

不同施肥措施对休宁土壤 Cd 形态的影响与蔬菜富集特性的研究

孙满意^{1,2}, 郭熙盛^{2*}, 王文军³

(1. 安徽大学生命科学学院, 安徽合肥 230039; 2. 安徽养分循环与资源环境省级实验室, 安徽合肥 230031; 3. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 安徽合肥 230031)

摘要 [目的] 研究不同施肥措施对休宁土壤 Cd 形态的影响与蔬菜富集特性。[方法] 通过盆栽试验, 研究了鸡粪、改良剂和外源 Cd 对休宁菜园土中重金属 Cd 形态的影响与蔬菜富集特性。[结果] 结果表明, 施入鸡粪可降低土壤中可交换态 Cd 和铁锰氧化态 Cd 的含量, 增加了土壤中的碳酸盐态 Cd 和有机物结合态 Cd 含量。改良剂可提高土壤中可交换态 Cd 和碳酸盐态 Cd 的含量。外源 Cd 进入到土壤中主要以可交换态、碳酸盐态和铁锰氧化物结合态存在。萝卜、白菜和辣椒的可食用部分对土壤 Cd 的富集能力为: 白菜 > 萝卜 ≈ 辣椒, 转移系数为白菜 > 萝卜 > 辣椒。[结论] 在农业生产上, 可在土壤中添加有机肥和无机改良剂减少蔬菜对重金属 Cd 的吸收积累。在重金属 Cd 含量高的土壤中应避免种植富集能力极强的蔬菜品种。

关键词 施肥措施; 土壤 Cd 形态; 蔬菜; 富集特性

中图分类号 S154.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517 - 6611 (2009) 21 - 10093 - 02

Effect of the Different Fertilizations on Cd Fraction in Soil in Xiuning County and Research on Its Accumulation in Vegetable

SUN Man-yi et al (School of Life Sciences, Anhui University, Hefei, Anhui 230039)

Abstract [Objective] The effect of the different fertilization measure on the Cd fraction in soil in Xiuning County and its accumulation in vegetable were studied. [Method] The potted experiment in the effect of the chicken manure, additives and Cd addition on the Cd fraction in soil and its accumulation in vegetable was carried out. [Results] The results showed that the application of chicken manure could decrease the content of exchangeable Cd and Fe-Mn oxide Cd; and increase the content of the carbonate Cd and organic Cd. The content of soil exchangeable Cd and Carbonate Cd could be increased under the condition of additives application. The Cd addition in soil could be mainly transformed into the exchangeable, carbonate and iron-manganese oxide. The order of Cd accumulation in the edible part of different vegetable species was cabbage > radish and pepper, and the transferring coefficient was cabbage > radish > pepper. [Conclusion] The application of organic manure and inorganic soil additives could decrease Cd accumulation by vegetables in farming practices. The vegetables with high enrichment capacity of Cd should be avoided in soil with high content of Cd.

Key words Fertilization measurement; Cd fraction in soil; Vegetable; Enrichment capacity

设施土壤地多集中分布在大、中城市郊区, 由于工业“三废”的排放, 城市生活垃圾、污泥堆放和含重金属的农药、化肥的施用, 导致大棚土壤中某些重金属如 Pb、Hg、Cd、As 等超标, 污染了环境, 同时也影响了大棚蔬菜的品质和安全性^[1]。根据 Tessier 法, 重金属赋存形态分为可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机结合态和残渣态, 其中 Cd 的可交换态是能够被植物直接吸收的, 而其他形态不易被植物吸收, 但在土壤环境发生改变的情况下这些形态可相互转化。因此, 改变重金属在土壤中的存在形态, 使其固定, 将污染物的活性降低, 减少在土壤中的迁移性和生物可利用性成为重点研究内容^[2]。针对安徽省菜园土中重金属 Cd 的形态报道较少的情况, 笔者选取休宁菜园土壤研究不同施肥方式对菜园土重金属 Cd 形态分布与蔬菜富集特征, 旨在为研究重金属 Cd 的阻隔技术, 种植绿色蔬菜提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤的基本理化性质及 Cd 含量 土壤为休宁菜园土, 基本理化性质为: pH 值为 7.0, 全 N 1.96 g/kg, 全 P 2.68 g/kg, 碱解 N 140.7 mg/kg, 速效 P 296.42 mg/kg, 速效 K 329.83 mg/kg, 缓效 K 534.76 mg/kg, Cd 0.305 3 mg/kg。

