

钨酸钠对成熟期烤烟氮代谢、氧化胁迫和烟碱含量的影响

牛桂言¹, 邵惠芳^{1*}, 孙 双¹, 王晓丽², 曹丽君², 韩 丹¹, 黄五星¹, 许自成¹

(1. 河南农业大学烟草学院, 河南 郑州 450002;

2. 湖北省烟草公司襄阳市公司, 湖北 襄阳 441000)

摘 要:为解决烟叶后期贪青晚熟所造成的问题,本研究以 K326 为研究对象,针对生长过旺的烟株喷施不同浓度的钨酸钠,研究了其对烟叶根系活力、氮代谢、抗氧化系统及烟碱含量的影响。结果表明:喷施钨酸钠不同程度地减弱了烟株的根系活力、硝酸还原酶(NR)活性、谷氨酰胺合成酶(GS)活性、丙二醛(MDA)含量,并与钨酸钠浓度呈显著负相关;增加了超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等抗氧化酶活性,与钨酸钠的浓度呈显著正相关;同时降低了烟碱的含量。综合来看,以喷施 1.0 mmol/L 的钨酸钠能够有效抑制烟叶的氮代谢,促进烟叶成熟落黄,提高烟叶抗氧化胁迫的能力,同时降低烟叶烟碱含量。

关键词:钨酸钠;烤烟;氮代谢;氧化胁迫;烟碱

中图分类号:S572; S482.8

文献标识码:A

文章编号:1673-6257(2018)04-0093-06

打顶是烟叶生产过程中必不可少的栽培措施,但是对于烟株来说打顶属于一种机械损伤。它会使烟株形成氧化胁迫^[1],改变烟株的碳氮代谢^[2],并进一步诱导烟碱的合成^[3]。烟碱是烟叶的一种重要的化学成分,同时也与卷烟制品的吸味和刺激性密切相关。烟碱过高或过低,均不利于烟叶优良品质的形成^[4]。由于烟田管理不当,以及打顶后烟株产生一系列生理变化及氮素的持续供应等原因,常导致烟叶后期贪青晚熟,烟叶烟碱含量过高,烟叶品质下降。

钨酸钠(Na_2WO_4)常被作为硝酸还原酶(NR)的抑制剂,主要是由于钨原子(W)的性质与 NR 的重要组成成分钼原子类似,而作用相反,因此可以取代 NR 复合体中的钼,从而达到抑制 NR 活性的作用^[5-6]。目前以钨酸钠作为 NR 抑制剂的研究主要集中在其对叶类蔬菜,如小白菜、油菜等 NR 活性的调控以及对硝态氮含量的影响方面。其中杨荣等^[7]的研究发现, Na_2WO_4 抑制两个供试油菜品种根系 NR 活性的最佳浓度为 1.0 mmol/L,同时影响根系对氮素的吸收速率。司江英等^[8]的研究发

现,0.8 mmol/L 的 Na_2WO_4 处理能够降低小白菜的 NR 活性以及净光合速率。同时周碧燕等^[9]的研究发现,在低温条件下喷施适量浓度的钨酸钠能够提高茶树叶片中渗透调节物质的含量和抗氧化酶活性。目前关于钨酸钠对打顶后烤烟形成的氧化胁迫、氮代谢以及对烟碱的调控尚未报道。

湖北南漳烟区烟叶生长后期温度较低,降雨较多,土壤氮素后期持续供应,导致烟叶成熟度较差,贪青晚熟,烟碱含量过高,不利于烟叶优良品质的形成,降低工业可用性。因此,本试验通过对生长过旺的烟叶喷施不同浓度的 Na_2WO_4 ,研究其对打顶后烟株氮代谢、氧化胁迫及烟碱含量的影响,以期为解决后期烟叶贪青晚熟、提高烟叶品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2016 年 5~9 月于湖北省襄阳市南漳县薛坪镇进行。南漳位于湖北西北部,试验地薛坪镇海拔 700 m 左右,供试品种为当地主栽品种 K326。供试土壤为黄壤土,基础土壤养分状况为:有机质 43.57 g/kg,碱解氮 161.53 mg/kg,有效磷 29.95 mg/kg,速效钾 282.00 mg/kg, pH 值 7.34。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理,钨酸钠喷施浓度分别为 0、

