

不同种类蔬菜对土壤镉吸收能力的研究

欧阳喜辉^{1,3}, 赵玉杰², 刘凤枝², 李 野², 师荣光², 李玉浸²

(1. 中国农业大学, 北京 100094; 2. 农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; 3. 北京市农业环境监测站, 北京 100029)

摘 要: 为了研究不同种类蔬菜对土壤镉的吸收能力, 在北京市规模化蔬菜生产基地同步采集土壤和蔬菜样品各 220 个 (包括 16 个蔬菜种类)。采用原子吸收光谱法分析了土壤及蔬菜中总镉含量。应用箱线图、方差分析、聚灰分析等方法研究了不同蔬菜种类在自然条件下对土壤镉吸收能力的差异, 并探讨了土壤 pH、镉含量等对蔬菜吸收镉的影响。结果表明, 不同种类的蔬菜对镉元素的吸收能力有显著性差异, 叶菜类的吸收能力大于果菜类蔬菜, 油菜吸收镉能力最强。叶菜类蔬菜其吸收系数变异性较大, 而果菜类较小。自然条件下, 土壤镉活性较差, 土壤 pH、镉含量的差异性没有对蔬菜吸收土壤镉的能力产生显著性影响。

关键词: 吸收系数; 镉; 蔬菜; 北京

中图分类号: X835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)01-0067-04

Absorption Ability of Different Types of Vegetables for Soil Cd in Beijing

OUYANG Xi-hui¹, ZHAO Yu-jie², LIU Feng-zhi², LI Ye², SHI Rong-guang², LI Yu-jin²

(1. China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Agro-environmental Protection and Research Institute of MOA, Tianjin 300191, China; 3. Beijing Agro-Environmental Monitoring Station, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to assess the absorption capability of soil cadmium (Cd) with different vegetable species, 220 soils and vegetables samplings (including 16 vegetable species) were sampled from intensive vegetable fields in Beijing. Atomic absorption spectrometry method was applied to determine Cd concentrations of soils and vegetables. Box plot, variance analysis and cluster method were used to study the difference of absorption soil Cd capability of different vegetable species in natural conditions. The results show that the ability of vegetables absorption Cd is significantly different among the 16 vegetables species when soil environmental condition is not significantly different. The absorption ability of leaf vegetables is much higher than that of fruit vegetables. The Cd concentrations in rape are the highest. The variability of leaf vegetables absorption coefficient are higher than that of fruit vegetables. The bioavailability of soil Cd in natural condition is low. In the study, soil pH and Cd concentrations have no significant correlation with the vegetable Cd concentration.

Keywords: absorption coefficient; cadmium; vegetables; Beijing

蔬菜是对环境条件较敏感、且食用量大的农作物。选择蔬菜作为研究对象, 对探讨不同种类农作物, 以及同一种类不同品种农作物对重金属吸收能力的差异, 进而制定不同作物土壤环境质量标准, 保证食品安全作用重大, 也是落实《农产品产地安全管理办法》禁产区划分所必须解决的关键问题。

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, 有很强的生物毒性。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^[1,2]。因此, 研究不同蔬菜对镉元素的吸收能力及影响因素已成为国内外研究的热门课题。如倪武忠^[3]通过盆栽实验研究了大白菜、冬青、芹菜对土壤中镉吸收能力的影响, 结果表明土壤镉含量与作物中镉含量显著相关, Alegria A 等^[4]研究结果表明在受污染的农田中土壤总镉含量与蔬菜镉含量有较好的线性相关性。此外, 汪雅谷, 何述尧等也对不同作物对镉吸收能力进行了研究^[5]。但以往的研究多集中于盆栽实验或污染区域的研究, 而对于一般菜地中不同蔬菜对重金属镉吸收能力的研究较少, 而这些菜地正是我国最主要的蔬菜生产区。因此, 研究普通蔬菜生产基地不同蔬菜对重金属镉的吸收能力, 对于保障人民群众的饮食安全, 改善人们的健康水平更具实际意义。

