

烤烟香型相关化学成分主导的不同产区烟叶聚类分析

常爱霞¹, 张建平², 杜咏梅¹, 王树声¹, 贾兴华¹, 付秋娟¹, 张骏², 刘洪祥¹

1 中国农业科学院烟草研究所, 青岛科苑经四路 11 号 266101;

2 上海烟草(集团)公司, 上海 200082

摘要: 为了给不同产区烟叶的评价利用提供理论与试验依据, 分析了国内外不同产区烤烟烟叶常规化学成分、金属离子、有机酸、多酚及中性香味成分与香型的简单相关关系, 并利用与香型显著相关的化学成分, 对不同产区烟叶进行了聚类分析。结果表明, 53 个化学指标中, 与烤烟香型风格具有极显著或显著相关的化学指标有 22 种; 利用该 22 种化学成分对 18 个产区烟叶的聚类分析结果显示, 当 $T = 12.4$ 时不同产区烟叶被归为两大类群: 国外进口和陕西安康烟叶为 1 类, 其他国内烟叶为 1 类; 当 $T = 5.6$ 时不同产区来源的烟叶归属为 7 个类群: 津巴布韦和加拿大烟叶; 巴西和陕西安康烟叶; 福建、湖北恩施、重庆黔江、江西赣南烟叶; 辽宁、四川、云南烟叶; 广西、湖南、贵州烟叶; 河南、山东烟叶; 黑龙江牡丹江、吉林烟叶。

关键词: 烤烟香型; 化学成分; 相关性; 烟叶; 聚类分析

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2010.02.004

中图分类号: TS411.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2010)02-0014-06

Cluster analysis of flue-cured tobacco leaves from different growing areas according to the chemical components correlating with aroma types

CHANG Ai-xia¹, ZHANG Jian-ping², DU Yong-mei¹, WANG Shu-sheng¹,

JIA Xing-hua¹, FU Qiu-juan¹, ZHANG Jun², LIU Hong-xiang¹

1 Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China;

2 Shanghai Tobacco (Group) Corporation, Shanghai 200082, China

Abstract: Routine chemical components, metal ions, organic acids, polyphenols, and neutral aroma constituents in both domestic and imported flue-cured tobacco leaves were analyzed with aroma types by simple correlation in order to provide experimental basis for reasonable evaluation and better use of tobacco leaves from different growing areas. Results showed that in total 53 chemical indexes, 22 were highly significantly or significantly correlated with aroma types. Cluster analysis was then conducted with these 22 chemical indexes. Results showed that when $T = 12.4$, tobacco leaves from 18 regions were divided into 2 groups: one was those from abroad and Shaanxi Ankang of China, the other was from regions except Ankang. When $T = 5.6$, tobacco leaves from 18 regions were divided into 7 groups, which in turn were from Zimbabwe and Canada, from Brazil and Shaanxi Ankang, from Fujian, Hubei Enshi, Chongqing Qianjiang, and Jiangxi Gannan, from Liaoning, Sichuan, and Yunnan, from Guangxi, Hunan, and Guizhou, from Henan and Shandong, from Heilongjiang Mudanjiang and Jilin.

Key words: aroma type; flue-cured tobacco; chemical components; tobacco leaves; cluster analysis

烟叶燃吸时产生的香气风格即香型是衡量烟草品质的重要内容之一。生产实际表明, 不同生态区所产烟叶的香型风格往往不同; 香型风格的不同应当是由

烟叶内在物质成分不同决定的。有关香型分类及其与化学成分的关系研究, 虽然已经有些报道, 但研究结果尚未达成共识^[1-8]。本文在分析不同烤烟产区烤烟烟叶常规化学成分、金属离子、有机酸、多酚及中性香味成分等 5 类化学物质的基础上, 分析了其与烤烟烟叶香型的相关性, 同时利用与香型显著相关的化学成分, 对不同产区的烟叶进行了聚类分析。旨在为区域性烟叶质量的评价利用提供理论与试验依据。

作者简介: 常爱霞, 女, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事烟草育种和烟叶质量评价工作, E-mail: changaixia75@126.com

收稿日期: 2009-06-02

1 材料与方法

1.1 供试材料

以 2003、2004 年全国 15 个省(市)主要烟区(见表 1)和加拿大、巴西、津巴布韦进口的上(B2F、B1L)、中(C3F、C2L)、下(X2F、X2L)3 个部位的 174 份烟叶样品为检测材料。

