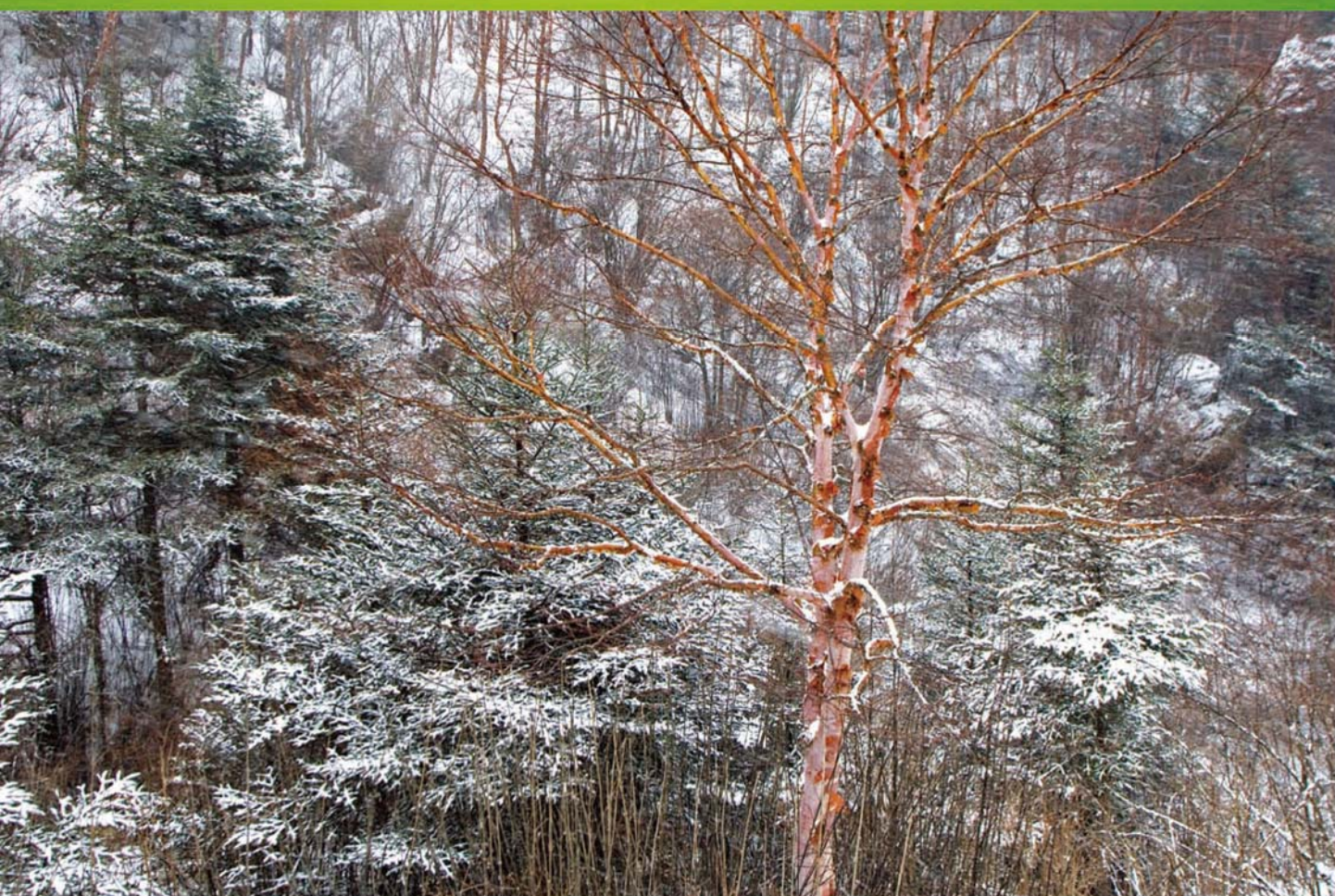


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

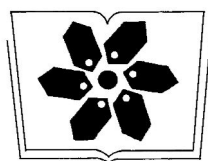
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第8期 Vol.34 No.8 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 8 期 2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 海洋浮游纤毛虫生长率研究进展..... 张武昌,李海波,丰美萍,等 (1897)
- 城市森林调控空气颗粒物功能研究进展..... 王晓磊,王 成 (1910)
- 雪地生活跳虫研究进展..... 张 兵,倪 珍,常 亮,等 (1922)

个体与基础生态

- 黄河三角洲贝壳堤岛叶底珠叶片光合作用对 CO_2 浓度及土壤水分的响应.....
..... 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (1937)
- 米槠人促更新林与杉木人工林叶片及凋落物溶解性有机物的数量和光谱学特征.....
..... 康根丽,杨玉盛,司友涛,等 (1946)
- 利用不同方法测定红松人工林叶面积指数的季节动态..... 王宝琦,刘志理,戚玉娇,等 (1956)
- 环境变化对兴安落叶松氮磷化学计量特征的影响 平 川,王传宽,全先奎 (1965)
- 黄土塬区不同土地利用方式下深层土壤水分变化特征 程立平,刘文兆,李 志 (1975)
- 土壤水分胁迫对拉瑞尔小枝水分参数的影响..... 张香凝,孙向阳,王保平,等 (1984)
- 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响..... 赵 顺,黄秋娴,李玉灵,等 (1994)
- 漓江水陆交错带典型立地根系分布与土壤性质的关系..... 李青山,王冬梅,信忠保,等 (2003)
- 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系..... 田 媛,塔西甫拉提·特依拜,李 彦,等 (2012)
- 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响..... 陶巧静,付 涛,项锡娜,等 (2020)
- 岩溶洞穴微生物沉积碳酸钙——以贵州石将军洞为例..... 蒋建建,刘子琦,贺秋芳,等 (2028)
- 桂东北稻区第七代褐飞虱迁飞规律及虫源分析..... 齐会会,张云慧,蒋春先,等 (2039)

种群、群落和生态系统

- 鄱阳湖区灰鹤越冬种群数量与分布动态及其影响因素..... 单继红,马建章,李言阔,等 (2050)
- 雪被斑块对川西亚高山两个森林群落冬季土壤氮转化的影响..... 殷 睿,徐振锋,吴福忠,等 (2061)
- 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局 陈 云,王海亮,韩军旺,等 (2068)
- 2012 年夏季挪威海和格陵兰海浮游植物群落结构的色素表征 王肖颖,张 芳,李娟英,等 (2076)
- 云南花椒园中昆虫群落特征的海拔间差异分析..... 高 鑫,张立敏,张晓明,等 (2085)
- 人工湿地处理造纸废水后细菌群落结构变化..... 郭建国,赵龙浩,徐 丹,等 (2095)
- 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例 张 华,张 兰,赵传燕 (2102)

景观、区域和全球生态

- 秦岭重点保护植物丰富度空间格局与热点地区…………… 张殷波,郭柳琳,王 伟,等 (2109)
- 太阳辐射对黄河小浪底人工混交林净生态系统碳交换的影响…………… 刘 佳,同小娟,张劲松,等 (2118)
- 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配 …………… 杨玉姣,陈云明,曹 扬 (2128)
- 湘潭锰矿废弃地不同林龄栎树人工林碳储量变化趋势…………… 田大伦,李雄华,罗赵慧,等 (2137)

资源与产业生态

- 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估 …………… 吴燕明,吕高明,周 航,等 (2146)

