

酶调节剂对烟草氮代谢及其化学成分的影响

李亚飞¹, 常 栋², 孙军伟³, 杨惠娟¹, 王 景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, 郑州 450002; 2.河南省烟草公司平顶山市公司, 河南 平顶山 467002; 3.云南省烟草公司大理州公司, 云南 大理 671000)

摘 要:为调控旺长期烟株氮代谢活动, 解决大理地区烟叶成熟度差的问题, 分别在旺长期和成熟期研究了不同酶调节剂对烟叶氮代谢关键酶活性及烟叶化学成分的影响。结果显示, 在旺长期喷施钼酸铵 7 d 后, 中部叶和上部叶 NR 活性分别提高了 6.56% 和 17.57%, GS 活性分别提高了 22.17% 和 15.24%, 蛋白质含量升高了 6.00% 和 5.02%, 氮代谢明显增强; 在成熟期对生长过旺烟株喷施钨酸钠和草丁膦 4 d 后, 烟叶氮代谢活动减弱, 上部叶 NR 活性分别下降了 8.55% 和 18.55%, GS 活性分别下降了 5.33% 和 11.58%, 烟叶总氮、烟碱和蛋白质含量均下降, 糖碱比增大, 对解决烟叶成熟度差和提高烟叶可用性有利。就调控烟叶氮代谢效果和烤后烟叶化学成分协调性而言, 以旺长期喷施钼酸铵和成熟期喷施草丁膦最佳。

关键词:烟草; 酶调节剂; 氮代谢; 化学成分

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119 (2017) 01-0029-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2017.01.005

Effect of Enzyme Modulators on Nitrogen Metabolism and Chemical Components in Tobacco

LI Yafei¹, CHANG Dong², SUN Junwei³, YANG Huijuan¹, WANG Jing¹, SHI Hongzhi^{1*}

(1. National Tobacco Cultivation and Physiology and Biochemistry Research Center/Key Laboratory for Tobacco Cultivation of Tobacco Industry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Pingdingshan Branch of Henan Province Tobacco Company, Pingdingshan, Henan 467002, China; 3. Dali Branch of Yunnan Provincial Tobacco Company, Dali, Yunnan 671000, China)

Abstract: The field experiments of spraying different enzyme modulators were carried out to enhance nitrogen metabolism during the fast growth stage with the purpose of solving the tobacco maturity problem in Dali area. To this end, activities of the key enzymes in nitrogen metabolism and chemical components of flue-cured tobacco were measured. The results showed that spraying ammonium molybdate could increase nitrogen metabolism and the basic materials in the formation of high quality tobacco. Seven days after spraying ammonium molybdate at the rapid growth stage, nitrate reductase (NR) activity, glutamine synthetase (GS) activity and protein content increased by 6.56%, 22.17%, 6.00% and 17.57%, 15.24%, 5.02% in middle and upper leaves, respectively. After spraying sodium tungstate and glufosinate at the maturity stage, nitrogen metabolism had been weakened with nitrate reductase (NR) activity and glutamine synthetase (GS) activity decreased by 8.55%, 18.55% and 5.33%, 11.58% in middle and upper leaves, respectively. Total nitrogen content, nicotine content, protein content decreased, while reducing sugar/nicotine ratio increased. The methods of spraying ammonium molybdate during the fast growth stage and spraying glufosinate during the mature period were effective in regulating nitrogen metabolism and chemical components of tobacco.

Keywords: tobacco; enzyme modulators; nitrogen metabolism; chemical components

硝酸还原酶 (NR) 是氮素还原利用限速酶, 谷氨酰胺合成酶是氮素同化利用关键酶, 它们活性大小对烟草氮代谢均有重要影响^[1]。钼是硝酸还原酶的重要组成成分, 对烟株氮代谢具有重要作用^[2-3]。

张继利等^[4]通过研究发现, 喷施钼肥有利于提高中上等烟比例和增加烟叶产质量。钨与钼属于同族元素, 存在竞争关系, 对 NR 活性具有抑制作用^[5]。杨荣等^[5]研究发现, 1.0 mmol/L 钨酸钠抑制油菜根系

基金项目: 云南省烟草公司科技项目“提升红大烟叶品质的深化技术研究及应用”(2013YN28); 烟草栽培重点实验室项目“烟草氮素高效吸收利用及氮代谢动态调控技术研究”(YCZP201601)

