

硝态氮含量对烟叶高温贮藏过程中 TSNA 形成的影响

孙楹淑¹, 王俊¹, 周骏², 马雁军², 白若石²,
杨惠娟¹, 许东亚¹, 焦哲恒¹, 史宏志¹

1 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地 / 烟草行业烟草栽培重点实验室, 河南 郑州 450002;

2 上海烟草集团北京卷烟厂, 北京 100024

摘要: 为研究硝态氮含量对调制后烟叶高温贮藏过程中 TSNA 形成的影响, 设计白肋烟田间施氮肥量试验、室内对烤烟烟叶添加不同浓度硝酸盐试验, 并对白肋烟和烤烟的叶片和烟梗分别取样, 得到硝态氮含量差异较大样品。将样品在高温 (45℃) 条件下贮藏 15 d, 以在低温 (10℃) 条件下贮藏作为对照, 测定所有样品的硝态氮和 TSNA 含量。结果表明: 烟叶中硝态氮含量与施氮量呈正相关; 新调制的烟叶硝态氮含量与 TSNAs 相关性较小, 在高温贮藏 15 d 后, 其相关性显著增加, 烟叶硝态氮含量与高温贮藏期间 TSNAs 的增加量呈显著正相关; 白肋烟和烤烟均表现出烟叶主脉中的硝态氮含量远高于叶片, 高温贮藏 15 d 后, 主脉 TSNA 增加量显著高于叶片; 在人工添加硝酸盐的试验中, 随添加硝酸盐量的增加, 烤烟烟叶硝态氮含量及高温贮藏后 TSNA 含量显著增加。以上说明硝态氮含量与高温贮藏过程中 TSNAs 的形成有密切关系, 通过农业措施降低烟叶硝态氮积累是减少贮藏过程中 TSNA 形成的有效途径。

关键词: 烟草; 硝态氮; TSNAs; 高温; 贮藏

引用本文: 孙楹淑, 王俊, 周骏, 等. 硝态氮含量对烟叶高温贮藏过程中 TSNA 形成的影响 [J]. 中国烟草学报, 2015,21 (2)

烟草特有亚硝胺 (Tobacco Specific N-nitrosamines, TSNAs) 是由烟草生物碱发生亚硝化作用生成的存在于烟叶和烟气中的有害成分。有关 TSNAs 的致病机制在国内外已有大量报道, 其有害性在动物实验中得到证实^[1-2]。目前已鉴定出烟草中 8 种特有的亚硝胺^[3]。其中, 在烟叶和烟气中含量较高且在近年来研究较多的烟草特有亚硝胺有 4 种: N-亚硝基去甲基烟碱 (NNN)、4-(N-甲基-亚硝胺)-1-(3-吡啶基)-1-丁酮 (NNK)、N-亚硝基新烟草碱 (NAT) 和 N-亚硝基假木贼碱 (NAB)^[4]。许多研究表明, 进入调制前的鲜烟不含 TSNAs 或含量极低^[5-6], 烟叶中的 TSNAs 主要在调制和贮藏过程中形成和积累, 但目前研究多集中在烟叶调制期间 TSNAs 的形成。Burton^[7] 和 Cui^[8] 等的研究表明, 白肋烟和晾晒烟的 TSNAs 快速增长发生在调制过程烟叶的变黄末期, 在调制的第 4 到第 7 周含量大幅提高。

