

不同产地白肋烟中性香气成分及生物碱组成和含量分析

史宏志¹, 刘国顺¹, 谢子发², 李超¹, 魏跃伟¹, 王芳¹, 凌爱芬¹

1 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州文化路 95 号 450002;

2 四川省达州烟草科研所, 达州 635000

摘要: 采用气质联用仪、高效液相色谱仪和气相色谱仪对我国四川、湖北、重庆、云南白肋烟及美国白肋烟中性香气成分、类胡萝卜素及生物碱含量进行了分析测定, 结果表明, 巨豆三烯酮、香叶基丙酮等重要类胡萝卜素降解产物在美国白肋烟中的含量显著高于国内烟叶, β -大马酮、 β -紫罗兰酮、 β -二氢紫罗兰酮和氧化异佛尔酮等香气成分含量与国内主产区白肋烟差别不大。西柏三烯二醇主要降解产物茄酮含量国内烟叶一般高于美国烟叶。云南烟叶与其它产地烟叶相比, 大多重要的类胡萝卜素降解产物含量较低, 但叶黄素、 β -胡萝卜素含量以及巨豆三烯酮形成过程的中间产物 3-氧化- α -紫罗兰醇的含量显著高于其它产区烟叶。美国烟叶中苯乙醛、苯甲醛含量低于国内烟叶; 云南烟叶中糠醛含量明显高于其它产区, 其它成分含量各产区比较接近。我国湖北和云南白肋烟烟碱含量高于美国白肋烟, 而四川和重庆白肋烟烟碱含量显著低于美国烟叶。我国白肋烟产区除云南外均存在烟碱向降烟碱转化问题, 其中四川烟叶烟碱转化率高达 62.4%, 对其品种进行改良是当务之急。

关键词: 白肋烟; 香气物质; 生物碱; 类胡萝卜素

中图分类号: TS411.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-5708(2008)04-0023-05

Comparison of composition and contents of neutral aroma components and alkaloids between burley tobaccos from different producing areas

SHI Hong-zhi¹, LIU Guo-shun¹, XIE Zi-fa², WEI Yue-wei¹, WANG Fang¹, LING Ai-fen¹

1 National Tobacco Cultivation, Physiology & Biochemistry Research Center of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2 Dazhou Tobacco Research Institute of Sichuan, Dazhou 635000, China

Abstract: GC/MS, HPLC and GC were used respectively to analyze the neutral aroma components, carotenoids and alkaloids in burley tobaccos produced from different areas (Sichuan, Chongqing, Hubei, Yunnan and USA). Results showed that Megastigmatrienol, geranyl acetone and some other carotenoid catabolites were higher in American burley tobacco than that in domestic burley tobacco. Contents of β -damascone, ionone, keto-isophorone, 3-hydroxyl- β -damascone etc in American tobacco were at similar level than that in most of the Chinese tobacco. Solanone, the cembratriendiol catabolites, were lower in American tobacco than that in most Chinese samples. Burley tobacco from Yunnan had lower levels of most carotenoid aroma-catabolites compared to tobacco produced in other places, while the contents of precursor β -carotene, lutein and the intermediate product 3-oxo- α -ionol were much higher. The contents of benzaldehyde and phenyl acetaldehyde in American burley were lower than that in Chinese burley. The content of furfural was significantly higher in Yunnan burley than that in other samples. There was no significant difference in the contents of other unmentioned neutral aroma components. The nicotine contents in Hubei and Yunnan tobacco were higher than that in American tobacco, while that in Sichuan and Chongqing tobacco were lower than that in American tobacco. The domestic burley tobacco, excluding that from Yunnan, had serious problems of nicotine to nicotinic acid conversion; especially in Sichuan tobacco, the rate of nicotine conversion reached 62.4%, indicating the urgent need for improvement.

