

亚临界萃取降低烟叶焦油及有害成分研究

田海英¹, 陈伟¹, 董艳娟¹, 李国政¹, 郝辉¹,
周浩¹, 马宇平¹, 聂聪², 谷令彪³

- (1. 河南中烟工业有限责任公司 技术中心, 河南 郑州 450000;
2. 中国烟草总公司 郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001;
3. 郑州大学 物理工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:为探索降焦减害的新途径,从源头上降低卷烟中焦油及有害成分,将亚临界萃取技术引入烟叶的处理过程,对萃取条件进行优化,对用处理后烟丝制成的卷烟中主流烟气的有害成分、焦油、烟碱等释放量进行分析,同时考查处理后烟丝化学成分、加工性能及感官质量的变化情况,结果表明:用二甲醚作萃取溶剂,微波破壁处理然后萃取2次,每次30 min为最优的萃取方式;主流烟气中焦油、烟碱有明显降低,降低比例分别为33.4%和62.2%;处理后烟丝的加工性能无明显变化;7种有害成分中苯酚,HCN,NH₃,CO和B[a]P这5种成分的释放量降低明显,有害指数降低了3.87;感官评吸的柔细度、余味、刺激性均好于对照样,呈现柔、细、甜的特点.这表明,亚临界萃取技术在降低烟叶的焦油和有害成分释放量方面具有重要的应用价值.

关键词:亚临界萃取;烟叶;焦油;有害成分;加工性能;感官质量

中图分类号:TS41⁺1 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.5/6.009

Study on subcritical extraction technology in reducing tar and harmful components of tobacco leaf

TIAN Hai-ying¹, CHEN Wei¹, DONG Yan-juan¹, LI Guo-zheng¹, HAO Hui¹,
ZHOU Hao¹, MA Yu-ping¹, NIE Cong², GU Ling-biao³

- (1. Technology Center, China Tobacco He'nan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
2. Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China;
3. College of Physical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to investigate the new way to reduce tar and harmful components in cigarette, subcritical extraction technology was used to treat tobacco leaf. The extraction conditions were optimized. The deliveries of the harmful components, tar, nicotine in mainstream smoke of cigarettes prepared with the extracted cut tobacco were determined, the chemical components, processability and sensory quality were also evalua-

收稿日期:2015-06-05

基金项目:国家烟草专卖局减害重大专项项目(110201301024 JH-05)

作者简介:田海英(1978—),女,河南省南阳市人,河南中烟工业有限责任公司高级工程师,硕士,主要研究方向为烟草化学及降焦减害.

通信作者:马宇平(1965—),男,河南省禹州市人,河南中烟工业有限责任公司研究员,主要研究方向为烟草化学及卷烟产品开发.

ted. The results indicated that; microwave wall-breaking treatment, dimethyl ether extraction 2 times, each time 30 min was the optimal extraction method; the deliveries of tar and nicotine were significantly lowered than the control sample with the decreased rate at 33.4% and 62.2% respectively; the structure of extracted cut tobacco remained no obvious change; in the seven harmful components, the release amount of phenol, HCN, NH_3 , CO and B[a]P were decreased. The harmful index reduced by 3.87; the sensory evaluation of extracted cut tobacco was found to be superior to the controller in tender degree, aftertaste and stimulation. It was characterized by tenderness and sweetness. The study showed that subcritical extraction technology provides a potential way of reducing tar and harmful components in tobacco leaf.

Key words: subcritical extraction; tobacco leaf; tar; harmful components; processability; sensory quality

0 引言

经过持续多年的研究,国内外卷烟企业已经积累了一些控制卷烟焦油量及有害成分释放量的技术手段,如改进卷烟纸自然透气度,“三纸一棒”上的通风稀释、调整烟丝结构中梗丝、膨胀烟丝和烟草薄片的比例、设计形式多样的滤嘴、应用不同添加剂,以及综合利用多项技术等^[1-2]. 以上这些技术,是通过调节卷烟主流烟气的释放量来降低卷烟有害成分,并没有从根源上减少有害成分的产生量.