1.2 化学成分检测方法

常规化学成分采用近红外光谱检测法,金属离子、有机酸、多酚及中性香味成分按上海烟草(集团)公司技术中心企业标准检测。

1.3 香型鉴定

根据农业部烟草产业产品质量监督检验测试中心评吸委员会感官鉴定结果,按清香、清偏中间香、中间偏清香、中间香、中间偏浓香、浓偏中间香、浓香型分型,并依次赋分为 1、2、3、4、5、6、7。

1.4 数据分析方法

用 DPS 软件对数据进行简单相关和系统聚类分

析(数据标准化变换,欧氏距离,可变类平均法)。

2 结果与分析

2.1 样品香型分布

试验样品香型分布如表 1,由表 1 可见,174 份样品中,中间香型样品最多,共 78 份,占总样品量的 44.8%;具有偏浓香型风格特征(中偏浓、浓偏中、浓)的样品共 81 份,占总样品量的 46.6%,具有偏清香型风格特征(中偏清、清偏中)的样品共 15 份,占总样品量的 8.6%。从供试样品看,国外的津巴布韦烟叶样品均为偏浓香型风格,但未达到浓香型;巴西、加拿大烟叶样品为中间香型风格。国内各产区的烟叶样品中,具有偏清香型风格的供试样品的产区有云南、福建、贵州、吉林、四川、重庆黔江等产区,其中云南的清香型风格样品最多;黑龙江牡丹江、辽宁样品均为中间香型;其他产区样品基本上是中间香型和偏浓香型。

表 1 供试样品香型分布表

产区	样品数(份)	各香型样品分布(份)					
		清偏中(2)	中偏清(3)	中间(4)	中偏浓(5)	浓偏中(6)	浓(7)
津巴布韦	22	—	—	—	5	17	—
巴西	12	—	—	12	—	—	—
加拿大	6	—	—	6	—	—	—
福建	14	1	1	7	1	4	—
广西	5	—	—	2	2	1	—
贵州	15	—	1	12	1	1	—
河南	26	—	—	10	4	12	—
黑龙江(牡丹江)	2	—	—	2	—	—	—
湖北(恩施)	5	—	—	3	—	2	—
湖南	5	—	—	2	2	—	1
吉林	6	—	1	5	—	—	—
江西(赣南)	3	—	—	1	1	—	1
辽宁	5	—	—	5	—	—	—
山东	15	—	—	4	5	6	—
陕西(安康)	4	—	—	2	1	1	—
四川	8	—	1	—	3	3	1
云南	16	1	8	5	1	1	—
重庆(黔江)	5	—	1	—	3	1	—
总样品数(份)	174	2	13	78	29	49	3
占总样品比例%	100	1.1	7.5	44.8	16.7	28.2	1.7

2.2 各类化学成分与香型的相关性分析

2.2.1 常规化学成分与香型的相关性分析

有关常规化学成分与香型关系方面的研究,毕淑峰等^[2]曾以常规成分为判别指标对不同香型烤烟进行过逐步判别分析,并引入总糖、还原糖、烟碱、钾等8个变量构建了判别效果较好的判别函数(回判的准确率达95.5%,新样品的判别准确率达93.3%)。本研究常规化学成分及其派生值中(表2),总植物碱、烟碱和总氮等指标与香型呈极显著或显著正相关,说明这3

种成分含量越高,烟叶越可能有偏浓香型风格的倾向;总糖、还原糖、糖碱比、氮碱比、钾氯比、有机钾(指扣除 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的影响,与有机酸结合的钾)等指标与香型呈显著或极显著负相关,说明这些成分值越高,烟叶越可能有偏清香型风格倾向;其他化学指标与香型的相关性不显著,比较而言,总钾、两糖差与烟叶香型的相关性也较大,提高总钾、两糖差值可能对凸显烟叶清香型风格有利。

表2 常规化学成分与香型的相关系数

化学成分	总植物碱/%	烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	总钾/%	总氯/%
最大值	8.00	5.38	36.97	31.39	2.87	3.26	1.37
最小值	1.22	0.73	10.50	9.42	1.33	0.75	0.16
平均值	3.57	2.27	25.83	21.73	1.98	1.81	0.44
香型相关系数	0.2348**	0.1912*	-0.1685*	-0.166*	-0.0174	-0.1116	0.2333**
化学成分	SO_4^{2-} /%	糖碱比	氮碱比	两糖比	两糖差/%	钾氯比	有机钾
最大值	2.20	40.17	2.09	0.95	8.67	15.94	2.02
最小值	0.33	2.35	0.53	0.73	1.07	1.16	-1.08
平均值	1.10	11.25	0.96	0.84	4.10	4.74	0.51
香型相关系数	0.0247	-0.22**	-0.2743**	0.0047	-0.1101	-0.1568*	-0.1656*

