

不同品种蔬菜对施用含 As 禽畜粪赤红壤中 As 的吸收

姚丽贤^{1,2}, 李国良², 党志¹, 何兆桓²

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510006)

摘要:集约化养殖业通常使用有机肿制剂, 导致禽畜粪中有 As 残留。在赤红壤中分别以 2% 和 4% (*w/w*) 比例施入含 As 鸡粪和猪粪及无机肥 ($N\ 0.2\ g\cdot kg^{-1} + P_2O_5\ 0.1\ g\cdot kg^{-1} + K_2O\ 0.15\ g\cdot kg^{-1}$), 以不施肥为对照进行菜心、小白菜、油麦、茼蒿、苋菜和通菜盆栽试验, 研究比较施入含 As 鸡、猪粪土壤中 As 对 6 种蔬菜的有效性。结果表明, 与无机肥处理相比, 施用鸡粪提高除苋菜外 5 种蔬菜地上部生物量, 施用猪粪仅提高通菜生物量。粪肥用量对 6 种蔬菜生物量的影响与品种有关。施肥提高通菜 As 含量, 而且粪肥作用大于无机肥。然而, 施肥降低其他 5 种蔬菜 As 含量。菜心、小白菜和油麦 As 含量与其生物量具显著负相关, 苋菜表现为负相关, 但未达显著水平; 茼蒿未表现出明显规律, 通菜则为显著正相关。施用无机肥和鸡粪比对照提高 6 种蔬菜 As 吸收量, 施用猪粪比无机肥和鸡粪显著提高通菜 As 吸收量。施肥提高通菜 As 富集系数, 粪肥作用显著强于无机肥。施肥降低其他 5 种蔬菜 As 富集系数。因此, 在菜心、小白菜和油麦上施用含 As 粪肥不易发生 As 污染, 但通菜则尽量少施。

关键词: 鸡粪; 猪粪; 砷; 蔬菜; 植物有效性

中图分类号: X503.231 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)05-1940-06

Uptake of As by Different Vegetables from a Lateritic Red Soil Receiving As-bearing Animal Manure

YAO Li-xian^{1,2}, LI Guo-liang², DANG Zhi¹, HE Zhao-huan²

(1. School of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Higher Education Mega Center, Guangzhou 510006, China; 2. Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Organoarsenic compounds are commonly used as feed additives in intensive animal production, resulting in unabsorbed As left in animal manure. A pot experiment was conducted to study the bioavailability of arsenic (As) to six vegetables including flowering Chinese cabbage (*Brassica parachinensis* L. H. Bariley), Chinese cabbage (*Brassica chinensis* Linn), lettuce (*Lactuca sativa* Linn), crown daisy (*Chrysanthemum coronarium* Linn), amaranth (*Amaranthus tricolor* Linn) and water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) grown on a lateritic red soil amending As-bearing chicken manure (CM) and pig manure (PM). The rates of CM and PM were applied as 2% and 4% (*w/w*) to the pot soil against the inorganic fertilizer (IF) of $0.2-0.1-0.15\ g\ N-P_2O_5-K_2O\ kg^{-1}$ and the check (CK, no fertilizer application). Results showed that application of the CM enhanced biomass of the above-ground portions of five vegetables except amaranth, while the PM increased the yield of water spinach only, as compared to the IF treatment. It reveals that the influence of manure application rates on the biomass of six vegetables was highly variety-dependent. The manures exceeded the inorganic fertilizers in promoting As uptake by water spinach. For flowering Chinese cabbage, Chinese cabbage, lettuce and amaranth, a negative correlation was observed between the As content and their biomass in the vegetables. There was no correlation observed between them in crown daisy. A positive correlation was observed in water spinach. Both the IF and the CM enhanced As uptake by all the six vegetables compared to the CK, while the PM significantly increased As uptake in water spinach more than the CM and the IF did. Fertilization, the two manures superior to the IF, increased As bioaccumulation factors (BAFs) of water spinach but reduced those in the rest of the vegetables. Thus, flowering Chinese cabbage, Chinese cabbage and lettuce, when applied with As-bearing manures, appeared to be less susceptible to As contamination, but for water spinach the application rates should be minimized.