1.2 试验设计 试验设置 4 个处理: 化肥 (T1)、化肥 + 有机肥 (T2)、化肥 + 有机肥 + 硫酸镉 (T3)、化肥 + 有机肥 + 硫酸镉 + 改良剂 (T4)。改良剂为天然硅酸盐矿物和碳酸盐矿物按 1: 1 比例混合。盆栽试验每盆装土为 2.5 kg。施化肥磷酸二铵 0.384 g/盆、硝酸钾 0.539 g/盆、尿素 0.09 g/盆。

有机肥为腐熟鸡粪肥, 每盆 40.2 g/kg, 改良剂用量为 8.04 g/盆。外源 Cd 为 1.2 mg/kg。作物轮作为萝卜 - 小白菜 - 辣椒。试验用材料在第一茬播种前与土壤混合, 小白菜种植季节不施肥, 辣椒种植季节仅施无机氮磷钾肥料, 每盆 1 株, 试验重复 5 次。重金属 Cd 不同形态的测定为每组重复 3 次。

1.3 样品测试 蔬菜植株地上部分和根部的重金属 Cd 含量试验采用 HF-HClO₄-HNO₃ 法, 土壤重金属 Cd 含量试验采用 HF-HClO₄-HNO₃ 法^[3], 土壤中的 Cd 的不同形态的试验采用 Tessier 的连续提取法^[4]。试验处理过的待测液经日立 Z-5000 型原子吸收分光光度计石墨炉法测定 Cd 的浓度。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对土壤重金属 Cd 形态分布的影响 从表 1 和表 2 可看出, 休宁菜园土基础土壤不同形态 Cd 含量高低顺序为: 残渣态 > 有机物结合态 > 可交换态 > 碳酸盐态 Cd 含量, 铁锰氧化物结合态未检出。分别占可提取总量的 38.97%、31.44%、27.52% 和 2.07%, 说明菜园土壤 Cd 的主要赋存形态为残渣态、有机物结合态和可交换态。盆栽连续种植三季蔬菜后, 土壤不同形态 Cd 含量和分布产生了明显的变化。各处理之间不同形态 Cd 含量也有显著的差异, 说明不同施肥措施对土壤 Cd 形态含量和分布影响显著。

2.1.1 化肥的影响。 由与基础土壤不同形态 Cd 含量和分布比较, 单施化肥处理土壤的有机态含量明显降低, 可交换态含量略有降低。其他几种形态 Cd 含量提高, 以残渣态含量提高最为明显。可能是单独施用化肥促进有机质的分解, 使有机态 Cd 向其他形态转化。

2.1.2 有机肥的影响。 由表 1 可看出, 与单施化肥处理相比, 施用鸡粪可降低土壤可交换态和有机态 Cd 的含量, 提高有机态和残渣态 Cd 的含量, 但两处理间的差异不显著。

基金项目 国家科技支撑项目 (2007BAD87B06) 资助。

作者简介 孙满意 (1983 -), 男, 安徽怀远人, 硕士研究生, 研究方向: 环境生物技术。* 通讯作者, E-mail: gsssfiaa@mail.hf.ah.cn。

收稿日期 2009-04-21

由表 3 可知,施用有机肥可降低土壤可交换态 Cd 和铁锰氧化物结合态 Cd 在总 Cd 含量的百分数。鸡粪处理的土壤有有机物结合态 Cd 含量增加 6.15%。施用有机肥能降低有效态

Cd 的分布。尽管由于有机肥因物理、化学作用对土壤不同形态产生影响^[5-6],但影响的程度有限。

2.1.3 外源 Cd 的影响。外源 Cd 的加入对土壤不同形态 Cd

表 1 种植后的土壤 Cd 的形态含量
Table 1 The content of Cd state in soil after planting

处理	可交换态	碳酸盐态	铁锰氧化态	有机物态	残渣态
Treatment	Exchangeable state	Carbonate state	Ferrum and manganese oxide	Organic state	Residual state
T1	0.06 ± 0.00 b	0.02 ± 0.00 c	0.02 ± 0.02 bc	0.01 ± 0.01 a	0.20 ± 0.07 ab
T2	0.04 ± 0.03 b	0.02 ± 0.00 c	0.01 ± 0.01 c	0.03 ± 0.01 a	0.22 ± 0.02 a
T3	0.14 ± 0.04 a	0.11 ± 0.02 b	0.10 ± 0.02 a	0.05 ± 0.04 a	0.14 ± 0.01 ab
T4	0.16 ± 0.02 a	0.15 ± 0.02 a	0.07 ± 0.03 b	0.04 ± 0.01 a	0.12 ± 0.07 b
基础土壤 Basal soil	0.07 ± 0.06	0.006 ± 0.002	-	0.08 ± 0.005	0.10 ± 0.03

