

不同品种菜心对镉抗性的研究

徐照丽^{1,2}, 吴启堂¹, 依艳丽²

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642; 2. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘要: 以对镉(Cd)抗性不同的两个菜心品种特青 60 天和迟心 2 号为试验材料, 用盆栽土培试验的方法研究了在不同浓度 Cd 处理下(0mg/kg, 1. 0mg/kg, 3. 0mg/kg, 10. 0mg/kg)Cd 在菜心体内累积及迁移的差异, 并探讨了造成差异的机理。研究结果表明: Cd 处理下, 特青 60 天茎叶中积累的 Cd 比迟心 2 号的少, 在高 Cd 浓度(10. 0mg/kg)下, 与对照相比, 特青 60 天的干重明显增加, 而迟心 2 号的干重则显著降低。进一步分析研究发现, 在相同的 Cd 处理下, 特青 60 天中 Cd 的迁移率较小, 特别是在 3. 0mg/kg Cd 处理下比迟心 2 号的低 5. 62%; 根系细胞壁中的 Cd 所占的比例比迟心 2 号的高; 特青 60 天根系中全硫(S)的含量比迟心 2 号的高, 而且随着 Cd 处理浓度的增加, 全 S 含量提高, 但迟心 2 号中 S 含量的变化趋势与之不同; 特青 60 天根系汁液的 pH 值比迟心 2 号的高, 且汁液中 Cd 的含量比迟心 2 号的低; 相关分析的结果显示: 根系汁液中的 Cd 含量与茎叶汁液中 Cd 的含量呈显著的正相关关系。以上的结果可能造成了特青 60 天中 Cd 在根系内的活性和迁移能力较低, 减少了 Cd 由根系向茎叶的迁移, 从而使特青 60 天对 Cd 的抗性高于迟心 2 号。

关键词: 菜心; 镉; 抗性; 迁移

Studies on the Resistance to Cadmium in Different Cultivars of *Brassica parachinensis*

XU Zhao-Li^{1,2}, WU Qi-Tang¹, YI Yan-Li² (1. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. College of Natural Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 571~576.

Abstract: The differences of translocation and accumulation of cadmium (Cd) in *Brassica parachinensis* of different Cd-resistant cultivars, Chixin-2 and Teqing-60, and their mechanisms were investigated with pot experiment in greenhouse under the different Cd treatment (0mg/kg, 1. 0mg/kg, 3. 0mg/kg, 10. 0mg/kg). The results showed that, at the same Cd treatment, the resistant cultivar Teqing-60 accumulated fewer Cd in shoots than Chixin-2. Under the higher Cd concentration (10. 0mg/kg), dried weight of Teqing-60 was significantly increased, while that of Chixin-2 was remarkably decreased, compared to the control. In Chixin-2, dried weight of shoot and root were decreased by 52. 54% and 68. 85%, respectively. Furthermore, the translocation rate of Cd from root to shoots was lower in Teqing-60, especially under the 3. 0mg/kg Cd treatment, lower by 5. 62%, than that in Chixin-2. But the proportion of Cd in root cell wall in Teqing-60 was higher than that in Chixin-2. The total sulfur content in root were higher. Moreover, total sulfur in Teqing-60 were raised by 25. 78% to 43. 50%, but that in Chixin-2 were reduced by 1. 0% to 32. 60%, after adding Cd to soil. And pH value of root sap in Teqing-60 were higher than that in Chixin-2, higher by 1. 02 pH unit, specially under 3. 0mg/kg Cd treatment. Cd content in root sap was lower for Teqing-60, accordingly, the activity and translocation ability of Cd in Teqing-60 were lower than that in Chixin-2. And the Cd content in root sap were positively correlated with that in shoot ($R^2=0. 8151, n=8$). The above results might be the reasons why the resistance of Teqing-60 to cadmium was higher than that of Chixin-2.