亚临界萃取是利用亚临界流体作为萃取剂,在密闭、无氧、低压的压力容器内,依据有机物相似相溶的原理,通过萃取物料与萃取剂在浸泡过程中的分子扩散过程,将固体物料中的溶解性成分转移到液态的萃取剂中,再通过减压蒸发的过程将萃取剂与目的产物分离. 亚临界萃取相比其他降焦减害技术有以下优点:对物料的热影响很小,热敏性成分不变性、不氧化,目的产物可以得到最大限度地保质;基本上无溶剂残留,不影响萃取物品质;工业生产成本^[3]. 因而,亚临界萃取在食用油萃取、天然产物提取、生物化工、食品和色素等行业得到了广泛应用^[4-7]. 据 CN 102090710 B^[8]报道,利用亚临界萃取工艺,对成品烟叶进行处理,可萃取烟叶中的部分烟碱和焦油基质,烟叶的外观保持良好. 但此专利主要报道这种萃取工艺的过程与优点,对于萃取后的烟叶后续加工,以及制成成品卷烟的各种指标并没有作研究.

为实现从源头上降低卷烟中焦油及有害成分,本文拟把亚临界溶剂萃取引入烟草处理过程,旨在为降焦减害探索新的思路和方法,使降焦减害的手段更加主动、灵活和有效,为产品的设计提供更多的选择途径.

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂和仪器

材料:2012年河南洛阳生产的洛阳BO11烤烟烟丝样品.

标准品:NNK(纯度>99%),美国Arcos公司产;巴豆醛-DNPH, HCN, NH_3 , B[a]P、苯酚(纯度>99%),烟碱(纯度>99.5%),美国Sigma-Aldrich公司产;CO标准气体,国家标准物质中心.

试剂:环己烷、甲醇、乙腈、异丙醇(色谱纯),美国J. T. Baker公司产;盐酸、氢氧化钠(分析纯),国药集团化学试剂有限公司产.

仪器:亚临界萃取装置,安阳漫天雪食品制造有限公司产;SM450直线吸烟机,英国斯茹林公司产;AA3连续流动分析仪,德国布朗卢比公司产;7890A气相色谱仪(配TCD和FID检测器),XS-365M-SCS Agilent 1200高效液相色谱仪(配备紫外检测器),Agilent公司产;ICS-3000离子色谱仪,美国戴安公司产;Agilent 7890a/5975c气质联用仪,美国安捷伦公司产;4000-Q-TRAP质谱,美国AB SCIEX公司产;电子天平(感量0.0001g),普利赛斯公司产;YQ-2型烟丝振动分选筛,郑州嘉德机电科技有限公司产;TM-1000扫描电子显微镜,Hitachi公司产.

1.2 萃取工艺

亚临界萃取工艺流程见图1,以亚临界流体为萃取溶剂,对洛阳BO11烤烟样品进行萃取. 微波1min后,将烟丝打包,置于密闭萃取容器中,向容器中注入萃取溶剂,将成品烟丝完全浸没. 萃取一定时间后,从容器下部抽出液体溶剂,从容器上部抽出气化的溶剂. 烟丝中的溶剂完全脱除后,将烟丝包从容器中整体取出. 在上机卷烟前将对照样和萃取样平衡水分,达到卷制要求.

