

烤烟致香物质含量和腺毛密度的基因型差异

刘红杰¹, 习向银², 胡晓明³, 谢小波⁴, 刘朝科³, 古战朝¹, 张重义¹

¹ 河南农业大学农学院, 郑州文化路 95 号 450002;

² 西南大学, 重庆市北碚区天生路 2 号 400715;

³ 川渝中烟工业公司, 成都 610031; ⁴ 重庆市烟草公司, 重庆 400023

摘要: 采用田间试验和气相色谱-质谱联用法分析及电镜扫描, 对不同基因型烤烟致香物质含量和腺毛密度差异进行了研究。结果表明, 烟叶的致香物质含量与基因型密切相关, 不同基因型烤烟致香物质总量存在显著差异, 具体表现为兴烟 1 号>K326>云烟 87>贵烟 4 号; 不同基因型烤烟主要类别致香物质含量存在差异, 其中云烟 87 的类西柏烷类、苯丙氨酸类和棕色化产物类致香物质含量较高, 而兴烟 1 号的类胡萝卜素类和新植二烯致香物质含量较高; 不同基因型烤烟叶面腺毛密度存在差异, 兴烟 1 号的腺毛密度最大, 其次是 K326, 云烟 87 的腺毛密度最小。

关键词: 烤烟; 基因型; 致香物质; 腺毛

doi: 10.3969/j.issn.1004-5708.2011.03.009

中图分类号: S572.01

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2011)03-0042-06

Genotypic difference in aroma substance content and glandular trichome density in flue-cured tobacco

LIU Hong-jie¹, XI Xiang-yin², HU Xiao-ming³, XIE Xiao-bo⁴, LIU Chao-ke³, GU Zhan-chao¹, ZHANG Zhong-yi¹

¹ College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zherzhou 450002, China;

² Southwest University, Chongqing 400715, China;

³ China Tobacco Chuanyu Industrial Corporation, Chengdu 610031, China;

⁴ Chongqing Municipal Tobacco Company, Chongqing 400023, China

Abstract: Field experiments, GC/MS and scanning electron microscope technology were used to study differences in aroma substance content and glandular trichome density of different flue-cured tobacco genotypes. Results showed that aroma substance content in tobacco leaves was closely related to its genotype. There was significant difference in total aroma substances content among flue-cured tobacco genotypes as follows: Xingyan1>K326>Yunyan87>Guiyan4. There were significant differences in aroma substance content in major categories of flue-cured tobacco of different genotypes, i.e. content of cembra-nenoids, phenylalanines, and browning products were higher in Yunyan87, while Xingyan1 had higher content of carotenoids and neoplytadiene. Difference existed in leaf glandular hair density among flue-cured tobacco genotypes, glandular hair density of Xingyan1 was the highest, followed by K326 and Yunyan87.

Key words: flue-cured tobacco; genotype; aroma substance; glandular trichome

作者简介: 刘红杰, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为烟草生理生态学, E-mail: liuhj84@163.com

张重义(通讯作者), 男, 教授, 研究方向为作物生理生态学, Tel: 0371-63555721; E-mail: hauzy@163.com

基金项目: 川渝中烟工业公司资助项目(2009YYJD)

收稿日期: 2010-07-05

香气是评定烟叶品质的重要指标。而烟叶的香气量、香气质和香气类型受香气成分组成、含量、比例以及相互作用的影响^[1]。烤烟品种间香气风格(表现型)的差异是由品种间基因(遗传型)的差异和环境影响的综合作用造成的。王瑞新等^[2]对河南省4个主要烤烟品种G140、NC89、红花大金元和长脖黄的主要致香物质成分进行了定量分析,同一地区不同品种间主要致香物质含量存在明显的差异。刘友杰等^[3],赵铭钦等^[4],邵丽等^[5],刘国顺等^[6]也得到类似结果。周淑平等^[7]对全国8个生态地区烟叶中重要致香物质进行了检测,结果表明不同产地存在明显差异,同类致香成分中最高值比最低值可高出2.0~7.5倍。同一品种在不同地区种植,烟叶的香气质、香气量、香型和吃味也有显著差异,这是不同地区的生态条件综合作用的结果^[8-11]。烟叶腺毛密度在一定程度上反映了烟叶的某些品质特性,如香气、吃味、化学成分等^[12-13]。烟叶表面腺毛作为分泌器官,其分泌物与烟叶香气质和香气量的形成存在密切的关系^[14],而不同烤烟品种间,以及不同生态条件下腺毛密度都存在显著差异^[15-19]。可见,生态条件和品种是影响烟叶致香物质含量和腺毛密度的关键因素。因此,常常把烟叶致香物质含量多少和腺毛密度大小作为评价某品种是否适应该烟叶生态区的重要品质指标。