作者简介: 李亚飞(1985-), 在读博士研究生, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: scitech14@163.com。*通信作者, E-mail: shihongzhi88@163.com

收稿日期: 2016-06-27

修回日期: 2017-01-17

NR 活性效果最佳,会引起氮素吸收速率下降。草丁膦(PPT),又名草铵膦,在生产中可作为一种非选择性触杀除草剂^[6],作用原理是其能够使谷氨酰胺合成酶(GS)空间构型发生变化^[7],抑制其活性而降低氮代谢活动^[8-10]。许东亚^[11]通过研究不同草丁膦浓度对烟草成熟期氮代谢和烟叶质量的影响,得出以 10 mg/L 效果最佳,但未涉及其作用过程。

云南大理是烟叶生产的重要产区,普遍存在土壤黏性相对较重^[12],氮素供应滞后,且大田中后期气温偏低,易出现成熟度差,烟叶总氮、烟碱含量高和刺激性过强等问题^[13-16]。烟农片面追求产量,在烟田大量施用化肥,导致此类现象加剧。本试验通过在旺长期对正常生长烟株和在成熟期对生长过旺烟株分别喷施酶调节剂,研究对烟株氮代谢关键酶活性的影响过程以及对烟叶主要化学成分的影响,旨在解释不同酶调节剂对烟叶氮代谢活动和烟叶成熟落黄的调控作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2014 年 5—9 月在云南省大理州弥渡县红花大金元基地进行。供试品种:红花大金元。

旺长期试验在团棵后 10 d(移栽后 40 d)进行,对正常生长烟株喷施不同化学试剂,按照随机区组设计,共设置 4 个处理,分别为 0.5% 钼酸铵,质量分数; 0.4% 钨酸钠,质量分数; 有效成分: 10 mg/L 草丁膦,体积分数; 对照 CK,喷施清水。酶调节剂使用以均匀喷洒整株叶片和无滴水为准,75 L/666.7 m²。每个处理 200 株,3 次重复,每小区两侧各 1 行为保护行。试验田土壤类型为水稻土,无前作,试验前 2 年内无施用钼肥和草丁膦,土壤养分碱解氮 211.31 mg/kg,速效磷 33.81 mg/kg,速效钾 125.39 mg/kg,有机质 39.56 g/kg, pH 6.34。氮代谢酶活性测定时间:在喷施当天、喷后 2、7 和 14 d 分别取各处理上部叶(倒 4 叶位,有效叶数 18 片/株)和中部叶(倒 9 叶位,有效叶数 18 片/株)新鲜样品,用于烟叶 NR 活性、GS 活性和蛋白质含量测定。

成熟期试验在打顶后 10 d 进行。试验田选择在烟株长势整齐,中上部叶叶色浓绿,整株叶片未表现出成熟落黄迹象,且已在中心花开放时进行打顶的地块进行。试验处理和酶调节剂使用方法同上,每个处理 200 株,3 次重复。氮代谢酶活性测定时间:在喷施当天,喷后 4 d 和 10 d 取各处理倒 4 叶位(有效叶数 18 片/株)新鲜样品,用于烟叶 NR 活性、GS 活性和蛋白质含量测定。

钼酸铵和钨酸钠均为化学分析纯药品;草丁膦,浓度 200 mg/L,由德国拜尔作物科技公司生产,喷施时与 0.5% SilWet-77 表面活性剂配施。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 烟叶氮代谢 NR、GS 活性 烟叶 NR 活性采用活体法测定^[17]。烟叶 GS 活性采用 D'O'Neal^[18]等方法测定。

1.2.2 烟叶蛋白质含量 烟叶蛋白质含量采用考马斯亮蓝法^[17]测定。

1.2.3 烟叶化学成分测定 每个处理按照国标(GB2635—92)选取烤后烟叶 C3F 和 B2F 1 kg,在烘箱 45 °C 下烘干,磨碎后过 60 目筛子备用。总氮、总糖、还原糖、烟碱按照 YC/T159~162—2002 烟草及烟草制品化学成分连续流动法测定。所用仪器为德国 BRAN+LUEBBE 公司制造的 AA3 型流动分析仪。标准烟样由中国农业科学院烟草研究所提供。

