

# $\beta$ -紫罗兰酮热裂解行为的初步探讨\*

赵瑞峰<sup>1</sup>, 程 侠<sup>2</sup>, 叶荣飞<sup>1</sup>, 林 翔<sup>1</sup>, 饶国华<sup>1</sup>

(1. 广东中烟工业有限责任公司技术中心, 广东 广州 510385;

2. 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 采用在线热裂解-气相色谱/质谱(Py-GC/MS)联用技术研究了在氦气氛围中 $\beta$ -紫罗兰酮在300、400、500、600、700、800℃下的热裂解行为, 结果表明: ① $\beta$ -紫罗兰酮可以裂解生成48种物质; ②在600℃以下只有10.765%的 $\beta$ -紫罗兰酮发生裂解; 在700、800℃裂解加剧, 有18.149%和21.286%的 $\beta$ -紫罗兰酮发生裂解; ③同时随着裂解温度的升高, 形成的危害性芳香烃类化合物的相对含量也逐渐增大。此外, 根据主要裂解产物对 $\beta$ -紫罗兰酮的裂解机理进行了初步探讨。

**关键词:**  $\beta$ -紫罗兰酮; 热裂解; Py-GC/MS; 烟用添加剂

中图分类号: O621.15 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2014)02-0088-06

## Investigation of Pyrolysis Behavior of $\beta$ -Ionone by on-line Pyrolysis-gas Chromatography/mass Spectrometry

ZHAO Ruifeng<sup>1</sup>, CHENG Xia<sup>2</sup>, YE Rongfei<sup>1</sup>, LIN Xiang<sup>1</sup>, RAO Guohua<sup>1</sup>

(1. Technical Center of China Tobacco Guangdong Industrial Co. Ltd., Guangzhou 510385, China;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:**  $\beta$ -Ionone was pyrolyzed under helium atmospheres at 300, 400, 500, 600, 700 and 800 °C respectively, and the pyrolysates were analyzed by on-line gas chromatography /mass spectrometry (GC/MS). The results showed that (1) Forty-eight substances were detected from the pyrolysates at 800 °C; (2) At 600 °C only 10.765% of  $\beta$ -ionone was pyrolyzed. The pyrolysis reaction became more intensive at 700 and 800 °C, 18.149% and 21.286% of  $\beta$ -ionone was pyrolyzed; (3) the percentage of aromatic compounds increased with the increase of pyrolysis temperature. The possible pyrolysis mechanism of  $\beta$ -ionone was preliminarily investigated based on the major pyrolysates.

**Key words:**  $\beta$ -Ionone; pyrolysis behavior; Py/GC-MS; tobacco additive

$\beta$ -紫罗兰酮( $\beta$ -Ionone), 又名香堇酮, 天然存在于紫罗兰、玫瑰花、番茄等植物中。 $\beta$ -紫罗兰酮作为一种重要的香料组分, 广泛应用于精细化工、制药及香料工业。 $\beta$ -紫罗兰酮有紫罗兰香气, 且带有比 $\alpha$ -紫罗兰酮更为鲜明的柏木香韵, 香气独特, 因此可有效丰富烟香、降低刺激性、掩盖杂气、改善余味, 使吸味更加柔和、津润, 具有较高的应用价值<sup>[1]</sup>。

热裂解-气相色谱/质谱(PY-GC/MS)技术

用于烟草单体添加剂的研究国外曾有报道<sup>[2-4]</sup>, 国内把这种技术用于研究烟草香料的文献已见报道<sup>[5-7]</sup>。目前关于 $\beta$ -紫罗兰酮的研究很多<sup>[8-11]</sup>, 但是 $\beta$ -紫罗兰酮的热裂解研究鲜见报道。为此我们采用在线热裂解-气相色谱/质谱联用技术, 研究了在氦气氛围中 $\beta$ -紫罗兰酮在300、400、500、600、700、800℃下的热裂解行为, 旨在为 $\beta$ -紫罗兰酮在卷烟加香研究中的应用提供指导。