Keywords: chicken manure; pig manure; arsenic; vegetable; bioavailability

收稿日期: 2007-10-12

基金项目: 广东省科技攻关项目 (2005B20801008)

作者简介: 姚丽贤 (1971—), 女, 博士生, 副研究员, 主要研究方向为施肥与生态环境关系。E-mail: lyao1x@yahoo.com.cn

通讯作者: 党志 E-mail: chzdang@scut.edu.cn

有机肿制剂对禽畜具有促生长和抗虫作用。由于低毒和安全,有机肿制剂被视为一种优秀饲料添加剂而在现代集约化养殖业中广泛应用。国际上禽畜日粮中有机肿制剂添加量通常在 50~100 mg·kg⁻¹ 之间^[1,2]。然而,禽畜对有机肿的吸收率很低,绝大部分有机肿随粪尿排出^[3,4]。国内外报道禽畜粪中 As 含量在未测出至 315.1 mg·kg⁻¹ 之间^[5-11]。由于国内养殖业存在有机肿制剂超量滥用现象,禽畜粪,尤其是猪粪 As 含量超标较为普遍^[9,11]。Morrison^[3]曾报道连续以每英亩施入 4~6 t 鸡粪的用量(相当于 9 885~14 827 kg·hm⁻²)施入含砷鸡粪(As 15~30 mg·kg⁻¹),对土壤和两种饲料作物 As 含量并没有显著影响。然而,施用含砷鸡粪小区灌溉出水的 As 含量明显高于未施用鸡粪小区。这表明含砷鸡粪带入土壤的砷很大程度上随灌溉流失。近年研究显示,禽畜粪中砷有 71%~75% 为水溶性^[12,13]。如此高的水溶性意味着可能对植物的有效性较高。然而,一直以来,施用含砷禽畜粪对其他植物砷含量影响的研究极少。

我国传统上把禽畜粪作为优质有机肥施入农田。在国内研究报道中,禽畜粪肥用量一般按含氮量来计算或按常规用量施用,但在实际生产中禽畜粪肥的用量则较为随意,每亩用量从数百公斤至数千公斤不等。由于近年来考虑到磷污染发生的危险,有研究指出应按其含磷量来计算其用量^[14]。然而,在目前禽畜粪的合理安全施用研究中,考虑到禽畜粪中 As 含量的尚不多见。华南地区禽畜粪主要用于蔬菜和水果生产。因此,研究施用含砷鸡粪和猪粪土壤中不同品种蔬菜对砷的吸收累积能力,可为蔬菜生产中禽畜粪的合理安全施用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试赤红壤采自广东省农科院作物研究所作物试验站。土壤经风干、磨碎、过 2 mm 筛作盆栽试验用。赤红壤基本性状为:砂壤土,土壤 pH 6.44,阳离子代换量 8.42 cmol·kg⁻¹,有机质 20.2 g·kg⁻¹,碱解 N

67.2 mg·kg⁻¹,有效 P 41.3 mg·kg⁻¹,速效 K 113.3 mg·kg⁻¹,总 As、Cu 和 Zn 含量分别为 23.9、34.3 和 70.2 mg·kg⁻¹。有效 As、Cu 和 Zn 含量分别为 0.546、4.0 和 7.6 mg·kg⁻¹。

1.2 供试禽畜粪与无机肥

鸡粪和猪粪分别采自广东省惠州市鸡场和猪场。采样时对养殖场生产情况进行调查。鸡粪和猪粪经剔除羽毛和杂质后风干,磨碎,过 2 mm 筛待用。鸡粪和猪粪基本性质见表 1。表 1 中鸡粪和猪粪四环素、土霉素、金霉素和喹乙醇含量由广州市农业标准与监测中心分别用 GB/T 5009.116—2003 法及农业部颁标准测定。供试无机肥为尿素(N 46.1%)、磷二铵(N 18.2%,P₂O₅ 45.9%)、氯化钾(K₂O 60.4%),总 As 含量分别为 0.05、14.07、0.03 mg·kg⁻¹,总 Cu 含量分别为 0.0、6.0 和 0.8 mg·kg⁻¹,总 Zn 含量分别为 0.0、17.0 和 0.0 mg·kg⁻¹。

