

国产香烟矿物组成的初步研究

赵莉, 陈相宇, 李福春, 蓝旋, 施超

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要: 利用X射线衍射仪对28种国产香烟烟灰及其中的两种香烟(绿南京和云烟)的卷烟纸灰烬、烟丝以及过滤嘴中的矿物成分进行了研究。初步研究结果表明,香烟烟丝中含有一水草酸钙石,过滤嘴中不含任何矿物,烟灰中的矿物主要是方解石,此外还含有少量石英、钾盐、钾矾、石膏等矿物。这些矿物具有不同的来源:方解石来自卷烟纸,一水草酸钙石是烟叶生长期间自身合成的矿物,石膏是香烟燃烧过程中新形成的矿物。这些研究结果有可能为全面认识香烟致病机理提供一定的科学依据。

关键词: 香烟; 灰烬; 矿物; X射线衍射

中图分类号: P579

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)02-0135-06

A preliminary study of mineral components of Chinese-produced cigarettes

ZHAO Li, CHEN Xiang-yu, LI Fu-chun, LAN Xuan and SHI Chao

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: By means of X-ray diffraction (XRD), the authors studied the mineral components of cigarette ash from 28 kinds of Chinese-produced cigarettes as well as cigarette paper ash, cut tobacco and filter tip of 2 kinds of cigarette (Green Nanjing and Yunyan). The preliminary results obtained show that there is whewellite in cut tobacco, filter tip contains no minerals, and calcite is the dominant mineral composition in cigarette ash. Besides calcite, small amounts of quartz, sylvine, arcanite and gypsum are also existent in the cigarette ash. It is considered that these materials are derived from different sources: calcite comes from cigarette paper, whewellite is crystallized during the growth of tobacco leaf itself, and gypsum is formed in the combustion process of cigarette. These results provide scientific evidence for the comprehensive understanding of nosogenesis of cigarette.

Key words: cigarette; ash; minerals; X-ray diffraction

随着吸烟与呼吸道疾病以及与寿命之间关系的研究资料的不断积累,人们越来越深刻地认识到吸烟对健康产生危害的严重性。我国是世界上最大的香烟生产与消费大国,拥有世界上最多的吸烟者,因此,研究吸烟与健康的关系对于我国来说更为重要。香烟及其烟雾中含有3 800多种化合物,其中有毒有害物质有几百种(例如焦油、尼古丁、一氧化碳等),至少有43种是致癌物质(高之清, 2005),如多环芳烃、亚硝胺等(吴敏等, 2007)。研究证明,肺癌、口

腔癌、食道癌、膀胱癌、肾癌、胰腺癌等均与吸烟有密切的关系(沈汉澄, 2007)。诚然,尼古丁、焦油等有机组分是致病的主要因子,对它们开展深入系统的研究是完全必要的,但同时也应该给予无机组分(例如矿物)以足够的重视,因为某些矿物也可以起到致癌作用。

石英不仅可导致肺部纤维性病变,而且还具有致癌性(王德军, 2005)。国际癌症研究中心(IARC)于1997年宣布的人类致癌物中就包括石英

收稿日期: 2008-06-25; 修订日期: 2008-11-03

基金项目: 南京农业大学“大学生科研训练”资助项目(0607A10)

作者简介: 赵莉(1986-),女,本科生,农业资源与环境专业;通讯作者:李福春,男,教授,博士生导师,地球化学专业,主要从事环境地球化学和土壤地球化学方面的研究工作, E-mail: fchli@njau.edu.cn.

英,但同时也指出尚需人类 DNA 水平的直接证据(IARC, 1997)。此外,石棉、赤铁矿等矿物也有致癌性(IARC, 1997)。目前一直未见香烟中矿物与疾病关系的直接报道。2002年在爱丁堡召开的第18届国际矿物学会议上,英国科学家 Stephens W E 以“Mineralogy of the cigarette ashes”为题做了报告,首次从矿物的角度探讨了吸烟与健康的可能关系(Stephens *et al.*, 2002)。目前还没有足够的证据证明香烟中存在的矿物是否与某些疾病有关,因为目前涉及香烟矿物组成的研究资料很少,人们对香烟的矿物组成还缺乏基本的了解。本文在可资参考的资料极其有限的情况下,主要利用 X 射线衍射仪(XRD)对一些国产香烟的烟灰、烟丝、卷烟纸灰烬以及过滤嘴中的矿物成分进行初步研究,试图为进一步探讨香烟中的矿物与人类健康的关系提供一些基础资料。