城乡与社会生态

- 北京市主要建筑保温材料生命周期与环境经济效益评价 …………… 朱连滨,孔祥荣,吴 宪 (2155)
- 城市地表硬化对银杏生境及生理生态特征的影响…………… 宋英石,李 锋,王效科,等 (2164)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 276 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 冷杉红桦混交林雪——冷杉是松科的一属,中国是冷杉属植物最多的国家,约 22 种 3 个变种。冷杉常常在高纬度地区至低纬度的亚高山至高山地带的阴坡、半阴坡及谷地形成纯林,或与性喜冷湿的云杉、落叶松、铁杉和某些松树及阔叶树组成针叶混交林或针阔混交林。冷杉具有较强的耐阴性,适应温凉和寒冷的气候,土壤以山地棕壤、暗棕壤为主。川西、滇北山区的冷杉林往往呈混交状态,冷杉红桦混交林为其中重要的类型。雪被对冷杉林型冬季土壤氮转化影响的研究对揭示高山森林对气候变化的响应及其适应机制提供重要的理论支持。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201212251868

吴燕明, 吕高明, 周航, 刘丽, 邓贵友, 廖柏寒. 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估. 生态学报, 2014, 34(8): 2146-2154.

Wu Y M, Lv G M, Zhou H, Liu L, Deng G Y, Liao B H. Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(8): 2146-2154.

湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估

吴燕明¹, 吕高明¹, 周航^{1,2}, 刘丽^{1,3}, 邓贵友¹, 廖柏寒^{1,*}

(1. 中南林业科技大学环境科学与工程研究中心, 长沙 410004; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128;

3. 长沙环境保护职业技术学院, 长沙 410004)

摘要:通过采集湘南某矿区周边农田中种植的蔬菜 and 对应耕作层土壤样品, 探究了农田蔬菜 Pb、Cd 的污染状况, 蔬菜和土壤重金属含量之间的相关性, 蔬菜中重金属对人体的健康风险。结果表明: (1) 污染区土壤重金属污染非常严重, 叶菜类蔬菜重金属超出了食品卫生标准限值, 但是果菜类蔬菜中重金属没有超出食品卫生标准限值。 (2) 不同蔬菜不同器官所含 Pb、Cd 有明显差异; 不同种类蔬菜 Pb、Cd 含量不同, 一般是叶菜类>果菜类; 同种蔬菜不同部位重金属含量的顺序也不同, 一般为根>茎>叶>果, 或根>叶>茎>果。 (3) 二类蔬菜中重金属 Pb、Cd 的富集系数顺序为叶菜类>果菜类。 (4) 蔬菜中 Pb、Cd 含量与土壤中相对元素含量均无显著相关性。 (5) 就农产品安全性而言, 果菜类蔬菜比叶菜类蔬菜更适合在此矿区栽培。

关键词:蔬菜; 重金属; 污染; 矿区; 健康风险评估

Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan

WU Yanming¹, LV Gaoming¹, ZHOU Hang^{1,2}, LIU Li^{1,3}, DENG Guiyou¹, LIAO Bohan^{1,*}

1 Research Center for Environmental Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

2 College of Bioscience and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Changsha Environmental Protection College, Changsha 410004, China

Abstract: Vegetables, including leafy vegetables and fruit, are of importance to human health. In order to evaluate the heavy metal contamination status and associated health risks of vegetables, 57 vegetables (34 spring vegetables and 23 winter vegetables) and 34 corresponding soil samples (sampled with the spring vegetables) were collected from farmland surrounding a mining area in southern Hunan, China. Analysis was carried out to determine the correlation between the heavy metal content of vegetables and soils, to enable assessment of the potential health risk to local inhabitants consuming the vegetables grown in the contaminated soils. The results showed that: (1) The measured maximum total Pb and Cd in the soils were up to 1251.9 mg/kg (the corresponding soil to the three-colored amaranth) and 13.2 mg/kg (the corresponding soil to the kidney bean), respectively. The average concentration of total Pb and Cd in all soils were 841.7 mg/kg and 6.5 mg/kg, respectively, which were 3.37 and 21.67 times the standard allowable concentration of Pb and Cd for vegetable soils in China (pH level < 6.5, Pb ≤ 250 mg/kg, Cd ≤ 0.3 mg/kg; Environment Quality Standard for Soil Heavy Metals GB15168—1995, Grade II). It suggested that contamination from heavy metals in these soils was very serious. (2) Vegetables grown on the contaminated soils were rich in Pb and Cd in different plant organs. The highest levels of heavy metals were 5.03 mg/kg for total Pb and 2.92 mg/kg for total Cd in the edible parts of garlic and three-colored amaranth, respectively, which exceeded the maximum levels of the China National Food Sanitation Standards for total Pb (GB

基金项目: 环保部公益项目 (201009047); 湖南省环境科学重点学科建设项目 (2006180)

收稿日期: 2012-12-25; 修订日期: 2013-06-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liaobh1020@163.com

14935—94, 0.2 mg/kg) and Cd (GB 15201—94, 0.05 mg/kg). The heavy metal content of leafy vegetables, not fruit, exceeded the China National Food Sanitation Standards for Heavy Metals. The contents of total Pb and Cd in different organs of the vegetables were quite different and generally followed a sequence of root > stem > leaf > fruit, or root > leaf > stem > fruit. Pb and Cd contents in leafy vegetables were generally higher than those in fruits. (3) The order of bioaccumulation factors (*BFs*) of heavy metals in the two vegetable types was leafy vegetables > fruits. Based on fresh weight, the average *BFs* of Pb varied within $(0.7—8.4) \times 10^{-3}$ for leafy vegetables and $(0—0.02) \times 10^{-3}$ for fruits, and those of Cd varied within $(15.4—895.2) \times 10^{-3}$ for leafy vegetables and $(0.04—38.1) \times 10^{-3}$ for fruits, which signified that the average *BFs* of Pb and Cd for leafy vegetables was greater than those for fruit vegetables. (4) The correlations were not significant between the heavy metal content in vegetables and those in soils; however, total Pb and Cd in the edible parts of vegetables presented a higher significant correlation level ($R^2 = 0.821$; $n = 18$, $R_{0.01}^2 = 0.590$). (5) The results of the risk assessment on vegetables indicated that the hazard quotient (*HQ*) for total Pb and Cd in the edible parts of leafy vegetables were 1.70 and 3.73, respectively, 34.00 times and 53.28 times higher than those of the fruits (0.005 and 0.070). In relation to suitability of agricultural products in this mining area, fruits were more suitable for planting than leafy vegetables.