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(980122); 教育部骨干教师基金资助项目

收稿日期: 2000-12-14; 修订日期: 2001-11-12

作者简介: 徐照丽, 女, 昆明人, 博士。主要从事农业环境保护和污染生态学的研究。现在云南烟草科学研究院生物技术重点实验室工作(昆明, 650106)。

Key words: *Brassica parachinensis*; cadmium; resistance; translocation

文章编号: 1000-0933(2002)04-0571-06 中图分类号: X53 文献标识码: A

镉(Cd)是一种动植物非必需的重金属元素,其在土壤中的活性较强,易于被植物吸收累积,当其浓度超过一定限度时,会影响植物的正常代谢活动和生长发育,从而导致作物不同程度的减产,乃至死亡^[1]。更为严重的是 Cd 能被植物吸收富集而进入食物链,威胁着人畜的健康,发生在日本富士县的“骨痛病”即是明显的一例。因此,有关 Cd 的研究受到广泛关注^[2~5]。近年来,植物对 Cd 的抗性差异及机理的研究受到较多的重视,研究结果表明:不同种类的植物^[6,7]和同一植物的不同品种间^[8~10]对 Cd 的抗性均存在差异,但是对不同作物品种抗 Cd 性机理研究得不够深入。本研究以我国南方的一种主要的蔬菜——菜心为试验材料,在已筛选出的对 Cd 抗性不同的两个菜心品种的基础上^[9],研究了在盆栽土培的条件下,两个品种对 Cd 的吸收累积及抗性的差异,以期对抗 Cd 菜心品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所选菜心品种为特青 60 天和迟心 2 号。

1.2 盆栽试验

土壤是采自华南农业大学农场的水稻土。其基本理化性质为:有机质含量为 25.72mg/g;CEC 为 9.13cmol/kg;全 N、P、K 分别为 1.32mg/g、0.38mg/g、15.60mg/g;pH 值为 6.59;Cd 的本底值是 0.044mg/kg。土壤风干后,过 0.5mm 的筛,然后混合均匀,称 4.5kg 土,加入化肥,其中:N 是 200mg/kg 土;P₂O₅ 是 150 mg/kg 土;K₂O 是 200 mg/kg 土,混匀,再加入一定量配制好的 CdCl₂ 溶液至所需要的浓度(1.0mg/kg,3.0mg/kg,10.0mg/kg),混匀,每个处理重复 3 次,加水至土壤田间持水量的 60%,在温室中培养平衡 2 周后,再次混匀,播种。至幼苗长至 3 片真叶时,间苗,每盆保留 4 棵,当菜心开始抽薹时(大约需 40~50d),分别收获茎叶和根,洗净,分为两份,一份烘干,用于测定干重及 Cd 的含量,另一份放超低温冰箱(-70℃)保存,用于细胞壁的分离、汁液 pH 值和汁液中 Cd 含量的分析测定。

1.3 测定方法

Cd 含量的测定用日立 180-80 原子吸收光谱仪火焰吸收法或石墨炉法测定。细胞壁的分离采用分级离心法^[11],菜心中磷(P)和硫(S)的测定^[12]、汁液 pH 的测定^[13]均采用文献方法。

2 结果与讨论

2.1 Cd 处理对菜心干物重的影响

与未加 Cd 处理相比,土壤中添加 Cd 后,特青 60 天茎叶的生物量均显著增加,不同 Cd 浓度(1~10mg/kg)间茎叶的生物量差异不明显,3.0mg/kg 和 10.0mg/kg 处理下根部的干重与对照相比显著增加;而 Cd 处理使迟心 2 号的生物量明显下降,其中以高浓度(Cd10.0mg/kg)处理时的效果最明显,茎叶干重下降 52.54%,根系干重下降 68.85%,这表明高浓度的 Cd 影响了迟心 2 号细胞正常的生理生化活动^[14],使其生长受到了严重的抑制(表 1)。也说明抗性品种特青 60 天耐 Cd 性高于迟心 2 号。这与以前的研究结果相一致^[9]。