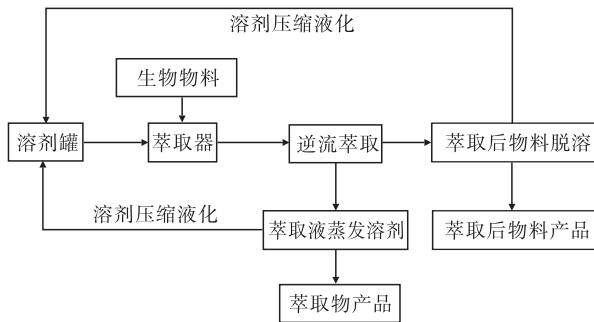


图1 亚临界萃取工艺流程图

1.3 样品处理与分析

按照烟草行业标准,用连续流动分析仪测定样品的常规化学成分总糖和还原糖、总氮、蛋白质、总植物碱、硝酸盐、钾、氯^[9-15];按照标准^[16-17]调节并抽吸卷烟样品;分别按照标准^[18-24]测定卷烟主流烟气中的HCN,苯酚,巴豆醛,B[a]P,NH₃,NNK和CO;按照GB/T 3355—2009方法测定烟碱;按照GB/T 19609—2004方法测定焦油;烟丝结构测定参见YC/T 89—2009;按照GB 5606.4—2005对卷烟进行感官评吸。

2 结果与分析

2.1 亚临界萃取条件的优化选择

影响亚临界萃取的主要因素有萃取溶剂、烟丝前处理方式、萃取强度等,本研究对这3个影响因素进行优化考查。

2.1.1 萃取溶剂的选择 目前常用的亚临界流体主要有丁烷、二甲醚、四氟乙烷等,它们是常温常压下为气体,经加压或降温则容易液化的物质。丁烷是非极性溶剂,用于萃取脂类物质,是应用最早也是应用最为广泛的亚临界萃取溶剂,属于卫生部允许使用的食品加工助剂;二甲醚具有与许多极性和非极性溶剂互溶的特性,残留极低,是一种常用的食品工业用加工助剂;四氟乙烷也属于非极性溶剂,它不但无毒,而且不燃,克服了烃类醚类溶剂易燃易爆的致命缺点,这也是它的最大优势。因此本研究主要考查烟丝经以上3种溶剂在亚临界状态下萃取处理30 min后卷烟焦油的变化情况。卷烟样品的检测结果见表1。

由表1可以看出,与对照样相比,3种溶剂萃取后焦油量都有所降低,其中二甲醚萃取后焦油的降低幅度稍大于其他两种溶剂,降低量为2.36 mg/

支,降低比例为14.5%。由于烟丝中化学成分很复杂,考虑到二甲醚能同时与极性和非极性物质相溶的特点,选择二甲醚作为萃取溶剂进行试验。

2.1.2 烟丝前处理方式的选择 细胞破壁可以提高植物中有效成分的提取效率,目前常用的物理破壁方法有高压匀浆法、珠磨法、冷冻压榨法、超声法和微波辅助提取法^[25]。结合烟草的工业应用情况,考查微波破壁处理烟丝对卷烟焦油释放量的影响。按烟丝质量的20%进行润水,密封放置30 min,然后微波1 min,使用二甲醚进行萃取处理。微波破壁处理样品的检测结果见表2。

从表2可以看出,微波处理后卷烟主流烟气中烟碱、焦油量都有明显降低,其中焦油量降低了10.0%。从细胞破碎的微观角度看,微波加热导致烟叶细胞内的极性物质(如水分子)吸收微波能,产生大量热量,使细胞内温度迅速上升,液态水汽化产生的压力将细胞膜和细胞壁冲破,从而更利于胞内物质的溶出。

2.1.3 萃取强度的选择 亚临界萃取时间如太短,溶剂和物料还没有达到平衡;萃取时间如太长,又不利于工作效率的提高。常用的萃取时间为30 min。本文考查烟丝样品分别萃取一次、二次、三次,每次萃取30 min对卷烟主流烟气的影响。烟丝经破壁处理后,使用二甲醚作萃取溶剂,每次更换新的溶剂,不同萃取强度样品的检测结果见表3。由表3可以看出,经过第一次萃取,焦油降低量为3.75 mg/支,降低比例23.0%;经过第二次萃取,焦油量又降低了1.70 mg/支。经过第三次萃取,降低量为0.83 mg/支,虽然比第二次萃取仍有所降低,但其降低量较小。综合考虑时间和溶剂的成本,选择萃取处理二次为最优的处理条件。

