

脂肪酸的色谱保留时间规律与质谱特征研究 及其在食品分析中的应用

吴惠勤* 黄晓兰 林晓珊 黄芳 朱志鑫 马叶芬

(中国广州分析测试中心广东省化学危害应急检测技术重点实验室, 广州 510070)

摘要 用石油醚提取食品中的脂肪,经甲酯化反应后,采用 HP-88(100 m \times 0.25 mm, 0.33 μ m)弹性石英毛细管柱分离脂肪酸甲酯的同系物及异构体,GC/MS法测定。研究了不同链长脂肪酸的同系物及异构体的气相色谱出峰顺序,得到其保留时间规律;研究了不同脂肪酸的质谱断裂规律,选择 3 个特征离子来鉴定脂肪酸成分。建立了 3 个特征离子确定脂肪酸碳数及双键数目,色谱保留时间规律确定脂肪酸顺反异构体及双键位置异构体的方法。本法无需标准品即可快速测定脂肪酸同系物及异构体的含量,适用于脂肪酸组成的研究;及油脂、食品中脂肪酸,特别是反式脂肪酸的测定。

关键词 脂肪酸,同系物,顺反异构体,保留时间规律,质谱特征离子,气相色谱,质谱,食品

1 引言

脂肪酸是人体不可缺少的营养成分之一,与健康密切相关的多不饱和脂肪酸有防治心血管疾病的作用。但研究表明,反式脂肪酸(trans-fatty acids, TFAS)却起反作用,它降低了人体中有益的高密度胆固醇的含量,而使有害的低密度胆固醇含量增加,导致心脑血管疾病、动脉阻塞硬化、糖尿病、乳腺癌和老年痴呆症,还可能影响儿童生长发育和神经系统健康^[1]。

丹麦、美国、巴西等国已相继出台对食品中反式脂肪酸的限量规定。然而,目前尚未出台反式脂肪酸的检测标准,也没有理想的方法测定食品中的反式脂肪酸^[2]。

脂肪酸的分析已有许多文献报道^[3~6],但对脂肪酸顺反异构体的分析仅见有油酸及亚油酸的报道^[7,8],而且还需要昂贵的脂肪酸甲酯标准品进行定性。本研究采用气相色谱/质谱技术初步建立了食品中反式脂肪酸的测定方法^[9],并在文献[9]基础上进一步研究了不同链长的脂肪酸同系物、顺反异构体、双键数目及位置不同的异构体的气相色谱保留时间规律,研究了脂肪酸的质谱断裂规律,根据质谱特征离子确定脂肪酸的组成,结合色谱保留时间规律鉴定脂肪酸同系物及各种异构体,建立了无需标样可测定脂肪酸含量的新方法。本方法操作简便、快捷、准确、可靠,适用于脂肪酸组成的研究及油脂、食品中反式脂肪酸含量的测定。

2 实验部分

2.1 仪器及工作参数

2.2.1 GC条件 色谱柱: HP-88(100 m \times 0.25 mm, 0.2 μ m)弹性石英毛细管柱,柱温 170 $^{\circ}$ C,恒温 2 min,以 10 $^{\circ}$ C/min程序升温至 200 $^{\circ}$ C,保持 32 min。进样口温度 250 $^{\circ}$ C,载气 He,柱前压 265 kPa,分流比 10:1,进样量 0.5 μ L。

2.2.2 MS条件 EI离子源,电子能量 70 eV,质量扫描范围 29~450 u,四极杆温度 150 $^{\circ}$ C,离子源温度 230 $^{\circ}$ C,电子倍增器电压 2300 V,GC/MS接口温度 280 $^{\circ}$ C,标准质谱图库 Wiley275.L。

2.2.3 分离与鉴定 酯交换反应得到的脂肪酸甲酯经气相色谱石英毛细管柱分离,质谱仪记录质谱图,得到 GC/MS总离子流图。根据质谱图及标准品的色谱保留时间确定各种脂肪酸异构体成分,并用面积归一化法测定其相对含量。

