

不同栽培措施对白肋烟 TSNAs 及其前体物的影响

陈翔^{1,2}, 周开绪³, 杨兴友³, 向杰³, 何正川⁴, 刘丽¹, 张艳敏¹, 程新胜^{1*}

(1.中国科学技术大学烟草与健康研究中心,合肥 230052; 2.安徽农业大学农学院,合肥 230036; 3.四川省烟草公司达州分公司,四川 达州 635000; 4.四川省宣汉县烟草公司,四川 宣汉 636150)

摘要: 为揭示不同栽培措施对白肋烟烟草特有亚硝胺 (TSNAs) 及其前体物的影响,采用正交试验研究了施氮量 (210、255 和 300 kg/hm²)、打顶时间 (扣心打顶、现蕾打顶和初花打顶) 和 BSM 剂量 (0.1、0.3 μmol/L 和清水涂抹) 3 因素组合对上部烟叶 TSNAs、生物碱和硝酸盐含量的影响。结果表明,施氮量是影响 TSNAs 及其前体物生物碱、硝酸盐含量的主要因素,施氮量 210 kg/hm² 的上部烟叶中 TSNAs 及其前体物含量均较低。打顶时间对上部叶 TSNAs 含量影响差异极显著,现蕾打顶 TSNAs 含量极显著低于扣心和初花打顶。打顶后涂抹 BSM,烟叶中生物碱、硝酸盐和 TSNAs 的含量均较低。综合认为,在本试验条件下,施氮量 210 kg/hm²+现蕾打顶+0.3 μmol/L BSM 制剂的组合可有效降低上部烟叶 TSNAs 含量。

关键词: 白肋烟; 施氮量; 打顶时间; BSM; TSNAs

中图分类号: S572.062

文章编号: 1007-5119 (2017) 02-0014-05

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2017.02.003

Effects of Different Cultivation Measures on TSNAs and their Precursors in Burley Tobacco

CHEN Xiang^{1,2}, ZHOU Kaixu³, YANG Xingyou³, XIANG Jie³, HE Zhengchuan⁴,
LIU Li¹, ZHANG Yanmin¹, CHENG Xinsheng^{1*}

(1. Research Center of Tobacco and Health, University of Science and Technology of China, Hefei 230052, China; 2. College of Agronomy, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China; 3. Dazhou Tobacco Research Institute of Sichuan, Sichuan Dazhou 635000, China; 4. Xuanhan Tobacco Company, Xuanhan, Sichuan 636150, China)

Abstract: To reveal the effects of different cultivation measures on TSNAs and their precursors in burley tobacco, an orthogonal experiment was conducted with different nitrogen application rates (210, 255 and 300 kg/ha), topping time (topping at buttoning stage, topping at budding stage and topping at initial flower stage) and BSM doses (0.1, 0.3 and 0.0 μmol/L). Contents of TSNAs, alkaloids and nitrate nitrogen were analyzed. The results showed that nitrogen application rate was the main influencing factor of the contents of TSNAs, alkaloids, nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen. Contents of TSNAs and their precursors of upper burley leaves were lower at 210 kg/ha nitrogen fertilizer. Topping time had an extremely significant effect on TSNA contents of upper leaves. When topping at budding stage TSNA contents were significantly lower than that of topping at buttoning stage and topping at initial flower stage. The contents of TSNAs, alkaloids, nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen with BSM treatment after topping were lower. At the conditions of this experiment, the optimal combination to reduce TSNAs is 210 kg/ha nitrogen application rate, topping at budding stage and 0.3 μmol/L BSM.

Keywords: burley tobacco; nitrogen application rate; topping time; BSM; TSNAs

白肋烟 (Burley tobacco) 属浅色晾烟, 因其独特的烟叶结构、物理性能和特殊的香味, 被广泛用于混合型卷烟生产中^[1]。烟草特有亚硝胺 (tobacco-

specific N-nitrosamines, TSNAs) 是烟草生物碱与亚硝基反应生成的存在于烟叶及烟气中的亚硝胺类化合物^[2], 其中 N-亚硝基降烟碱 (NNN) 与