mg/kg

注:同列数字后不同字母表示在 0.05 水平有显著差异。

Note: Different letters behind the data in the same column mean significant difference at 0.05 level.

表 2 土壤 Cd 形态分布
Table 2 The distribution of Cd states in soil %

处理	可交换态	碳酸盐态	铁锰氧化物结合态	有机物结合态	残渣态
Treatment	Exchangeable state	Carbonate state	Fe - Mn oxide binding state	Organic binding state	Residual state
T1	19.35	6.45	6.45	3.23	64.52
T2	12.50	6.25	3.13	9.38	68.75
T3	25.93	20.37	18.52	9.26	25.93
T4	29.63	27.78	12.96	7.41	22.22
基础土壤 Basal soil	27.52	2.07	-	31.44	38.97

含量和分布产生深刻影响。由表 1 可知, T3 处理的土壤可交换态 Cd 含量为 T2 处理的 3 倍,碳酸盐态和铁锰氧化态的为 5 倍,有机态的增加 60% 多,残渣态则降低 30% 多。土壤中的可交换态、碳酸盐态、铁锰氧化物结合态明显增加。不同形态分布的差异对 Cd 的生物有效性和毒性有明显影响。由表 2 可知,加入外源 Cd 后的 T3 处理土壤 Cd 主要以可交换态 25.93%、碳酸盐态 20.37%、铁锰氧化物结合态 18.52% 和残渣态 25.93% 存在。该结果与吴燕玉^[7]的研究结果基本一致。

2.1.4 改良剂的影响。由表 1 可知,使用改良剂处理的土壤碳酸盐态增加,增幅达 30% 多,铁锰氧化态 Cd 含量降低 30%,达到显著水平。可交换态 Cd 含量有所增加,而有机物态和残渣态 Cd 含量则有所降低。表 2 表明,加入了改良剂后处理 T4 比处理 T3 的可交换态 Cd 和碳酸盐态 Cd 的含量分别增加了 3.70%、7.41%,而铁锰氧化物结合态降低了 5.56%。碳酸盐态 Cd 含量的提高与铁锰氧化态 Cd 含量降低,可能与改良剂中含有碳酸盐矿物有关。土壤可交换态 Cd 含量增加可能与硅酸盐矿物有很强的吸附能力和离子交换能力可固定土壤中的重金属^[8],但机制有待进一步研究。

2.2 作物对休宁土壤 Cd 的富集 萝卜、白菜、辣椒的可食用部分分别为根、地上部分和果实。单施化肥处理的白菜体内 Cd 超出食品卫生标准 GB1520-94 中规定的 Cd ≤ 0.05 mg/kg 标准,萝卜根和辣椒果实未超标。所以,在该种土壤上应该避免种植叶菜类蔬菜品种,保证蔬菜的安全性。同时,应注意菜园土壤管理,防止营养非均衡化和土壤酸化带来的蔬菜重金属含量超标的风险。

土壤重金属富集系数 = 植物体或某器官内某元素含量 /

该元素在土壤含量。由表 3 可知,3 种作物对土壤镉的富集系数存在差异,3 种蔬菜的可食用部分对 Cd 的富集能力排序为:白菜 > 萝卜 > 辣椒。蔬菜不同器官 Cd 富集系数的差异说明了重金属富集能力与蔬菜种类和生理特点有关。转移系数是植物地上的重金属含量与根部重金属含量的比值,是用来体现植物从根部向地上运送重金属能力的数值。不同蔬菜种类转移系数为:白菜 > 萝卜 > 辣椒。白菜和萝卜的转移系数大约为辣椒的 8 倍。白菜和萝卜的转移系数 > 1,辣椒的转移系数 < 1,表明萝卜和白菜不适宜在 Cd 污染的土壤上种植,而辣椒的转移系数小于 1 的植物,能够从土壤中吸收重金属,并把它们固定在根部,限制重金属向地上部转移,减少重金属对生态环境的毒害作用^[9]。因此,在重金属含量较高的土壤上,选择种植重金属转移系数小的作物种类,也是不失为一个有效的生物措施。

