

# 取代芳烃电解氧化产物的 GC- MS 分析( II)

毕良武<sup>1</sup>, 刘先章<sup>1</sup>, 许鹏翔<sup>2</sup>, 赵振东<sup>1</sup>, 储富祥<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林产化学工业研究所, 江苏 南京 210042;

2. 厦门大学 化学系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 采用 GC- MS 方法, 分析了 3 种取代芳烃直接电解氧化的产物; 从甲苯电解氧化产物中鉴定出 7 种主要成分, 从对甲基苯甲醚电解氧化产物中鉴定出 6 种主要成分, 从对叔丁基甲苯电解氧化产物中鉴定出 6 种主要成分; 根据成分鉴定和含量测定结果, 解释了以获取目标产物苯甲醛、对甲氧基苯甲醛和对叔丁基苯甲醛为目的的电解氧化反应要求。

**关键词:** 取代芳烃; 电解氧化; 气相色谱- 质谱

**中图分类号:** O657. 63; O625. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004- 4957(2004) 02- 0072- 03

## Analysis of Electrolytic- oxidation Products of Substituted Aromatics by GC- MS ( II)

BI Liang\_wu<sup>1</sup>, LIU Xian\_zhang<sup>1</sup>, XU Peng\_xiang<sup>2</sup>, ZHAO Zhen\_dong<sup>1</sup>, CHU Fu\_xiang<sup>1</sup>

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, Chinese Academy of Forestry, Nanjing 210042, China;

2. Department of Chemistry, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** The GC- MS analyses of electrolytic- oxidation products of three substituted aromatic compounds are reported in this paper. Seven, six and six major constituents have been identified in the electrolytic- oxidation products of toluene, *p*-methyl anisole and *p*-*tert*-butyl toluene, respectively. Since the required target products of electrolytic oxidation for the above three substituted aromatic compounds are benzaldehyde, 4-methoxy benzaldehyde and *p*-*tert*-butyl benzaldehyde, our findings on the yields of the oxidation products have been discussed in terms of the extent of electrolysis.

**Key words:** Substituted aromatics; Electrolytic oxidation; GC- MS

作者已对两种取代芳烃——对异丙基甲苯和对二甲苯的直接电解氧化产物进行了 GC- MS 分析<sup>[1]</sup>。本文在前文的基础上, 再分别对另外 3 种取代芳烃——甲苯、对甲基苯甲醚和对叔丁基甲苯的直接电解氧化产物进行分析。

通过对上述 3 种取代芳烃电解氧化反应产物中各成分的鉴定和含量测定, 可以提高对取代芳烃直接电解氧化反应的全面认识, 并实现对电解氧化反应深度的跟踪和控制, 为选择性地合成苯甲醛、对甲氧基苯甲醛和对叔丁基苯甲醛等取代芳醛服务。苯甲醛、对甲氧基苯甲醛和对叔丁基苯甲醛都是重要的合成香料或中间体<sup>[2, 3]</sup>。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂

甲苯(纯度大于 98.5%), 对甲基苯甲醚(纯度大于 98.0%), 对叔丁基甲苯(纯度大于 95.0%); 甲醇(AR), 乙酸(AR), 氟硼酸钠(CP)。

### 1.2 电解实验操作

电解试验装置及电解条件与前文相同<sup>[1]</sup>。将 200 mL 甲醇- 乙酸(体积比 5~ 10: 1)混合溶剂与 2.0~ 4.0 g 氟硼酸钠(支持电解质)一起加入电解槽中, 再加入 0.05~ 0.30 mol 甲苯(或对甲基苯甲醚、对叔丁基甲苯)。控制阳极电流密度为 0.01~ 0.03 A/cm<sup>2</sup>, 电解温度为 20~ 30 ℃。在电解氧化到指定程度后, 取样做 GC- MS 分析。

