

猪粪施用量对土壤和辣椒中Cd和Pb积累的影响

马国泰^{1,2}, 杜红艳¹, 刘芝妨¹, 杨继刚¹, 张昊¹, 梁军¹, 马利利¹, 关天霞^{1,2}
(1. 河西学院生命科学与工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 采用田间随机区组试验设计, 研究了施用不同量(0、15、30、45、60 t/hm²)猪粪对辣椒不同生育时期土壤和辣椒各器官(根、茎、叶和果实)重金属Cd和Pb积累的影响。结果表明, 土壤Cd和Pb的含量随着猪粪有机肥施用量的增加而增加, 随着辣椒生长发育进程有所下降, Cd和Pb含量的最大值分别为0.360 3、29.11 mg/kg, 均未超过土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(GB15618—2018)。在相同猪粪施用量条件下, 辣椒根和茎中的Cd和Pb含量随着生育进程而增加, 各器官中Cd和Pb的含量分布由大到小依次为根、叶、茎、果实。辣椒果实中Cd的含量为0.023 3~0.049 0 mg/kg, Pb含量为0.062 7~0.086 5 mg/kg, 均未超过食品安全国家标准食品中污染物限量(GB 2762—2017), 可安全食用。虽然猪粪有机肥的施用导致了土壤Cd和Pb的积累, 但对辣椒各器官影响较小。辣椒根对重金属的富集能力为Cd>Pb, 说明Cd更容易从土壤向辣椒中转移, 对辣椒造成的危害可能会更大。

关键词: 猪粪; 辣椒; Cd; Pb; 灌漠土

中图分类号: S641.3; S141.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)01-0028-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.01.006

Effect of Pig Manure Application on Cd and Pb Accumulation in Soil and Pepper

MA Guotai^{1,2}, DU Hongyan¹, LIU Zhifang¹, YANG Jigang¹, ZHANG Hao¹, LIANG Jun¹, MA Lili¹, GUAN Tianxia^{1,2}

(1. School of Life sciences and Engineering, Hexi University, Zhangye Gansu 734000, China; 2. Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu, Zhangye Gansu 734000, China)

Abstract: The effect of pig manure on the accumulation of Cd and Pb in soil and organs (roots, stems, leaves and fruits) of pepper at different growth stages were studied by randomized block experiment design after different amount of pig manure application (0, 15, 30, 45 and 60 t/hm²). The results showed that the content of Cd and Pb in soil increased with the increase of the pig manure application, and decreased with the growth stages of pepper. The maximum content of Cd and Pb in the soil were 0.360 3 mg/kg and 29.11 mg/kg, respectively, which do not exceed *The soil environmental quality and soil pollution risk control standard for agricultural land* (GB 15618—2018). Under the same amount of pig manure, the content of Cd and Pb in the roots and stems of pepper increased with the growth stages of pepper. The contents of Cd and Pb in each organ were distributed from large to small in order as roots, leaves, stems, fruits. The contents of Cd and Pb in pepper fruits were 0.023 3~0.049 0 mg/kg and 0.062 7~0.086 5 mg/kg, but they were all within the limit of pollutants in *National food safety*

收稿日期: 2020-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41461075); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201510740007)。

作者简介: 马国泰(1968—), 男, 甘肃天水人, 副教授, 硕士, 主要从事土壤环境质量与农产品安全方面的研究工作。Email: maguotai271@163.com。

通信作者: 关天霞(1984—), 女, 甘肃白银人, 副教授, 博士, 主要从事土壤环境质量与农产品安全方面的研究工作。联系电话: (0)13993634671。Email: guantianxia0405@126.com。

standard (GB2762—2017) and can be eaten safely. It can be concluded that although the application of pig manure results in the accumulation of Cd and Pb in soil, it has little effect on the organs of pepper. The enrichment capacity of pepper roots to heavy metals was Cd>Pb, which indicated that Cd was more easily transferred from soil to pepper, and the harm to pepper may be greater.