\* 收稿日期: 2013-09-10

作者简介: 赵瑞峰(1976年生), 男; 研究方向: 烟草化学及烟草香味化学; E-mail: zhaorf@gdzygy.com

## 1 实验部分

### 1.1 试剂和仪器

试剂: *E*- $\beta$ -紫罗兰酮样品; 无水乙醇 (国产分析纯)。

仪器: 7890A - 5975C 气相色谱-质谱联用仪 (美国, Agilent); Frontier PY-2020iD 型热裂解仪 (日本, Frontier); CP225D 型电子分析天平 (德国, Sartorius); 50 mL 容量瓶。

### 1.2 实验条件与方法

气相色谱条件, HP-5MS 毛细管色谱柱 (30 m  $\times$  0.25 mm, 0.25 m); 进样口温度 -50  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 0.5 min, 以 900  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 300  $^{\circ}\text{C}$ ; 载气 He (纯度为 99.999%), 流速为 1 mL/min, 分流比 100:1; 升温程序, 40  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 5 min, 以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 240  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 3 min, 以 20  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升至 280  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 2 min; 质谱条件, 电子轰击离子源 (EI), 电子能量 70 eV, 离子源温度 230  $^{\circ}\text{C}$ , 四级杆温度 150  $^{\circ}\text{C}$ , 扫描范围 35 ~ 550 amu, 传输线温度 280  $^{\circ}\text{C}$ 。

称取 0.5 g  $\beta$ -紫罗兰酮样品, 用乙醇稀释至 10 mg/mL 得  $\beta$ -紫罗兰酮标准样品。用液体进样针 (10  $\mu\text{L}$ ) 吸取 1  $\mu\text{L}$   $\beta$ -紫罗兰酮标准样品, 然后从液体进样口进样, 把样品注入裂解室中, 分别在 300、400、500、600、700 和 800  $^{\circ}\text{C}$  下进行瞬间裂解, 裂解产物被氦气导入 GC-MS 中进行分离和鉴定, 通过 WILEY 09 与 NIST 08 自动检索, 并用峰面积归一化法进行半定量分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\beta$ -紫罗兰酮热裂解产物的定性与半定量分析

$\beta$ -紫罗兰酮在各个温度下的裂解产物列于表 1。

$\beta$ -紫罗兰酮 300、600 和 800  $^{\circ}\text{C}$  热裂解产物的总离子流色谱图如下图 1。

### 2.2 裂解产物的分析

$\beta$ -紫罗兰酮在 300、400、500、600、700 和 800  $^{\circ}\text{C}$  条件下裂解所得的产物中, 共鉴定出 48 种化学组分, 其具体分类见表 2, 主要包含以下几类物质: ① 酮类化合物, 共 9 种, 其中  $\beta$ -紫罗兰酮与  $\alpha$ -紫罗兰酮, 在裂解产物中的相对含量最高; ② 烯炔类化合物, 共 5 种, 主要包括 3, 3-二甲基-6-亚甲基-1-环己烯、 $\alpha$ -紫罗烯等; ③ 芳香烃化合物, 共 34 种, 主要包括乙苯、间二甲苯、茚、萘及其同系物等。

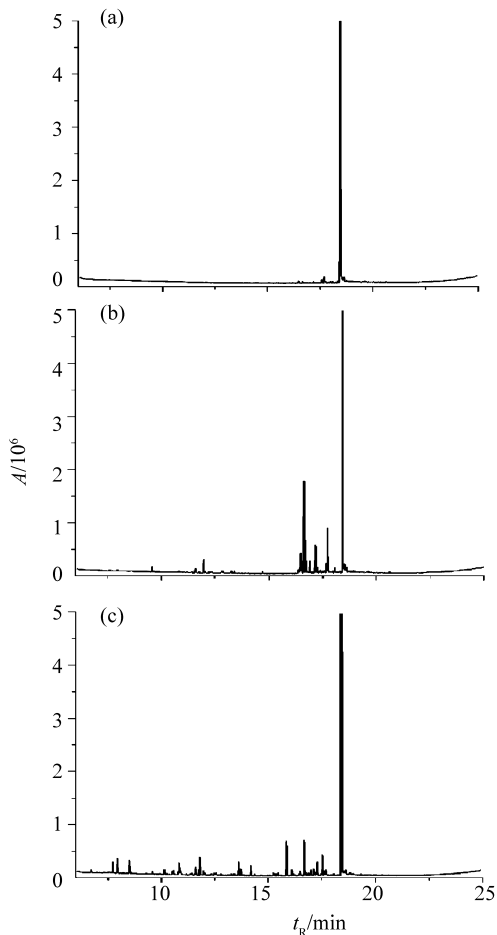


图 1  $\beta$ -紫罗兰酮裂解的总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatograph of pyrolysates of  $\beta$ -ionone (a) 300  $^{\circ}\text{C}$ ; (b) 600  $^{\circ}\text{C}$  (c) 800  $^{\circ}\text{C}$