2.2 Cd 处理对菜心中 Cd 含量的影响

随土壤中 Cd 处理浓度的增加,两个品种菜心中 Cd 含量均显著提高。相同 Cd 处理下,迟心 2 号茎叶中的 Cd 含量均高于特青 60 天,表明茎叶中 Cd 的含量与菜心对 Cd 的抗性有关,这与 Chardonnens 等人^[15]对 *Stilene vulgaris* 的研究结果相似。在添加 1.0mg/kg 和 3.0mg/kg Cd 处理下,两品种根中的 Cd 浓度无明显差别,当添加 Cd 的浓度为 0mg/kg 和 10.0mg/kg 时,迟心 2 号根中 Cd 含量高于特青 60 天(表 2)。

2.3 不同菜心品种中 Cd 迁移率的差异

迁移率是用来表示 Cd 由根向茎叶迁移能力的一个重要指标,迁移率的高低直接表明了 Cd 在菜心中迁移能力的大小。从表 3 中可以看出,在土壤添加 Cd 的处理中,迟心 2 号的迁移率均高于特青 60 天,这说明迟心 2 号将根系吸收的 Cd 转运到茎叶中的能力比特青 60 天的强,从而导致迟心 2 号茎叶中的 Cd 含量

较高,使迟心 2 号的生长受到抑制,生物量下降,对 Cd 的抗性较弱。

表 1 不同浓度 Cd 处理对菜心干物重的影响(g/pot)

Cd 的添加浓度(mg/kg) Cd content added		0.0	1.0	3.0	10.0
特青 60 天	茎叶 Shoot	9.24±0.32 ^{*B**}	11.25±0.85 ^A	11.21±1.16 ^A	11.75±0.52 ^A
Teqing-60	根 Root	0.35±0.06 ^b	0.34±0.04 ^b	0.45±0.08 ^a	0.48±0.10 ^a
迟心 2 号	茎叶 Shoot	16.88±1.28 ^A	12.02±0.93 ^C	14.13±1.54 ^B	8.18±0.46 ^D
Chixin-2	根 Root	0.61±0.14 ^a	0.47±0.07 ^b	0.42±0.07 ^b	0.19±0.03 ^c

* 平均值±标准差(以下相同) The means±SD(as same as the following). ** 根据 LSD 检验($P=0.05$),同一部位带有相同字母的平均值间无显著差异 According to LSD test($P=0.05$),the means at the same column followed by the same letter were not significantly different

表 2 不同 Cd 处理对不同品种中菜心 Cd (mg/kgDW)含量的影响

Cd 的添加浓度(mg/kg) Cd content added		0.0	1.0	3.0	10.0
特青 60 天	茎叶(shoot)	0.68±0.13 ^{*D}	3.24±0.26 ^C	6.75±0.82 ^B	35.87±3.12 ^A
Teqing-60	根(root)	0.86±0.09 ^d	10.96±1.08 ^c	23.98±2.16 ^b	37.66±1.98 ^a
迟心 2 号	茎叶(shoot)	0.80±0.24 ^D	6.37±0.48 ^C	10.85±1.14 ^B	36.94±2.82 ^A
Chixin-2	根(root)	1.33±0.15 ^d	10.13±0.86 ^c	26.91±1.56 ^b	48.53±3.64 ^a

* 同表 1 Same as in table 1

表 3 不同浓度 Cd 处理对不同品种菜心中 Cd 迁移率* 的影响(%)

Cd 的添加浓度(mg/kg) Cd content added		0.0	1.0	3.0	10.0
特青 60 天	Teqing-60	95.44±0.53 ^A	90.72±0.18 ^{AB}	87.52±0.46 ^B	95.89±1.06 ^A
迟心 2 号	Chixin-2	94.41±0.24 ^{ab}	94.15±0.31 ^{ab}	93.14±0.82 ^{ab}	97.04±0.34 ^a