1.3 供试蔬菜品种

供试菜心品种为特青迟心 4 号(*Brassica parachinensis* L. H. Bariley),小白菜为矮脚束腰青江白(*Brassica chinensis* Linn),油麦为快大型 805(*Lactuca sativa* L.),茼蒿为大叶茼蒿(*Chrysanthemum coronarium* Linn),苋菜为大红苋菜(*Amaranthus tricolor* Linn),通菜为青梗柳叶通菜(*Ipomoea aquatica* Forsk)。蔬菜种子购自广州市蔬菜研究所,以上品种均为广东蔬菜主栽品种。

1.4 试验方法

由于不同品种蔬菜生长季节不同,试验分两批在本所网室进行。第一批为菜心、小白菜、油麦和茼蒿,第二批为苋菜和通菜。用塑料盆每盆装土 7 kg,分别施入质量比为 2%和 4%的风干鸡粪(CM1 和 CM2)和风干猪粪(PM1 和 PM2)、无机肥(IF,N 0.2 g·kg⁻¹+P₂O₅ 0.1 g·kg⁻¹+K₂O 0.15 g·kg⁻¹)。以不施肥为对照(CK)。每个处理 4 次重复。土壤分别与各种肥料充分混匀后装盆,加入去离子水至田间持水量的 70%,土壤平衡 2 周,然后播入各种蔬菜种子。在种子出苗后间苗至每盆菜心保留 5 株,小白菜、油麦和茼蒿各 3

表 1 供试鸡粪和猪粪基本性质
Table 1 Selected properties of chicken manure and pig manure used

	pH	OM/ g·kg ⁻¹	全氮/ g·kg ⁻¹	全磷/ g·kg ⁻¹	全钾/ g·kg ⁻¹	水溶盐/ mg·kg ⁻¹	总 As/ mg·kg ⁻¹	总 Cu/ mg·kg ⁻¹	总 Zn/ mg·kg ⁻¹	有效 As/ mg·kg ⁻¹	有效 Cu/ mg·kg ⁻¹	有效 Zn/ mg·kg ⁻¹	四环素/ mg·kg ⁻¹	土霉素/ mg·kg ⁻¹	金霉素/ mg·kg ⁻¹	喹乙醇/ mg·kg ⁻¹
鸡粪	6.17	63.6	1.90	0.59	0.81	36.5	32.0	146.4	171.1	10.3	61.5	160.8	nd	nd	nd	nd
猪粪	6.23	59.3	2.40	0.59	0.85	22.1	31.8	126.2	163.0	10.5	94.0	155.3	nd	nd	nd	nd

注:nd 为未测出。

株、茼蒿和通菜各 7 株。

1.5 采样和分析

菜心、小白菜、油麦和茼蒿在 2005 年 12 月 29 日播种,菜心与小白菜在 2006 年 2 月 22 日收获,油麦与茼蒿在 3 月 3 日收获。茼蒿和通菜在 2006 年 3 月 9 日播种,4 月 28 日收获。每种蔬菜均在成熟期收获,收取地上部后称其鲜重,然后烘干、称干重后粉碎待用。收获植株后马上采集土壤样本,风干、磨碎、过筛后待用。植株砷含量采用氢化物-原子荧光光度法(GB/T 5009.11—2003)测定,土壤砷含量用氢化物-非色散原子荧光法测定。植株和土壤样本的测定分别用标准物质 GBW07602 和 GBW-07408 进行质量控制。所用原子荧光分光光度计为北京吉天仪器有限公司 AFS930 型产品。

1.6 数据处理

试验数据用 Excel 进行整理,用 SAS 软件(1989—1996 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)进行两因素和单因素 LSD 统计,用 SPSS 软件(1989—1999 by SPSS Inc., Chicago, USA)进行相关分析(Spearman 系数)。

2 结果与分析

2.1 蔬菜地上部生物量

对表 2 中 6 种蔬菜不同处理地上部生物量进行方差分析,蔬菜品种、施肥处理及两者交互作用对蔬菜生物量均有极显著影响($P<0.000\ 1$)。由于不同品种蔬菜生长特性和株形不同,蔬菜生物量存在较大差异。因此,主要对同一品种蔬菜不同处理地上部生物量进行分析。整体上看,不同施肥处理对 6 种蔬菜生物量影响差异较大。施用鸡粪提高菜心、小白菜和油麦生物量的作用大于无机肥,这是由于鸡粪带入的氮磷钾等养分量明显大于无机肥。然而,即使猪粪养含量高于鸡粪,但施用猪粪处理这 3 种蔬菜生物量几

