

堆肥对重金属污染土壤上茼蒿品质和产量的影响

杨海征, 胡红青, 黄巧云, 黄 丽, 张 喆

(华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 为了解堆肥施入重金属 Cu、Cd 污染土壤后对蔬菜品质和产量的影响, 利用盆栽试验研究了不同堆肥用量下茼蒿品质、产量和重金属含量的变化。结果表明, 随着堆肥用量的增加, 茼蒿产量、粗蛋白、Vc、P 和 K 含量先显著增加后降低, 而茼蒿可溶性糖含量呈先显著降低后增加的趋势。堆肥量的增加显著降低茼蒿中 Cu 含量, 比对照最多降低 35.5%。茼蒿地上部 Cd、根部 Cu 和 Cd 含量呈先显著降低又上升的趋势。茼蒿地上部 Cd 含量在堆肥用量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时达最低, 根部 Cu、Cd 含量与对照相比最多分别降低 20.1% 和 39.5%。对于污染地区的茼蒿种植, 试验堆肥的适量施用是切实可行的。

关键词: 堆肥; 重金属; 茼蒿

中图分类号: X503.231 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2009)09-1824-05

Effects of Compost on the Growth and Quality of Chrysanthemum Planted in Heavy Metal Contaminated Soil

YANG Hai-zheng, HU Hong-qing, HUANG Qiao-yun, HUANG Li, ZHANG Zhe

(Key Laboratory of Subtropical Agriculture Resource and Environment, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The experiment was designed to investigate the effects of chicken dung compost on the quality and production of chrysanthemum grown in heavy metal contaminated soil. We studied the change of quality, production and content of heavy metals of chrysanthemum for applying different compost amounts of 0, 20, 40, 60, 80, 100 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The results showed that with increase of compost amount, the production, crude protein, Vc and total content of P and K of chrysanthemum increased first and decreased afterward significantly, while reversely for the content of soluble sugar of chrysanthemum. The content of Cu in chrysanthemum was significantly reduced by 35.5% compared with that of the control due to the increase of compost amount. Moreover, the content of Cd in over-ground part of chrysanthemum and Cu, Cd in its root showed a trend of significant decrease at first and then increase. The content of Cd in chrysanthemum over ground part reached the lowest at the amount of $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ compost applied. Compared with the control, the content of Cu, Cd in chrysanthemum root decreased at most by 20.1% and 39.5%. As a result, adequate compost is feasible to be applied in such kind of heavy metal contaminated areas where chrysanthemum would be grown in. Notwithstanding, it's subjected to further research for the applied compost amount in terms of different types of crops and soil.

Keywords: compost; heavy metals; chrysanthemum

重金属污染是土壤污染的主要类型之一, 全世界平均每年排放的重金属达数千万吨^[1]。经调查, 国内很多省份土壤有较严重的重金属污染, 受重金属污染的耕地面积约 2 000 万 hm^2 , 占耕地面积的 1/5^[2], 成为环境污染的重要方面。且重金属可通过多种途径进入人

体, 影响人们的正常生活和身体健康。

土壤被重金属污染后, 其农业生产能力下降, 生长于这些土壤中的农产品重金属含量增高, 品质降低, 引发的食品安全问题日益严重。食物中的 Cd 是人体 Cd 的重要来源。据研究, 在重金属污染区, 人体 Cd 的 90% 以上来源于食物^[3]。Cd 在土豆、小麦和稻米中的累积会对食品质量造成很大危害^[4]。不同蔬菜对重金属富集效果不同, 叶菜类易吸收富集 Cd、Hg, 豆类易吸收富集 Zn、Cu、Pb、As, 瓜类则易吸收富集 Cr^[5], 不同类型蔬菜的重金属含量顺序为叶菜类>茄果类>

收稿日期: 2009-02-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2006AA06Z350、2007AA10Z408)

作者简介: 杨海征(1981—), 男, 山东潍坊人, 硕士生, 主要从事土壤重金属污染修复方面的研究。E-mail: yanghaizheng-308@163.com

通讯作者: 胡红青 E-mail: hqhu@mail.hzau.edu.cn

豆类>瓜类^[6]。另外,土壤的有机质含量、孔隙度、酸碱度、CEC 等理化性质也会影响蔬菜对重金属的吸收与富集^[7]。未被植物吸收进入食物链的重金属渗入地下水,最终将对生态环境以及人类健康造成威胁。因此科技界一直致力于发掘各种治理土壤重金属污染的方法和技术^[8]。

