

砷对烤烟叶片水分代谢的影响

常思敏¹,贾东坡²,马新明¹,刘国顺¹

(1 河南农业大学 农学院,河南 郑州 450002;2 河南农业职业学院,河南 中牟 451450)

[摘 要] 为了探讨砷毒害与烤烟水分代谢的关系,采用盆栽试验研究了砷对烤烟叶片水分代谢的影响。结果表明,砷使烤烟叶片的水势、蒸腾速率、气孔导度、自由水含量和单叶水分利用效率降低,但使叶片含水量、束缚水含量、束缚水和自由水比值提高。土壤中砷含量越高,砷对烤烟叶片水分代谢的影响程度越大。砷对烤烟生育前期叶片水分代谢的影响大于中、后期。说明砷严重影响了烤烟的水分代谢,降低了水分在生理代谢方面的功能。

[关键词] 砷毒害;烤烟;叶片;水分代谢

[中图分类号] S572;X171.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)06-0073-04

Effects of arsenic toxicity on water metabolism in leaves of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)

CHANG Si-min¹, JIA Dong-po², MA Xin-ming¹, LIU Guo-shun¹

(1 college of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2. Henan Vocational College of Agriculture, Zhongmu, Henan 451450, China)

Abstract : A systematic study was conducted on effects of arsenic toxicity on water metabolism in leaves of flue-cured tobacco. The results showed that arsenic toxicity decreased water potential, transpiration rate, stoma conductance, free water content and water use efficiency in leaves of flue-cured tobacco, but it increased water content, bond water content and ratio of bond water and free water. The higher content of arsenic in soil, the greater impact it had on the water metabolism. Besides, the effect of arsenic toxicity on water metabolism in leaves of flue-cured tobacco during the early growing stage was more significant than that during the middle and last growing stages.

Key words : arsenic; flue-cured tobacco; leaf; water metabolism

砷是土壤中最严重的重金属污染物之一,可造成作物体内砷积累^[1-2],使作物生长发育受阻,产量降低^[3-5]。作物体内的水分状况涉及许多重要的生理活动,与生长发育和产量形成等密切相关。因此,研究砷对作物水分代谢的影响具有重要的理论和现实意义。已有研究认为,砷对作物水分代谢的毒害是引起叶面蒸腾下降,阻碍作物中的水分输送,使根部向地上部的的水分供给受到抑制^[5-7]。但以往研究只是涉及水分的蒸腾和运输功能,缺乏砷对水分代

谢影响全面、系统的研究。为此,本研究采用盆栽试验系统研究了砷对烤烟叶片水分代谢的影响,旨在探讨砷毒害与烤烟水分代谢的关系,以期砷对烤烟生长发育、产量和品质形成的生产监测和调控提供水分代谢方面的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试烤烟品种为云烟 85,由河南农业大学国家

†收稿日期] 2006-04-19

[基金项目] 国家烟草专卖局科技攻关项目(110200201005)

[作者简介] 常思敏(1968-),男,河南登封人,副编审,博士,主要从事作物生理生态学研究。

[通讯作者] 马新明(1963-),男,河南许昌人,教授,博士,主要从事农业生态和农业信息技术研究。

烟草栽培生理生化基地提供。磷酸钠($\text{Na}_3\text{AsO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$),北京化学试剂厂生产。

1.2 试验设计

试验于 2004~2005 年在河南农业大学科技园进行。采用 400 mm × 340 mm 聚乙烯花盆。供试土壤为壤质潮土,有机质含量 8.50 g/kg,全氮含量 0.89 g/kg,速效氮含量 65.46 mg/kg,速效磷含量 24.42 mg/kg,速效钾含量 108.00 mg/kg,pH 值 7.91,全磷含量 8.48 mg/kg。以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 KNO_3 、 KH_2PO_4 (三者均为分析纯)作基肥,施肥量为纯氮 0.2 g/kg, $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 1 : 1.5 : 3$ 。以磷酸钠($\text{Na}_3\text{AsO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)为污染源,按纯砷含量计算,设置 0(CK),5,20,40,60 mg/kg 5 个处理。各处理于 04-27 随基肥一起与风干过筛土混匀装盆,每盆装土 15 kg。装盆后埋入事先起好的垄中,埋盆深度约为盆高的 2/3。宽窄行单垄种植,宽行 120 cm,窄行 80 cm,株距 50 cm。

采用基质[V(草炭) V(蛭石) V(珍珠岩) = 2 : 1 : 1]穴盘育苗。02-28 洗种催芽,03-07 播种,定期随水浇灌烤烟育苗专用肥,成苗后于 05-08 移入盆中,每盆 1 株,各处理重复 15 盆,完全随机排列。统一定量灌溉,遇降雨盆内外积水时,及时统一排水,其他管理措施同大田。