2006-10-17收稿;2007-02-05接受

* E-mail: wu_hui_qin@tom.com

2.2 脂肪的提取和甲酯化衍生

准确称取脂肪 5 g,以石油醚为溶剂,用索氏提取法提取出脂肪,挥干溶剂,准确称出总脂肪质量,并计算出样品中总脂肪的含量。

按文献 [10, 11] 方法将脂肪酸甘油酯转化为脂肪酸甲酯。取约 0.1 g 提取出的脂肪,置于 10 mL 容量瓶中,加入 1 mL 乙醚-正己烷,摇匀,然后加入 1 mL 无水甲醇,摇匀,再加入 1 mL 0.8 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液,摇动 5 min,加水至刻度,静置分层,取上层溶液进行 GC/MS 测定。

3 结果与讨论

3.1 脂肪酸的色谱分离及保留时间规律

3.1.1 顺反异构体的分离 由于反式和顺式脂肪酸只是立体结构不同,其物理、化学性质非常相似,用常用的 30m FFAP 或 PEG-20M 毛细管柱难以将顺、反式脂肪酸分开。故实验选专用的 HP-88 (100 m × 0.25 mm, 0.2 μm) 弹性石英毛细管柱,摸索出合适的分离条件,可将顺、反式脂肪酸完全分开,并得到脂肪酸顺反异构体的色谱出峰规律:反式脂肪酸先出峰,顺式脂肪酸后出峰(如图 1 所示)。

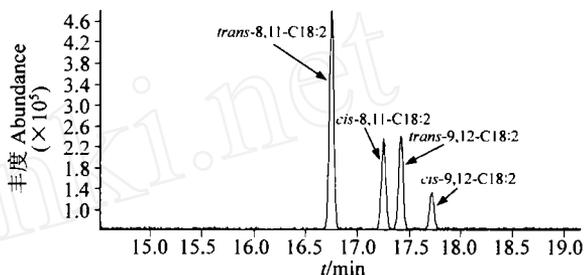


图 1 C18 2 顺反异构体标样的 GC/MS 总离子流色谱图
Fig 1 GC/MS TIC of *cis*, *trans*-C18 2

3.1.2 双键位置不同的异构体分离 研究了含双键位置不同的脂肪酸顺反异构体的分离条件,顺、反式-8,11-十八碳二烯酸,顺、反式-9,12-十八

碳二烯酸的保留时间见表 1, 色谱图见图 1, 获得满意的分离效果。由图 1 可以得出双键位置不同的异构体保留时间规律:离羰基近的异构体,即双键位置数字小的异构体先出峰;离羰基远的,即双键位置数字大的异构体后出峰;两个以上双键,其位数之和小的先出峰,位数之和大的后出峰。

3.2 脂肪酸的质谱特征

3.2.1 饱和脂肪酸的质谱特征 以硬脂酸为例,其质谱图见图 2。质谱断裂机理:硬脂酸甲酯的分子离子峰 m/z 298, 通过麦氏重排, 断裂, 得到离子 m/z 74, 此离子在含有 6~26 个碳原子的脂肪酸甲酯中均为基峰; C-C 键断裂失去烷基 C_3H_7 得到 $[M - 43]$ 的离子 m/z 255; 系列离子为 m/z 43, 55, 74, 87, 101, 143, 199, 255, 298, 其碎裂方式见图 3。由此可得到饱和脂肪酸的特征离子: m/z 74, $[M - 43]^+$, 分子离子峰 $[M]^+$ 。

