

不同栽培方式对白肋烟烟碱转化率及 TSNA 含量的影响

李宗平, 覃光炯, 陈茂胜, 张俊杰, 彭 灏, 杨丽萍

(湖北省烟草科学研究院, 中国烟草白肋烟试验站, 武汉 430030)

摘要: 为探索不同栽培方式对白肋烟烟碱转化率及烟草特有亚硝胺 (TSNA) 含量的影响, 采取裂区试验, 以不同烟碱转化率类型的品系为主处理, 不同种植规格、行向为副处理和再副处理, 进行了垂垄向和垄向烟叶的光照强度、生物碱含量、烟碱转化率及 4 种 TSNA 含量的比较分析。结果表明, 不同转化率的品系是影响烟碱转化率和 TSNA 含量的主要因素; 不同种植规格、行向及不同方向烟叶的 TSNA 含量存在显著的差异; 品系与行向及种植规格间亦存在显著的互作效应, 且 HC (高转化) 品系受行向和种植规格的影响大于 LC (低转化) 品系。初步推断, 生物碱代谢、TNSA 的形成与积累均与光照强度有关。据此认为, 在白肋烟生产上首先要选用低转化率品系, 确立合理的栽培规格及行向, 努力改善烟株的光照条件, 是降低烟叶 TSNA 含量的有效措施。

关键词: 白肋烟; 规格; 行向; 烟碱转化率; TSNA

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119(2015)06-0062-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.06.011

Influence of Different Cultivation Methods on Nicotine Conversion and TSNA Content of Burley Tobacco

LI Zongping, QIN Guangjiong, CHEN Maosheng, ZHANG Junjie, PENG Hao, YANG Liping

(Tobacco Research Institute of Hubei Province, Burley Tobacco Experimental Station of CNTC, Wuhan 430030, China)

Abstract: In order to explore the effects of different cultivation methods on burley tobacco nicotine conversion rate and TSNA content, A split plot experiment with three replicates was designed to determine light intensity, alkaloid content, nicotine conversion and four kinds of TSNA content in a comparative analysis. The results showed that, conversion rate difference between varieties is a major factor affecting TSNA content. Significant influence of TSNA content was also observed by planting with different specifications, and perpendicular to the ridge or parallel on the ridge. There is also a significant interaction effect between variety and row direction and planting specification. HC varieties were affected more significantly by planting specifications than LC varieties. Formation and accumulation of alkaloid metabolites and TNSA are likely affected by light intensity. Effective measures to reduce the content of TSNA in tobacco leaves include using low conversion rate varieties, good cultivation practices and appropriate row direction to improve light conditions of tobacco plants.

Keywords: burley tobacco; specifications; row direction; nicotine conversion; TSNA

烟草特有亚硝胺 (TSNA) 是影响人体健康的主要致癌物质之一。生物碱和亚硝胺是其生物合成的直接前体物。烟草生物碱主要有 4 种, 即烟碱、降烟碱、新烟碱和假木贼碱, 在硝酸还原酶的作用下可分别与亚硝酸发生反应生成 4-(甲基亚硝胺)-1-(3-吡啶)-1-丙酮 (NNK)、亚硝基降烟碱 (NNN)、亚硝基新烟草碱 (NAT) 和亚硝基假木

贼碱 (NAB) [1-3]。其中 NNN 为主要的 TSNA, 在我国白肋烟、香料烟中含量占总 TSNA 的 90% 以上 [3-4]。动物实验表明, NNN 和 NNK 具有较强的致癌活性 [1]。有研究认为 NNN 与降烟碱含量相关性最大, 相关系数达 0.8633 [1,3]。降烟碱属仲胺类生物碱, 具有较大的不稳定性, 除极易与亚硝酸反应形成 NNN 外, 还易在烟叶调制和陈化过程

基金项目: 湖北省烟草专卖局项目“降低烟草特有亚硝胺 (TSNA) 关键技术研究及其应用” (027Y2011-055)