白肋烟调制结束后的贮藏阶段也是 TSNA 形成的重要时期, 烟叶贮藏阶段其 TSNA 含量比调制结束可

提高 50% 以上。De Roton 等^[9] 报道贮藏环境温度下的白肋烟粉碎样品, 6 个月后 TSNA 含量由 1.3~1.4 $\mu\text{g/g}$ 增加到 8.1~9.5 $\mu\text{g/g}$, 而贮藏在冰箱里的样品 TSNA 含量没有显著增加。Saito 等^[10] 也报道随着温度的增加, 白肋烟贮藏烟叶 TSNA 含量和氮氧化物含量大幅增高。前期研究表明, 不同类型烟叶贮藏过程中 TSNA 形成和积累有显著差异, 在高温贮藏过程中, 硝态氮含量较高的白肋烟 TSNA 形成量远大于含量低的烤烟^[11], 为进一步研究烟草硝态氮含量对高温贮藏过程中 TSNA 形成的影响, 设置了白肋烟不同施氮量田间试验, 以获得不同硝态氮含量的白肋烟。在另一个试验中, 通过向烤烟烟叶中人为添加不同浓度的硝酸盐, 得到不同硝态氮含量的烤烟烟叶。将样品进行高温贮藏以研究硝态氮与贮藏过程中 TSNA 形成的关系。烟叶的叶片和烟梗在化学组成上差异很大, 与调制后烟叶的叶片相比, 叶梗的香气物质、生物碱含量较低, 但硝态氮含量和 TSNA 积累量显著高于叶片。试验中还以硝态氮和生物碱含量差异较大的烟叶叶片

基金项目: 国家烟草专卖局减害重大专项项目: 110201301022 (JH-03)

作者简介: 孙楹淑 (1990—), 在读硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究, Email: swssdd123@163.com

通讯作者: 史宏志 (1963—), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草栽培生理研究, Email: shihongzhi88@163.com

收稿日期: 2014-01-07

和烟梗为材料在高温下贮藏研究其 TSNA 形成的差异性。该研究旨在揭示贮藏过程中烟草特有亚硝胺形成机理,为通过农艺和控制贮藏环境减少和抑制 TSNA 形成提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 地点和材料

白肋烟样品的产地为云南宾川,品种为 TN86,烤烟样品的产地为河南许昌,品种为中烟 100,所取样品均为上二棚烟叶。

1.2 试验方法

1.2.1 不同施氮量水平的白肋烟样品

在云南宾川白肋烟产区进行田间试验,土壤为壤土,中等肥力,土壤 pH 为 6.23,有机质含量为 22.8 g/kg,碱解氮含量为 50.2 mg/kg,速效磷含量为 12.4 mg/kg,速效钾含量为 54.1 mg/kg。试验共设四个施氮量,分别为:120,180,240,300 kg/hm²,其中 75% 的氮源为硝态氮。试验为随机区组设计,重复 3 次。

1.2.2 不同类型烟叶烟梗样品

白肋烟和烤烟分别取自云南宾川与河南许昌,栽培与调制按当地常规方式进行。分别以白肋烟和烤烟的烟叶和烟梗为供试材料,取样后,将叶片与叶梗分开,置于 4℃ 冰箱备用。

1.2.3 添加不同浓度硝酸钠的烤烟样品

以河南许昌烤烟烟叶为供试材料,将烟叶去除主脉后,剪成 0.5 cm² 大小的碎片,称取 6 份等量的 20 g。其中 5 份待进行高温贮藏的烟叶分别均匀喷施 10 mL 浓度为 0.00、0.01、0.02、0.03、0.04 g/mL 的 NaNO₃ 溶液,另外 1 份待进行低温贮藏的烟叶喷 10 mL 蒸馏水。之后将烟叶置于 10℃、RH 60% 的恒温恒湿箱中平衡水分。

1.2.4 样品高温贮藏

将不同施氮量水平的白肋烟和不同类型烟叶烟梗的每个样品称取两份等量的 20 g。一份置于恒定的 45℃、RH 60% 的恒温恒湿箱内处理 15 d,一份置于恒定的 10℃、RH 60% 环境下贮藏 15 d 作为对照。将添加不同浓度硝酸钠溶液的烤烟置于 45℃、RH 60% 的恒温恒湿箱内处理 15 d,低温对照置于恒定的 10℃、RH 60% 环境下贮藏 15 d。之后将所有样品冷冻干燥,磨碎后过 60 目筛。

1.3 化学成分含量测定

1.3.1 硝态氮含量测定:烟叶样品送至美国肯塔基大

学烟草化学分析实验室分析测定,采用比色法,具体参数按 Burton 等^[12]方法进行。

1.3.2 TSNA 含量测定:所有样品送至美国肯塔基大学和上海烟草集团北京卷烟厂进行重复测定,美国肯塔基大学测定方法为气相色谱-热能分析联用仪 (TEA),具体参数按 Burton 等^[7,12]方法进行。北京卷烟厂测定方法为在线 SPE-液相色谱质谱联用 (SPE-LC-MS/MS) 法^[13],即将烟样全自动固相萃取,萃取液过水相滤膜后使用 LC-MS/MS 进行检测。