注: **表示差异极显著($r_{0.01} = 0.1948$); *表示差异显著($r_{0.05} = 0.1488$),下同。

2.2.2 金属离子与香型的相关性分析

由表3可见,金属离子中除铁离子与香型呈显著负

相关外,其他金属离子与香型的相关性差异不显著。说明铁离子含量高可能有利于烟叶清香型风格的凸显。

表3 金属离子与香型的相关系数

金属元素	Cu($\mu g/g$)	Fe($\mu g/g$)	Mn($\mu g/g$)	Zn($\mu g/g$)	K/%	Ca/%	Mg/%
最大值	41.80	1137.00	684.00	112.00	4.54	4.46	0.94
最小值	3.13	89.80	36.60	11.20	1.09	1.18	0.07
平均值	10.97	294.60	172.32	39.03	2.36	2.47	0.38
香型相关系数	0.0276	-0.1669*	-0.0587	-0.0999	-0.061	0.091	-0.0125

2.2.3 有机酸与香型的相关性分析

由表4可见,乳酸、草酸与香型之间呈极显著正相关关系,说明这两种成分含量越高时,烟叶越可能有偏浓香型风格的倾向;棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、

硬脂酸甲酯与香型呈极显著或显著负相关,说明这几种成分含量越高时,烟叶可能有偏清香型风格的倾向,特别是棕榈酸甲酯,其含量高时,有利于烟叶清香型风格的凸显。

表4 有机酸与香型的相关系数

有机酸	乳酸/%	草酸/%	丙二酸/%	乙酰丙酸/%	苹果酸/%	柠檬酸/%	棕榈酸甲酯/%	亚油酸甲酯+油酸甲酯/%	硬脂酸甲酯/%
最大值	0.10	1.74	0.35	0.13	14.91	1.36	0.41	0.69	0.07
最小值	0.00	0.43	0.08	0.00	2.81	0.11	0.15	0.25	0.03
平均值	0.04	1.05	0.22	0.07	7.58	0.62	0.23	0.39	0.05
香型相关系数	0.2117**	0.2049**	-0.1104	0.0251	-0.008	0.1219	-0.3031**	-0.2414**	-0.1779*

2.2.4 多酚与香型的相关性分析

由表 5 可见,多酚类物质中,新绿原酸和 4-邻-咖啡基奎宁酸与香型呈显著负相关,这两种成分含量高时,烟叶可能有偏清香型风格的倾向,检测的其他多酚

物质与香型相关性不显著,但均呈负相关,总体上看,多酚类物质的含量有利于清香型风格的凸显,这与刘洪祥等^[3]、张永安等^[7]的研究结论基本一致。

表 5 多酚与香型的相关系数

(mg/g)

多酚	新绿原酸	绿原酸	4-邻-咖啡基奎宁酸	萹萆灵	萹萆亭	芸香苷	茨菲醇基-3-芸香糖苷
最大值	4.73	26.39	6.33	0.60	0.53	17.64	1.82
最小值	1.37	7.55	1.94	0.06	0.09	3.59	0.19
平均值	2.28	15.17	3.14	0.18	0.21	9.79	0.88
香型相关系数	-0.1768*	-0.0754	-0.1842*	-0.0195	-0.0682	-0.001	-0.0539

2.2.5 中性香味成分与香型的相关性分析

由表 6 看出,检测的 18 种中性香味成分中,二氢大马酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮 1、巨豆三烯酮 2、巨豆三烯酮 4 五种香气物质与香型呈显著或极显著的相关关系,其他中性香味成分与香型的相关性不显著。

说明二氢大马酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮 1、巨豆三烯酮 2、巨豆三烯酮 4 五种香气物质含量较高时,烟叶有偏浓香型风格的倾向,特别是香叶基丙酮含量高时,有利于烟叶浓香型风格的凸显。

表 6 中性香味成分与香型关系的相关系数

(μg/g)