收稿日期:2017-05-20;最后修订日期:2017-07-29

基金项目:湖北省烟草公司重点科技攻关项目(027Y2016-007)。

作者简介:牛桂言(1992-),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为烟草栽培、品质生态与质量评价。E-mail:18224515335@163.com。

通讯作者:邵惠芳, E-mail: shf_email@163.com。

0.5、1.0、1.5 mmol/L，分别用CK、T1、T2、T3表示。各处理均于烟株打顶当天16:00以后进行整株叶面喷施，叶背、叶面均匀喷施，每个处理100株。在打顶当天及以后每隔10 d进行农艺性状的测定，在打顶当天、打顶后1 d及做喷施处理后每隔10 d进行烟叶样品的采集，共取5次，用以对烟叶进行生理各项指标的测定。烟苗于当地5月10日采取井窖式方式进行移栽，株距55 cm，行距110 cm，7月21日打顶，单株留叶数在20~22片左右。试验地田间管理按当地优质烟叶生产管理进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 烟株根系活力的测定

烟株根系活力采用TTC方法测定^[10]。

1.3.2 烟叶氮代谢关键酶活性的测定

选取具有代表性的烟株，对中部叶（10~12叶位）进行鲜样的采集。剪取距离叶尖1/3处两支脉之间鲜烟片，将每个处理烟样混合均匀后用铝箔纸和纱布裹好，迅速置于液氮中保存，带回实验室进行酶活的测定。硝酸还原酶（NR）采取活体法进行测定^[11]，谷氨酰胺合成酶（GS）采用分光光度法测定^[12]。

1.3.3 烟叶抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定

取样方法与氮代谢酶相同。超氧化物歧化酶（SOD）活性采用氮蓝四唑还原法测定^[13]，过氧化物酶（POD）活性采用愈创木酚法测定^[13]。丙二醛（MDA）的含量采用硫代巴比妥酸法测定^[13]。

1.3.4 烤后烟叶烟碱的测定

每个处理选取烤后烟叶C3F和B2F等级各1

kg，粉碎后过0.25 mm筛。烟碱含量采用比色法测定^[14]。

1.4 数据处理

采用Excel 2016进行图、表的制作，运用SPSS 21.0进行方差分析和多重比较。采用模糊数学隶属函数法对不同浓度钨酸钠处理对烟叶的调控效果进行综合评价。当指标与调控效果呈正相关时，隶属函数的计算公式为： $R(X_i) = (X_i - X_{i_{min}}) / (X_{i_{max}} - X_{i_{min}})$ ；当指标与调控效果呈负相关时，隶属函数的计算公式为： $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{i_{min}}) / (X_{i_{max}} - X_{i_{min}})$ 。i=1, 2, ..., n。公式中 X_i 为i处理某指标测定值， $X_{i_{min}}$ 为该指标所有处理的最小值； $X_{i_{max}}$ 为该指标所有处理的最大值。最后将每处理组所有指标的调控效果的隶属函数值进行累加，求其平均数，值越大代表调控效果越好。

2 结果与分析

2.1 不同浓度钨酸钠处理对烟株根系活力的影响

在打顶后的3个时期，不同浓度钨酸钠处理的烟株根系活力均低于对照处理，同一时期随着钨酸钠浓度的增加其对根系的抑制作用逐渐增强（表1）。打顶当天，与对照相比，不同浓度钨酸钠处理的烟株根系活力间无显著差异；打顶后10 d，T2和T3处理较对照显著降低，分别降低了21.83%和24.82%；打顶后20 d，T1、T2和T3处理较对照显著降低，分别较对照降低16.90%、36.00%和41.57%；打顶后30 d，T2和T3处理较对照显著降低，分别为对照的69.66%和65.25%。

表1 不同浓度钨酸钠处理对烟株根系活力的影响 [μg/(g·h)]

处理	根系活力			
	打顶当天	打顶后10 d	打顶后20 d	打顶后30 d
CK	120.29 ± 17.67a	146.68 ± 15.50a	157.63 ± 33.93a	131.65 ± 21.21a
T1	122.12 ± 24.22a	140.46 ± 14.63a	130.99 ± 11.01b	119.59 ± 13.91a
T2	119.22 ± 13.39a	114.66 ± 10.67b	100.88 ± 12.91c	91.71 ± 9.65b
T3	123.24 ± 14.08a	110.27 ± 12.23b	92.10 ± 17.69c	85.91 ± 8.74b