2 结果与分析

2.1 高温处理下不同施氮量白肋烟中 TSNAs 及硝态氮含量的变化

表 1 的结果表明,随着施氮量增加,产量有不同程度的增加,随着施肥量从 120 kg/hm² 增加到 240 kg/hm²,产量从 2085 kg/hm² 增加到了 3279 kg/hm²,施肥量继续增加时,产量的增加量减小。10℃ 贮藏 15 d 烟叶硝态氮含量随着施肥量和产量的增加而显著增加,TSNA 含量随硝态氮增加而呈增加的趋势,但相关性较差。然而,在 45℃ 条件下贮藏 15 d 的烟叶,随着硝态氮含量增加,TSNA 含量显著增加,不同施氮肥量的烟叶与低温对照的差异均达到极显著水平,与对照相比 TSNAs 的净增加量随着硝态氮含量的增加而更多地增加,且呈显著高度正相关,相关系数达 0.98。这一结果表明,烟草中的硝态氮水平与烟叶高温条件下贮藏过程中 TSNAs 的形成密切相关。

2.2 高温处理下不同类型烟叶烟梗中 TSNAs 及硝态氮含量的变化

表 2 结果表明,无论白肋烟还是烤烟,相同温度下烟梗的硝态氮含量都显著高于叶片。经过高温处理后,叶片和叶梗 TSNA 含量均显著增加,高温处理后的 TSNA 总量与低温对照相比差异均达到极显著水平。但叶梗中 TSNAs 的增加量显著高于叶片中的增加,其中白肋烟烟梗的 TSNAs 增加 95.80%,而叶片增加 106.66%;烤烟烟梗的差异更为明显,烤烟烟梗高温处理后增加 367.05%,而叶片增加 77.70%。

TSNAs 的前体物为生物碱和硝酸盐,在对高温处理下不同类型烟叶烟梗中 TSNAs 及硝态氮含量变化的研究中,已知烟梗中的生物碱含量远低于烟叶中的含量,但硝态氮含量高于烟叶中的含量,高温处理后烟梗 TSNA 增加量显著大于叶片,说明烟梗中较高的硝态氮含量与贮藏过程中 TSNA 形成的关系密切。

表 1 高温处理下不同施氮量烟叶 TSNA_s 及硝态氮含量的变化
 Tab.1 Changes of TSNA_s and nitrate nitrogen contents in tobacco leaves with different nitrogen applying amount under high temperature treatment

施氮肥量 /kg·hm ⁻²	产量 /kg·hm ⁻²	贮藏温度 /°C	NO ₃ -N	NNN	NAT	NAB	NNK	TSNA 总量
120	2085	10	1331.2	0.1991	0.4917	0.0097	0.0689	0.7694
		45	1328.6	0.2475	0.6022	0.0197	0.0826	0.9520
		增加量	-2.6	0.0484	0.1105	0.0100	0.0137	0.1826**
180	2580	10	2000.8	0.5456	0.6922	0.0131	0.0793	1.3302
		45	1984.5	1.6495	1.3476	0.0236	0.1147	3.1354
		增加量	-16.3	1.1039	0.6554	0.0105	0.0354	1.8052**
240	3279	10	2277.2	0.5516	0.6137	0.0136	0.0739	1.2528
		45	2253.2	2.2358	1.5256	0.0296	0.1568	3.9478
		增加量	-24.0	1.6842	0.9119	0.0160	0.0829	2.6950**
300	3573	10	3184.4	0.6294	0.7372	0.0142	0.0843	1.4651
		45	3098.6	2.7302	2.3255	0.0443	0.2041	5.3041
		增加量	-85.8	2.1008	1.5883	0.0301	0.1198	3.8390**

注: t 检验: *: P<0. 05; **: P<0. 01。

表 2 高温处理下白肋烟和烤烟烟梗中 TSNA_s 及硝态氮含量的变化
 Tab.2 Changes of TSNA_s and nitrate nitrogen contents in lamina and midrib of burley and flue-cured tobacco under high temperature treatment

