

不同积累镉能力的白菜吸收累积镉特征研究

茹淑华¹ 张国印¹ 耿 暖¹ 孙世友¹ 王 凌² 陈贵今¹ 祁耀正²

(1. 河北省农林科学院 农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051; 2. 河北省永年县原种场, 河北 永年 057153)

摘要: 采用盆栽试验方法,研究了4种不同积累镉能力白菜吸收累积镉的特征。分别对4种不同积累Cd能力白菜地上部Cd含量与土壤全Cd含量之间的关系分别用数学模型进行模拟,发现二者均分别符合线性或二次曲线模型。结果表明4种不同积累Cd能力的白菜地上部Cd含量与土壤全Cd含量之间的相关性均达到显著水平。白菜为叶菜类蔬菜,按GB2762-2005规定的叶菜类蔬菜中Cd最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部Cd含量为0.2 mg/kg时,种植白菜新北京3号、北京小杂60、多抗3号和早心白所允许的最大土壤Cd含量分别为1.74, 2.25, 0.603和0.842 mg/kg。可见土壤Cd含量低于1.0 mg/kg是安全生产白菜的重要控制指标。

关键词: 白菜; 镉; 吸收; 累积; 特征

中图分类号: S143 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)增刊-0170-06

Characteristics of Cadmium Uptake and Accumulation among Different Cadmium Accumulator Chinese Cabbages Cultivars

RU Shu-hua¹ ZHANG Guo-yin¹ GENG Nuan¹ SUN Shi-you¹ WANG Ling¹ CHEN Gui-jin¹ QI Yao-zheng²

(1. Institute of Agro-resource and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Yongnian Former Farm, Yonnian 057153, China)

Abstract: The soil culture experiments were performed to study the difference of Cadmium uptake and accumulation among 4 different Chinese cabbages cultivars. The relationship between shoot Cd concentration of four Chinese cabbages cultivars and soil Cd concentration could be simulated by mathematic model. Positive linear correlation and quadratic curve were found between both. Test results suggested that correlation of both relationship attained significant level. According to the provisions of leafy vegetables the maximum allowable limit of Cd standard of 0.2 mg/kg in the GB2762-2005, maximum soil Cd concentration for Xinbeijing3 hao, Beijingxiaozha 60, Duokang 3 hao and Zaoxinbai were 1.74, 2.25, 0.603 and 0.842 mg/kg significantly. The soil Cd concentration of 1.0 mg/kg were the important control indicator for the vegetable food security.

Key words: Chinese cabbage; Cadmium; Uptake; Accumulation; Characteristic

Cd是土壤中最常见的重金属污染元素之一,并且在土壤中有较强的活性。与其他重金属相比,更易被作物吸收,通过食物链进入人体,损害人体健康^[1-2]。降低植物产品重金属含量可以从两个方面着手:①降低土壤重金属的含量和活性;②选用在食用部位累积量小的作物品种。由于植物存在遗传特异性,故不同种类和品种之间对Cd的吸收和累积表现出较大的差异性^[3-4]。因此,利用和改良作物对重金属Cd低吸收、低积累的遗传特性,保障农产

品的安全生产,已成为国际农业生物与环境科学的交叉前沿领域。据报道,十字花科芸薹属植物具有较强的吸收累积Cd的能力^[5-6]。芸薹属不同类蔬菜及同类蔬菜的不同品种之间吸收和累积Cd能力存在显著差异^[7]。叶菜类蔬菜对重金属Cd的生物富集程度最高,即使在土壤含量没有超标的情况下,仍有可能出现产品含量超标^[8]。据估计,人体中的Cd 70%来自于食品中的蔬菜^[9,10]。白菜(*Brassica pekinensis* L.)属十字花科芸苔属植物,品种繁多,是

收稿日期: 2011-04-11

基金项目: 河北省自然科学基金项目(C2008001180)