在 300  $^{\circ}\text{C}$  裂解时, 检测到  $\beta$ -紫罗兰酮 (**42**) 和 *E*- $\alpha$ -紫罗兰酮 (**40**) 2 种, 后者是前者异构化作用的产物。

在 400  $^{\circ}\text{C}$  裂解时, 除检测到 **42** 和 **40** 外, 还有 (4*E*)-4-(2, 6, 6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮 (**2**) (**35-2**) 和 *Z*- $\beta$ -紫罗兰酮 (**31**) 2 种。

在 500  $^{\circ}\text{C}$  的裂解产物, 除检测到 **42**、**40**、**35-2** 和 **31** 4 种物质外, 新检测到  $\alpha$ -紫罗烯 (**32**)、*Z*- $\alpha$ -紫罗兰酮 (**33**) 和 (4*Z*)-4-(2, 6, 6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮 (**1**) (**41-1**) 3 种。

在 600  $^{\circ}\text{C}$  裂解时, 检测到的产物又增加 5 种, 1, 3, 3-三甲基-2-乙炔基-1-环己烯 (**12-1**)、1, 3, 3-三甲基-2-乙炔基-1-环己烯 (**12-2**)、(4*E*)-4-(2, 6, 6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮 (**1**) (**35-1**)、1, 7-二甲基萘 (**39**) 和 (4*Z*)-4-(2, 6, 6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮 (**2**) (**41-2**)。其中 **12-1**、**12-2** 和 **39** 是由  $\beta$ -紫罗兰酮发生断键裂解重排产生的。

表 1  $\beta$ -紫罗兰酮在各个温度下的裂解产物  
Table 1 Pyrolysates of  $\beta$ -ionone at different temperatures

序号	$t_R$ /min	化合物	匹配度 /%	不同温度( $\theta/^\circ\text{C}$ )下的归一化百分含量/%					
				300	400	500	600	700	800
1	7.735	乙苯	97					0.198	0.772
2	7.938	间二甲苯	97					0.715	1.230
3	8.503	苯乙烯	95						1.301
4	10.126	间乙基甲苯	92					0.179	0.407
5	10.514	邻乙基甲苯	92					0.169	0.219
6	10.575	丙烯基苯	85					0.210	0.321
7	10.815	邻甲基苯乙烯	93					0.687	1.221
8	10.938	3,3-二甲基-6-亚甲基-1-环己烯	88					0.137	0.312
9	11.172	对烯丙基甲苯	88					0.114	0.088
10	11.356	异丙苯	86						0.098
11	11.436	间甲基苯乙烯	89					0.103	0.095
12-1	11.565	1,3,3-三甲基-2- 乙烯基-1-环己烯(1)	87				0.169	0.200	0.079
13	11.608	2,3-二氢茛	93					0.482	0.508
14	11.799	茛	93					0.214	1.081
12-2	11.959	1,3,3-三甲基-2- 乙烯基-1-环己烯(2)	93				0.474	0.639	0.260
15	12.045	3-甲基-4-亚甲基二环 [3.2.1]辛-2-烯	80					0.313	0.196
16	12.463	对烯丙基甲苯	75						0.233
17	12.567	3-甲基苯酚	88						0.151
18	12.789	对乙基异丙苯	84					0.134	0.076
19	12.838	1,2,4-三甲基-5-乙基苯	81					0.215	0.116
20	13.256	2,6-二甲基苯乙烯	78					0.147	0.085
21	13.557	1,3-二甲基-3-乙烯基-1, 3-环己二烯	88					0.137	
22	13.607	1,4-二氢萘	89					0.265	0.819
23	13.705	1-甲基茛	89					0.208	0.628
24	14.185	萘	95						0.657
25	14.357	3-甲基苯乙酮	86					0.090	0.109
26-1	15.211	4-甲基-1,2-二氢萘(1)	93					0.088	0.160
27	15.279	1,2,3,4-四氢-1,1-二甲基萘	89					0.190	0.221
28	15.39	3-甲基-1,2-二氢萘	78						0.167
26-2	15.457	4-甲基-1,2-二氢萘(2)	93					0.158	0.222
29	15.82	2-甲基萘	93					0.220	2.061
30	16.066	1-甲基萘	95						0.347
31	16.478	Z- $\beta$ -紫罗兰酮	90		0.532	1.255	1.761	0.639	0.486
32	16.656	$\alpha$ -紫罗烯	96			0.249	3.241	6.965	2.074
33	16.73	Z- $\alpha$ -紫罗兰酮	88			0.667	1.168	0.395	0.232
34	16.814	1,2,3-三甲基茛	90					0.229	0.135
35-1	16.902	(4E)-4-(2,6,6-三甲基-2- 环己烯-1-亚基)-2-丁酮(1)	81				0.430	0.235	0.131
36	16.994	1,1,3-三甲基-2,3-二氢茛	89					0.746	0.393
35-2	17.161	(4E)-4-(2,6,6-三甲基-2- 环己烯-1-亚基)-2-丁酮(2)	84		0.598	1.178	1.153	0.402	0.575
37	17.302	1,6-二甲基萘	95					0.277	0.863
38	17.505	1,4-二甲基萘	92						0.132