注：表中不同小写字母表示处理间差异达到0.05%显著水平。下同。

2.2 不同浓度钨酸钠处理对烟叶氮代谢关键酶活性的影响

2.2.1 不同浓度钨酸钠处理对烟叶NR活性的影响

随着打顶时间的推移，NR活性的整体变化规律表现为先增高后降低，与对照相比，同一时期随

着钨酸钠浓度的增加NR活性显著下降（表2）。打顶当天各处理间无显著差异；打顶后10 d各处理NR活性达到最大值，其中T2和T3处理显著低于对照，较对照分别降低11.34%、17.47%；打顶后20 d，处理T1、T2、T3较对照显著降低，分别为对

表 2 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 NR 活性的影响 [μg/(g FW·h)]

处理	NR 活性			
	打顶当天	打顶后 10 d	打顶后 20 d	打顶后 30 d
CK	6.81 ± 0.29a	9.79 ± 0.46a	6.54 ± 0.68a	4.32 ± 0.55a
T1	7.01 ± 0.36a	9.45 ± 0.58ab	5.41 ± 0.27b	3.95 ± 0.59a
T2	6.98 ± 0.51a	8.68 ± 0.31bc	4.81 ± 0.69bc	3.05 ± 0.23b
T3	7.16 ± 0.36a	8.08 ± 0.34c	4.19 ± 0.50c	2.16 ± 0.37c

照的 82.72%、73.55%、64.07%，且此时期 NR 活性较上一时期的降低幅度最大，降幅依次表现为 T3(48.14%) > T2(44.59%) > T1(42.75%) > CK(33.20%)；打顶后 30 d，各处理 NR 活性降为最小值，T2、T3 处理显著低于对照，分别较对照降低了 29.40%、50.00%。

2.2.2 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 GS 活性的影响
随着打顶时间的推移，GS 活性的变化规律与 NR 活性的变化规律表现基本一致，同一时期，当钨酸钠浓度为 0.5 ~ 1.0 mmol/L 时，GS 活性随着

钨酸钠浓度的增高而显著降低，当浓度增加为 1.5 mmol/L 时，GS 活性的降低效果不显著（表 3）。其中，打顶当天各处理间差异不显著；打顶后 10 d，各处理 GS 活性达到最大值，其中处理 T2、T3 较对照显著降低，分别为对照的 69.05%、67.91%；打顶后 20 d，与对照相比，处理 T2 和 T3 显著降低，分别较对照降低了 28.62%、34.07%；打顶后 30 d 各处理的 GS 活性均降低到最小值，其中处理 T2 和 T3 较对照显著降低，分别较对照降低了 39.02%、34.14%。

表 3 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 GS 活性的影响 [A/(mg Protein·h)]

处理	GS 活性			
	打顶当天	打顶后 10 d	打顶后 20 d	打顶后 30 d
CK	0.43 ± 0.02a	0.67 ± 0.06a	0.51 ± 0.05a	0.41 ± 0.09a
T1	0.44 ± 0.02a	0.55 ± 0.08ab	0.45 ± 0.03ab	0.34 ± 0.06ab
T2	0.41 ± 0.04a	0.46 ± 0.06b	0.36 ± 0.04bc	0.25 ± 0.04b
T3	0.42 ± 0.03a	0.45 ± 0.07b	0.34 ± 0.06c	0.27 ± 0.05b

2.3 不同浓度钨酸钠处理对烟叶抗氧化系统的影响

2.3.1 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 SOD 活性的影响
打顶后 1 d 烟叶 SOD 的活性明显增加，打顶后 10~30 d，各处理 SOD 活性变化规律不尽一致。处理 CK、T1、T3 在打顶后 1 d 达到最大值，处理 T2 在打顶后 20 d 达到最大值（图 1）。其中，打顶当天各处理间无显著差异；打顶后 1 d SOD 活性的增幅较大，以处理 T2 显著增加，增长幅度达到 49.32%。在打顶后 1 d 到打顶后 10 d 这一时间段，SOD 活性相对较稳定，处理 T2 的 SOD 活性稍有升高，其他处理则稍有下降。打顶后 1、10、20 d，与对照相比，均以处理 T2 显著高于对照，分别较对照增加了 13.60%、32.69%、37.50%；打顶后 30 d 各处理 SOD 活性均下降，处理 T2 显著下降，降幅为 35.83%。