收稿日期: 2007-02-12

基金项目: 农业部环保所中央级公益性科研院所基金: 区域农田环境质量系统分析与风险预警研究

作者简介: 欧阳喜辉 (1966—), 男, 在读博士, 主要研究方向为农业环境保护。E-mail: xihuouyang@hotmail.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究以北京市集中连片蔬菜生产基地为研究区域,范围涉及到朝阳-通州区、房山区、顺义区、丰台区、大兴县、密云县、怀柔县等 14 个区(县),总检测面积约 9 000 hm²。监测区主要灌溉水源为地下水,基本没有受到工业污染,土壤总 Cd 含量在 0.10~0.59 mg·kg⁻¹ 之间,研究区土壤类型以褐土为主,pH 为 6.53~8.66 之间。

1.2 样品采集

根据本研究设定方案,参照文献[6]和文献[7]关于土壤和蔬菜采样要求。2002 年 6 月,同步采集土壤和蔬菜样品各 220 个。土壤样点采集时,用非金属采样器采集 0~20 cm 耕层土壤,采集的土样在塑料布上混匀,用四分法缩分,取土样 2 kg,装入取样袋中供实验室分析用。蔬菜样品采集以 0.1 hm² 为采样单元,在采样单元内选择 5~10 个植株,小型植株的叶菜去根整株,大型植株的叶菜用辐射切割法采集,果实类在植株上、中、下各侧均匀采摘,混合成样。本次共采集 16 个品种的蔬菜样品,且每一蔬菜品种一般采用分散采集方式,避免在一个区域采集。为便于数据分析,对采集的蔬菜样品进行了分类编号,如表 1 所示。

表 1 蔬菜种类编号及采样数据表

Table 1 Number of vegetable species and sampling numbers

蔬菜品种	编号	采样数量
白菜	1	8
扁豆	2	10
菠菜	3	8
大椒	4	10
黄瓜	5	31
架豆	6	20
芹菜	7	8
生菜	8	23
甜菜	9	8
西瓜	10	8
西红柿	11	41
西葫芦	12	10
小白菜	13	6
油菜	14	8
油麦菜	15	8
圆白菜	16	13

1.3 样品处理与分析

将采集的土壤样品混匀后用四分法缩分至约 100 g,自然风干后除去土样中石子和动植物残体,用

玛瑙研磨机研磨至全部通过孔径 0.149 mm 尼龙筛,混匀后备用。采用石墨炉原子吸收分光光度法测定土壤总镉含量^[8],玻璃电极法测定土壤 pH^[9]。

将采集的蔬菜样品用食品加工机打成匀浆,储于塑料瓶中,保存备用。采用石墨炉原子吸收法测定蔬菜镉^[10]。

1.4 吸收系数计算

吸收系数=蔬菜中重金属含量/土壤中重金属含量,蔬菜对土壤重金属吸收能力的大小可通过吸收系数反映出来。

2 结果与讨论

2.1 异常值处理

如果样品测定值含有异常值,则导致吸收系数异常,分析结果缺乏稳健性,有时还可能产生错误的结论。因此,数据分析前应对吸收系数异常值剔除。蔬菜对土壤重金属的吸收能力受很多因素的影响^[11],异常值的剔除很难满足基于正态分布异常值剔除法则的要求。因此,本文采用箱线图的分位数异常值判断法分析各种蔬菜吸收系数的异常值,不需要对数据假定分布的正态性,没有对数据做限制,能真实表现数据的本来面貌^[12]。因此,该方法能满足本研究数据剔除的要求。