1.2.4 数据分析 采用 Excel 和 Origin 9.0 软件制作图表,SPSS 20.0 软件进行方差分析。

2 结果

2.1 不同处理对烟叶 NR 活性的影响

喷施钼酸铵后,烟叶硝酸还原酶活性持续升高,而喷施钨酸钠和草丁膦,烟叶硝酸还原酶活性均下降(图 1、2)。在旺长期,喷施当天上部叶和中部叶硝酸还原酶活性分别为 101.22 和 120.68 μg/(g·h),喷施钼酸铵 2、7 和 14 d 后,上部叶分别升高了 3.20%、17.57% 和 19.30%,中部叶分别升高了 8.25%、6.56% 和 4.95%;喷施钨酸钠和草丁膦 2、7 和 14 d 后,上部叶分别下降了 18.11%、12.15%、39.29%、

30.01% 和 33.58%、31.79%，中部叶分别下降了 12.83%、9.98%、30.28%、19.01%和 31.18%、23.33%。在成熟期喷施钼酸铵 4 和 10 d 后，上部叶硝酸还原酶活性分别升高了 8.79%和 23.07%，而喷施钨酸钠和草丁膦 4 和 10 d 后，上部叶硝酸还原酶活性分别下降了 8.55%、18.53%和 15.56%、18.03%。

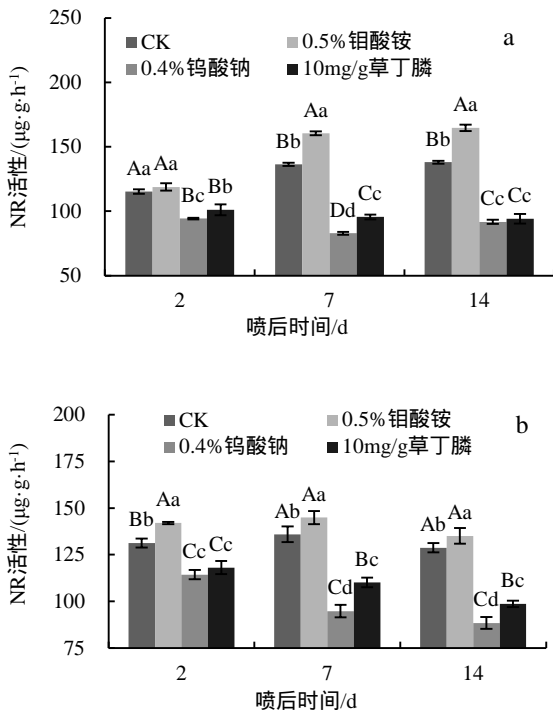


图 1 不同处理对烟叶 NR 活性的影响 (a 上部叶, b 中部叶, 旺长期喷施)

Fig. 1 Effects of different treatments on nitrogen reductase activities in tobacco(a: upper leaves, b: middle leaves, spraying in fast growing period)

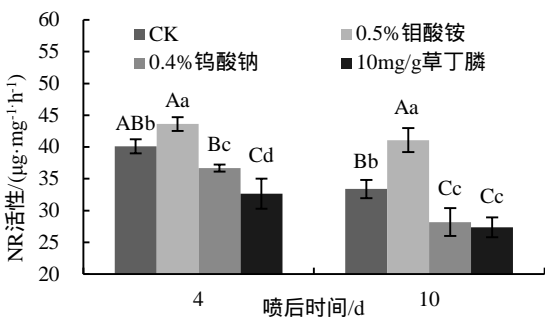


图 2 不同处理对烟叶 NR 活性的影响 (上部叶, 成熟期喷施)

Fig. 2 Effects of different treatments on nitrogen reductase activities of upper leaves(spraying in mature period)

2.2 不同处理对烟叶 GS 活性的影响

喷施钼酸铵后，叶片谷氨酰胺合成酶活性升高，而喷施钨酸钠和草丁膦后则出现下降变化，与硝酸还原酶活性变化规律一致 (图 3、4)。在旺长期喷施当天，上部叶和中部叶谷氨酰胺合成酶活性分别为 0.173 和 0.170 $\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{h})$ ；喷施钼酸铵 2、7 和 14 d 后，上部叶和中部叶分别升高了 6.26%、15.24%、12.51%和 14.10%、22.17%、20.48%；而喷施钨酸钠和草丁膦 2、7 和 14 d 后，上部叶分别下降了 6.39%、22.90%、17.68%、32.31%和 20.24%、37.67%，中部叶分别下降了 6.58%、13.76%、17.49%、27.88%和 25.67%、33.59%。在成熟期喷施当天，上部叶谷氨酰胺合成酶活性为 0.106 $\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{h})$ ；喷施钼酸铵 4 和 10 d 后，叶片谷氨酰胺合成酶活性分别升高了 19.28%和 32.79%；喷施钨酸钠和草丁膦 4 和 10 d 后，叶片谷氨酰胺合成酶活性分别下降了 5.33%、18.29%和 18.79%、27.51%，以草丁膦处理抑制作用最佳。

