

烤烟品种对镉吸收累积敏感性差异研究

王浩浩^{1,2}, 刘海伟¹, 石屹¹, 王勇³, 王树声^{1*}, 包自超^{1,2}, 李斌^{1,2},
张蕴睿^{1,2}, 鹿莹^{1,2}, 张焕菊^{1,2}, 王锡金⁴, 孙帅帅³

(1.农业部烟草生物学与加工重点实验室, 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2.中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3.山东中烟工业有限责任公司, 济南 250100; 4.山东潍坊烟草公司, 山东 潍坊 261000)

摘要:为分析烟草全生育期对镉(Cd)吸收、累积及分配的品种间差异, 筛选低Cd吸收品种, 通过盆栽土培法并外源添加Cd, 研究了不同Cd水平对10个烤烟品种生长和Cd分布的影响。结果表明, Cd对烤烟生长的影响存在显著的品种差异, NC89、龙江851和翠碧1号的根系对Cd毒害反应较敏感, 云烟85和豫烟3号的根系对Cd耐性较强, 低、高Cd对烤烟叶片生长都有促进作用, 且烤烟根系比叶片对Cd毒害的反应更敏感。烤烟不同器官中对Cd含量和积累量都存在显著的品种间差异, 其中叶片Cd含量中烟100、翠碧1号、云烟87和豫烟3号较低; 不同烤烟品种对土壤Cd变化的敏感响应程度不同, 中烟100、红花大金元和NC89对Cd敏感性较低。

关键词: 镉; 烤烟; 品种; 吸收; 累积; 敏感性

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119(2013)06-0064-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.06.013

Sensibility Variation of Cadmium Uptake and Accumulation among Flue-cured Tobacco Varieties

WANG Haohao^{1,2}, LIU Haiwei¹, SHI Yi¹, WANG Yong³, WANG Shusheng^{1*}, BAO Zichao^{1,2}, LI Bin^{1,2},
ZHANG Yunrui^{1,2}, LU Ying^{1,2}, ZHANG Huanju^{1,2}, WANG Xijin⁴, SUN Shuaishuai³

(1. Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Tobacco Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China; 3. China Tobacco Shandong Co., Ltd., Jinan 250100, China; 4. Weifang Tobacco Co., Ltd., Weifang, Shandong 261000, China)

Abstract: Cadmium(Cd) influences tobacco growth, and its uptake and distribution in tobacco vary with tobacco varieties. In order to identify the low cadmium accumulation tobacco varieties, pot experiments were carried out to study the differences in Cd uptake sensitivity among 10 flue-cured tobacco varieties. The results showed that effects of Cd on tobacco growth varied significantly with varieties. The roots of NC89, Longjiang851 and Cuibi 1 were more sensitive to Cd toxicity reaction; the roots of Yunyan85 and Yuyan3 had stronger tolerance to Cd. Both the low and high Cd contents could promote the growth of tobacco leaf, and the roots of tobacco were more sensitive to Cd toxicity reaction than the tobacco leaves. The content and accumulation of Cd were significant differences in different flue-cured tobacco cultivars. The leaf Cd content of Zhongyan100, Cuibi1, Yunyan87 was comparably low, and the Zhongyan100, Hongda and NC89 were less sensitive to the change of Cd in soil.

Keywords: cadmium; flue-cured tobacco; cultivar; uptake; accumulation; sensibility

镉(Cd)是对生态环境危害严重的重金属之一, 通过生物富集也容易对动物和人类造成伤害^[1]。近年来, 烟草质量安全状况越来越为公众和研究者所重视^[2-3], 因此烟草重金属相关研究也成为热点^[4]。烤烟是富集Cd的经济作物之一, 其吸收的Cd主要

累积到叶片中^[5], 会对烟叶的质量安全产生危害。

关于不同烟草品种对Cd的吸收富集差异前人有过不少研究。其中, 刘双营等^[6]通过水培试验对6个不同品种烟草Cd吸收的动力学特征的研究结果表明, 烟草不同品种间对镉吸收的最大速率不

基金项目: 国家烟草专卖局特色优质烟叶开发重大专项(TS-06-20110037); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(22060302); 中国烟草总公司江西省公司科学研究与技术开发计划项目(201101005)