用分位数异常值判断法对北京市不同蔬菜土壤镉吸收系数异常值剔除结果如图 1 所示。可见,在本研究的土壤和蔬菜 220 组数据中,除序号 7、10、14、15 四种蔬菜没有异常值外,其余 12 种蔬菜都有异常值出现。由于大田条件下自然环境的差异性,蔬菜吸收异常值在所难免,因此,在异常值剔除时本文只剔除了极端异常值,而保留了一般异常值。本研究共剔除了 13 组异常值数据。

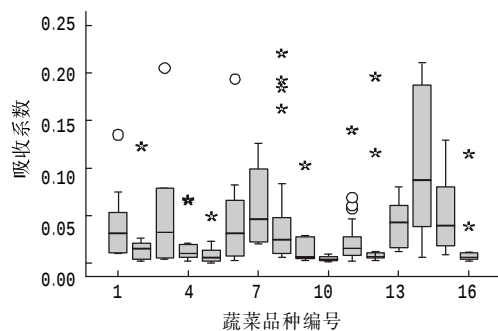


图 1 不同品种蔬菜吸收土壤镉吸收系数箱线图

Figure 1 Boxplot of different vegetable species absorption coefficient

2.2 蔬菜吸收土壤镉差异性分析

箱线图不但能反映数据异常值的情况,还能直观反映数据的分布情况,由图 1 可见,16 种蔬菜吸收系数,油菜吸收系数变异性最大,油麦菜、芹菜次之,而扁豆、大椒、西葫芦等吸收系数变异性较小。可见,油菜、油麦菜等叶菜类蔬菜吸收土壤镉的能力受土壤环境的影响程度要大于果实类蔬菜。

方差齐次性检验结果表明,不同蔬菜对土壤镉吸收系数不符合方差齐次性,无法用参数方法进行方差分析,而应采用非参数方法,本文采用 Kruskal-Wallis H 法进行单因素非参数方差分析,采用 Nemenyi-Dunn 法分析多个蔬菜样本间吸收土壤镉能力的两两差异性^[13,14]。

表 2 为不同种类蔬菜吸收土壤镉 Kruskal Wallis 方法单因素方差分析结果。可见,不同种类蔬菜对土壤镉吸收能力存在显著性差异。Nemenyi-Dunn 法分析结果表明,本研究的 16 种蔬菜在自然条件下,黄瓜及大椒与油麦菜、小白菜、西红柿、生菜、西瓜、芹菜之间对土壤重金属镉的吸收能力存在统计意义上显著性差异(显著性水平 $P < 0.05$)。

表 2 不同种类蔬菜吸收系数 Kruskal Wallis 方差分析结果
Table 2 Different vegetables absorption coefficient variance analysis results applied Kruskal-Wallis

来源	离差平方和	自由度	均方	卡方	显著性
组间离差	185 292.9	15	12 352.9	67.5	0.00
组内离差	308 832.1	165	1 871.7		
总离差	494 125	180			

由于本研究中采集的不同蔬菜种类的数量有一定差异,且根据方差齐次性检验的结果表明,数据并不符合正态分布。因此,判断不同蔬菜在自然条件下对土壤重金属镉吸收能力的强弱,仅通过平均吸收系数无法很好地反映真实情况。本文通过对土壤重金属的吸收系数进行描述性统计分析,选择能反映数据聚合趋势、离散化趋势的平均值,几何平均值,中位值,标准误差,标准差,方差、最大、最小值,极值等数据作为反映蔬菜对土壤重金属吸收能力的数据指标,采用系统聚类法,对蔬菜吸收能力进行比较,系统聚类结果如图 2 所示。从聚类结果可看出,序号 2(扁豆),4(大椒),5(黄瓜),9(甜菜),10(西瓜),12(西葫芦),16(圆白菜)等果实类为对土壤镉的吸收能力可分为第一类,为低吸收类,平均吸收系数为 0.006 1;序号 1(白菜),3(菠菜),6(架豆),7(芹菜),8(生菜),11(西