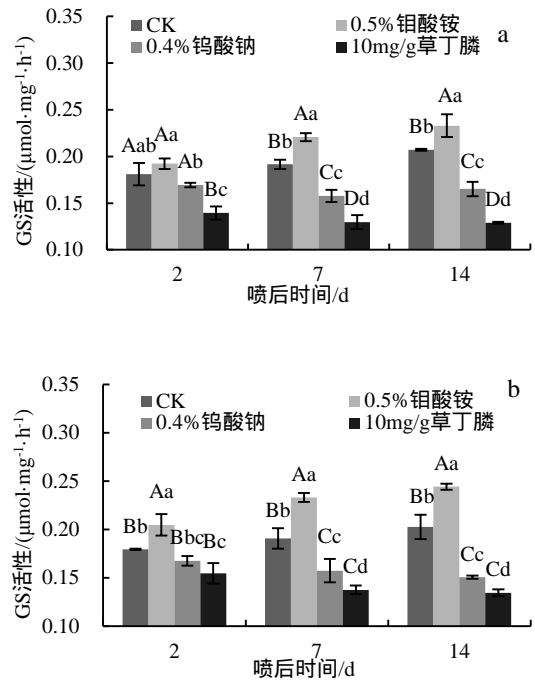


图 3 不同处理对烟叶 GS 活性的影响 (a 上部叶, b 中部叶, 旺长期喷施)

Fig. 3 Effects of different treatments on glutamine synthetase activities in tobacco(a: upper leaves, b: middle leaves, spraying in fast growing period)

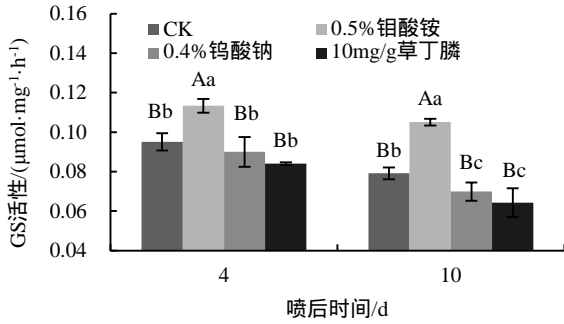


图4 不同处理对烟叶GS活性的影响(上部叶,成熟期喷施)

Fig. 4 Effects of different treatments on glutamine synthetase activities of upper leaves (spraying in mature period)

2.3 不同处理对烟叶蛋白质含量的影响

在旺长期喷施当天,上部叶和中部叶蛋白质含量分别为 209.31 和 188.53 mg/g;喷施钨酸铵后,叶片蛋白质含量升高(图5),而喷施钨酸钠和草丁膦 2、7 和 14 d 后,上部叶蛋白质含量分别下降了 2.43%、5.03%、7.25%、10.50%和 9.39%、11.44%,中部叶分别下降了 8.04%、8.98%、13.20%、16.34%和 15.82%、17.61%。在成熟期喷施当天,上部叶蛋白质含量为 145.07 mg/g;喷施钨酸铵后,叶片蛋白质含量有升高趋势(图6);喷施抑制剂钨酸钠和草丁膦 4 和 10 d 时,叶片蛋白质含量分别下降了 5.51%、9.99%和 10.74%、23.22%,以草丁膦处理抑制效果最佳。

2.4 不同处理烟叶物理特性比较

在成熟期,喷施钨酸铵、钨酸钠和草丁膦后,烟叶长度增加,长宽比增大,单叶重、叶质重和含梗率下降,但处理间差异多未达到显著或极显著水平(表1)。其中,不同处理间中部叶单叶重以钨酸钠和草丁膦处理最低,钨酸铵处理次之,对照最高,