1 材料与方法

1.1 测试材料

笔者共收集了28种国产香烟的烟灰,包括绿南京、云烟、中南海、哈德门、梦都、阿诗玛、七匹狼、红双喜、恭贺新喜、八喜、国际将军、白沙、一品梅、红梅、黄金叶、苏烟、小熊猫、黄鹤楼、好日子、金南京、红南京、红塔山、都宝、海洋、长白山、中华、黄山、上海等,分别装在塑料瓶中备用。取一定量的烟灰压制成片,用 XRD 对矿物成分进行测定。初步测定结果表明,几乎所有品牌香烟烟灰中的矿物都以方解石为主。方解石的衍射峰很强,掩蔽了其他矿物的衍射峰,因此,将烟灰样品滴加几滴盐酸以除去大部分方解石,进而分析烟灰中其他的矿物成分。盐酸与烟灰反应后用去离子水反复清洗、离心,然后涂片,自然风干,待测。

烟丝和过滤嘴的处理方法相同。选取绿南京、云烟两种品牌香烟,取未吸过的香烟烟丝和吸过的香烟过滤嘴,用手撕碎后放在去离子水中浸泡1h,然后超声波震荡10min,用镊子夹除烟丝/过滤嘴的纤维材料后,将残余部分离心10min,倒掉上清液,吸取沉淀物涂片,自然风干,待测。

将绿南京、云烟香烟剥开,收集卷烟纸并清理干净。点燃使之完全化为灰烬,压制成片后待测。

1.2 测试方法

矿物成分测定工作在南京农业大学资环学院的 X 射线衍射仪(日本理学 D/maXB 型)上完成,测定条件为:铜靶,扫描范围 $3^{\circ} \sim 60^{\circ}$,步长 0.02° ,管压 35 kV,管流 20 mA。测定结果用 Jade 5.0 软件处理。用国土资源部南京地质矿产研究所 HKB-1 型卡帕桥磁化率仪测定某些品牌香烟烟灰的质量磁化率,测定误差 $\pm 0.5\%$ 。

2 结果与分析

2.1 香烟烟丝的矿物组成

XRD 分析发现,绿南京牌香烟烟丝中含有很少量的一水草酸钙石,图谱(图1)中仅能分辨出它的2个最强的衍射峰(d 值分别 5.97 \AA 和 3.66 \AA)。此外,绿南京牌香烟烟丝中还含有极少量的石英(d 值分别 3.34 \AA 和 4.27 \AA)。云烟牌香烟烟丝中无法识别出任何矿物(图1)。

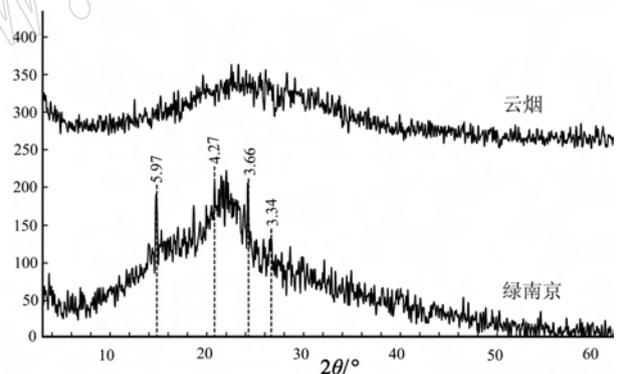


图1 绿南京牌和云烟牌香烟烟丝的 XRD 衍射图谱
Fig.1 The X-ray diffraction patterns of cut tobacco from cigarettes, whose brands are Green Nanjing and Yunyan respectively

2.2 香烟纸灰烬的矿物组成

绿南京烟纸灰烬中最主要的矿物是方解石($3.92, 3.08, 2.30, 2.11, 1.93, 1.89, 1.61, 1.53 \text{ \AA}$),所有的衍射峰均比 JCPDS 标准数据卡中方解石(卡号 83-0578)的 d 值大 0.03 \AA 左右(图2),可能是由少量 Sr^{2+} 、 Pb^{2+} 或 Ba^{2+} 以类质同像的形式替代 Ca^{2+} 而进入晶格造成的。除了方解石外,还含有少量的钾盐($3.15, 2.22$ 和 1.80 \AA)和菱锶矿($2.43, 3.49 \text{ \AA}$)。云烟卷烟纸灰烬中仅见方解石的衍射峰(图2)。