Key Words: vegetable; heavy metal; contamination; mining area; health risk assessment

土壤是人类赖以生存的自然环境和农业生产的重要资源,但是随着经济不断发展,工业化和城市化的进程日益加快,农田土壤和主要农产品重金属污染问题已受到人们的普遍关注^[1-2]。土壤受到重金属污染主要是由于污水灌溉、农药化肥施用、采矿、冶炼、化工等工业三废的排放,使得城市和工业周边农田重金属积累,影响到农产品的安全性和人体的健康^[3-4]。湖南省矿产资源丰富,享有有色金属之乡的美誉。开采有色金属使得当地经济得到迅速发展,同时也对周边的农田带来一定的环境影响,导致重金属在土壤中不断积累,使当地农作物生长受到影响,也影响到居民的身体健康,土壤重金属污染越来越严重^[5-8]。蔬菜是人们的常用食物,土壤中的重金属可以通过蔬菜进入到食物链,对人体健康造成一定的危害^[9-11]。研究表明,蔬菜有一定的富集重金属能力^[12-14],所以蔬菜的品质直接影响人们的健康。近年来,有一些针对蔬菜品质和蔬菜中重金属含量调查评价及对人体健康风险性评估的研究报道^[15-19],不同种类蔬菜及同一品种蔬菜的不同部位对重金属元素的富集大不相同^[20-22]。本研究分析湘南某矿区农田蔬菜重金属含量污染状况、评估该地区蔬菜消费带来的健康风险,主要针对农田蔬菜中 Pb、Cd 含量进行测定,并对不同种类蔬菜不同部位重金属含量的规律及危害进行探讨,为当地蔬菜的安全种植提供科学依据,为人们食用蔬菜提供合理建议。

1 材料与方法

1.1 蔬菜种植及样品采集方法

研究区域位于湘南某矿区附近的一个面积大约为 8—10 km² 自然村(北纬 25°848', 东经 113°807'), 该地区重金属污染较为严重,特别是 Pb、Cd 污染^[23],选取一块约 0.1333 公顷旱地作为实验田。在试验田中设置 36 个小样地,每个小样地为 2 m×4 m。于 2011 年 3—4 月在 36 块样地中种植 12 种春季蔬菜(西红柿、黄瓜、南瓜、茄子、玉米、四季豆、长豆角、辣椒、苋菜、空心菜、丝瓜、苦瓜),每种蔬菜种植重复 3 次,所有样方随机区组排列。春季蔬菜收获完毕后,于 2011 年 9—10 月在试验田的 27 块小样地中种植 9 种秋季蔬菜(红菜苔,香菜,生菜,白菜苔,小白菜,大白菜,大蒜,包菜,菠菜),每种蔬菜种植重复 3 次,所有样方随机区组排列。由于农民提前收获,春季蔬菜中茄子和丝瓜以及秋季蔬菜中红菜苔、香菜、小白菜、大白菜均只采集到 2 块样地中的样品。采样是按照梅花点方式进行的,即每个土壤样方的中心点与 4 个角度方向的等距离点各采一个土壤样和一个蔬菜样。用取土器采集对应蔬菜的耕作层(0—20 cm)土壤样品,然后均匀混合装入样品袋里。共计采集两季蔬菜样品 57 个(其中春季蔬菜 34 个,秋季蔬菜 23 个)和土壤样品 34 个(春季蔬菜样地)。采集到的样品分别用塑料袋封装、冷藏,迅速带回实验室处理。

1.2 样品预处理方法

所有样品均于取样当日运达实验室。将蔬菜的根、茎、叶、果分开,用自来水洗去表层泥土,再用蒸馏水清洗数次,以除去表面上的农药和污染物,晾干后称鲜重;放入烘箱,在 105 ℃ 杀青 30 min,然后在 70 ℃ 下烘干至恒重后称干重。所有蔬菜样品按不同部位用粉碎机分别粉碎,置于塑料封口袋中保存待测。土壤样品经自然风干后,剔除生物残骸、植物碎片、碎石和砾石,压碎后过 100 目尼龙筛,保存备用。

1.3 样品分析方法

土壤中总 Pb、Cd 用王水-高氯酸消解,蔬菜植株各部位重金属总量采用硝酸-高氯酸消解^[24]。植物样品中重金属元素的浓度用石墨炉原子吸收分光光度计(日立 Z-2000)测定(Pb、Cd 的检测限分别为

5.0 μg/L、0.1 μg/L),土壤样品中重金属元素的浓度用火焰原子吸收分光光度计(日立 Z-2000)测定(Pb、Cd 的检测限分别为 0.40 mg/L、0.025 mg/L)。所有样品均重复 3 次,同时做空白实验。土壤样品测定结果以风干重计,蔬菜样品测定结果则以鲜重计,即烘干后的蔬菜中重金属含量乘以(1-蔬菜含水率)。测定过程中用国家标准物质湖南大米(GBW-10045)和土壤(GBW(E)-070009)进行 Pb 和 Cd 分析的质量控制,回收率分别为 90%—105% 和 90%—108%。

1.4 蔬菜中重金属健康风险评估

以食品中 Pb、Cd 限量卫生标准^[25-26]作为蔬菜中 Pb、Cd 的最大允许限量(表 1),根据不同种类蔬菜中重金属元素含量大小来评价蔬菜重金属污染程度。

表 1 食品中重金属卫生标准

Table 1 China National Food Sanitation Standards for heavy metals

元素 Elements	标准限值/(mg/kg 鲜重) Standard limit	标准来源 Standard sources
Pb	≤0.2 mg/kg	《食品中铅限量卫生标准》(GB 14935—94)
Cd	≤0.05 mg/kg	《食品中镉限量卫生标准》(GB 15201—94)

为了研究居民通过食用蔬菜而带来的健康风险,结合矿区的实际情况,评价重金属污染的土壤周围居民的健康风险时,并综合前人的研究成果和已有的研究材料,通常考虑人体通过水、食物摄入和空气吸入土壤中的污染物途径,蔬菜摄入产生的重金属平均日摄入量^[27-28]计算公式。计算公式如下:

$$CDI_{\text{蔬菜}} = (C \times I \times 10^3) / BW$$

$$C \times I = \sum (c_i \times D_i \times F_d)$$

式中, $CDI_{\text{蔬菜}}$ 为重金属污染物通过蔬菜进入人体的平均日摄入量($\mu\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$); C 为蔬菜重金属浓度(mg/kg); I 为接触率(kg/d); BW 为体重(kg),按人平均体重 60 kg 计算; c_i 为某类蔬菜的重金属平均浓度(mg/kg); D_i 为每日对某类蔬菜的食用量(kg),在中国人均蔬菜的日食用量为 0.3 kg/d^[29]; F_d 为蔬菜鲜重折算为干重的比例,按 0.1 计算^[30]。

根据美国环保局(USEPA United States Environmental Protection Agency)^[31]和世界卫生组织(WHO, World Health Organization)^[32]推荐评价有毒污染物的参考暴露剂量 RfD , Pb、Cd 的 RfD 分别为 3.5、1.0 $\mu\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$,以 $HQ_{\text{蔬菜}}$ 表征由蔬菜摄入引起的重金属暴露风

险指数。 $HQ_{\text{蔬菜}}$ 的计算公式如下:

$$HQ_{\text{蔬菜}} = CDI_{\text{蔬菜}} / RfD$$

式中, HQ 为发生某种特定有害健康效应而造成等效死亡的终身危险度; RfD 为化学污染物在某种暴露途径下的日参考剂量($\mu\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$)。如果 $HQ_{\text{蔬菜}}$ 值小于 1,说明没有明显的风险;反之,如果大于或等于 1,相关暴露人群就会有健康风险。

1.5 数据的分析与统计

采用 Excel 和 SPSS 统计软件对数据进行相关分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 蔬菜土壤和蔬菜中重金属污染状况