作者简介: 李宗平 (1963-), 男, 高级农艺师, 主要从事烟草良种繁殖与低危害烟叶品种改良研究工作。E-mail: li63@163.com

收稿日期: 2015-04-22

修回日期: 2015-07-31

中发生生化反应形成一系列降烟碱的衍生物,主要包括降烟碱的氧化反应形成麦斯明(myosmine),酰化反应生成一系列含有 1~8 个碳原子酰基部分的酰化降烟碱,使烟叶散发一种碱味和鼠臭味,直接影响烟叶的香吃味品质^[1-2,6]。降烟碱由烟碱在去甲基酶的作用下转化形成,亦称去甲基烟碱。烟碱向降烟碱转化能力的强弱一般用烟碱转化率表示,即降烟碱占降烟碱加烟碱之和的比例^[1]。烟碱向降烟碱转化受双基因控制,普通烟草为纯合的双隐性基因型(ctctscscs),不具有烟碱去甲基能力,一旦基因突变为显性或部分显性(CtCtCsCs或 CtCtscscs),烟碱转化能力迅速增强,烟碱含量显著下降而降烟碱含量则大幅上升,尤以白肋烟等晾晒烟较为突出。因此,人们通常把控制烟碱转化率作为降低降烟碱和 TSNA 含量的有效措施,并取得了显著成效^[1,3,7-8]。大量的研究表明,众多栽培因素均可不同程度的影响生物碱含量、烟碱转化和 TSNA 的形成和积累。其中施肥量、肥料种类及施肥时间对 TSNA 的影响较大,尤其是氮肥^[9-12]。打顶时间、调制及储藏的温湿度和来源植物生长调节剂、内生芽菌、硝酸盐还原菌、反硝化菌的使用等,亦均可影响生物碱含量、烟碱转化率、亚硝酸盐和 TSNA 含量^[13-21]。但不同栽培方式即种植规格、烟株行向对烟碱转化率及 TSNA 含量的影响鲜见报道。

本试验的目的在于探讨不同栽培方式对白肋烟不同烟碱转化品系烟碱转化率和 TSNA 含量的影响,为低危害烟叶生产提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

B21 烟碱高转化品系(HC),B21 烟碱低转化品系(LC) 2 份材料。

1.2 试验方法

1.2.1 田间设计 田间裂区设计。A 主处理品种: A1-HC, A2-LC; B 副处理行向: B1-东西向, B2-南北向; C 再副处理种植规格(行株距): C1-100

cm × 60 cm, C2-120 cm × 50 cm; 3 次重复,随机区组排列。每小区栽培 40 株。

表 1 田间处理设计
Table 1 Field experiment design

处理组合	A 品系	B 行向	C 规格(行株距)
A1B1C1	A1-HC	B1-东西向	C1-100cm×60cm
A1B1C2	A1-HC	B1-东西向	C2-120cm×50cm
A1B2C1	A1-HC	B2-南北向	C1-100cm×60cm
A1B2C2	A1-HC	B2-南北向	C2-120cm×50cm
A2B1C1	A2-LC	B1-东西向	C1-100cm×60cm
A2B1C2	A2-LC	B1-东西向	C2-120cm×50cm
A2B2C1	A2-LC	B2-南北向	C1-100cm×60cm
A2B2C2	A2-LC	B2-南北向	C2-120cm×50cm

1.2.2 栽培方法 试验在湖北省烟草科学研究院恩施良种繁殖基地进行。施肥量为 187.5 kg/hm²,肥料配比 $m(N): m(P_2O_5): m(K_2O)=1:1.5:2$,初花打顶,留叶 22 片,成熟采收。其他生产栽培技术参照白肋烟常规生产技术进行。

1.2.3 取样方法 成熟期取全区烟株第 6~7 叶位(由下至上)处的烟叶,按叶片着生方向分垂垄向和垄向两组,分别串绳晾晒。自然晾晒结束后,粉碎制成粉样,每组一分为二,分别检测生物碱和 TSNA 含量。