基金项目: 四川省烟草公司项目“基于前体物控制的降低白肋烟 TSNAs 关键技术与集成”(201304); 中国烟草总公司重大专项“利用仿生型信号分子降低白肋烟 TSNAs 关键技术研究”(JH-04)

作者简介: 陈翔 (1990-), 男, 在读博士研究生, 研究方向为烟草栽培生理与减害技术研究。E-mail: 1012791799@qq.com

*通信作者, E-mail: xscheng@ustc.edu.cn

收稿日期: 2016-06-14

修回日期: 2016-12-29

4-(N-甲基亚硝基胺)-1-(3-吡啶基)-1-丁酮(NNK) 被国际癌症研究机构(IARC) 认定为 I 类致癌物^[3]。近年来, 研究人员为寻求有效降低 TSNA_s 含量的方法, 从品种的选育、田间栽培措施以及调制等方面进行了深入的研究, 如 Conkling^[4]报道利用遗传工程技术培育低烟碱品种, 其烟叶加工成的烟草制品中 TSNA_s 和烟碱含量均较低; 宫长荣等^[5]研究发现, 烟叶中 TSNA_s 含量随着施氮量的增加而增加, 适当的控制施氮量有助于 TSNA_s 含量的降低; 韩锦峰等^[6]研究发现, 打顶时间对 TSNA_s 前体物生物碱、硝酸盐含量有较大的影响, 适时打顶可以使 TSNA_s 前体物的含量处于较低水平。大量研究表明, 众多栽培措施均可不同程度的影响生物碱、硝酸盐含量, 继而影响 TSNA_s 的形成和积累, 尤其是施氮量和打顶时间^[5-10]。本研究根据四川达州白肋烟生产实际情况, 通过正交试验将几种对 TSNA_s 有较大影响的技术因素进行耦合, 探讨不同栽培措施组合对白肋烟上部叶 TSNA_s 及其前体物的影响, 为达州地区优质低害白肋烟生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点和材料

试验于 2014 年在四川省达州市宣汉县东林乡进行(31.27°N, 107.7°E, 海拔 545 m), 当地属亚热带湿润季风气候, 年均气温 14.7 °C, 多年平均降雨量 1199 mm, 试验地约 0.3 hm², 供试品种为达白 1 号, 土壤类型为棕壤土, 基本理化性状为 pH 6.50, 有机质 12.69 g/kg, 碱解氮 135.0 mg/kg, 速效磷 95 mg/kg, 速效钾 110.0 mg/kg。试验中所用仿生型信号分子(Bionics Signal Molecule, BSM) 是本试验室根据昆虫口腔分泌物抑制烟草创伤胁迫相关机制而研制^[11-13], 是一种羟基苯甲酸类衍生物, 含量 5%的水溶性粉状物质。

1.2 试验设计

试验采用正交 L₉(3⁴)设计, 三因素分别是施氮量(A)、打顶时间(B)、BSM 剂量(C)。试验设 9 个处理组合(表 1), 随机区组排列, 重复 3 次, 计 27 个小区, 每小区 120 株烟。

表 1 正交试验表
Table 1 Orthogonal design table

处理	A: 施氮量/ (kg·hm ⁻²)	B: 打顶时间	C: BSM 剂量/ (μmol·L ⁻¹)
T1-A1B1C1	A1-210	B1-扣心	C1-0.1
T2-A1B2C2	A1-210	B2-现蕾	C2-0.3
T3-A1B3C3	A1-210	B3-初花	C3-0.0
T4-A2B1C2	A2-255	B1-扣心	C2-0.3
T5-A2B2C3	A2-255	B2-现蕾	C3-0.0
T6-A2B3C1	A2-255	B3-初花	C1-0.1
T7-A3B1C3	A3-300	B1-扣心	C3-0.0
T8-A3B2C1	A3-300	B2-现蕾	C1-0.1
T9-A3B3C2	A3-300	B3-初花	C2-0.3