作者简介: 茹淑华(1973-),女,河北平山人,副研究员,硕士,主要从事施肥与农业环境方面的研究。

通讯作者: 张国印(1962-),男,山西陵川人,研究员,主要从事施肥与农业环境方面的研究。

我国栽培面积最大的蔬菜作物,年种植面积 267 万 hm^2 左右,约占全国蔬菜作物总种植面积的 15%;年总产量超过 1 亿 t,约占全国蔬菜总产量的 18.8%^[11]。叶菜类的白菜又是消费量最大的蔬菜之一,其质量安全性和安全生产措施更应受到关注。2008 年本课题组初步从河北省 20 个白菜主栽品种中筛选出 4 个不同积累 Cd 能力的白菜基因型^[12],本研究进一步深入研究了 4 个不同积累 Cd 能力的白菜吸收累积重金属 Cd 的特征,为控制和减少 Cd 进入食物链,降低 Cd 对人体的危害提供理论依据和生产指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验采用 4 种不同 Cd 积累能力的白菜品种购于河北省各蔬菜种子市场。其中,低积累 Cd 白菜品种:新北京 3 号(代号 XB3),北京小杂 60(代号 B60)。高积累 Cd 白菜品种:多抗 3 号(代号 DK3)和早心白(代号 ZXB)。试验用土壤采自河北省农林科学院大河实验园区。土壤质地为中壤土,pH 值(水与土为 5:1)为 7.80,土壤阳离子交换量为 13.1 cmol/kg ,有机碳含量为 1.89%,全 Cd 含量为 0.16 mg/kg ,有效 Cd(DTPA-Cd) 0.03 mg/kg 。试验采用装 2 kg 土的塑料盆。试验于 2009 年 10 月份在河北省农林科学院资环所温室进行。

1.2 试验方法

用温室土培盆栽试验,土壤设 6 个 Cd 水平,分别为对照 0(Cd0),1.0(Cd1),2.5(Cd2),5.0(Cd3),10.0(Cd4)和 20.0 mg/kg (Cd5),把相应量

的 CdSO_4 配成溶液,分别与过 3 mm 筛土壤反复混合均匀,然后在温室中稳定 7 d,并施入底肥: N: 0.30 g/kg , P_2O_5 : 0.20 g/kg , K_2O : 0.30 g/kg ,施入形态分别为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 , K_2SO_4 ,每盆装土 2 kg,每个处理设 4 次重复。待白菜出苗后,每盆保留 6 株,生长过程中用自来水浇灌,在白菜生长 60 d 时沿土面剪取地上部,称取鲜质量。带回实验室用纯水漂洗几遍,在 70℃ 下烘干,称取地上部的干质量。然后将样品磨碎,备测。植株样品用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消化,然后用原子吸收光谱法测定植株的 Cd 含量。样品分析过程中插入国家标准样品进行质量控制,数据用 SAS 软件进行统计检验。

2 结果与分析

2.1 不同土壤 Cd 含量对白菜地上部生物量的影响

从图 1 可以看出,随着土壤全 Cd 含量的增加,4 种不同积累 Cd 白菜地上部生物量均呈下降的趋势。与对照相比,在土壤全 Cd 含量分别为 10.0, 5.0, 5.0 和 5.0 mg/kg 时,白菜新北京 3 号、北京小杂 60、早心白和多抗 3 号地上部生物量显著下降。在含镉的土壤上,白菜地上部生物量在最大生物量的 95% 以上时,视为白菜的生长不受土壤中镉的影响。从图 1 可以看出,4 种不同积累 Cd 白菜地上部生物量下降 5% 时,低积累镉白菜新北京 3 号和北京小杂 60 相对应的土壤镉含量分别为 2.04 mg/kg 和 3.49 mg/kg ,高积累镉白菜多抗 3 号和早心白相对应的土壤镉含量分别为 2.11 mg/kg 和 1.84 mg/kg 。这表明 4 种不同积累 Cd 白菜的生长均不受土壤中镉的影响时,白菜北京小杂 60 相对应的土