中性香味成分	糠醛	糠醇	苯甲醛	苯甲醇	苯乙醛	苯乙醇	茄酮	大马酮
最大值	20.99	6.40	1.37	10.24	5.60	5.01	67.77	21.21
最小值	1.37	0.08	0.38	0.42	0.35	0.52	4.57	3.51
平均值	9.09	2.15	0.74	3.87	2.24	1.93	19.70	9.80
香型相关系数	0.007	0.0038	0.0823	-0.0362	-0.0082	0.0951	0.1084	0.0686
中性香味成分	二氢大马酮	香叶基丙酮	降茄二酮	二氢猕猴桃内酯	巨豆三烯酮 1	巨豆三烯酮 2	巨豆三烯酮 3	巨豆三烯酮 4
最大值	2.11	5.61	9.42	3.98	8.43	34.66	5.39	30.45
最小值	0.39	0.59	0.73	0.31	0.30	3.34	0.45	2.61
平均值	1.09	2.73	2.33	1.67	2.10	7.87	1.66	7.42
香型相关系数	0.1679*	0.3984**	0.0734	-0.028	0.2286**	0.1981**	0.1414	0.2003**

2.3 不同产区烟叶化学成分的聚类分析

以与香型具有极显著或显著相关的常规成分中的总植物碱、烟碱、总氮、总糖、还原糖、糖碱比、氮碱比、钾氯比、有机钾,金属离子中的铁离子,有机酸中的乳酸、草酸、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯,多酚中的新绿原酸、4-邻-咖啡基奎宁酸,中性香味成分中的二氢大马酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮 1、巨豆三烯酮 2、巨豆三烯酮 4 等 22 种化学指标作为聚类指标,以各产区样品各指标平均值作为聚类数据,采用系统聚类法对不同产区烟叶进行聚类分析,结果如图 1。

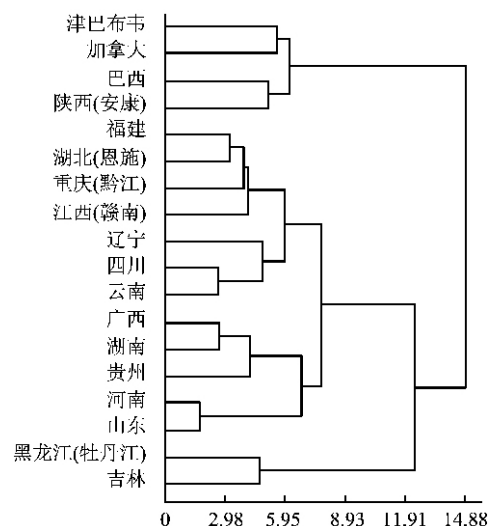


图 1 不同产区烟叶聚类图

由图1可见,当 $T=12.4$ 时,不同产区烟叶被聚为两大类,陕西安康和国外进口烟叶聚为1类,其他国内烟叶被聚为1类。可见,除陕西安康烟叶内在化学成分与国外进口烟叶特别是巴西烟叶比较接近外,国内其他产区烟叶与香型显著相关的内在化学成分和国外烟叶存在较大差异,这可能是国内外烟叶香型风格差

异较大的主要原因。

进一步细分,当 $T=5.6$ 时,18个产区烟叶可以归为7类,各类型与香型显著相关的化学成分特征列于表7(分类描述中,化学成分指标的“中等水平”以不同产区烟叶该指标的平均值为准):

表7 不同分类类型烟叶化学成分特征(与香型显著相关成分)

烟叶类型	产区	烟叶化学成分特征		
		含量偏高成分	含量中等成分	含量偏低成分
第1类	津巴布韦、加拿大	氯、乳酸、草酸、中性香味成分	烟碱	糖、糖碱比、氮碱比、钾氯比、铁离子、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯、多酚
第2类	巴西、陕西(安康)	烟碱、乳酸、草酸、中性香味成分	钾氯比、铁离子	糖、糖碱比、氮碱比、氯、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯、多酚
第3类	福建、湖北(恩施)、重庆(黔江)、江西(赣南)	糖、烟碱、钾氯比、有机钾、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯	多酚、中性香味成分	糖碱比、氮碱比、总氯、乳酸、草酸、
第4类	辽宁、四川、云南	糖、糖碱比、钾氯比、有机钾、铁离子(辽宁偏低)	烟碱、氮碱比、氯、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯、多酚	乳酸、草酸、中性香味成分低
第5类	广西、湖南、贵州	烟碱、钾氯比、有机钾、草酸	氯、乳酸、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯、多酚、香叶基丙酮、巨豆三烯酮	糖、糖碱比、铁离子、二氢大马酮
第6类	河南、山东	氯、铁离子、多酚、二氢大马酮、香叶基丙酮	烟碱、糖、糖碱比、氮碱比、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯	钾氯比、有机钾、乳酸、草酸、巨豆三烯酮类
第7类	黑龙江(牡丹江)、吉林	糖、糖碱比、氮碱比、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯	钾氯比、草酸、4-邻-咖啡基奎宁酸	烟碱、氯、有机钾、铁离子、乳酸、新绿原酸、中性香味成分