1.2.4 光照强度观测 烟叶成熟期选择晴天的 14 时在烟株 6~8 叶位(自下而上)处,连续 20 d 测量各处理平行于垄体(垄向)和垂直于垄体(垂垄向)烟叶的叶尖处的光照强度,取加权平均值。仪器为台湾泰仕电子工业股份有限公司生产的 TES-1339 照度计。

1.2.5 生物碱及 TSNA 含量检测方法 由湖北省烟草科学研究院化学分析与检测中心检测生物碱和 TSNA 含量。生物碱采用气相色谱法测定^[22]。称取 0.20 g 样品于 100 mL 具塞锥形瓶中,加入 5 mL 的 10% 氢氧化钠溶液及 20 mL 含有一定浓度喹啉(内标物)二氯甲烷/甲醇(V:V=3:1)混合萃取液,震荡提取 1 h 后静置 1 h,取有机相经无水硫酸钠干燥后过 0.22 μm 滤膜,滤液收集至 2 mL 色谱瓶,采用 Agilent 7890A 气相色谱仪及 FID 检测器测定烟碱及降烟碱含量。根据测定结果计算烟碱转化率,公式:

烟碱转化率=[降烟碱含量/(烟碱含量+降烟碱含量)]×100%^[1]

TSNA 检测为醋酸铵提取-液质联用法^[23],取 0.20 g 粉碎过筛后样品于 100 mL 锥形瓶中,加入 0.2 mL 4 种 TSNA 的氘代化合物作为内标,并加入 100 mmol·L⁻¹ 醋酸铵溶液 19.8 mL,震荡提取 1 h 后过 0.22 μm 滤膜,所得滤液采用 Agilent 6460A 三重四级杆液质联用仪测定 4 种 TSNA 含量。

1.2.6 数据分析 试验数据采用 DPS7.0 软件进行差异显著性测验和多重比较(LSD)分析。

2 结果

2.1 各处理光照强度比较

总体来看,各处理垂垄向烟叶的光照强度大幅度高于垄向烟叶,增幅达 80%以上。方差分析结果表明,除品种的 *F* 值未达显著水平外,行向及种植规格均达显著水平。经多重比较,品系间差异不显著;行向的水平间差异达极显著,其中东西行向的光照强度极显著高于南北行向;种植

规格 100 cm×60 cm 的垂垄向光照强度极显著低于 120 cm×50 cm,但垄向的光照强度则大幅度高于 120 cm×50 cm,详见表 2。

表 2 各处理及行、株距间的光照强度比较 lux

Table 2 Comparison of light intensity between different treatments of row and plant spacing intensity lux

处理	垂垄向烟叶	垄向烟叶	垂垄向比垄向±%
A1B1C1	9223.25 bAB	1733.07 aA	81.21
A1B1C2	9662.50 aA	1088.48 cCD	88.74
A1B2C1	6639.32 dD	1311.73 bBC	80.24
A1B2C2	6817.58 dD	831.09 eE	87.81
A2B1C1	8943.58 bB	1740.65 aA	80.54
A2B1C2	9290.58 abAB	972.73 cdDE	89.53
A2B2C1	6595.03 dD	1357.12 bBC	79.42
A2B2C2	7857.33 cC	872.60 deDE	88.89
A1-HC	8085.66	1241.09	84.50
A2-LC	8171.63	1235.77	84.60
A2 比 A1±%	1.06	-0.43	
B1-东西	9279.98 A	1383.73 A	85.00
B2-南北	6977.31 B	1093.13 B	84.09
B1 比 B2±%	33.00	26.58	
C1-100×60	7850.29 B	1535.64 A	80.35
C2-120×50	8407.00 A	941.22 B	88.74
C1 比 C2±%	-6.62	63.15	