1.3 测定项目及方法

在团棵期、现蕾期和采收期采摘各处理生长一致的 3 棵烟株相同叶位的叶片,用蒸馏水洗净后鲜样测定水势、含水量、自由水含量。

水势测定采用小液流法^[8]。

含水量测定采用称重法。叶片称取鲜重后,在烘箱中于 105℃ 杀青 20 min,然后在 80℃ 烘干至恒重,计算叶片含水量。

自由水含量采用阿贝折射仪测定烟叶样品在质量分数 60%蔗糖溶液中 6 h 前后的糖液质量分数,计算叶片自由水含量^[8]。

束缚水含量用含水量和自由水含量的差值表示,即束缚水含量 = 含水量 - 自由水含量。

在团棵期、现蕾期和采收期(中部叶采收期,下同)的 9:00~11:30,选取各处理生长一致的 3 棵烟株相同叶位叶片的同一部位,采用 LF6400 便携式光合测定仪测定蒸腾速率、气孔导度和光合速率。用光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)之比计算单叶水分利用效率^[9],即 $WUE = P_n / T_r$ 。

1.4 统计方法

以处理为主区,以测定的生育时期为副区,运用

Excel 对试验数据进行裂区设计方差分析。多重比较采用 Duncan 氏新复极差测验法(LSR 法)。

2 结果与分析

2.1 砷对烤烟叶片水势的影响

水势是植物水分代谢状态的基本度量,对于研究水分在植物体内的运输以及所处的状态极为重要。由图 1 可以看出,除现蕾期 5 mg/kg 处理的水势接近 CK 外,其他砷处理在 3 个生育时期的水势都低于相应的 CK,且土壤中砷含量越高,水势降低幅度越大。3 个生育时期之间比较表明,砷对团棵期的水势降低影响最大,采收期次之,但采收期处理间的降幅相对较小,现蕾期的水势较高,处理间的水势降幅介于二者之间。

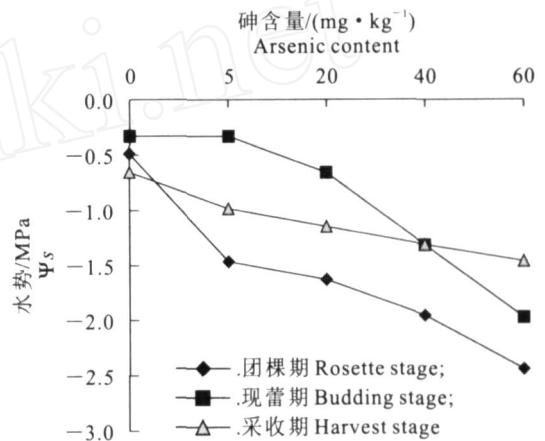


图 1 砷对烤烟叶片水势的影响

Fig. 1 Effect of arsenic on water potential (Ψ_s) in leaves of flue-cured tobacco

2.2 砷对烤烟叶片自由水和束缚水含量的影响

水分在植物体内常以自由水和束缚水两种状态存在,通常自由水比例大则代谢旺盛,束缚水比例增加则代谢强度减弱^[10]。由表 1 可见,砷能降低烤烟全生育期的自由水含量,提高束缚水含量。土壤中砷含量越高,自由水含量降低越多,而束缚水含量增加越多。在团棵期和现蕾期,随施砷量的增加,自由水和束缚水含量与 CK 的差异逐渐加大,施砷量达到 20 mg/kg 以上时,施砷处理与 CK 均达到显著或极显著差异。在采收期,各处理间的自由水含量差异不显著,束缚水含量仅 60 mg/kg 处理与 CK 差异显著。由此可见,砷对烤烟叶片水分存在状态的影响较大,且对生育前期的影响大于中、后期。

表 1 砷对烤烟叶片自由水和束缚水含量的影响

Table 1 Effects of arsenic on the content of free water and bond water in leaves of flue-cured tobacco %						
施砷量/ (mg · kg ⁻¹) Arsenic content	自由水含量 Free water content			束缚水含量 Bond water content		
	团棵期	现蕾期	采收期	团棵期	现蕾期	采收期
	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage
0 (CK)	55.42 aA	57.39 a	64.87 NS	29.80 cC	23.01 cB	21.67 b
5	50.21 aAB	55.67 ab	61.97 NS	35.30 cBC	26.18 bcAB	26.71 ab
20	39.94 bB	46.09 b	60.20 NS	46.41 bAB	36.19 abAB	28.42 ab
40	33.04 bB	45.81 b	58.42 NS	54.49 abA	36.85 abAB	30.63 ab
60	31.87 bB	44.32 b	55.63 NS	57.86 aA	41.01 aA	33.42 a

注 : 表中不同小写字母表示差异显著 , 不同大写字母表示差异极显著 , NS 或相同字母表示差异不显著。下同。
Note : Small letters mean significant difference at 0.05 levels. Capital letters mean great significant difference at 0.01 levels. NS and the same letters mean no significance in the same column. The same as the following tables.