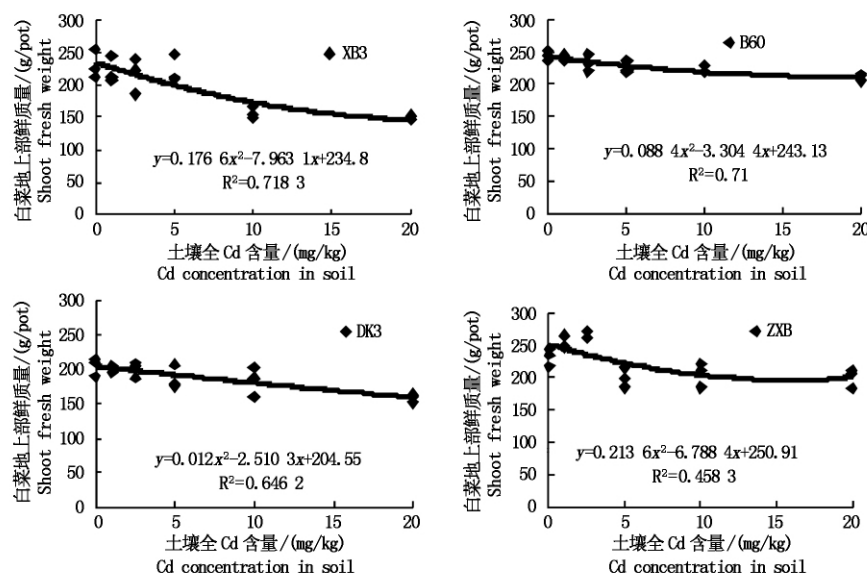


图 1 不同土壤 Cd 含量条件下白菜地上部的生物量

Fig. 1 Shoot fresh weight of Chinese cabbages grown on different Cd concentration soil

壤镉含量最高,其次是多抗 3 号和新北京 3 号。在土壤镉含量为 20.0 mg/kg 时 4 种不同积累 Cd 白菜的地上部生物量最低。此时,白菜新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白的地上部生物量各为最大生物量的 64.47%、86.47%、74.96% 和 86.59%,均远高于 50%。因此,在本研究中土壤 Cd 对白菜生长没有产生明显的毒害作用。可见,不同积累 Cd 白菜品种的耐 Cd 性不同,高积累 Cd 白菜早心白的耐 Cd 性高于多抗 3 号,低积累 Cd 白菜北京小杂 60 的耐 Cd 性高于新北京 3 号。

2.2 不同土壤 Cd 含量对白菜地上部 Cd 含量的影响

从图 2 可以看出,随着土壤全 Cd 含量的增加 4 种不同积累 Cd 白菜地上部 Cd 含量均呈上升趋势。低积累 Cd 白菜新北京 3 号和北京小杂 60 地上部 Cd 含量随土壤全 Cd 含量的增加而呈线性增加趋势,高积累 Cd 白菜多抗 3 号和早心白地上部 Cd 含量随土壤全 Cd 含量的增加而呈抛物线增加趋势。土壤全 Cd 含量为 2.5 ~ 20 mg/kg 时,不同积累 Cd 白菜新北京 3 号、多抗 3 号和早心白地上部 Cd 含量显著高于对照不加 Cd 的处理。土壤全 Cd 含量为 5.0 ~ 20 mg/kg 时,白菜北京小杂 60 地上部 Cd 含量均显著高于对照不加 Cd 的处理。土壤不加入 Cd 条件下,白菜新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白地上部的 Cd 含量分别为 0.016、0.019、0.024 和 0.021 mg/kg。土壤全 Cd 含量为 20 mg/kg 时,白菜新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白地上部的 Cd 含量分别为 2.23、2.30、3.03、3.30

mg/kg。通过对 4 种不同积累镉能力白菜的地上部 Cd 含量与土壤全 Cd 含量之间的关系用数学模型模拟,低积累镉白菜地上部 Cd 含量与土壤全 Cd 含量之间符合线性相关,而高积累镉白菜地上部 Cd 含量与土壤全 Cd 含量之间符合二次曲线模型。检验结果表明 4 种白菜的地上部 Cd 含量与土壤全 Cd 含量之间的相关性都达到显著水平。为了确保环境安全和白菜食品安全,以白菜可食部位 Cd 含量不超过食品卫生标准为最大允许量,建立农田土壤 Cd 的临界指标。白菜为叶菜类蔬菜,按 GB2762-2005 规定的叶菜类蔬菜中 Cd 最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部 Cd 含量为 0.2 mg/kg 时,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤 Cd 含量的临界值分别为 1.74、2.25、0.603、0.842 mg/kg。按严格的蔬菜标准 GB15201-94 规定蔬菜中 Cd 最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部 Cd 含量为 0.05 mg/kg 时,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤 Cd 含量的临界值分别为 0.37、0.93、0.158、0.259 mg/kg。由此可以看出,在同一蔬菜标准要求下,种植不同积累镉能力的白菜对土壤镉的临界值要求是不同的,高积累镉白菜土壤 Cd 含量的临界值明显低于种植低积累镉白菜。这进一步表明在 Cd 含量超过 1.0 mg/kg 土壤上种植低积累镉白菜新北京 3 号、北京小杂 60 生产出的食品安全性会更高。