表 3 单施化肥处理蔬菜不同器官的 Cd 含量、富集系数和转移系数
Table 3 Cd content, enrichment coefficient and transfer coefficient in different organs of vegetables in treatments of single chemical fertilizer

种类	器官	含量	富集系数	转移系数
Kinds	Organs	mg/kg Content	Enrichment coefficient	Transfer coefficient
萝卜	根	0.04 ± 0.00	0.13	1.25
Radish	地上部分	0.05 ± 0.02	0.16	
白菜	根	0.06 ± 0.02	0.20	1.33
Cabbage	地上部分	0.08 ± 0.04	0.26	
辣椒	根	0.26 ± 0.05	0.85	0.15
Capsicum	茎和叶	0.25 ± 0.02	0.82	
	果实	0.04 ± 0.02	0.13	

3 结论

鸡粪可降低菜园土土壤可交换态 Cd 和铁锰氧化态 Cd 的含量,增加土壤中的碳酸盐态 Cd 和有机物结合态 Cd 含量。改良剂可提高土壤中可交换态 Cd 和碳酸盐态 Cd 的含量。外源 Cd 进入到土壤中主要以碳酸盐态、铁锰氧化物结合态存在。在农业生产上,可在土壤中添加有机肥和无机改良剂减少蔬菜对重金属 Cd 吸收积累。萝卜、白菜和辣椒的可食用部分对 Cd 的富集能力排序为:白菜 > 萝卜 ≈ 辣椒,转移系数为:白菜 > 萝卜 > 辣椒。在重金属 Cd 含量高的土壤

(下转第 10111 页)

理现象明显,在一定程度上制约了生态旅游的产业化发展。

2.2.6 生态旅游区归属不清、管理混乱。作为生态旅游主要载体的森林公园、自然保护区和风景名胜,在部门归属多头领导,分别归林业部门、建设部门、环保部门、水利水电部门等管理。作为主要行业管理者的国家旅游局很难有所作为。

2.3 机会分析 (Opportunities)

2.3.1 国际、国内的旅游者不断增多。据世界旅游组织统计,世界旅游业以每年 4% 的速度增长,而生态旅游的增长速度却达到了 20% ~ 30% [6]。四川省的旅游收入也得到了迅猛增长,从图 3 可以看出,1998 ~ 2007 年,到四川旅游的国内旅游者及入境旅游者的收入基本上均以 20% 以上的速度增长。

2.3.2 部分高收入者对传统大众旅游活动产生厌倦。对近年来旅游消费的倾向调研表明,越来越多的旅游者期望了解自然,探索自然环境的奥秘,特别是部分高收入者,已经厌烦传统大众观光式的旅游方式,他们期待一种更富个性化、自然化的旅游方式,而生态旅游无疑正是这些旅游消费者喜好的选择之一。

2.3.3 政府的高度重视。四川省委、省政府对旅游业给予了高度重视,并加强工作力度和扩大发动范围,省委、省政府在实施西部大开发战略中,将旅游业作为全省六大支柱产业之一,列入了全面建设小康社会、实现跨越式发展的规划。近年来,四川省围绕旅游业的发展,突出抓好交通建设和城市旅游配套设施建设,设立了旅游交通专项资金,在交通路网规划、项目建设、资金安排上对旅游项目重点倾斜。2005 年,省委、省政府确立了“生态立省”战略,在省人大审议通过的《四川生态省建设规划纲要》中明确提出,将生态旅游作为生态省建设的重要内容;在省委、省政府的《关于建设生态省的决定》中,也将四川省生态旅游的发展列入生态省建设的重点。

2.4 威胁分析 (Threats)

2.4.1 与大众旅游的竞争激烈。目前,群众普遍对生态旅游缺乏足够地了解,对环境保护、可持续发展的观念理解不足,将这些仅归结为政府的责任,且大部分群众都将旅游理解成一种纯粹的享受过程,而大众旅游正是迎合了人们的这