作者简介: 王浩浩, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为烟草营养与栽培。E-mail: haohao1111@163.com。*通信作者, E-mail: wss620128@126.com

收稿日期: 2013-03-21

修回日期: 2013-06-14

同。刘义新等^[7]研究表明, K326 和云烟 87 对 Cd 的吸收与分布以及对 Cd 的耐受性存在明显的差异。赵秀兰等^[8]研究结果表明, 不同烟草品种对镉的吸收累积差异显著, 烟草对镉的耐性存在显著的品种间差异。由于此前相关研究多数选择在烟草生长的苗期, 或选用的烤烟品种较少, 无法明确成熟期不同品种烤烟对 Cd 的吸收累积差异情况。因此, 本研究选用 10 个全国主栽与地方代表性烤烟品种, 通过外源 Cd 添加试验, 分析比较不同烤烟品种在成熟期各器官的 Cd 含量、变化敏感性和积累量差异, 筛选出低 Cd 吸收累积品种, 为低 Cd 烟叶的大田生产提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试烟草 选取全国主栽与地方代表性烤烟品种共 10 个, 分别是中烟 100、K326、红花大金元、云烟 85、云烟 87、NC89、翠碧 1 号、龙江 851、湘烟三号、豫烟 3 号。

1.1.2 供试土壤 土壤为棕壤, 基本理化性质为 pH 7.05, 有机质为 1.15%, 土壤中 Cd 含量为 0.21 mg/kg。土壤经风干过筛熏蒸后供盆栽试验用。

1.2 方法

1.2.1 试验方法 采用盆栽试验, 于 2012 年在中国农业科学院烟草研究所即墨试验农场温室中进行。试验用盆规格为直径 36 cm, 高 40 cm, 每盆装土 15 kg, 盆底放置接水盘。移栽苗龄 60 d, 移栽时间 5 月 8 日。试验采用常规管理, 浇水量一致, 并保证无水渗出。

1.2.2 试验设计 试验设 2 个因素, 分别为 10 个烤烟品种和 3 个土壤 Cd 添加水平, 即 0.0、0.6 和 3.0 mg/kg, 分别以 CK、C1 (土壤 Cd 警戒水平)、C2 (土壤 Cd 污染水平) 表示。共 30 个处理, 每个处理重复 3 次, 随机排列。镉以 Cd (Ac)₂ 水溶液形式均匀喷施入土壤中, 保持 80% 土壤持水量, 培养陈化 60 d 后装盆。装盆同时将肥料作为基肥一次性施入, 氮施用量为 6 g/盆, 氮、磷、钾的比例为

$m(N):m(P_2O_5):m(K_2O)=1:1.5:3$ 。

1.2.3 取样及测定 在烤烟生长的成熟期采集烟株样品, 分根、茎和上、中、下部叶于 105 °C 杀青 30 min, 65 °C 烘干至恒重, 称干重。粉碎过 60 目筛, HNO₃-H₂O₂ 微波消解后用电感耦合等离子质谱 (ICP-MS, 型号 X Series, Thermo 公司) 测定样品 Cd 含量。

1.3 数据处理与统计分析

烟株 Cd 积累量 (μg/株) = 烟株生物量 (g/株) × 烟株 Cd 含量 (mg/kg); 分配率 (%) = 100 × 不同部位 Cd 积累量 (g) / 烟株 Cd 积累总量 (g); Cd 迁移系数 = 叶片 Cd 含量 (mg/kg) / 根部 Cd 含量 (mg/kg)

采用 DPS 13.0, Duncan 新复极差法进行统计分析。

2 结果

2.1 镉对不同烤烟品种生长的影响

在供试的烤烟品种中, NC89、龙江 851 和翠碧 1 号的根系干物质积累量在 C1、C2 处理时均比 CK 显著降低, 而云烟 85 和豫烟 3 号根系干物质积累量在 C1、C2 处理时均无显著变化 (图 1), 表明 NC89、龙江 851 和翠碧 1 号的根系对 Cd 毒害反应较敏感, 云烟 85 和豫烟 3 号的根系对 Cd 耐性较强。