Key words: burley tobacco; aroma components; alkaloids; carotenoids

作者简介: 史宏志, 男, 博士, 教授, 从事烟草栽培生理研究。Email: shihongzhi88@163.com

基金项目: 四川省烟草公司 2007 科技项目资助。

收稿日期: 2007-08-03

白肋烟是生产混合型卷烟的重要原料。白肋烟生长发育和品质形成受气候、土壤、品种和栽培条件的综合影响,不同地区由于生态条件、种植习惯、晾晒方法不同,所产白肋烟的风格特点和感官品质差异较大。一般认为美国白肋烟品质上乘,主要表现在风格突出,香气量大,香气纯正,余味干净,是上等混合型卷烟的重要原料。我国白肋烟生产比较集中,主要分布在湖北恩施、四川达州、重庆万州、云南宾川四地,系统分析各产地白肋烟的香气成分、生物碱含量和组成及与国外优质白肋烟的差异,对深入认识烟叶品质和风格特点具有重要意义。

不同产地烤烟烟叶香气成分的差异多有报道^[1-5],但关于不同产地白肋烟香气成分的差异未见系统报道。生物碱是烟叶重要化学成分,其组成和含量对白肋烟的风格程度和香气量有显著影响^[6]。白肋烟普遍存在烟碱转化问题^[7-9],烟碱转化导致烟碱含量降低,降烟碱含量增高,使烟叶风格程度下降,香气量减少,有害成分烟草特有亚硝胺增加^[10-11],因此是目前国际烟草科研和品种改良的重要内容。针对湖北白肋烟鄂烟 1 号烟碱转化问题,史宏志等^[12-15]通过遗传选择方法对烟碱转化性状进行改良,取得了显著效果。关于我国不同产地白肋烟烟草生物碱含量的分析只有初步的报道^[16]。本研究收集了我国各白肋烟产区及美国白肋烟样品,对中性香气成分和生物碱组成和含量进行了系统分析对比,旨在明确各地烟叶化学成分特点,建立烟叶品质和化学成分之间的联系,为进一步提高烟叶感官品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用湖北恩施、四川达州、重庆万州、云南宾川 2006 年同等级中部叶样品,并与美国同等级白肋烟样品进行对照。烟叶样品由芜湖卷烟厂提供。

1.2 香气物质含量的测定

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 μ L 内标(302 μ g/mL 硝基苯),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,待开始沸腾时进行同时蒸馏萃取,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 1 mL 左右。所得分析样品由 GC/MS 鉴定结果和 NIST 库检索定性。

采用美国 HP5890 II—5972 气质联用仪对烟叶样

品进行定性分析。GC/MS 分析条件:色谱柱:HP-5 (60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m);载气及流速:He, 0.8 mL/min;进样口温度:250 $^{\circ}$ C;传输线温度:280 $^{\circ}$ C;离子源温度:177 $^{\circ}$ C;升温程序:50 $^{\circ}$ C(5 min) $\xrightarrow{5^{\circ}\text{C/min}}$ 120 $^{\circ}$ C(5 min) $\xrightarrow{5^{\circ}\text{C/min}}$ 180 $^{\circ}$ C(5 min) $\xrightarrow{6^{\circ}\text{C/min}}$ 250 $^{\circ}$ C(15 min);分流比和进样量:1:15, 2 μ L;电离能:70 eV;电离方式:EI;质量数范围:50~500 amu。采用 NIST02 谱库检索定性。假定相对校正因子为 1,采用内标法定量。

1.3 生物碱含量测定

生物碱测定采用气相色谱法。样品经烘干后粉碎,每样品称取 100 mg,加 0.5 mL 2 mol/L NaOH 湿润,再加 5 mL 乙醚振荡 1 h 提取生物碱;气相色谱仪为 Agilent-6890,检测器为 FID,具体操作和参数设定按 Burton 等^[17]的方法进行。烟碱转化能力用烟碱转化百分率表示,即降烟碱含量占烟碱和降烟碱含量之和的百分比,可由下式计算:

$$\text{烟碱转化百分率}(\%) = [\text{降烟碱含量} / (\text{烟碱含量} + \text{降烟碱含量})] \times 100$$

1.4 类胡萝卜素类物质测定

用高效液相色谱法(HPLC)测定 β -胡萝卜素、新黄质、紫黄质、叶黄素含量。称取烟样 1.0 g,加入少量石英砂和 5 mL 90%丙酮研成匀浆,再加 10 mL 90%丙酮继续研磨至组织变白,过滤定容至 100 mL。移取 1 mL 滤液置于 1.5 mL 离心塑料管中,10000 r/min 离心 5 min,取上清液 0.5 mL,用 0.45 μ m 微孔过滤器过滤至色谱瓶,后进样分析。