样品	贮藏温度 /°C	NO ₃ -N	NNN	NAT	NAB	NNK	TSNA 总量
白肋烟烟梗	10	13750.4	5.414	2.293	0.040	0.225	7.972
	45	12143.1	11.162	3.956	0.064	0.428	15.609
	增加量	-1607.3	5.748	1.663	0.024	0.203	7.637**
白肋烟烟叶	10	3332.6	1.784	0.482	0.025	0.068	2.358
	45	2576.7	2.946	1.674	0.081	0.173	4.873
	增加量	-755.9	1.162	1.192	0.056	0.105	2.515**
烤烟烟梗	10	2008.2	0.122	0.044	0.001	0.009	0.176
	45	1854.4	0.243	0.528	0.010	0.040	0.822
	增加量	-153.8	0.121	0.484	0.009	0.031	0.646**
烤烟烟叶	10	64.1	0.054	0.070	0.001	0.022	0.148
	45	42.2	0.092	0.127	0.005	0.039	0.263
	增加量	-21.9	0.038	0.057	0.004	0.017	0.115**

注: t 检验: *: P<0. 05; **: P<0. 01。

2.3 人工添加硝酸盐对烤烟贮藏过程中 TSNA 形成的影响

结果表明,随着人工添加硝酸盐量的增加,烟叶硝态氮含量显著增加。在高温贮藏条件下,烟叶 NNK、NNN、NAT、NAB 和总 TSNA 含量

均显著高于低温贮藏的对照样品,且与添加硝酸盐的量呈极显著的高度正相关,相关系数分别为 0.96,0.94,0.99,0.98,0.97。表明烟叶硝态氮含量对高温贮藏中 TSNAs 的形成有重要影响。

