学科领域的研究。E-mail: xrwang@yahoo.com。

要信息。磷脂脂肪酸(PLFA)是构成活体细胞膜的重要组成部分,只存在于所有活的细胞膜中。在细胞死亡后数分钟到数小时内,细胞发生酶水解,释放磷脂,PLFA被降解。不同种类的微生物群落之间体内PLFA的组成和含量有显著的差异,可以用来评价微生物的生物量及群落结构<sup>[1-4]</sup>。通过研究土壤层中的脂肪酸分布特征可以推测土壤层形成的环境差异<sup>[5]</sup>,在地质学上有重要意义。林九皓等<sup>[6]</sup>通过比较土壤中脂肪酸的总丰度异常圈出了石油勘测的有利地区。由此可见,对土壤中脂肪酸的定量有许多的现实意义。

本文参考文献[7-10],采用柠檬酸、氯仿和脂肪酸混合提取土壤中的脂肪酸,通过过柱净化、分离,用气相色谱法<sup>[11-20]</sup>进行分析,测定结果令人满意。方法简便快速,适用面广,便于多个样品直接提取,适合大批量样品的测定。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器和主要试剂

Agilent 6890 气相色谱仪(美国 Agilent 公司)。

Agilent 6890N - 5973N 气相色谱 - 质谱仪(GC - MS, 美国 Agilent 公司),配氢火焰离子化检测器(GC - FID)。

DB - 5 毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)。

AL 104 万分之一电子天平(Mettler Toledo 公司)。CR22G II 离心机(Hitachi Koki 公司)。THZ - 82 振荡器(金坛市富华仪器有限公司)。SHZ - D III 旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂)。

氯仿(分析纯,莱阳市康德化工有限公司),甲苯、甲醇(分析纯,天津市广成化学试剂有限公司),丙酮(分析纯,烟台市双双化工有限公司),正己烷(色谱纯,美国 Thermofisher 公司)。

### 1.2 实验步骤

#### 1.2.1 提取

称取 4 g 冻干的土壤样品加入到 4 mL 左右的柠檬酸缓冲液中,依次加入 5 mL 氯仿、10 mL 甲醇(即柠檬酸缓冲液:氯仿:甲醇体积比为 0.8 : 1 : 2),室温(25℃)下避光在振荡器上振荡 4 h。转移到离心管中以 3 000 r/min 的速度离心 15 min,取上清液。继续加入 7 mL 柠檬酸缓冲液和 7 mL 氯仿,振荡 1 min,避光保存 18 h,吸走占总体积约 2/3 的上层,保留底层氯仿相,氮气吹干。

#### 1.2.2 分离

用已在 120℃ 烘干 2 h 的硅胶 800 mg 填充内径

为 6 mm 玻璃柱,制成硅胶层析柱,10 mL 氯仿冲洗硅胶柱,赶走其中的气泡。用 5 mL 氯仿溶解样品,注入到硅胶柱中,然后依次加入 10 mL 氯仿、10 mL 丙酮、10 mL 甲醇,收集最后的甲醇相,氮气吹干。

#### 1.2.3 甲酯化

向吹干的样品中加入 1 mL 甲醇 - 甲苯混合液(体积比 1 : 1)和 1 mL 0.2 mol/L KOH - 甲醇溶液,手动摇晃 1 min,放入 35 ~ 36℃ 水浴 15 min,冷却至室温,依次加入 2 mL 去离子水、0.3 mL 1 mol/L HAc 和 2 mL 正己烷,漩涡混合 30 s,再次转移至离心管中,以 3 000 r/min 速度离心 10 min,收集正己烷相。用 150 μL 正己烷定容上机测定。