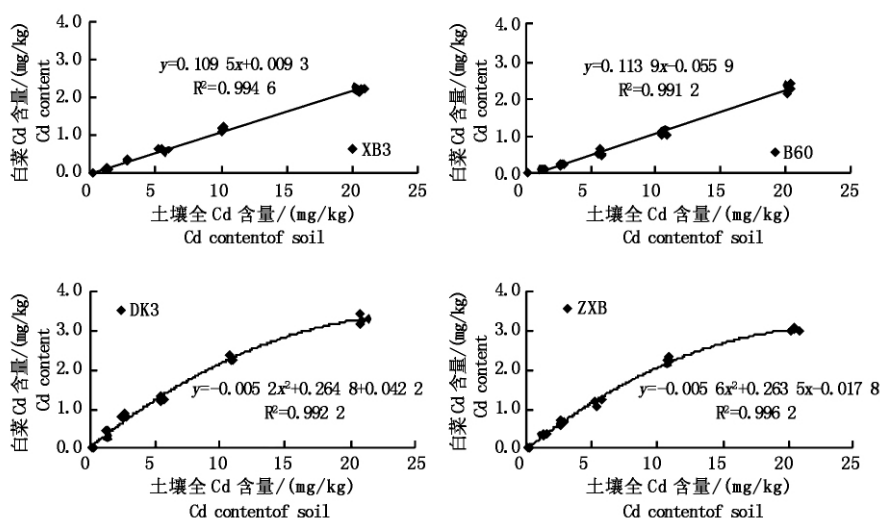


图 2 土壤全 Cd 含量与白菜地上部 Cd 含量的关系

Fig.2 Shoot Cd content of Chinese cabbages grown on different Cd content soil

2.3 白菜地上部 Cd 含量与土壤有效态 Cd 含量的关系

从图 3 可以看出,随着土壤有效态 Cd 含量的增加 4 种不同积累 Cd 白菜地上部 Cd 含量均呈上

升趋势。低积累 Cd 白菜新北京 3 号和北京小杂 60 地上部 Cd 含量随土壤有效态 Cd 含量的增加而呈线性增加趋势,高积累 Cd 白菜多抗 3 号和早心白地上部 Cd 含量随土壤有效态 Cd 含量的增加而呈

抛物线增加趋势。通过对 4 种不同积累 Cd 白菜的地上部 Cd 含量与土壤有效态 Cd 含量之间的关系用数学模型模拟,发现二者符合线性或二次曲线模型。检验结果表明 4 种白菜的地上部 Cd 含量与土壤有效态 Cd 含量之间的相关性都达到显著水平。白菜为叶菜类蔬菜,按 GB2762-2005 规定的叶菜类蔬菜中 Cd 最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部 Cd 含量为 0.2 mg/kg 时,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤有效态 Cd 含量的临界值分别为 0.800、0.940、0.239

和 0.318 mg/kg。按严格的蔬菜标准 GB15201-94 规定蔬菜中 Cd 最高允许限量标准 0.05 mg/kg,由拟合方程可以推算出,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤有效态 Cd 含量的临界值分别为 0.281、0.252、0.037、0.042 mg/kg。由此可以看出,在同一蔬菜 Cd 最高允许限量标准要求下,种植不同积累镉能力的白菜对土壤有效镉含量的要求标准也是不同的,高积累镉白菜对土壤有效态 Cd 含量的要求标准明显比种植低积累镉白菜更加严格。