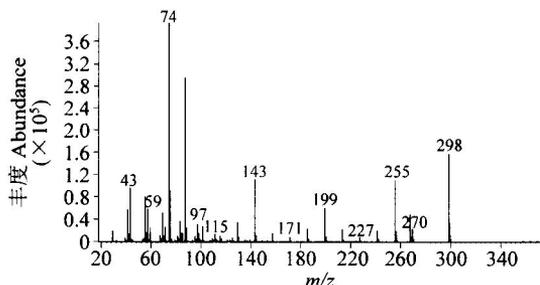


图 2 硬脂酸甲酯质谱图
Fig. 2 Mass spectrum of stearic acid methyl ester

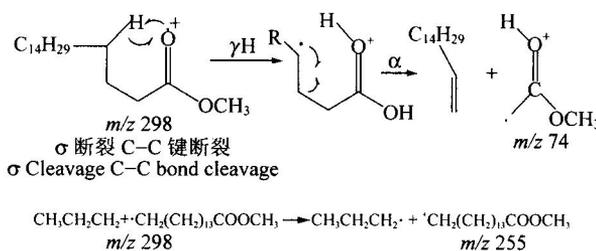


图 3 硬脂酸甲酯碎裂途径
Fig. 3 Cleavage process of stearic acid methyl ester

3.2.2 单不饱和脂肪酸质谱特征 以油酸甲酯为例,其质谱见图 4。质谱断裂机理:油酸甲酯的分子离子峰 m/z 296, 通过 γ -氢转移、 i 诱导断裂,产生 $[M - 32]^+$ 离子 m/z 264; 双键迁移进行 α 断裂产生 $C_4H_7^+$ 离子 m/z 55; 系列离子为 m/z 41, 55, 69, 83, 97, 111, 123, 180, 222, 264, 296, 其碎裂方式见图 5。由此可得到单不饱和脂肪酸的特征离子: m/z 55, $[M - 32]^+$, 分子离子峰。双键位置不同的异构体的质

谱图相同,这是由于双键有活动性的缘故。

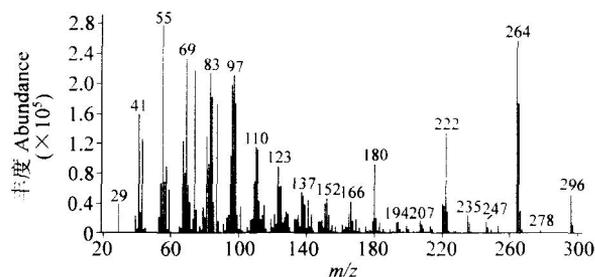


图 4 油酸甲酯(C18:1)质谱图

Fig. 4 Mass spectrum of oleic acid methyl ester

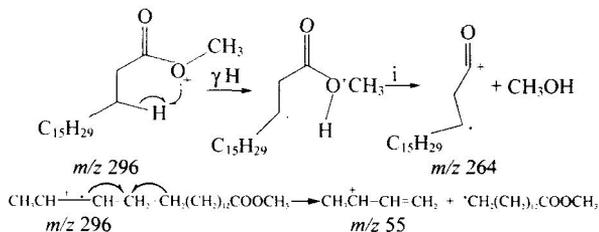


图 5 油酸甲酯碎裂途径

Fig. 5 Cleavage process of oleic acid methyl ester

3.2.3 双不饱和脂肪酸质谱特征 以亚油酸甲酯为例,其质谱见图 6。质谱断裂机理:亚油酸甲酯的分子离子峰 m/z 294,羰基发生 断裂,产生 $[M - 31]^+$;双键迁移进行 断裂产生 $C_5H_7^+$ 离子 m/z 67;系列离子为 m/z 41、55、67、81、95、109、123、263 和 294。由此得到双不饱和脂肪酸的特征离子: m/z 67, $[M - 31]^+$,分子离子峰。双键位置不同的异构体的质谱图基本相同。

3.2.4 多不饱和脂肪酸质谱图特征 以亚麻酸(C18:3)甲酯为例,亚麻酸甲酯的质谱图见图 7。其质谱断裂机理:亚麻酸甲酯的分子离子峰 m/z 292,羰基发生 断裂,产生 $[M - 31]^+$;双键迁移进行 断裂产生 $C_6H_7^+$ 离子 m/z 79;多不饱和脂肪酸的基峰为 m/z 79,系列离子为 m/z 41、55、67、79、95、108、121、236、261 和 292。由此得到多不饱和脂肪酸的特征离子: m/z 79, $[M - 31]^+$,分子离子峰。含 3 个以上双键的基峰离子一般都是 m/z 79,相同双键数目但位置不同的异构体的质谱图相同。

