

畜禽养殖废物农用对蔬菜铬含量的影响

龙海燕, 吴春山, 李小梅*

(福建师范大学环境科学研究所, 福州 350007)

摘要:选取福州城郊典型蔬菜种植区,调查分析了猪粪农用和污灌对土壤和蔬菜铬含量的影响。结果表明:施用猪粪及污灌条件下菜地土壤铬含量是未施用猪粪菜地土壤的 1.35~2.75 倍;蔬菜各器官铬浓度顺序为根>叶>茎;施用猪粪及污灌后,蔬菜不同器官铬浓度提高到未施用猪粪的 1.14~5.82 倍,尤其是食用块茎铬浓度提高最大;施用猪粪及污灌后,铬元素在蔬菜各器官的分配格局发生改变,根部份额减小,茎、叶份额增大(尤其食用部位),以马铃薯食用块茎铬浓度份额增大最明显。因此,畜禽养殖废物农用增加了蔬菜食用的安全风险。

关键词:养殖废物;铬;蔬菜;福州

中图分类号:X503.231 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2012)08-1491-07

Effect of Local Livestock Waste Using as Fertilizer on Pollution of Chromium in Vegetables

LONG Hai-yan, WU Chun-shan, LI Xiao-mei*

(Institute of Environmental Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: With the application of modern technique of breeding domestic livestock, heavy metals are added into the feeding material of livestock, then some of them may be remained into the livestock waste after the livestock's absorption. If the waste is reused directly as fertilizers in the field, it will potentially lead to the accumulation of heavy metals in vegetable or cereal through soil. We selected the traditional vegetable fields in suburb of Fuzhou, analyzed the chromium content in local typical vegetables in fields both with pig farm wastes as fertilizer and without pig wastes at the meantime, then assessed the heavy metal pollution impact on vegetables caused by the application of pig farm wastes. Results showed that chromium content in soil samples with pig farm wastes as fertilizer was 1.35~2.75 times of that in soil samples without pig farm wastes; Chromium content in vegetable root arrived at the highest level among the whole plant, then leaf and stem, it meant that chromium in vegetable was quite inactive; Chromium content in different organs of the vegetable with pig farm wastes as fertilizer was 1.14~5.82 times of that without pig farm wastes, the highest was edible stem or leaves of vegetables. With pig farm wastes as the fertilizer, the distribution pattern of chromium content in the organs of vegetables was changed, chromium element percentage in root decreased while increased in edible leaf or stem, for example, the highest chromium concentration of potato was in edible stem. Therefore, using waste of livestock as fertilizer may increase the security risks of vegetables.

Keywords: waste of livestock and poultry; chromium; vegetable; Fuzhou

畜禽养殖废物农用是传统农业生产中提高土壤肥力、促进作物生长的有效措施,也是生态农业模式

的重要环节。随着现代畜禽养殖技术的应用,饲料配方中重金属添加剂的使用导致了畜禽废物成分变化,畜禽养殖废物农用可能产生的环境问题如重金属生物累积风险由此发生^[1-10]。蔬菜是人类食物不可缺少的重要部分,以往对蔬菜展开的大多数研究主要是针对氮、磷等营养元素对蔬菜的影响^[11],以及污水灌溉、城市垃圾和污泥施用等引起的菜园土壤重金属污染^[12-16]。畜禽粪便中含有相当数量的具有潜在毒性的重金属,如铬、铜、锌等,但畜禽粪便施用过程中,其所含重金属对蔬菜的影响至今还没有引起足够的重视。在蔬菜生产中,施用畜禽粪便十分普遍,

收稿日期:2012-03-07

基金项目:欧盟第七框架 SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME: Integrated geo-spatial information technology and its application to resource and environmental management towards the GEOSS (IGIT:247608);福建省国际合作重点资助项目:多尺度生态资产遥感综合测量技术研究(2009I006);福建省外专局重点项目:基于GIS和遥感的生态环境尺度定量及其在可持续发展中的应用(SZ2011010)