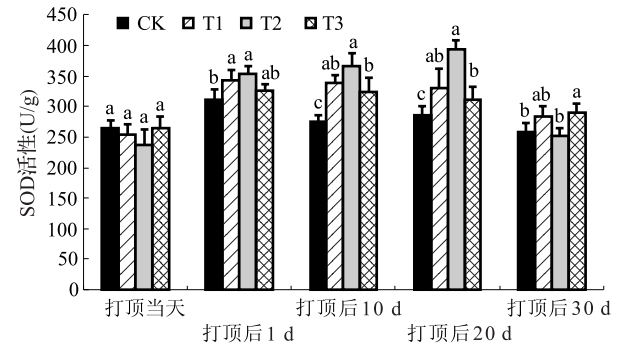


图 1 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 SOD 活性的影响

2.3.2 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 POD 活性的影响

随着打顶时间的推移，烟叶 POD 活性表现为先升高后降低的变化趋势（图 2）。打顶当天，各处理间未达到显著差异；打顶后 1 d，各处理的

POD 活性均达到最大值, 处理 T2 增加较多, 增幅达到 19.68%; 打顶后 10 d, 处理 T2 较对照显著增加, 较对照增加了 34.21%; 打顶后 20 d, 处理 T1、T2、T3 较对照显著增加, 分别较对照增加了 20.29%、27.25%、17.39%。在打顶后 30 d POD 活性降低到最小值, 各处理间未达到显著差异, 此时期各处理的降幅具体表现为 T2 (31.30%) > T1 (31.19%) > T3 (30.39%) > CK (14.85%)。

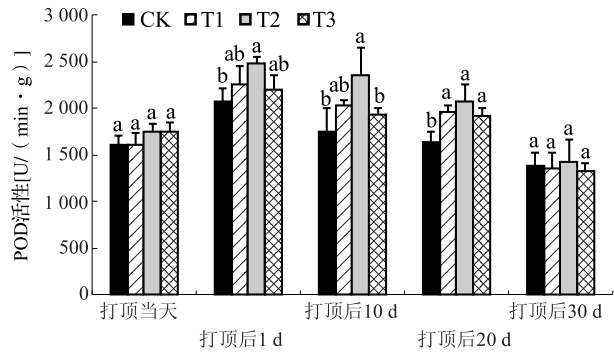


图2 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 POD 活性的影响

2.3.3 不同浓度钨酸钠处理对 MDA 含量的影响

随着打顶时间的推移, MDA 含量呈一直增加的趋势 (图3)。打顶后 1 d, 处理 T1 与对照相比显著降低, 较对照降低了 17.11%; 打顶后 10~20 d, MDA 含量均以处理 T2 最低, 与对照相比差异显著, 较对照分别降低了 26.59%、26.85%, 且这两个时期 MDA 含量差异较小, 变化幅度不超过 5%; 打顶后 30 d MDA 含量达到最大值, 比打顶当天增加了将近 1 倍, 与对照相比, 处理 T3 的 MDA 显著降低, 较对照降低了 13.40%。