乎均显著低于 IF 处理,其中菜心和小白菜施用猪粪处理生物量甚至与 CK 相当。施用两种粪肥几乎均比 IF 处理降低茼蒿和茼蒿生物量。对于通菜,除 CM2 处理外,施用粪肥处理均比 IF 处理显著提高生物量,而且施用猪粪比鸡粪提高生物量。

从上述生物量结果来看,施用粪肥,尤其是猪粪虽然比无机肥带入更多的养分,但降低部分蔬菜的生物量。这可能与两种粪肥中其他组分对蔬菜生长的抑制有关。禽畜粪除含有氮磷钾等养分外,还含有较高含量盐分^[11]。已有研究表明,连续施用鸡粪导致土壤次生盐渍化而明显降低菜心产量^[15]。不过,本试验仅进行一茬,而且两种粪肥含盐量在禽畜粪中并不高,因此,盐分并不是施用粪肥造成生物量下降的主要原因。有报道指出禽畜粪中通常含有抗氧化剂、霉菌抑制剂、抗生素等有机物质^[10,16],而这些组分对土壤多数微生物具有毒性,连续施用对土壤质量有不利影响^[17],从而抑制作物生长。然而,两种粪肥中未检出 4 种常见抗生素。因此,施用两种粪肥导致蔬菜比无机肥减产的具体原因尚需进行深入研究。

2.2 蔬菜地上部 As 含量

蔬菜 As 含量方差分析结果显示,蔬菜品种、处理及两者间交互作用对蔬菜 As 含量均有极显著影响。鲜菜的 As 含量是其食用安全指标之一。根据我国农产品安全质量无公害蔬菜 As 限量标准 0.5 mg·kg⁻¹(GB 18406.1—2001),图 1 中 6 种蔬菜 As 含量均未超标过 As 限值,但品种间差异较大。整体上通菜 As 含量最高,所有处理平均达到 0.087 mg·kg⁻¹,油麦为 0.077 mg·kg⁻¹,两者 As 含量均显著高于菜心、小白菜和茼蒿(0.047~0.051 mg·kg⁻¹),茼蒿处于油麦和茼蒿之间,为 0.066 mg·kg⁻¹。从同一品种蔬菜不同处理来看,菜心除猪粪处理 As 含量不低于 CK 外,施用无机肥和鸡粪均显著降低 As 含量。小白菜施用猪粪处理 As 含量与 CK 差别不大,施用无机肥和鸡粪也显著降

表 2 6 种蔬菜不同处理地上部生物量(g·pot⁻¹鲜重)
Table 2 Biomass of the above-ground portions of six vegetables in various treatments (g·pot⁻¹FW)

处理	菜心	小白菜	油麦	茼蒿	茼蒿	通菜
CK	16.7±5.4 ^c	7.1±4.3 ^d	33.7±14.5 ^d	20.9±2.4 ^e	47.1±6.3 ^d	45.5±2.6 ^d
IF	60.4±17.6 ^b	38.0±8.2 ^c	151.9±35.5 ^c	80.1±15.0 ^{ab}	105.1±7.4 ^a	65.7±5.4 ^c
CM1	110.0±10.5 ^a	98.9±21.2 ^b	272.0±48.9 ^b	91.3±12.3 ^a	73.6±5.2 ^{bc}	93.2±5.7 ^b
CM2	111.7±13.1 ^a	142.4±13.6 ^a	403.9±93.0 ^a	70.0±16.3 ^{bc}	63.7±4.8 ^c	38.4±8.4 ^d
PM1	18.9±2.8 ^c	8.6±3.8 ^d	115.5±19.3 ^c	60.9±9.5 ^{cd}	82.1±14.6 ^b	103.2±7.7 ^b
PM2	17.0±5.6 ^c	11.2±3.0 ^d	87.2±14.4 ^{cd}	47.9±8.0 ^d	102.2±18.4 ^a	130.3±16.7 ^a