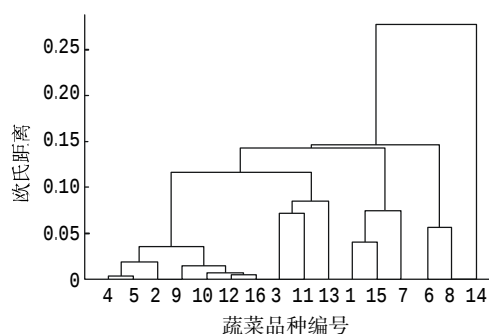


图 2 不同种类蔬菜对土壤镉吸收能力聚类图
Figure 2 Cluster sketch of different vegetables species absorption ability

红柿)、13(小白菜)、15(油麦菜)等以叶菜类蔬菜为主的可分为第二类,为中等吸收能力,平均吸收系数为 0.02;而序号 14(油菜)可分为第三类,为较高吸收能力,平均吸收系数为 0.106。

2.3 蔬菜吸收土壤重金属影响因素分析

蔬菜吸收土壤重金属镉的能力除与种类有很大的关系外,还受多种因素的影响,如土壤污染物含量,土壤 pH,污染物的活性等。

2.3.1 土壤 pH 对蔬菜吸收镉能力的影响

为了考察土壤 pH 在自然条件下对不同种类蔬菜吸收土壤镉的影响,本研究将土壤 pH 分为 4 个等级,即第一级为 pH 6.5~7.0,第二级为 pH 7.1~7.5,第三级为 pH 7.6~8.0,第 4 级为 pH 8.0 以上。在方差齐次性条件下($P=0.137$),采用单因素方差分析法检验土壤 pH 对蔬菜吸收土壤镉能力的影响。方差分析结果如表 3 所示。可见,土壤 pH 没有对蔬菜吸收土壤镉的能力产生显著影响。其原因在于本研究采集的土壤大多为碱性,在碱性条件下,土壤镉活性较低,尽管土壤 pH 有一定的变化,但对蔬菜吸收镉能力没有产生显著影响。

表 3 土壤 pH 对蔬菜吸收土壤镉能力的方差分析
Table 3 Variance results of soil pH impacting vegetable absorption ability of soil Cd

来源	离差平方和	自由度	均方	F	显著性P
组间离差	0.003	3	0.001	0.775	0.509
组内离差	0.227	177	0.001		
总离差	0.230	180			