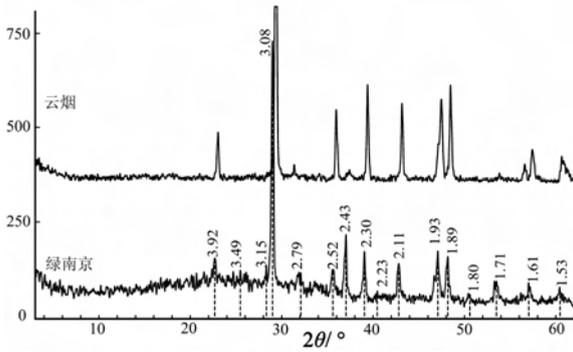


图2 绿南京牌和云烟牌烟纸灰的 XRD 衍射图谱
Fig.2 X-ray diffraction patterns of paper ash from cigarettes, whose brands are Green Nanjing and Yunyan respectively

2.3 香烟烟灰的矿物组成

烟灰的矿物组成可以理解为卷烟纸灰烬和烟丝灰烬的矿物集合,因此比卷烟纸和烟丝更为复杂。分析 XRD 图谱(图 3a)可以发现,加盐酸前,绿南京烟灰中含有的主要矿物有方解石、钾盐(3.16、2.23 和 1.82 Å)和白云石(2.91 Å)。方解石的衍射峰很强,掩盖了其他矿物的峰,因此后来对烟灰进行了加盐酸处理。尽管加盐酸处理后没有完全去除碳酸盐矿物,但方解石的衍射峰明显减弱。加盐酸处理后的矿物成分为方解石和钾盐。盐酸处理前,云烟烟灰(图 3b)中含有方解石、钾盐(3.15、2.23 和 1.82 Å)和白云石(2.89、2.42、2.23、1.82 Å)。盐酸处理后,除了原有的方解石(3.04、3.81)、钾盐(3.15、1.82、2.23 Å)、白云石(2.88 Å)以外,还能分辨出石膏的衍射峰(7.63、4.29 和 3.06 Å)。

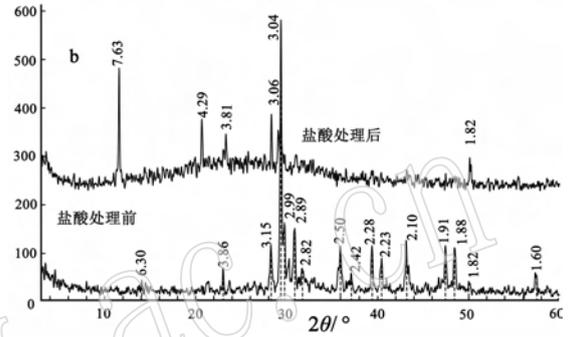
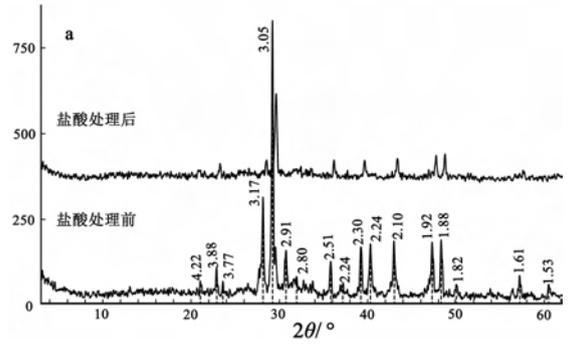


图3 绿南京(a)和云烟(b)烟灰盐酸处理前后的 XRD 衍射图谱

Fig.3 X-ray diffraction patterns of cigarette ash and residues of reaction between ash and HCl for Green Nanjing(a) and Yunyan(b)

除了绿南京和云烟外,还研究了红塔山等 26 种其他品牌香烟烟灰的矿物组成(图谱略)。总体而言,由 1 种矿物组成的香烟只有 4 种,由 2、3、4 和 5 种矿物组成的香烟分别有 14、6、3 和 1 种(表 1),即半数以上香烟烟灰由两种矿物组成。