* 迁移率(%)=菜心茎叶的吸 Cd 量/菜心整株吸 Cd 总量 Translocation rate(%)=Cd uptake by shoot/Cd uptake by whole plant

2.4 根系细胞壁中 Cd 的含量与 Cd 迁移的关系

一般情况下,根系细胞壁是 Cd 进入植物体的第一道屏障,Cd 通过与细胞壁上的糖类、木质素、纤维素等物质结合而失去活性,从而减少 Cd 对植物的毒害。Nishizono 等^[16]人发现,*Athyrium yokoscense* 的根吸收的 Cd 中有 70%~90% 累积在根尖的细胞壁上。研究发现(图 1),土壤中添加 Cd 为 1.0mg/kg~3.0mg/kg 时,两品种根系细胞壁中 Cd 所占的比例(指的是细胞壁中的 Cd 量占根系总吸 Cd 量的百分率)与对照相比都增加。这可能是菜心在 Cd 的作用下产生的保护性反应,增加了根系对 Cd 的结合能力,从而减少 Cd 对植物的伤害^[17]。但随着 Cd 处理浓度的提高(10.0mg/kg),两品种细胞壁中 Cd 的比例又呈下降的趋势,特别是迟心 2 号根系细胞壁中 Cd 的比例比对照时略低,说明此时 Cd 的毒害作用大于菜心对 Cd 的适应性,保护性反应失去作用。这可能与以下两个方面的原因有关:①外界的 Cd 的浓度过高,对根系造成了伤害(使迟心 2 号根系的干物重下降了 68.85%),②根系中的 Cd 浓度太高,超出了细胞壁对 Cd 的结合能力,也从一

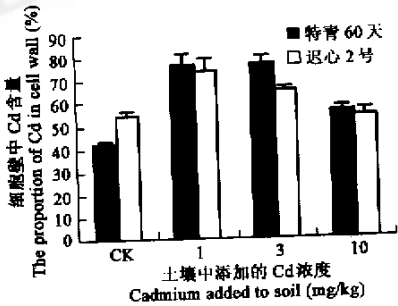


图 1 不同菜心品种根系细胞壁中 Cd 所占的比例
Fig. 1 The proportion of Cd in the root cell wall of different cultivars

个侧面说明,根系细胞壁结合 Cd 的能力是有限的,只能在一定的浓度范围内起作用。Hart 等^[18]的研究也发现,小麦细胞壁对 Cd 的吸附存在饱和现象,在 1.0 μ M Cd 处理时,小麦吸收的 Cd 主要与根系的细胞壁结合,但在高 Cd 浓度(90.0 μ M)时,细胞壁结合 Cd 的能力达到饱和。在土壤未加 Cd 的情况下,迟心 2 号细胞壁中 Cd 的比例高于特青 60 天;在 Cd 污染处理下,特青 60 天根系细胞壁结合 Cd 的比例高于迟心 2 号,表明特青 60 天根系细胞壁结合 Cd 的能力比迟心 2 号的强,根系中 Cd 的相对活性低于迟心 2 号,可向茎叶迁移的 Cd 量减少,从而减少了 Cd 对特青 60 天正常生理功能的影响;而迟心 2 号根系吸收的 Cd 向茎叶迁移的能力强,使迟心 2 号的茎叶累积较多的 Cd,影响了迟心 2 号的正常生长,导致生物量的大幅度下降,使其对 Cd 的抗性减弱,而且茎叶中 Cd 的浓度大,也相应增加了对食用者的潜在危害。