由表 2 中可知,各采样点(酸性)土壤中重金属 Pb 和 Cd 含量均超出我国土壤 II 级标准值(GB15618—1995, pH 值 < 6.5, Pb ≤ 250 mg/kg, Cd ≤ 0.3 mg/kg;适用于一般农田和蔬菜地),超标率达到 100%,可知该地区重金属污染非常严重。根据表 1《食品中重金属卫生标准》中重金属 Pb 和 Cd 的标准限值可知,采集的 57 个蔬菜样品中受到重金属 Pb 污染的蔬菜有 30 个,如空心菜、苋菜、大白菜、大

蒜、包菜、菠菜、香菜、生菜、小白菜、红菜苔、白菜苔和茄子;受到重金属 Cd 污染的蔬菜有 26 个,包括苋菜、空心菜、大白菜、大蒜、包菜、生菜、菠菜、香菜、小白菜、白菜苔、红菜苔和茄子。显然,当地部分蔬菜受到重金属的污染。只有苦瓜、黄瓜、玉米、丝瓜等果菜类蔬菜重金属含量未超过国家食品卫生标准。

表 2 不同种类蔬菜和土壤中重金属含量
Table 2 Contents of heavy metals in soils and vegetables

蔬菜类型 Vegetable types	样品数(N) Samples	蔬菜种类 Different vegetables	Pb/ (mg/kg)		Cd/ (mg/kg)	
			土壤 (均值±标准差) Soil	蔬菜可食部位 (均值±标准差) Edible part	土壤 (均值±标准差) Soil	蔬菜可食部位 (均值±标准差) Edible part
			(Mean ±SD)	(Mean± SD)	(Mean ±SD)	(Mean± SD)
叶菜类 (N=29) Leaf vegetables	3	空心菜	627.5±56.4	0.51±0.07	2.8±0.5	0.20±0.10
	3	苋菜	1251.9±38.7	2.36±0.29	7.6±0.4	2.92±0.59
	2	大白菜	582.2±55.6	0.75±0.13	3.4±0.9	0.42±0.03
	3	大蒜	596.3±70.0	5.03±0.09	2.8±0.8	2.54±0.87
	3	包菜	595.1±60.2	0.67±0.28	2.7±0.1	0.04±0.02
	3	菠菜	543.6±57.0	0.97±0.19	2.8±0.7	0.51±0.05
	2	香菜	1071.5±13.4	1.90±0.21	7.5±0.2	1.02±0.06
	3	生菜	1077.3±16.5	1.16±0.54	7.3±0.5	0.46±0.21
	2	小白菜	1049.5±50.9	0.42±0.06	7.6±0.3	0.12±0.02
	2	红菜苔	1008.2±30.9	0.94±0.33	7.8±0.7	0.18±0.04
	3	白菜苔	1094.2±39.7	0.78±0.24	7.8±0.6	0.24±0.09
	均值 Mean		863.4±44.5	1.41±0.22	6.8±0.5	0.79±0.19
果菜类 (N=28) Fruit vegetables	3	苦瓜	534.8±50.7	0.06±0.01	2.5±0.4	0.002±0.001
	3	西红柿	1015.7±47.6	NG	7.8±0.5	0.03±0.01
	3	南瓜	1063.0±5.6	0.12±0.03	6.8±0.4	0.001±0.01
	3	玉米	1094.1±23.9	0.20±0.01	7.6±0.4	0.0003±0.01
	3	黄瓜	1116.0±33.1	NG	7.7±0.1	0.004±0.001
	2	丝瓜	582.6±11.2	0.01±0.001	3.1±0.4	0.002±0.001
	3	辣椒	539.4±65.2	0.06±0.01	2.3±0.8	0.05±0.04
	2	茄子	1115.4±16.4	0.43±0.001	7.6±0.3	0.29±0.03
	3	四季豆	576.9±55.5	NG	13.2±18.2	0.01±0.02
	3	长豆角	561.1±19.4	0.07±0.01	3.5±0.6	0.01±0.01
	均值 Mean		819.9±32.9	0.10±0.08	6.2±2.2	0.04±0.01

NG 为未检出

根据对各种蔬菜可食部位 Pb 浓度的均值(表 2)进行层级聚类分析(图 1),可将蔬菜分为 4 类:大蒜、香菜和苋菜归为 I 类,其 Pb 浓度最高;包菜、白菜苔、大白菜、空心菜、茄子和小白菜等蔬菜的 Pb 浓度次之,为 II 类;菠菜、生菜、红菜苔、划为 III 类;四季豆、长豆角、黄瓜、丝瓜、苦瓜、南瓜、玉米、西红柿、辣椒等蔬菜 Pb 浓度较低,划为 IV 类。同理,根据蔬菜 Cd 浓度均值(表 2)进行层级聚类分析(图 1),可将蔬菜分为 3 类:大蒜和苋菜归为 I 类,香菜为 II 类,大白菜、生菜、菠菜、小白菜、白菜苔、红菜苔、四季豆、长豆角、黄瓜、丝瓜、苦瓜、南瓜、玉米、西红柿、辣椒、茄子等划为 III 类。由此可知,在矿区种植蔬菜时应选择重金属 Pb 和 Cd 浓度较低的蔬菜品种,比如

长豆角、四季豆、丝瓜、玉米、黄瓜、辣椒等果菜类蔬菜,即使是在重金属 Pb 和 Cd 浓度相对较高的土壤上种植这些蔬菜,其可食部位也没有超标。

2.2 不同蔬菜种类各部位重金属含量

如表 3 可知,叶菜类蔬菜中根和茎叶部位 Pb 含量范围分别为 3.18—28.47、0.42—5.03 mg/kg,平均含量分别为 11.73、1.41 mg/kg;Cd 含量范围分别为 0.08—5.95、0.04—2.92 mg/kg,平均含量分别为 1.58、0.79 mg/kg。果菜类蔬菜中根、茎、叶、果部位 Pb 含量分别为 2.71—13.88、0.22—2.02、0.02—4.77、NG—0.43,平均含量分别为 6.36、0.86、1.30、0.10;Cd 含量范围分别为 0.09—1.37、0.04—0.32、0.01—0.86、0.0003—0.29 mg/kg,平均含量分别为 0.56、0.19、