有机堆肥作为一种稳定剂,不仅能钝化重金属,还可以补充污染土壤缺失的各种营养元素,改善土壤理化性质,使农作物高产、稳产,提高农产品品质。目前,国内的研究主要集中在如何固定堆肥本身所含的金属,减少其作为有机肥料给土壤-植物系统造成的金属污染,而国外则已较多地研究将金属含量不高或经处理的堆肥作为土壤修复剂来固定土壤中的金属^[9-10]。茼蒿是一种含丰富维生素的蔬菜,有暖胃益肠、通便化痰、助消化的功效。在人们越来越注重蔬菜安全与健康的今天,茼蒿种植面积越来越大,种植地区也越来越广。本文在前人研究的基础上,分析了堆肥加入重金属污染土壤后对茼蒿品质、产量和重金属含量的影响,旨在为重金属污染土壤种植安全蔬菜提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自湖北大冶下陆有色金属公司铜矿区,采集旱地表层 0~20 cm 土壤。堆肥来自武汉裕中生物工程有限公司,由鸡粪和稻壳混合制成。供试土壤和堆肥的基本理化性质列于表 1。供试土壤重金属 Cu、Cd 总量与国家标准(GB 15618-1995)相比均已超过三级标准(Cu、Cd 分别为 400、1.0 mg·kg⁻¹),而堆肥明显低于此标准。土壤中速效钾和碱解氮含量比较高,土壤有机质和速效磷含量中等,基本能满足植物正常生长需求。

1.2 试验处理

盆栽试验设 6 个处理:堆肥用量分别为 0(CK)、20、40、60、80、100 g·kg⁻¹ 土。每盆装土 2 kg(为防止重金属淋失,将土放在塑料袋中),按比例加入堆肥后混匀,4 次重复,随机排列。茼蒿(chrysanthemum)品种为

普通花叶茼蒿,播种前用温水(25℃)浸泡种子,并放入 25℃培养箱内过夜,捞出后将种子平铺于湿润的纱布上放入 25℃培养箱,露白时播种。7 d 后间苗,每盆保留 9 株。生长期每 1~2 d 浇蒸馏水 1 次补充水分,不再施用化肥。

1.3 测定方法

茼蒿生长 45 d 后收获,此前用叶绿素仪测定茼蒿的叶绿素含量,植株按地上部和根部分别收获。地上部称鲜重后分为两部分,分别用于鲜样和干样测定。鲜样测定部分保存于冰箱冷冻室,干样测定部分和根部用去离子水洗净后在 105℃杀青,65℃烘干,研碎待用。

茼蒿组织中可溶性糖含量的测定用蒽酮比色法,Vc 含量测定用滴定法^[11]。粗蛋白含量在用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,流动注射仪(Flastar 5000)测定含 N 量后换算。茼蒿地上部和根部 Cu、Cd 含量采用干样,H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,原子吸收光谱法(AAS-240)测定。供试土壤和堆肥中重金属用 HCl-HNO₃-HClO₄ 消煮,AAS-240 测定,其基本理化性质测定参考土壤农化分析^[12]。所有实验数据均采用 Excel 和 SAS 分析软件进行处理。