液相色谱系统包括 Agilent 1100 高效液相系统,Agilent 可变波长紫外检测器,Agilent 自动进样器。色谱柱为 Waters Nova-Pak-C18 液相色谱柱(3.9 mm $\times$ 150 mm),柱温:30 $^{\circ}$ C;检测波长为 450 nm;流动相:甲醇和异丙醇,梯度淋洗;流速:1.0 mL/min;柱温:30 $^{\circ}$ C;进样量 10 μ L。通过配制一定浓度的各个物质的标准溶液,然后稀释成不同浓度梯度的标准溶液,分别进行 HPLC 分析,制作标准曲线,采用外标法进行定量。经过反复试验,取流动相配比合适的最佳梯度范围,进行进样试验。

2 结果与分析

2.1 不同产地白肋烟中性香气成分含量对比分析

2.1.1 白肋烟质体色素降解产物含量对比分析

质体色素(叶绿素和类胡萝卜素)是烟叶主要的香

气前体物之一,在成熟、调制、陈化过程中降解产生多种重要的致香成分^[1]。分析表明,美国白肋烟中香气成分巨豆三烯酮A、巨豆三烯酮B、巨豆三烯酮D、香叶基丙酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮等高于国内白肋烟。说明较高的巨豆三烯酮含量可能是优质白肋烟的重要特征,这与烤烟情况相似。 β -大马酮、 β -紫罗兰酮、 β -二氢紫罗兰酮和氧化异佛尔酮等香气成分含量与国内主产区白肋烟差别不大。值得注意的是美国白肋烟3-氧化- α -紫罗兰醇含量显著低于国内白肋烟,而一般认为,3-氧化- α -紫罗兰醇是叶黄素降解形成巨豆三烯酮过程中的一种中间产物。除新植二烯以外的降类胡萝卜素香气成分总量以美国白肋烟含量最高,这构成了美国白肋烟香气量较大的物质基础。

国内不同产地白肋烟香气成分比较可知,四川、湖北白肋烟的 β -紫罗兰酮、香叶基丙酮、巨豆三烯酮、法尼基丙酮等重要香气成分含量及总类胡萝卜素降解成分含量相对较高。云南白肋烟的 β -紫罗兰酮、 β -二氢紫罗兰酮、氧化异佛尔酮、巨豆三烯酮、法尼基丙酮及总类胡萝卜素降解成分含量低于其它产区白肋烟,而巨豆三烯酮的前体物3-氧化- α -紫罗兰醇含量显著高于其它烟区白肋烟。

新植二烯是叶绿素降解产物,香气阈值较高,本身具有微弱香气^[1],在调制和陈化过程中可进一步降解转化为其它低分子的香气成分。测定结果表明,湖北、重庆白肋烟与美国烟叶比较接近,云南、四川烟叶新植二烯含量相对较高。

表1 不同产地白肋烟质体色素降解产物含量 (μg/g)

香气物质	美国	重庆	四川	湖北	云南
β -大马酮	18.12	19.71	21.91	18.89	21.80
β -紫罗兰酮	2.30	1.42	3.93	3.28	2.15
β -二氢紫罗兰酮	1.84	1.91	1.83	1.73	1.42
氧化异佛尔酮	1.07	1.13	1.40	0.96	0.83
香叶基丙酮	10.19	5.83	7.09	7.21	5.88
类胡萝卜素类	2.35	2.50	2.95	1.92	4.44
巨豆三烯酮A	46.68	38.04	41.23	39.05	23.51
巨豆三烯酮B	9.37	7.94	9.13	7.94	8.02
巨豆三烯酮C	1.93	2.28	2.53	2.00	2.13
巨豆三烯酮D	38.19	33.14	35.36	34.03	23.50
3-氧化- α -紫罗兰醇	0.10	0.34	1.90	1.14	5.42
法尼基丙酮	21.09	16.91	21.77	19.75	16.09
3-羟基- β -二氢大马酮	3.89	3.53	4.57	4.29	5.40
6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.59	1.13	1.12	0.96	1.36
新植二烯	511.86	490.26	702.33	456.19	737.89
小计(新植二烯除外)	158.71	135.82	156.73	143.15	121.98