收稿日期: 2003- 03- 14; 修回日期: 2003- 12- 23

作者简介: 毕良武(1966-), 男, 江苏盐城人, 副研究员, 博士。

### 1.3 分析方法

分析方法也与前文相同<sup>[1]</sup>。气质联用仪(Varian Saturn 2000)由美国 Varian 公司制造, 装有 CP\_sil 8 CB 柱(0.25 mm×30 m)。柱温控制分别为: 60 °C 保持 3 min, 以 6 °C/min 升温至 220 °C 并保持 5 min (甲苯电解氧化产物); 100 °C 保持 3 min, 以 5 °C/min 升温至 200 °C 并保持 5 min (对甲基苯甲醛电解氧化产物); 100 °C 保持 5 min, 以 5 °C/min 升温至 200 °C 并保持 5 min (对叔丁基苯甲醛电解氧化产物)。质谱条件为: EI 离子化方式, 离子阱温度 150 °C, 接口温度 280 °C, 倍增器电压 1 600 V, 发射电流 15 μA, 扫描范围 40~ 650 *m/z*。样品经过干燥处理。成分鉴定主要依据质谱数据库(NIST 98 和 WILEY 7.0)进行自动比对。各成分含量测定采用面积归一化法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 甲苯电解氧化产物成分鉴定

甲苯电解氧化产物中的 7 种主要成分得到鉴定, 它们的 GC- MS 分析结果见表 1, 化学结构式见图 1。电解氧化产物比较复杂, 有氧化中间产物苄甲醚(D-1), 目标产物苯甲醛(C-1)以及对应的苯甲醛二甲缩醛(E-1), 苯甲醛与苯甲醛二甲缩醛两者之和为 49.75%。主要副产物有氟代甲苯(B-1)、乙酸苄酯(F-1)和对甲氧基苯甲酸甲酯(G-1)。氟代甲苯(B-1)的形成与支持电解质氟硼酸钠的存在有关, 苄甲醚(D-1)为甲氧基化反应不充分时的产物, 乙酸苄酯(F-1)的形成与氧化中间产物及溶剂乙酸的存在有关, 而 G-1 则为甲氧基化反应过头的产物(其中苯环也发生了甲氧基化反应), 通过检测它们(包括原料 A-1)的含量变化, 可以判断电解氧化反应的程度。

表 1 甲苯电解氧化产物 GC- MS 分析结果

Table 1 Analytical results of electrolytic oxidation products of toluene

No	<i>t<sub>R</sub></i> /min	Relative content/%	MS fragment <i>m/z</i> (I <sub>rel</sub> %)	<i>M<sub>r</sub></i>	Compound
A-1	3.66	25.43	92(43), 91(100), 65(20), 63(11), 50(10)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	Toluene
B-1	5.09	1.86	110(45), 109(100), 83(26), 63(11), 51(10), 50(14)	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> F	(Fluoromethyl) benzene
C-1	7.88	10.35	106(36), 105(100), 78(13), 77(82), 74(11), 51(37), 50(37)	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	Benzaldehyde
D-1	8.44	28.88	122(35), 121(50), 92(42), 91(100), 79(11), 77(34), 65(27), 51(18), 50(14)	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	(Methoxymethyl) benzene
E-1	11.59	20.87	152(1), 122(10), 121(100), 105(12), 91(35), 77(40), 51(15)	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	Benzaldehyde dimethyl acetal
F-1	12.98	0.40	150(46), 108(100), 107(30), 91(71), 79(57), 43(37)	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	Benzyl acetate
G-1	18.04	1.74	166(55), 135(100), 107(19), 92(15), 77(34), 64(11), 63(15), 50(9)	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	Methyl 4-methoxybenzoate