重庆是我国主要烟叶产区之一,其烟叶产量约占全国总量的4%。得天独厚的生态条件为特色优质烟叶的生产提供了有利条件。但该产区不同烤烟品种的烟叶香气风格差异,尚少有研究。本研究采用GC-MS分析和电镜观察,研究不同基因型烤烟的致香物质含量和叶片表面腺毛密度的差异,探讨了长江中上游烤烟种植区烟叶香气风格形成的物质基础,筛选具有典型香气特征的品种,以期为促进重庆烟叶产区发展提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点和供试土壤

试验于2009年在重庆武隆县和顺镇青木池村川渝中烟科技示范园进行。试验地海拔高度为1110 m,土壤质地为壤土,地势平坦,土层深厚,土壤pH值为5.62,有机质含量为 $19.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量为 $155.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷为 $49.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效钾为 $230.94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,灌排水便利。

1.2 试验设计

试验设置4个处理,即云烟87、K326、贵烟4号和兴烟1号(为重庆地区示范推广品种),处理间随机区

组排列,3次重复,每个小区面积 66.67 m^2 。所有处理于5月15日移栽,行株距为 $120 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$,留叶数为22片。在试验过程中,其他栽培管理措施按烤烟大田常规管理。其中,施纯氮量为 $105 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,氮磷钾比例为1:1.5:2.5。纯氮60%于移栽前条施,肥料种类为烟草专用肥和硝酸钾;40%按当地追肥习惯,于团棵期追施。取各品种烤后烟样C3F等级2 kg用于香气物质成分分析。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 致香物质含量测定

前处理采用“水蒸气蒸馏—二氯甲烷溶剂萃取”法。在500 mL圆底烧瓶中加入10.000 g烟样,1.0 g柠檬酸,500 μL 内标($0.3595 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 硝基苯溶液),再加入350 mL蒸馏水。安装同时蒸馏萃取装置,从冷凝管上方加入40 mL二氯甲烷于250 mL烧瓶中,待样品开始沸腾,同时蒸馏萃取装置中开始出现分层时开始计时。2.5 h后,收集250 mL烧瓶中的有机相,加入10 g左右无水硫酸钠摇匀至溶液澄清,转移有机相到鸡心瓶,水浴浓缩有机相到1 mL左右。所得样品由GC/MS分析,由NIST库检索定性。

采用美国HP5890 II-5972气质联用仪对烟叶样品进行分析。GC/MS分析条件:色谱柱:HP-5($60 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$);载气及流速:He, $0.8 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$;进样口温度:250℃;传输线温度:280℃;离子源温度:177℃;升温程序:初温50℃,恒温2 min后,以 $2^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度升至240℃,保持30 min;分流比1:15;进样量:2 μL ;电离能:70 eV;电离方式:EI;质量数范围:50~500 amu;MS谱库NIST02;采用内标法定量。

1.3.2 腺毛观察和腺毛密度的测定

待烤烟中部烟叶进入适熟期,每个基因型烤烟品种取长势一致的10棵烟株,在第12叶位中部主脉两侧取 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 大小的鲜叶组织,置于扫描电子显微镜FEI Quanta200(荷兰FEI公司)下观察。