表 1 香烟烟灰中矿物组成一览表
Table 1 Mineral composition of cigarette ash

矿物种类	矿物组合	香烟品牌
1 种	方解石	红南京、红梅、中南海、黄金叶
2 种	方解石 + 石英	八喜
	方解石 + 石膏	黄山、熊猫
	方解石 + 钾盐	都宝、恭贺新喜、红双喜、红塔山、海洋
	方解石 + 钾矾	长白山、白沙、国际将军、一品梅、中华、七匹狼
3 种	方解石 + 钾矾 + 石英	阿诗玛
	方解石 + 钾矾 + 石膏	黄鹤楼、好日子
	方解石 + 钾盐 + 石英	哈德门
	方解石 + 钾盐 + 石膏	苏烟
4 种	方解石 + 钾盐 + 白云石	绿南京
	方解石 + 钾盐 + 钾矾 + 石膏	金南京
	方解石 + 钾盐 + 石膏 + 石英	梦都、上海
5 种	方解石 + 钾盐 + 钾矾 + 石膏 + 白云石	云烟

注:表中未包括铁磁性矿物。

绿南京、长白山、一品梅和七匹狼烟灰磁化率分别为 140.9×10^{-8} 、 43.3×10^{-8} 、 81.1×10^{-8} 和 $40.6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。为了说明其中磁性矿物相对含量的大小,选取本课题组曾经和正在研究的两种土壤为参照物。下蜀黄土的黄土层平均磁化率为 $143.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,古土壤层平均 $148.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ (Li *et al.*, 2007)。绰墩古水稻土剖面 100 个样品的磁化率变化于 $4.3 \times 10^{-8} \sim 53.1 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 之间,平均 $11.4 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。可见,烟灰磁化率低于旱地土壤而远远高于水稻土,这说明烟灰中除了 XRD 能识别出的矿物以外,还存在少量的铁磁性矿物。

2.4 过滤嘴的矿物组成

过滤嘴材料有植物纤维和非植物纤维(包括醋酸纤维、活性碳纤维、聚丙烯纤维、海泡石纤维等)两大类。香烟加过滤嘴是为了过滤掉对人体有害的物质而采取的措施。原以为在吸过的香烟过滤嘴中会含有一些极细的矿物颗粒。但研究结果表明,无论是云烟牌还是绿南京牌香烟,过滤嘴中都没有发现任何矿物(图谱略)。

3 讨论

3.1 香烟中的矿物来源

3.1.1 种植过程中带入的矿物

在烟叶生长过程中,由于烟叶表面会分泌粘性物质,石英、粘土矿物等土壤中的主要矿物很容易粘附在烟叶上(Baliga *et al.*, 2003)。阿诗玛、哈德门、八喜、梦都和上海等品牌的香烟烟灰中含有少量石英,很可能是烟叶生长过程中粘附上而在香烟生产过程中未清洗掉所致。此外,在烟叶生长过程中,烟叶分泌的草酸可能与 Ca^{2+} 结合形成草酸钙石等有机矿物并保留在烟叶中,如绿南京香烟即是如此。

3.1.2 卷烟生产过程中带入的矿物

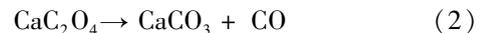
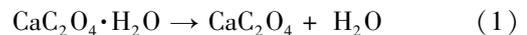
一般认为,各烟草公司在香烟原料以及加香加料配方等方面均有较系统的研究,但由于技术保密等原因,很少向外界报道。除了烟叶以外,卷烟纸是最重要的香烟生产原料。卷烟纸一般由植物纤维和遍布其中的无机填料、助燃剂组成。我国用于造纸的无机填料主要有碳酸钙和滑石粉等。碳酸钙在卷烟纸中的添加量一般为 40% ~ 55% (刘丽敏, 2005),是卷烟纸中主要的填料。在卷烟纸生产中加入碳酸钙可以保证卷烟纸具有一定的灰分,能改善卷烟纸的透气度、调节香烟的燃烧速度,还可以提高

卷烟纸的白度和不透明度,改善卷烟纸的手感和外观质量,同时能节约纤维用量、降低卷烟纸的生产成本(Sharma *et al.*, 2002)。为了改善烟支燃烧状态,常在高档卷烟纸中添加磷酸盐(李凤伟等, 2006)。为了改善纸张的性能,还可能加入钛白粉、氧化铁等颜料(刘丽敏, 2005)。本文研究结果说明,所研究的所有 28 种香烟都以方解石为主要填料。