注:每列数据字母不相同表示差异显著, $P<0.05$ 。

低 As 含量。油麦 CK 的 As 含量在 6 种蔬菜所有处理中最高, 施用无机肥和粪肥分别显著和极显著降低 As 含量。茼蒿除 IF 处理 As 含量显著高于 CK 外, 施用粪肥对 As 含量影响没有规律。苋菜除 PM1 处理 As 含量稍高于 CK 外, 其他施肥处理均下降。不同处理间通菜 As 含量差异与其他蔬菜有很大区别。所有施肥处理均提高通菜 As 含量, 而施用两种粪肥处理含量提高达显著或极显著水平。以上表明, 两种粪肥两种用量对 6 种蔬菜 As 含量并未表现出某种明显规律。

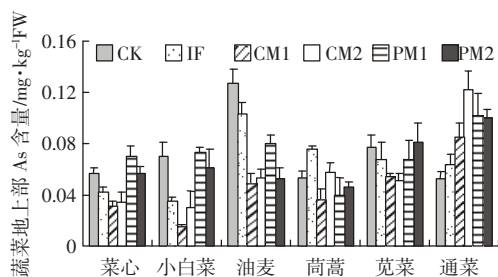


图 1 6 种蔬菜不同处理地上部 As 含量

Figure 1 As contents of the above-ground portions of six vegetables in various treatments

2.3 蔬菜地上部 As 含量与生物量关系

对 6 种蔬菜地上部 As 含量与其生物量关系进行相关分析。如图 2 所示, 菜心、小白菜和油麦的 As 含量与其生物量均具有显著负相关关系($r = -0.868^*$, $r = -0.756^*$, $r = -0.577^*$; * 表示 $P < 0.05$), 苋菜 As 含量与其生物量间负相关关系($r = -0.389$), 未达显著水平。茼蒿 As 含量与其生物量间关系则未表现出某种明显规律。然而, 通菜 As 含量与生物量间具显著正相关关系($r = 0.547^*$)。

本试验用无机肥把微量的 As 带入土壤, 整体上对 6 种蔬菜 As 含量的影响远低于无机肥中养分提高生物量而产生稀释作用的影响。其次, 根据我国饲料卫生标准^[18], 在不添加有机肿条件下饲料总砷不超过 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 但对有机肿用量没有限定, 因此, 本试验用鸡粪和猪粪总砷含量较高应由日粮中添加有机肿所致。这也与两个养殖场的生产调查结果吻合。而且, 两种粪肥 As 含量和有效 As 含量均明显高于供试土壤 As 含量, 其中有效 As 占总 As 百分数(分别为 32.2% 和 33.0%)远高于土壤(0.02%), 但除通菜和茼蒿外的 4 种蔬菜的 As 含量, 仍被粪肥中养分提高生物量产生的稀释作用主导而下降。因此, 在生产中施用含 As 粪肥不容易对菜心、小白菜、油麦和苋菜这 4 种蔬菜

产生 As 污染。同时, 虽然茼蒿和苋菜 As 含量与其生物量不具显著负相关关系, 但施用含 As 粪肥并未明显提高这两种蔬菜 As 含量。然而, 对于通菜, 施用粪肥比无机肥显著提高地上部生物量的同时也显著提高其 As 含量。因此, 在通菜生产中应避免一次性大量施用含 As 禽畜粪肥。

2.4 蔬菜 As 吸收量

蔬菜 As 吸收量方差分析结果表明, 蔬菜品种、处理及两者间交互作用对蔬菜 As 吸收量的影响也达到极显著水平($P < 0.0001$)。整体上虽然不同品种蔬菜 As 含量与其生物量相关性不同, 但菜心、小白菜、油麦、茼蒿和苋菜施用无机肥和鸡粪处理 As 吸收量几乎均显著高于其他处理(图 3), 这一点在油麦上尤为明显。除苋菜 PM1 处理 As 吸收量显著高于 CK 外, 这 5 种蔬菜施用猪粪处理 As 吸收量均与 CK 差异不大。所有施肥处理提高了通菜 As 吸收量, 两个猪粪处理吸收量均显著高于鸡粪和无机肥处理。