茎部干物质积累量如图 2 所示, C1 处理时翠碧 1 号茎部干物质积累量显著高于 CK, 其余烤烟品种茎部干物质积累量无显著变化, C2 处理时中烟 100、K326、红花大金元和豫烟 3 号茎部干物质积累量显著下降, 其余烤烟品种茎部干物质积累量无显著变化, 表明低 Cd 对烤烟茎部的生长无显著影响, 而高 Cd 会抑制部分烤烟品种茎部的生长。

从图 3 看出, C1 处理时除云烟 85, 其余烤烟品种叶片干物质积累量均显著增加, C2 处理时大多数烤烟品种叶片干物质积累量显著上升, 表明低、高 Cd 对烤烟叶片生长都有促进作用。

2.2 不同烤烟品种中 Cd 含量差异与敏感性分布

所有烤烟品种不同器官 Cd 含量均表现为叶片

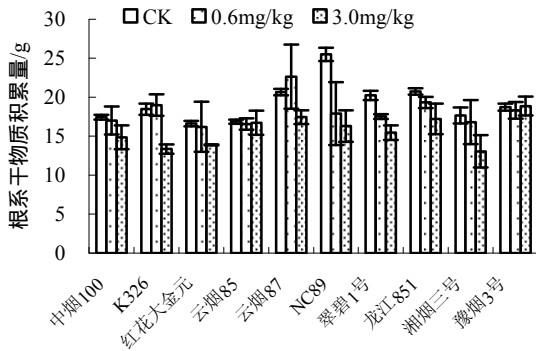


图1 不同烤烟品种根系干物质积累量
Fig. 1 Root mass for each variety

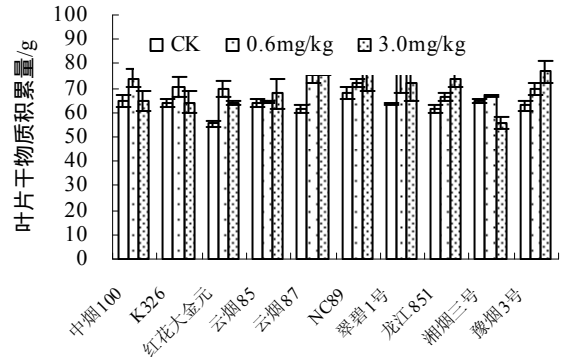


图3 不同烤烟品种叶片干物质积累量
Fig. 3 Leaf mass for each variety

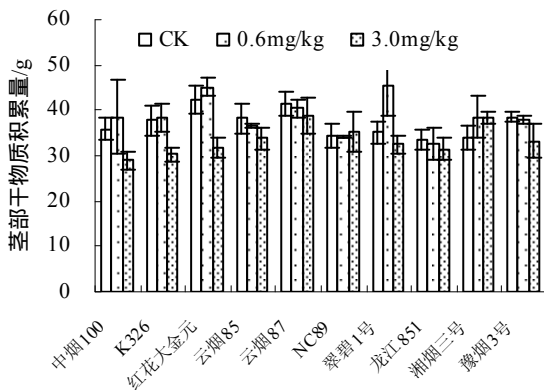


图2 不同烤烟品种茎部干物质积累量
Fig. 2 Stem mass for each variety

> 茎 > 根,且各器官对 Cd 的富集作用随 Cd 添加量上升逐渐增强(表1),这与前人对单个或少数烟草品种的研究结果一致^[13,17]。

土壤 Cd 含量相同时,不同烤烟品种各器官 Cd 含量有所差异。以烟叶为例,CK 处理叶片 Cd 含量

红花大金元、NC89 和云烟 85 显著高于其他品种;翠碧 1 号和豫烟 3 号显著低于其他品种,C1 处理叶片 Cd 含量红花大金元和龙江 851 显著高于其他品种,云烟 87、中烟 100 显著低于其他品种;C2 处理叶片 Cd 含量 K326、龙江 851 和云烟 87 显著高于其他品种,中烟 100、翠碧 1 号、豫烟 3 号和云烟 85 显著低于其他品种(表 1)。可见,土壤 Cd 含量变化,各烤烟品种之间 Cd 含量的差异也不同,而且随着土壤 Cd 含量的提高,品种之间的差异性也变大,这与不同品种对土壤 Cd 变化的响应敏感性差异有关。