2.5 根系中全硫的含量与 Cd 迁移的关系

近年来,有关 S 对植物吸收 Cd 的影响以及在对 Cd 的解毒方面的作用研究得较多。研究结果表明,根系中的 S 增加,有助于富含 S 的植物螯合肽(phytochelatins)的形成,将进入体内的大部分 Cd²⁺螯合滞留在根部,从而减少 Cd 向茎叶的迁移,减轻 Cd 的毒害^[19]。杨明杰^[7]等人的研究也发现,作物对 Cd 的抗性与根部 S 含量的高低有关,根部 S 的积累可提高植物的耐 Cd 性,土壤中 Cd 浓度提高后,耐 Cd 毒性强的黑麦草中 S 的积累成倍增加。Reese^[20]等人的试验还发现,番茄中的 S 含量很高时,可与体内的 Cd 生成 CdS 的微晶体。在试验中,土壤中未添加 Cd 时,迟心 2 号根系中的 S 含量高于特青 60 天(图 2);在土壤添加不同浓度的 Cd(1~10mg/kg)后,特青 60 天根系中的 S 含量增加,吸 S 量比对照增加了 25.78%~43.50%,而迟心 2 号中的全硫量与对照相比均降低,特别是在高浓度(10.0mg/kg) Cd 处理时,根中 S 的含量下降得更明显(下降了 32.51%),可能与根系受 Cd 毒害后对 S 的吸收受阻有关。而且在相同的 Cd 处理下,特青 60 天根系中的 S 含量均高于迟心 2 号,这可能使根系螯合滞留的 Cd 增加^[19],减少了 Cd 向茎叶的迁移及对茎叶的危害,增强了特青 60 天对 Cd 的抗性,与 Popovic 等^[21]在甜菜上的研究结果一致。

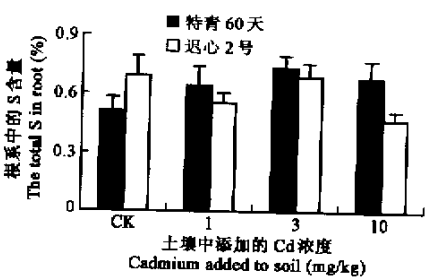


图 2 不同菜心品种中根系全 S 的含量

Fig. 2 The total sulfur in the root of different cultivars

2.6 根系汁液的 pH 值与 Cd 迁移的关系

作物体内的汁液 pH 值,对汁液中离子的存在形态有很大的影响。根系汁液中 pH 值较高,可使自由 Cd²⁺离子所占的比例下降,Cd 的活性降低。从图 3 中可以看出,特青 60 天根系汁液的 pH 随 Cd 处理浓度的增加呈上升的趋势;而迟心 2 号根系汁液的 pH 值在小于 3.0mg/kgCd 处理时下降,在 10.0mg/kgCd 处理时 pH 值回升,但都比对照低。在相同 Cd 处理下,特青 60 天根系的 pH 值均高于迟心 2 号。这一结果与迁移率的结果相符(表 3),特别在 3.0mg/kgCd 处理时表现得最明显,迟心 2 号的 pH 下降得最大,下降了 1.02 个 pH 单位,Cd 的迁移率相差也最明显,迟心 2 号中 Cd 的迁移率比特青 60 天高 5.62%。说明根系汁液的 pH 对 Cd 的迁移有一定的影响,是影响菜心对 Cd 抗性的重要因素之一。

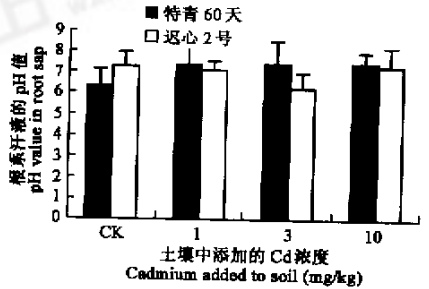


图 3 不同菜心品种中根系汁液的 pH 值

Fig. 3 pH value in root sap of different cultivars

2.7 根系汁液中 Cd 含量与 Cd 迁移的关系

菜心根系汁液中 Cd 浓度直接影响着 Cd 由根系向茎叶的迁移。随土壤中 Cd 处理浓度的提高,两个品种根系汁液中 Cd 的含量均提高(图 4)。在同一 Cd 浓度下,迟心 2 号根系汁液中的 Cd 浓度均大于特青