1.3 田间管理和取样方法

烟苗于 2014 年 4 月 25 日移栽, 移栽密度 1200 株/667m², 行距×株距为 1.2 m×0.5 m, 所有肥料在移栽前一次性做基肥施用, 肥料配比 m(N):m(P₂O₅):m(K₂O)=10:10:28, 其他栽培技术按当地白肋烟生产技术规范进行。BSM 在烟叶打顶时使用, 即在打顶后 1~2 h 内将不同浓度 BSM 水溶物用毛笔涂抹到主茎顶端伤口断面处。各小区烟叶分别采收, 并挂牌标记, 调制方法同一般大田。调制结束后, 取上部叶(第 16~18 片叶)为供试样品, 用于烟叶化学成分测定。

1.4 测定方法

按照 YQ/T 29—2013 采用高效液相色谱-串联质谱联用法测定 TSNA_s 含量, 按照 YC/T 383—2010 采用气相色谱-质谱联用法测定生物碱含量; NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量利用紫外-可见分光光度计用比色法进行测定^[14]。

1.5 数据分析

采用 SPSS 17.0 进行数据处理和统计分析。

2 结 果

2.1 不同栽培措施对 TSNA_s 含量的影响

经方差分析和多重比较可知(表 2), 施氮量对亚硝基假木贼碱(NAB)和 NNK 含量影响极显著, 对亚硝基新烟草碱(NAT)、NNN、TSNA_s 总量影响显著, A1(施氮量 210 kg/hm²)、A2(施氮量 255 kg/hm²)的 4 种 TSNA_s 及其总量(极)显著低于 A3(施氮量 300 kg/hm²), 且 A1 的 4 种 TSNA_s 及其

总量均最低。打顶时间对 NNN、NAT、NAB、NNK 和 TSNA_s 总量影响差异极显著, B2 (现蕾打顶) 的 4 种 TSNA_s 及其总量 (极) 显著低于 B1 (扣心打顶) \ B3 (初花打顶), 尤其是 NNN、NNK 和 TSNA_s 总量最低, 优于 B1 和 B3。BSM 同样对 4 种 TSNA_s 及其总量影响差异极显著, C2 的 4 种 TSNA_s 及其总量最低, 表现最佳。据此组合 A1B2C2 应是最优组合, 各 TSNA_s 组分及其总量均最低, 尤其是 NNN 和 NNK。

表 2 不同处理组合 TSNA_s 含量

处理	NNN	NAT	NAB	NNK	TSNA _s
T1	12.56dD	3.17dD	0.12dD	0.20fE	16.06dD
T2	9.15iH	2.24gG	0.08gG	0.17hG	11.63iH
T3	13.50cC	3.73cC	0.14cC	0.25cC	17.60cC
T4	10.43gG	2.54fF	0.10eE	0.19gF	13.26gG
T5	9.38hH	2.25gG	0.09fF	0.19gF	11.91hH
T6	16.40bB	4.75bB	0.17bB	0.28bB	21.59bB
T7	23.58aA	6.76aA	0.25aA	0.44aA	31.06aA
T8	10.75fF	2.99eE	0.12dD	0.22eD	14.07fF
T9	11.21eE	3.03eE	0.12dD	0.23dD	14.61eE
A1-210	11.73b	3.05b	0.11bB	0.21bB	15.09b
A2-255	12.07b	3.18b	0.12bAB	0.22bB	15.59b
A3-300	15.18a	4.26a	0.16aA	0.30aA	19.92a
B1-扣心	15.52aA	4.16aA	0.16aA	0.28aA	20.13aA
B2-现蕾	9.76bB	2.49bB	0.10bB	0.20bB	12.54bB
B3-初花	13.70aA	3.84aA	0.14aA	0.25aAB	17.93aA
C1-0.1	13.23aAB	3.64aAB	0.14aAB	0.24aAB	17.24aAB
C2-0.3	10.26bB	2.60bB	0.10bB	0.20bB	13.17bB
C3-清水	15.49aA	4.25aA	0.16aA	0.29aA	20.19aA

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。

2.2 不同栽培措施组合对生物碱含量的影响

从表 3 可以看出, 施氮量对 4 种生物碱及其总量的影响达 (极) 显著水平, 且是影响降烟碱、烟碱、总生物碱含量的主要因素, A1 (施氮量 210 kg/hm²) 的降烟碱、烟碱、总生物碱含量最低且极显著低于 A2 和 A3。打顶时间对新烟草碱含量影响极显著, B2 (现蕾打顶) 的降烟碱含量最低且其他生物碱含量适宜。BSM 对降烟碱含量影响极显著, 对烟碱和总生物碱含量影响显著, C2 的降烟碱含量显著低于 C1 和 C3, 由于降烟碱对烟叶吸味的负作用大且是 NNN 重要的前体物^[15], 对烟叶品质和安全性具有重要影响, 白肋烟生产上要求其含量越低越好, 据此组合 A1B2C2 的降烟碱含量最低且生物碱组成比例适宜。