采用添加 Cd 处理与 CK 处理 Cd 含量的比值表示烤烟各器官 Cd 含量对土壤 Cd 含量差异的响应敏感性,如表 2 所示。

从表 2 看出,在低、高 Cd 添加量下中烟 100

表 1 不同烤烟品种根、茎、叶的 Cd 含量 mg/kg

Table 1 Cd content in the root, stem and leaf of each variety

品种	根			茎			叶			迁移系数		
	CK	C1	C2	CK	C1	C2	CK	C1	C2	CK	C1	C2
中烟 100	0.27ab	2.12d	12.28d	0.50b	2.75f	13.70e	1.88c	14.66d	58.79e	6.89c	6.92f	4.79e
K326	0.28ab	2.19cd	16.13a	0.42c	3.23e	19.52a	1.56e	15.79c	85.52a	5.59d	7.20ef	5.30d
红花大金元	0.28ab	1.85e	12.97c	0.61a	3.45cde	19.02a	2.54a	20.81a	79.71b	9.04ab	11.26a	6.15bc
云烟 85	0.20cd	2.22cd	9.89e	0.35de	3.31de	12.79f	2.00b	18.53b	64.25d	9.82a	8.36bcd	6.50ab
云烟 87	0.27ab	1.81e	12.27d	0.39cd	2.36g	14.98d	1.48e	12.48e	83.81a	5.44d	6.88f	6.83a
NC89	0.29a	2.37bc	12.23d	0.52b	3.58c	15.59c	2.02b	18.09b	71.66c	6.97c	7.65def	5.86c
翠碧 1 号	0.24bc	2.17d	12.04d	0.42c	3.53cd	15.86c	1.27g	18.70b	63.25d	5.35d	8.63b	5.26d
龙江 851	0.20cd	2.62a	16.46a	0.42c	4.31b	16.70b	1.68d	20.90a	84.24a	8.35b	7.99bcd	5.12de
湘烟 三号	0.24bc	1.90e	14.14b	0.35de	3.24e	15.55c	1.66d	16.28c	73.18c	7.01c	8.55bc	5.18de
豫烟 3 号	0.17d	2.42b	13.32c	0.34e	4.69a	17.90b	1.40f	18.91b	64.19d	8.44b	7.81cde	4.82e

注:表中数值为 3 次重复的平均值,不同字母表示在 5%水平下差异显著,下同。

和红花大金元叶片 Cd 含量变化最小,说明 Cd 对这两个烤烟品种叶片 Cd 含量的影响小于其他品种,即中烟 100 和红花大金元对土壤 Cd 响应敏感性差。对土壤 Cd 响应敏感性较强的烤烟品种因土壤 Cd 添加量不同而异:低 Cd 添加时翠碧 1 号、豫烟 3 号和龙江 851 叶片 Cd 含量变化较其他品种大,对土壤 Cd 响应敏感性较强;高 Cd 添加时云烟 87、K326 叶片 Cd 含量变化较其他品种大,对土壤 Cd 响应敏感性较强。不同烤烟品种根和茎的响应敏感性变化规律与叶片基本相同。正是由于各烤烟品种对土壤 Cd 响应敏感性的差异,以致在不同土壤 Cd 含量时烤烟各器官 Cd 含量较高或较低的品种有所差异。

表 2 土壤添加 Cd 时不同烤烟品种根、茎、叶 Cd 含量变化敏感度

Table 2 Change sensitivity of the Cd content in the root, stem and leaf of each variety with Cd added

品种	根		茎		叶	
	C1/CK	C2/CK	C1/CK	C2/CK	C1/CK	C2/CK
中烟 100	7.75	44.82	5.49	27.36	7.79	31.26
K326	7.85	57.71	7.67	46.44	10.15	54.94
红花大金元	6.59	46.22	5.65	31.07	8.21	31.44
云烟 85	10.89	48.54	9.67	37.38	9.27	32.14
云烟 87	6.65	44.95	5.99	38.06	8.41	56.46
NC89	8.09	41.81	6.93	30.15	8.94	35.39
翠碧 1 号	9.03	50.10	8.32	37.42	14.70	49.70
龙江 851	13.01	81.92	10.32	40.02	12.45	50.18
湘烟三号	8.04	59.69	9.17	44.04	9.80	44.07
豫烟 3 号	14.66	80.51	13.92	53.17	13.54	45.94