作者简介:龙海燕(1985—),女,硕士研究生,从事环境影响评价研究。
E-mail:haiyanlongjiayou@163.com

* 通讯作者:李小梅 E-mail:lixiaomei@fjnu.edu.cn

据对山东省调查的结果表明,畜禽粪便施用量年均 $8\,721\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^{-2}$ 。现代集约化畜禽养殖业中,多以配合饲料喂养畜禽,一些微量元素如铬、铜、锌等被广泛应用于饲料添加剂中,由于其生物效价低,这些重金属被排出体外而导致粪便中含有较高量重金属元素^[18];其中,畜禽对无机铬的吸收率仅为1%~3%,饲料中有机铬的吸收率为10%~25%,这使摄入的铬大部分随排泄物排出^[19]。土壤、水体一旦被重金属污染,重金属将通过生物循环进入根系和叶片等植物器官^[20],并在植物根、茎、叶及籽粒中大量积累^[21],再沿食物链进入人体,危及人类健康^[22-25]。因此,长期大量施用含高量重金属的畜禽粪便已成为蔬菜生产中不安全的一个重要因素,研究畜禽粪便施用的生态安全问题已成为一个刻不容缓的问题。本文对养殖废物中铬的生物累积影响进行了定量分析,以为蔬菜安全生产和畜禽养殖废物合理安全利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

选取福州市城郊青口镇南山西村为研究区,研究区地理位置图和采样点分布图分别见图1、图2。该村为福州城郊的典型蔬菜种植区,并有中小规模的养猪场两百多个,猪场养殖废物几乎全部农用。由于样地位于亚热带生物气候带,热量充足,雨量丰沛,蔬菜生长期较短,复种指数较高。研究样地的蔬菜种植模式为:每年11月至次年5月一般种植生长期较长的马铃薯、芋头、茼蒿、菜花、结球甘蓝等,6至10月则以生长期较短的叶菜类如空心菜为主。由于蔬菜多为喜水喜肥作物,每种蔬菜种植前都必须施用足量的猪粪做底肥,除天然降水,猪粪污灌也是补充水、肥的常用

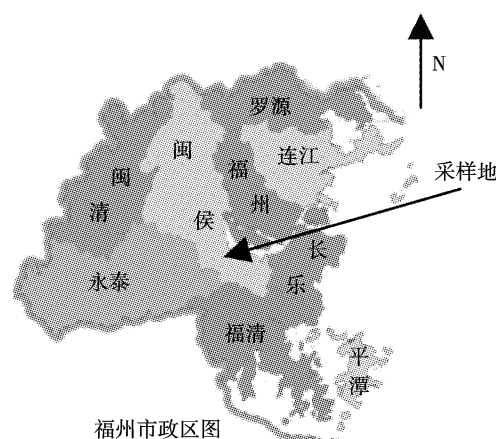


图1 研究区地理位置图

Figure 1 Location of the research area

方式。

1.2 样品采集与制备

样品采集类型、数量和制备方法见表1。土壤和蔬菜样品同步采集,蔬菜包括马铃薯、芋头、茼蒿、芹菜、结球甘蓝、油白菜6类,采样时间分别为2009年4月2日和5月20日。

研究选用的施用猪粪的菜地,种植蔬菜多年,利用猪粪作底肥已有3~4 a,猪粪作底肥的施用量一般为 $40\sim 80\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,在蔬菜种植过程中主要以附近的农灌蓄水坑作为灌溉用水,其由猪粪尿水、雨水、就近的南山溪水混合而成;研究选用的未施用猪粪的菜地,在采样前未施用猪粪,其灌溉用水来自南山溪,该地块距离排污口上游约150 m。在生长期,各类蔬菜每隔1~3 d灌溉1次。