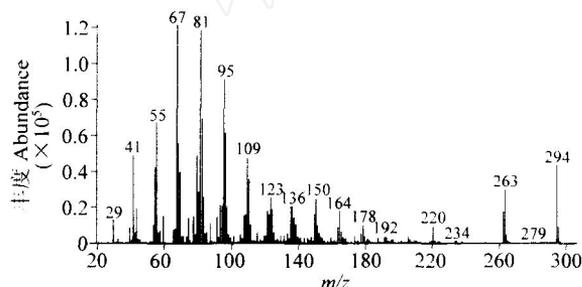


图 6 亚油酸甲酯(C18:2)的质谱图

Fig. 6 Mass spectrum of linoleic acid methyl ester

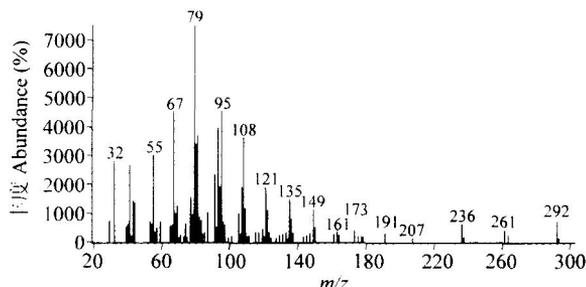


图 7 亚麻酸(C18:3)甲酯的质谱图

Fig. 7 Mass spectrum of linolenic acid methyl ester

EPA(C20:5)甲酯和 DHA(C22:6)甲酯的分子离子峰分别为 m/z 316 和 m/z 342,但随着双键数目增加、碳链增长,分子离子峰强度减弱。双键迁移进行 断裂产生 $C_6H_7^+$ 离子 m/z 79, 断裂产生 $[M - 29]^+$ 峰 m/z 287 和 313,其特征离子: m/z 79, $[M - 29]^+$,分子离子峰。

综上所述,脂肪酸及其顺反异构体的保留时间规律及质谱特征离子见表 1。

表 1 各种脂肪酸甲酯出峰顺序及质谱特征离子

Table 1 Gas chromatographic retention time rule and mass spectrometric characteristic ions of fatty acids methyl esters

出峰顺序 Peak order	脂肪酸 Fatty acids	缩写形式 Abbreviation	双键数目 Double-bond	基峰离子 Basis peak ion (m/z)	特征离子 Characteristic ions
1	癸酸 Decanoic acid	C10:0	0	74	74 143 186
2	月桂酸 Dodecanoic acid	C12:0	0	74	74 171 214
3	肉豆蔻酸 Tetradecanoic acid	C14:0	0	74	74 242 199
4	反-十四碳一烯酸 <i>trans</i> -Tetradecenoic acid	C14:1	1	55	55 208 240
5	顺-十四碳一烯酸 <i>cis</i> -Tetradecenoic acid	C14:1	1	55	55 208 240
6	棕榈酸 Palmitic acid	C16:0	0	74	74 227 270
7	反-十六碳一烯酸 <i>trans</i> -Hexadecenoic acid	C16:1	1	55	55 236 268
8	顺-十六碳一烯酸 <i>cis</i> -Hexadecenoic acid	C16:1	15	55	55 236 268

续表 1 (continued to Table 1)