2.1.2 不同产地白肋烟西柏烷类降解产物含量对比分析

西柏烷类是烟叶腺毛分泌物的重要成分,以无味的表面蜡质的形式存在于鲜烟叶中,在调制、陈化过程中可降解产生香味成分^[1]。西柏三烯的降解产物是烟草中含量最丰富的中性香味物质茄酮的来源。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。茄酮的氧杂双环化合物具有特别的香味,可以明显改善烟草的香吃味。测定结果表明,美国和湖北白肋烟茄酮含量相对较低,以四川白肋烟含量最高,其次为重庆和云南白肋烟。茄酮含量不仅受光照、降雨等气候条件的影响,也与叶片大小、施肥量等

因素有关。不同产地茄酮含量的差异是多种因素共同作用的结果,值得进一步探索。

表2 不同产地白肋烟西柏烷类降解产物含量 (μg/g)

香气物质	美国	重庆	四川	湖北	云南
茄酮	88.86	99.18	119.33	87.59	96.89

2.1.3 不同产地白肋烟非酶棕色化反应产物含量对比分析

烟叶在调制过程中发生的非酶棕色化反应(主要是梅拉德反应)产生大量的吡嗪类、吡啶类、呋喃类和吡咯类等氮杂环类化合物,这些氮杂环类化合物具有

烤香、烘焙香和坚果香等香味特征。测定结果表明(表 3),美国白肋烟的非酶棕化反应产物含量比较适中,糠醇含量略低于重庆和四川烟叶,高于湖北和云南烟叶,糠醛含量除略高于湖北烟叶外,均低于其它地区烟叶,云南烟叶糠醛含量较高,比其它地区烟叶高出 1 倍以上。另外云南烟叶的 2-戊基呋喃含量也相对较高,但 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮却较低。

表 3 不同产地白肋烟非酶棕色化反应产物含量 (μg/g)					
香气物质	美国	重庆	四川	湖北	云南
糠醛	5.32	7.55	6.53	4.93	17.90
糠醇	9.06	11.82	10.75	6.66	8.65
乙酰基呋喃	0.20	0.25	0.14	0.14	0.25
5-甲基-2-糠醛	3.53	4.61	4.64	3.70	3.61
2-戊基呋喃	0.56	0.69	0.63	0.41	0.96
3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	5.99	3.73	6.32	1.60	1.37
小计	24.66	28.63	29.01	17.43	32.75

2.1.4 不同产地白肋烟苯丙氨酸类降解产物含量对比分析

苯丙氨酸类降解产生的苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛和苯乙醛是烟叶中另一类致香物质,苯甲醇具有天然玫瑰香味;苯甲醛有杏仁香、樱桃香和甜香;苯乙醛具有皂花香和焦香;苯乙醇则有甜味和水果味。测定结果表明(表 4),我国不同产区白肋烟 4 种香气成分含量比较接近,以四川烟叶苯甲醇含量相对较高;美国白肋烟苯乙醛、苯甲醛含量显著低于国内烟叶,苯甲醇和苯乙醇含量与国内烟叶接近。

表 4 不同产地白肋烟苯丙氨酸类降解产物含量 (μg/g)					
香气物质	美国	重庆	四川	湖北	云南
苯甲醇	9.62	10.49	12.99	9.22	8.97
苯甲醛	2.15	2.75	2.88	2.78	2.97
苯乙醛	14.23	28.04	29.29	28.92	27.39
苯乙醇	17.92	15.00	18.61	18.48	17.64
小计	43.92	56.28	63.77	59.40	56.98

此外,本试验还鉴定出其它一些中性挥发性成分,如 2,6-壬二烯醛、2-壬烯醛、苯丙烯醛、β-环柠檬醛、吡嗪、4-乙烯基-2-甲氧基苯酚、螺岩兰草酮等,这些成分除吡嗪外,一般含量较低,对烟叶香味贡献较小,且不