2.2 卷烟烟气常规化学成分变化

将经亚临界萃取处理的烟丝和未处理烟丝分别卷制成卷烟,卷制过程控制单支质量。分别测定卷烟吸阻和主流烟气指标,结果见表4。由表4可以看出,与对照样相比,相同烟支质量条件下,经亚临界萃取处理的卷烟,其平均吸阻降低了8.9%,卷烟的抽吸口数没有明显的变化,焦油量降低了33.4%;烟碱量降低了62.2%;CO量降低了22.4%。因此,相同单支质量下,经亚临界萃取处理后的烟丝能够有效降低卷烟的焦油量、烟碱量和CO量。

表1 不同萃取溶剂处理样品的检测结果

萃取溶剂	平均质量/ (g·支 ⁻¹)	抽吸口数/ (口·支 ⁻¹)	总粒相物/ (mg·支 ⁻¹)	水分/ (mg·支 ⁻¹)	烟碱量/ (mg·支 ⁻¹)	焦油量/ (mg·支 ⁻¹)
丁烷	0.95	9.8	17.07	1.27	1.34	14.46
二甲醚	0.95	9.4	16.32	1.16	1.21	13.95
四氟乙烷	0.95	9.5	17.91	1.65	1.48	14.78
对照样	0.95	9.8	20.08	1.84	1.93	16.31

表2 微波破壁处理样品的检测结果

处理方式	平均质量/ (g·支 ⁻¹)	抽吸口数/ (口·支 ⁻¹)	总粒相物/ (mg·支 ⁻¹)	水分/ (mg·支 ⁻¹)	烟碱量/ (mg·支 ⁻¹)	焦油量/ (mg·支 ⁻¹)
微波处理	0.96	9.3	14.68	1.04	1.08	12.56
直接萃取	0.96	9.4	16.32	1.16	1.21	13.95

表3 不同萃取强度样品的检测结果

处理强度	平均质量/ (g·支 ⁻¹)	抽吸口数/ (口·支 ⁻¹)	总粒相物/ (mg·支 ⁻¹)	水分/ (mg·支 ⁻¹)	烟碱量/ (mg·支 ⁻¹)	焦油量/ (mg·支 ⁻¹)
对照样	0.95	9.8	20.08	1.84	1.93	16.31
一次处理	0.95	9.3	14.68	1.04	1.08	12.56
二次处理	0.95	9.3	12.59	1.00	0.73	10.86
三次处理	0.96	9.6	11.60	0.88	0.69	10.03

表4 吸阻及主流烟气检测结果

样品及 变化	平均吸 阻/Pa	抽吸口数/ (口·支 ⁻¹)	总粒相物/ (mg·支 ⁻¹)	实测水分/ (mg·支 ⁻¹)	烟碱量/ (mg·支 ⁻¹)	焦油量/ (mg·支 ⁻¹)	CO量/ (mg·支 ⁻¹)
对照样	1 240	9.8	20.08	1.84	1.93	16.30	13.4
萃取样	1 130	9.3	12.59	1.00	0.73	10.86	10.4
变化量	-110	-0.5	-7.49	-0.84	-1.20	-5.44	-3.0
变化率/%	-8.9	-4.6	-37.3	-45.6	-62.2	-33.4	-22.4

2.3 烟丝的加工性能变化

试验发现,经过亚临界萃取处理的烟丝,颜色稍微有些变淡,对烟丝的结构变化进行测定的结果见表5.

表5 萃取处理前后烟丝结构的变化

烟丝 结构	处理前		处理后		处理前后 结构变化/%
	质量/g	烟丝结构/%	质量/g	烟丝结构/%	
长丝	578	57.80	480	48.10	-9.70
中丝	234	23.40	270	27.10	3.70
短丝	163	16.30	213	21.40	5.10
碎丝	25	2.50	35	3.50	1.00

由表5可以看出,处理后的烟丝与处理前相比,长丝率的降低比例为9.7%,中丝、短丝比例稍有增加,碎丝增加的比例仅为1%,这可能是处理前后将烟丝打包及拆包造成的.