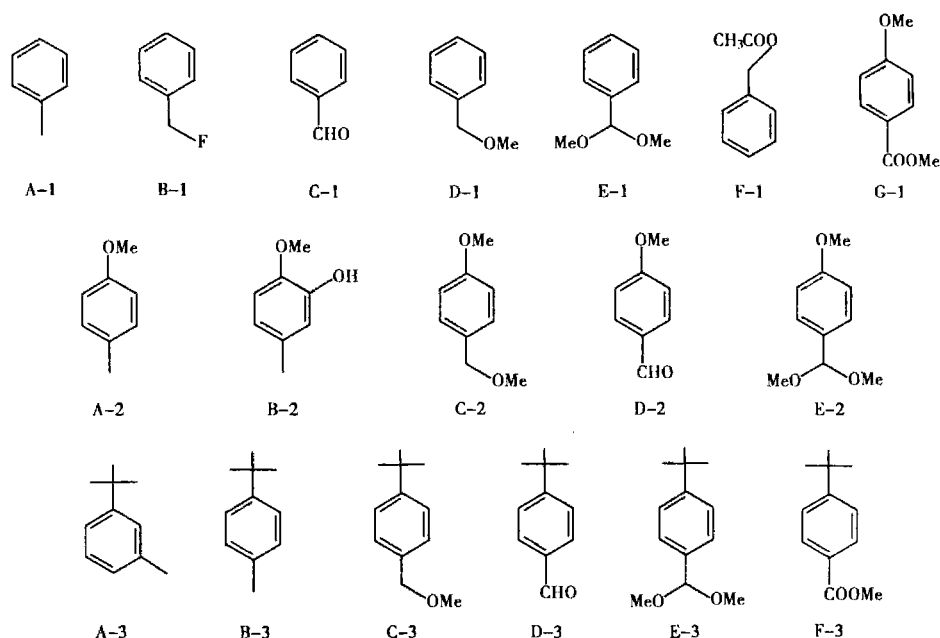


图 1 取代芳烃电解氧化产物化学结构式

Fig. 1 Chemical structure of electrolytic oxidation products of substituted aromatics

## 2.2 对甲基苯甲醚电解氧化产物成分鉴定

对甲基苯甲醚电解氧化产物(有 6 种主要成分)的 GC-MS 分析鉴定结果见表 2, 化学结构式见图 1。根据成分鉴定结果可知, 对甲基苯甲醚分子中的甲基分别被不同程度地甲氧基化, 是本直接电解氧化反应的主反应。对甲氧基苄甲醚(C-2)为中间氧化产物, 对甲氧基苯甲酸甲酯(G-1)为过度氧化产物, 2-羟基-4-甲基苯甲醚(B-2)为苯环取代产物。本次电解反应中, 对甲氧基苯甲醛(D-2)及其二甲缩醛(E-2)的相对总量为 46.22%。

表 2 对甲基苯甲醚电解氧化产物 GC-MS 分析结果  
Table 2 Analytical results of electrolytic oxidation products of *p*-methyl anisole

No	$t_R$ /min	Relative content/%	MS fragment $m/z(I_R/\%)$	$M_r$	Compound
A-2	4.34	24.03	122(100), 121(47), 107(34), 91(27), 79(22), 77(31), 51(10)	$C_8H_{10}O$	<i>p</i> -Methyl anisole
B-2	5.24	6.53	138(16), 123(68), 110(59), 108(49), 107(80), 95(59), 77(100), 51(39), 50(34)	$C_8H_{10}O_2$	2-Hydroxy-4-methyl anisole
C-2	8.82	8.48	152(55), 151(22), 122(16), 121(100), 91(20), 78(20), 77(31), 51(11), 50(10)	$C_9H_{12}O_2$	4-Methoxybenzyl methyl ether
D-2	9.29	39.83	136(49), 135(100), 107(20), 92(14), 77(45), 63(19), 50(15)	$C_8H_8O_2$	4-Methoxybenzaldehyde
E-2	11.79	6.39	182(3), 152(11), 151(100), 136(10), 135(29), 77(12)	$C_{10}H_{14}O_3$	4-Methoxybenzaldehyde dimethyl acetal
G-1	12.11	3.23	166(59), 136(10), 135(100), 107(14), 92(12), 77(30), 63(15)	$C_9H_{10}O_3$	Methyl 4-methoxybenzoate