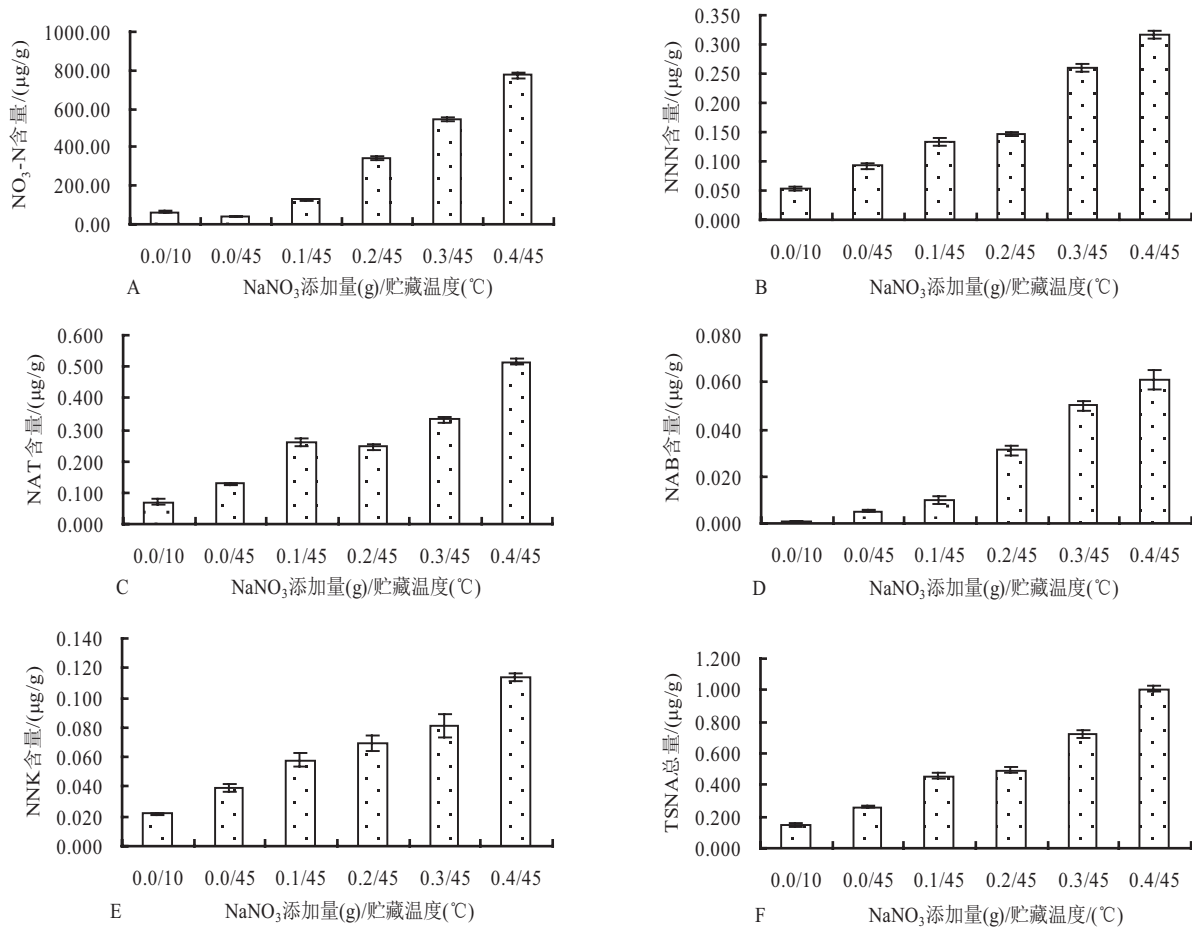


图 1 烤烟添加硝酸盐对高温处理下硝态氮和 TSNA 含量的影响

Fig. 1 Effect of adding nitrate to flue-cured tobacco on nitric nitrogen and TSNA content under high-temperature treatment

3 讨论

烟草中硝态氮的积累与施肥、产量水平等密切相关,氮素作为烟草主要的营养元素,不仅在烟株的生长发育过程中起重要作用,也是硝酸盐、亚硝酸盐及生物碱形成和积累的重要来源。硝态氮与调制后烟叶 TSNA 形成有密切关系^[14],在烟叶调制期间,普遍认为 TSNAs 的形成主要是由于微生物的作用^[15-17],调制期间叶片表面的湿度与微生物活性在一定范围内呈线性关系。一般认为,在调制过程中,烟草中的硝酸盐被微生物还原为亚硝酸盐以及氮氧化物(NO_x),

然后与烟草生物碱作用形成 TSNAs^[3,6,18-20]。本试验表明,在烟叶高温贮藏过程中,烟叶中的 TSNA 含量大量增加。在贮藏阶段,环境相对湿度为 60%,烟叶的相对含水率为 17%,烟叶表面相对湿度较小,微生物活性低,因此可以推断在这一阶段烟叶硝态氮含量和温度与 TSNA 含量的关系更为密切。王瑞云等^[21]的研究发现不同类型烟草贮藏过程中 TSNA 形成对高温的反应差异较大,硝态氮含量低的烤烟在高温处理后 TSNAs 增加不显著,而硝态氮含量高的白肋烟和晒烟增加幅度较大,因此认为可能与不同类型烟草硝态

氮含量有密切关系。本研究通过设置田间施氮量试验和在室内人工添加硝酸盐试验,并分别对硝酸盐含量和生物碱含量差异较大的叶片和主脉取样,直接证明了烟叶硝态氮含量对高温贮藏过程中 TSNA 的形成有重要影响,较高的硝态氮含量和高温互作可能是造成贮藏期间 TSNA 含量增高的主要原因。

TSNAs 主要是在烟叶中形成的,在卷烟燃烧过程中,烟叶中的 TSNAs 可直接传输到烟气中,而燃烧过程本身形成的 TSNAs 较少^[22],因此降低烟气中的 TSNAs 应主要从减少烟叶中 TSNAs 的形成和积累入手。烟气中焦油含量与 TSNA 含量无显著相关性,因而通过工业措施降低焦油后,TSNA 含量不一定同步下降,而通过农业措施降低烟叶中的 TSNA 含量有更大的可行性。根据本试验结果,控制和减少烟叶硝态氮积累对降低 TSNAs 有重要作用。硝态氮含量主要受氮肥种类及用量、土壤供肥特性、品种对氮素利用效率和利用模式等因素的综合影响,因此,采取积极措施,通过调整施肥量和肥料种类等方法降低烟叶硝态氮积累,减少亚硝化反应底物,是降低烟叶 TSNA 含量的一种重要途径。