### 1.3 标准溶液的配制

采用 SupelcoTM 37 Component FAME Mix 和 Bacterial Acid Methyl Esters Mix (Supelco USA) 两种脂肪酸甲酯的混合标准溶液作为外标。标准曲线为 50 mg/L、25 mg/L、10 mg/L、5 mg/L、1 mg/L 五个浓度梯度,其中的浓度为各组分的总浓度。37 种脂肪酸甲酯标准品中,各组分浓度占总浓度的比例有 2%、4%、6% 三个梯度,其中 25 种组分占 2%,11 种组分占 4%,1 种组分占 6%。26 种脂肪酸甲酯标准品中,各组分浓度占总浓度的比例约为 4%。

### 1.4 气相色谱和质谱工作条件

采用 GC - MS, NIST05 质谱库进行混合标准品定性。Agilent 6890N GC - FID 检测器定量。

#### 1.4.1 气相色谱工作条件

DB - 5MS 毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm),其工作条件为:载气流量 1 mL/min,进样口温度 250℃,检测器温度 250℃,升温程序:140℃ 保持 5 min,以 4℃/min 的速度升温至 250℃,保持 5 min。进样量 1 μL,进样方式:不分流。

#### 1.4.2 气相色谱 - 质谱工作条件

气相色谱升温程序:140℃ 保持 5 min,以 4℃/min 的速度升温至 250℃,保持 5 min;载气(He)流量 1 mL/min,气化室温度 250℃,四极杆温度 150℃,电子轰击源 230℃,光电倍增管电压 1 294 V,溶剂延迟 3 min。

## 2 结果与讨论

### 2.1 脂肪酸早酯的气相色谱图

脂肪酸的命名一般采用如下原则<sup>[3]</sup>:以总碳数(C):双键数和双键距离分子末端位置(数字)命名,c 表示顺式,t 表示反式,a 和 i 分别表示直链的

反异构和异构,br表示不知道甲基的位置,10 Me表示一个甲基在距分子末端第10个碳原子上,环丙烷脂肪酸用cy表示。

利用建立的脂肪酸分析方法对2种脂肪酸甲酯混合标准品进行分析,从混合标准品的气相色谱图(图1、图2)可以看出,37种脂肪酸甲酯的混合标准,小分子脂肪酸甲酯由于沸点较低,出峰时间较早,没有和溶剂峰分开,共出峰33个。26种细菌脂肪酸甲酯混合标准的26种脂肪酸甲酯全部出峰。37种脂肪酸甲酯混合标准除相近的几个同分异构体脂肪酸甲酯分离度低于1.5外,其他脂肪酸甲酯分离度均大于1.5,且26种细菌脂肪酸甲酯混合标准分离较好,均可满足分析要求。

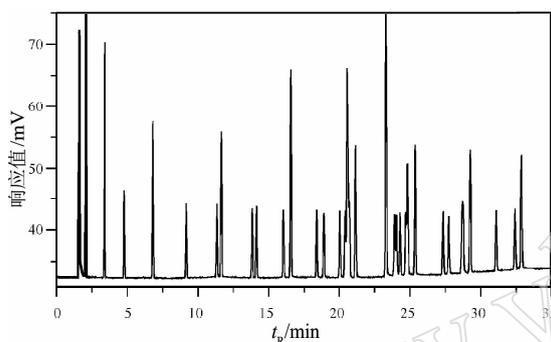


图1 37种脂肪酸甲酯标准品气相色谱谱图

Fig. 1 Gas chromatogram of 37 kinds of fatty acid methyl esters in standard solution

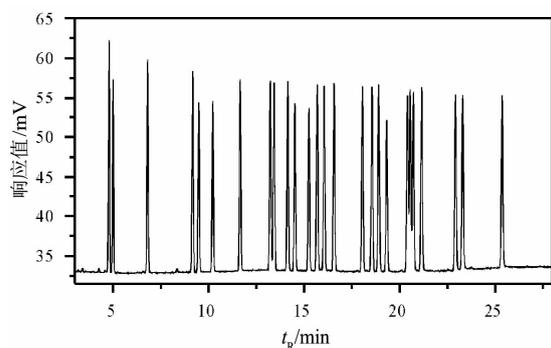


图2 26种细菌脂肪酸甲酯标准品气相色谱谱图

Fig. 2 Gas chromatogram of 26 kinds of fatty acid methyl esters in standard solution