续上表

序号	$t_R$ /min	化合物	匹配度 /%	不同温度( $\theta$ /°C)下的归一化百分含量/%					
				300	400	500	600	700	800
39	17.554	1,7-二甲基萘	96				0.110	0.392	1.182
40	17.695	E- $\alpha$ -紫罗兰酮	92	0.447	0.442	0.419	0.401	0.264	0.238
41-1	17.732	(4Z)-4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮(1)	79			0.335	1.639	0.843	0.291
41-2	18.077	(4Z)-4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮(2)	80				0.212	0.144	0.113
42	18.464	$\beta$ -紫罗兰酮	97	99.553	98.423	95.623	89.235	81.851	78.714
43	18.931	六甲基苯	73					0.142	0.138
44	19.325	1,2,3,4-四甲基-5-异丙基苯	80					0.165	0.052

表 2 E- $\beta$ -紫罗兰酮在各个温度下裂解产物的质量分数表Table 2 Variety of the pyrolysates of  $\beta$ -ionone at different temperatures

$\theta$ /°C	$\beta$ -紫罗兰酮检测 出质量分数/%	$\beta$ -紫罗兰酮发生裂 解质量分数/%	w/%					
			非芳香物质 <sup>1)</sup>	苯系物质	萘系物质	茚系物质	芳香物质	
300	99.553	0.447	0.447					
400	98.423	1.572	1.572					
500	95.623	4.103	3.854	0.249				0.249
600	89.235	10.765	7.401	3.241	0.110			3.351
700	81.851	18.149	4.447	10.233	1.590	1.879		13.702
800	78.714	21.286	2.913	6.712	6.831	2.745		16.288

1)  $\beta$ -紫罗兰酮本身除外

随着裂解温度的升高,裂解程度加深,检测到的产物种类明显增加。在 700 °C 裂解的裂解产物共检测到 39 种裂解产物(不包括 42)。同时检测到危害性较强的苯系、茚系和萘系产物的种类和相对含量明显增加。

在 800 °C 裂解时,共检测到 46 种裂解产物(不包括 42),未检测到 1,3-二甲基-3-乙炔基-1,4-环己二烯(21),可能是因为不够稳定,此环境下裂解为其他产物的原因。

### 2.3 重现性试验

分别在 300 °C、600 °C 和 800 °C 下进行 3 次平行实验,选取热裂解产物中相对含量较高的 5 种组分 42、40、33、32、12-2,计算其在典型裂解温度下含量的相对标准偏差(RSD)。结果如表 3 所示,RSD 最大为 4.621%,表明本实验方法重复性较好。