60 天的。这是因为特青 60 天根系中 S 的含量高,络合的 Cd 也多,根系细胞壁结合的 Cd 多,使根系汁液中的 Cd 量相应地减少,另外,特青 60 天根系汁液的 pH 值高于迟心 2 号,使特青 60 天根系汁液中 Cd 的活度较低,而迟心 2 号中 Cd 的活度相对较高,从而造成迟心 2 号对 Cd 的迁移能力比特青 60 天的强,其根系吸收的 Cd 易于向茎叶迁移。进一步分析得知,汁液中的 Cd 浓度与菜心茎叶中 Cd 的含量呈极显著正相关关系($R^2=0.8151, n=8$)(图 5),说明根系汁液中 Cd 的含量在根系吸收的 Cd 由根部向茎叶的运输中发挥着重要的作用。Floriijn^[22]研究也发现,玉米汁液中 Cd 的浓度与茎叶含 Cd 量有正相关关系。

3 结论

3.1 不同品种的菜心对 Cd 的抗性不同,特青 60 天对 Cd 的抗性高于迟心 2 号,在相同的处理下,迟心 2 号茎叶中 Cd 的浓度比特青 60 天的高。因此在栽培和选育品种时,可以选择对 Cd 抗性强、吸收少的作物,以减少对食用者的危害。

3.2 土壤添加 Cd 的浓度相同,Cd 在特青 60 天中迁移率比迟心 2 号的小,特青 60 天根系细胞壁中 Cd 所占的比例、根中的全 S 量和根系汁液的 pH 值均高于迟心 2 号,而汁液中 Cd 的浓度则低于迟心 2 号,使 Cd 在特青 60 天根系中的活性和迁移性较低,减少了 Cd 由根系向茎叶的迁移,从而导致特青 60 天对 Cd 的抗性高于迟心 2 号。但是菜心中 Cd 具体以何种形态存在、Cd 的形态与 Cd 的迁移性及抗性的关系如何,尚需进一步研究。

参考文献

[1] Dong K Y (董克虞),Chen J M (陈家梅). The effect of cadmium on crops growth and the relationships with the cadmium uptake and accumulation. *Environmental Science*(in Chinese)(环境科学), 1982,3(4):31~33.

[2] Salt D E, Prince R C, Prickering I J, *et al.* Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian Mustard. *Plant Physiology*. 1995,109:1427~1433.

[3] Iretskaya S N, Chien S H. Comparison of cadmium uptake by five different food crops grown on three soils of varying pH,Communication soil science and plant analysis. 1999,30:441~448.

[4] Zhang J B (张金彪), Huang W N (黄伟南). Advances on physiological and ecological effects of cadmium on plants. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, 20(3): 514~523.

[5] Qin T C (秦天才), Wu Y S (吴玉树), Wang H X (王焕校), *et al.* Effect of cadmium, lead and their interactions on the physiological and ecological characteristics of root system of *Brassica chinensis*. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报),1998,18(3): 320~325.

[6] Yang G R (杨居荣),He J Q (贺建群),Zhang G X(张国祥), *et al.* Tolerance mechanism of crops to Cd pollution. *Journal of Applied Ecology* (in Chinese)(应用生态学报),1995,6(1):87~91.

[7] Yang M J(杨明杰),Lin X Y (林咸永),Yang X E(杨肖娥). Impact of Cd on growth and nutrient accumulation of different *Brassica chinensis*. *Journal of Applied Ecology* (in Chinese)(应用生态学报),1998,9(1):89~94.