2.5 蔬菜 As 富集系数

不同品种蔬菜由于生长特性不同, 对土壤中 As 的富集能力有较大差异。方差分析结果显示, As 富集系数受到蔬菜品种、处理及两者间交互作用的极显著影响($P < 0.0001$)。从图 4 蔬菜 As 富集系数来看, 通菜所有处理平均富集系数最高达 0.0048, 显著高于油麦的 0.0043, 油麦又显著高于苋菜, 苋菜则显著高于茼蒿、菜心和小白菜 3 种蔬菜。对于同一品种的不同处理, 菜心和小白菜施用无机肥和鸡粪显著降低 As 富集系数, 猪粪处理则与 CK 差别不大。油麦 CK 的富集系数最高, 显著高于所有施肥处理, 而 IF 处理又显著高于两种粪肥处理。茼蒿 IF 处理富集系数显著高于其他处理, 粪肥处理中仅有 CM1 处理与 CK 间的差异达显著水平。苋菜不同处理间差异与菜心和小白菜类似。所有施肥处理均提高通菜富集系数, 但两种粪肥处理均显著提高富集系数。整体上施用两种粪肥两种用量对不同品种蔬菜 As 富集没有表现出某种明显的规律。结合图 1 的 6 种蔬菜不同处理地上部 As 含量情况, 6 种蔬菜的 As 富集系数与其 As 含量变化规律基本一致。

3 讨论

本试验结果显示, 6 种蔬菜 As 含量与其生物量间具有不同的相关关系。这与不同品种蔬菜对环境胁迫适应能力及生长特性有很大关系。菜心、小白菜、油麦和苋菜为直根系作物, 根系小且浅, 对环境胁迫的