同地区烟叶差异不大。吡嗪的含量相对较大,一般认为吡嗪对烟叶的香气有负面的影响,其不同产地白肋烟中差异较小。

2.2 不同产地白肋烟类胡萝卜素含量对比分析

类胡萝卜素主要包括 β-胡萝卜素、叶黄素、新黄质、紫黄质等,是烟叶重要香气前体物,在烟叶成熟、调制和陈化过程中可降解转化形成重要香气成分,叶黄素的降解可形成巨豆三烯酮、β-紫罗兰酮、氧化异佛尔酮等;β-胡萝卜素的降解转化可形成 β-大马酮、二氢大马酮等。通过对不同产地白肋烟类胡萝卜素含量进行测定,发现除叶黄素和 β-胡萝卜素外,其它类胡萝卜素含量由于降解转化在各样品中均低于检测阈值。云南烟叶的叶黄素和 β-胡萝卜素含量均显著高于其它产区白肋烟(表 5)。美国烟叶的叶黄素和 β-胡萝卜素含量与四川、湖北、重庆烟叶相近。

表 5 不同产地白肋烟的类胡萝卜素含量 (μg/g)					
类胡萝卜素	美国	重庆	四川	湖北	云南
β-胡萝卜素	9.65	14.81	13.82	8.70	23.08
叶黄素	31.19	32.40	31.94	29.19	65.99
小计	40.84	47.21	45.76	37.89	89.07

2.3 不同产地白肋烟生物碱含量对比分析

生物碱组成和含量直接影响白肋烟的风格程度、生理强度和香味品质。测定结果表明(表 6),我国不同产地白肋烟烟碱和降烟碱含量差别极大,湖北和云南白肋烟烟碱含量高于美国白肋烟,而四川和重庆白肋烟却显著低于美国烟叶,尤其是四川白肋烟烟碱含量仅有 22.18 mg/g,只有美国白肋烟的 52%。降烟碱含量呈现相反的变化趋势,四川白肋烟降烟碱含量高达 36.81 mg/g,是美国白肋烟的 25.6 倍,重庆和湖北白肋烟降烟碱含量也远高于美国烟叶,云南白肋烟降烟碱含量与美国烟叶没有显著差异。

降烟碱是烟碱在烟碱去甲基酶的作用下脱去甲基形成的,我国部分烟区烟叶中较高的降烟碱含量表明白肋烟群体中存在大量烟碱转化型烟株。分析表明,四川白肋烟的烟碱转化率高达 62.4%,而正常的非转化烟叶烟碱转化率在 5%以下。除云南烟叶外,我国大部分烟区烟叶烟碱转化问题十分突出,通过遗传育种手段对烟碱转化性状进行改良是提高我国白肋烟风格程度和香味品质,减少有害物质含量的重要途径。

表6 不同产地白肋烟的生物碱含量及烟碱转化率

产地	烟碱/(mg/g)	降烟碱/(mg/g)	假木贼碱/(mg/g)	新烟草碱/(mg/g)	烟碱+降烟碱/(mg/g)	烟碱转化率/%
四川	22.18	36.81	0.17	1.38	58.99	62.40
重庆	31.94	8.53	0.22	1.03	40.47	21.08
湖北	51.85	5.82	0.43	1.26	57.07	10.09
云南	49.99	1.60	0.23	1.36	57.39	3.10
美国	42.66	1.44	0.19	1.11	44.10	3.27