差异达到显著性水平;不同处理间上部叶叶质重以草丁膦处理最低,达到显著性差异,钨酸铵和钨酸钠处理次之,对照处理最高。

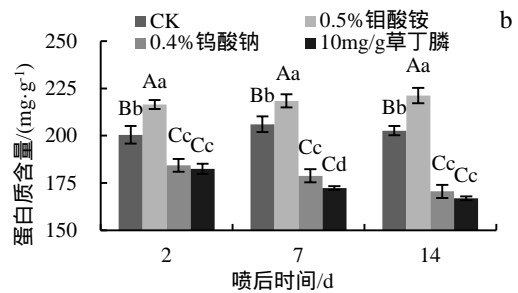
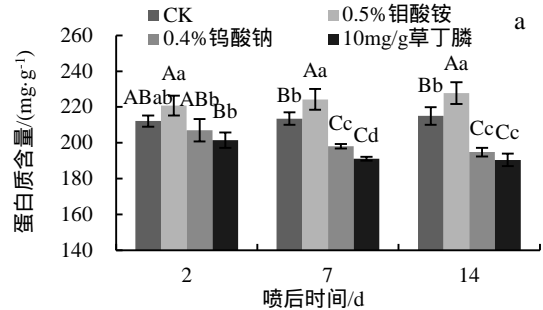


图5 不同处理对烟叶蛋白质含量的影响(a:上部叶,b:中部叶,旺长期喷施)

Fig. 5 Effects of different treatments on protein content in tobacco (a: upper leaves, b: middle leaves, spraying in fast growing period)

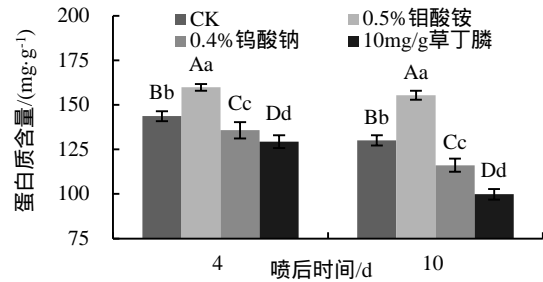


图6 不同处理对烟叶蛋白质含量的影响(上部叶,成熟期喷施)

Fig. 6 Effects of different treatments on protein content of upper leaves (spraying in mature period)

表1 不同处理烟叶物理特性比较(成熟期喷施)

Table 1 Comparison of physical properties of tobacco leaves of different treatments (spraying in mature period)

部位	处理	叶长/cm	叶宽/cm	长宽比	单叶重/g	叶质重/(g·m ⁻²)	含梗率/%
中部叶	0.5%钨酸铵	80.17Aa	34.83 Aa	2.31 Aa	19.87Aab	98.09 Aa	24.10Aa
	0.4%钨酸钠	78.67 Aa	32.83 Aa	2.40 Aa	16.92Ab	96.62 Aa	26.93 Aa
	10mg/L 草丁膦	77.83 Aa	30.50 Aa	2.57 Aa	17.78Ab	111.84 Aa	25.87 Aa
	CK	75.83 Aa	37.17 Aa	2.05 Aa	22.86Aa	117.33 Aa	26.27 Aa
上部叶	0.5%钨酸铵	74.90 Aa	28.70 Aa	2.63 Aa	18.79 Aa	120.42Aab	25.40 Aa
	0.4%钨酸钠	73.00 Aa	29.40 Aa	2.50 Aa	18.26 Aa	126.04Aa	27.90 Aa
	10mg/L 草丁膦	74.30 Aa	28.90 Aa	2.59 Aa	18.59 Aa	101.16Ab	27.32 Aa
	CK	69.30 Aa	28.10 Aa	2.40 Aa	19.49 Aa	133.33Aa	27.18 Aa

注:同列中相同部位不同大、小写字母表示差异达1%和5%显著水平,下同。

2.5 不同处理烟叶主要化学成分比较

由表 2 可知,不同处理烟叶含氮化合物含量存在不同,部分指标达到显著或极显著性差异。喷施钼酸铵后,烟叶总氮、烟碱和蛋白质含量有升高趋势,上部叶烟碱和蛋白质含量超出优质烟叶要求(烟碱 1.5%~3.5%,蛋白质 8%~10%)^[19];喷施钨酸钠和草丁膦后,烟叶总氮、烟碱和蛋白质均下降,含氮化合物含量以草丁膦处理最为适宜。