为了了解处理后烟丝的微观结构,对对照烟丝、膨胀烟丝、萃取烟丝进行了扫描电镜分析,结果

见图2.

由图2a)可以看出,对照烟丝很难看到烟叶细胞,细胞被烟叶表面的蜡质层覆盖;从图2b)中可见,膨胀烟丝细胞胞体呈膨胀状态,细胞间隙增宽,破裂口呈火山喷发状,由内向外爆裂,表面蜡质层显著减少;图2c)萃取烟丝细胞胞体缩小,破裂数目相对于膨胀细胞更多,细胞从外向内破裂,细胞间隙变小,破裂口周围有明显挛缩,表面蜡质层显著减少.

总体来说,采用亚临界萃取处理对烟丝的耐加工性未产生明显的影响,并未明显增加烟丝的造碎.这是因为在亚临界状态下和脱溶的过程中,几乎不存在因毛细管表面张力作用而导致的微观结构的改变(如孔道的塌陷等).

2.4 卷烟有害成分释放量的变化

采用顶空-气质联用法检测处理后烟丝中二甲醚的残留,结果显示,样品中未检测出二甲醚.

对亚临界萃取处理后的烟丝和未处理烟丝卷制的卷烟,分别测定7种有害成分释放量,结果见表6.由表6可以看出,烟丝经亚临界萃取处理后,除NNK和巴豆醛释放量基本不变外,苯酚,HCN, NH₃,CO,B[a]P这5种成分的释放量均比对照样降低,降低比例在22.1%~46.5%之间.危害指数由原来的14.15降为10.28,降低了3.87.因此亚临界萃取技术能够显著降低卷烟主流烟气中苯酚,HCN,NH₃,CO,B[a]P的释放量,有效降低危害指数.

2.5 烟丝常规化学成分的分析

烟丝的工业可用性与其主要化学成分有着紧密的联系,试验采用连续流动法考查亚临界萃取对烟丝的常规化学成分含量的影响,测定结果见表7.

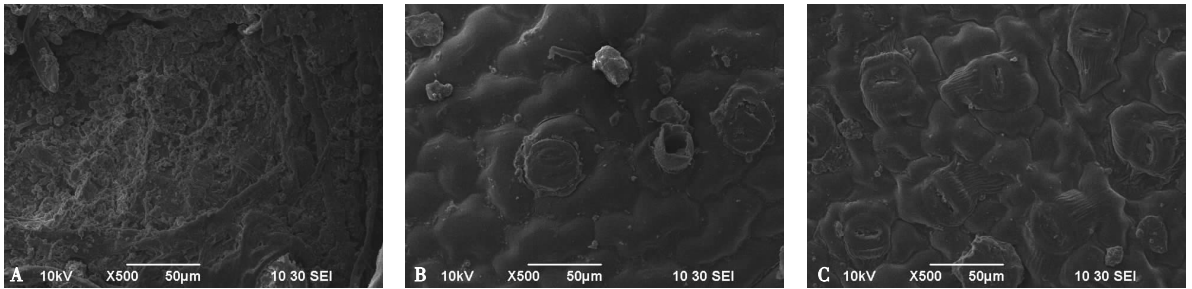
表7显示,经过亚临界萃取,烟丝中的一些成分溶解到了有机萃取剂中,萃取后烟丝质量降低了1.8%.萃取后烟丝的总植物碱和总氮的含量明显降低,总植物碱含量降低比例为40.3%,总氮降低比例为13.8%,这与烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼

碱等植物碱在二甲醚中具有很好的溶解性有关.另外硝酸盐和蛋白质也稍有降低,这是因为烟丝中有少量的硝酸盐、亚硝酸盐以及一些蛋白质被溶出.总糖、还原糖的降低比例很小,因为蔗糖、麦芽糖、淀粉、葡萄糖、果糖、戊糖、乳糖等几乎不溶于二甲醚.钾和氯在萃取前后几乎没有变化,这是因为钾和氯在烟草中以离子状态存在,不溶于有机溶剂而未被萃取出来.