3 结论与讨论

不同产地白肋烟中性香气成分含量存在一定差异。巨豆三烯酮等重要的类胡萝卜素降解产物在美国白肋烟中的含量显著高于国内烟叶,β-大马酮、β-紫罗兰酮、β-二氢紫罗兰酮和氧化异佛尔酮等香气成分含量与国内主产区白肋烟差别不大。西柏三烯降解的主要产物茄酮含量国内烟叶一般高于美国烟叶,这与烤烟情况相似。云南烟叶与其它产地烟叶相比,大多重要的类胡萝卜素降解产物如巨豆三烯酮含量较低,但烟叶的叶黄素、β-胡萝卜素含量以及巨豆三烯酮形成过程的中间产物 3-氧化-α-紫罗兰醇的含量显著高于其它产区烟叶,这可能与香气前体物在烟叶晾制过程中没有充分降解转化有关。云南白肋烟产区烟叶晾制期间空气相对湿度低于其它烟区^[18],容易造成烟叶失水干燥相对较快。因此,在烟叶调制过程中创造适宜的晾制条件,促进香气物质的形成和转化有利于提高烟叶香味品质。此外在美国烟叶中,苯丙氨酸降解产物苯乙醛、苯甲醛含量较低,说明优质白肋烟的形成可能与某些不利于这些成分含量增加的因素相关。在云南烟叶中糠醛含量较高,其原因有待进一步探讨。其它中性成分含量在各样品间相对比较接近。

我国大部分白肋烟产区普遍存在烟碱向降烟碱转化问题^[8-9],一些烟区问题相当严重。国外工业界早在上个世纪 70 年代就对烟叶中的降烟碱比例有严格限定^[6],本世纪初规定烟碱转化率不能超过 10%,品种选育和良种繁育中的单株选择对烟碱转化率要求更高,一般不能超过 3%。由于烟碱转化直接影响烟叶感官品质和造成烟草特有亚硝胺含量增高,美国现已对所有栽培品种进行纯化和改良,并规定只有加有“LC”标志的品种才能投放生产应用。史宏志等^[13]2003 年开始对我国白肋烟主栽品种鄂烟 1 号进行遗传改良,选育的改良鄂烟 1 号在生产上应用,表现出显著的增质减害效果。

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

[2] 洗可法.云南烤烟中性香味物质分析研究[J].中国烟草学报,1992,1(2):1-9

[3] 刘百战,洗可法.不同部位、成熟度及颜色对云南烤烟中某些中性香味成分的分析研究[J].中国烟草学报,1993,1(3):46-53

[4] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,等.不同烤烟产区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] 周淑平,肖强,陈叶君,等.不同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

[6] 史宏志,张建勋.烟草生物碱[M].北京:中国农业出版社,2004

[7] Shi H, Fannin F F, Burton H R, et al. Factors affecting nicotine to nornicotine conversion in burley tobacco[C]. 54th Tobacco Science Research Conference, Nashville, TN, USA, 2000

[8] 史宏志, Bush L P, Wang J, 等.我国不同类型烟叶烟碱向降烟碱转化研究[J].中国烟草科学,2001(4):6-8

[9] 史宏志,李进平,范艺宽,等.我国不同类型烟叶烟碱转化株的比例和转化程度分布[J].中国烟草学报,2007,13(1):25-30

[10] 史宏志,李进平, Bush L P, 等.烟碱转化率与卷烟感官评吸品质和烟气 TSNA 含量的关系[J].中国烟草学报,2005,11(2):9-14

[11] 史宏志, Bush L P, Krauss M. 烟碱向降烟碱转化对烟叶麦斯明和 TSNA 含量的影响[J].烟草科技,2004(10):27-30

[12] 史宏志,李进平, Bush L P, 等.白肋烟杂交种及亲本烟碱转化株的鉴别[J].中国烟草学报,2005,11(4):28-31

[13] 史宏志,李进平,李宗平,等.遗传改良降低白肋烟杂交种烟碱转化率研究[J].中国农业科学,2007,40(1):153-160

[14] 李进平,李宗平,史宏志,等.降低鄂烟 1 号烟碱向降烟碱转化的遗传改良[J].中国烟草学报,2007,13(2):24-32

[15] 史宏志,于建军,刘国顺,等.烟草转化株早期诱导鉴定的有效性研究[J].华北农学报,2007,22(3):71-75

[16] 史宏志,黄元炯,刘国顺,等.我国烟草和卷烟生物碱含量和组成比例分析[J].中国烟草学报,2001,7(2):8-12

[17] Burton H R, Bush L P, Djordjevic M V. Influence of temperature and humidity on accumulation of tobacco-specific nitrosamines in stored burley tobacco [J]. J Agr Food Chem, 1989, 37: 1372-1377.

[18] 云南省烟草科学研究所.云南烟草栽培学[M].北京:科学出版社,2007.