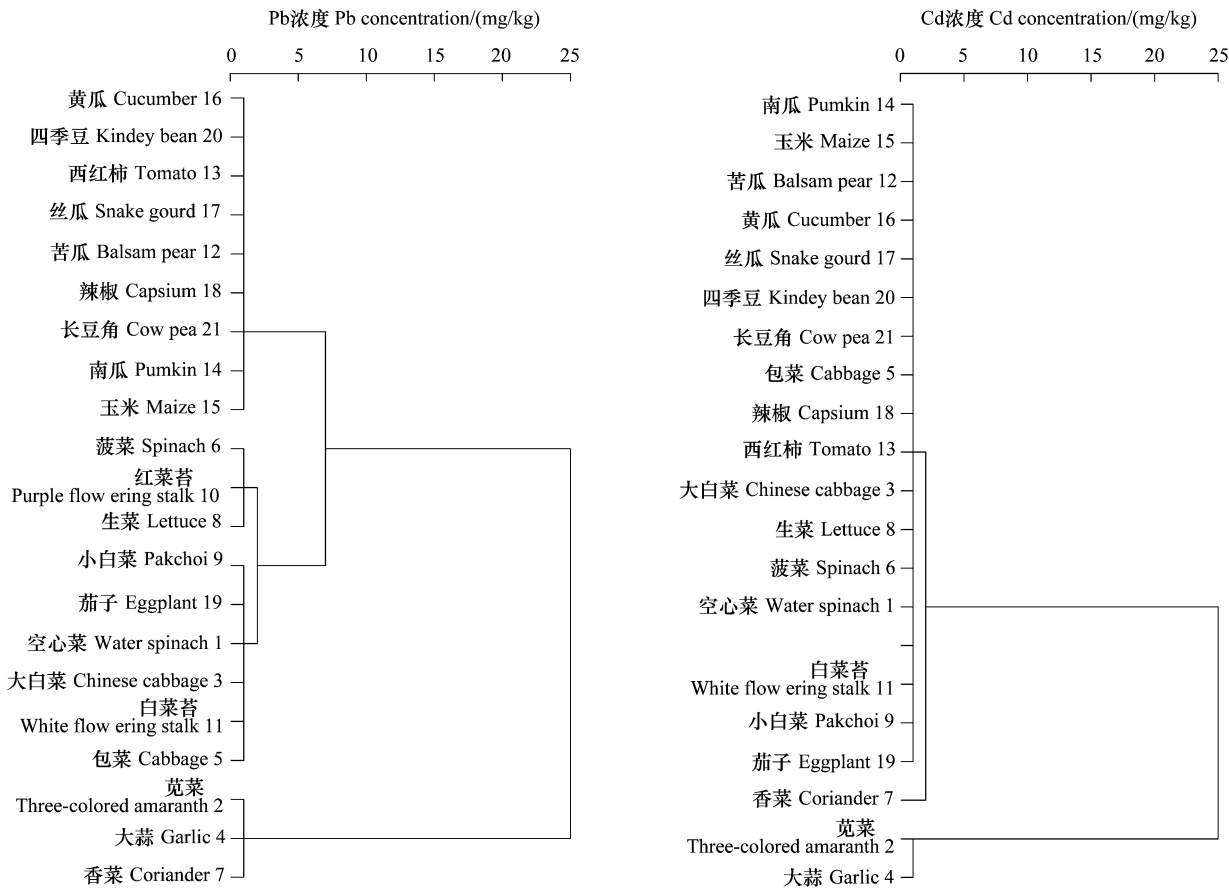


图 1 基于不同蔬菜重金属 Pb 和 Cd 浓度均值的聚类分析结果

Fig.1 Cluster analysis based on mean concentrations of Pb and Cd in different vegetables

表 3 不同蔬菜种类各部位重金属含量

Table 3 Contents of heavy metals in different organs of different vegetable types									
蔬菜类型 Vegetable types	蔬菜部位 Different parts	Pb/ (mg/kg)				Cd/ (mg/kg)			
		范围 Range	几何均值 Geometric mean	中值 Median	平均值 ±标准差 Mean ±SD	范围 Range	几何均值 Geometric mean	中值 Median	平均值 ±标准差 Mean ±SD
叶菜类 (<i>N</i> = 29)	根	3.18—28.47	11.72	11.73	11.73±2.85	0.08—5.95	1.55	1.56	1.58±0.05
(Leaf vegetables)	可食部位	0.42—5.03	1.38	1.40	1.41±0.22	0.04—2.92	0.77	0.75	0.79±0.07
果菜类	根	2.71—13.88	6.27	6.35	6.36±2.42	0.09—1.37	0.55	0.56	0.56±0.02
(<i>N</i> = 28)	茎	0.22—2.02	0.85	0.85	0.86±0.36	0.04—0.32	0.19	0.18	0.19±0.02
(Fruit	叶	0.02—4.77	1.30	1.28	1.30±0.71	0.01—0.86	0.08	0.09	0.09±0.02
vegetables)	可食部位	NG—0.43	0.097	0.098	0.10±0.08	0.0003—0.29	0.03	0.04	0.04±0.01
NG 为未检出；SD 是标准差									

0.09、0.04 mg/kg。显然,同种蔬菜不同部位重金属含量不同。综上所述,蔬菜中重金属含量顺序一般是根>茎>叶>果,或者根>叶>茎>果。

不同蔬菜中同种重金属含量也不同。蔬菜可食部位重金属 Pb、Cd 含量顺序为叶菜类>果菜类,叶菜类更容易富集重金属 Pb、Cd,这与其他研究结果

类似^[33]。

3 讨论

3.1 不同蔬菜品种对重金属的富集能力分析

本文采用富集系数(即蔬菜可食部位中某污染物含量与土壤中该污染物含量的比值)来评价蔬菜

对重金属的富集能力^[34-35]。一般来说,蔬菜对重金属的富集系数越小,表明其吸收重金属的能力越差,抗土壤重金属污染的能力较强。表4表示,蔬菜对

表4 不同种类蔬菜中重金属的富集系数

Table 4 Bioaccumulation factors of heavy metals in different vegetable types

蔬菜类型 Vegetable types	样品数 Samples	蔬菜种类 Vegetable	重金属的富集系数 Bioaccumulation factors of heavy metals	
			Pb	Cd
叶菜类 (N=29) Leaf vegetables	3	空心菜	0.0008	0.0719
	3	茼蒿	0.0019	0.3817
	2	大白菜	0.0013	0.0228
	3	大蒜	0.0084	0.8952
	3	包菜	0.0011	0.0132
	3	菠菜	0.0018	0.1843
	2	香菜	0.0018	0.1368
	3	生菜	0.0011	0.0633
	2	小白菜	0.0004	0.0154
	2	红菜苔	0.0009	0.0234
果菜类 (N=28) Fruit vegetables	3	白菜苔	0.0007	0.0305
		平均值	0.0018	0.1671
	3	苦瓜	0.0001	0.0008
	3	西红柿	0.0000	0.0036
	3	南瓜	0.0001	0.0002
	3	玉米	0.0002	0.00004
	3	黄瓜	0.0000	0.0005
	2	丝瓜	0.00002	0.0007
	3	辣椒	0.0001	0.0217
	2	茄子	0.0004	0.0381
	3	四季豆	0.0000	0.0009
	3	长豆角	0.0001	0.0029
		平均值	0.0001	0.0070

Pb 的富集系数在 0—0.0084 之间,对 Cd 的富集系数在 0—0.8952 之间。大蒜对 Pb 和 Cd 的富集系数最高,分别为 0.0084 和 0.8952;黄瓜、西红柿和四季豆等果菜类的富集系数最小,几乎为 0。2 类蔬菜中重金属 Pb、Cd 富集系数的顺序相同,叶菜类>果菜类,与图 1 分析结果一致。另外,2 类蔬菜对重金属 Pb、Cd 的富集能力大小依次为 Cd > Pb,这与林君锋等的研究结果类似^[36]。

3.2 蔬菜中重金属与土壤中重金属相关性分析

表 5 表明,土壤中 Pb 与 Cd,土壤中 Pb 与蔬菜中 Pb、Cd 之间均呈正相关;另外,蔬菜中重金属 Pb 和 Cd 之间存在极显著正相关性,说明它们之间具有

同源关系或复合污染。此结论与朱书法等关于土壤与蔬菜中重金属 Pb 含量相关性的研究结果类似^[37]。

表5 蔬菜重金属与土壤重金属相关关系

Table 5 Correlations between the contents of heavy metals in vegetables and those in soils