### 2.4 $\beta$ -紫罗兰酮裂解为其他烯炔类物质机理的初步探讨

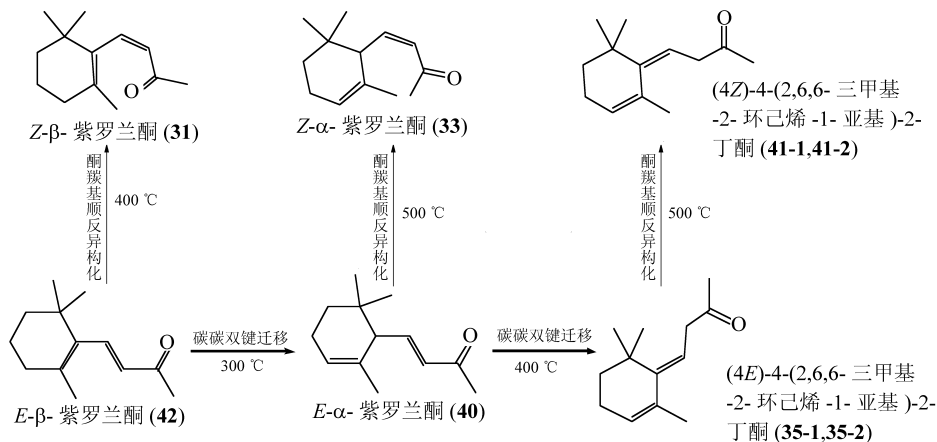
$\beta$ -紫罗兰酮可裂解为  $\alpha$ -紫罗兰酮、 $\alpha$ -紫罗烯、1,3,3-三甲基-2-乙炔基-1-环己烯等香味物质还有其他有害物质。它们的形成可能经过了降解、环化、重排、异构化、脱氢、脱甲基等反应,机理非常复杂。根据  $\beta$ -紫罗兰酮的裂解产物, $\beta$ -紫罗兰酮的裂解方式分析如下。

表 3  $\beta$ -紫罗兰酮挥发性裂解产物重现性试验结果Table 3 Reproducible test results of the pyrolysates of  $\beta$ -ionone at different temperatures

裂解组分	不同温度/°C RSD/% (n=3)		
	300	600	800
$\beta$ -紫罗兰酮(42)	1.131	1.513	2.587
Z- $\alpha$ -紫罗兰酮(33)	3.468	4.038	4.621
$\alpha$ -紫罗烯(32)	-	3.119	0.871
E- $\alpha$ -紫罗兰酮(40)	-	2.736	2.984
1,3,3-三甲基-2-乙炔基-1-环己烯(12-2)	-	3.235	4.372

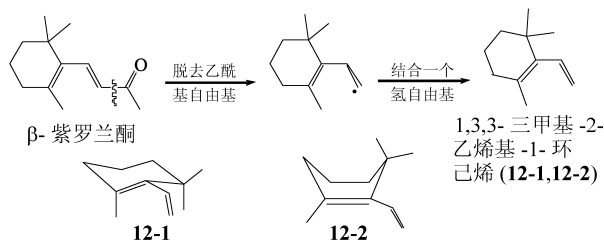
“-”代表未检出

2.4.1 E- $\beta$ -紫罗兰酮的分子内异构化 在 300 ~ 500 °C 时裂解,主要是发生双键的位置迁移和双键顺反异构化(图 2)。由于化合物 35 和 41 还有不同的顺反结构形式存在,可以表现出不同的分子极性,所以可以检测出它们有不同的保留时间(35-1、35-2 和 41-1、41-2)。300 °C 时 40 发生双键位置异构化产生 42; 400 °C 时 40 又发生双键位置异构化产生 41-1 和 41-2,可见这种反应很容易发生。相比较而言,双键的顺反异构化需在 400 °C 以上完成,要困难些。

图 2  $\beta$ -紫罗兰酮的分子异构化裂解Fig. 2 Isomerization-pyrolysis of  $\beta$ -ionone

由于化合物 **35** 和 **41** 还有不同的顺反结构形式存在, 标记为化合物 **35-1**、**35-2**、**41-1** 和 **41-2**, 它们表现出不同的分子极性, 所以它们表现出不同的保留时间。

2.4.2  $\beta$ -紫罗兰酮的脱羰基裂解  $E$ - $\beta$ -紫罗兰酮脱去乙酰基自由基后结合一个氢自由基得到 **12-1** 和 **12-2** (图 3)。