2 结果与讨论

2.1 施用堆肥对重金属污染土壤上茼蒿产量的影响

图 1 是堆肥用量和茼蒿产量间的关系,从中可以看出,堆肥量在 0~60 g·kg⁻¹ 范围内,随着堆肥用量的

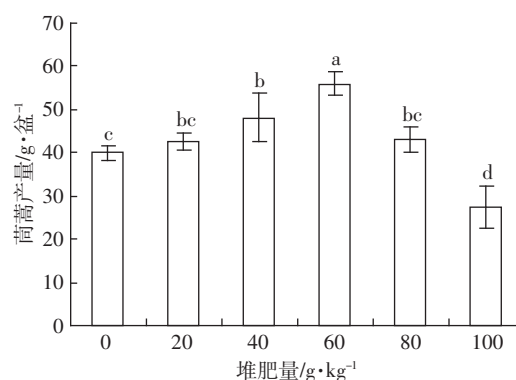


图 1 不同堆肥处理下茼蒿产量

Figure 1 Chrysanthemum production in different compost amount

表 1 供试土壤和堆肥的基本理化性质

Table 1 Some chemical properties of soils and compost tested

	pH(H ₂ O)	有机质/g·kg ⁻¹	CEC/cmole·kg ⁻¹	全 N/g·kg ⁻¹	碱解氮/mg·kg ⁻¹	速效 P/mg·kg ⁻¹	速效 K/mg·kg ⁻¹	Cu/mg·kg ⁻¹	Cd/mg·kg ⁻¹
土壤	6.19	37.7	15.0	1.50	103.6	22.3	151.3	521.5	3.15
堆肥	8.14	272.7	41.6	15.9	3 818.2	1 313.2	20 638.5	106.8	0.42

增加,显著增加了茼蒿的产量。未施用堆肥的处理茼蒿产量只有 $40.0 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$,堆肥量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时茼蒿产量达到 $42.7 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$,但与对照没有显著差异。堆肥用量为 $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时茼蒿产量增加到 $48.0 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$,比对照有显著增加。堆肥量增加到 $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿的产量达到最大值 $56.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于对照和其他堆肥处理,比对照增产 40.0% 。这说明施用一定量的堆肥能够显著增加茼蒿的产量,这一方面可能是由于堆肥改善了土壤的理化和生物学性质,土壤有效养分含量增加,另一方面堆肥的施用有利于土壤 pH 值的增加,降低一些有害元素的有效性^[13],可促进茼蒿的生长。

堆肥量增至 $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,较茼蒿最高产量有显著降低;堆肥量为 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿产量只有 $27.5 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$,显著低于对照。这表明堆肥的过量施用降低茼蒿产量,可能是由于大量施用堆肥造成土壤养分不平衡而对茼蒿产生了不利影响,导致植株营养体小,茎叶生长受抑制,降低产量。

2.2 施用堆肥对重金属污染土壤上茼蒿品质的影响

从图 2 看出,堆肥量的增加显著增加了茼蒿茎叶的 Vc 含量。未施堆肥的茼蒿 Vc 含量只 $14.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,堆肥用量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿 Vc 含量达 $24.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于对照。堆肥量继续增加时,茼蒿 Vc 含量也升高,但差异不显著。在堆肥量为 $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时茼蒿 Vc 含量达到最大值 $27.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是对照的 1.88 倍。堆肥量达到 $80, 100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿 Vc 含量又出现降低的趋势,但仍显著高于对照。这说明堆肥的合理施用能提高茼蒿的 Vc 含量。李友忠等^[14]研究也发现,施用 EM 液发酵的有机肥(秸秆和鸡粪腐熟)促进蔬菜的生长发育,改善番茄的品质,使番茄果实 Vc 增加 10.7% 。

从图 3 可以看出,随着堆肥用量的增加,茼蒿中

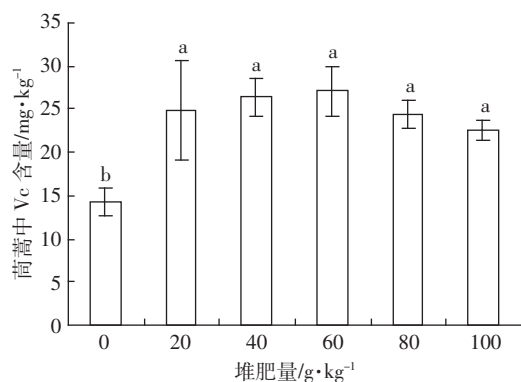


图 2 不同堆肥处理下茼蒿 Vc 含量

Figure 2 Chrysanthemum Vc content in different compost amount

的粗蛋白含量呈先显著增加后显著减小的趋势。未施堆肥时,茼蒿中粗蛋白含量为 $66.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干基)。堆肥量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿粗蛋白含量达到 $78.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于对照。堆肥量继续增加到 $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿粗蛋白含量达最高 $82.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,为不施堆肥的 1.24 倍。随堆肥用量继续增加到 $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,粗蛋白含量又降低到 $70.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。显然,堆肥在一定用量范围内可提高重金属污染土壤上茼蒿粗蛋白含量,而超出一定用量后,反而导致粗蛋白含量降低。这可能是由于堆肥增加土壤中氮的供应,改善了土壤的理化条件,促进了茼蒿粗蛋白的合成,但是过量堆肥的施用会造成土壤营养元素失衡,影响茼蒿的生长进而减少了茼蒿对氮的吸收与合成。