添加一些金属盐类可改变香烟的燃烧速率和燃烧温度(孙川等, 2008)。在传统的卷烟纸生产中,燃烧调节剂多为有机酸碱金属盐(柠檬酸钾、酒石酸钠钾、醋酸钠、苹果酸钠)或无机钠盐、钾盐,如 KCl 、 KNO_3 、 K_2SO_4 (王世刚等, 1996)。王磊等(2005)研究的 3 种国产香烟都使用酒石酸钠为助燃剂。因此,本文在烟灰中鉴定出的钾盐可能是作为卷烟纸助燃剂而加入的矿物。少量的白云石和菱铁矿可能是以方解石的混入物形式而带入的。

3.1.3 香烟燃烧过程中矿物相转变的产物

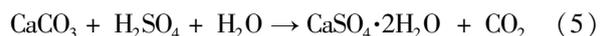
香烟燃烧分为燃烧和阴燃。香烟的燃烧过程包括几个进程,即氧化燃烧、高温分解、冷凝作用和滤除过程。燃烧生烟过程中香烟燃烧段边缘温度可达 $1\ 000^\circ\text{C}$ 以上。香烟阴燃的进程包括氧化燃烧、高温分解、冷凝蒸馏过程(左键等, 2002)。阴燃过程中不产生烟雾,其速率仅是燃烧时速率的十几分之一。燃烧锥部温度可达到 $750 \sim 800^\circ\text{C}$,在燃烧区不仅产生 CO_2 和 H_2O ,而且形成各种各样的反应组分。本文所研究的绿南京牌香烟烟丝中含有一水草酸钙石,而其烟灰中没有,说明在香烟燃烧过程中一水草酸钙石发生了分解(Frost and Weier, 2003; Quintana *et al.*, 2007):



方解石可以继续分解:



上述反应可造成方解石和一水草酸钙石分解。同时,分解产生的 CaO 可以与从有机物中释放的硫氧化物反应生成石膏。硫化物在氧化过程中生成的硫酸与 CaCO_3 直接反应也可以形成石膏(Miser *et al.*, 2004)。



因此,部分香烟烟灰中含有的石膏(如黄山、熊猫等)可能是添加剂混入的成分,但更可能是上述反应的产物。

Jordanova 等(2005)通过测定磁化率证明了香烟烟灰的磁化率高于烟丝,认为万宝路和骆驼牌等高级香烟烟灰中含有 $\leq 0.1\%$ 的磁铁矿和碳化铁,而质量较差的 Shipka 牌香烟烟灰的磁化率与草木灰一样低。本文研究的4种烟灰磁化率均较高,说明我国多数香烟的卷烟纸中加入了铁氧化物颜料。程静华等(1997)对7种香烟的研究发现,香烟中 Fe、Mn 含量较高,其中铁在高温燃烧时有可能发生氧化而生成新的强磁性物质。

3.2 矿物种类与香烟价格的关系

在开展本项研究之前曾经设想,香烟价格可能会与所含矿物种类的多少或某种(些)矿物含量的高低有一定的联系,但研究表明,价格与矿物种类没有明显的关系,甚至尼古丁和焦油含量也与价格没有很好的关系(图4)。不过,实验结果似乎说明,低档香烟中检测出石英的机率较高档香烟高,其原因可能是低档烟的生产厂家为了节约生产成本而采取较粗糙的生产工艺,致使分泌物上的石英等颗粒物没有完全被去除。有研究表明,烟叶上的腺毛密度与香烟均价和上等烟的比例呈负相关(王宝华等,1983),这有可能成为上述看法的佐证,因为腺毛密度高会导致分泌的粘性物质多,则粘附其上的杂质(包括土壤中的矿物)可能就多,因而影响香烟的价格。由于研究经费的限制,选取的香烟大多数属于中低档,因而得出的上述结论还有待于进一步确认。