表 3 不同处理组合生物碱含量

处理	降烟碱	假木贼碱	新烟草碱	烟碱	总生物碱
T1	5.81fE	0.21aA	2.27abAB	33.27bcdBC	41.56bcdBC
T2	5.51hF	0.18bcAB	2.04cdC	30.38dC	38.10dC
T3	5.63gF	0.21abA	2.05cdC	32.52cdBC	40.41cdBC
T4	5.88fE	0.14dBC	2.14bcBC	34.29bcdBC	42.45bcdBC
T5	6.23dC	0.14dBC	1.75eD	37.32bAB	45.44bAB
T6	6.07eD	0.14dBC	2.00cdC	35.75bcABC	43.96bcBC
T7	6.60aA	0.15cdBC	2.36aA	41.50aA	50.62aA
T8	6.34cBC	0.13dC	1.78eD	34.59bcdBC	42.84bcBC
T9	6.48bAB	0.13dC	1.98dC	37.46bAB	46.04bAB
A1-210	5.65cC	0.20aA	2.12a	32.06bB	40.03bB
A2-255	6.06bB	0.14bB	1.96b	35.79aA	43.95aA
A3-300	6.47aA	0.14bB	2.04ab	37.85aA	46.50aA
B1-扣心	6.09a	0.17a	2.26aA	36.35a	44.88a
B2-现蕾	6.02a	0.15a	1.86cC	34.09a	42.13a
B3-初花	6.06a	0.16a	2.00bB	35.24a	43.47a
C1-0.1	6.07aAB	0.16a	2.01a	34.54b	42.79b
C2-0.3	5.95bB	0.15a	2.05a	34.04b	42.20b
C3-清水	6.15aA	0.17a	2.06a	37.11a	45.49a

2.3 不同栽培措施组合对 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量的影响

由表 4 可知, 施氮量对 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量影响极显著, A1 (施氮量 210 kg/hm²) 的 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量最低且极显著低于 A2 和 A3。打顶时间对 NO₃⁻-N 含量影响极显著, B2 (现蕾打顶) 的 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量最低。BSM 对 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量影响同样极显著, 大小均依次为 C2 < C1 < C3, C2 时二者含量 (极) 显著低于 C1 和 C3。因此 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量最低的组合是 A1B2C2, 这与降低 TSNA_s 含量的最优组合具有一致性。

表 4 不同处理组合 NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量

处理	NO ₃ ⁻ -N/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	NO ₂ ⁻ -N/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
T1	3.01eEF	123.02eD
T2	2.92fF	108.52fE
T3	3.36bBC	114.00gE
T4	3.13dD	130.10dC
T5	3.10dDE	141.07cB
T6	3.39bB	136.52cB
T7	3.51aA	156.99aA
T8	3.28cC	151.17bA
T9	3.40bB	153.05aAb
A1-210	3.10cC	115.18cC
A2-255	3.21bB	135.90bB
A3-300	3.40aA	153.74aA
B1-扣心	3.21bB	136.70a
B2-现蕾	3.10cC	133.59a
B3-初花	3.38aA	134.53a
C1-0.1	3.23bB	136.91aA
C2-0.3	3.15cB	130.56bB
C3-清水	3.32aA	137.35aA

2.4 白肋烟 TSNA_s 与生物碱、硝酸盐含量的相关性
由相关性分析可知(表 5),达州地区白肋烟上部叶 NNN、NAT、TSNA_s 总量与烟碱、总生物碱、NO₃⁻-N 极显著正相关,与降烟碱、NO₂⁻-N 显著正相关;NAB、NNK 与降烟碱、烟碱、总生物碱、NO₃⁻-N 均呈极显著正相关关系,NNK 与 NO₂⁻-N 呈极显著正相关关系。NNN 和 NNK 对人体毒性大且具有