3 结论和讨论

(1)不同产区烟叶化学成分与烤烟香型的相关性分析结果显示,5类化学成分中,与香型呈极显著或显著正相关的有总植物碱、烟碱与总氯、乳酸、草酸、二氢大马酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮1、巨豆三烯酮2、巨豆三烯酮4等,这些化学成分含量高时,可能有助于烟叶浓香型风格的凸显;与香型呈极显著或显著负相关的化学成分有总糖、还原糖、糖碱比、氮碱比、钾氯比、有机钾、铁离子、棕榈酸甲酯、油酸和亚油酸甲酯、硬脂酸甲酯、新绿原酸、4-邻-咖啡基奎宁酸等,这些化学成分含量高时,可能有助于烟叶清香型风格的凸显。

(2)利用22种与香型显著相关的化学成分对进口和国内15个产区烟叶聚类分析表明,当 $T=12.4$ 时,不同产区烟叶被归为两大类,陕西安康和国外进口烟叶为1类,其他国内烟叶被聚为1类。可见,陕西安康烟叶22种内在化学成分与国外进口烟叶特别是巴西烟叶比较接近,国内其他产区烟叶22种内在化学成分

和国外烟叶存在较大差异,这可能是国内外烟叶香型风格差异较大的主要原因;当 $T=5.6$ 时,不同产区的烟叶归为7类,分别是津巴布韦和加拿大烟叶类;巴西和陕西(安康)烟叶类;福建、湖北(恩施)、重庆(黔江)、江西(赣南)烟叶类;辽宁、四川、云南烟叶类;广西、湖南、贵州烟叶类;河南、山东烟叶类;黑龙江(牡丹江)、吉林烟叶类。

(3)我们知道,不同香型烟叶的差异成分,不一定都与香型有密切关系。基于这一点,本文首先通过简单相关分析,找出与香型有显著相关性的成分,然后利用与香型显著相关的化学成分指标对不同产区烟叶进行聚类,旨在探寻哪些产区烟叶香型风格或质量特征可能比较接近。从聚类结果可以看出,虽然是以与香型显著相关的化学成分为基础进行聚类的,但国内烟叶聚为一类的烟叶产区在地域上也比较临近,进一步印证了地域临近,生态条件相似的产区,所产烟叶内在质量风格相似;另一方面也说明,研究和明确凸显产区烟叶质量风格的主要化学成分,进而通过提高这些

化学成分含量的综合技术的研究和推广来实现产区特色烟叶的定位开发,可能是一条有效的途径。

(4)在本研究的中性香味成分中,香叶基丙酮与香型的相关性最高($r=0.3984^{**}$),而所检测的其它化学成分中,氯离子又与香叶基丙酮的相关性最高($r=0.5807^{**}$),并且氯离子与香型也呈极显著正相关,因此氯离子可能是影响香味风格的重要化学成分。本研究和王兵等⁹的研究表明,津巴布韦和加拿大烟叶氯离子含量明显高于国内烟叶,其烟叶香型风格是否与氯离子含量高有关值得探讨。由于以往多关注氯离子对烟叶外观质量和燃烧性的影响(氯含量较低时如低于0.3%时,烟叶干燥粗糙、易破碎,切丝率低,过高时燃烧性下降),所以一些氯离子含量较高的产区(如河南、山东)降氯措施是否会影响产区烟叶香吃味风格尚值得探讨。

(5)由于本研究样品香型分布多集中在中间香型(占44.8%)和偏浓香型(占46.6%),偏清香型风格的样品量较少(占8.6%),所以相关性分析结果可能存在一定的偏差,此外,各产区烟叶样品数量也存在较大差距,有待进一步扩大不同产区各香型风格样品量进行深入研究。但聚类是以样品化学成分实际含量平均值进行的,所以聚类结果对工业卷烟配方设计及选择替代烟叶具有一定的参考意义。

[上接第5页]