对采自养猪场的养殖废物、饲料进行总铬含量测定,其相关结果见表2。铬是动物饲料中非常重要的微量元素,其随饲料进入动物机体后极难分解^[26]、容

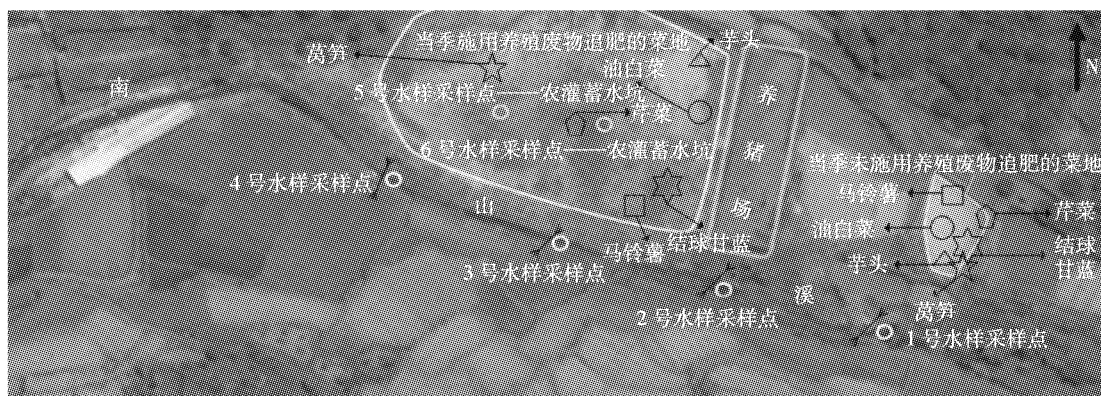


图2 南山西村采样点分布

Figure 2 The spatial distribution of sample points in the research area

表 1 样品采集、前处理方法
Table 1 The method of sampling and pretreatment

样品类型	样品数量	采样方法	样品前处理
饲料样品	1	混合采样法,样品来自养猪场饲料间	经 80 ℃烘干,研磨、过 80 目尼龙筛,备用
养殖场废物样品	1	混合采样法,样品来自养猪场养殖废物堆场	经 80 ℃烘干,研磨、过 80 目尼龙筛,备用
菜地附近河流 水样和灌溉水样	6	混合采样,采样范围:南山溪距离养猪场排污口上游 150 m 到距离养猪场排污口下游 300 m,沿水流方向每隔约 150 m 设置水质采样断面,共采集 4 个水样;另选菜地附近两个粪水坑,采集菜地灌溉水样	水样中加入氢氧化钠,调节样品 pH 值约为 8,采集后尽快测定
菜地土壤	12	表层混合采样,样地选择:选择当地 6 类典型蔬菜,以当季施用猪粪和未施用猪粪为原则选择样地,共 12 块样地	土样经自然风干后,去掉动植物残体及小石子,粉碎、过 80 目尼龙筛,备用
蔬菜样品	44	整株植物采样,样品选择标准:当地 6 类典型蔬菜,蔬菜样品大小适中,具有代表性;每类蔬菜样品分别来自施用猪粪和未施用猪粪地块;按照组织器官部位和食用部分/未食用部分为原则确定测试样品数量	用蒸馏水快速冲净、沥干、按器官分离,将初步处理的上述样品放置于 80 ℃烘箱中烘干,后用玛瑙乳钵研磨并过 80 目尼龙筛,备用

表 2 养猪场饲料、养殖废物中的总铬浓度
Table 2 Total Cr concentration in feeding material and waste from the sampling pig farm

样品名	总铬浓度/mg·kg ⁻¹
饲料	8.944
养殖废物	12.465

易富集,使得动物排泄物中铬的浓度高于饲料。

1.3 样品分析与测试

试验所用试剂为分析纯,二苯基碳酰二肼购自上海菁华科技仪器有限公司;磷酸购自广东光华化学厂有限公司;丙酮、盐酸、高锰酸钾、硝酸等试剂购自广东汕头西陇化工厂有限公司。

试验主要仪器为紫外可见分光光度计(755B)。

水样中 Cr(VI)的含量采用 GB 7467—1987 二苯基碳酰二肼分光光度法进行测定。

饲料、养殖废物及蔬菜样品按照 GB/T 14962—1994 食品中铬的测定方法进行测定,主要操作过程为:先灰化,用硝酸-盐酸消解,样品备用;土样用硝酸-硫酸-氢氟酸体系消解,样品备用;将上述消解样品及水样样品用高锰酸钾氧化,采用二苯基碳酰二肼分光光度法进行分析测定总铬。

2 结果与讨论

2.1 畜禽养殖废物农用的环境影响

2.1.1 菜地土壤重金属铬含量

表 3 为施用猪粪及污灌和未施用猪粪条件下菜地土壤中总铬浓度的变化,根据 HJ 332—2006《食用农产品产地环境质量评价标准》,农产品产地 Cr 的含量应≤150 mg·kg⁻¹(pH<6.5),从表 3 的数据来看,该蔬菜产地土壤中 Cr 含量均未超标,符合无公害蔬菜产地环境安全要求。根据表 3,施用猪粪及污灌的蔬菜地土壤总铬含量范围为 37.35~63.35 mg·kg⁻¹,为未施用猪粪的蔬菜地土壤的 1.35~2.75 倍,最大差值为芹菜产地的表层土壤,比值达到 2.75。可以看出,养殖废物的施用增加了土壤中总铬含量。