从图 4 可以看出,与未施加堆肥比较,堆肥处理的茼蒿中可溶性糖含量都下降。未施加堆肥的茼蒿可溶性糖含量为 $3.78 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (鲜重基),堆肥量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿可溶性糖含量显著降低。堆肥量为 $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,茼蒿中的可溶性糖含量达到最低值 $1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

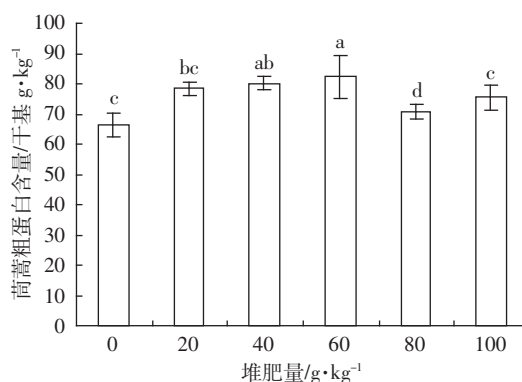


图 3 不同堆肥处理下茼蒿粗蛋白含量

Figure 3 Chrysanthemum crude protein content in different compost amount

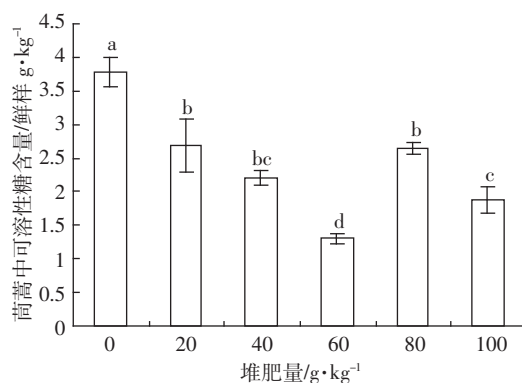


图 4 不同堆肥处理下茼蒿可溶性糖含量

Figure 4 Chrysanthemum soluble sugar content in different compost amount

kg^{-1} , 是对照的 1/3, 显著低于其他处理。堆肥量继续增加到 $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 茼蒿可溶性糖含量又显著升高, 但仍低于对照处理。这可能是因为植物为适应逆境条件会主动积累一些可溶性糖, 以降低渗透势和冰点^[1]。堆肥的加入降低了茼蒿体内的可溶性糖含量, 而施用量过高又会使可溶性糖含量增加。

2.3 施用堆肥对重金属污染土壤上茼蒿吸收 P、K 养分的影响

从图 5 可以看出, 未施加堆肥时, 茼蒿中 P 含量为 $2.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。堆肥量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 茼蒿中 P 含量达 $3.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著高于对照。堆肥量继续增加, 茼蒿的 P 含量也显著增加, 当堆肥用量达 $80 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 茼蒿中 P 含量达到最大值 $5.72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是未加堆肥的 2.14 倍。堆肥用量继续增加到 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, P 含量又有显著降低。这说明施用一定量的堆肥能够显著增加供试土壤上茼蒿的 P 含量。

从图 6 可以看出, 在堆肥量为 $0 \sim 40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的范围内, 茼蒿中 K 含量随堆肥用量增加而显著增加。对照处理的茼蒿 K 含量只有 $41.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 堆肥量为 20