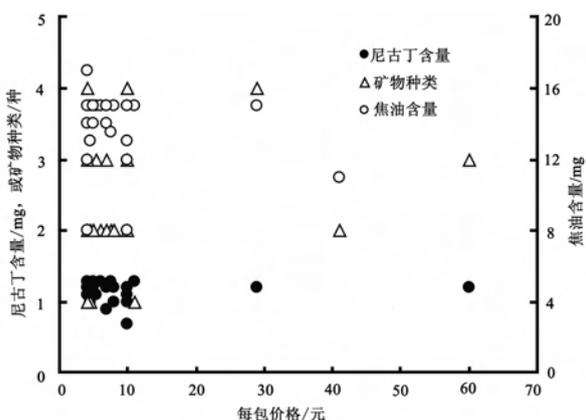


图4 香烟烟灰中矿物种类数、焦油和尼古丁含量与香烟零售价格的关系图

Fig. 4 Graph showing the relationship between number of mineral kinds in cigarette ash, contents of tar and nicotine and retail price of cigarette

(香烟零售价及焦油、尼古丁含量数据据国际烟草网,矿物种类数见表1,其中零售价为上海市价格)

(retail price of cigarette, content of tar and nicotine according to International Tobacco Net, mineral kinds as for table 1, retail price from Shanghai)

3.3 吸烟与健康的关系

香烟本身及其燃烧产物中含有多种致癌物质或致癌物前体物质。吸烟增加患肺癌的风险已在流行病学和细胞遗传学方面得到广泛证实。在吸烟时,香烟中含有的矿物在不同方面影响着有机致癌物的生成,并且通过草酸盐和碳酸盐的分解促进多环芳香族烃类致癌物的形成(Stephens *et al.*, 2002)。已有研究表明,一些有机物吸附矿物使某些致癌物质从燃烧的香烟中转移到肺里(Stephens *et al.*, 2002)。

4 结论

(1) 方解石是卷烟纸灰烬和烟灰中的主要矿物,而烟丝中含有少量的一水草酸钙石和石英。

(2) 一水草酸钙石、石英等主要是在烟草种植过程中带入的矿物,方解石和钾盐等矿物是作为卷烟纸的填料带入的,烟灰里的矿物大部分来自卷烟纸,而石膏等可能是吸烟过程中产生的新矿物。

(3) 矿物可能参与某些化学反应而产生有机致癌物质。例如,草酸盐和碳酸盐矿物分解过程可能促进多环芳香族烃类致癌物质的生成。在吸烟时,香烟中的碳酸盐、草酸盐及其他添加的盐类和矿物会产生一定物理和化学变化,例如石英等矿物的表面性质发生改变就可能危害人体健康。

(4) 在香烟燃烧过程中一部分矿物可能分解,但大部分矿物仍然存留在烟灰中,具体比例目前还不清楚。

References

- Baliga V, Miser D E, Sharma R K, *et al.* 2003. Characterization of chars from biomass-derived materials; Pectin chars[J]. *Analysis of Applied Pyrolysis*, 239 ~ 245.
- Cheng Jinghua, Zhu Zhiguo and Dong Shunfu. 1997. Analysis on zinc, copper, iron, manganese, nickel in 7 kinds of cigarette[J]. *Trace Elements Science*, 4 (10): 53 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Frost R L and Weier M L. 2003. Thermal treatment of weddellite-A raman and infrared emission spectroscopic study[J]. *Thermochimica Acta*, 406: 221 ~ 232.
- Gao Zhiqing. 2005. Deleterious substances in cigarette smog and its damage[J]. *Chemical World*, (4): 255 ~ 256 (in Chinese).
- IARC. 1997. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans-Silica, Some Silicates, Coal Dust and Para-Aramid Fibrils [M]. Lyon (Fanc): WHO, 506.
- Jordanova N, Jordanova D, Henry B, *et al.* 2005. Magnetism of cigarette