## 2.2 标准曲线和线性范围

两种标准溶液的浓度梯度系列分别在气相色谱上测定,以标准品中各组分的浓度为横坐标,峰面积为纵坐标作图,依据各组分在总浓度中所占的

浓度比例分别对每种组分计算线性和相关系数,以此来考察标准溶液的线性,得到土壤样品中各脂肪酸甲酯成分的线性回归方程见表1、表2。表1对应37种脂肪酸甲酯标准品,表2对应26种细菌脂肪酸甲酯标准品。如前所述,对应37种脂肪酸甲酯标准品的标准溶液共出峰33个,其中C19:0曾作为内标加入不适合用于计算,并且对应26种细菌脂肪酸甲酯标准品中含有C19:0,应依据对应26种细菌脂肪酸甲酯标准品来计算,所以不在表1中。故表1共有32种脂肪酸甲酯组分。

表1 37种脂肪酸甲酯标准品组分线性回归方程、精密度和检出限

Table 1 Linear regression equations, precision and detection limits of 37 kinds of fatty acid methyl esters

名称 缩写	保留时间 $t_R/\text{min}$	线性方程	相关系数 $R^2$	线性范围 $\rho_R/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	RSD/%	检出限 $L_D/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
C6:0	1.612	$y=1.513x-0.01$	0.9941	0.04~2.00	1.72	0.031
C8:0	2.088	$y=1.0860x-0.0152$	0.9954	0.04~2.00	1.84	0.033
C10:0	3.415	$y=1.1616x-0.0158$	0.9957	0.04~2.00	1.69	0.028
C11:0	4.792	$y=0.5852x-0.007$	0.9955	0.02~1.00	1.80	0.018
C12:0	6.817	$y=1.2104x-0.0163$	0.9958	0.04~2.00	1.70	0.038
C13:0	9.167	$y=0.6194x-0.0076$	0.9952	0.02~1.00	1.41	0.018
C14:1	11.339	$y=0.62x-0.0069$	0.9961	0.02~1.00	1.68	0.019
C14:0	11.655	$y=1.2672x-0.0166$	0.9961	0.04~2.00	1.73	0.030
C15:1	13.832	$y=0.6587x-0.0252$	0.9968	0.02~1.00	1.87	0.018
C15:0	14.141	$y=0.6439x-0.0069$	0.9958	0.02~1.00	1.42	0.018
C16:1	16.040	$y=0.6221x-0.008$	0.9964	0.02~1.00	1.62	0.019
C16:0	16.570	$y=1.9533x-0.0261$	0.9962	0.06~3.00	1.54	0.038
C17:1	18.399	$y=0.6355x-0.0074$	0.9953	0.02~1.00	1.48	0.018
C17:0	18.905	$y=0.6173x-0.0074$	0.9960	0.02~1.00	1.11	0.019
C18:3m6	20.033	$y=0.6224x-0.0071$	0.9945	0.02~1.00	1.39	0.018
C18:2m6t	20.404	$y=0.6173x-0.0076$	0.9952	0.02~1.00	1.52	0.018
C18:2m6c	20.552	$y=2.5722x-0.0357$	0.9958	0.02~1.00	1.19	0.018
C18:1n9	20.702	$y=0.643x-0.0076$	0.9957	0.02~1.00	1.55	0.018
C18:0	21.142	$y=1.3023x-0.0175$	0.9961	0.04~2.00	1.58	0.035
C20:4n6	23.900	$y=0.63x-0.0061$	0.9953	0.02~1.00	1.12	0.018
C20:5n3	24.038	$y=0.6338x-0.008$	0.9939	0.02~1.00	1.26	0.018
C20:3n6	24.285	$y=0.6835x-0.0098$	0.9925	0.02~1.00	1.63	0.019
C20:2	24.694	$y=0.656x-0.01$	0.9921	0.02~1.00	1.29	0.018
C20:1	24.818	$y=1.3679x-0.0215$	0.9938	0.02~1.00	1.67	0.017
C18:3	25.355	$y=1.4706x-0.0246$	0.9913	0.02~1.00	1.83	0.016
C20:0	27.342	$y=0.6582x-0.0062$	0.9969	0.04~2.00	0.99	0.028
C21:0	27.741	$y=0.6177x-0.0078$	0.9964	0.02~1.00	2.45	0.018
C22:6	28.718	$y=1.2385x-0.0161$	0.9957	0.02~1.00	2.13	0.017
C22:0	29.244	$y=1.3173x-0.017$	0.9942	0.04~2.00	1.53	0.035
C23:0	31.092	$y=0.6395x-0.0057$	0.9960	0.02~1.00	2.05	0.018
C24:1	32.418	$y=0.6642x-0.0075$	0.9939	0.02~1.00	2.57	0.017
C24:0	32.877	$y=1.3504x-0.02$	0.9939	0.04~2.00	2.19	0.032