2.1.2 菜地灌溉水重金属铬含量

从图 3 可以看出,养猪场排污口上游水体中总铬及 Cr(VI)浓度值含量较低;养猪场排污口处的总铬及 Cr(VI)含量值显著增高,且达到最大值;养猪场排污口下游水体中总铬及 Cr(VI)浓度值顺流逐渐降低。养猪场排污口上游 150 m~下游 300 m 之间没有其他汇、源项,因此从总体的变化趋势分析,养殖废物的排

表 3 施用猪粪及污灌/不施用猪粪两种条件下菜地土壤中总铬浓度对比
Table 3 Comparison of the concentration of total Cr in vegetable soil with the waste of pig farms or not

土壤样品名称	施用猪粪及污灌菜地总铬浓度/mg·kg ⁻¹	未施用猪粪菜地总铬浓度/mg·kg ⁻¹	土壤总铬浓度比值 (施用猪粪及污灌菜地/未施用猪粪菜地)
(马铃薯)菜地 1	37.35	18.08	2.07
(芋头)菜地 2	63.35	46.81	1.35
(芹菜)菜地 3	62.62	22.77	2.75
(莴笋)菜地 4	60.33	24.32	2.48
(结球甘蓝)菜地 5	41.90	27.82	1.51
(油白菜)菜地 6	48.59	22.77	2.13

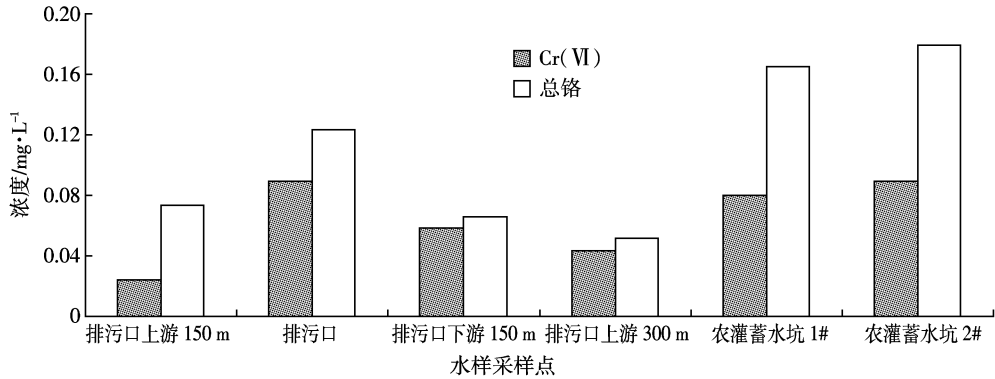


图 3 菜地灌溉水样的 Cr(VI)、总铬浓度

Figure 3 Total Cr and Cr(VI) concentration in river and waste water samples for vegetable irrigation

入是导致当地水体中总铬及 Cr(VI)浓度骤增的主要原因。水体具有一定的自净能力,这使得水体中总铬及 Cr(VI)浓度在养猪场排污口下游段逐步下降。

从图 3 来看,农灌蓄水坑两个采样点的总铬及 Cr(VI)含量均高于溪流断面 4 个采样点;从农灌蓄水坑所蓄水的来源判断,养殖废物是导致农灌蓄水坑总铬及 Cr(VI)浓度较高的主要原因。

2.2 畜禽养殖废物农用对蔬菜的影响

2.2.1 对蔬菜铬含量影响

对施用猪粪及污灌和未施猪粪条件下的不同类型蔬菜中总铬浓度进行分析,其结果见表 4。对照

GB 18406.1—2001 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求及 GB 14961—1994 食品中铬限量卫生标准,其规定的 Cr 浓度限值均为≤0.5 mg·kg⁻¹,施用猪粪及污灌条件下和未施用猪粪的蔬菜的可食用部分均未超过相关限值的要求。根据表 4,蔬菜根的总铬浓度普遍较高,施用猪粪及污灌后蔬菜根的总铬浓度范围为:0.076~0.209 mg·kg⁻¹,未施用猪粪后蔬菜根的总铬浓度范围为 0.044~0.174 mg·kg⁻¹,二者的比值范围为 1.20~1.80,以莴笋最高。