Key words: Pig manure; Pepper; Cd; Pb; Irrigation desert soil

随着人们对蔬菜产品的需求越来越多,蔬菜的安全生产越来越受到人们的关注^[1]。影响蔬菜安全问题的原因有很多,重金属污染是主要威胁之一。重金属在蔬菜中富集累积,可以通过食物链危害人体健康和生命安全^[2],其中 Cd 和 Pd 是我国蔬菜的主要重金属污染物^[3],全国约有 24.1%的菜地 Cd 含量超标^[4]。王婷等^[5]研究表明,甘肃白银土壤中 Cd 含量 0.170 ~ 82.400 mg/kg,属重度污染;陈同斌等^[6]研究表明,北京市蔬菜基地的土壤 Pb 是背景值的 1.21 倍,猪粪有机肥中 Cd 的超标率为 51.7%^[7-8];王飞等^[9]发现,猪粪有机肥 Pb 超标率高达 80.56%;刘荣乐等^[10]研究发现,有机肥 Pb 和 Cd 超标率为 1.2%和 67.9%,长期施用重金属超标的猪粪会导致土壤的重金属含量有不同程度的积累^[11-12]。刘赫等^[13]的研究表明,长期施用猪粪有机肥会增加土壤中重金属 Cd 和 Pb 的含量,分别对比照增加了 1.23 mg/kg 和 9.66 mg/kg;唐政等^[14]研究表明,在有机蔬菜辣椒生产中施用猪粪有机肥使果实中 Cd 等重金属元素超标。长沙市各主要蔬菜基地生产的 13 个蔬菜种类 Cd 和 Pb 超标率分别为 51%和 60%^[15]。李富荣等^[16]研究发现,茄果类蔬菜均有 Cd 超标现象。茹淑华等^[17]研究了重金属在番茄植株各器官中

的积累情况,发现 Cd 和 Pb 等在番茄各器官的含量为根>茎叶>果;李非里等^[18]对贵阳某市郊菜园辣椒不同器官 Cd 元素含量的研究中发现,根部对 Cd 元素有明显的富集作用,其次为茎叶,果实中 Cd 元素的含量最少,仅为茎叶的 0.42 ~ 0.51 倍。因此,如何安全施用畜禽粪便有机肥,不仅是实现有机肥良性循环的需要,也是保障土壤、环境、蔬菜质量的迫切需要。

辣椒是人们最喜爱的蔬菜之一,其营养价值高,富含多种营养成分,近年来,种植面积和年产量不断增长,在生产中施用畜禽粪便十分普遍,是生产中一项重要的农艺措施。我们以辣椒为材料,以灌漠土为研究对象,采用田间随机区组试验设计,研究了施用不同量的猪粪有机肥后重金属 Cd 和 Pb 在土壤和辣椒各器官中的积累情况,为科学合理施用猪粪有机肥及辣椒安全生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试辣椒品种为陇椒 3 号。试验地位于张掖市新墩镇城儿闸村(北纬 38° 54' 43",东经 100° 24' 43"),土壤类型为灌漠土。供试猪粪购买自当地养殖场,工艺为二次翻堆通风发酵。土壤和猪粪基本理化性质见表 1。

表 1 土壤和猪粪基本理化性质

类型	pH	有机质 /(g/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)	Cd /(mg/kg)	Pb /(mg/kg)
灌漠土	8.41	23.77	18.26	52.10	60.82	0.326 7	24.17
猪粪	7.28	89.34	150.87	2 759.00	4 120.00	0.410 5	37.89

1.2 试验设计

采用田间随机区组试验设计, 共设 5 个猪粪施用量水平, 分别为 0(CK)、15、30、45、60 t/hm², 小区面积 4.56 m² (1.2 m × 3.8 m), 重复 4 次。化肥常规施肥量为 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 75 kg/hm²。辣椒株行距为 40 cm × 45 cm, 每小区播种 24 株。辣椒生长期间根据土壤墒情适时灌水、锄草。试验从 2015 年开始, 每年均按照相同方案进行施肥处理。

1.3 样品采集

在辣椒幼苗期(2017 年 6 月 11 日)、开花坐果期(2017 年 7 月 11 日)、辣椒盛果期(2017 年 8 月 15 日)、收获期(2017 年 9 月 23 日)按照“S”形采样法采集耕层(0~20 cm)土样, 自然风干后用全自动磨土机处理, 过 0.25 mm 筛保存, 测定土壤重金属 Cd 和 Pb 含量。采集植株辣椒样品(包括根、茎、叶和果实), 用自来水冲洗附着的土壤, 用去离子水冲洗 3 遍, 烘箱中 105 °C 杀青 2 h, 然后在 70 °C 下烘干至恒重, 称重(精确到 0.000 1 g), 研磨过 0.25 mm 筛, 装入无色聚乙烯样品袋备用, 并做好标签, 贮存在干燥器中, 用于重金属 Cd 和 Pb 含量测定。

1.4 测定指标与方法

土壤全量 Cd 和 Pb 含量采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解, 火焰原子吸收分光光度测定^[19-20]; 植物样品全量 Cd 和 Pb 含量采用干灰化法, 火焰原子吸收分光光度法测定^[21-22]。