注:不同大小写字母表示各处理在 0.01 和 0.05 水平差异显著。下同。

表 3 各处理对生物碱含量及烟碱转化率的影响 mg/g、%

Table 3 Influences o the content of alkaloids and nicotine conversion rate by different treatments mg/g、%

处理	垂垄向烟叶			垄向烟叶			垂垄向比垄向±%			
	烟碱	降烟碱	转化率	烟碱	降烟碱	转化率	烟碱	降烟碱	转化率	
品种 A	A1-HC	9.14 B	11.22 A	55.12 A	8.79 B	13.56 A	60.71 A	3.98	-17.26	-9.2
	A2-LC	24.37 A	1.57 B	6.03 B	24.06 A	2.33 B	8.84 B	1.29	-32.62	-31.74
	A2 比 A1±%	166.61	-86.04	-89.05	173.65	-82.82	-85.44			
行向 B	B1-东西	16.91	6.25b	29.96 b	16.84 a	7.83 b	34.22 b	0.42	-20.18	-12.46
	B2-南北	16.59	6.54a	31.20 a	16.02 b	8.06 a	35.32 a	3.56	-18.86	-11.67
	B1 比 B2±%	1.93	-4.43	-3.97	5.12	-2.85	-3.11			
种植 C	C1-100×60	17.15A	6.39	30.03 b	17.21 A	7.67 B	32.93 B	-0.35	-16.69	-8.79
	C2-120×50	16.36 B	6.4	31.13 a	15.65 B	8.22 A	36.62 A	4.54	-22.14	-15.01
	C1 比 C2±%	4.83	-0.16	-3.53	9.97	-6.69	-10.08			
A1 中 B×C	B1C1	9.44 A	10.58 C	52.85 D	9.94 A	13.02 C	56.71dC	-5.03	-18.74	-6.81
	B1C2	9.30 A	11.19 B	54.61 C	8.05 C	13.60 B	62.82bB	15.53	-17.72	-13.06
交互	B2C1	9.48 A	11.95 A	55.76 B	9.47 B	13.04 C	57.93cC	0.11	-8.36	-3.74
	B2C2	8.34 B	11.18 B	57.27 A	7.72 C	14.58 A	65.38aA	8.03	-23.32	-12.4
A2 中 B×C	B1C1	24.41 B	1.39cB	5.39 cC	25.22 A	2.28	8.29	-3.21	-39.04	-35.02
	B1C2	24.5 B	1.84aA	6.99 aA	24.13 B	2.41	9.08	1.53	-23.65	-23.07
交互	B2C1	25.27 A	1.65bAB	6.13 bB	24.22 B	2.33	8.78	4.34	-29.18	-30.16
	B2C2	23.29 C	1.39cB	5.63cBC	22.68 C	2.3	9.21	2.69	-39.57	-38.83

2.2 不同处理生物碱及烟碱转化率分析

表 3 得知,各处理垂垄向烟叶的烟碱含量有高于垄向烟叶的趋势,而降烟碱含量和烟碱转化率则有降低的趋势,且幅度较大。经方差分析,品

种、行向及种植规格的 *F* 值均达显著水平,且品种×行向、行向×种植规格和品种×行向×种植规格均存在显著的互作效应。分析比较各处理内的水平间差异,结果表明,无论是垂垄向烟叶还

是莖向烟叶，不同品系都是影响烟碱、降烟碱含量和烟碱转化率的主要因素，其中 LC 品系经人为选择，已淘汰了烟碱向降烟碱转化的突变株，烟碱含量大幅度高于 HC 品系，而降烟碱和烟碱转化率则大幅度低于 HC 品系。种植规格 100 cm × 60 cm 的烟碱含量极显著高于 120 cm × 50 cm，降烟碱和烟碱转化率则极显著低于 120 cm × 50 cm。再次是行向，东西行向的烟碱含量高于南北行向，降烟碱和烟碱转化率则显著低于南北行向。品种中 HC 品系与行向、种植规格的互作效应大于 LC 品系，也就是说，高转化品系受种植行向和规格的影响较大。