项目 Item	Pb _土	Cd _土	Pb _菜	Cd _菜
Pb _{土soil}	1	0.278 (n=21)	0.305 (n=18)	0.180 (n=21)
Cd _{土soil}		1	0.138 (n=18)	-0.032 (n=21)
Pb _{菜vegetable}			1	0.906 ** (n=18)
Cd _{菜vegetable}				1

采用 Pearson 相关分析,双侧检验,* * 表示 $P < 0.01$,* 表示 $P < 0.05$;土: Soil;菜: Vegetable

3.3 蔬菜中重金属的健康风险评估

根据 USEPA^[31] 和 WHO^[32] 推荐的参考暴露剂量 (RfD),当人体平均日摄入量 (CDI) 超出 RfD ,即 $HQ_{蔬菜} > 1$ 时,表明污染物可引起人体的健康风险; $HQ_{蔬菜}$ 值越大,表明该污染物对人体健康风险越大。表 6 表示,对果菜类蔬菜而言,Pb 和 Cd 的日摄入量 (CDI) 均小于 USEPA 的日参考暴露剂量 RfD ,Pb 和 Cd 暴露风险指数分别为 0.005 和 0.07, $HQ_{蔬菜} < 1$ 。对叶菜类蔬菜而言,Pb 和 Cd 的日摄入量 (CDI) 均大于 USEPA 的日参考暴露剂量 RfD ,Pb 和 Cd 暴露风险指数分别为 1.70 和 3.73, $HQ_{蔬菜} > 1$ 。显然,食用叶菜类的重金属健康风险较高,食用果菜类蔬菜的重金属健康风险较低。此结果与杨胜香等关于蔬菜重金属健康风险评价的类似研究结论相同^[38]。根据本研究区域蔬菜和农田环境质量现状污染水平,重金属 Pb 和 Cd 通过蔬菜途径对当地居民带来的健康风险很高,可能给人体健康带来潜在危害。应该对研究区域居民食用的蔬菜予以关注,建议在当地种植一些食用部位 Pb 和 Cd 含量较低的果菜类蔬菜。

4 结论

(1) 湘南某矿区附近土壤中 Pb 和 Cd 均超出国家土壤 II 级标准值,而且茼蒿、空心菜、大蒜、生菜、白菜苔、红菜苔等叶菜类蔬菜中 Pb 和 Cd 含量超过国家食品卫生标准限值,叶菜类蔬菜 Pb 和 Cd 浓度高于果菜类蔬菜。建议在当地种植一些苦瓜、黄瓜、玉米、丝瓜等未超过国家食品卫生标准的果菜类蔬菜。

表 6 食用蔬菜的重金属摄入量及健康风险

Table 6 Intake and health risk of heavy metal through vegetables consumption

蔬菜类型 Vegetable types	重金属 Heavy metals	CDI/($\mu\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$) Concentration daily intake	RfD/($\mu\text{g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$) Reference dose	HQ Health quotient
叶菜类 Leaf vegetables	Pb	5.94	3.5	1.70
	Cd	3.73	1.0	3.73
果菜类 Fruit vegetables	Pb	0.02	3.5	0.005
	Cd	0.07	1.0	0.070

(2) 同种蔬菜不同部位重金属含量不同, 顺序一般为根>茎>叶>果, 或者根>叶>茎>果。不同蔬菜同种重金属含量也不同, 顺序一般为叶菜类>果菜类。

(3) 2 类蔬菜中 Pb、Cd 的富集系数顺序为: 叶菜类>果菜类; 其中大蒜的富集系数最大, 黄瓜和玉米的最小。2 类蔬菜对 Pb、Cd 的富集能力大小顺序为 Cd > Pb。

(4) 蔬菜中 Pb 和 Cd 之间存在极显著正相关性, 说明它们之间具有同源关系或复合污染。

(5) 通过计算蔬菜中重金属健康风险可知, 叶菜类蔬菜的 Pb 和 Cd 的 $HQ_{\text{蔬菜}}$ 值大于 1, 具有健康风险; 而果菜类蔬菜的 Pb 和 Cd 均小于 1, 不存在健康风险。Pb 和 Cd 通过叶菜类蔬菜途径对当地居民的健康风险较高。

References:

- [1] Zhou Z Y, Fan Y P, Wang M J. Heavy metal contamination in vegetables and their control in China. Food Reviews International, 2000, 16(2): 239-255.
- [2] Wang Q R, Dong Y, Cui Y, Liu X. Instances of soil and crop heavy metal contamination in China. Soil and Sediment Contamination, 2001, 10(5): 497-510.
- [3] Cao H B, Chen J J, Zhang J, Zhang H, Qiao L, Men Y. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22 (11): 1792-1799.
- [4] Hu C H, Jiang J H, Zhou W B. Risk evaluation and sources Analysis of heavy metals in vegetable field soil of rural area around Poyang lake. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32 (6): 771-776.
- [5] Lei M, Zeng M, Zheng Y M, Liao B H, Zhu Y G. Heavy metals pollution and potential ecological risk in paddy soils around mine areas and smelting areas in Hunan Province. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(6): 1212-1220.
- [6] Liao B H, Guo Z H, Probst A, Probst J L. Soil heavy metal contamination and acid deposition: experimental approach on two forest soils in Hunan, Southern China. Geoderma, 2005, 127(1/2): 91-103.
- [7] Guo Z H, Zhu Y G. Contamination and available contents of heavy metals in soils in the typical mining and smelting circumjacent districts. Ecology and Environment, 2004, 13(4): 553-555.
- [8] Zhou H, Zeng M, Liu J, Liao B H. Investigation and evaluation of Pb, Cd, Zn contamination in soybean planting soils of 4 typical mine zones in Hunan Province, China. Journal Agro-Environment Science, 2011, 30(3): 476-481.
- [9] Liao B H, Liu J, Zhou H, Zeng M, Huang Y X, Zhou X H, Zeng Q R. Effects of Cd stress on physiological and ecological indicators and their differences of soybean plants at different growth stages. China Environmental Science, 2010, 30 (11): 1516-1521.
- [10] Cui Y J, Zhu Y G, Zhai R H, Chen D Y, Huang Y Z, Qiu Y, Liang J Z. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. Environment International, 2004, 30(6): 785-791.
- [11] Pan P, Yang J C, Deng S H, Jiang H M, Zhang J F, Li L L, Shen F. Proceedings and prospects of pesticides and heavy metals contamination in soil-plant system. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(12): 2389-2398.
- [12] Fang F M, Wang L L, Xie H F, Wang H D. Enrichment characteristic and health risk assessment of heavy metals in vegetables in Sanshan District, Wuhu City, China. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(8): 1471-1476.
- [13] Zou R, Shen D, Bai X F, Li X X. Research progress on physiological effect of heavy metals in vegetables and their accumulation rule. China Vegetables, 2011, (4): 1-7.
- [14] Alam M G M, Snow E T, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. Science of the Total Environment, 2003, 308(1/3): 83-96.
- [15] Yao C X, Chen Z L, Zhang J, Hou J, Liu W, Xu Y Z, Lu J D. Heavy metal contents and evaluation of vegetable and soil in Pudong, Shanghai city. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36 (6): 884-887.
- [16] Xie Z M, L J, Xu J M, Ye L J, Wang B L. Evaluation on environmental quality of Pb, Zn and Cu contents in vegetable plantation soils and vegetables in Hangzhou Suburb. Environmental Science, 2006, 27(4): 742-747.