对有害成分形成机理的研究^[26]表明,烟碱、蛋白质、硝酸盐等含氮物质是主流烟气中NH₃,HCN等的主要前体物,烟丝中常规成分检测结果表明亚临界萃取技术能够降低烟丝中总植物碱、蛋白质等含氮物质,理论上应该能够降低NH₃,HCN等有害成分的释放量,对烟气中7种有害成分的检测结果也印证了这一推理.

2.6 卷烟感官评价

将亚临界萃取处理后和对照卷烟进行对比评吸,结果见表8(满分为9分).



a) 对照烟丝

b) 膨胀烟丝

c) 萃取烟丝

图2 不同处理方式烟丝的扫描电镜图

表6 萃取处理前后样品的7种有害成分检测结果

样品及变化	苯酚 /($\mu\text{g} \cdot \text{支}^{-1}$)	NNK /($\text{ng} \cdot \text{支}^{-1}$)	HCN /($\mu\text{g} \cdot \text{支}^{-1}$)	NH ₃ /($\mu\text{g} \cdot \text{支}^{-1}$)	CO量 /($\text{mg} \cdot \text{支}^{-1}$)	B[a]P /($\text{ng} \cdot \text{支}^{-1}$)	巴豆醛 /($\mu\text{g} \cdot \text{支}^{-1}$)	危害指数
对照样	43.15	3.32	152.22	17.62	13.35	15.19	23.62	14.15
萃取样	28.25	3.15	115.29	9.42	10.40	11.27	23.79	10.28
变化量	-14.90	-0.17	-36.93	-8.20	-2.95	-3.92	0.17	-3.87
变化率/%	-34.5	-5.1	-24.3	-46.5	-22.1	-25.8	0.7	-27.3

表7 处理前后烟丝常规化学成分检测结果

样品及变化	烟丝质量/g	总氮	总植物碱	硝酸盐	蛋白质	总糖	还原糖	钾	氯
对照样	100.0	2.18	2.98	0.10	13.12	18.51	18.06	1.78	0.73
萃取样	98.2	1.88	1.78	0.09	12.50	18.38	18.01	1.77	0.73
变化量	-1.8	-0.30	-1.20	-0.01	-0.62	-0.13	-0.05	-0.01	0.00
变化率/%	-1.8	-13.8	-40.3	-11.6	-4.7	-0.7	-0.3	-0.6	0.0

表8 处理前后卷烟的对比评吸结果

分

样品	香气质	香气量	浓度	柔细度	余味	杂气	刺激性	劲头	燃烧性	灰色	突出特点
对照样	6.5	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	中 ⁺	5.0	5.0	浓度较高 爆发力强
萃取样	6.0	6.0	5.5	7.0	6.5	6.0	6.5	中 ⁻	5.0	5.0	平淡、劲小

由表8可以看出,萃取后烟丝柔细度、余味、刺激均好于对照样,杂气中的碱性刺激变小,清甜感比较明显.香气质和香气量略有下降,浓度下降较明显,劲头稍有变小,这与萃取后烟丝中烟碱、蛋白质、总氮等含氮物质含量降低有密切关系.萃取后的烟丝最突出的特点是烟味平淡、劲头变小.因此对于刺激性强、劲头过大的低次烟叶,采用亚临界萃取处理不但能降低其焦油和有害物质的释放量,还能提升卷烟的感官品质,提高低次烟叶的使用价值.