表 2 不同处理烟叶含氮化合物含量比较
Table 2 Comparison of different treatments on the nitric compounds

等级	处理	总氮/%	烟碱/%	蛋白质/%	氮碱比
B2F	0.5%钼酸铵	2.44Aa	3.93Aa	10.35Aa	0.62Aa
	0.4%钨酸钠	2.30ABb	3.85Bb	10.23Aa	0.60Aa
	10mg/L 草丁膦	2.25Bb	3.74Cc	9.84Bb	0.60Aa
	CK	2.43Aa	3.89ABab	10.20Aa	0.63Aa
C3F	0.5%钼酸铵	2.21Aa	3.19Aa	10.37Aa	0.69Bc
	0.4%钨酸钠	2.12Cc	2.87Bb	9.84Cc	0.74Aa
	10mg/L 草丁膦	2.07Dd	2.86Bb	9.64Dd	0.72Ab
	CK	2.18Bb	3.17Aa	9.99Bb	0.69Bc

由表 3 可知,不同处理烟叶碳水化合物含量存在不同,部分处理间差异达到显著或极显著水平。喷施钼酸铵后,上部叶烟叶总糖和还原糖含量增加,两糖比和糖碱比增大,但中部叶总糖和还原糖含量减少,糖碱比减小;喷施钨酸钠后,烟叶总糖和还原糖含量均下降,但两糖比增大;喷施草丁膦后,烟叶总糖和还原糖含量升高,糖碱比增大,化学成分协调性增强。

表 3 不同处理烟叶碳水化合物含量比较
Table 3 Comparison of different treatments on carbohydrate content in tobacco

等级	处理	总糖/%	还原糖/%	两糖比	糖碱比
B2F	0.5%钼酸铵	24.78Bb	19.59Bb	0.79Bb	5.11Bb
	0.4%钨酸钠	22.41Dd	18.26Dc	0.82Aa	4.88Cc
	10mg/L 草丁膦	27.30Aa	20.58Aa	0.75Dd	5.24Aa
	CK	23.77Cc	18.32Dc	0.77Cc	4.71Dd
C3F	0.5%钼酸铵	23.95Cc	19.52Cc	0.82Bb	6.12Cc
	0.4%钨酸钠	19.97Dd	18.15Dd	0.91Aa	6.33Bb
	10mg/L 草丁膦	26.97Aa	21.47Aa	0.80Cc	7.51Aa
	CK	24.56Bb	20.03Bb	0.82Bb	6.57Bb

3 讨 论

在旺长期,烟株干物质积累量占总量的 64%左右^[19],氮代谢旺盛有助于为优质烟叶形成提供丰富

的物质基础。在旺长期喷施钼酸铵,烟叶 NR 和 GS 活性提高,烟叶蛋白质含量增加,推测是由于喷施钼肥提高了 NR 活性,硝酸盐还原产物增多,能够为 GS/GOGAT 循环反应提供丰富的反应底物,进而促进 GS 酶活性,蛋白质含量升高,氮代谢增强,这对促进烟叶生长发育和干物质积累有利。

本试验中,钨酸钠对烟叶 NR 活性具有抑制作用,这与在水稻^[20]、小白菜^[21]、油菜^[5]和积^[22]等作物研究结果一致。在成熟期喷施钨酸钠,烟叶烟碱、蛋白质、总糖和还原糖均呈现下降,且糖碱比增大,对提高烟叶可用性有利。推测一方面是由于对成熟期生长过旺烟株喷施钨酸钠后,烟叶氮代谢减弱;另一方面钨酸钠又有抑制脱落酸形成的作用^[23],可能引起烟叶物质消耗和降解转化阶段延长所致,这有待进一步研究确定。

在生产中,草丁膦常作为除草剂使用,具有高效,残留少,对环境影响小的特点^[24]。本试验草丁膦使用量 10 mg/L (0.01 kg/hm²) 远低于生产上作为除草剂的用量(防除一年生杂草除草剂用量 0.40 kg/hm²,防除多年生杂草用量 1.00~2.00 kg/hm²^[12]),但对烟叶安全性评价有待研究。在喷施草丁膦后,烟叶 NR 和 GS 活性下降,推测是由于 GS 活性受到抑制后,引起 NH₄⁺积累^[9],再通过反馈调节降低 NR 活性;喷施草丁膦后,烟叶总氮、烟碱和蛋白质含量有所降低,总糖和还原糖含量升高,糖碱比增大,烟叶化学成分协调性增强,对提高烟叶品质有利。