2.3 不同处理对 TSNA 含量的影响

方差分析结果表明，品种、行向及种植规格的 *F* 值均达显著水平，且品种效应 > 种植规格效应 > 行向效应。在品种中 LC 品系垂莖向及莖向烟叶的 NNN 含量分别比 HC 品系的下降 85.55% 和 81.46%，TSNA 总量下降 80.97% 和 75.63%，NNK、NAT 及 NAB 则比 HC 品系大幅增加，幅度在 35.89%~105.72%；种植规格 100 cm × 60 cm 的 4 种 TSNA 及总量均低于 120 cm × 50 cm，降幅在 2.22%~27.27%；东西行向的 NNN 和 TSNA

总量均低于南北行向，降幅在 7.11%~13.88%，NNK、NAT 和 NAB 含量增减幅度在 -7.14%~11.11%。品种 × 行向、行向 × 种植规格和品种 × 行向 × 种植规格均存在显著的互作效应，其中 HC 品系与行向和种植规格的互作效应大于 LC 品系。各处理垂直莖向烟叶的 4 种 TSNA 及其总量均低于莖向烟叶，详见表 4。

3 讨 论

本研究中不同烟碱转化类型的品系是影响生物碱含量、烟碱转化率和 TSNA 含量的主要因素。LC 品系经人为多世代的低烟碱转化率选择，烟叶中的降烟碱含量大幅下降，从而减少了 NNN 的含量和 TSNA 总量。与已报道结果一致^[1,3,7-8]。研究中发现 LC 品系除 NNN 含量与 HC 品系大幅降低外，NNK、NAT 和 NAB 含量却出现不同程度的增加趋势，初步推断这可能与烟碱、降烟碱、新烟碱和假木贼碱的合成及代谢途径不同有关^[1-3]，LC 品系烟碱转化率低，烟碱含量相对较高，因烟碱是 NNK 合成的前体物，所以 NNK 含量相对增加，但 NAT 和 NAB 含量的增加，其原因尚有待进一步研究。

表 4 各处理对 4 种 TSNA 含量及其总量的影响

Table 4 Influences on the contents and the total amount of four kinds of TSNA by different treatments

