

砷对烤烟 (*Nicotiana tabacum* L.) 碳代谢的影响

常思敏, 马新明, 王保安, 吴风华

(河南农业大学, 郑州 450002)

摘要 采用盆栽试验, 系统地研究了砷对烤烟全生育期碳代谢及其过程的影响。结果表明, 砷降低了烤烟整个生育期的叶绿素含量、光合速率、蔗糖合成酶 (SS, 合成方向) 活性和现蕾以后的蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性, 提高了全生育期的 SS (分解方向) 活性和可溶性糖含量, 因而抑制了碳的同化和蔗糖的合成, 促进了蔗糖的分解, 不利于碳向积累方向转化。砷提高了全生育期的腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶 (ADPG-PPase) 活性, 增加了团棵期和现蕾期淀粉的积累, 降低了团棵期和采收期的可溶性淀粉酶 (SSS) 活性和采收期的淀粉含量, 从而导致了碳积累代谢的紊乱, 最终造成碳积累的减少。

关键词 砷, 烤烟, 碳代谢, 同化, 转化, 积累

文章编号: 1000-0933 (2007) 06-2302-07 中图分类号: Q142, Q945, Q945.78, S572 文献标识码: A

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

CHANG Si-Min, MA Xin-Ming, WANG Bao-An, WU Feng-Hua

Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2302 ~ 2308.

Abstract : Arsenic, a high toxic heavy metal, is one of the most serious contaminants in soil and potential threat to crop growth and human health. Carbon metabolism plays an important role in growing period and formation both of yield and quality in flue-cured tobacco. It is necessary to study arsenic toxicity to carbon metabolism in flue-cured tobacco. Therefore, a systematic experiment was conducted on the farm of Henan Agricultural University, Zhengzhou, China. Using Yunyan 85 planted in 400 mm × 340 mm plastic pots, treatments were laid out with 5 arsenic levels of 0 (CK), 5, 20, 40, and 60 mg · kg⁻¹ [added as sodium arsenate (Na₃AsO₄ · 12H₂O)] to determine the effects of arsenic toxicity on metabolism of carbon. The results showed that arsenic toxicity significantly affected carbon metabolism during the whole growing period. Chlorophyll content, photosynthetic rate and sucrose synthetase (SS, synthetic direction) activity of the leaves during the growing period, as well as activity of sucrose phosphate synthetase (SPS) after budding stage were all decreased. But activity of SS (decomposition direction) and content of soluble sugar during the growing period increased. The results suggested that carbon assimilation and sucrose synthesis in flue-cured tobacco be inhibited, and sucrose decomposition be accelerated as a result of arsenic toxicity, which was not favorable for carbon transformation. It was also indicated that activity of soluble starch synthetase (SSS) both at rosette stage and harvest stage, and accumulation of starch at harvest were inhibited, SSS activity at budding stage, activity of adenosine diphosphoglucose pyrophosphorylase (ADPG-PPase) during the growing period, and starch content both at rosette stage and budding stage were all increased by arsenic

基金项目: 国家烟草专卖局科技攻关资助项目 (110200201005)

收稿日期: 2006-04-28; 修订日期: 2006-12-20

作者简介: 常思敏 (1968 ~) 男, 河南登封人, 博士, 从事作物生理生态学研究. E-mail: chmsw@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinmingma@371.net

Foundation item : The project was financially supported by China Tobacco Monopoly Bureau (No. 110200201005)

Received date 2006-04-28; **Accepted date** 2006-12-20

Biography CHANG Si-Min, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in crop eco-physiology and sci-tech redactology. E-mail: chmsw@sohu.com

toxicity. Therefore , arsenic toxicity caused the disorder of carbon metabolism and decrease in starch content during the later part of the growing period.