1.3.3 数据分析

试验原始数据的整理采用Microsoft Excel 2007软件完成,差异显著性测验采用DPS6.50统计软件完成数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同基因型烤烟致香物质含量差异

2.1.1 不同基因型烤烟主要挥发性致香物质含量差异

检测出28种致香物质成分:类胡萝卜素类14种、类西柏烷类1种、苯丙氨酸类6种、棕色化产物6种和

新植二烯(表 1),其中以新植二烯、类西柏烷类和类胡萝卜素类含量较高。不同基因型烤烟挥发性致香物质总量表现为兴烟 1 号>K326>云烟 87>贵烟 4 号,其中兴烟 1 号的含量达到了 $1239.58\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,并与其他基因型烤烟存在显著差异。就类胡萝卜素类和棕色化产物类致香物质含量而言,云烟 87 和兴烟 1 号较高;茄酮是烟叶中含量比较丰富的中性香气物质之一,本身具有很好的香气。茄酮的转化产物,如茄醇、茄尼呋喃、降茄二酮也是很重要的烟草香味物质,而且对于改善烟草的香吃味具有重要的作用^[1]。由表 1 看出,不同基因型烤烟间存在明显差异,其中云烟 87 最高,其次为 K326 和贵烟 4 号,而兴烟 1 号最少;就苯丙氨酸

类致香物质含量而言,云烟 87 最高;新植二烯微甜,是卷烟香味的重要成分,能使烟气柔和细腻,增加丰满度,改善烟叶的香气和吃味。在烟草燃烧时可直接进入烟气,具有减轻刺激性、醇和烟气的作用。另外,新植二烯可分解转化形成低分子香味成分,它的分解产物—呋喃茄酮具有柔和清甜香气。近年来,新植二烯含量与挥发性致香物质总量比值,被认为可能是烟叶形成清香特色的因素之一^[20-21]。兴烟 1 号的新植二烯含量最高(见表 1),且除 K326 之外,与其他基因型烤烟品种存在显著性差异。试验结果表明,烟叶的致香物质含量与基因型密切相关。

表 1 不同基因型烤烟主要挥发性致香物质含量差异 (μg·g⁻¹)				
致香物质种类	云烟 87	K326	贵烟 4 号	兴烟 1 号
类胡萝卜素类 (14 种)	59.79 _a	51.18 _b	41.61 _c	62.15 _a
类西柏烷类 (茄酮 1 种)	119.32 _a	51.32 _b	55.98 _b	41.91 _c
苯丙氨酸类 (6 种)	20.17 _a	9.85 _b	9.67 _b	9.78 _b
棕色化产物类 (6 种)	28.43 _a	20.11 _b	20.32 _b	25.81 _a
新植二烯	875.08 _b	1073.93 _a	760.15 _c	1099.92 _a
总计	1102.79 _b	1206.39 _{ab}	887.73 _c	1239.57 _a

注:同行数据后字母不同表示在 0.05 水平有差异。下同。

2.1.2 不同基因型烤烟类胡萝卜素类香气成分含量差异

类胡萝卜素类致香物质是烟叶香气质量的重要组成部分,它刺激性较小,对香气的贡献较大^[14]。由表 2 看出,各基因型烤烟类胡萝卜素类致香物质都以 β-大马酮含量、香叶基丙酮和法尼基丙酮含量较高,4 种烤烟

基因型之间比较,兴烟 1 号有 4 种致香物质成分含量较高,包括脱氢 β-紫罗兰酮、β-大马酮、3-羟基-β-二氢大马酮、法尼基丙酮,云烟 87 有 8 种致香物质成分含量较高,包括 6-甲基-5-庚烯-2-酮、6-甲基-5-庚烯-2-醇、二氢猕猴桃内酯、4 种巨豆三烯酮、螺岩兰草酮,贵烟 4 号只有氧化异佛尔酮含量最高。