## 2.3 方法学考察

### 2.3.1 精密度

将两种标准溶液浓度为10 mg/L的标准样品

分别在 GC 上连续进样 6 次,对每种组分计算精密密度。表 1 数据表明,37 种脂肪酸甲酯标准溶液中各组分的相对标准偏差 (RSD) 在 0.99% ~ 2.57%;表 2 数据表明,26 种细菌脂肪酸甲酯标准溶液中各组分的 RSD 在 0.73% ~ 2.17%,仪器的精密密度良好。

表 2 26 种细菌脂肪酸甲酯标准品组分线性回归方程、精密度和检出限

Table 2 Linear regression equations, precision and detection limits of 26 kinds of bacterial fatty acid methyl esters

名称缩写	保留时间 $t_R/\text{min}$	线性方程	线性系数 $R^2$	线性范围 $\rho_B/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	RSD/%	检出限 $L_D/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
C11:0	16.771	$y=5735x-295.26$	0.9990	0.04~2.00	1.73	0.029
2-OH C10:0	17.050	$y=4815.7x+206.44$	0.9997	0.04~2.00	1.74	0.032
C12:0	19.669	$y=5900.6x+154.22$	0.9998	0.04~2.00	1.42	0.031
C13:0	22.480	$y=5985.2x+158.48$	0.9997	0.04~2.00	1.52	0.033
2-OH C12:0	22.831	$y=5032.4x+373.56$	0.9999	0.04~2.00	1.63	0.030
3-OH C12:0	23.632	$y=5082.9x-180.6$	0.9998	0.04~2.00	1.19	0.035
C14:0	25.182	$y=6014.9x-127.44$	0.9997	0.04~2.00	1.32	0.029
i-C15:0	26.831	$y=6131.8x-40.883$	0.9996	0.04~2.00	0.90	0.034
a-C15:0	27.037	$y=6037.9x+255.23$	0.9998	0.04~2.00	1.31	0.033
C15:0	27.771	$y=6192.2x-111.75$	0.9996	0.04~2.00	0.98	0.030
2-OH C14:0	28.18	$y=5326.2x+289.71$	0.9997	0.04~2.00	2.12	0.027
3-OH C14:0	28.916	$y=5287.5x-496.54$	0.9993	0.04~2.00	2.17	0.035
i-C16:0	29.347	$y=6175.2x-380.74$	0.9998	0.04~2.00	2.12	0.030
C16:1 <sup>9</sup>	29.744	$y=6071.8x+220.88$	0.9998	0.04~2.00	1.57	0.036
C16:0	30.250	$y=6255x+643.16$	0.9996	0.04~2.00	0.97	0.033
i-C17:0	31.759	$y=6283.2x+2.8491$	0.9998	0.04~2.00	1.75	0.031
C17:0 <sup>Δ</sup>	32.295	$y=6172.9x+454.07$	0.9998	0.04~2.00	1.41	0.031
C17:0	32.622	$y=6290.4x+166.28$	0.9998	0.04~2.00	1.53	0.032
2-OH C17:0	33.079	$y=5133.3x-665.98$	0.9997	0.04~2.00	1.10	0.031
C18:2 <sup>9,12</sup>	34.187	$y=6040.6x+676.76$	0.9997	0.04~2.00	1.24	0.036
C18:1 <sup>9</sup>	34.322	$y=6275.6x-225.75$	0.9999	0.04~2.00	0.76	0.034
C18:1 <sup>9</sup>	34.470	$y=6307x+758.28$	0.9997	0.04~2.00	1.45	0.031
C18:0	34.899	$y=6370.1x+511.96$	0.9998	0.04~2.00	1.24	0.030
C19:0 <sup>Δ</sup>	36.732	$y=6269.6x+153.47$	0.9999	0.04~2.00	1.54	0.028
C19:0	37.081	$y=6299.8x+574.37$	0.9998	0.04~2.00	1.14	0.031
C20:0	39.177	$y=6200.7x+823.06$	0.9996	0.04~2.00	0.73	0.032