Key Words : arsenic ;flue-cured tobacco ;carbon metabolism ;assimilation ;transformation ;accumulation

砷是土壤中污染最严重的重金属之一 ,土壤砷污染造成作物体内砷积累^[1,2]、生长发育受阻 ,产量降低等^[3-5] ,并通过食物链等途径危害人的健康^[6] ,砷对作物的毒害及应对措施正日益受到重视^[7]。烤烟 (*Nicotiana tabacum* L.) 是重要的经济作物 ,也是烟民嗜好品中最重要的吸食原料。烤烟卷制品及其烟气中关于砷分析的文献也时有报道^[8,9] ,研究砷对烤烟的毒害及其对烟民健康的危害具有重要的现实意义。碳代谢是烤烟生长发育、产量和品质形成过程中最基本的生理代谢 ,与决定烟叶香气品质有关的化学成分、含量和比例有密切关系。虽然烤烟碳代谢方面研究比较系统^[10-14] ,砷对作物碳代谢的研究也有部分文献 ,但已有文献只是对砷影响作物碳代谢的少部分指标进行研究^[5,15]、或是对种子萌发期和幼苗期的碳代谢进行研究^[16,17] ,缺乏砷对作物碳代谢影响的全面、系统研究结果 ,尤其在砷影响烤烟碳代谢方面。为此 ,作者研究了砷对烤烟全生育期碳代谢及其过程的影响 ,旨在深入探讨砷对烤烟碳代谢影响的机理 ,也为砷对烤烟生长发育、产量和品质形成的生产监测和调控提供碳代谢方面的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验设计

2004 ~ 2005 年采用 400 mm × 340 mm 的聚乙烯花盆在河南农业大学科教园区进行盆栽试验。供试土壤为壤质潮土 ,按常规方法测定土壤耕层基本的理化性质 ,有机质含量 8.50 g · kg⁻¹ ,全氮含量 0.89 g · kg⁻¹ ,速效氮含量 65.46 mg · kg⁻¹ ,速效磷含量 24.42 mg · kg⁻¹ ,速效钾含量 108.00 mg · kg⁻¹ ,pH 值 7.91 ,全砷含量 8.48 mg · kg⁻¹。以 (NH₄)₂SO₄ (A. R.) ,KNO₃ (A. R.) ,KH₂PO₄ (A. R.) 作基肥 ,施肥量为纯氮 0.2 g · kg⁻¹ ,N:P₂O₅:K₂O = 1:1.5:3。以砷酸钠 (Na₃AsO₄ · 12H₂O) 为污染源 ,按纯砷含量计算 ,设置 0 (CK) ,5 ,20 ,40 ,60 mg · kg⁻¹ 5 个处理。各处理于 4 月 27 日 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。

供试烤烟品种为云烟 85 ,采用基质 (草炭:蛭石:珍珠岩 = 2:1:1) 穴盘育苗。2 月 28 日洗种催芽 ,3 月 7 日播种 ,定期随水浇灌烤烟育苗专用肥 ,成苗后于 5 月 8 日移栽入盆 ,每盆 1 株 ,各处理重复 15 盆 ,完全随机排列。烤烟生长期统一适时浇水和雨后排水 ,其他管理措施同大田。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 碳同化指标及方法

在团棵期、现蕾期和采收期 (中部叶采收期 ,下同) 的晴天 9:00 ~ 11:30 ,选取各处理有代表性的 3 株相同叶位的叶片进行叶绿素含量和光合速率的测定。叶绿素含量采用 SPAD 叶绿素测定仪测定 ,光合速率采用 LI-6400 便携式光合测定仪测定。

1.2.2 碳转化指标及方法

蔗糖合成酶 (SS) 活性、蔗糖磷酸合成酶 (SPS) 活性的测定参考 Baxter 等^[13]和赵越等^[18]介绍的方法 ,SS (合成方向) 活性和 SPS 活性以生成的蔗糖量来表达 ,单位为 μmol 蔗糖 · g⁻¹FW · min⁻¹ ,SS (分解方向) 活性以生成的果糖量来表达 ,单位为 μmol 果糖 · g⁻¹FW · min⁻¹。