表 2 不同基因型烤烟类胡萝卜素类香气成分含量差异 (μg·g⁻¹)				
类胡萝卜素类	云烟 87	K326	贵烟 4 号	兴烟 1 号
氧化异佛尔酮	0.23	0.34	0.36	0.16
6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.60	0.42	0.53	0.69
6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.59	0.39	0.53	0.34
β-大马酮	22.52	25.28	18.38	28.25
香叶基丙酮	11.25	9.95	6.59	12.59
二氢猕猴桃内酯	1.69	1.56	0.85	1.59
β-紫罗兰酮	0.22	0.29	0.25	0.33
巨豆三烯酮 A	0.54	0.20	0.22	0.38
巨豆三烯酮 B	0.33	0.26	0.31	0.29
巨豆三烯酮 C	2.68	0.89	1.73	0.60
3-羟基-β-二氢大马酮	1.42	0.94	0.88	1.52
巨豆三烯酮 D	1.91	1.10	1.37	1.28
螺岩兰草酮	6.52	2.51	3.31	3.93
法尼基丙酮	8.26	7.06	6.30	10.20

2.1.3 不同基因型烤烟苯丙氨酸类香气成分含量差异

苯丙氨酸类致香物质对烤烟香气具有良好的影响,而且对烤烟的果香、清香贡献较大^[22]。由表 3 看出,各基因型烤烟苯丙氨酸类致香物质含量差异主要

体现在苯甲醇含量上,兴烟 1 号有 2 种致香物质含量最高,包括苯甲醛、芳樟醇。云烟 87 有 3 种致香物质成分最高,包括苯乙醛、苯甲醇、苯乙醇。而贵烟 4 号 4-乙烯基-2-甲氧基苯酚含量最高。

表 3 不同基因型烤烟苯丙氨酸类香气成分含量差异 (μg·g⁻¹)

苯丙氨酸类	云烟 87	K326	贵烟 4 号	兴烟 1 号
苯甲醛	1.87	1.62	1.08	2.12
苯乙醛	0.74	0.36	0.45	0.27
苯甲醇	12.62	4.60	4.74	3.91
苯乙醇	2.82	1.04	1.22	1.09
芳樟醇	1.93	2.00	1.92	2.27
4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	0.20	0.22	0.25	0.12

2.1.4 不同基因型烤烟棕色化产物类香气成分含量差异

棕色化产物类致香物质中的许多成分具有令人愉快的香气和吸味,它们对烟草香吃味质量的形成具有十分重要的作用^[11]。由表 4 可以看出,不同基因型烤烟都

以糠醛和 3,4-二甲基-2,5-呋喃含量较高,4 种烤烟基因型之间比较,云烟 87 有 2 种香气成分含量较高,包括糠醛、2-乙酰呋喃;贵烟 4 号有 2 种香气成分含量较高,包括糠醇、2-乙酰基吡咯;兴烟 1 号有 2 种香气成分含量较高,包括 5-甲基糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃。

表 4 不同基因型烤烟品种棕色化产物类致香物质成分差异 (μg·g⁻¹)

棕色化产物类	云烟 87	K326	贵烟 4 号	兴烟 1 号
糠醛	21.74	15.00	15.33	16.04
糠醇	1.10	0.93	1.33	1.01
2-乙酰呋喃	0.81	0.65	0.56	0.66
5-甲基糠醛	0.45	0.43	0.20	0.80
3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	4.15	2.94	2.68	7.15
2-乙酰基吡咯	0.18	0.16	0.22	0.16