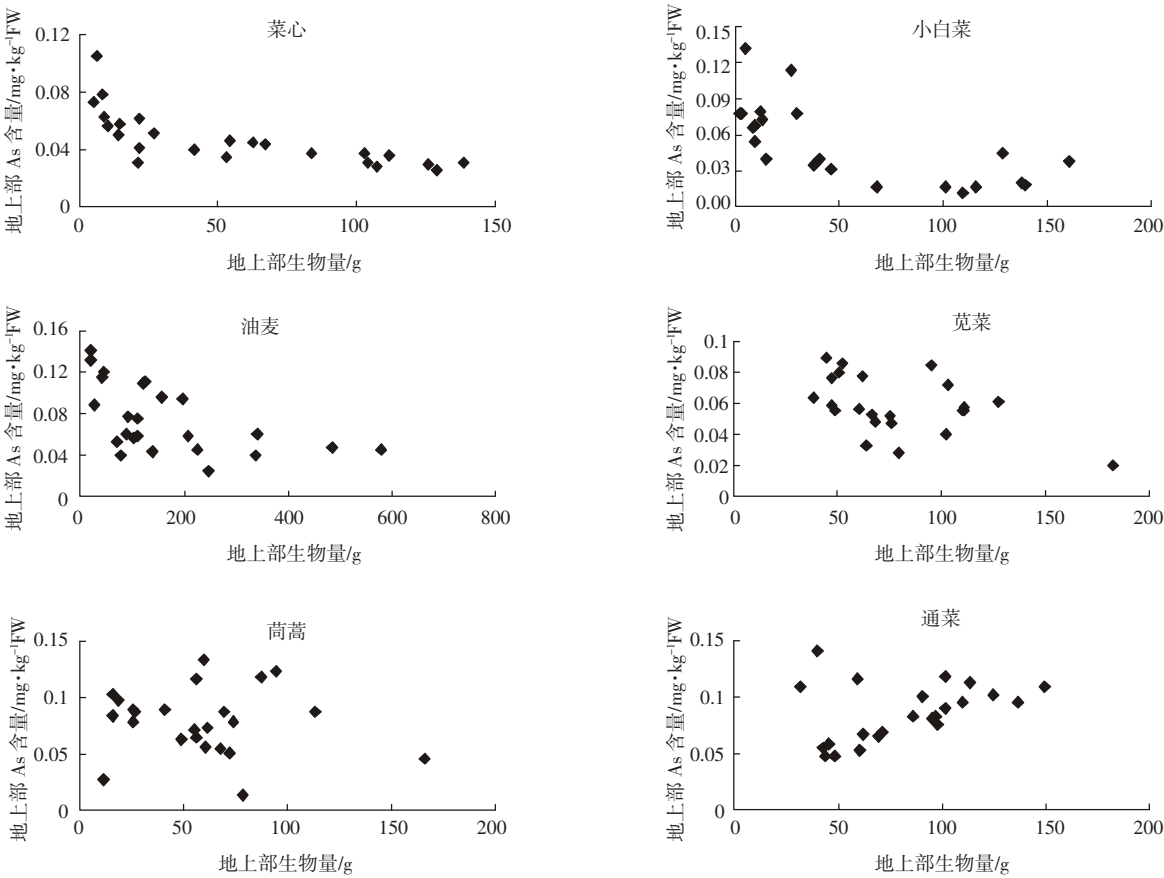


图 2 6 种蔬菜地上部 As 含量与其生物量关系

Figure 2 Correlation between As contents of the above-ground portions of six vegetables and their biomass

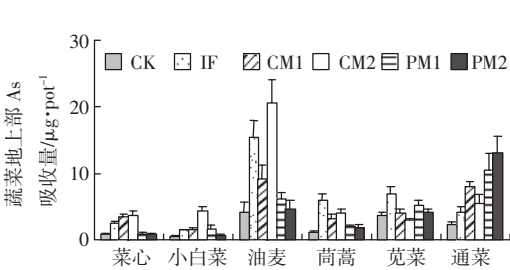


图 3 6 种蔬菜不同处理地上部 As 吸收量

Figure 3 As uptake rates of the above-ground portions of six vegetables in various treatments

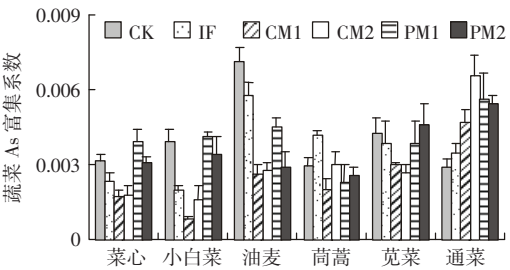


图 4 6 种蔬菜不同处理 As 富集系数

Figure 4 As bioaccumulation factors of six vegetables in various treatments

适应能力较差。茼蒿和通菜为须根系作物。收获时观察发现,通菜的不定根比茼蒿的更粗更长,根系更为发达且深,对环境胁迫的适应能力相对更强。而且,植物对 As 的吸收是一个被动过程^[19],因此,不同的根系结构可能是造成 6 种蔬菜间 As 含量与其生物量相关关系差异的主要原因之一。另外,施用无机肥均比 CK 降低菜心、小白菜、油麦和苋菜的 As 含量,却提高茼蒿和通菜 As 含量,这可能也与蔬菜的根系结构有关。

本试验结果对重金属污染土壤中的作物安全生产和植物修复具有一定的启发意义。施用无机肥显著提高 6 种蔬菜生物量的同时降低菜心、小白菜和油麦 As 含量,但随蔬菜收获带走的总 As 量却显著提高。因此,在生产中可采用合理施肥及喷施叶面肥等多种农艺措施,获得菜心、小白菜和油麦等蔬菜最高产量,既保证当茬蔬菜的食用安全,经过较长时间的作物生产,还可达到重金属污染土壤植物修复的长远目标。

另外,本试验蔬菜吸收的 As 既来自土壤也来自鸡粪和猪粪,本研究结果并不能确切区别 2 种来源 As 对蔬菜的有效性。通过在禽畜日粮中添加 As 同位素标记的有机胂制剂,获得 As 标记禽畜粪,才能研究明确禽畜粪中 As 进入土壤后对作物的有效性。这还需要进行更多的研究。