1.2.3 碳积累指标及方法

可溶性淀粉合成酶 (SSS) 活性和腺苷二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶 (ADPG-PPase) 活性参照杨焕文等^[14]和 Nakamura^[19]的方法 ,以 1-磷酸葡萄糖 (G-1-P) 作标准曲线 ,酶活性以 μmol (G-1-P) · g⁻¹FW · min⁻¹ 来表示。可溶性糖和淀粉含量测定采用蒽酮法^[20]。

1.2.4 取样及样品预处理

采摘团棵期、现蕾期和采收期各处理生长一致的 3 棵烟株相同叶位的叶片 ,用蒸馏水洗净后 ,一部分迅速

称重并用液氮冷冻 30 min ,而后保存于 -40℃ 的冰箱中 ,最后集中测定各生育时期的 SS 活性、SPS 活性、SSS 活性和 ADPG-PPase 活性 ,另一部分在烘箱中于 105 ℃ 条件下杀青 20 min ,然后在 80 ℃ 条件下烘干至恒重 ,干样测定可溶性糖含量和淀粉含量。

1.3 统计方法

以处理为主区 ,以测定的生育时期为副区 ,运用 Excel 对碳氮代谢数据进行时间裂区设计方差分析。多重比较采用 Duncan 氏新复极差测验法。

2 结果与分析

2.1 砷对烤烟碳同化的影响

叶绿素含量和光合速率是碳同化的两个重要生理指标。砷对烤烟 3 个生育时期的叶绿素含量均有一定的影响(表 1)。从表 1 可以看出 ,各生育时期的叶绿素含量均随着土壤中砷含量的增加而降低。除 5 mg·kg⁻¹ 处理与 CK 差异不显著外 ,其他施砷处理均极显著地低于相应的 CK。说明砷能降低烤烟的叶绿素含量 ,且土壤中砷含量越高 ,叶绿素含量降低也越多。

各生育时期光合速率的变化(表 1)表明 除现蕾期 40 mg·kg⁻¹ 处理的光合速率略高于同时期的 CK ,但差异不显著外 ,各生育时期施砷处理的光合速率都低于 CK ,且均随着土壤中砷含量的增加而降低。这表明砷可降低烤烟的光合速率。方差分析表明 ,砷虽能降低光合速率 ,只有土壤中砷含量达到 40 mg·kg⁻¹ 时 ,与 CK 的差异才能达到显著水平。

砷对叶绿素含量和光合速率的相似性影响表明 ,砷抑制了烤烟的碳同化能力。

表 1 砷对烤烟叶绿素含量和光合速率的影响						
Table 1 Effects of arsenic on chlorophyll content and photosynthetic rate in flue-cured tobacco						
处理 (mg·kg ⁻¹) Treatments	叶绿素含量 Chlorophyll content			光合速率 (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) Photosynthetic rate		
	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
CK	34.2 a A	46.8 a A	28.2 a A	19.6 a A	19.5 a A	18.3 a A
5	32.3 ab AB	44.4 a AB	27.0 a A	18.3 a AB	19.0 a AB	18.5 a A
20	30.6 b B	41.4 b B	22.1 b B	17.6 ab ABC	18.6 a AB	17.8 ab A
40	29.3 b BC	38.5 c B	18.2 b B	15.6 bc BC	19.8 a A	15.7 b A
60	25.5 c C	31.6 d C	13.8 c C	14.7 c C	16.1 b B	9.8 c B

表中小写字母表示 0.05 的差异显著性水平 ,大写字母表示 0.01 的差异显著性水平 ;NS 和同一列中字母相同者 ,表示处理间差异不显著。以下各表同此 Small letters mean significance at 0.05 levels ;Capital letters mean significance at 0.01 levels. NS and the same letters mean no significance in the same column. the same below