2.3.2 重现性

对应 37 种脂肪酸甲酯标准溶液选择 7# 样品,对应 26 种细菌脂肪酸选择 4# 样品,按照 1.2 节步骤进行处理,分别准确称取 3 份土壤样品,按照 1.4 节仪器条件进行测定,以此考察该方法的重现性。3 次测得浓度的 RSD 分别列于表 3 和表 4,其中只有 C18:1n9 的 RSD 值为 3.27%,其余几种测出组分的 RSD 值均小于 3.00%,说明方法具有良好的重现性。

2.3.3 检出限

分别取 1 mg/L 的 2 种标准溶液,平行测定 6 次,以 1 mg/L 的 3 倍标准偏差作为方法检出限。可以看到各组分的检出限在 0.016 ~ 0.038 mg/L(表 1、表 2),说明该方法检出限较低,能满足分析的需要。

2.3.4 回收率

配制 C19:0 脂肪酸甲酯标准品 1.0 mg/L,精确称取已知脂肪酸含量的土壤样品 3 份,经 1.2 节方法提取衍生后,分别加入 100 μL 的 C19:0 标准品,同时分析 3 个空白对照样品,空白样品及加标样品浓缩至 1.0 mL,按 1.4 节仪器条件测定回收率,平均为 97.86%。从标准溶液的谱图可以看出,各组分的响应值基本相当,因此 C19:0 的回收率可以基本反映其他各组分的回收率,方法的回收率令人满意。

3 土壤样品分析

利用本文建立的样品前处理及仪器分析方法,对实际土壤样品的脂肪酸含量进行分析,对应 37 种脂肪酸甲酯标准品里检出 9 种脂肪酸,其含量及方法重现性见表 3,对应 26 种细菌脂肪酸甲酯标准品检出 13 种脂肪酸,其含量及方法重现性见表 4(表中 ND 表示未检出)。其中饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的 84.15%,不饱和脂肪酸占脂肪酸总含量的 15.85%。含量最少的是 C17:0<sup>Δ</sup>,占总脂肪酸含量的 0.66%,含量最多的是 C19:0,占总脂肪酸含量的 38.92%。图 3 是土壤样品经过前述处理过程,在气相色谱上的谱图。

表 3 土壤样品中对应 37 种脂肪酸甲酯标准品的脂肪酸组分分析

Table 3 Analysis results of fatty acid components in soil sample related to the standard solution with 37 kinds of fatty acid methyl esters