处理	垂莖向烟叶/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)					莖向烟叶/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)					垂莖向比莖向 $\pm\%$					
	NNN	NNK	NAT	NAB	总量	NNN	NNK	NAT	NAB	总量	NNN	NNK	NAT	NAB	总量	
品种 A	A1-HC	32.46A	0.07 b	1.05 B	0.05	33.62 A	37.89 A	0.11 B	1.42 B	0.06 B	39.07 A	-14.33	-36.36	-26.06	-16.67	-13.95
	A2-LC	4.69B	0.10 a	1.55 A	0.07	6.40 B	7.03 B	0.16 A	2.14 A	0.12 A	9.52 B	-33.29	-37.50	-27.57	-41.67	-32.77
	A2 比 A1 $\pm\%$	-85.55	35.89	47.72	38.42	-80.97	-81.46	51.92	50.43	105.72	-75.63					
行向 B	B1-东西	17.19 B	0.08	1.27	0.06	18.60 B	21.43 B	0.13	1.75	0.10	23.40 B	-19.79	-38.46	-27.43	-40.00	-20.51
	B2-南北	19.96 A	0.08	1.32	0.06	21.43 A	23.15 A	0.14	1.81	0.09	25.19 A	-13.78	-42.86	-27.07	-33.33	-14.93
	B1 比 B2 $\pm\%$	-13.88	0.00	-3.79	0.00	-13.21	-7.43	-7.14	-3.31	11.11	-7.11					
种植规格	C1-100×60	17.23 B	0.08 B	1.18 B	0.05 B	18.54 B	20.23 B	0.12 B	1.76	0.08 B	22.20 B	-14.83	-33.33	-32.95	-37.50	-16.49
	CC2-120×50	19.92 A	0.09 A	1.41 A	0.06 A	21.49 A	24.35 A	0.15 A	1.80	0.11 A	26.39 A	-18.19	-40.00	-21.67	-45.45	-18.57
	C1 比 C2 $\pm\%$	-13.50	-11.11	-16.31	-16.67	-13.73	-16.92	-20.00	-2.22	-27.27	-15.88					
A1 中 B×C 交互	B1C1	27.91 C	0.06 bB	0.95 C	0.04 cB	28.97 C	34.34 D	0.10 bB	1.31 B	0.06	35.81 C	-18.72	-40.00	-27.48	-33.33	-19.10
	B1C2	32.84 B	0.07 bAB	0.90 C	0.05 bAB	33.85 B	39.32 B	0.10 bB	1.32 B	0.06	40.80 B	-16.48	-30.00	-31.82	-16.67	-17.03
	B2C1	32.41 B	0.07 bAB	1.08 B	0.05 bAB	33.60 B	34.76 C	0.08 cB	1.26 B	0.06	36.16 C	-6.76	-12.50	-14.29	-16.67	-7.08
	B2C2	36.67 A	0.09 aA	1.26 A	0.06 aA	38.08 A	41.48 A	0.16 aA	1.80 A	0.07	43.51 A	-11.60	-43.75	-30.00	-14.29	-12.48
	B1C1	3.35 cB	0.09 B	1.27 C	0.06 cB	4.76 B	4.41 C	0.16 b	2.27 aA	0.10 cB	11.22 A	-24.04	-43.75	-44.05	-40.00	-57.58
A2 中 B×C 交互	B1C2	4.64 bA	0.12 A	1.96 A	0.08 aA	6.81 A	7.65 B	0.18 a	2.11 bAB	0.16 aA	10.10 B	-39.35	-33.33	-7.11	-50.00	-32.57
	B2C1	5.24 abA	0.09 B	1.44 B	0.06 cB	6.83 A	7.43 B	0.16 b	2.21 abA	0.10 cB	9.90 B	-29.48	-43.75	-34.84	-40.00	-31.01
	B2C2	5.53 aA	0.09 B	1.52 B	0.07 bAB	7.20 A	8.95 A	0.16 b	1.97 cB	0.14 bA	6.94 C	-38.21	-43.75	-22.84	-50.00	3.75

光照条件对烟草的生长发育和新陈代谢都有较大的影响,是确定田间烟株种植的行向、种植规格等栽培措施的主要依据。在本研究中不同种植规格、行向及烟叶着生方向的光照强度存在极显著差异,结果与前人研究的东西行向行间的光照为南北行向的2~3倍的结论基本一致^[24]。

各处理的生物碱含量有随光照强度的增强而增加的趋势,而烟碱转化率和4种TSNA含量则呈下降趋势,并通过垂垄向烟叶和垄向烟叶的比较得到了进一步证实。这似乎说明光照条件的强弱对生物碱的合成与代谢、烟碱转化及TNSA的形成与积累存在一定的影响。有研究认为,烟叶烟碱含量随日照时间的延长而增加,黑暗可显著抑制生物碱合成^[1-2]。在烟叶大田生产中宽的行株距的烟碱含量是窄距的8~18倍,降烟碱是4~23倍^[2]。李宗平等^[25]报道海拔高度及光照条件对烟叶的烟碱转化率存在明显的影响,光照充足田块的烟碱转化率显著低于荫蔽地。也有报道认为,TSNA的另一前体物硝酸盐的含量与光照强度也有关。弱光照均会导致NO₃⁻的累积,强光照下烟叶的硝酸盐含量较弱光照为低,因为光照强度直接影响烟叶光合作用,光合作用的强弱又限制了叶绿体中糖类的形成,继而影响NADH⁺的生成,而硝酸还原酶需要NADH⁺作为它还原NO₃⁻为NO₂⁻的电子供体,调节硝酸还原酶的活力,从而最终影响植株体内NO₃⁻的累积^[26-28]。烟叶中的硝酸盐在调制期通过酶和微生物的作用被还原为亚硝酸盐,亚硝酸盐与TSNA显著正相关^[1,29]。亦有研究认为NNN、NNK的合成主要受生物碱含量影响,而NAT和NAB主要由亚硝酸含量决定^[2]。