2.2 砷对烤烟碳转化的影响

2.2.1 砷对烤烟 SS (合成方向)活性和 SPS 活性的影响

蔗糖是烤烟光合作用合成产物向各器官运输的主要形式。SS 和 SPS 是蔗糖合成过程中关键调节酶 ,催化蔗糖的合成。砷对烤烟 SS (合成方向)活性的影响表明 ,砷降低其活性(表 2)。3 个生育时期施砷处理的 SS (合成方向)活性均低于相应的 CK。随着土壤中砷含量的增加 ,现蕾期和采收期的 SS (合成方向)活性随之降低 ,团棵期在此方面规律性不强。方差分析表明 ,各处理间在团棵期和现蕾期的差异不显著 ,采收期 CK 与施砷处理间达到了极显著差异 ,这说明砷对烤烟现蕾以前的 SS (合成方向)活性影响较小 ,而对现蕾以后的影响较大。

SPS 主要在绿色光合器官中进行蔗糖合成 ,保障叶绿体内光合碳代谢、蔗糖输出和淀粉积累的平衡 ,其活性的高低直接影响着可溶性糖和淀粉之间的分配。从表 2 可以看出 ,砷对烤烟 SPS 活性在不同的生育时期具有不同的影响 ,团棵期 CK 的 SPS 活性低于施砷处理 ,现蕾期和采收期 CK 的 SPS 活性又均高于施砷处理 ,且基本上随土壤中施砷量的增加而降低。现蕾期 CK 与施砷处理的差异不显著 ,采收期与 20 mg·kg⁻¹ 以上处理

的差异达到了显著或极显著水平。

表 2 砷对烤烟 SS (合成方向)活性和 SPS 活性的影响

Table 2 Effects of arsenic on activity of SS (synthetic direction) and SPS in flue-cured tobacco (μmol·g⁻¹·min⁻¹)

处理 (mg·kg ⁻¹) Treatments	SS (合成方向)活性 Sucrose synthetase (synthetic direction) activity			SPS 活性 Sucrose phosphate synthetase activity		
	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
CK	0.846 NS	0.856 NS	0.909 a A	0.842 b	0.856 NS	0.893 a A
5	0.844 NS	0.855 NS	0.889 b B	0.857 a	0.855 NS	0.892 ab AB
20	0.843 NS	0.852 NS	0.887 b B	0.855 ab	0.854 NS	0.889 b AB
40	0.845 NS	0.851 NS	0.880 bc B	0.858 a	0.850 NS	0.867 c C
60	0.845 NS	0.848 NS	0.876 c B	0.850 ab	0.851 NS	0.884 bc BC

2.2.2 砷对烤烟 SS (分解方向)活性和可溶性糖含量的影响

SS (分解方向)主要催化蔗糖的降解 ,以提供 UDPG 和果糖满足机体多糖合成或呼吸作用的需要^[21]。砷能提高烤烟的 SS (分解方向)活性 (表 3)。从表 3 可以看出 3 个生育时期施砷处理的 SS (分解方向)活性都高于相应的 CK ,除现蕾期 5 mg·kg⁻¹处理与 CK 的差异不显著外 ,其他施砷处理与 CK 的差异达到了显著或极显著水平 ,说明砷促进了烤烟蔗糖的降解。

可溶性糖在碳运输转化代谢过程中具有重要作用 ,是碳转化的重要生理指标。砷对烤烟可溶性糖含量的影响结果表明 ,砷提高了其可溶性糖含量 (表 3)。各生育时期施砷处理的可溶性糖含量都高于 CK ,团棵期的可溶性糖含量因土壤中砷含量的增加而提高 ,现蕾期的施砷处理与 CK 的差异达到了极显著水平 ,而采收期处理间差异不显著。