出峰顺序 Peak order	脂肪酸 Fatty acids	缩写形式 Abbreviation	双键数目 Double-bond	基峰离子 Basis peak ion (m/z)	特征离子 Characteristic ions
9	硬脂酸 Stearic acid	C18 0	0	74	74 255 298
10	反油酸 <i>trans</i> -Oleic acid	C18 1	15	55	55 264 296
11	顺油酸 <i>cis</i> -Oleic acid	C18 1	15	55	55 264 296
12	反,反-亚油酸 <i>trans, trans</i> -Linoleic acid	C18 2	2	67	67 263 294
13	顺,反-亚油酸 <i>cis, trans</i> -Linoleic acid	C18 2	2	67	67 263 294
14	顺,顺-亚油酸 <i>cis, cis</i> -Linoleic acid	C18 2	2	67	67 263 294
15	反,反,反-亚麻酸 <i>trans, trans, trans</i> -Linolenic acid	C18 3	3	79	69 261 292
16	反,反,顺-亚麻酸 <i>trans, trans, cis</i> -Linolenic acid	C18 3	3	79	292 69 261
17	反,顺,顺-亚麻酸 <i>trans, cis, cis</i> -Linolenic acid	C18 3	3	79	69 261 292
18	顺,顺,顺-亚麻酸 <i>cis, cis, cis</i> -Linolenic acid	C18 3	3	79	69 261 292
19	花生酸 Eicosanoic acid	C20 0	0	74	74 283 326
20	反花生烯酸 <i>trans</i> -Eicosanoic acid	C20 1	1	55	55 292 324
21	顺花生烯酸 <i>cis</i> -Eicosanoic acid	C20 1	1	55	55 292 324
22	反,反,反,反-二十碳四烯酸 <i>trans, trans, trans, trans</i> -Arachidonic acid	C20 4	4	79	79 318
23	反,反,反,顺-二十碳四烯酸 <i>trans, trans, trans, cis</i> -Arachidonic acid	C20 4	4	79	79 287 316
24	反,反,顺,顺-二十碳四烯酸 <i>trans, trans, cis, cis</i> -Arachidonic acid	C20 4	4	79	79 287 316
25	反,顺,顺,顺-二十碳四烯酸 <i>trans, cis, cis, cis</i> -Arachidonic acid	C20 4	4	79	79 287 316
26	顺,顺,顺,顺-二十碳四烯酸 <i>cis, cis, cis, cis</i> -Arachidonic acid	C20 4	4	79	79 287 316
27	反,反,反,反,反-二十碳五烯酸 <i>trans, trans, trans, trans, trans</i> -Eicosapentaenoic Acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
28	反,反,反,反,顺-二十碳五烯酸 <i>trans, trans, trans, trans, cis</i> -Eicosapentaenoic Acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
29	反,反,反,顺,顺-二十碳五烯酸 <i>trans, trans, trans, cis, cis</i> -Eicosapentaenoic acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
30	反,反,顺,顺,顺-二十碳五烯酸 <i>trans, trans, cis, cis, cis</i> -Eicosapentaenoic acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
31	反,顺,顺,顺,顺-二十碳五烯酸 <i>trans, cis, cis, cis, cis</i> -Eicosapentaenoic acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
32	顺,顺,顺,顺,顺-二十碳五烯酸 <i>cis, cis, cis, cis, cis</i> -Eicosapentaenoic acid	C20 5 (EPA)	5	79	79 287 316
33	反,反,反,反,反,反-二十二碳六烯酸 <i>trans, trans, trans, trans, trans, trans</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
34	反,反,反,反,反,顺-二十二碳六烯酸 <i>trans, trans, trans, trans, trans, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
35	反,反,反,反,顺,顺-二十二碳六烯酸 <i>trans, trans, trans, trans, cis, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
36	反,反,反,顺,顺,顺-二十二碳六烯酸 <i>trans, trans, trans, cis, cis, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
37	反,反,顺,顺,顺,顺-二十二碳六烯酸 <i>trans, trans, cis, cis, cis, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
38	反,顺,顺,顺,顺,顺-二十二碳六烯酸 <i>trans, cis, cis, cis, cis, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342
39	顺,顺,顺,顺,顺,顺-二十二碳六烯酸 <i>cis, cis, cis, cis, cis, cis</i> -Docosahexaenoic acid	C22 6 (DHA)	6	79	79 313 342

3.3 定性和定量分析方法

3.3.1 根据脂肪酸的质谱特征离子定性 (1)通过基峰可确定不饱和度(即双键数目):基峰 m/z 74 为饱和脂肪酸,基峰 m/z 55 为含 1 个双键不饱和脂肪酸,基峰 m/z 67 为含 2 个双键不饱和脂肪酸,基峰 m/z 79 为含 3 个双键以上不饱和脂肪酸;(2)通过分子离子峰可确定脂肪酸的碳数;(3)再通过 $[M - 43]^+$ 、 $[M - 32]^+$ 、 $[M - 31]^+$ 、重排离子作进一步确证。

3.3.2 根据脂肪酸的色谱保留时间规律定性 (1)不同碳数的脂肪酸:碳数小的先出峰,碳数大的后出峰;(2)相同碳数的脂肪酸:饱和的先出峰,不饱和的后出峰;不饱和度越大(双键数目越多)的越后出