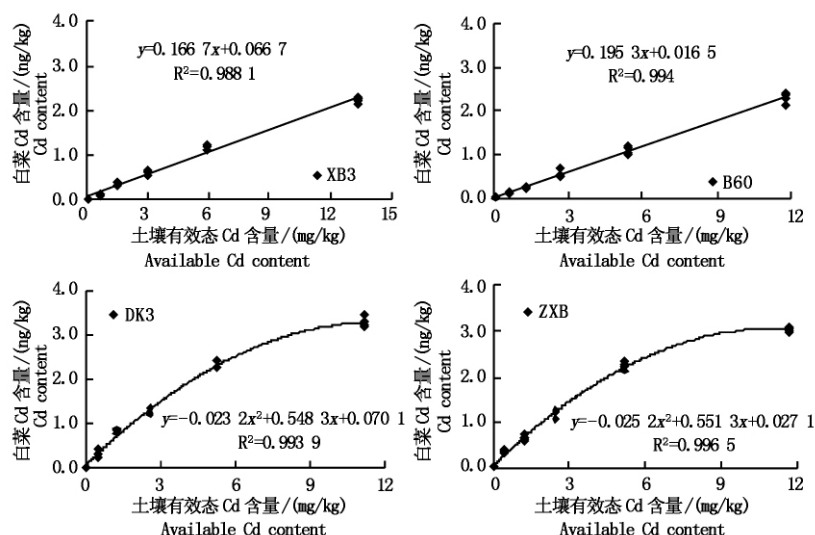


图 3 土壤有效态 Cd 含量与白菜 Cd 含量的关系

Fig. 3 Relation between shoot Cd content of Chinese cabbages and soil available Cd content

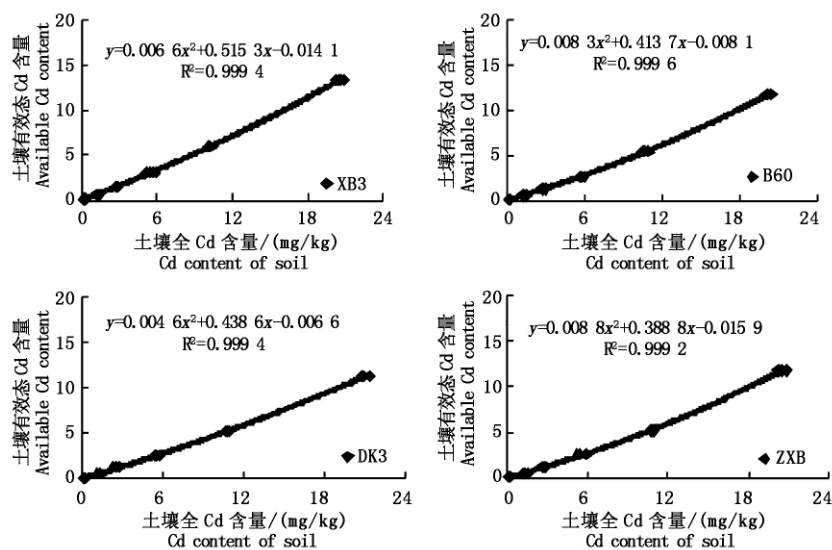


图 4 土壤全 Cd 含量与有效态 Cd 含量的关系

Fig. 4 Relation between soil Cd content and soil available Cd content

2.4 土壤有效态 Cd 与土壤全 Cd 含量的关系

DTPA 提取态 Cd 含量随着土壤全 Cd 含量的增加而增加,其变化规律见图 4。随着土壤全 Cd 含量的增加,DTPA 提取态 Cd 含量显著提高。通过对 4 种不同积累镉能力白菜土壤有效态 Cd 含量与土壤

全 Cd 含量之间的关系用数学模型模拟,发现二者均符合二次曲线模型。检验结果表明:4 种白菜土壤有效态 Cd 含量与土壤全 Cd 含量间的相关性都达到显著水平。在土壤全 Cd 含量为 0~20.0 mg/kg 时,种植白菜新北京 3 号、北京小杂 60、多抗