块茎类蔬菜(马铃薯、芋头)叶片总铬浓度大于地上茎,马铃薯、芋头常年使用农灌蓄水坑中的水灌溉,

表 4 施用猪粪及污灌/不施用猪粪条件下蔬菜植株总铬浓度对比

Table 4 Comparison of total Cr concentration in vegetables with the waste of pig farms or not

样品名称			施用猪粪及污灌 蔬菜总铬含量/mg·kg ⁻¹	不施用猪粪 蔬菜总铬含量/mg·kg ⁻¹	(施用猪粪及污灌/不施用猪粪) 蔬菜总铬比值
茎菜类蔬菜	马铃薯	叶	0.077	0.041	1.88
		茎			
		食用茎	0.064	0.011	5.82
		地上茎	0.046	0.037	1.24
	芋头	根	0.209	0.174	1.20
		叶	0.053	0.022	2.41
		茎			
		食用茎	0.048	0.023	2.09
		地上茎	0.038	0.021	1.81
	莴笋	根	0.133	0.082	1.62
		叶	0.024	0.021	1.14
		茎			
叶菜类蔬菜	芹菜	食用茎	0.03	0.018	1.67
		根	0.079	0.044	1.80
		叶	0.031	0.02	1.55
	结球甘蓝	茎	0.029	0.018	1.61
		根	0.076	0.054	1.41
		叶	0.041	0.023	1.78
		老叶	0.071	0.056	1.27
	油白菜	根	0.107	0.084	1.27
		叶	0.032	0.015	2.13
		根	0.083	0.054	1.54

如图 3 所示,农灌蓄水坑的水中总铬浓度在 0.165~0.179 mg·L⁻¹ 之间,可以推测养殖废物污灌可以增加蔬菜叶片的总铬浓度,同时叶片能从大气中吸收生态重金属^[27]。施用猪粪及污灌后块茎类蔬菜食用茎的总铬浓度与未施用猪粪的比值范围为 2.09~5.82。

地上茎蔬菜(莴笋、芹菜)肉质茎富集 Cr 的能力和叶相差不大。由于地上茎在地上部分量大,Cr 的迁移和富集过程能力较强。同一品种蔬菜的不同器官,由于外部形态及内部结构不一,吸收重金属元素的生理生化机制各异,故其重金属元素的累积量差异较大^[28]。施用猪粪及污灌后地上茎类蔬菜食用茎的总铬浓度与未施用猪粪的比值范围为 1.61~1.67。

叶菜类食用叶的总铬浓度因施用猪粪及污灌与否而有所不同,施用猪粪及污灌后,叶片总铬浓度范围 0.032~0.041 mg·kg⁻¹,未施用猪粪的叶片总铬浓度范围 0.015~ 0.023 mg·kg⁻¹,二者比值范围为 1.78~ 2.13。

总之,施用猪粪及污灌均提高了常见蔬菜的总铬浓度,提高到未施用猪粪的同类蔬菜同部位总铬浓度的 1.14~5.82 倍,其中对块茎类蔬菜食用茎的总铬浓度提高最大,尤其使马铃薯食用茎的总铬浓度提高到 5.82 倍,其次为叶菜类食用叶的总铬浓度,最后为地上茎蔬菜(莴笋、芹菜)的肉质茎。

2.2.2 对蔬菜植株不同部位铬分配特征的影响

对施用猪粪及污灌条件下和未施用猪粪的各蔬菜器官中铬浓度分配比例进行比较,结果见表 5。蔬菜各器官 Cr 浓度分配特征为:根部 Cr 浓度最高,茎、叶 Cr 浓度相近,地下茎 Cr 浓度大于地上茎,老叶 Cr 浓度大于新叶。由此可以看出,重金属 Cr 在蔬菜器官中移动性较小。施用猪粪及污灌后,对蔬菜各器官中 Cr 浓度分配格局的影响特征为:促进 Cr 元素从植物根部转移到茎叶部位,尤其是食用部位,增加蔬菜食用部分的安全风险,以马铃薯食用块茎的 Cr 浓度增加份额最大。因此,从食品安全角度来看,施用猪粪及污灌会增加马铃薯类蔬菜的安全风险系数。