种心理。因此,虽然目前旅游业在四川很发达,但生态旅游所占比重却不到 10% [7]。

2.4.2 竞争力不强,旅游目的地缺乏形象。西藏、重庆、湖南等省市对生态旅游也日趋重视,且这些地方都拥有一些具有特色的生态旅游资源,逐渐形成具有一定地方特色的生态旅游。其中,湖南也是发展生态旅游较早的省份之一,张家界还建立了我国第一个国家森林公园——张家界国家森林公园。

2.4.3 缺乏可持续发展的意识,对生态旅游的认识不足。一些旅游组织者尚未弄清生态旅游的真正内涵,将生态旅游与传统的大众旅游混淆,有些企业有意歪曲“生态旅游”这一名词,披着“绿色伪装”经营,将其作为一种有利可图的市场促销手段 [8]。不幸的是,由于当前缺乏公众所熟知的有效评估认证方案,而且公众对生态旅游的评价标准也很陌生,对“生态旅游”的歪曲,给生态旅游产品造成了负面的影响。

3 结语

生态旅游被提出后,一直受到人们的欢迎,因为开展生态旅游既能够使人们感受到亲近大自然、了解大自然的乐趣,又能实现环境的可持续发展。四川省作为一个生态旅游资源大省,旅游产业是其一大支柱产业,因此,只有整合四川省的生态旅游资源优势,抓住发展生态旅游的机会,大力发展生态旅游,才能使四川省的自然资源可持续发展,才能实现四川省的经济、社会、环境的可持续发展,构建一个美好、和谐的社会。

参考文献

[1] 大卫·韦弗. 生态旅游 [M]. 杨桂华, 王跃华, 译. 天津: 南开大学出版社, 2004.

[2] STEPHEN WEARING, JOHN NEIL. Ecotourism: Impacts, potentials and possibilities [M]. Oxford: Butterworth Heinemann, 1999.

[3] GUNN C A. Tourism planning: basics, concepts, cases [M]. 3rd ed. Washington, DC: Taylor and Francis, 1988.

[4] 陈昌笃. 都江堰地区—横断山北段生物多样性交汇、分化和存留的枢纽地段 [J]. 生物多样性学报, 2000, 20 (1): 28 - 34.

[5] 侯立军. 略论我国生态旅游资源的开发 [EB/OL]. www.dss.gov.cn.

[6] 徐建军. 四川省入境旅游客流时空动态模式研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2004 (4): 338 - 342.

[7] 刘继生, 孔强, 陈娟. 中国自然保护区生态旅游开发研究刍议 [J]. 人文地理, 1997 (4): 24 - 28.

[8] 韩也良. 论旅游生态和生态旅游 [J]. 人与生物圈, 1997 (1): 18.

(上接第 10094 页)

中应避免种植富集能力强的蔬菜品种。

参考文献

[1] 李见云. 大棚设施土壤养分和重金属状况研究 [J]. 土壤, 2005, 37 (6): 626 - 629.

[2] 顾继光, 周启星. 镉污染土壤的治理及其植物修复 [J]. 生态科学, 2002, 11, 21 (4): 352 - 356.

[3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 477 - 479.

[4] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals [J]. Analytica Chimica Acta, 1979, 51 (7): 844 - 851.

[5] 华路, 白铃玉, 韦东普, 等. 有机肥—镉—锌交互作用对土壤镉锌形态和小麦生长的影响 [J]. 中国环境科学, 2002, 22 (4): 346 - 350.

[6] 杨景辉. 土壤污染与防治 [M]. 北京: 科学出版社, 1995: 140.

[7] 吴燕玉. 我国农田土壤的重金属污染及其防治 [J]. 土壤通报, 1986, 17 (4): 187 - 188.

[8] PHILLIPS I R. Use of soil amendments to reduce nitrogen, phosphorus and heavy metal availability [J]. Journal of Soil Contamination, 1998, 7 (2): 191 - 212.

[9] 滕达, 苏庆平, 顾秋香, 等. 稀土尾矿区 10 种植物对重金属的吸收与富集作用 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (2): 798 - 799, 804.

[10] XIE Y X, GUO T C, ZHU Y J, et al. Effects of sulfur fertilizer application methods on grain protein content during filling stage of winter wheat [J]. Agricultural Science & Technology, 2009, 10 (1): 127 - 129.

[11] 孙静克, 宗良纲, 付世景, 等. 不同施肥处理对镉污染土壤雪里蕻光合特性的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2007, 30 (4): 82 - 86.

[12] 赵中华, 郭晓敏, 李发凯, 等. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2007, 29 (4): 576 - 581.