[8] Li J M (李俊梅),Wang H X (王焕校). The difference of effect on physiological and ecology in Maize under Cd

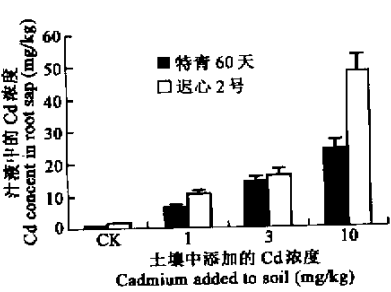


图 4 不同菜心品种根系汁液中 Cd 的含量

Fig. 4 Cd concentration in root sap of different cultivars

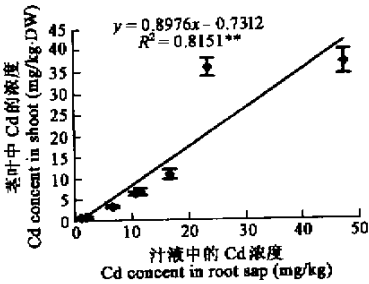


图 5 汁液中 Cd 浓度与茎叶中 Cd 浓度的关系

Fig. 5 The relationship of Cd content between in sap and in shoot

- stress. *Journal of Yunnan University(Natural Sources)* (in Chinese)(云南大学学报(自然科学版)), 2000, **22**(4): 311~317.
- [9] Wu Q T (吴启堂), Chen L (陈卢), Wang G S (王广寿), *et al.* Effect of chemical fertilizer sources on uptake and accumulation of Cd by *Brassica chinensis* cultivars. *Journal of Applied Ecology* (in Chinese)(应用生态学报), 1996, **7**(1): 103~106.
- [10] Wu Q T (吴启堂), Chen L (陈卢), Wang G S (王广寿). Differences on Cd uptake and accumulation among rice cultivars and its mechanism. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1999, **19**(1): 104~107.
- [11] Yang J R (杨居荣), Bao Z R (鲍子荣), Zhang S Q (张素芹). The distribution and solubility combination speciation of cadmium and lead. *China Environmental Science*(in Chinese)(中国环境科学), 1993, **13**(4): 263~268.
- [12] Li Y K (李西开主编). *The normal analysis methods on agricultural chemistry of soil*. Beijing: Science Press, 1983. 277~278, 283~284.
- [13] Zhou Y M (周艳明), Jiang S H (蒋式洪), Niu S (牛森). *Analysis of crops quality*(in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1990. 125~127.
- [14] Moral R G I. Effect of cadmium on nutrient distribution, yield and growth of tomato grown in soils culture. *Journal of plant nutrition*. 1994, **17**(6): 953~962.
- [15] Chardonnens A N, Bookum W M, Kuiper L D J, *et al.* Distribution of cadmium in leaves of cadmium tolerant and sensitive ecotypes of *Silene vulgaris*. *Physiologia plantarum*. 1998, **104**: 75~80.
- [16] Nishizono H, Ichikawa H, Suzuki S, *et al.* The role of the root cell wall in the heavy metal tolerance of *Athyrium yokoscense*. *New Phytologist*. 1987, **101**: 15~20.
- [17] Xia H P (夏汉平). Studies on Cd in soil-plant system. *Journal of Applied and Environmental Biology* (in Chinese) (应用与环境生物学报), 1997, **3**(3): 289~298.
- [18] Hart J J, Welch R M, Norvell W A, *et al.* Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. *Plant physiol.*, 1998, **116**: 1413~1420.
- [19] Yang X, Baligar V C, Maertens D C. Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. *Journal of plant nutrition*. 1996, **19**: 643~657.
- [20] Reese R N, White C A, Winge D R. Cadmium-sulfide crystallites in Cd-(γ EC)nG peptide complexes from tomato. *Plant Physiol.*, 1992, **98**: 225~229
- [21] Popovic M, Evresan D, Kandrac J, *et al.* 1996. The role of sulphur in detoxification of cadmium in young sugar beet plants. *Biol. Plant*, **38**: 281~287.
- [22] Florijn P J, van Beusichem M L. Uptake and distribution of cadmium in maize inbred lines. *Plant and soil*, 1993, **150**: 25~32.