2.4 不同浓度钨酸钠处理对不同部位烟碱含量的影响

喷施不同浓度的钨酸钠的上、中部位烟叶的烟碱含量均低于对照, 且钨酸钠的浓度越高烟碱含量越低 (图4)。与对照相比, 不同浓度的钨酸钠处

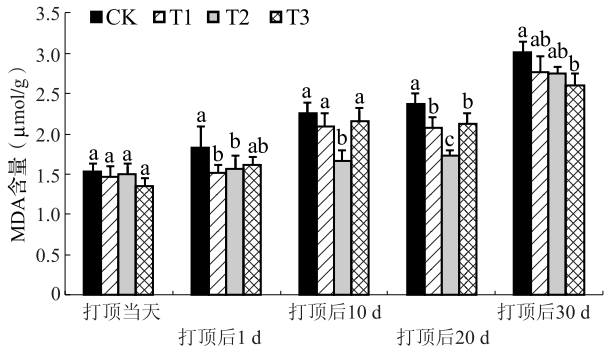


图3 不同浓度钨酸钠处理对烟叶 MDA 含量的影响

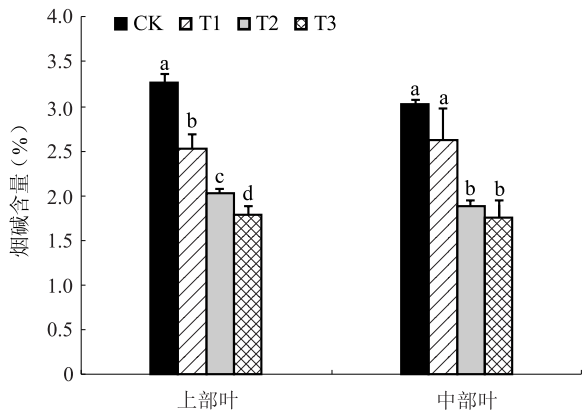


图4 不同浓度钨酸钠处理烤后不同部位烟叶烟碱含量

理的上部叶烟碱含量均显著低于对照, 分别是对照的 77.06%、61.77%、54.43%。同时, 与对照相比, 中部叶烟碱含量以处理 T2、T3 显著低于对照, 较对照分别降低了 37.62%、41.91%。

2.5 不同浓度钨酸钠处理对烟叶各项指标的综合评价

采用模糊隶属法对喷施不同浓度的钨酸钠的烟叶各项指标的变化进行综合性评价, 计算各指标其隶属函数值, 然后求各处理平均隶属函数值, 其平均隶属函数值越大, 代表其调控效果越好。不同处理对烤烟成熟期各项指标调控效果最好的是 T2 处理, 具体表现为 T2 > T3 > T1 > CK (表4)。

表4 不同浓度钨酸钠处理对烟叶各项指标的综合评价

指标	处理			
	CK	T1	T2	T3
根系活力	0.028 6	0.249 6	0.694 2	0.770 8
NR	0.383 4	0.437 1	0.512 5	0.575 7
GS	0.395 9	0.543 2	0.717 5	0.724 4
SOD	0.271 1	0.464 9	0.532 3	0.425 7
POD	0.310 2	0.437 9	0.592 8	0.427 3
MDA	0.486 1	0.616 1	0.702 7	0.623 6
烟碱	0.079 5	0.460 3	0.870 9	0.993 4
平均隶属函数值	0.279 2	0.458 4	0.660 4	0.648 7

3 讨论与结论

烟株的前期生长主要以氮代谢为主,这有助于烟株的生长发育和干物质的积累,打顶后烟株碳氮代谢发生转变,有利于烟叶生长后期的成熟和品质的形成^[15]。NR 和 GS 是烟株氮代谢的关键酶,它们的大小在一定程度上是氮代谢强弱的直接反映^[16-17]。本试验结果表明,喷施 Na_2WO_4 能够显著减弱 NR 的活性,这与黄海涛等^[18]、杨荣等^[7]的研究结果一致。同时 Na_2WO_4 减弱了打顶后生长过旺烟株的根系活力,这与周万海等^[19]在研究钨酸钠对苜蓿根系生长的结果一致。说明 Na_2WO_4 能在一定程度上抑制烟株的氮代谢和根系活力,有利于减缓打顶后生长过旺的烟株对氮素的持续利用,防止烟株过分的贪青晚熟。

在烟草打顶以后会使烟株产生氧化胁迫,其体内会产生防御反应,来阻止氧化胁迫对自身细胞的毒害。目前已经利用转基因的方法,来减少氧化胁迫的危害^[20-21]。通常情况下,植株遭受氧化胁迫时,主要通过对抗氧化酶系统的调控来应对,对黄瓜^[22]、辣椒^[23]、黑麦草^[24]等多种作物的研究均发现,提高抗氧化酶活性,有利于减少活性氧的生成。SOD、POD 是活性氧清除系统中重要的抗氧化酶。SOD 主要作用是催化超氧阴离子自由基,使其发生歧化反应,分解为过氧化氢和氧气,POD 主要是通过催化过氧化氢与底物发生反应,起到清除过氧化氢的作用,从而减少对细胞的毒害作用^[25-26]。但也有研究表明,POD 的功能具有两面性,它参与活性氧的产生,并能引发膜脂过氧化^[27-28]。MDA 是膜脂过氧化的产物,其含量多少在一定程度上代表着膜脂质过氧化水平,同时还与烟叶的衰老程度相关^[27]。本研究结果表明,打顶后喷施 Na_2WO_4 烟株的 SOD、POD 的活性均表现为先升高后下降。除打顶后 30 d, Na_2WO_4 处理烟株的 SOD 和 POD 活性均显著高于对照,以 T2、T3 处理较高,这有利于对打顶后烟株活性氧的清除。在打顶后 30 d 时两种酶活性降低且各处理差异不显著,可能是由于此时烟叶已经接近成熟。MDA 含量一直升高,钨酸钠处理烟株的 MDA 含量均低于对照,以处理 T2 较对照显著降低。MDA 含量后期增幅较小,这可能是与此时期抗氧化酶活性的升高有关。说明喷施 Na_2WO_4 可以提高抗氧化酶的活性,降低 MDA 含量,对缓解打顶后烟株的氧化胁迫具有重要作用。