在烤烟的碳转化代谢中 ,一方面是蔗糖的合成受阻 ,另一方面是蔗糖的分解加剧和可溶性糖的积累 ,由此推测 ,砷抑制了烤烟向碳积累方向的转化。

表 3 砷对烤烟 SS (分解方向)活性和可溶性糖含量的影响

Table 3 Effects of arsenic on activity of SS (decomposition direction) and content of soluble sugar content in flue-cured tobacco

处理 (mg·kg ⁻¹) Treatments	SS 活性 (分解方向 ,FW) (μmol·g ⁻¹ ·min ⁻¹) Sucrose synthetase (decomposition direction) activity			可溶性糖含量 (DW) (μg·g ⁻¹) Soluble sugar 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
CK	1.538 b B	2.005 c C	3.274 d C	37.564 b	67.321 d C	73.419 NS
5	1.943 a A	2.224 c BC	3.634 c B	38.256 b	74.043 ab AB	74.834 NS
20	1.691 ab AB	2.497 b B	3.789 a A	39.051 b	71.680 c B	73.800 NS
40	1.819 a AB	3.148 a A	3.666 b B	46.870 a	73.011 bc AB	75.074 NS
60	1.717 ab AB	3.252 a A	3.598 c B	47.658 a	75.012 a A	75.580 NS

2.3 砷对烤烟碳积累的影响

2.3.1 砷对烤烟 SSS 活性和 ADPG-PPase 活性的影响

SSS 和 ADPG-PPase 是淀粉合成过程中的两个关键酶。砷对烤烟 SSS 活性和 ADPG-PPase 活性的影响比较复杂 (表 4) ,由表 4 可见 ,砷降低了团棵期和采收期的 SSS 活性 ,而且随着土壤中砷含量的增加而有规律的降低 ,对现蕾期的影响则不同 ,除 5 mg·kg⁻¹处理的 SSS 活性低于 CK 外 ,其他施砷处理显著或极显著地高于 CK。

DPG-PPase 催化 1-磷酸葡萄糖 (G-1-P)转化为腺苷二磷酸葡萄糖 (ADPG) ,ADPG 则是淀粉合成的前

体^[22]。砷对 ADPG-PPase 活性的影响表明,砷能提高其活性(表 4)。施砷处理在 3 个生育时期的 ADPG-PPase 活性都高于相应的 CK,但除团棵期的 40 mg·kg⁻¹处理及现蕾期和采收期的 60 mg·kg⁻¹处理与 CK 差异显著外,其他处理与 CK 差异不显著,说明土壤中较低含量的砷虽能提高烤烟的 ADPG-PPase 的活性,但影响不大,只有砷含量较高时,ADPG-PPase 活性才能显著提高。

表 4 砷对烤烟 SSS 活性和 ADP-PPase 活性的影响

Table 4 Effects of arsenic on activity of SSS and ADPG-PPase in flue-cured tobacco (μmol·g⁻¹·min⁻¹)

处理 Treatments (mg·kg ⁻¹)	SSS 活性 Soluble starch synthetase activity			ADPG-PPase 活性 ADPG-PPase activity		
	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
CK	1.291 a A	0.989 cd BC	1.493 a A	0.931 b	0.810 b B	1.171 b B
5	1.268 a AB	0.946 d C	1.479 a A	0.992 b	0.834 b B	1.302 b B
20	1.231 b B	1.011 c BC	1.352 b B	0.948 b	0.835 b B	1.343 b B
40	1.229 c B	1.071 b B	1.345 b B	1.277 a	0.897 b B	1.498 b B
60	1.227 c B	1.376 a A	1.323 b B	1.097 ab	1.380 a A	2.083 a A