3 号和早心白后土壤有效态 Cd 含量分别为 0.07 ~ 13.35, 0.06 ~ 11.75, 0.05 ~ 11.68, 0.04 ~ 11.68 mg/kg。土壤全镉含量为 1.0 ~ 5.0 mg/kg 时,低积累镉白菜土壤有效态 Cd 含量明显高于高积累镉白菜。随着土壤全镉含量的升高,低积累镉白菜新北京 3 号土壤有效态 Cd 含量明显高于高积累镉白菜多抗 3 号和早心白外,低积累镉白菜北京小杂 60 与高积累镉白菜的差异不大。提取率是 DTPA 提取态 Cd 含量占土壤全镉含量的百分比。DTPA 对土壤镉的提取率越高表明土壤镉的有效性越高。在土壤全 Cd 含量为 0 ~ 20.0 mg/kg 时,种植白菜新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白后 DTPA 对土壤不同 Cd 含量的平均提取率分别为 54.7%、47.9%、43.7% 和 43.5%,可见种植低积累镉白菜新北京 3 号、北京小杂 60 后 DTPA 对土壤 Cd 的提取率高于高积累镉白菜多抗 3 号和早心白,即种植低积累镉白菜新北京 3 号、北京小杂 60 后土壤 Cd 的有效性高于高积累镉白菜多抗 3 号和早心白。一方面可能是由于高积累镉白菜多抗 3 号和早心白的吸收 Cd 能力高于低积累镉新北京 3 号、北京小杂 60,从而从土壤中多带走了一部分有效镉,另一方面可能由于不同品种白菜对土壤 Cd 的反应不同,产生的分

泌物改变了土壤的微环境,对 Cd 有整合固定作用。

2.5 不同土壤 Cd 含量处理下白菜的富集能力

植物对重金属的生物富集系数也称吸收系数,是指植物地上部某重金属的含量与相应的土壤重金属含量之比。富集系数可以表征蔬菜从土壤中吸收重金属的能力。由图 5 可以看出,土壤加入 Cd 含量为 0 ~ 20.0 mg/kg 时,低积累镉白菜新北京 3 号和北京小杂 60 的 Cd 富集系数分别为 0.079 ~ 0.124, 0.088 ~ 0.126,高积累镉白菜多抗 3 号和早心白对 Cd 的富集系数分别为 0.118 ~ 0.324, 0.148 ~ 0.269。随着土壤 Cd 含量的升高,低积累镉白菜新北京 3 号和北京小杂 60 对 Cd 的富集系数变化不大,而高积累镉白菜多抗 3 号和早心白对 Cd 的富集系数呈先升高后降低的趋势。在土壤相同 Cd 含量时 4 种白菜对 Cd 的富集系数存在明显的差异。在土壤不加入镉的条件下 4 种白菜对 Cd 的富集系数差异较小,仅低积累镉白菜新北京 3 号地上部对 Cd 的富集系数显著低于高积累镉白菜早心白,其余品种间差异不显著。在土壤加入 Cd 含量为 1.0 ~ 20.0 mg/kg 时,低积累镉白菜新北京 3 号和北京小杂 60 地上部对 Cd 的富集系数显著低于高积累镉白菜多抗 3 号和早心白。

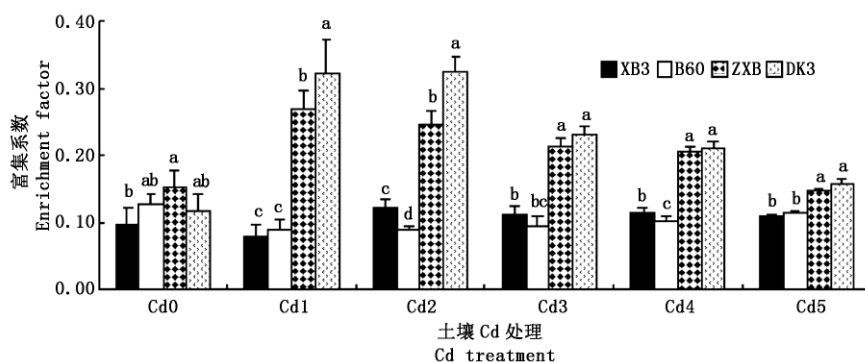


图 5 不同土壤 Cd 含量下白菜的富集系数

Fig. 5 Cd enrichment factor of Chinese cabbages on different Cd concentration soil