由表 1 还可看出,随着土壤 Cd 含量的变化,烤烟不同品种根和茎的 Cd 含量差异变化与烟叶有所差异,这与不同烤烟品种根和茎对 Cd 的贮存能力与运输能力的差异有关。利用迁移系数,即叶片 Cd 含量/根 Cd 含量的比值,表征 Cd 从烤烟根系向叶片的迁移能力。10 个烤烟品种对 Cd 的迁移系数均远大于 1,大多数烤烟品种对 Cd 的迁移系数差异显著。随土壤 Cd 含量上升,中烟 100、K326、红花大金元、云烟 87、NC89、翠碧 1 号、湘烟三号的迁移系数先上升后下降,表明这些品种对 Cd 的运输能力受土壤高 Cd 含量抑制;而云烟 85、龙江 851、豫烟 3 号逐渐下降,表明这 3 个品种对 Cd 的运输能力随土壤 Cd 增加而降低,这与 Cd 对植株生长的影响有关。

2.3 不同烤烟品种各器官中 Cd 的累积与分布特征

如表 3 所示,烤烟根、茎、叶中的 Cd 积累量随土壤 Cd 添加量升高逐渐增加,叶片中的 Cd 积累量最高。在 CK 和 C1、C2 处理时,叶片中 Cd 的积累量分配率分别为 80.41%~87.01%和 86.87%~88.70%、83.94%~88.85%,烤烟从环境中吸收的 Cd 80%以上累积在卷烟原料叶片中。

从表 3 还看出,烤烟根、茎、叶中的 Cd 积累量存在显著的品种间差异。C1 处理时,红花大金元、翠碧 1 号和龙江 851 叶片中 Cd 的积累量最高,云烟 87、中烟 100 和湘烟三号叶片中的 Cd 积累量最

表 3 不同烤烟品种 Cd 的累积及在叶片中的分布 $\mu\text{g}/\text{株}$

Table 3 Cd accumulation and distribution in the leaf of each variety

品种	CK				C1				C2			
	根	茎	叶	叶片分配率/%	根	茎	叶	叶片分配率/%	根	茎	叶	叶片分配率/%
中烟 100	4.78bc	17.98b	122.03b	84.28	35.96cde	106.24de	1084.48cd	88.41	182.28c	398.02c	3813.14f	86.79
K326	5.16bc	15.87c	99.33e	82.53	41.66bcd	123.44cd	1110.01c	87.05	215.70bc	591.40ab	5494.26abc	87.19
红花大金元	4.66bc	25.94a	140.69a	82.14	29.12e	155.89ab	1451.90a	88.70	179.89c	604.49a	5092.42bcd	86.65
云烟 85	3.44d	13.10ef	110.74c	87.01	36.78cde	121.18d	1194.34bc	88.32	165.10c	431.92c	4362.83def	87.96
云烟 87	5.64b	16.36bc	91.67f	80.65	41.08bcd	95.47e	936.31d	87.27	214.23bc	594.84ab	6447.44a	88.85
NC89	7.47a	17.89b	138.18a	84.50	47.76ab	122.37cd	1306.61ab	88.48	199.47c	571.90ab	5671.22ab	88.03
翠碧 1 号	4.85bc	14.90cd	81.04g	80.41	38.01cd	168.28ab	1438.43a	87.46	186.14c	515.11b	4580.17cdef	86.72
龙江 851	4.17cd	14.01de	103.05de	85.01	50.52a	146.93bc	1386.14a	87.53	283.35a	526.05ab	6214.09a	88.48
湘烟三号	4.19cd	12.04f	107.76cd	86.91	34.89de	129.57cd	1088.04cd	86.87	184.19c	596.74ab	4083.10ef	83.94
豫烟 3 号	3.10d	12.97ef	87.94f	84.55	44.37abc	177.70a	1316.45ab	85.57	251.09ab	613.65a	4923.39bcde	85.06