名称缩写	样品浓度/(mmol · g <sup>-1</sup> )									RSD/%	
	1	2	3	4	5	6	7	7-1	7-2		7-3
C6:0	9.82	9.77	7.02	8.73	9.62	8.64	7.57	7.32	7.15	7.45	2.06
C16:0	2.40	5.35	6.31	6.97	6.52	4.55	6.46	6.55	6.48	6.3	2.00
C18:2n6t	1.27	3.21	3.71	2.66	3.12	1.84	3.32	3.22	3.28	3.37	2.29
C18:2n6c	1.35	1.69	2.34	2.03	1.78	1.46	2.57	2.53	2.61	2.62	1.91
C18:1n9	1.76	2.32	3.15	2.45	2.38	1.95	1.96	1.84	1.93	1.96	3.27
C18:0	1.87	10.36	13.10	9.80	14.58	9.59	13.55	13.45	13.68	13.45	0.98
C20:2	1.58	4.75	5.23	4.50	4.87	3.93	5.15	5.02	5.08	5.26	2.44
C22:6	1.05	2.47	3.08	4.78	2.34	1.83	3.58	3.50	3.68	3.67	2.80
C22:1	0.82	2.13	2.43	4.31	2.15	1.52	3.20	3.03	3.08	3.17	2.29

表4 土壤样品中对应26种标准品的脂肪酸组成分析

Table 4 Analysis results of fatty acid components in soil sample related to the standard solution with 26 kinds of bacterial fatty acid methyl esters

名称缩写	样品浓度/(nmol·g <sup>-1</sup> )											RSD/%
	1	2	3	4	5	6	7	4-1	4-2	4-3		
3-OHC12:0	2.58	1.37	6.72	6.41	1.74	1.67	4.46	6.28	6.32	6.52		2.02
i-C15:0	4.18	1.16	5.77	4.19	2.19	2.07	3.21	4.12	4.13	4.28		2.15
a-C15:0	22.28	10.00	49.04	45.45	10.98	14.18	29.91	45.82	45.67	44.78		1.24
2-OHC14:0	5.15	1.89	7.50	12.65	2.46	2.73	4.98	12.38	12.81	12.68		1.75
3-OHC14:0	28.63	26.90	42.25	28.23	26.84	32.57	35.13	28.61	28.74	28.32		0.75
i-C16:0	3.85	7.01	16.70	9.95	8.23	7.12	10.25	9.87	9.74	9.98		1.22
C16:1	3.07	2.28	4.82	1.72	2.73	2.14	ND	1.68	1.69	1.72		1.23
C17:0 <sup>△</sup>	1.42	1.43	3.71	1.40	1.64	0.44	1.62	1.45	1.48	1.52		2.37
C18:2 <sup>9,12</sup>	0.81	3.62	6.18	2.18	3.30	2.28	4.39	2.22	2.11	2.21		2.79
C18:1 <sup>9</sup>	3.78	6.46	13.07	7.36	6.59	4.83	12.56	7.08	7.35	7.32		2.04
C18:1 <sup>9</sup>	1.47	2.56	4.94	2.20	2.51	2.14	2.54	2.1	2.11	2.16		1.51
C19:0 <sup>△</sup>	1.68	1.05	1.71	2.39	1.50	1.66	0.88	2.34	2.45	2.38		2.33
C19:0	78.06	92.32	118.87	77.39	82.51	92.15	100.47	77.09	78.2	77.88		0.74

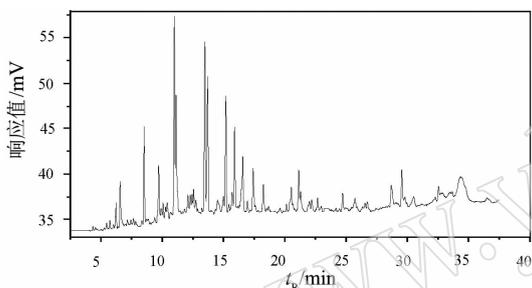


图3 土壤样品中脂肪酸的气相色谱谱图

Fig. 3 Gas chromatogram of the fatty acid in soil sample

## 4 结语

按照设计的前处理方法和仪器工作条件,对7个土壤盲样品中的脂肪酸含量进行测定。实际样品中共鉴定出了22种脂肪酸,其中既有饱和脂肪酸也有不饱和脂肪酸。碳原子数在12个以上的占绝大多数,碳原子数在12个以下的仅测出了C6:0。含量较高的分别为C6:0、a-C15:0、3-OHC14:0、C19:0。该方法在一定的浓度范围内具有良好的线性,精密度、重现性良好,完全能够满足实际样品的测定需要。因此,采用气相色谱法测定土壤中的脂肪酸,实验设计合理,数据准确,结果可靠。

## 5 参考文献

[1] 于树,汪景宽,李双昇.应用PLFA方法分析长期不同施肥处理对玉米地土壤微生物群落结构的影响[J].生态学报,2008,28(9):4221-4227.