2.2.3 对蔬菜富集重金属能力的影响

马铃薯、芋头、莴笋、芹菜为茎菜类蔬菜,结球甘蓝、油白菜为叶菜类蔬菜,分别对两种不同类型的蔬菜分析其整植株及各个器官对土壤铬的富集作用,结果见表 6。施用猪粪及污灌后,整植株蔬菜富集土壤 Cr 的能力范围为 0.22%~1.26%,未施用猪粪的整植株蔬菜富集土壤 Cr 的能力范围为 0.31%~1.58%,总体趋势上,未施用猪粪的整植株蔬菜富集土壤 Cr 的能力大于施用猪粪及污灌条件下蔬菜的富集能力。说明施用猪粪及污灌后,蔬菜的富集能力相对减弱,在土壤 Cr 含量低的时候,土壤 Cr 容易转移到植物中,但是当土壤 Cr 含量增高时,这种富集效率降低。对于叶菜类和茎菜类蔬菜,其各个器官对 Cr 的富集能力不同,总体趋势为根>叶>茎,这说明重金属 Cr 在蔬菜中的移动性较差。

3 结 论

(1)施用猪粪及污灌后,相对于未施用猪粪的土壤中的 Cr 含量,蔬菜地土壤总铬含量提高 1.35~2.75 倍,其最大差值为芹菜产地的表层土壤,比值达到 2.75,养殖废物的使用对土壤中 Cr 含量增加明显;在灌溉水中混入养殖废物后,水中 Cr 含量增大。

(2)施用猪粪及污灌均提高了常见蔬菜的总铬浓度,提高到未施用猪粪的同类蔬菜同部位总铬浓度的 1.14~5.82 倍,其中对块茎类蔬菜食用茎的总铬浓度提高最大,尤其使马铃薯食用茎的总铬浓度提高到 5.82 倍,其次为叶菜类食用叶的总铬浓度,最后为地上茎蔬菜的肉质茎。

(3)施用猪粪及污灌后,对蔬菜各器官中 Cr 浓度分配格局的影响特征为:促进 Cr 元素从植物根部转移到茎叶部位,尤其是食用部位,增加蔬菜食用部分的安全食用风险,其中以马铃薯食用块茎的 Cr 浓度增加份额最大。

(4)蔬菜中根部富集土壤 Cr 的能力最强,总体

表 5 施用猪粪及污灌/不施用猪粪条件下蔬菜各器官铬浓度分配比例对比
Table 5 Comparison of chromium distribution in vegetable organs with the waste of pig farms or not

蔬菜类型	铬在蔬菜各器官的浓度比例	施用猪粪及污灌条件	未施用猪粪条件
马铃薯	叶:食用茎:地上茎:根	1.2:1.0:0.7:3.3	3.7:1.0:3.4:15.8
芋头	叶:食用茎:地上茎:根	1.1:1.0:0.8:2.8	1.0:1.0:0.9:3.6
莴笋	叶:食用茎:根	0.8:1.0:2.6	1.2:1.0:2.4
芹菜	叶:食用茎:根	1.1:1.0:2.6	1.1:1.0:3.0
结球甘蓝	食用叶:老叶:根	1.0:1.7:2.6	1.0:2.4:3.7
油白菜	食用叶:根	1.0:2.6	1.0:3.6

表 6 施用猪粪及污灌/不施用猪粪条件下整植株蔬菜及 6 种蔬菜各器官富集土壤 Cr 的能力对比

Table 6 Comparision of the Cr bio-enrichment ability among whole plants and different parts of 6 kinds of vegetables with the waste of pig farms or not

样品名称			施用猪粪及污灌条件		未施用猪粪条件	
			植物各器官 Cr 含量/ 土壤中 Cr 含量的比值/%	整植株 Cr 含量/ 土壤中 Cr 含量的比值/%	植物各器官 Cr 含量/ 土壤中 Cr 含量的比值/%	整植株 Cr 含量/ 土壤中 Cr 含量的比值/%
茎菜类蔬菜	马铃薯	叶	0.21	1.26	0.23	1.58
		茎	0.17		0.06	
		地上茎	0.12		0.21	
	芋头	根	0.56		0.96	
		叶	0.08	0.51	0.08	0.39
		茎	0.05		0.05	
	莴笋	地上茎	0.06		0.05	
		根	0.21		0.18	
		叶	0.04	0.26	0.09	0.42
	芹菜	茎	0.05		0.07	
		根	0.13		0.18	
		叶	0.05	0.22	0.09	0.41
叶菜类蔬菜	结球甘蓝	食用茎	0.05		0.08	
		根	0.12		0.24	
		老叶	0.17		0.20	
	油白菜	叶	0.10	0.53	0.08	0.58
		根	0.26		0.30	
		食用叶	0.07	0.24	0.07	0.31
		根	0.17		0.24	