2.2 不同基因型烤烟叶面腺毛密度的差异

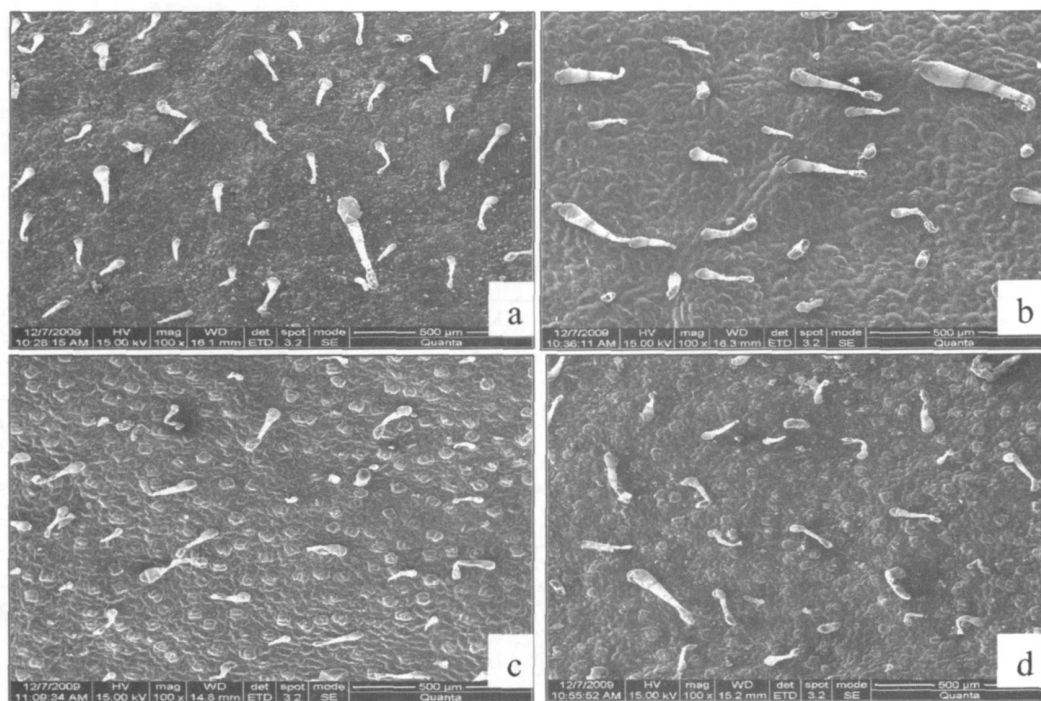
腺毛能分泌精油、树脂、蜡质等成分,这些物质与烤烟的香吃味密切相关。通常腺毛密度大、发育状况好及腺毛分泌物多的烟叶,香气浓郁、醇厚、饱满。用扫描电子显微镜观察了不同基因型中部成熟叶片的腺毛(图 1),并对其结果进行方差分析(表 5)。结果表明:不同基因型间叶片腺毛密度存在差异。兴烟 1 号的腺毛密度最大,其次是 K326,云烟 87 的腺毛密度最小。

表 5 不同基因型烤烟品种叶面腺毛密度的比较

品种	腺毛密度/(根·cm ⁻²)
兴烟 1 号	1934 _a
贵烟 4 号	1214 _{bc}
K326	1439 _b
云烟 87	945 _c

3 讨论与结论

何承刚等^[23]研究认为,烤烟的香气物质是通过烟叶的香气前体物分解转化形成的。而烟叶香气前体物是烟叶在生长发育过程中形成的,其大多数是属于烟草次生代谢产物^[24],并不是其生长发育所必须的,可能主要是其对非生物环境因素胁迫反应(stress response)的代谢产物。烤烟在不同地区种植,实际上与药用植物生长相似,是处于“亚最适”环境条件,受到不同程度的环境胁迫,启动不同的次生代谢途径,从而形成多种香气前体物质(次生代谢产物)^[25],然后通过烟叶生长、成熟、调制、醇化和燃烧过程中的积累、转化和降解,直接影响烤烟的香气风格、香气质和香气量,致使烟叶香吃味具有明显的、不可替代的地域特征。在本试验所测得 28 种香气成分中,兴烟 1 号有 9 种香



a. 兴烟 1 号, b. 贵烟 4 号, c. K326, d. 云烟 87

图 1 不同基因型烤烟中部成熟叶片腺毛扫描图(放大倍数 100×)