[2] 白震,何洪波,张威,解宏图,张旭东,王鸽.磷脂脂肪酸技术及其在土壤微生物研究中的应用[J].生态学报,2006,26(7):2388-2394.

[3] 王曙光,侯彦林.磷脂脂肪酸方法在土壤微生物分析中的应用[J].微生物学通报,2004,31(1):114-117.

[4] 蔡燕飞,廖宗文.FAME法分析施肥对番茄青枯病抑制和土壤健康恢复的效果[J].中国农业科学,2003,36(8):922-927.

[5] 颜备战,胡凯,贾蓉芬.脂肪酸在古土壤和黄土层的分布差异及其环境指示意义[J].江苏地质,1996,20(4):237-241.

[6] 林九皓,谌丽蓉.土壤脂肪酸的油、气化学勘探研究[J].矿物学报,1995,15(1):21-28.

[7] 雷黎立,常国斌,王克华,王存波,陈国宏.安卡鸡肌肉脂肪酸组分的气相色谱-质谱联合分析[J].安徽农业科学,2009,37(13):5819-5820.

[8] 侯冬岩,回瑞华,李铁纯,邢晓燕,刘晓媛,刁全平.稻谷副产品中脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J].分析实验室,2009,28(5):61-63.

[9] 孙伟红,冷凯良,王志杰,宁劲松,王瑜,刘艳萍,翟毓秀.苜蓿的氨基酸和脂肪酸组成研究[J].渔业科学进展,2009,30(2):106-109.

[10] 张治远,赵燕,杨兴斌,吕游.气相色谱-质谱法分析牛至中挥发油与脂肪酸成分[J].医学导报,2009,28(5):549-552.

[11] 彭书明,梁山,何建,雷泞菲,潘丽娟,温爱丹.瓜蒌籽中脂肪酸的气相色谱分析[J].时珍国医国药,2009,20(5):1197-1198.

[12] 刘文长,陶文靖,程丽娅,余兴,田旻,黄勤,李胜生.超声提取-固相萃取小柱净化-气相色谱法测定土壤中14种有机氯农药[J].岩矿测试,2009,28(6):541-544.

[13] 傅伟昌,陈尚卫,顾小红,汤坚,蒋再良.葡萄籽油的脂肪酸分布分析及共轭亚麻酸的鉴定[J].中国油脂,2009,34(5):75-79.

[14] 徐静,陆建平.气相色谱法测定茶叶中的脂肪酸组成[J].化工技术与开发,2009,38(4):39-41.

[15] 祝洪艳,张琪,夏从立,孟祥颖,鲍永利,于春雷,乌垠,李玉新.千金子油理化性质及其脂肪酸和挥发油成分分析[J].分子科学学报,2009,25(2):90-94.

[16] 张永辉,阎萍,梁春年,曾玉峰.青海大通牦牛肌间脂肪酸组成分析[J].农业科技,2009,10(1):148.

[17] 徐竞.兔肉脂肪酸组成的气相色谱法分析[J].肉类工业,2009,336(4):31-32.

[18] 张纵圆,李茂华,张涛.新疆紫花苜蓿籽脂肪酸化学成分的分析[J].光谱实验室,2009,26(2):354-356.

[19] 张述琼,孙毅毅,赵燕.亚麻种子油提取工艺及脂肪酸组成的GC-MS分析[J].药学服务与研究,2009,9(2):134-136.

[20] 侯雪丹,吴培,张毅,许喜林.有机溶剂耐受性酵母细胞的脂肪酸组成分析[J].现代食品科技,2009,25(5):573-576.