图 3  $\beta$ -紫罗兰酮脱去羰基的裂解Fig. 3 Decarbonylation-pyrolysis of  $\beta$ -ionone

2.4.3  $\beta$ -紫罗兰酮裂解产物的分子内重排产物

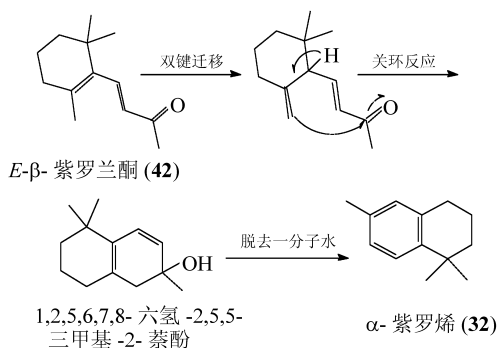
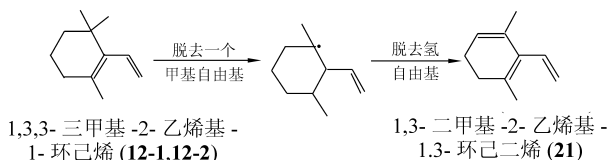
$E$ - $\beta$ -紫罗兰酮脱去一个氢自由基产物可以发生分子内重排, 先后经过关环、结合氢自由基、脱去羟基自由基和氢自由基得到  $\alpha$ -紫罗烯 (**32**) (图 4)。

在裂解混合物中,  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  就检测到 **32**, 占混合物的  $0.249\%$ ,  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  时上升到  $3.241\%$ ,  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  时达到最大值  $6.965\%$ , 说明该反应比较容易进行。

2.4.4  $\beta$ -紫罗兰酮裂解产物的深度裂解  $\beta$ -紫罗兰酮裂解先形成 **12-1** 和 **12-2**, 随后通过脱去一个甲基进一步裂解形成 **21** (图 5), 而 **21** 的形成裂解形成苯系物提供了原料 (图 6)。

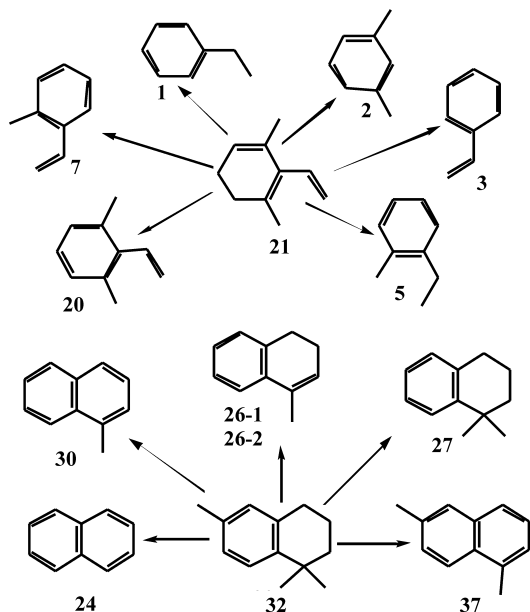
**32** 为萘系物的形成提供了原料 (图 6)。

有关萘类化合物的形成可能途径, 还需要进一步的工作确证。

图 4  $\beta$ -紫罗兰酮裂解形成  $\alpha$ -紫罗烯Fig. 4 Formation of  $\alpha$ -ionene by the pyrolysis of  $\beta$ -ionone图 5  $\beta$ -紫罗兰酮脱去羰基的裂解Fig. 5 Decarbonylation-pyrolysis of  $\beta$ -ionone

### 3 结论

卷烟热解蒸馏区的温度大约在  $200\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间, 烟气的大部分成分主要在这个区域产生。在试验中选取的  $700\sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $500\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$  分别相当于卷烟燃吸燃烧区、裂解区和蒸馏区。采用 Py-GC/MS 技术研究了在氦气氛围中  $\beta$ -紫罗兰酮在  $300$ 、 $400$ 、 $500$ 、 $600$ 、 $700$ 、 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  下的热裂解行为。其结果表明, 在  $300\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$  时最高只有  $1.572\%$  的  $\beta$ -紫罗兰酮发生转变, 形成  $Z$ - $\beta$ -紫罗兰酮、 $E$ - $\alpha$ -紫罗兰酮和  $(4E)$ -4-(2,6,6-三