气成分含量较高,包括脱氢 β -紫罗兰酮、 β -大马酮、3-羟基- β -二氢大马酮、法尼基丙酮、苯甲醛、芳樟醇、5-甲基糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃、新植二烯,云烟 87 有 11 种香气成分含量较高,包括 6-甲基-5-庚烯-2-酮、6-甲基-5-庚烯-2-醇、二氢猕猴桃内酯、4 种巨豆三烯酮、螺岩兰草酮、茄酮、苯乙醛、苯甲醇、苯乙醇、糠醛、2-乙酰呋喃,贵烟 4 号有 4 种香气成分含量较高,包括氧化异佛尔酮、4-乙基-2-甲氧基苯酚、糠醇、2-乙酰基吡咯,而 K326 所有香气成分含量都处于较低水平。上述试验结果表明,不同基因型烤烟主要致香物质含量存在较大差异,这与赵铭钦等^[26]的研究结果类似。同时,本研究还发现,4 个基因型烤烟品种新植二烯含量都达到了 $760 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上,分别占致香物质总量的 79.35%、89.02%、85.63%、88.734%,除云烟 87 外,与周冀衡等^[11]研究发现的具有清香风格的烟叶(福建永定、云南文山)中新植二烯含量达到致香物质总量的 85% 以上的结果类似;而且在本试验中 K326、兴烟 1 号新植二烯含量分别高达 $1073.93 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $1099.92 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,明显高于赵铭钦等^[27]研究发现的河南、湖南、吉林和津巴布韦烟叶新植二烯含量 ($780.47\text{--}968.00 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),与贵州烟叶新植二烯含量 ($1094.74 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 接近,稍低于云南烟叶新植二烯含量 ($1137.66 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),这说明重庆烟区生态条件与贵州和云南烟区生态条件相似,有利于 K326、兴烟 1 号烤烟品种形成较多的新

植二烯。在比较赵铭钦等^[27]研究结果与本文试验结果中其它香气成分含量时还发现,本文中 4 个基因型烤烟品种的香叶基丙酮、螺岩兰草酮、糠醛、2-乙酰呋喃、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮,以及云烟 87 的茄酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮,和兴烟 1 号的 6-甲基-5-庚烯-2-酮均高于河南、湖南、吉林、贵州、云南和津巴布韦的烟叶;云烟 87 的巨豆三烯酮 C、苯甲醇, K326 的茄酮、 β -大马酮,贵烟 4 号的茄酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮,兴烟 1 号的 β -大马酮接近河南、湖南、吉林、贵州、云南和津巴布韦的烟叶;而 4 个基因型烤烟品种除了上述香气成分以外的都低于河南、湖南、吉林、贵州、云南和津巴布韦的烟叶。可见,重庆烟区生态条件对 4 个基因型烤烟烟叶各香气成分的含量及其比例具有明显影响,结合本文对其致香物质总量和烟叶腺毛密度的研究,显示兴烟 1 号和 K326 能彰显其特色。

杨铁钊等^[28]研究烤烟叶面腺毛密度及其分泌物变化动态的结果表明,腺毛密度与叶面分泌物呈极显著正相关。并且,烟叶腺毛密度及其分泌物对烟叶香气和吃味有重要作用^[29],这个结论也在本研究中得到了印证,在本文中,4 种基因型烤烟的腺毛密度和致香物质总量从高到低的顺序均依次为兴烟 1 号>K326>贵烟 4 号、云烟 87,同时这也说明,不同基因型烤烟叶面腺毛密度存在较大差异。综合分析表明,在重庆烟区,兴烟 1 号具有较高的致香物质含量和腺毛密度,而

致香物质含量和腺毛密度与烟区生态条件有密切关系,这意味着兴烟1号更适合重庆烟区种植。因此,在重庆地区烟叶生产上,应该在保持K326和云烟87原有种植面积的基础上,建议积极示范推广兴烟1号的种植。