## 2.3 对叔丁基甲苯电解氧化产物成分鉴定

对叔丁基甲苯电解氧化产物(有 6 种主要成分)的 GC-MS 分析鉴定结果见表 3, 化学结构式见图 1。根据成分鉴定结果可知, 对叔丁基甲苯分子中的甲基分别被不同程度地甲氧基化, 是本直接电解氧化反应的主反应。本次电解反应中, 对叔丁基苯甲醛(D-3)及其二甲缩醛(E-3)的相对总量为 81.67%, 对合成对叔丁基苯甲醛有利。对叔丁基苄甲醚(C-3)是电解氧化的中间产物, 而对叔丁基苯甲酸甲酯(F-3)是电解氧化过度的产物。间叔丁基甲苯(A-3)为原料中的杂质, 随着电解深度的不同, 它的含量也在降低。

表 3 对叔丁基甲苯电解氧化产物 GC-MS 分析结果  
Table 3 Analytical results of electrolytic oxidation products of *p*-*tert*-butyl toluene

No	$t_R$ /min	Relative content/%	MS fragment $m/z(I_R/\%)$	$M_r$	Compound
A-3	5.31	0.70	148(28), 134(12), 133(100), 105(57), 93(9), 91(14), 65(7)	$C_{11}H_{16}$	<i>m</i> - <i>tert</i> -Butyl toluene
B-3	5.48	2.75	148(27), 134(12), 133(100), 115(7), 105(52), 91(9), 57(18)	$C_{11}H_{16}$	<i>p</i> - <i>tert</i> -Butyl toluene
C-3	10.45	9.07	178(20), 164(13), 163(100), 131(10), 121(18), 91(15), 45(20)	$C_{12}H_{18}O$	<i>p</i> - <i>tert</i> -Butylbenzyl methyl ether
D-3	10.58	26.79	162(13), 148(12), 147(100), 119(29), 91(42), 77(8)	$C_{11}H_{14}O$	<i>p</i> - <i>tert</i> -Butylbenzaldehyde
E-3	13.31	54.88	208(1), 178(15), 177(100), 162(22), 147(14), 119(8), 91(13)	$C_{12}H_{20}O_2$	<i>p</i> - <i>tert</i> -Butylbenzaldehyde dimethyl acetal
F-3	13.72	2.15	192(10), 178(13), 177(100), 161(7), 149(20), 105(9)	$C_{13}H_{18}O_2$	Methyl <i>p</i> - <i>tert</i> -butylbenzoate

## 3 结 论

(1) 采用 GC-MS 分析方法, 从甲苯电解氧化产物中鉴定出 7 种主要成分(包括原料在内), 分别为: 甲苯(A-1)、氟代甲苯(B-1)、苯甲醛(C-1)、苄甲醚(D-1)、苯甲醛二甲缩醛(E-1)、乙酸苄酯(F-1)和对甲氧基苯甲酸甲酯(G-1)。

(2) 采用 GC-MS 分析方法, 从对甲基苯甲醚电解氧化产物中鉴定出 6 种主要成分(包括原料在内), 分别为对甲基苯甲醚(A-2)、2-羟基-4-甲基苯甲醚(B-2)、对甲氧基苄甲醚(C-2)、对甲氧基苯甲醛二甲缩醛(D-2)、对甲氧基苯甲醛(E-2)和对甲氧基苯甲酸甲酯(G-1)。

(3) 采用 GC-MS 分析方法, 从对叔丁基甲苯电解氧化产物中鉴定出 6 种主要成分(包括原料在

(下转第 77 页)

的影响(测量误差在 3% 以内)。结果表明: 10 倍的  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $NO_3^-$  不干扰; 50 倍的滑石粉、糊精、硬脂酸镁、乳糖、淀粉、羟甲基纤维素不干扰。因此药物中常用的添加剂均不干扰本法对原花青素的测定。