4 结论

施用鸡粪比无机肥提高除苋菜外 5 种蔬菜地上部生物量,施用猪粪则提高通菜生物量,却降低其他 5 种蔬菜生物量。两种粪肥用量对 6 种蔬菜生物量没有确定的影响。施肥提高通菜 As 含量,而且粪肥作用显著强于无机肥。但施肥降低其他 5 种蔬菜 As 含量。菜心、小白菜和油麦 As 含量与其生物量间具显著负相关关系,苋菜为负相关关系,但未达显著水平,茼蒿未表现出明显规律,通菜则为显著正相关。施用无机肥和鸡粪比对照提高 6 种蔬菜 As 吸收量,除通菜外 5 种蔬菜施用猪粪处理 As 吸收量与 CK 整体上没有显著差异,但通菜施用猪粪比鸡粪和无机肥显著提高 As 吸收量。施肥降低除通菜外 5 种蔬菜的 As 富集系数,提高通菜 As 富集系数,而且粪肥作用显著大于无机肥。从蔬菜 As 含量及富集系数来看,菜心、小白菜和油麦施用含 As 粪肥不易发生 As 污染,但在通菜上尽量少施含 As 粪肥。

参考文献:

[1] 段建平,周训胜,张在整.兽药洛克沙沙产品质量的规范分析[J].福州大学学报自然科学版,1998,26(6):106-109.
DUAN J P, ZHOU X S, ZHANG Z Z. The standard analytical method for roxarsone[J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science)*, 1998, 26(6):106-109 (in Chinese).

[2] 李铁军,印遇龙,钟华宜,等.对氨基苯砷酸对仔猪消化道及日粮营养物质消化率的影响[J].动物营养学报,1996,8(4):19-26.
LI T J, YIN Y L, ZHONG H Y, et al. Effects of arsanilic acid on digestive tract of pigs and nutrient digestibility of their diets [J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 1996, 8(4):19-26 (in Chinese).

[3] Morrison J L. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1969, 17:1288-1290.

[4] Overby L R, Straube L. Metabolism of arsanilic acid. I. Metabolic stability of doubly labeled arsanilic acid in chickens[J]. *Toxicology Applied Pharmacology*, 1965, 7(6):850-854.

[5] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province[J]. *Journal of Environmental Science*, 2004, 16(3):371-374.

[6] Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, et al. Trace element speciation in poultry litter[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32:535-540.

[7] Kingery W L, Wood C W, Delaney D P, et al. Impact of long-term application of broiler litter on environmentally related soil properties[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23:139-147.

[8] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Biore-source Technology*, 1999, 70:23-31.

[9] 刘荣乐,李书田,王秀斌,等.我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J].农业环境科学学报,2005,24(2):392-397.
LIU R L, LI S T, WANG X B, et al. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes[J]. *J Agro-Environ Science*, 2005, 24(2): 392-397 (in Chinese).

[10] 张树清,张夫道,刘秀梅,等.规模化养殖畜禽粪主要有毒成分测定分析研究[J].植物营养与肥科学报,2005,11(6):822-829.
ZHANG S Q, ZHANG F D, LIU X M, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(6): 822-829 (in Chinese).

[11] 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖畜禽粪主要化学物质调查与分析[J].应用生态学报,2006,17(10):1989-1992.
YAO L X, LI G L, DANG Z. Major chemical components of poultry and livestock manures under intensive breeding[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1989-1992 (in Chinese).

[12] Jackson B P, Miller W P, Sumner M E, et al. Trace element solubility from land application of fly ash/organic waste mixtures[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1999, 28:639-647.

[13] Rutherford D W, Bednar A J, Garbarino J R, et al. Environmental fate of roxarsone in poultry litter. Part II. Mobility of arsenic in soils amended with poultry litter[J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37(8):1515-1520.

[14] Eghball B. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 94:128-135.

[15] 姚丽贤,李国良,何兆桓,等.连续施用鸡粪对菜心产量和重金属含量的影响[J].环境科学,2007,28(5):1113-1120.
YAO L X, LI G L, HE Z H, et al. Yield and heavy metal content of *Brassica parachinensis* influenced by successive application of chicken manure [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(5):1113-1120 (in Chinese).

[16] Gupta G, Gardner W. Use of clay mineral (montmorillonite) for reducing poultry litter leachate toxicity (EC₅₀)[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, 118(1-3):81-83.

[17] Plaza C, Hernández D, García-Gil J C, et al. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(10):1577-1585.

[18] CF, 2004. http://www.chinafeed.org.cn/cms/_code/government/itemdetail.php?column_id=101&item_id=67652.

[19] Kabata-Pendias A, Pendias H. Arsenic. In: Trace elements in soils and plants[M]. CRC Press, Boca Raton, FL. 1991.203-209.