在研究过程中因受试验处理数和处理间互作效应的影响,未进行光照与生物碱、烟碱转化率及4种TNSA的相关分析,亦未进行新烟碱、假木贼碱及硝酸盐和亚硝酸含量等前体物的全面检测,因此,有关光照影响TNSA形成与积累的机理有待进一步研究。同时本研究中的种植规格处理仅设计了2个水平,其结论和最佳水平,尚需进行多水平的单因素试验进一步验证和确定。

4 结 论

在白肋烟生产中推广应用烟碱转化率低的品种是降低烟叶TSNA含量的关键,同时在保证单位面积内一定种植株数的前提下,适当增大株距,努力改善烟株光照条件,对降低烟叶的TSNA含量是十分必要的。

参考文献

- [1] 史宏志,张建勋. 烟草生物碱[M]. 北京:中国农业出版社,2004:7-151.
- [2] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 朱尊权,等,译. 上海:上海远东出版社,1993:60-338.
- [3] 史宏志. 烟草烟碱向降烟碱转化[M]. 北京:科技出版社,2013:6-193.
- [4] 史宏志,Lowell P Bush,黄元炯,等. 我国烟草及其制品中烟草特有亚硝酸胺含量及与前体物的关系[J]. 中国烟草学报,2002,8(1):14-19.
- [5] 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,2001,21(4):33-36.
- [6] 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.
- [7] 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(4):28-32.
- [8] 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研究[J]. 中国烟草学报,2007,13(2):24-32.
- [9] Chamberlain W J,Severson R F,Stephenson M G. Levels of *N-nitrosotobaccoamine* in tobaccos grown under varying agronomic conditions[J]. Tob Sci,1984,28:156-158.
- [10] 汪安云,柴家荣,祝明亮,等. 氮素形态对白肋烟特有亚硝酸胺的积累、烟叶品质、产质量等影响的研究[J]. 中国烟草学报,2004,10(6):16-20.
- [11] 宫长荣,王娜,司辉,等. 氮素形态对烤烟烟叶TSNA含量的影响[J]. 河南农业大学学报,2003,37(2):111-113.
- [12] 彭丽丽,韩富根,解莹莹,等. 氮用量对烤烟叶片TSNA前体物含量及硝酸还原酶活性的影响[J]. 中国烟草学报,2009,15(3):35-38.
- [13] 韩锦峰,韩富根,刘华山,等. 打顶时间对烤烟特有亚硝酸胺前体物的影响[J]. 河南农业科学,2009(7):58-60.