2.3 砷对烤烟叶片含水量和束缚水与自由水比值的影响

束缚水与自由水比值的高低是植物抗逆性强弱的重要生理指标 , 一般而言 , 比值越高 , 植株代谢的水平越低 , 抗逆性越强 , 反之亦然^[11]。由表 2 可见 , 砷提高了烤烟叶片束缚水与自由水比值。在 3 个生育时期 , 砷处理的束缚水与自由水比值都高于相应

的 CK , 且随着土壤中砷含量的增加呈明显的增加趋势。在团棵期 , 土壤中施砷量为 20 mg / kg 时 , 束缚水与自由水比值与 CK 差异显著 , 达 40 mg / kg 以上时 , 差异极显著。在现蕾期和采收期 , 施砷处理的束缚水与自由水比值与相应的 CK 差异不显著。说明烤烟对砷毒害的反应因砷含量的增加而增加 , 但随着生育进程的推移 , 反应的敏感度降低。

表 2 砷对烤烟叶片含水量、束缚水与自由水比值的影响

Table 2 Effects of arsenic on ratio of bond water and free water and water content in leaves of flue-cured tobacco						
施砷量/ (mg · kg ⁻¹) Arsenic content	束缚水 / 自由水 Ratio of bond water and free water			含水量 / % Water content		
	团棵期	现蕾期	采收期	团棵期	现蕾期	采收期
	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage
0 (CK)	0.62 cC	0.43 NS	0.33 NS	85.22 bB	80.40 bB	86.54 NS
5	0.71 cC	0.47 NS	0.43 NS	85.52 bB	81.85 bA	88.68 NS
20	1.17 bBC	0.79 NS	0.48 NS	86.35 bA	82.28 bA	88.63 NS
40	1.70 aAB	0.83 NS	0.54 NS	87.53 abA	82.66 bA	89.04 NS
60	1.93 aA	0.93 NS	0.60 NS	89.73 aA	85.34 aA	89.04 NS

从表 2 还可以看出 , 随着土壤中施砷量的增加 , 烤烟叶片含水量呈增加趋势。但随着发育期的推移 , 处理间的差异有减小趋势 , 至采收期各处理间差异不显著 , 说明砷对烤烟叶片含水量有影响 , 但影响程度随着发育进程而减弱。

2.4 砷对烤烟叶片蒸腾速率和气孔导度的影响

由表 3 可知 , 除团棵期 5 mg / kg 处理的蒸腾速率高于 CK , 但差异不显著外 , 施砷处理的蒸腾速率在 3 个生育时期都低于相应的 CK , 且随施砷量的增加 , 蒸腾速率逐渐降低。

表 3 砷对烤烟叶片蒸腾速率和气孔导度的影响

Table 3 Effects of arsenic on transpiration rate and stoma conductance in leaves of flue-cured tobacco μmol / (m · s)						
施砷量/ (mg · kg ⁻¹) Arsenic content	蒸腾速率 Transpiration rate			气孔导度 Stoma conductance		
	团棵期	现蕾期	采收期	团棵期	现蕾期	采收期
	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage	Rosette stage	Budding stage	Harvest stage
0 (CK)	6.63 aA	6.47 NS	6.50 aA	526.00 bA	388.00 NS	189.00 a A
5	6.83 aA	6.45 NS	6.08 abAB	594.00 aA	387.33 NS	150.00ab AB
20	5.80 abAB	6.16 NS	5.11 bcAB	547.00 abA	385.67 NS	134.33 b AB
40	5.42 bAB	6.15 NS	4.99 bcAB	233.00 cB	373.33 NS	130.67 b B
60	4.75 bB	6.09 NS	4.87 cB	176.33 cB	365.67 NS	130.00 b B

气孔是进行气体交换与水分蒸腾的主要通道。气孔导度是衡量烤烟叶片气孔开张度的重要指标 , 气孔导度越大 , 气孔阻力就越小 , 气孔的物质传输能

力越强 , 反之 , 气孔阻力越大 , 气孔传输物质的能力越弱^[10,12]。表 3 结果表明 , 在团棵期 , 施砷量为 5 和 20 mg / kg 时 , 气孔导度高于 CK , 但施砷量为 40 和