- ashes[J]. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 301: 50~66.
- Li Fengwei and Cao Jinying. 2006. Determination of phosphate in cigarette paper by spectrophotometry[J]. *Heilongjiang Pulp and Paper*, (2): 64 (in Chinese).
- Li Fuchun, Jin Zhangdong, Xie Changren, *et al.* 2007. Roles of sorting and chemical weathering in geochemistry and magnetic susceptibility of the Xiashu loess, East China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 813~822.
- Liu Limin. 2005. The effect factors of dusting from surface of cigarette paper[J]. *Southwest Pulp and Paper*, 34 (5): 48~49 (in Chinese).
- Miser D E, Shin E J, Hajaligol M, *et al.* 2004. Modern marine dolomite cement in a north Jamaican fringing reef [J]. *Applied Catalysis*, (7): 557~560.
- Quintana J R, Cala V, Moreno A M, *et al.* 2007. Effect of heating on mineral components of the soil organic horizon from a Spanish juniper (*Juniperus Thurifera* L.) woodland [J]. *Journal of Arid Environments*, 71: 45~56.
- Sharma R K, Wooten J B, Baliga V L, *et al.* 2002. Demonstration of the formation of porous silicon films with superior mechanical properties, morphology and stability[J]. *Agriculture Food Chemistry*, 60: 1 166~1 169.
- Shen Hancheng. 2007. About smoking and cancer [J]. *Health Preserving*, 7: 602~603 (in Chinese).
- Stephens W E, Calder A, Herd D A, *et al.* 2002. Mineralogy of cigarettes: Implications for smoking-related lung disease [A]. Abstract of 18th IMA [C]. Edinburgh: IMA, 181.
- Sun Chuan, Gui Yongfa, Xu Yong, *et al.* 2008. Influence of burning conditioner of paper on combustibility of cigarette [J]. *Guangdong Chemical Industry*, (3): 71~74 (in Chinese with English abstract).
- Wang Baohua, Wu Guoying and Huang Jingxun. 1983. Observation for botanical characters of tobacco leaf I—glandular hair density and its relationship with leaf quality and chemical components [J]. *Chinese Tobacco Science*, (2): 1~6 (in Chinese).
- Wang Dejun. 2005. Cellular and molecular mechanisms of carcinogenesis of quartz dust [J]. *Journal of Labour Medicine*, 22 (1): 60~62 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lei, Jiang Ting, Guan Liyuan, *et al.* 2005. Isolation of combustion improver in cigarette paper and its identification [J]. *Tobacco Science and Technology*, (4): 28~30 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shigang, Ma Qianling and Chen Yuxiang. 1996. The application of MgO in cigarette paper [J]. *Heilongjiang Pulp and Paper*, 2 (6): 15~17 (in Chinese).
- Wu Min and Li Shengrong. 2007. The present situation and prospects of the researches on the application of mineral materials to filters for removing harmful substances in cigarette smoke [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 3 (2): 171~176 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Jian and Wang Yinfu. 2002. Study on filling and additives of cigarette paper [J]. *Southwest Pulp and Paper*, 3: 5~10 (in Chinese).

附中文参考文献

- 程静华, 朱志国, 董顺福. 1997. 七种香烟中锌、铜、铁、锰、镍含量的分析 [J]. *广东微量元素科学*, 4 (10): 53~55.
- 高之清. 2005. 香烟烟雾中的毒物及其危害 [J]. *化学世界*, (4): 255~256.
- 李凤伟, 曹金英. 2006. 卷烟纸中磷酸盐含量的测定 (分光光度法) [J]. *黑龙江造纸*, (2): 64.
- 刘丽敏. 2005. 卷烟纸表面掉粉的影响因素 [J]. *西南造纸*, 34 (5): 48~49.
- 沈汉澄. 2007. 关于吸烟与癌症 [J]. *养生月刊*, 7: 602~603.
- 孙川, 桂永发, 许永, 等. 2008. 卷烟纸燃烧调节剂对卷烟燃烧性能的影响 [J]. *广东化工*, (3): 71~74.
- 王磊, 江婷, 关丽媛, 等. 2005. 卷烟纸中助燃剂的分离与鉴定 [J]. *烟草科技*, (4): 28~30.
- 王宝华, 吴帼英, 黄静勳. 1983. 烟叶的植物学特性的观察 I——烤烟叶片腺毛密度及其与烟叶品质和化学成分的关系 [J]. *中国烟草科学*, (2): 1~6.
- 王德军. 2005. 石英致癌的细胞及分子机制研究进展 [J]. *环境与职业医学*, 22 (1): 60~62.
- 王世刚, 马千岭, 陈玉香. 1996. MgO 在卷烟纸中的应用 [J]. *黑龙江造纸*, 2 (6): 15~17.
- 吴敏, 李胜荣. 2007. 矿物材料应用于香烟过滤嘴降害的研究现状与展望 [J]. *岩石矿物学杂志*, 26 (2): 171~176.
- 左建, 王殷辅. 2002. 卷烟纸用填料和添加剂的研究 [J]. *西南造纸*, 31 (3): 5~10.