低;C2处理时,云烟87叶片中Cd的积累量较高,中烟100叶片中的Cd积累量最低,这与叶片中Cd含量的品种间变化规律基本一致。

3 讨论

不同Cd添加水平对烤烟生长的影响不同,高浓度Cd对烤烟根系生长有抑制作用,这与吴玉萍等^[17]对烤烟品种K326的研究结果相同;Cd抑制烤烟根系生长却促进叶片的生长,表明烤烟根系比叶片对Cd的毒害反应更敏感,这与赵秀兰等^[10]在烟草幼苗上的研究结果一致。

本试验不同Cd处理下,Cd对烤烟根、茎、叶生长的影响因品种而异。有研究表明,植物可通过根部沉积、细胞壁固定和液泡分隔等作用来适应Cd毒害环境^[11],烟草还可以通过表皮毛分泌含Cd结晶使其在Cd较高的环境中仍能正常生长^[12]。因此,Cd对烤烟生长影响的品种间差异由什么生理机制造成,有待于进一步研究和探索。

本试验供试烤烟品种对Cd迁移系数均远大于1,表明烤烟根部向上运输Cd的能力很强。植物对Cd的累积与根系对Cd的吸收、Cd从根系向茎和叶片的运输及再分配有关^[18]。根据植物元素源库理论,根从土壤中吸收Cd,向其他器官转运,可认为是源;叶面接收茎运输的Cd,可认为是库;而茎既从根部接收Cd,也能向叶片输送Cd,所以茎既是源也是库。因此,与此前诸多研究一样^[10],本研究中的迁移系数只是相对的概念,不能代表绝对量的变化趋势,所以此相对迁移能力不能完全解释叶片与根、茎之间变化的差异。

本试验研究结果表明,烤烟吸收的Cd有80%以上累积在叶片中。土培试验^[10,14-15]和水培试验^[16]也表明,当栽培基质中的Cd浓度较高时,有些烟草品种的叶片中Cd含量可以达到100mg/kg以上,烟株吸收的Cd有68%~88%分布于叶片,表明烟草向叶片运输Cd的能力很强,具有超富集植物的特征。大部分Cd都运送到烟株叶片中,对于卷烟主要原料烟叶的生产是一种不利因素^[17]。

4 结论

烤烟不同品种间烟株Cd含量与Cd积累量存在差异,且因不同品种对土壤Cd变化的敏感性不同而变化。Cd正常水平土壤中翠碧1号和豫烟3号叶片Cd含量较低,Cd警戒水平土壤中烟100、云烟87叶片Cd含量较低,Cd污染土壤中烟100、翠碧1号、豫烟3号和云烟85叶片Cd含量较低。不同烤烟品种对土壤Cd变化的敏感响应程度不同,中烟100、红花大金元、NC89对Cd敏感性较低。烤烟从环境中吸收的Cd80%以上积累在卷烟主要原料叶片中,因此,要尽量选择Cd含量较低的土壤中进行烟叶生产,同时尽量选择叶片Cd含量低且对Cd敏感性差的烤烟品种,以提高烟叶生产安全性。

参考文献

- [1] 谢黎虹,许梓荣.重金属镉对动物及人类的毒性研究进展[J].浙江农业学报,2003,15(6):376-381.
- [2] 邓文靖,郑海龙,陈新庚.基因工程改良植物对重金属污染土壤的修复[J].生态环境,2004,13(3):403-405.
- [3] 郎明林,张玉秀,柴团耀.植物重金属超富集机理研究进展[J].西北植物学报,2003,23(11):2021-2030.
- [4] 张艳玲,周汉平.烟草重金属研究概述[J].烟草科技,2004(9):20-23.
- [5] 王晓敏.贵州植烟区土壤重金属污染状况及其对烟叶安全的影响评价[D].贵阳:贵州大学,2009.
- [6] 刘双营,李彦娥,赵秀兰.不同品种烟草镉吸收的动力学研究[J].中国农学通报,2010,26(5):257-261.
- [7] 刘义新,陶涌,孟丽华,等.烤烟品种K326和云烟87对镉胁迫的生理响应及抗性差异[J].中国烟草科学,2008,29(4):1-5.
- [8] 赵秀兰,刘晓.不同品种烟草生长和镉及营养元素吸收对镉胁迫响应的差异[J].水土保持学报,2009,23(1):117-121.
- [9] Ashraf M, Vera I S, Andrei A. Genotypic Variation of the Response to Cadmium Toxicity in *Pisum Sativum* L. [J]. Journal of Experimental Botany, 2005, 56(409): 167-178.
- [10] 赵秀兰,李彦斌.烟草积累与忍耐镉的品种差异[J].西南大学学报:自然科学版,2007,29(3):110-114.