## 2.5 校正曲线、检出限、精密度

在选定的最佳实验条件下, 相对发光强度与原花青素的质量浓度在 0.2~ 3.0 mg/L 和 3.0~ 20.0 mg/L 范围内呈线性关系, 回归方程分别为  $Y=2173x+1147.5$  ( $r=0.9989$ ) 和  $Y=72.366x+7344.9$  ( $r=0.9996$ )。根据 IUPAC 建议求得方法的检出限( $3\sigma$ )为 0.1 mg/L。对 10.0 mg/L 的原花青素平行测定 11 次, 所得的 RSD 为 1.2%。

## 2.6 样品测定

2.6.1 样品的前处理 准确称取原花青素药品 10 粒, 研细混匀, 称取适量(相当于原花青素 160 mg)溶解, 定容于 100 mL 容量瓶中, 过滤后待测定。

2.6.2 样品的测定 取样品溶液 2 mL, 按试验方法测定, 计算样品含量, 结果见表 1。

表 1 样品中原花青素的测定结果及方法回收率  
Table 1 Results for the determination of procyanidins samples and recovery of method

Sample	Label claim $m/(mg \cdot tablet^{-1})$	Amount $m/(mg \cdot tablet^{-1})$	Added $\rho_x/(mg \cdot L^{-1})$	Found $\rho_f/(mg \cdot L^{-1})$	Recovery $R/\%$
1*	50	48.7	0.48	0.49	102
			0.96	0.933	97
2**	95%	96.1%	0.48	0.485	101
			0.96	0.987	103

\* grape seed(瑞士中草药有限公司); \*\* product: Sichuan DaLi Natural Product Company(四川大力天然产物公司)

## 参考文献:

- [1] GUY R C E, HOME A W. Extrusion and co-extrusion of cereals in food structure- it's creation and evaluation[M]. Washington: US Government Printing Office. 1988. 331- 349.
- [2] MYERS R H, MONTGOMERY D C. Response surface methodology[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995. 297- 324.
- [3] 姚开, 何强, 吕运平, 等. 葡萄籽提取物中原花青素含量不同测定方法比较[J]. 化学研究与应用, 2002, 14(2): 230- 232.
- [4] 傅武胜, 蔡一新, 林丽玉. 铁盐催化比色法测定葡萄籽提取物中原花青素[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(10): 57- 61.
- [5] LEA AGH. The phenolics of cider oligomers and polymers procyanidins[J]. Food Agric Sci, 1978, 29: 471- 477.
- [6] RIGAND J, ESCRIBANO- BAILON M T, PRIEURC, et al. Normal phase high performance liquid chromatographic separation of procyanidins from cacao beans and grape seeds[J]. J Chromatogr, A, 1993, 654(2): 255- 260.

(上接第 74 页)

内), 分别为: 间叔丁基甲苯(A- 3)、对叔丁基甲苯(B- 3)、对叔丁基苄甲醚(C- 3)、对叔丁基苯甲醛(D- 3)、对叔丁基苯甲醛二甲缩醛(E- 3)和对叔丁基苯甲酸甲酯(F- 3)。对叔丁基苯甲醚电解氧化反应中, 对叔丁基苯甲醛及其二甲缩醛的相对总量为 81.67%, 对合成对叔丁基苯甲醛有利。

## 参考文献:

- [1] 毕良武, 刘先章, 许鹏翔, 等. 取代芳烃电解氧化产物的 GC- MS 分析(I)[J]. 分析测试学报, 2003, 22(4): 77- 79.
- [2] 毕良武, 刘先章, 许鹏翔, 等. 有机电合成技术在香料合成中的应用[J]. 林产化学与工业, 2002, 22(3): 70- 74.
- [3] 何坚, 孙宝国. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995. 158- 172.