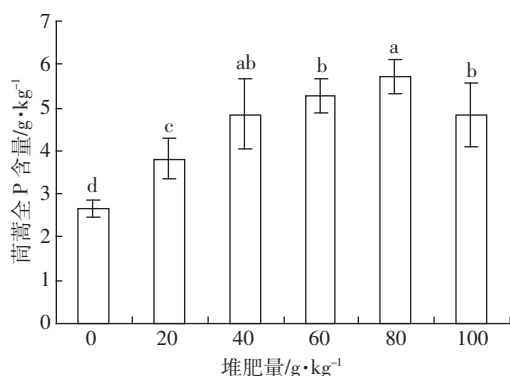


图 5 不同堆肥处理下茼蒿全磷含量

Figure 5 P content of chrysanthemum in different compost amount

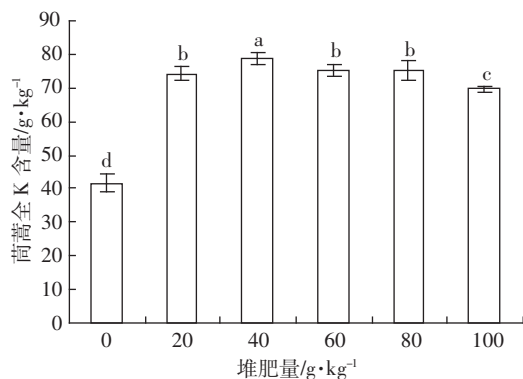


图 6 不同堆肥处理下茼蒿全钾含量

Figure 6 K Content of chrysanthemum in different compost amount

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 茼蒿中 K 含量达 $74.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是对照的 1.79 倍, 差异显著。堆肥量为 $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 茼蒿中 K 含量达到最大值 $78.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是未加堆肥的 1.90 倍。堆肥继续增加时, K 含量反而降低。

由于堆肥中 N、P、K 等营养元素含量都较土壤中的高 (见表 1), 适量堆肥的施用能增加蔬菜对养分的吸收, 过量施用堆肥反而降低蔬菜对营养元素的吸收, 其原因可能与养分平衡等有关。

2.4 施用堆肥对污染土壤上茼蒿重金属含量的影响

从表 2 可以看出, 随着堆肥用量的增加, 茼蒿地上部和根部 Cu、Cd 含量发生显著变化。在茼蒿地上部 (可食部分), Cu 含量显著降低, 施肥用量 $100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时由对照的 $10.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (干基) 降低到 $7.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 降低 35.5%。Cd 含量呈先显著降低又升高的趋势, 未施堆肥的处理 Cd 含量为 $2.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 堆肥量为 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时达最低 (低于检测限), 堆肥量继续增加茼蒿 Cd 含量又会升高; 在茼蒿根部, Cu、Cd 含量呈先显著降低又升高的趋势, 未施堆肥的处理, 茼蒿中 Cu、Cd 含量分别为 106 、 $11.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。堆肥量为 $40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, Cu 含量降低到 $88.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比对照降低 20.1%, 但差异不显著, Cd 含量降低到 $8.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比对照降低 39.5%, 差异显著。这可能是由于堆肥中有机质对 Cu、Cd 的络合缓解了其毒性^[9]。在堆肥过程中, 类似腐殖物质的含量不断增加, 分子量不断增大, 与金属离子的络合能力增强, 形成络合物的稳定常数增大^[15], 从而导致茼蒿中 Cu、Cd 含量发生变化。堆肥量继续增加, 茼蒿根部 Cu、Cd 含量又升高, 地上部 Cu、Cd 含量相应增加。

堆肥的适量施用能促进茼蒿生长, 降低茼蒿对

表 2 不同堆肥处理下茼蒿重金属含量

Table 2 Content of Chrysanthemum heavy metals changes in different compost amount

堆肥用量/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	地上部		根部	
	Cu/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Cd/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Cu/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Cd/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
0	10.2a	2.65a	106a	11.2a
20	9.27b	ND	95.1ab	8.60bc
40	9.07b	0.82c	88.5b	8.03bc
60	8.60b	0.91c	108a	8.73b
80	8.49b	1.07bc	98.9ab	9.14b
100	7.53c	1.30b	100a	7.61c

注: 同一列数据不同字母表示差异达 5% 显著水平。ND 表示低于检测限。

Note: Different letters in the same column mean significant at 5% level. ND means below the detection limit.