峰; (3) 不饱和脂肪酸双键数目相同而位置不同的异构体: 双键位置数字小的先出峰, 双键位置数字大的后出峰; 两个以上双键, 其位数之和小的先出峰, 位数之和大的后出峰; (4) 碳数相同、双键数目相同而位置也相同的脂肪酸: 反式异构体先出峰, 顺式异构体后出峰; (5) 常见油脂中, 顺式脂肪酸含量明显高于反式。

3.3.3 定量分析 由于脂肪酸同系物的响应值相近, 可用面积归一化法测定出各反式脂肪酸的相对含量来表示其含量。食品中的脂肪酸含量, 先用索氏提取方法测得总脂肪的含量, 再乘以脂肪酸相对百分含量, 即可得到样品中脂肪酸含量。

3.4 实际样品分析

本方法已应用于大量不同类型食品分析。结果表明: 某些梳打饼干、凤梨酥、薯片、蛋卷、人造黄油、方便面、冷冻食品、烘焙食物中的反式脂肪酸含量较高, 一般常用的人造奶油、酥烤类食品中所含的反式脂肪酸较多。这是因为氢化油可以让蛋糕、面包、印度薄饼和蛋黄派等食物变得松软、口感独特, 让快餐中的炸鸡和炸薯条变得更加香脆。反式脂肪酸含量较高的部分食品见表 2, 某人造奶油脂肪酸甲酯总离子流图见图 8。

表 2 几种食品中反式脂肪酸的含量

序号 No	食品 Food	反式脂肪酸 Content of trans-fatty acid (w/%)		反式脂肪酸总量 Total content of trans-fatty acid (w _t /%)
		C18 1 n-9	C18 2 n-9, 12	
1	人造奶油 Butterine	2.02	—	2.02
2	梳打饼干 Soda biscuit	17.6	—	17.6
3	氢化油 Hydrogenation oil	—	37.1	37.1
4	起酥油 Oleo Margarine	—	1.08	1.08
5	氢化棕榈油 Hydrogenation Palm oil	1.15	0.99	2.14
6	月饼 Moon cake	0.16	0.23	0.39
7	曲奇饼 Cookie	1.10	0.27	1.37
8	鲜炸鲮鱼 Fresh fry Mud carp	—	2.02	2.02
9	薯条 Potato piece	—	0.37	0.37
10	红油辣椒酱 Red oil pimiento soy	0.27	0.21	0.48

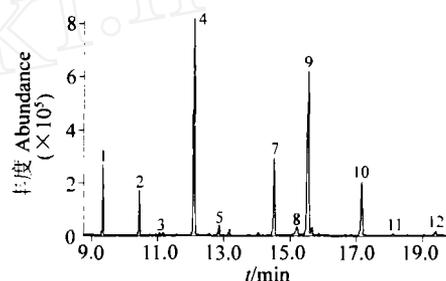


图 8 某人造奶油脂肪酸甲酯总离子流图

Fig 8 GC/MS TIC of fatty methyl ester in butterine
Peak: 1. C12 0; 2. C14 0; 3. C15 0; 4. C16 0; 5. C16 1;
6. C17 0; 7. C18 0; 8. C18 1 (trans); 9. C18 1 (cis);
10. C18 2; 11. C20 0; 12. C18 3.

4 结 论

本研究总结了脂肪酸同系物及异构体的气相色谱出峰顺序, 得到其保留时间规律; 研究总结了不同脂肪酸的质谱断裂规律。建立了 3 个质谱特征离子鉴定脂肪酸的方法; 根据色谱保留时间、质谱特征确定脂肪酸异构体。本方法分离效果好, 无需标准品即可直接测定样品中顺反式脂肪酸异构体的含量。操作简便、快速, 结果可靠, 适用于测定各种食品中脂肪酸同系物及异构体的含量。