图 6  $\beta$ -紫罗兰酮的深度裂解形成的产物Fig. 6 Pyrolysates of the depth pyrolysis of  $\beta$ -ionone

甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-丁酮; 500  $^{\circ}\text{C}$  时有 4.103% 的  $\beta$ -紫罗兰酮发生转变, 非芳香物质检出总量为 3.854%, 开始有苯系物质  $\alpha$ -紫罗烯形成; 600  $^{\circ}\text{C}$  时有 10.765% 的  $\beta$ -紫罗兰酮发生裂解, 非芳香物质检出总量为 7.401% (达到最大值), 同时萘系物开始检出; 随温度升高,  $\beta$ -紫罗兰酮裂解程度加深, 产物变得复杂。700  $^{\circ}\text{C}$  时有 18.149%  $\beta$ -紫罗兰酮发生裂解, 非芳香物质检出总量仅为 4.447%, 开始下降, 同时茛系物开始检出, 三类有害物质总检测量达到 13.702%。结果说明  $\beta$ -紫罗兰酮及其非芳香物质裂解物在高于 700  $^{\circ}\text{C}$  时变得很不稳定; 三类有害物质形成的先后顺序为苯系物、萘系物和茛系物。800  $^{\circ}\text{C}$  时有 21.286% 的  $\beta$ -紫罗兰酮发生裂解, 非芳香物质检出总量下降到 2.913%, 三类有害物质总检测量达到 16.288%。结果进一步证明了上面的结论。

## 参考文献:

- [1] 毛多斌, 马宇平, 梅业安. 卷烟配方和香精香料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 11-21.
- [2] BAKER R R, BISHOP L J. The pyrolysis of tobacco ingredients[J]. *J Anal Appl Pyrolysis*, 2004, 71(1): 223-311.
- [3] SHIN E J, HAJALIGO M R, ANAL F R J. Characterizing biomatrix materials using pyrolysis molecular beam mass spectrometer and pattern recognition[J]. *J Anal Appl Pyrolysis*, 2003, 68/69: 213-229.
- [4] VAHUR OJA, MOHAMMAD R HAJALIGOL, BRUCE E WAYMACK. The vaporization of semi-volatile compounds during tobacco pyrolysis[J]. *J Anal Appl Pyrolysis*, 2006, 76: 1217-1231.
- [5] RICHARD R BAKER, EIAN D MASSEY, GRAHAM SMITH. An overview of the effects of tobacco ingredients on smoke chemistry and toxicity[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2004, 42S: S53-S83.
- [6] 倪朝敏, 毛多斌, 吴亿勤, 等. 柚皮浸膏及其裂解产物挥发性成分分析[J]. *烟草科技*, 2009, (6): 38-45.
- [7] 缪恩铭, 耿永勤, 杨叶昆, 等. 几种烟用香精香料热裂解产物、挥发性成分的分析比较[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(14): 8205-8209.
- [8] ANA P, MARIANA U, FRANCISCO F, et al. Cleavage of  $\beta$ -carotene for microorganisms isolated in Brazil-A production of  $\beta$ -ionone[J]. *Journal of Biotechnology*, 2007, 131(2): 2452-2451.
- [9] 高茜, 向能军, 沈宏林, 等. 微炉裂解气相色谱-质谱联用法研究  $\alpha$ -紫罗兰酮的热裂解行为及产物[J]. *中国烟草学报*, 2009(1): 16-21.
- [10] CHRISTOPH NACKE, SONJA HÜTTMANN. Enzymatic production and in situ separation of natural  $\beta$ -ionone from  $\beta$ -carotene[J]. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 2012, 39(12): 1771-1778.
- [11] SUSANNE BALDERMANN, MASAYA KATO. Biosynthesis of  $\alpha$ - and  $\beta$ -ionone, prominent scent compounds, in flowers of *Osmanthus fragrans*[J]. *The Journal of the Polish Biochemical Society and of the Committee of Biochemistry and Biophysics Polish Academy of Science*, 2012, 59(1): 79-81.