2.3.2 土壤镉含量对蔬菜吸收镉能力的影响

根据本研究的实测值,分别绘制了果菜类蔬菜和叶菜类蔬菜对土壤镉吸收量散点图。

图 3 为在不同土壤镉含量条件下,果菜类蔬菜和叶菜类蔬菜对土壤镉吸收量散点图,其中(A)为果菜

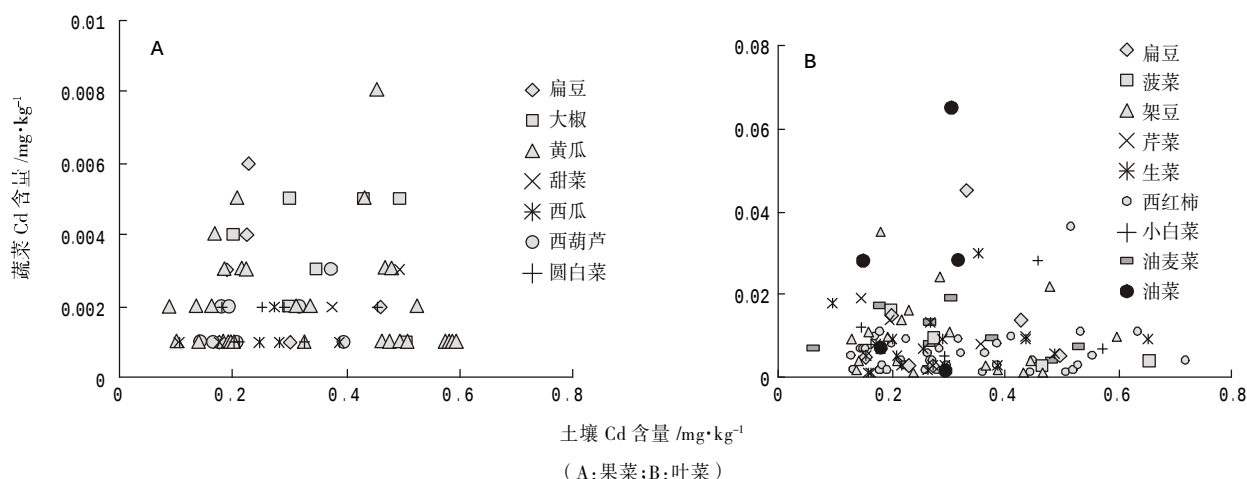


图 3 不同种类蔬菜吸收土壤镉含量散点图

Figure 3 Scatter plot of different vegetables species Cd concentrations with different soil Cd concentrations
(A: fruit vegetables; B: leaf vegetables)

类,(B)为叶菜类。由散点图可见,蔬菜中的镉随土壤镉含量增加而增加的趋势并不明显。本研究基本上是在无污染区进行的,虽然由于不同地区成土母质、灌溉用水、农业投入品的使用有差异,造成土壤中镉含量有一定的差异,但其与蔬菜镉含量没有很好的线性关系。由于本研究是在自然生产条件下进行的,与盆栽实验不同,土壤中的镉是常年日积月累形成的,大部分已经被固化,有效性较低^[15]。因此,土壤镉含量变化不是影响蔬菜镉含量的主要因素。

3 结论

(1)通过对北京市不同蔬菜种类对土壤镉的吸收能力差异性研究表明,叶菜类蔬菜吸收能力较果菜类强,而油菜吸收能力最强。

(2)采用箱线图方法分析了蔬菜对土壤镉吸收系数的变异性,结果表明叶菜类蔬菜吸收系数变异性较大,而果菜类较小。

(3)本研究是在自然种植条件下进行的,土壤pH、重金属镉含量虽有一定差异,但分析结果表明,土壤pH、镉含量并不是造成蔬菜镉含量差异的主要原因。

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] NI Wu-zhong, YANG Xiao-e, LONG Xin-xian. Differences of cadmium absorption and accumulation in selected vegetable crops [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, 14(3):399-405.
- [4] Alegria A, Barberá R, Boluda R, et al. Environmental cadmium, lead and nickel contamination: possible relationship between soil and vegetable content[J]. *Chemistry and Materials Science*, 1991, 339(9): 654-657.
- [5] 夏家洪.土壤环境质量标准详解[M].北京:中国环境科学出版社, 1996.16-23.
- [6] GB/T 395-2000.农田土壤环境监测技术规范[S].
- [7] GB/T 398-2000.农、畜、水产品污染监测技术规范[S].
- [8] GB/T17141-1997.土壤质量铅、镉的测定石墨炉原子吸收分光光度法[S].
- [9] 中国环境监测总站.土壤元素的近代分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,1992.183-185.
- [10] GB/T5009.15-1996.镉的测定,石墨炉原子吸收法[S].
- [11] 赵中秋,朱永官,蔡运龙.镉在土壤-植物系统中的迁移转化及其影响因素[J].生态环境,2005,14(2):282-286.
- [12] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M].北京:电子工业出版社, 2002.501-521.
- [13] 安胜利.基于秩次的非参数检验[J].护理学报, 2006,13(9):94-95.
- [14] 黄水平,丛宁.多个计量样本间非参数两两比较方法的选择[J].中国卫生统计,2000,17(4):243-244.
- [15] 刘凤枝,师荣光,徐亚平,等.耕地土壤重金属污染评价技术研究——以土壤中铅和镉污染为例 [J]. 农业环境科学学报,2005,25 (2):422-426.