较强的致癌性^[3],一直是 TSNA_s 降害研究的焦点,通过本试验的相关性分析可知,NNN、NNK、TSNA_s 总量与降烟碱、硝酸盐呈正相关关系,这与前人的研究结果相一致^[15],因此通过田间农艺措施降低 TSNA_s 的前体物生物碱和硝酸盐含量,继而抑制后期 TSNA_s 的形成和积累,对降低 TSNA_s 含量尤其是 NNN 和 NNK 含量具有重要意义。

表 5 生物碱、硝酸盐与 TSNA_s 的相关系数Table 5 Correlation coefficients of alkaloids, nitrate and TSNA_s

项目	降烟碱	假木贼碱	新烟草碱	烟碱	总生物碱	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N
NNN	0.446*	0.031	0.599**	0.567**	0.592**	0.697**	0.400*
NAT	0.466*	-0.003	0.543**	0.560**	0.585**	0.743**	0.424*
NAB	0.508**	-0.036	0.527**	0.593**	0.618**	0.754**	0.466*
NNK	0.568**	-0.094	0.491**	0.640**	0.664**	0.769**	0.523**
TSNA _s	0.455*	0.019	0.586**	0.568**	0.593**	0.710**	0.410*

注：*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关；**在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 讨 论

田间栽培技术中,氮肥用量对白肋烟产量及品质的影响比其他任何养分都大^[1],同时也是影响 TSNA_s、生物碱、硝酸盐含量的主要因素^[5,7-8,16]。本研究结果表明,施氮量对白肋烟上部叶的 4 种 TSNA_s 及其总量、4 种生物碱及其总量、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 含量的影响差异达到(极)显著水平,施氮量 210 kg/hm² 的 TSNA_s 含量最低,且 TSNA_s 及其前体物含量随着施氮量的增加而增加,这与已报道的结果相一致^[7]。因为氮元素是构成烟草生物碱、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N 的必需元素,所以控制施氮量可以有效降低 TSNA_s 前体物的形成和积累,进而减少烟叶在后期调制、复烤、醇化等过程中 TSNA_s 的形成^[17-18]。在调查中发现,目前达州白肋烟区田间实际施氮量普遍较高,试验中所用的氮肥最高用量就是该地区多数烟农的实际用量。因此在达州烟区控制氮肥用量,不仅是降低白肋烟上部叶 TSNA_s 含量的需要,也是提高烟叶品质的需要。

打顶改变了烟株生长和物质代谢的中心,并使烟株体内养分重新调整与分配,是调控烟株营养和烟叶品质的重要栽培措施,尤其对烟株上部烟叶的质量形成具有较大的影响^[1]。同时打顶促进了烟株根系的生长发育和对养分的吸收利用,进而对烟

碱等次生代谢产物的合成与积累产生较大的刺激作用,不同时期打顶对烟株体内烟碱含量的积累影响不同^[6],因此打顶造成的含量变化必将反映到 TSNA_s 的含量上来,适时打顶 TSNA_s 的前体物生物碱和硝酸盐的含量均较低^[9-10]。本研究结果表明,打顶时间对上部烟叶的 4 种 TSNA_s 及其总量的影响差异极显著,现蕾期打顶 TSNA_s 各组分及其前体物生物碱和硝酸盐的含量均较低。因此适时打顶也是白肋烟田间生产实践中降低 TSNA_s 含量和提高烟叶安全性的重要措施。

田间生产中打顶会给烟草造成机械损伤,进而激发烟株的防御性反应,在这一过程中创伤信号的积累和传递起着关键性作用^[19]。BSM 是本实验室根据食烟性昆虫口腔分泌物研制的一种仿生型信号分子^[11-12],前期相关研究表明,BSM 可以在信号传导的上游抑制烟草打顶造成的创伤所引发的氧化胁迫^[13],影响烟草植株对氮素的吸收、积累与代谢,继而降低了生物碱和硝酸盐在烟株体内的形成与积累,最终降低烟叶中 TSNA_s 含量^[14,20-21]。本研究结果也表明,打顶后应用 BSM,上部烟叶的 TSNA_s 及其前体物生物碱、硝酸盐含量均较低。