3 结论与讨论

镉是土壤中最常见的重金属污染元素之一,并且在土壤中有较强的化学活性和很强的生物毒性。与其他重金属相比,更易被作物吸收,通过食物链进入人体,损害人体健康^[13,14]。有研究结果表明土壤镉含量与蔬菜中镉含量显著相关^[15],本研究中,不同积累 Cd 能力的白菜地上部 Cd 含量与土壤全 Cd 含量、土壤有效态 Cd 含量之间的关系均符合线性或二次曲线模型,且二者之间的相关性均达到显著水平。表明土壤全 Cd 含量是影响土壤有效镉含量以及白菜地上部 Cd 含量的根源。欲控制白菜地上部 Cd 含量,必须从源头控制进入土壤 Cd 的量。

白菜为叶菜类蔬菜,按 GB2762-2005 规定的叶菜类蔬菜中 Cd 最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部 Cd 含量为 0.2 mg/kg 时,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤全 Cd 含量的临界值分别为 1.74, 2.25, 0.603, 0.842 mg/kg。土壤有效态 Cd 含量的临界值分别为 0.800, 0.940, 0.239 和 0.318 mg/kg。按严格的蔬菜标准 GB15201-94 规定蔬菜中 Cd 最高允许限量标准,由拟合方程可以推算出,白菜地上部 Cd 含量为 0.05 mg/kg 时,种植新北京 3 号、北京小杂 60、多抗 3 号和早心白土壤全 Cd 含量的临界值分别为 0.37, 0.93, 0.158, 0.259 mg/kg。土壤有效态 Cd 含量的临界值分别为 0.281, 0.252, 0.037 和 0.042 mg/kg。

可见,土壤全 Cd 含量 1.0 mg/kg 是安全生产白菜的重要控制指标。

参考文献:

- [1] 曾咏梅,毛昆明,李永梅. 土壤中镉危害及其防治对策[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(3): 360 – 365.
- [2] 朱凤鸣,刘 芳,邹学贤. 昆明西部镉污染对人体健康影响的研究[J]. 医学研究通讯, 2003, 32(11): 20 – 21.
- [3] Zhang G P, Fukami M, Sekimoto H. Genotypic differences effects of cadmium on growth and nutrient compositions in wheat[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 9: 1337 – 1350.
- [4] 杨居荣,贺建群,黄 翌,等. 农作物 Cd 耐性的种内和种间差异 II. 种内差[J]. 应用生态学报, 1995, 6(增刊): 132 – 136.
- [5] Ebbs S D, Lasat M M, Brady D J, et al. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil[J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 26: 1424 – 1430.
- [6] Brown S L, Chaney R L, Angle J S, et al. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* and metal tolerant *Silene vulgaris* grown on sludge-amended soils[J]. Environmental Science & Technology, 1995, 29: 1581 – 1585.
- [7] 姚会敏,杜婷婷,苏德纯. 不同品种芸薹属蔬菜吸收累积镉的差异[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 291 – 294.
- [8] 江解增,许学宏,余云飞,等. 蔬菜对重金属生物富集程度的初步研究[J]. 中国蔬菜, 2006(7): 8 – 11.
- [9] 刁维萍,倪吾钟,杨肖娥. 利用植物生物技术和农艺措施控制镉在食物链中的迁移[J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(2): 1 – 5.
- [10] 孙光闻,朱祝军,方学智,等. 我国蔬菜重金属污染现状及治理措施[J]. 北方园艺, 2006(2): 66 – 67.
- [11] 农业部. 2005 年全国各地蔬菜播种面积和产量[J]. 中国蔬菜, 2007(1): 40 – 41.
- [12] 茹淑华,张国印,苏德纯,等. 河北省白菜主要栽培品种吸收累积重金属镉的特征和质量安全性研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 282 – 287.
- [13] 曾咏梅,毛昆明,李永梅. 土壤中镉危害及其防治对策[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(3): 360 – 365.
- [14] 朱凤鸣,刘 芳,邹学贤. 昆明西部镉污染对人体健康影响的研究[J]. 医学研究通讯, 2003, 32(11): 20 – 21.
- [15] Ni W Z, Yang X E, Long X X. Differences of cadmium absorption and accumulation in selected vegetable crops[J]. Journal of Environmental Sciences, 2002, 14(3): 399 – 405.