- [4] 林桂华,周冀衡,范启福,等.打顶技术对烤烟产质量和生物碱组成的影响[J].中国烟草科学,2002(4):8-12.
- [5] Roberts D L. Natural tobacco flavor[J]. Rec Adv Tob Sci, 1988, 14: 79-81.
- [6] 简永兴,杨磊,董道竹,等.种植密度对新K326上部烟叶农艺性状及烟碱含量的影响[J].作物杂志,2005(6):14-17.
- [7] 李文卿,陈顺辉,江荣凤,等.不同施氮量对烤烟总氮和烟碱积累的影响[J].中国烟草学报,2007,13(4):31-35.
- [8] 高贵,田野,邵忠顺,等.留叶数和留叶方式对上部叶烟碱含量的影响[J].耕作与栽培,2005(5):26-27.
- [9] 简永兴,易建华,蒲文宣,等. α -萘乙酸棉球扎顶对烤烟上部烟叶烟碱含量及糖碱比值的影响[J].作物杂志,2008(6):22-25.
- [10] Steppuhn A, Gase K, Krock B, et al. Nicotine's defensive function in nature[J]. Pub Lib Sci Biol, 2004, 2(8):1074-1080.
- [11] Shi Q M, Li C J, Zhang F S. Nicotine synthesis in *Nicotiana tabacum* L. induced by mechanical wounding is regulated by auxin[J]. J Exper Bot, 2006, 57(11):2899-2907.
- [12] Musser R O, Hum-Musser S M, Eichenseer H, et al. Herbivory: caterpillar saliva beats plant defences[J]. Nature, 2002, 416(6881):599-600.

参考文献

- [1] 李章海,王能如,王东胜,等.烤烟香气指数的建立及其与烟叶质量特征的关系[J].安徽农业科学,2007,35(4):1055-1056,1073.
- [2] 毕淑峰,朱显灵,马成泽,等.逐步判别分析在中国烤烟香型鉴定中的应用[J].热带作物学报,2006,27(4):104-107.
- [3] 刘洪祥,陈刚,王洪云,等.不同烤烟品种香型风格与多酚类化合物含量的差异性研究[C]/现代烟草农业学术论文集.2008:490-496.
- [4] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,等.不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(1):20-23.
- [5] 邵岩,方敦煌,邓建华,等.云南与津巴布韦烤烟致香物含量差异研究[J].食品科学,2007,28(8):70-74.
- [6] 于建军,庞天河,任晓红,等.烤烟中性致香物质与评吸结果关系研究[J].河南农业大学学报,2006,40(4):346-349.
- [7] 张永安,郑湖南,周冀衡,等.不同产区烤烟香气特征与化学成分的差异[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(5):568-571.
- [8] 赵铭钦,陈秋会,陈红华.中外烤烟烟叶中挥发性香气物质的对比分析[J].华中农业大学学报,2007,26(6):875-879.
- [9] 王兵,申玉军,张玉海,等.国产烤烟与津巴布韦烟叶常规化学成分比较[J].烟草科技,2008(8):33-37.
- [13] Harvey W R, Stahr H M, Smith W C. Automated determination of reducing sugar and nicotine alkaloid on the same extract of tobacco leaf[J]. Tobacco Sci, 1969, 13: 13-15.
- [14] Troje Z S, Frobe Z, Perovic D. Analysis of selected alkaloids and sugars in tobacco extract[J]. Journal of Chromatography A, 1997, 775: 101-107.
- [15] 元建.烤烟打顶技术[J].烟草科技,1999(5):42-43.
- [16] Baldwin I T. Damage-induced alkaloids in tobacco: pot-bound plants are not inducible[J]. J Chem Ecol, 1988, 14(4):1113-1120.
- [17] Baldwin I T. Inducible nicotine production in native *Nicotiana* as an example of adaptive phenotypic plasticity[J]. J Chem Ecol, 1999, 25(1):3-30.
- [18] Heijar J, Nerg A M, Kainulainen P, et al. Application of methyl jasmonate reduces growth but increases chemical defence and resistance against *Hylobius abietis* in scots pine seedlings[J]. Entomol Exp Appl, 2005, 115: 117-124.
- [19] Shoji T, Yamada Y, Hashimoto T. Jasmonate induction of Putrescine N-Methyltransferase Genes in the root of *Nicotiana glauca* L. [J]. Plant Cell Physiol, 2000, 41(7):831-839.
- [20] Sharon Y S, Jennifer A R, Jennifer A L, et al. Direct and ecological costs of resistance to herbivory[J]. TRENDS in Ecology&Evolution, 2002, 17(6):278-285.