2.3.2 砷对烤烟淀粉含量的影响

淀粉是烤烟碳代谢最主要的贮藏物质,也是碳积累的主要生理指标。砷对烤烟淀粉含量的影响结果表明(表 5),施砷处理与 CK 相比,团棵期的淀粉含量先是降低,后当土壤中的砷含量达 40 mg·kg⁻¹以上时又表现增加趋势,现蕾期的含量则随土壤中的砷含量增加而增加,采收期与现蕾期的表现正好相反,淀粉含量又依次降低,而且现蕾期的增加和采收期的降低幅度较大,施砷处理与相应 CK 的差异达到了显著以上差异。

以上分析表明,砷对烤烟碳积累代谢的影响比较复杂,但是,不管砷毒害烤烟生长发育过程中的 SSS 活性,ADPG-PPase 活性和淀粉含量如何变化,最终还是造成淀粉积累的减少。

3 讨论

(1)碳代谢是作物最基本的生理代谢,碳代谢的强度、生长发育过程中的动态变化对作物的产量和品质形成将产生重大影响。烤烟碳代谢包括无机碳在叶绿体中通过光合作用转化为有机碳的同化代谢,磷酸丙糖通过叶绿体膜运至细胞质合成蔗糖并进一步转化为单糖的碳水化合物运输转化代谢和以淀粉积累为主要标志的碳积累代谢等 3 个阶段^[10]。本试验研究结果表明,砷抑制烤烟碳的同化,引起了整个生育期叶绿素含量、光合速率的降低。这一结果与李道林等^[4]和许嘉林等^[5]对叶绿素含量的影响,以及 Marin 等^[23]对光合速率的影响结果相一致。彭明等用 Cd 和 Pb 处理玉米,发现叶绿体结构发生明显变化,膜系统遭到破坏^[24],这可能是砷引起烤烟叶绿素含量降低的原因。常思敏等认为砷对作物的生理毒害可能存在巯基结合学说和离子拮抗学说,两种学说都认为砷能抑制光合作用有关的酶(如 ATP 酶)活性^[7],这解释了砷引起烤烟光合速率降低的原因。

(2)烤烟的可溶性糖包括葡萄糖、果糖等单糖和蔗糖、麦芽糖等二糖,以及低聚度的棉子糖等,因此,可溶性糖含量和与可溶性糖有关的关键酶是烤烟碳转化代谢的重要指标。本试验研究发现,砷提高了烤烟整个生育期的可溶性糖含量,除团棵期 SPS 活性略有增加外,砷导致了烤烟全生育期的 SS(合成方向)活性和生育中、后期的 SPS 活性的降低,抑制了烤烟蔗糖的合成。砷使 SS(分解方向)活性提高的结果表明又加速了蔗糖的分解,这与 Jha 等^[7]对水稻幼苗的研究结论基本一致。据 Jha 等^[7]对砷造成水稻幼苗 α-淀粉酶、β-淀粉酶活性下降的结论和肖玲^[16]认为砷抑制小麦种子萌发期 α-淀粉酶活性的结果,推测可溶性糖含量的增加可能

表 5 砷对烤烟淀粉含量的影响 (μg·g⁻¹)

Table 5 Effects of arsenic on content of starch in flue-cured tobacco

处理 Treatments (mg·kg ⁻¹)	团棵期 Rosette stage	现蕾期 Budding stage	采收期 Harvest stage
CK	11.517 c C	10.508 e E	17.497 a A
5	10.668 d C	12.615 d D	16.180 b B
20	11.216 cd C	14.471 c C	14.110 c C
40	16.506 a A	25.646 b B	16.151 b B
60	14.881 b B	36.269 a A	15.766 b B

不是淀粉分解的结果。

⑶ 砷对淀粉积累的影响还鲜见报道 本研究的结果表明 砷对烤烟碳积累的影响比较复杂 ,引起了其生长发育过程中碳积累代谢的紊乱。砷引起烤烟生长前、中期的淀粉含量提高 ,造成其生育后期淀粉积累的减少。砷对与淀粉合成有关的酶活性影响结果表明 ,砷引起了全生育期 SSS 活性的降低 ,而使 ADPG-PPase 活性提高。砷使淀粉合成关键酶活性的变化与淀粉含量的变化之间的关系目前还不能解释 ,尚需进一步研究。