3 结论

本研究优化了亚临界萃取烟叶降低卷烟焦油和有害成分的萃取条件,用二甲醚作萃取溶剂,微波破壁处理,萃取两次,每次30 min为最优的萃取方式.萃取后烟丝主流烟气中焦油、烟碱有明显降低,降低比例分别为33.4%和62.2%;处理后烟丝的加工性能无明显变化;7种有害成分中苯酚,HCN, NH₃, CO和B[a]P这5种成分的释放量降低明显,有害指数降低了3.87;感官评吸的柔细度、余味、刺激性均好于对照样,呈现柔、细、甜的特点.该技术为降焦减害探索了一条新的途径和方法.

参考文献:

- [1] 谢剑平,刘惠民,朱茂祥,等.卷烟烟气危害性指数研究[J].烟草科技,2009(2):5.
- [2] 吴殿信,王兵,刘朝贤,等.卷烟降焦技术方法[J].烟草科技,1999(1):7.
- [3] 祁鲲.液化石油气浸出油脂工艺[P].中国:CN 90108660.6,1990-10-24.
- [4] Veggi P C, Cavalcanti R N, Meireles M A A. Production of phenolic-rich extracts from Brazilian plants using supercritical and subcritical fluid extraction; Experimental data and economic evaluation [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 131: 96.
- [5] Tsuchiya Y, Sako T, Okajima I, et al. Solubility characteristics and selective extraction of jatropha oil by super- and subcritical CO₂ extraction [J]. Journal of Chemical Engineering of JAPAN, 2013, 46: 250.
- [6] Chen M, Liu T Z, Chen X L, et al. Subcritical co-solvents extraction of lipid from wet microalgae pastes of *Nannochloropsis* sp [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2012, 114: 205.
- [7] Monrad J K, Howard L R, King J W, et al. Subcritical solvent extraction of procyanidins from dried red grape pomace [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 4014.
- [8] 祁鲲.成品烟叶保形减害降焦的亚临界萃取工艺[P].中国:CN 102090710 B, 2013-01-09.
- [9] YC/T 159—2002, 烟草及烟草制品·水溶性糖的测定·连续流动法[S].
- [10] YC/T 161—2002, 烟草及烟草制品·总氮的测定·连续流动法[S].
- [11] YC/T 249—2008, 烟草及烟草制品·蛋白质的测定·连续流动法[S].
- [12] YCT 160—2002, 烟草及烟草制品·总植物碱的测定·连续流动法[S].
- [13] YC/T 296—2009, 烟草及烟草制品·硝酸盐的测定·连续流动法[S].
- [14] YC/T 217—2007, 烟草及烟草制品·钾的测定·连续流动法[S].
- [15] YCT 162—2002, 烟草及烟草制品·氯的测定·连续流动法[S].
- [16] GB/T 16447—2004, 烟草及烟草制品·调节和测试的大气环境[S].
- [17] GB/T 16450—2004, 常规分析用吸烟机·定义和标准条件[S].
- [18] YC/T 253—2008, 卷烟·主流烟气中氰化氢的测定·连续流动法[S].
- [19] YC/T 255—2008, 卷烟·主流烟气中主要酚类化合物的测定·高效液相色谱法[S].
- [20] YC/T 254—2008, 卷烟·主流烟气中主要羰基化合物的测定·高效液相色谱法[S].
- [21] GB/T 21130—2007, 卷烟·烟气总粒相物中苯并[a]芘的测定·气质联用法[S].
- [22] YC/T 377—2010, 卷烟·主流烟气中氨的测定·离子色谱法[S].
- [23] GB/T 23228—2008, 卷烟·主流烟气总粒相物中烟草特有N-亚硝胺的测定·气相色谱-热能分析联用法[S].
- [24] GB/T 23356—2009, 卷烟·烟气气相中一氧化碳的测定·非散射红外法[S].
- [25] 郭孝武.超声提取及其应用[M].西安:陕西师范大学出版社, 2003.
- [26] Woodward C F, Eisner A, Haines P G. Pyrolysis of nicotine to myosmine [J]. Journal of the American Chemical Society, 1944, 66(6): 911.