References

- 1 Yan Hong (颜 红). *Chinese Journal of Frontier Health and Quarantine* (中国国境卫生检疫杂志), **2000**, 23 (3): 175 ~ 178
- 2 Zhang Shaoliang (张绍良), Liu Jun (刘 军), Liu Wenjian (刘文剑). *Food Science and Technology* (食品科技), **2005**: 40 ~ 41
- 3 Dimitrios T, Masayuki S, Gorig B. *J. Chromatogr B*, **2003**, 784: 351 ~ 365
- 4 Guo Cheng (郭 澄), Wei Daozhi (魏道智). *Chinese J. Anal. Chem.* (分析化学), **2006**, 34: S15 ~ S18
- 5 Wang Dongcheng (汪东成), Wei Yuying (卫煜英), Yuan Peilin (袁培林), Cao Yanping (曹艳平). *Chinese J. Anal. Chem.* (分析化学), **2002**, 30 (5): 634

- 6 Xie Baomin(谢宝民). *China Oils and Fats*(中国油脂), 1997, 22(4): 40~41
- 7 Bao Zhongding(鲍忠定), Qin Zhirong(秦志荣), Gu Xiuying(顾秀英), Xu Rongnian(许荣年), Huang Jianying(黄建颖). *Science and Technology of Food Industry*(食品工业科技), 2005(3): 176~177
- 8 Huang Jie(黄杰). *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*(中国卫生检验杂志), 2005, 15(9): 1054~1056
- 9 Wu Huiqin(吴惠勤), Huang Xiaolan(黄晓兰), Lin Xiaoshan(林晓珊), Huang Fang(黄芳), Zhi Zhixin(朱志鑫), Ma Yefen(马叶芬). *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*(质谱学报), 2006, 27(Suppl): 71~72
- 10 Cheng Zhiqing(程志青), Wu Huiqin(吴惠勤), Zhang Guiying(张桂英). *Journal of Instrumental Analysis*(分析测试学报), 1989, 8(6): 11~14
- 11 Wu Huiqin(吴惠勤), Cheng Zhiqing(程志青). *J. Instrumental Analysis*(分析测试学报), 1991, 10(1): 18~51

Gas Chromatographic Retention Time Rule and Mass Spectrometric Fragmentation Rule of Fatty Acids and Their Application in Food Analysis

Wu Hui-Qin^{*}, Huang Xiao-Lan, Lin Xiao-Shan, Huang Fang, Zhu Zhi-Xin, Ma Ye-Fen
(Guangdong Provincial Key Laboratory of Emergency Test for Dangerous Chemical,
China National Analytical Centre of Guangzhou, Guangzhou 510070)

Abstract The fat in food samples was extracted using Soxhlet technique, and in-vial derivatised to their corresponding methyl ester and subsequently analysed by GC/MS. Sufficient separation for the homologous and isomers of methyl esters of fatty acids was obtained with HP-88 capillary column. The gas chromatographic retention time rule and mass spectrometric fragmentation rule of homologues and isomers of fatty acids methyl esters were studied. A novel method that can ascertain carbon atom number and double bond number in fatty acids using 3 characteristic ions, as well can confirm cis-trans isomers and double-bond positional isomers based on retention time rule was established. Using this method, contents of homologues and different kinds of isomers of fatty acids can be determined without standards. This method can be applied to the investigation of the compositions of fatty acids, especially trans-fatty acid, and the determination of fatty acids in lipid and food samples. The method is accurate, reliable and convenient. It has been applied to the quantitative determination of the content of trans-fatty acid in food samples.

Keywords Fatty acids, homologues, cis-, trans-isomers, retention time rule, mass characteristic ions, gas chromatography/mass spectrometry, food

(Received 17 October 2006; accepted 5 February 2007)

《手性气相色谱法》 环糊精衍生物为固定相

该书详细介绍了一些用作手性气相色谱毛细管固定相的重要的环糊精衍生物,包括制备方法、涂敷特性、手性选择性和可能的分离机制。对于所谓低流失的化学键合的环糊精衍生物柱,特别是改良的固载化工艺技术也作了详细的阐述。从手性分离的角度讨论分离参数的控制、定性定量误差和实现分离最优化的策略。该书为从事手性分离的研究人员和大专院校的化学、药物、生化等专业师生阅读参考,也可作药品、精细化工、环境保护、石油化工等行业从事手性分离的工作者的工具书。

该书由金恒亮编著,化学工业出版社出版,定价 35.00元。