Cu、Cd 的吸收。一方面,堆肥中含有大量有机物质, N、P、K 等营养元素,其施用可增加土壤有效养分含量,提高土壤肥力,促进作物生长;另一方面,堆肥施用后,通过络合作用或改变重金属形态,可引起作物吸收重金属量的下降^[16-17]。

3 结论

(1)施用堆肥能显著提高茼蒿的产量及其植株内粗蛋白、Vc、全 P 和全 K 含量,基本上在堆肥用量为 40~60 g·kg⁻¹ 时达最大值。茼蒿可溶性糖含量随堆肥用量增加而显著减小,在堆肥用量为 60 g·kg⁻¹ 时达最小值。

(2)堆肥用量增加能显著降低茼蒿地上部 Cu 含量。茼蒿地上部 Cd、根部 Cu、Cd 含量随堆肥用量的增加呈先显著降低又上升的趋势。茼蒿地上部 Cd 含量在堆肥用量为 20 g·kg⁻¹ 时达最低,根部 Cu、Cd 含量在堆肥用量为 40 g·kg⁻¹ 时最低。

(3)综合考虑茼蒿产量、品质、养分和重金属含量之间的变化规律,对于污染地区的茼蒿种植,试验堆肥适量施用是切实可行的。

参考文献:

- [1] 周泽义. 中国蔬菜重金属污染及控制[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1999, 10(3): 21-27.
ZHOU Ze-yi. Heavy metals contamination in vegetables and their control in China[J]. *Dev Res Network Nat Resour Environ Ecol*, 1999, 10(3): 21-27.
- [2] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1197-1203.
WEI Chao-yang, Chen Tong-bin. Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China and abroad[J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, 21(7): 1197-1203.
- [3] Ikeda M, Zhang Z W, Shimbo S, et al. Urban population exposure to lead and cadmium in east and south-east Asia[J]. *Sci Total Environ*, 2000, 249: 373-384.
- [4] McLaughlin M J, Hamon R E, McLaren R G, et al. A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contaminants of agricultural land in Australia and New Zealand[J]. *Austra J Soil Res*, 2000, 38: 1037-1048.
- [5] 谢正苗, 李 静, 陈建军, 等. 中国蔬菜地土壤重金属健康风险基准的研究[J]. 生态毒理学报, 2006, 1(2): 172-179.
XIE Zheng-miao, Li Jing, Chen Jian-jun, et al. Study on guidelines for health risk to heavy metals in vegetable plantation soils in China[J]. *Asian J Ecotoxicology*, 2006, 1(2): 172-179.
- [6] 刘景红, 陈玉成. 中国主要城市蔬菜重金属污染格局的初步分析研究[J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(5): 42-44.
LIU Jing-hong, Chen Yu-cheng. Primary investigation on contamination pattern of vegetables by heavy metals in Chinese cities[J]. *Studies of Trace Elements and Health*, 2004, 21(5): 42-44.
- [7] 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 Agric Sci*, 2002(4): 45-48.
- [8] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
ZHOU Qi-xing, SONG Yu-fang. Principles and methods of remediation in contaminated soil[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [9] Bolan N S, Adriano D C, Duraisamy P, et al. Immobilization and phytoavailability of cadmium in variable charge soils. III. Effect of biosolid compost addition[J]. *Plant Soil*, 2003, 256: 231-241.
- [10] Clemente R, Walker D J, Roig A, et al. Heavy metal bioavailability in a soil affected by mineral sulphides contamination following the mine spillage at Aznalcollar (Spain)[J]. *Biodegradation*, 2003, 14: 199-205.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 194-197, 246-248.
LI He-sheng. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 194-197, 246-248.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO Shi-dan. Soil agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [13] Zheljaskov V D, Warman P R, . Application of high-Cu compost to dill and peppermint [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52: 2615-2622.
- [14] 李友忠, 杨化恩, 辛茂刚, 等. EM 有机肥在蔬菜生产中应用技术研究[J]. 现代农业科技, 2008, 9: 17-18.
LI You-zhong, YANG Hua-en, XIN Mao-gang et al. Applied technology research of EM compost in vegetable production [J]. *Modern Agric Sci Techno*, 2008, 9: 17-18.
- [15] 何 翊, 吴 海. 生物修复技术在重金属污染治理中的应用 [J]. 化学通报, 2005(1): 36-42.
HE Yi, WU Hai. The application of bioremediation in heavy metals pollution treatment[J]. *Chemistry*, 2005(1): 36-42.
- [16] Lombi E, Zhao F J, Zhang G, et al. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment[J]. *Environ Pollut*, 2002, 118: 435-443.
- [17] Chen H M, Zheng C R, Tu C, et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals[J]. *Chemosphere*, 2000, 41: 229-234.