- [17] Xie H, Liao X Y, Chen T B, Lin J Z. Arsenic in plants of farmland and its healthy risk: a case study in an As-contaminated site in Dengjatang, Chenzhou City, Hunan province. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 151-159.
- [18] Song B, Gao D, Chen T B, Huang Z C, Zheng Y M, Lei M, Zheng G D, Yang J, Liao X Y. A survey of chromium concentrations in vegetables and soils in Beijing and the potential risks to human health. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(10): 1708-1715.
- [19] Chen T B, Song B, Zheng Y M, Huang Z C, Lei M, Liao X Y. A survey of lead concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risks. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(8): 1589-1597.
- [20] Wang X F, Luo L Q. Uptake of heavy metal in vegetables grown in Pb-Zn-Ag mine, Nanjing. *Ecology and Environmental Science*, 2009, 18(1): 143-148.
- [21] Hu J L, Wu F Y, Wu S C, Sun X L, Lin X G, Wong M H. Phytoavailability and phytovariety codetermine the bioaccumulation risk of heavy metal from soils, focusing on Cd-contaminated vegetable farms around the Pearl River Delta, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 91(1): 18-24.
- [22] Song B, Zhang X H, Meng D L, Zhong X M. Lead concentrations and contamination assessment in vegetables and soils in Guilin. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(10): 1155-1160.
- [23] Liu H Y, Probst A, Liao B H. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). *Science of the Total Environment*, 2005, 339(1/3): 153-166.
- [24] Lu R K. *Methods of Agricultural Chemical Analysis in Soil*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 334-335, 478-478, 488-488.
- [25] The Chinese Ministry of Public Health. GB14935-94 Tolerance Limit of Lead in Foods. Beijing: Standards Press of China, 1994.
- [26] The Chinese Ministry of Public Health. GB15201-94 Tolerance Limit of Cadmium in Foods. Beijing: Chinese Standard Press, 1994.
- [27] Tripathi R M, Raghunath R, Krishnamoorthy T M. Dietary intake of heavy metals in Bombay city, India. *Science of the Total Environment*, 1997, 208(3): 149-159.
- [28] Chen H, Liu Z Q, Li G H. A study of the establishment and evaluation method of the soil risk guideline of contaminated sites. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2006, 33(2): 84-88.
- [29] Feng Z M, Shi D F. Chinese food consumption and nourishment in the latest 20 years. *Resources Science*, 2006, 28(1): 2-8.
- [30] Zhang L, Zhang X C. Interactions of nitrogen with water and light in the growth of plant. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(1): 43-46.
- [31] USEPA. Risk-based Concentration Table. Philadelphia: United States Environmental Protection Agency, 2000.
- [32] WHO (World Health Organization). Evaluation of certain food additives and contaminants (41st Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO Technical Report Series, No. 837, 1993.
- [33] Song B, Chen T B, Zheng Y M, Huang Z C, Zheng G D, Luo J F. A survey of cadmium concentrations in vegetables and soils in Beijing and the potential risks to human health. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(8): 1343-1353.
- [34] Yue Z H, Zhang F Q, Hu R Z, Hu R Z, Wang C H, Li W L. Migration and accumulation of heavy metals and fin garden soils and vegetables. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 1992, 18(4): 929-936.
- [35] Zheng Y M, Song B, Chen T B, Huang Z C, Lei M, Liao X Y, Chen H, Zheng G D. A survey of copper concentrations in vegetables and soils in Beijing and their health risk. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5): 1093-1101.
- [36] Zheng N, Wang Q C, Zheng D M. Transfer characteristics of mercury, lead, cadmium, zinc and cuprum from soil to vegetable around zinc smelting plant. *Environmental Sciences*, 2007, 28(6): 1349-1354.
- [37] Zhu S F, Dong T Y, Jiang Y. Correlation of the heavy metal content in soil and vegetable from Luoyang suburban vegetable field. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(3): 837-839.
- [38] Yang S X, Yi L B, Liu J, Wang H, Suo Y Y. Heavy metals concentrations and health risk in vegetables grown on Mn and Pb/Zn mineland in Huayuan County, West Hunan Province, China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(1): 17-23.

参考文献:

- [4] 胡春华, 蒋建华, 周文斌. 环鄱阳湖区农家菜地土壤重金属风险评价及来源分析. *地理科学*, 2012, 32(6): 771-776.
- [5] 雷鸣, 曾敏, 郑袁明, 廖柏寒, 朱永官. 湖南采矿区和冶炼区水稻土重金属污染及其潜在风险评价. *环境科学学报*, 2008, 28(6): 1212-1220.
- [7] 郭昭辉, 朱永官. 典型矿冶周边地区土壤重金属污染及有效性含量. *生态环境*, 2004, 13(4): 553-555.
- [8] 周航, 曾敏, 刘俊, 廖柏寒. 湖南4个典型工矿区大豆种植土壤 Pb Cd Zn 污染调查与评价. *农业环境科学学报*, 2011, 30(3): 476-481.
- [9] 廖柏寒, 刘俊, 周航, 曾敏, 黄运湘, 周细红, 曾清如. Cd 胁迫对大豆各发育阶段生长及生理指标的影响. *中国环境科学*, 2010, 30(11): 1516-1521.
- [11] 潘攀, 杨俊诚, 邓仕槐, 姜慧敏, 张建峰, 李玲玲, 沈飞. 土壤-植物体系中农药和重金属污染研究现状及展望. *农业环境科学学报*, 2011, 30(12): 2389-2398.
- [12] 方凤满, 汪琳琳, 谢宏芳, 王海东. 芜湖市三山区蔬菜中重金属富集特征及健康风险评估. *农业环境科学学报*, 2010, 29(8): 1471-1476.