重庆地区以丘陵、山地为主,坡地面积较大,形成了各种不同的立体小气候。本文研究了同一生态条件下不同基因型烤烟品种致香物质含量和腺毛密度的差异,而同一品种在重庆不同生态类型区致香物质含量和腺毛密度的差异,以及重庆地区特色烟叶香气风格形成的机理,尚待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 史宏志, 刘国顺. 烟草香味学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 3-5, 36.
- [2] 王瑞新, 马常力, 韩锦峰, 等. 烤烟不同品种香气物质成分的定量分析[J]. 河南农业大学学报, 1991 (2): 152-157.
- [3] 刘友杰, 赵铭钦, 李元实, 等. 延吉烟区不同烤烟品种中性致香物质差异分析[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31 (2): 125-130.
- [4] 赵铭钦, 李晓强, 韩静, 等. 不同基因型烤烟中性致香物质含量的研究[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(3): 46-50.
- [5] 邵丽, 晋艳, 杨宇虹, 等. 生态条件对不同烤烟品种烟叶产质量的影响[J]. 烟草科技, 2002(10): 40-44.
- [6] 刘国顺, 王可, 刘静静, 等. 不同产地烤烟中性致香物质对比分析[J]. 江西农业学报, 2010, 22(2): 26-29.
- [7] 周淑平, 肖强, 陈叶君, 等. 不同生态地区初烤烟叶中重要致香物质的分析[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(1): 9-16.
- [8] 程昌新, 卢秀萍, 许自成, 等. 基因型和生态因素对烟草香气物质含量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 137-139, 182.
- [9] 周冀衡, 王勇, 邵岩, 等. 产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质含量的比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 128-132.
- [10] 李章海, 王能如, 王东胜, 等. 不同生态尺度烟区烤烟香型风格的初步研究[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 67-70, 76.
- [11] 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.
- [12] Johnson A W. Evaluation of several nicotiana tobacum entries resistance to two tobacco insect pests [J]. Tobacco Science, 1978, 22: 41-43.
- [13] 杨虹琦, 周冀衡, 杨述元, 等. 不同产区烤烟中主要潜香型物质对评吸质量的影响研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(1): 11-14.
- [14] 王霞, 翟争光, 杨铁钊, 等. 烤烟基因型间香味物质的差异分析[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(6): 6-8.
- [15] 史宏志, 官春云. 烟草腺毛分泌物的化学成分及遗传[J]. 作物研究, 1995, 9(3): 46-49.
- [16] 李鹏飞, 周冀衡, 张建平, 等. 不同烤烟品种成熟过程中腺毛密度及叶面分泌物含量的变化[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(3): 293-297.
- [17] 周金仙. 不同生态条件下烤烟品种烟叶腺毛密度的变化[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 156-159.
- [18] 查宏波, 蔡忠山, 黄韦华, 等. 不同烤烟品种烟叶腺毛密度的差异性[J]. 烟草科技, 2003, (10): 43-44.
- [19] Johnson A W. Tobacco leaf trichomes and their exudates[J]. Tobacco Science, 1985, 29: 67-72.
- [20] 周冀衡, 王勇, 邵岩, 等. 产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质含量的比较[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 128-132.
- [21] 赵铭钦, 刘金霞, 黄永成, 等. 增施不同有机质对烤烟香气质量的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(3): 721-726.
- [22] 汪耀富, 高华军, 刘国顺, 等. 氮、磷、钾肥配施对烤烟化学成分和致香物质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 76-81.
- [23] 何承刚, 曾旭波. 烤烟香气物质的影响因素及其代谢研究进展[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(2): 40-43.
- [24] 杨铁钊, 李钦奎, 李伟. 植物次生代谢与烟草香味物质[J]. 中国烟草科学, 2005, (4): 23-26.
- [25] 张重义, 林文雄. 药用植物化感自毒作用与连作障碍[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 189-196.
- [26] 赵铭钦, 陈秋会, 赵明山, 等. 南阳地区生态条件对不同基因型烤烟品种烟叶化学成分和香气物质含量的影响[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(1): 37-41.
- [27] 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.
- [28] 杨铁钊, 李伟, 李钦奎, 等. 烤烟叶面腺毛密度及其分泌物变化动态的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2005, 26 (1): 43-46.
- [29] 王伟, 孔光辉, 李佛琳, 等. 烤烟烟叶腺毛及其分泌物研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 251-254.