- [14] 郭鹏飞, 朴龙铁, 金玉善, 等. 打顶调控对白肋烟主要化学成分及烟草特有亚硝胺含量的影响[J]. 延边大学农学报, 2015, 37(5): 25-30.
- [15] 李宗平, 李进平, 陈茂胜, 等. 晾制温湿度对白肋烟生物碱含量和烟碱转化的影响研究[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(4): 61-64.
- [16] Andersen R A, Fleming P D, Burton H R. N²-Acyl- and N²-nitroso-pyridine alkaloids in alkaloids lines of burley tobacco during growth and air-curing[J]. J Agric Food Chem, 1989, 37: 44-50.
- [17] Bush L P, Li X, Fannin F F. Tobacco specific nitrosamines in air-cured tobacco [C]//International Tobacco Symposium for the 10th Anniversary of the China National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, 2007, Henan Agricultural University, Zhengzhou, China.
- [18] 赵华玲. 烟草中特有的亚硝胺化合物[J]. 烟草科技, 1998(3): 24-26.
- [19] 雷丽萍, 夏振远, 郭荣君, 等. 非硝酸盐还原细菌 K18 降低 TSNA 机理的初步研究[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(5): 54-57.
- [20] 雷丽萍. 烟草内生芽孢杆菌降低烟叶亚硝胺类物质含量的研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 515-520.
- [21] 张玉芹, 宫玮, 刘开启, 等. 反硝化细菌对烟草特有亚硝胺的降解作用[J]. 仲恺农业技术学院学报, 2007, 20(1): 5-8.
- [22] 廉芸芸, 王允白, 邱军, 等. 不同产区烤烟中主要生物碱含量和组成比例分析[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 6-9.
- [23] 丁时超, 杜文, 任建新. LC-MS/MS 定量分析卷烟中的烟草特有亚硝胺(TSNA_s) [J]. 中国烟草学报, 2005, 11(6): 17-22.
- [24] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 356-365.
- [25] 李宗平, 李进平, 王昌军. 生态及栽培因子对白肋烟烟碱转化的影响[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(2): 54-58.
- [26] 许自成, 陈伟, 黄平俊, 等. 影响烤烟叶片硝酸盐积累的因素分析[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 47-49.
- [27] 倪晋山. 小麦吸收、累积硝酸根的品种间差异[J]. 植物生理学报, 1990, 16(3): 277-283.
- [28] 许长蔼. 植物体内 NO₃⁻可给性对硝酸还原酶活性的调节[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(3): 173-177.
- [29] 刘万峰, 王元英. 烟叶中烟草特有亚硝胺(TSNA)的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2002, 23(2): 11-14.

《烟草科技》2015年第11期目次

烟草绿原酸合成关键基因 <i>NtHQT1</i> 的克隆及表达分析.....	武明珠, 许亚龙, 李 锋, 等 1
无致病力青枯菌株对烟草青枯病的控制作用.....	陈国康, 周帮菊, 周丹妮, 等 7
m型硫氧还蛋白对马铃薯Y病毒侵染烟草的影响.....	贾蒙鹭, 张荣春, 商胜华, 等 11
喀斯特山区不同种植方式下烟田土壤微生物特征分析.....	黄化刚, 肖谋良, 梁士楚, 等 16
干酪乳杆菌发酵废弃烟梗制备L-乳酸操作参数的优化.....	朱大恒, 杨增光, 张可可, 等 22
磷酸氢二铵对卷烟烟气游离烟碱释放量及感官品质的影响.....	张 红, 刘志华, 司晓喜, 等 28
利用顶空-GC/MS法对比新型卷烟和传统卷烟的挥发性成分.....	杨 继, 汤建国, 尚善斋, 等 33
电感耦合等离子体质谱法测定烟草中6种元素的不确定度.....	陈 丹, 李 苓, 彭丽娟, 等 40
单一和复配微生物固态发酵对卷烟叶组主要化学成分的影响.....	王 颖, 马玲玲, 吕 欣, 等 47
微波膨胀梗丝对卷烟7种烟气有害成分释放量及危害性指数的影响.....	赵云川, 廖晓祥, 陈 冉, 等 53
微波膨胀烟梗二次切丝工艺参数研究.....	邹 泉, 廖晓祥, 赵云川, 等 59
基于图像处理的烟片加料均匀性评价方法.....	郑 飞, 李 媛, 刘德强, 等 65
滚筒干燥中烟丝停留时间预测模型.....	李 朋, 刘朝贤, 王 乐, 等 69
热熔压敏胶涂胶系统在YB29自粘软盒包装机上的应用.....	徐 峰 74
烤烟活动箱式装烟框及提升装置的设计与应用.....	刚, 陈 杰, 张辉全, 等 79
无烟气烟草制品的发展现状和趋势.....	孙学辉, 赵 乐, 王宜鹏, 等 83