- [13] 邹日, 沈镒, 柏新富, 李锡香. 重金属对蔬菜的生理影响及其富集规律研究进展. 中国蔬菜, 2011, (4): 1-7.
- [15] 姚春霞, 陈振楼, 张菊, 侯晶, 刘伟, 徐益章, 陆建忠. 上海市浦东新区土壤及蔬菜重金属现状调查及评价. 土壤通报, 2005, 36(6): 884-887.
- [16] 谢正苗, 李静, 徐建明, 叶兰军, 王碧玲. 杭州市郊蔬菜基地土壤和蔬菜中 Pb、Zn 和 Cu 含量的环境质量评价. 环境科学, 2006, 27(4): 742-747.
- [17] 谢华, 廖晓勇, 陈同斌, 林鉴钊. 污染农田中植物的砷含量及其健康风险评估——以湖南郴州邓家塘为例. 地理研究, 2005, 24(1): 151-159.
- [18] 宋波, 高定, 陈同斌, 黄泽春, 郑袁明, 雷梅, 郑国砥, 杨军, 廖晓勇. 北京市菜地土壤和蔬菜铬含量及其健康风险评估. 环境科学学报, 2006, 26(10): 1707-1715.
- [19] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 黄泽春, 雷梅, 廖晓勇. 北京市菜地土壤和蔬菜铅含量及其健康风险评估. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1589-1597.
- [20] 王晓芳, 罗立强. 铅锌银矿区蔬菜中重金属吸收特征及分布规律. 生态环境学报, 2009, 18(1): 143-148.
- [22] 宋波, 张学洪, 蒙冬柳, 钟雪梅. 桂林市菜地土壤和蔬菜铅含量调查与污染评价. 环境科学研究, 2012, 25(10): 1155-1160.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000: 334-335, 478-478, 488-488.
- [25] 中华人民共和国卫生部. GB14935-94 食品中铅限量卫生标准. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [26] 中华人民共和国卫生部. GB15201-94 食品中镉限量卫生标准. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [28] 陈华, 刘志全, 李广贺. 污染场地土壤风险基准值构建与评价方法研究. 水文地质工程地质, 2006, 33(2): 84-88.
- [30] 张丽, 张兴昌. 植物生长过程中水分、氮素、光照的互作效应. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 43-46.
- [33] 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 黄泽春, 郑国砥, 罗金发. 北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析. 环境科学学报, 2006, 26(8): 1343-1353.
- [34] 岳振华, 张富强, 胡瑞芝, 王翠红, 李武陵. 菜园土中重金属和氟的迁移累积及蔬菜对重金属的富集作用. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 1992, 18(4): 929-937.
- [35] 郑袁明, 宋波, 陈同斌, 黄泽春, 雷梅, 廖晓勇, 陈煌, 郑国砥. 北京市菜地土壤和蔬菜中铜含量及其健康风险. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1093-1101.
- [36] 郑娜, 王起超, 郑冬梅. 锌冶炼厂周围重金属在土壤-蔬菜系统中的迁移特征. 环境科学, 2007, 28(6): 1349-1354.
- [37] 朱书法, 董铁有, 姜勇. 洛阳市郊区蔬菜地土壤-蔬菜中重金属含量的相关性研究. 安徽农业科学, 2008, 36(3): 837-839.
- [38] 杨胜香, 易浪波, 刘佳, 王辉, 索悠扬. 湘西花垣矿区蔬菜重金属污染现状及健康风险评价. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 17-23.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.8 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Growth rates of marine planktonic ciliates; a review ZHANG Wuchang, LI Haibo, FENG Meiping, et al (1897)
- Research status and prospects on functions of urban forests in regulating the air particulate matter
..... WANG Xiaolei, WANG Cheng (1910)
- A review of snow-living Collembola ZHANG Bing, NI Zhen, CHANG Liang, et al (1922)

Autecology & Fundamentals

- Photosynthetic responses to changes in CO₂ concentration and soil moisture in leaves of *Securinega suffruticosa* from shell ridge
islands in the Yellow River Delta, China ZHANG Shuyong, XIA Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (1937)
- Quantities and spectral characteristics of DOM released from leaf and litterfall in *Castanopsis carlesii* forest and *Cunninghamia
lanceolata* plantation KANG Genli, YANG Yusheng, SI Youtao, et al (1946)
- Seasonal dynamics of leaf area index using different methods in the Korean pine plantation
..... WANG Baoqi, LIU Zhili, QI Yujiao, et al (1956)
- Influence of environmental changes on stoichiometric traits of nitrogen and phosphorus for *Larix gmelinii* trees
..... PING Chuan, WANG Chuankuan, et al (1965)
- Soil water in deep layers under different land use patterns on the Loess Tableland ... CHENG Liping, LIU Wenzhao, LI Zhi (1975)
- Water parameters of the branch of *Larrea tridentata* under different soil drought stress
..... ZHANG Xiangning, SUN Xiangyang, WANG Baoping, et al (1984)
- Effects of shading treatments on photosynthetic characteristics of *Juniperus sabina* Ant. seedlings
..... ZHAO Shun, HUANG Qiuxian, LI Yuling, et al (1994)
- Root distribution in typical sites of Lijiang ecotone and their relationship to soil properties
..... LI Qingshan, WANG Dongmei, XIN Zhongbao, et al (2003)
- The survival and above/below ground growth of *Haloxylon ammodendron* seedling
..... TIAN Yuan, TASHPOLAT · Tiyp, LI Yan, et al (2012)
- Effects of simulated acid rain on the physiological and ecological characteristics of *Rhododendron hybridum*
..... TAO Qiaojing, FU Tao, XIANG Xina, et al (2020)
- Karst cave bacterial calcium carbonate precipitation: the Shijiangjun Cave in Guizhou, China
..... JIANG Jianjian, LIU Ziqi, HE Qiufang, et al (2028)
- Migration of the 7th generation of brown planthopper in northeastern Guangxi Zhuang Autonomous Region, and analysis of source
areas QI Huihui, ZHANG Yunhui, JIANG Chunxian, et al (2039)

Population, Community and Ecosystem

- The dynamics and determinants of population size and spatial distribution of Common Cranes wintering in Poyang Lake
..... SHAN Jihong, MA Jianzhang, LI Yankuo, et al (2050)
- Effects of snow pack on wintertime soil nitrogen transformation in two subalpine forests of western Sichuan
..... YIN Rui, XU Zhengfeng, WU Fuzhong, et al (2061)
- Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaolinling
..... CHEN Yun, WANG Hailiang, HAN Junwang, et al (2068)
- Phytoplankton community structures revealed by pigment signatures in Norwegian and Greenland Seas in summer 2012
..... WANG Xiaoying, ZHANG Fang, LI Juanying, et al (2076)
- Analysis of differences in insect communities at different altitudes in *Zanthoxylum bungeanum* gardens, Yunnan, China
..... GAO Xin, ZHANG Limin, ZHANG Xiaoming, et al (2085)
- The bacterial community changes after papermaking wastewater treatment with artificial wetland
..... GUO Jianguo, ZHAO Longhao, XU Dan, et al (2095)

- Ecological water requirement estimation of the rump lake in an extreme arid region of East Juyanhai
..... ZHANG Hua, ZHANG Lan, ZHAO Chuanyan (2102)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Spatial distribution patterns of species richness and hotspots of protected plants in Qinling Mountain
..... ZHANG Yinbo, GUO Liulin, WANG Wei, et al (2109)
- Impacts of solar radiation on net ecosystem carbon exchange in a mixed plantation in the Xiaolangdi Area
..... LIU Jia, TONG Xiaojuan, ZHANG Jinsong, et al (2118)
- Carbon density and distribution of *Pinus tabulaeformis* plantation ecosystem in Hilly Loess Plateau
..... YANG Yujiao, CHEN Yunming, CAO Yang (2128)
- Dynamics of carbon storage at different aged *Koelreuteria paniclata* tree in Xiangtan Mn mining wasteland
..... TIAN Dalun, Li Xionghua, LUO Zhaozhui, et al (2137)

Resource and Industrial Ecology

- Contamination status of Pb and Cd and health risk assessment on vegetables in a mining area in southern Hunan
..... WU Yanming, LV Gaoming, ZHOU Hang, on storage at different age (2146)

Urban, Rural and Social Ecology

- Life cycle assessment and environmental & economic benefits research of important building external insulation materials in Beijing ...
..... ZHU Lianbin, KONG Xiangrong, WU Xian (2155)
- Effects of urban imperious surface on the habitat and ecophysiology characteristics of *Ginkgo biloba*
..... SONG Yingshi, LI Feng, WANG Xiaoke, et al (2164)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 杨永兴

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 8 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 8 (April, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010) 62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

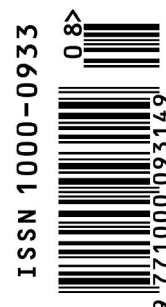
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010) 64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元