烟株打顶可以诱导烟碱合成,主要是氧化胁迫后生成的茉莉酸刺激了烟碱合成酶的活性,导致烟叶的烟碱含量增多^[29-30]。本试验结果发现, Na_2WO_4 浓度越高降低烟碱能力越强,上部叶和中部叶均以 T3 处理最好, T2 次之。烟碱含量的降低,除了与打顶后抗氧化酶活性有关^[31-32],也可能与钨酸钠减弱烟株的氮代谢和根系活力相关^[33]。

本试验结果表明,对打顶后生长过旺的烟株喷施 Na_2WO_4 ,能够提高烟叶抗氧化酶的活性,减弱打顶后烟株的氮代谢、根系活力、MDA 和烟碱含量。同时通过对各项指标的综合评价发现喷施 1.0 mmol/L 的钨酸钠的效果最佳,但是关于钨酸钠对影响烟株烟碱合成的机理有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] Guan L M, Scandalios J G. Hydrogen - peroxide - mediated catalase gene expression in response to wounding [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2000, 28 (8): 1182 - 1190.
- [2] 王林, 许自成, 朱金峰. 烤烟打顶后喷施外源激素对中部烟叶品质的互作效应 [J]. 核农学报, 2016, 12 (30): 2411 - 2417.
- [3] Steppuhn A, Gase K, Krock B, et al. Nicotine's defensive function in nature [J]. Plos Biology, 2012, 2 (8): 1074 - 1080.
- [4] 刘俊辉, 杨伟平, 张启东, 等. 烟草生物碱: 口腔特性及在电子烟烟气中的感官响应 [J]. 烟草科技, 2016, 49 (12): 35 - 39.
- [5] Yu M, Hu C X, Sun X C, et al. Influences of Mo on nitrate reductase, glutamine synthetase and nitrogen accumulation and utilization in Mo - efficient and Mo - inefficient winter wheat cultivars [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2010, 9 (3): 355 - 361.
- [6] Moura J J G, Brondino C D, Trincão J, et al. Mo and W bis - MGD enzymes: nitrate reductases and formate dehydrogenases [J]. JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry, 2004, 9 (7): 791 - 799.
- [7] 杨荣, 邱炜红, 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.
- [8] 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.
- [9] 周碧燕, 郭振飞. ABA 及其合成抑制剂对柱花草抗冷性及抗氧化酶活性的影响 [J]. 2005, 14 (6): 94 - 99.
- [10] 鲁黎明. 烟草科学研究与方法论 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [11] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.