4 结论

白肋烟硝态氮的积累随着施氮肥量的增加而增加,随着人工添加硝酸盐量的增加,烤烟烟叶硝态氮含量显著增加,白肋烟和烤烟均表现出叶脉中的硝态氮含量远高于叶片。3 项试验结果均表明,随着烟草硝态氮含量的增大,高温贮藏过程中 TSNA 形成增多,烟叶硝态氮含量与高温贮藏期间 TSNAs 的增加量呈显著正相关。

参考文献

[1] Hecht S S, Hoffmann D. Tobacco-specific nitrosamines, an important group of carcinogens in tobacco and tobacco smoke [J]. *Commentary, American Health Foundation*, 1988, 9(6):875-884.

[2] Boyland E, Roe F J C, Gorrod J W, et al. Induction of pulmonary tumors in mice by nitroso-nornicotine, a possible constituent of tobacco smoke [J]. *Nature*, 1964, 202 :1126.

[3] Burton H R, Dye N K, Bush L P. Relationship between tobacco-specific nitrosamines and nitrate from different air-cured tobacco varieties [J]. *Agric food Chem*, 1994, 42:2007-2011.

[4] 史宏志,张建勋.烟草生物碱[M].北京:中国农业出版社,2004:94.

[5] 杨焕文,李永忠,刘彦中,等.白肋烟晾制中亚硝胺及前

体物质的变化[J].西南农业大学学报,1999,21(5):444-448.

[6] 韩富根.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003:316.

[7] Burton H R, Childs G H Jr, Anderson R A, et al. Changes in chemical composition of burley tobacco during senescence and curing. 3. Tobacco-specific nitrosamines[J]. *Agric. Food Chem*, 1989, 37:426-430.

[8] Cui M. The source and the regulation of nitrogen oxide production for tobacco-specific nitrosamine formation during air-curing tobacco [D]. Ph.D. Dissertation, University of Kentucky, USA.1998.

[9] De Roton C, Wahlberg I, Wiernik A, et al. 白肋烟品种、调制环境、降烟碱转化和 TSNAs 积累[J]. *中国烟草学报*, 2004,10(4):50.

[10] Saito H, Miyazaki M, Miki J. Role of nitrogen oxides in tobacco-specific nitrosamine formation in burley tobacco [C]. 2006 CORESTA Congress, Paris, France.

[11] 史宏志,徐发华,杨兴有,等.不同产地和品种白肋烟烟草特有亚硝胺与前体物关系[J]. *中国烟草学报*, 2012,18(5):9-15.

[12] Burton H R, Bush L P, Djordjevic M V. Influence of temperature and humidity on the accumulation of tobacco-specific nitrosamines in stored burley tobacco [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1989, 37: 1372-1377.

[13] 李勇,吴名剑,练文柳,等.SPE-LC/MS/MS 快速测定卷烟丝中的烟草特有亚硝胺类化合物[J]. *分析实验室*, 2007,26(6):65-68.

[14] 彭丽丽,韩富根,解莹莹,等.氮用量对烤烟叶片 TSNAs 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.

[15] 汪安云,不同晾房对白肋烟特有亚硝胺含量影响研究[J]. *云南农业大学学报*, 2006,21(5):612-615.

[16] Bush L P, Cui M, Shi Hongzhi, et al. Formation of tobacco-specific nitrosamines in air-cured tobacco [C]. *Recent Advances in Tobacco Science*. 2001, Vol.55 . 55th TSRC conference, 2001, USA.

[17] 祝明亮,烟草调制期间微生物研究进展[J]. *微生物学通报*, 2008, 35(8):1278-1281.

[18] Bush L P, Hamilton J L, Davis D L. Chemical quality of burley tobacco modified by curing regime [J]. *Tob Chem Res Con*, 1979,33:10.

[19] Tso T C. Production, physiology, and biochemistry of tobacco plant [M]. *Ideals Inc: Beltsville, Maryland*, 1990:753.

[20] Wiernik A, Christakopoulos A, Johansson L, et al. Effect of air-curing on the chemical composition of tobacco [J]. *Rec Adv Tob Sci*, 1995, 21:39-80.