4 结 论

本研究表明,在白肋烟生产中基于田间实际情

况合理施用氮肥是降低 TSNA_s 含量的重要措施；在适时打顶、结合应用 BSM 对降低 TSNA_s 含量也是十分有效的。综合考虑，在四川达州白肋烟产区目前生产条件下，采用施氮量 210 kg/hm²+现蕾打顶+0.3 μmol/L BSM 这一栽培技术组合，可有效降低上部烟叶 TSNA_s 含量，有利于卷烟工业对白肋烟的可持续利用。

参考文献

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003: 277-281, 252-261.
- [2] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003: 80-83, 145-158, 165-168, 170-174.
- [3] IARC. Evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: tobacco habits other than smoking: betel-quid and areca nut chewing and some related nitrosamines[R]. Lyon: International Agency for Research on Cancer Scientific Publications, 1985.
- [4] CONKLING M. Making blended reduced nicotine tobacco or tobacco specific nitrosamine tobacco, by blending first tobacco with second tobacco produced from genetically modified tobacco plant with reduced quinolate phosphoribosyl transferase level: S2006 237025-A1[P]. 2006-10-26.
- [5] 宫长荣,王娜,司辉,等. 氮素形态对烤烟烟叶中 TSNA 含量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2003, 37(2): 111-114.
- [6] 韩锦峰,韩富根,刘华山,等. 打顶时间对烤烟特有亚硝酸前体物的影响[J]. 河南农业科学, 2009(7): 58-60.
- [7] CHAMBERLAIN W J, CHORTYK O T. Effects of curing and fertilization on nitrosamine formation in bright and burley tobacco[J]. Beitrage Zur Tabakforschung International, 1992, 15(2): 87-92.
- [8] 彭丽丽, 韩富根, 解莹莹, 等. 氮用量对烤烟叶片 TSNA_s 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.
- [9] 汪安云, 秦西云. 打顶留叶数与烤烟品种 TSNA 形成累积的关系[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 161-165.
- [10] 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酸含量的影响[J]. 延边大学农学学报, 2015, 37(1): 25-30.
- [11] 宗娜, 王琛柱. 三种夜蛾科昆虫对烟草烟碱的诱导及其与昆虫下唇腺葡萄糖氧化酶的关系[J]. 科学通报, 2004, 49(14): 1380-1385.
- [12] GUAN L M, SCANDALIOS J G. Hydrogen peroxide-mediated catalase gene expression in response to wounding[J]. Free radical biology and medicine, 2000, 28(8): 1182-1190.
- [13] 李影, 王程辉, 周初跃, 等. 打顶及仿生信号分子对不同烤烟品种氧化胁迫的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(6): 20-23.
- [14] 华煜, 林国平, 黄文昌, 等. 仿生型信号分子对烟草硝酸盐、亚硝酸盐的抑制作用[J]. 烟草科技, 2010(4): 51-53.
- [15] 史宏志. 烟草烟碱向降烟碱转化[M]. 北京:科学出版社, 2013: 16-193.
- [16] 谢志坚, 涂书新, 张嶽, 等. 影响烤烟烟碱合成与代谢的因素及其机理分析[J]. 核农学报, 2014, 28(4): 0714-0719.
- [17] 边文杰, 郭东锋, 姚忠达, 等. 打叶复烤白肋烟叶 TSNA_s 含量变化分析[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(3): 523-527.
- [18] SHI H Z, WANG R Y, BUSH L P, et al. Changes in TSNA contents during tobacco storage and the effect of temperature and nitrate level on TSNA formation[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 61(47): 11588-11594.
- [19] 程新胜, 沈嘉, 曹流俭. 分子信号调节物对烟草上部叶烟碱及其他化学成分影响研究初报[J]. 热带作物学报, 2008, 2(3): 333-337.
- [20] 黄兰, 王正刚, 舒俊生, 等. 仿生型信号分子对烟草主要生物碱的抑制作用[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(2): 1-5.
- [21] LI Y, BIAN W J, YAO Z D, et al. Reduce Tobacco-specific Nitrosamines in Burley Tobacco Using Glucose Oxidase [J]. Tobacco Science & Technology, 2010, 47(1): 13-17.