4 结论

砷毒害可抑制烤烟全生育期碳的同化 ,使蔗糖的合成受阻 ,分解加剧 ,可溶性糖积累 ,抑制了碳向积累方向的转化。同时 ,砷使烤烟碳积累代谢表现紊乱 ,最终造成碳积累的减少 ,不利于烤烟产量等的形成。

References :

[1] Abedin M J , Feldmann J , Meharg A A. Uptake kinetics of arsenic species in rice plants. *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. 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. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis* ,2001 ,32 (1/2) :107 — 117.

[4] Li D L , Cheng L. Distribution of As forms in soils and biological effect of As on Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.). *J. Anhui Agri. Univ.* , 2000 ,27 (2) :131 — 134.

[5] Xu J L , Yang J R , Jing H W. Effects of arsenic contamination on crops and their factors. *Soil* ,1993 ,26 (6) :50 — 58.

[6] Cai B S , Chen T B , Liao X Y *et al.* Arsenic concentrations in soils and vegetables and their risk assessments in highly contaminated area in Hu'nan Province. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 ,24 (4) :711 — 717.

[7] Chang S M , Ma X M , Jiang Y Y , *et al.* Research progress on arsenic contamination in soils and arsenic toxicity in crops. *J. Henan Agri. Univ.* , 2005 ,39 (2) :161 — 166.

[8] Liu R M , Chen Z Y , Gu X R , *et al.* The adsorptive effect of activated carbon to hazardous trace elements in cigarette smoke. *J. Environ. Health* , 1999 ,16 (4) 203 — 204.

[9] Chiba M. Analysis on toxicant and trace elements in tobacco and its fog. Zhao J K (trans.). *Foreign :Part of Medicine and Geography* ,1993 ,14 (2) 64 — 65 ;52.

[10] Shi H Z , Han J F. Study on several problems on carbon and nitrogen metabolism in flue-cured tobacco. *Tobacco Science and Technology* ,1998 , (2) 34 — 36.

[11] Yue J Q , Liu J K , Liu W Q. The effects of different nitrogen forms on key enzyme activity in carbon-nitrogen metabolism and chemical composition of flue-cured tobacco leaves. *J. Henan Agri. Univ.* ,2004 ,38 (2) :155 — 158.

[12] Huang S Y , Chen L C. Research advance on carbon nitrogen metabolism in tobacco. *Henan Agri. Sci.* ,2004 ,38 (2) :155 — 158.

[13] Baxter C J , Foyer C H , Turner J , *et al.* Elevated sucrose-phosphate synthetase activity in transgenic tobacco sustains photosynthesis in older leaves and alters development. *J. Exp. Bot.* ,2003 ,54 (389) :1813 — 1820.

[14] Yang H W , Geng Z Z , Li F L , *et al.* Changes in enzyme activities involved in starch synthesis in tobacco leaf after transplanting. *J. Southwest Agri. Univ. (Natural Science)* ,2003 ,25 (6) 510 — 513.

[15] Yang W J , Liu G L. Effect on arsenate on plant decrepit. *Plant Physiol. Commun.* ,1997 ,33 (1) :54 — 55.

[16] Xiao L. Effect of arsenic on activity of enzyme and respiratory intensity of seed germination of wheat. *Shaanxi Environ.* ,1999 ,6 (4) 22 — 24.

[17] Jha A B , Dubey R S. Carbohydrate metabolism in growing rice seedlings under arsenic toxicity. *J. Plant Physiol.* ,2004 ,16 (7) :867 — 872.

[18] Zhao Y , Wei Z M , Ma F M. Influence of ammoniacal nitrogen on sucrose synthetase and sucrose phosphate synthetase in sugar beet. *Sugar Crops of China* ,2003 , (3) 1 — 5.