[21] 王瑞云,史宏志,周骏,等.烟草贮藏过程中 TSNAs 含量变化及对高温处理的响应[J]. *中国烟草学报*, 2014,20(1):48-53.

[22] Fischer S, Spiegelhalder B, Eisenbrand J, et al. Investigation on the origin of tobacco-specific nitrosamines in mainstream smoke of cigarettes[J]. *Carcinogenesis*, 1990,11(5):723-730.

Effect of nitrate nitrogen level in tobacco leaves on TSNA formation during high temperature storage

SUN Wenshu¹, WANG Jun¹, ZHOU Jun², MA Yanjun², BAI Ruoshi², YANG Huijuan¹, XU Dongya¹, JIAO Zheheng¹, SHI Hongzhi¹

¹ National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Tobacco Cultivation Key Laboratory of
China Tobacco, Zhengzhou 450002, China;

² Beijing Cigarette Factory, Beijing 100024, China

Abstract: Field experiment was conducted to determine the effect of nitrate nitrogen content on TSNA formation during high temperature storage. Different concentration of nitrate was applied in tobacco growing season. Leaf samples from lamina and midrib of both burley and flue-cured tobacco were collected. Lab experiment was conducted in a temperature-controlled chamber at 45°C and 10°C for 15d. Nitrate nitrogen and TSNA contents of all samples were determined. Results indicated that nitrate nitrogen content increased with the increment of nitrogen fertilizer. Content of nitrate nitrogen and TSNA had a low correlation in newly cured tobacco. However, after high temperature storage for 15d, the correlation significantly increased. Nitrate nitrogen content and TSNA increment during high temperature storage showed a significant positive correlation. Nitrate nitrogen content in midrib was much higher than that in lamina in both burley and flue-cured tobacco. After high temperature storage for 15d, TSNA increment in midrib was significantly higher than that in lamina. With the increase of nitrate applied to flue-cured tobacco leaves, nitrate nitrogen and TSNA content after high temperature storage increased significantly. These results indicated that nitrate nitrogen content was closely related to the formation of TSNA during high temperature storage. Therefore, reduction of leaf nitrate content through agronomic measures is effective in reducing TSNA formation during storage.

Keywords: tobacco; nitrate nitrogen; tobacco-specific nitrosamines; high temperature; storage

Citation: SUN Wenshu, WANG Jun, ZHOU Jun, et al. Effect of nitrate nitrogen level in tobacco leaves on TSNA formation during high temperature storage [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015,21 (2)

◇ 相关论文推荐

不同产地和品种白肋烟烟草特有亚硝胺与前体物关系

【作者】 史宏志；徐发华；杨兴有；王瑞云；褚瑞；毕庆文；孙军伟；邓大庆；赵田

【机构】 河南农业大学烟草学院 / 国家烟草栽培生理生化研究基地 / 烟草行业栽培重点实验室；云南省烟草公司大理州公司；四川省烟草公司达州市公司；湖北中烟工业有限责任公司；重庆万州市烟草公司

【摘要】 收集了我国 4 个白肋烟产区 33 份白肋烟晾制后上部叶样品，并以美国、马拉维样品为对照，测定了烟草特有亚硝胺 (TS-NA)、生物碱和硝酸盐含量，以揭示 TSNA 含量与前体物之间的关系。结果表明，四川达州和云南宾川白肋烟 TSNA 含量水平较低，分别与美国和马拉维相当，不同产区 NNN 和总 TSNA 含量差异较大，NNK、NAT 和 NAB 含量差异相对较小。烟碱转化导致降烟碱含量升高是造成国内一些产区 NNN 和总 TSNA 含量较高的主要原因，随着总 TSNA 含量的增加，NNN 所占比例增大。烟叶降烟碱含量、烟碱转化率与 NNN 和总 TSNA 含量呈极显著的正相关关系。NNK、NAT、NAB 含量与硝酸盐含量呈显著正相关，同一产区不同烟叶样品 NNK 含量与硝酸盐含量呈极显著的正相关。品种间比较可知，鄂烟 1 号和鄂烟 3 号烟碱转化率较高，是导致其 TS-NA 含量升高的主要原因。