注:计算整植株 Cr 含量与土壤中 Cr 含量的比值时,马铃薯、芋头、莴笋 3 种蔬菜加入了食用茎表皮的Cr 含量。

趋势为根部>叶部>茎部,重金属 Cr 在蔬菜中的移动性较差。

通过比较施用猪粪及污灌和未施用猪粪条件下的蔬菜、土壤 Cr 的含量值,得出养殖废物农用对蔬菜和土壤中 Cr 含量增加贡献明显。建议在今后合理施用养殖废物及混合养殖废水灌溉,并根据不同蔬菜品种对重金属富集的差异,合理进行蔬菜的生产布局,从而保证蔬菜的食用安全。

参考文献:

[1] 杨丽娟,李天来,刘 好,等.长期施用有机肥和化肥对菜田土壤锌有效性的影响[J].土壤通报,2005,36(3):395-397.
YANG Li-juan, LI Tian-lai, LIU Yu, et al. Effect of long-term fertilization on the availability of Zn in vegetable soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3):395-397.

[2] 郝秀珍,周东美. 畜禽粪中重金属环境行为研究进展[J]. 土壤, 2007, 39(4):509-513.
HAO Xiu-zhen, ZHOU Dong-mei. A Review:Environmental behaviors of heavy metals in livestock and poultry manures[J]. *Soils*, 2007, 39(4):509-513.

[3] 王 俊,郭 颖,吴 蕊,等.不同种植年限和施肥量对日光温室土

壤锌累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1):89-94.
WANG Jun, GUO Ying, WU Rui, et al. Effects of different planting years and organic manure fertilization on Zn accumulation in greenhouse soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1):89-94.

[4] 闫秋良,刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J]. 家禽生态, 2002, 23(3):68-70.
YAN Qiu-liang, LIU Fu-zhu. Reduction environmental pollution of animal production by adjustment of nutrition[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2002, 23(3):68-70.

[5] 国 彬,姚丽贤,刘忠珍,等. 广州市兽用抗生素的环境残留研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5):938-945.
GUO Bin, YAO Li-xian, LIU Zhong-zhen, et al. Environmental residues of veterinary antibiotics in Guangzhou City, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5):938-945.

[6] 杨定清,傅绍清. 施用高锌猪粪对土壤环境污染的影响[J]. 四川环境, 2000, 19(2):30-31, 34.
YANG Ding-qing, FU Shao-qing. Effect of application of pig dung with high Zn on soil contamination[J]. *Sichuan Environment*, 2000, 19(2):30-31, 34.

[7] 朱亦君,郑袁明,贺纪正,等. 猪粪中铜对东北黑土地污染风险评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12):2751-2756.
ZHU Yi-jun, ZHENG Yuan-ming, HE Ji-zheng, et al. Risk assessment of pig manure Cu-contamination of black soil in Northeast China[J].

- Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12):2751-2756.
- [8] 姚丽贤, 李国良, 何兆桓, 等. 施用畜禽粪对两种土壤 As、Cu、Zn 有效性的影响[J]. *土壤学报*, 2009, 46(1):127-135.
- YAO Li-xian, LI Guo-liang, HE Zhao-huan, et al. Bioavailability of As, Cu and Zn in two soils as affected by application of two types of animal manure[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1):127-135.
- [9] 孔宏敏, 何圆球, 吴大付, 等. 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(5):782-786.
- KONG Hong-min, HE Yuan-qiu, WU Da-fu, et al. Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility of upland red soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5):782-786.
- [10] 王瑾, 韩剑众. 饲料中重金属和抗生素对土壤和蔬菜的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(4):90-93.
- WANG Jin, HAN Jian-zhong. Effects of heavy metals and antibiotics on soil and vegetables[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(4):90-93.
- [11] 李德明, 宾金华, 郭巨先. 大量营养元素对花菜类花球形成的影响[J]. *长江蔬菜*, 2006, 9:33-36.
- LI De-ming, BIN Jin-hua, GUO Ju-xian. Effects of macroelements on the curd formation in flower vegetables[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2006, 9:33-36.
- [12] Husaini S N, Zaidi J H, Matiullah, et al. Appraisal of venomous metals in selected crops and vegetables from industrial areas of the Punjab Province[J]. *J Radioanal Nucl Chem*, 2011, 290:535-541.
- [13] Gupta S, Nayek S, Saha R N, et al. Assessment of heavy metal accumulation in macrophyte, agricultural soil, and crop plants adjacent to discharge zone of sponge iron factory[J]. *Environ Geol*, 2008, 55:731-739.
- [14] Mahmood-ul-Hassan M, Suthor V, Rafique E, et al. Metal contamination of vegetables grown on soils irrigated with untreated municipal effluent[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2012, 88:204-209.
- [15] Abdu Nafiu, Abdulkadir Aisha, Agbenin John O, et al. Vertical distribution of heavy metals in wastewater-irrigated vegetable garden soils of three West African cities[J]. *Nutr Cycl Agroecosys*, 2011, 89:387-397.
- [16] 李梦红. 污泥农用于土壤中重金属对小麦和玉米品质的影响及评价[J]. *作物杂志*, 2010, 5:26-29.
- LI Meng-hong. Effect and evaluation of heavy metals in soil on quality of wheat and maize after sludge was applied to Soil[J]. *Crops*, 2010, 5:26-29.
- [17] 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 等. 我国设施农业发展现状及施肥特点[J]. *湖北农学院学报*, 2002, 22(4):373-376.
- QIN Qiao-yan, JIA Chen-zhong, QU Dong, et al. Advances and characters of fertilizer application of protected field agriculture in China[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(4):373-376.
- [18] 邢廷铤. 畜牧业生产对生态环境的污染及其防治[J]. *云南环境科学*, 2001, 20(1):39-43.
- XING Ting-xian. Animal husbandry production pollution[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2001, 20(1):39-43.
- [19] 王爱娜, 周连明, 崔永华. 微量元素铬在动物营养中的研究进展[J]. *畜禽业*, 2004, 11:6-8.
- WANG Ai-na, ZHOU Lian-ming, CUI Yong-hua. The research on trace element chromium in animal nutrition[J]. *Livestock and Poultry Industry*, 2004, 11:6-8.
- [20] Zayed Adel, QIAN Jin-hong, Terry Norman, et al. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops[J]. *Planta*, 1998, 206:293-299.
- [21] Kos Vojka, Hudnik Vida, Lobnik Franc, et al. Determination of heavy metal concentrations in plants exposed to different degrees of pollution using ICP-AES[J]. *Fresenius J Anal Chem*, 1996, 354:648-652.
- [22] 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J]. *土壤学报*, 1996, 33(1):85-93.
- ZHANG Min, GONG Zi-tong. Contents and distribution of some heavy metal elements in the vegetable cultivated soils in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(1):85-93.
- [23] 董元华, 张桃林. 基于农产品质量安全的土壤资源管理与可持续利用[J]. *土壤*, 2003, 35(3):182-186.
- DONG Yuan-hua, ZHANG Tao-lin. Sustainable management of soil resources for food safety[J]. *Soils*, 2003, 35(3):182-186.
- [24] 徐衍忠, 秦绪娜, 刘祥红, 等. 铬污染及其生态效应[J]. *环境科学与技术*, 2002, 25:8-9.
- XU Yan-zhong, QIN Xu-na, LIU Xiang-hong, et al. The study of chromium pollution and ecological effects[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25:8-9.
- [25] 姜萍, 金盛杨, 郝秀珍, 等. 重金属在猪饲料-粪便-土壤-蔬菜中的分布特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5):942-947.
- JIANG Ping, JIN Sheng-yang, HAO Xiu-zhen, et al. Distribution characteristics of heavy metals in feeds, pig manures, soils and vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5):942-947.
- [26] 于炎湖. 饲料中的重金属污染及其预防[J]. *粮食与饲料工业*, 2001, 6:12-14.
- YU Yan-hu. The heavy metal pollution of feed and its prevention[J]. *Cereal and Feed Industry*, 2001, 6:12-14.
- [27] 胡勤海, 叶兆杰. 蔬菜主要污染问题[J]. *农村生态环境(学报)*, 1995, 11(3):52-56.
- HU Qin-hai, YE Zhao-jie. Main problems of pollution in vegetables[J]. *Rural Eco-Environment*, 1995, 11(3):52-56.
- [28] 梁称福, 陈正法, 刘明月. 蔬菜重金属污染研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2002(4):45-48.
- LIANG Cheng-fu, CHEN Zheng-fa, LIU Ming-yue. Study processes on heavy metal pollution on vegetables[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2002(4):45-48.