4 结 论

旺长期喷施钼酸铵能够明显提高烟叶 NR 和 GS 活性,增强烟叶氮代谢,有利于优质烟叶形成;成熟期喷施草丁膦能够抑制 NR 和 GS 活性,烟叶总氮、烟碱和蛋白质含量下降,含碳化合物升高,对促进烟叶及时成熟落黄和改善其可用性有利。因此,在旺长期喷施钼酸铵和成熟期喷施草丁膦有利于解决成熟期烟叶成熟度差问题。

参考文献

- [1] WANG Y Y, HSU P K, TSAY Y F. Uptake, allocation and

- signaling of nitrate. *Cell*, 2012, 17(8): 458-467.
- [2] 邹邦基,何雪晖. 植物的营养[M]. 北京:农业出版社, 1985: 244-252.
- [3] 赵胜利,李章海,欧家林,等. 植物钼素营养研究及其在烟草上的应用[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(16): 31-35.
- [4] 张纪利. 施钼对烤烟叶片硝酸还原酶活性、硝态氮含量及产质的影响[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(1): 67-71.
- [5] 杨荣,邱伟红,王朝辉,等. 硝酸还原酶抑制剂钨酸钠对油菜硝态氮积累的影响[J]. 植物生理学报, 2012, 48(1): 51-56.
- [6] 李永光,黄文佳,周失,等. 大豆对草丁膦敏感性研究[J]. 大豆科学, 2011, 20(5): 749-751, 756.
- [7] 张宏军. 转基因水稻品系 99-1 对草铵膦抗性及其竞争性的评价[D]. 北京:中国农业大学, 2003.
- [8] 张宏军,倪汉文,周志强,等. 抗草铵膦转基因作物及其生物安全性研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(5): 54-56.
- [9] 张宏军,刘学,张佳,等. 草铵膦的作用机理及其应用[J]. 农药科学与管理, 2004(4): 23-27.
- [10] 赵天永,王国英,黄忠,等. 玉米愈伤组织对草丁膦的抗性及氨基酸的影响[J]. 植物学报, 1998, 40(11): 2-11.
- [11] 许东亚,孙军伟,杨惠娟,等. 酶抑制剂对烤烟成熟期氮代谢及烤后烟叶品质的影响[J]. 烟草科技, 2016, 49(3): 17-23.
- [12] 张晓海. 云南植烟土壤状况及深耕技术[J]. 内蒙古农业科技, 2010(5): 98-100.
- [13] 费丽娜. 云南省烟草种植区划适宜性评价研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2007.
- [14] 朱光新. 云南昭通市植烟土壤环境质量及其对烟叶化学品质的影响研究[D]. 重庆:西南大学, 2013.
- [15] 顾少龙,史宏志,苏菲. 成熟期氮素调亏对烟叶质体色素降解和中性香气物质含量的影响[J]. 华北农学报, 2012(5): 207-212.
- [16] 宗浩. 云南大理特色优质烤烟品质差异化及区划研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.
- [17] 邹琦. 植物生理实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2002: 56-59.
- [18] O'NEAL D, JOY K W. Glutamine synthetase of pea leaves[J]. *Plant Physiol*, 1974, 54: 773-779.
- [19] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003: 4.
- [20] 司江英,汪晓丽,陈平,等. 硝酸还原酶抑制剂和 NH_4^+ 对不同基因型水稻苗期 NO_3^- 吸收的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 25(1): 59-62.
- [21] 梁亮,陈洁,苏小俊,等. 根系硝酸还原酶对小白菜硝酸盐吸收和代谢的影响[J]. 江苏农业科学, 2008, (3): 153-155.
- [22] 孙敏红,谢深喜,卢晓鹏,等. 钨酸钠处理对枳幼苗生长及植株硝态氮含量的影响[J]. 经济林研究, 2013, 31(4): 115-120.
- [23] 郭栋梁,王静杰,万小荣,等. 外源脱落酸抑制花生种子发芽的生理机制[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(5): 936-938.
- [24] 刘洪艳,弭晓菊,崔继哲. Bar 基因、PAT 蛋白和草丁膦的特性与安全性[J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 938-942.