- [12] 连培康, 许自成, 孟黎明, 等. 贵州乌蒙烟区不同海拔烤烟碳氮代谢的差异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (1): 143–150.
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 殷全玉, 杨铁钊, 郭宝银, 等. 紫外分光光度法测定烟草中的游离烟碱 [J]. 中国烟草科学, 2008, 29 (6): 20–22.
- [15] 黄树永, 陈良存. 烟草碳氮代谢研究进展 [J]. 河南农业科学, 2005, 34 (4): 8–11.
- [16] 王红丽, 杨惠娟, 苏菲, 等. 氮用量对烤烟成熟期叶片碳氮代谢及蒽类代谢相关基因表达的影响 [J]. 中国烟草学报, 2014, 20 (5): 116–120.
- [17] Greef J M. Productivity of maize (*Zea mays* L.) in relation to morphological and physiological characteristics under varying amounts of nitrogen supply [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1994, 172, (5): 317–326.
- [18] 黄海涛, 荣湘民, 宋海星, 等. 外源硝酸还原酶 (NR) 抑制剂对油菜植株内 NR 活性的影响及其与硝酸盐含量的关系 [J]. 作物学报, 2013, 39 (9): 1668–1673.
- [19] 周万海, 冯瑞章, 师尚礼, 等. NO 对盐胁迫下苜蓿根系生长抑制及氧化损伤的缓解效应 [J]. 生态学报, 2015, (11): 3606–3614.
- [20] Lee Y P, Kim S H, Bang J W, et al. Enhanced tolerance to oxidative stress in transgenic tobacco plants expressing three antioxidant enzymes in chloroplasts [J]. Plant Cell Reports, 2007, 26 (5): 591–598.
- [21] Blaszczyk A, Brodzik R, Sirko A. Increased resistance to oxidative stress in transgenic tobacco plants overexpressing bacterial serine acetyltransferase [J]. Plant Journal, 1999, 20 (2): 237–243.
- [22] Amini F, Askary M, Haghir M, et al. Changes in antioxidant system and oxidative stress under water stress in four cucumber cultivars [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 2017, 22 (1): 1–6.
- [23] 尚庆茂, 陈淑芳, 张志刚. 硒对高温胁迫下辣椒叶片抗氧化酶活性的调节作用 [J]. 园艺学报, 2005, 32 (1): 35–38.
- [24] 张远兵, 刘爱荣, 方蓉. 外源一氧化氮对镉胁迫下黑麦草生长和抗氧化酶活性的影响 [J]. 草业学报, 2008, 17 (4): 57–64.
- [25] Bowler C, Montagu M V, Lnze D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. Annual Review of Plant Biology, 1992, 43 (1): 83–116.
- [26] 张智猛, 宋文武, 丁红, 等. 不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应 [J]. 生态学报, 2013, 33 (14): 4257–4265.
- [27] 郭传滨. 外源物质对烤烟成熟期黑暴促黄效果的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [28] 邵惠芳, 陈征, 许嘉阳, 等. 两种烟草幼苗叶片对不同强度干旱胁迫的生理响应比较 [J]. 植物生理学报, 2016, (12): 1861–1871.
- [29] Shoji T, Yamada Y, Hashimoto T. Jasmonate induction of putrescine N-methyltransferase genes in the root of *Nicotiana sylvestris* [J]. Plant & Cell Physiology, 2000, 41 (7): 831–839.
- [30] 王威威, 席飞虎, 杨少峰, 等. 烟草烟碱合成代谢调控研究进展 [J]. 亚热带农业研究, 2016, 1 (12): 62–67.
- [31] 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.
- [32] 张新华, 姚忠达, 陈常伟, 等. 打顶及仿生信号分子对烟草氧化胁迫的影响 [J]. 烟草科技, 2011, (12): 61–64, 68.
- [33] 刘华山, 孟凡庭, 韩锦峰, 等. 2, 4-D 对烤烟烟碱和钾含量的影响 [J]. 中国烟草科学, 2007, (5): 15–18.

Effects of Na_2WO_4 on nitrogen metabolism, oxidative stress and nicotine content in cured tobacco leaves at maturity stage

NIU Gui-yan¹, SHAO Hui-fang^{1*}, SUN Shuang¹, WANG Xiao-li², CAO Li-jun², HAN Dan¹, HUANG Wu-xing¹, XU Zi-cheng¹ (1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450002; 2 Xiangyang Branch of Hubei Provincial Tobacco Company, Xiangyang Hubei 441000)

Abstract: In order to solve the problem caused by the late maturing tobacco, the effects of different concentrations of Na_2WO_4 sprayed in overgrown tobacco plants on the tobacco root activity, nitrogen metabolism, antioxidant system, nicotine content were studied using K326 as the research object. The results indicated that the root activity, nitrate reductase (NR) activity, glutamine synthetase (GS), malondialdehyde (MDA) content were negatively correlated with the concentration of Na_2WO_4 . The activities of invertase (Inv), SOD, and POD were increased, which were positively correlated with the concentration of Na_2WO_4 . At the same time, the content of nicotine was decreased. In general, spraying 1.0 mmol/L of Na_2WO_4 could effectively inhibit the nitrogen metabolism of tobacco leaves, and promote tobacco leaf turning yellow, improve the ability of tobacco resistance to oxidative stress, and reduce the nicotine content of tobacco leaves.

Key words: Na_2WO_4 ; flue-cured tobacco; nitrogen metabolism; oxidative stress; nicotine