[19] Nakamura Y. Carbohydrate metabolism in the developing endosperm of rice grains. *Plant Cell Physiol.* ,1989 ,30 :833 — 839.

[20] Zhao S J , Liu H S , Dong X C. *Plant physiological experiment guide.* Beijing :China Agricultural Science and Technology Press ,1998.

[21] Gao X Y , Xu F C , Zhao Y H , *et al.* Compare with the activities of sucrose synthetase and sucrose phosphate synthetase in ordinary corn and super sweet corn. *J. Huanan Agri. Univ.* ,2001 ,22 (2) 46 — 48.

[22] Wang X D , Yu Z W , Wang D. Effect of potassium on sucrose content of flag leaves and starch accumulations of kernels in wheat. *Acta Phytoecologica Sinica* ,2003 ,27 (2) :196 — 201.

[23] Marin A R , Pezeshki S R , Masschelen P H , *et al.* Effect of dimethylarsenic acid (DMAA) on growth , tissue arsenic and photosynthesis of rice

plants. J. Plant Nutr. ,1993 ,16 (5) :865—880.

[24] Peng M ,Wang H X ,Wu Y S. Ultrastructural changes induced by cadmium and lead in corn seedling cell. China Environ. Sci. ,1991 ,11 (6) :426—431.

参考文献：

[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. 安徽农业大学学报 2000 27 (2) :131~134.

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

[6] 蔡保松 陈同斌 廖晓勇 ,等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响. 生态学报 2004 24 (4) 711~717.

[7] 常思敏,马新明,蒋媛媛,等. 土壤砷污染及其对作物的危害研究进展. 河南农业大学学报 2005 39 (2) :161~166.

[8] 刘若曼 陈震阳 顾向荣 ,等. 活性炭对香烟烟雾中有害微量元素的吸附效果. 环境与健康杂志 ,1999 ,16 (4) 203~204.

[9] Chiba M. 烟草及其烟雾中的毒性元素和微量元素. 越金扣 ,译. 国外医学 医学地理分册 ,1993 ,14 (2) :64~65 ;52.

[10] 史宏志 韩锦峰. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨. 烟草科技 ,1998 ,(2) 34~36.

[11] 岳俊芹,刘健康 刘卫群. 不同氮素形态对烤烟叶片碳氮代谢关键酶活性及化学成分的影响. 河南农业大学学报 2004 38 (2) :155~158.

[12] 黄树永,陈良存. 烟草碳氮代谢研究进展. 河南农业科学 ,2004 38 (2) :155~158.

[14] 杨焕文 耿宗泽 李佛琳 ,等. 烤烟大田生长期烟叶中淀粉合成的酶活性变化. 西南农业大学学报 :自然科学版 2003 25 (6) 510~513.

[15] 杨文婕,刘更另. 砷对植物衰老的影响. 植物生理学通讯 ,1997 ,33 (1) 54~55.

[16] 肖玲. 砷对小麦种子萌发酶活性及呼吸强度影响的研究. 陕西环境 ,1999 6 (4) 22~24.

[18] 赵越 魏自民 ,马凤鸣. 铵态氮对甜菜蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶的影响. 中国糖料 2003 ,(3) 1~5.

[20] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导. 北京 :中国农业科技出版社 ,1998.

[21] 高向阳,徐凤彩 赵亚华 ,等. 普通玉米和超甜玉米苗期蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶的活力比较. 华南农业大学学报 2001 22 (2) :46~48.

[22] 王旭东,于振文 王东. 钾对小麦旗叶蔗糖和子粒淀粉积累的影响. 植物生态学报 2003 27 (2) :196~201.

[24] 彭明 王焕校 吴玉树. 镉、铅诱导玉米 (*Zea mays* L.) 幼苗细胞超微结构的变化. 中国环境科学 ,1991 ,11 (6) :426~431.