(下转第76页)

- 报告[J]. 中国烟草, 1996 (1) : 45-46.
- [13] 刘挺, 何昆, 万辉, 等. 四川凉山烟区土壤肥力综合评价[J]. 江西农业学报, 2011, 23 (6) : 101-104.
- [14] 鲁黎明, 尹园, 胡建新, 等. 凉攀烟区烤烟微量元素含量与常规化学成分相关性分析[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46 (3) : 252-257, 267.
- [15] 窦玉青, 张伟峰, 程森, 等. 产地对主栽烤烟品种主要化学成分的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(1) : 53-58.
- [16] 杨铁钊, 杨志晓, 林娟, 等. 不同烤烟基因型根际钾营养和根系特性研究[J]. 土壤学报, 2009, 46 (4) : 646-651.
- [17] 徐晓燕, 马毅杰, 张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J]. 土壤通报, 2003, 34(5) : 489-492.
- [18] 王文忠, 徐生瑞. 施钾对两种土壤钾素动态变化影响的研究[J]. 土壤通报, 2001, 32 (3) : 120-122.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [20] 化党领, 介晓磊, 谭金芳, 等. 中国烟草钾营养研究现状 () 烟草生长过程中钾积累分配与钾素调控等研究综述[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (10) : 218-222.
- [21] 吴云霞, 吕英. 氮磷钾在烤烟不同生育时期茎叶中的动态分布[J]. 华北农学报, 2000, 15 (S1) : 194-196.
- [22] 鲁黎明, 朱靓, 雷强, 等. 四川烤烟主产区烟叶感官质量及主要化学成分分析[J]. 草业学报, 2012, 21(4) : 88-97.
- [23] 赵正雄, 殷红慧, 李宏光, 等. 断根追钾条件下减量施氮对烟株后期氮、钾吸收及烟叶产量质量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34 (7) : 1294-1298.
- [24] 叶协锋, 杨超, 刘国顺, 等. 烟草钾素研究进展[J]. 河南农业科学, 2004 (11) : 15-20.
- [25] 张明发, 朱列书. 烤烟不同生育期供钾水平对叶片钾含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30 (1) : 23-25.

(上接第 68 页)

- [11] 李兆君, 马国瑞, 徐建民, 等. 植物适应重金属 Cd 胁迫的生理及分子生物学机理[J]. 土壤通报, 2004, 35 (2) : 234-238.
- [12] Choi Y E, Harada E, Wada M, et al. Detoxification of Cadmium in Tobacco Plants: Formation and Active Excretion of Crystals Containing Cadmium and Calcium Through Trichomes [J]. Planta, 2001, 213: 45-50.
- [13] 张晓海. 不同施肥水平下烤烟对重金属元素的吸收分配研究[J]. 农业实验与产业化, 2005 (11) : 144-146.
- [14] Angelova V, Ivanov K, Ivanova R. Effect of chemical forms of lead, cadmium, and zinc in polluted soils on their uptake by tobacco [J]. Journal of Plant Nutrition, 2004, 27, 5: 757-773.
- [15] Teresa D, Apoloniusz B. Variation for cadmium uptake among Nicotiana Species [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2004, 51: 323-333.
- [16] Wagner G J, Yeagan R. Variation in Cadmium Accumulation Potential and Tissue Distribution of Cadmium in Tobacco [J]. Plant Physiology, 1986, 82: 274-279.
- [17] 吴玉萍, 杨虹琦, 徐照丽, 等. 重金属镉在烤烟中的累积分配[J]. 中国烟草科学, 2008, 29 (5) : 37-39.
- [18] Dunbar K, McLaughlin M J, Reid R J. The Update and Partitioning of Cadmium in Two Cultivars of Potato (Solanum Tuberosum L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(381): 349-354.