60 mg/ kg 时,气孔导度极显著低于 CK。在现蕾期和采收期,随土壤中施砷量的增加,气孔导度依次降低。说明砷增加了烤烟整个生育期的叶片气孔阻力。

2.5 砷对烤烟单叶水分利用效率的影响

水分利用效率反映了烤烟生产中单位水分的能量转化效率。单叶水分利用效率反映了测定时植株本身的性能,一定意义上也反映了植株的生产力。表 4 结果表明,除采收期 20 mg/ kg 处理的单叶水分利用效率异常外,施砷处理在 3 个生育时期的单叶水分利用效率都低于相应的 CK,且土壤中施砷量越高,单叶水分利用效率的降低越显著。说明砷能降低烤烟利用水分进行生理代谢的能力。

表 4 砷对烤烟单叶水分利用效率的影响

Table 4 Effects of arsenic on water use efficiency in leaf of flue-cured tobacco

施砷量/ (mg · kg ⁻¹) Arsenic content	团棵期 Rosette stage	现蕾期 Budding stage	采收期 Harvest stage
0(CK)	2.97 a	3.04 NS	2.94 abA
5	2.68 ab	2.95 NS	2.80 bA
20	2.65 ab	2.64 NS	3.31 aA
40	2.54 b	3.02 NS	2.87 bA
60	2.59 b	2.63 NS	2.04 cB

3 结论与讨论

(1) 水势、蒸腾速率和气孔导度是植物吸收水分和体内水分运输的重要指标。本研究结果表明,砷降低了烤烟叶片的水势、蒸腾速率和气孔导度,造成烤烟叶片水分散失减小,不利于水分在烤烟体内的移动。且土壤中施砷量越高,水势、蒸腾速率和气孔导度降低越严重。这与干旱和盐胁迫对植物影响的研究结果是一致的^[11,13-14]。

(2) 水是植物体内许多代谢过程的原料和媒介,植物的水分利用效率、自由水含量、束缚水含量及自由水与束缚水比值的变化能反映水分在这方面的功能。本试验结果表明,砷能提高烤烟叶片束缚水含量、自由水与束缚水比值,降低其自由水含量和单叶水分利用效率。说明砷降低了烤烟的生理代谢强度和对水分的利用,这必将使烤烟植株的生长发育受阻,引起烤烟产量降低。

(3) 干旱和盐胁迫导致作物相对含水量下降^[11,13-14],但本试验结果表明,砷可使烤烟叶片含水

量增加。这是因为蒸腾速率下降,气孔阻力增加,必然造成体内水分散失的减小。水分是维持植物正常体温的调节剂,这又将导致烤烟因太阳的照射而使体温失恒,遭受灼伤的概率增加,但其真正原因还有待于进一步研究。

(4) 本研究结果还表明,砷对烤烟生育前期叶片水分代谢的影响大于中、后期。

[参考文献]

[1] Abedin M J, Feldmann J, Meharg A A. Uptake kinetics of arsenic species in rice plants[J]. Plant Physiol, 2002, 128(3): 1120-1128.

[2] Carbonell-Barrachina A, Burlo-Carbonell F, Mataix-Beneyto J. Effect of sodium arsenite on arsenic accumulation and distribution in leaves and fruit of Vitis vinifera[J]. J Plant Nutri, 1997, 20(2/3): 379-387.

[3] Cox M S, Kovar J L. Soil arsenic effects on canola seedling growth and ion uptake[J]. Commun Soil Sci Plant Analysis, 2001, 32(1/2): 107-117.

[4] 李道林,程磊. 砷在土壤中的形态分布与青菜的生物学效应[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(2): 131-134.

[5] 许嘉琳,杨居荣,荆红卫,等. 砷污染土壤的作物效应及其影响因素[J]. 土壤, 1993, 26(6): 50-58.

[6] 冯德福. 砷的污染与防治[J]. 沈阳教育学院学报, 2000, 2(2): 110-112.

[7] Morris H E. Injury to growing crops caused by the application of arsenical compounds to the soil[J]. Aust J Agr Res, 1927, 34: 59-78.

[8] 赵世杰,刘华山,董新纯,等. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[9] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[10] 汪洪,金继运,周红. 不同土壤水分供应与施锌对玉米水分代谢的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2004, 10(4): 367-373.

[11] 王宝山,赵可夫. 植物抗盐剂对盐胁迫玉米幼苗水分代谢的效应[J]. 山东师范大学学报:自然科学版, 1996, 11(3): 73-76.

[12] 李茂松,李森,张述义,等. 灌浆期喷施新型 FA 抗蒸腾剂对冬小麦的生理调节作用研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 703-708.

[13] 柯玉琴,潘廷国. NaCl 胁迫对甘薯叶片水分代谢、光合速率、ABA 含量的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2001, 7(3): 337-343.

[14] 汪耀富,闫栓年,王廷晓,等. 干旱胁迫下烤烟叶片水分代谢研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(1): 50-54.