1.5 数据处理与分析

所有试验数据均采用 Microsoft Excel 2016 进行计算, 所得结果为 4 个重复的平均值和标准差。不同处理间参数的差异显著性通过 SPSS 21.0, 采用 Duncan 检验进行统计分析, 在 $P < 0.05$ 条件下认为存在显著性差异。用 Origin 8.0 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 施用猪粪对土壤 Cd 和 Pb 含量的影响

从表 2 可知, 在幼苗期, 施用 60 t/hm² 猪粪有机肥与对照相比, Cd 增加了 9.98%, 显著提高了土壤 Cd 含量($P < 0.05$), 但猪粪有机肥不同施用量处理间差异不显著。随着辣椒生长发育期的推进, 土壤重金属 Cd 含量有所下降。在收获期, 施用猪粪有机肥显著降低了土壤 Cd 含量, 施用量 15、30、45、60 t/hm² 比对照分别降低了 4.91%、7.37%、7.50%、7.09%。在施肥量为 60 t/hm² 时, 与幼苗期相比, 收获期 Cd 含量下降了 18.15%。

从表 3 可知, 在幼苗期, 施猪粪 45、60 t/hm² 均可以显著增加土壤中的 Pb 含量($P < 0.05$), 分别比对照增加了 20.34%、19.80%, 但猪粪有机肥各施用量处理间差异不显著。在开花坐果期和盛果期, 施用 45 t/hm² 猪粪有机肥可以显著提高土壤 Pb 含量($P < 0.05$), 分别比对照提高了 12.61%、12.47%。随着辣椒生长发育, 土壤重金属 Pb 含量有所下降, 施用 60 t/hm² 猪粪时, 收获期 Pb 含量比幼苗期下降 11.90%。

表 2 猪粪不同施用量处理的灌漠土 Cd 含量

猪粪施用量 (t/hm ²)	mg/kg			
	幼苗期	开花坐果期	盛果期	收获期
0(CK)	0.327 6±0.016 1 b	0.328 4±0.007 8 a	0.295 0±0.006 5 b	0.317 4±0.006 6 a
15	0.339 4±0.012 5 ab	0.310 9±0.001 6 a	0.304 9±0.004 6 ab	0.301 8±0.013 8 b
30	0.345 8±0.007 8 ab	0.334 3±0.003 7 a	0.307 3±0.002 0 a	0.294 0±0.009 2 b
45	0.337 2±0.002 4 ab	0.292 3±0.008 3 a	0.309 0±0.014 3 a	0.293 6±0.004 6 b
60	0.360 3±0.023 8 a	0.304 0±0.009 8 a	0.298 0±0.000 7 ab	0.294 9±0.003 5 b

表 3 猪粪不同施用量处理的灌漠土 Pb 含量

猪粪施用量 (t/hm ²)	幼苗期	开花坐果期	盛果期	收获期
0(CK)	24.19±2.77 b	23.87±0.58 c	22.30±0.95 b	23.37±1.09 a
15	26.60±0.70 ab	25.85±1.71 ab	22.53±0.78 b	24.08±2.64 a
30	27.51±2.58 ab	24.47±0.91 bc	22.93±0.21 b	22.52±1.34 a
45	29.11±2.81 a	26.88±0.72 a	25.08±1.92 a	22.13±0.98 a
60	28.98±1.83 a	25.87±0.95 ab	24.46±1.58 ab	25.53±2.12 a

2.2 对辣椒各器官 Cd 和 Pb 积累的影响

2.2.1 根部 如图 1 所示,在幼苗期、开花坐果期和收获期,施用猪粪有机肥 60 t/hm² 可以显著提高辣椒根部 Cd 含量($P < 0.05$),比对照分别增加了 18.25%、23.51%、15.58%,但施猪粪有机肥 30、45、60 t/hm² 处理间差异不显著。随着辣椒生长发育,辣椒根部的 Cd 含量逐渐增加,在收获期达到最大,为 0.097 6 mg/kg,比幼苗期增加了 28.86%。

在幼苗期,施用猪粪有机肥 60 t/hm² 可以显著提高辣椒根部 Pb 含量($P < 0.05$),比对照增加了 15.11%;在开花坐果期和收获期,辣椒根部 Pb 含量在施用量为 15 t/hm² 时最低。随着辣椒生长发育推进,辣椒根中 Pb 的含量逐渐增加,收获期茎根中 Pb 含量达

最大,为 0.379 8 mg/kg,比幼苗期增加了 38.14%。

2.2.2 茎部 如图 2 所示,在辣椒的整个生育时期,施用猪粪有机肥对辣椒茎部 Cd 含量影响不显著。辣椒茎部的 Cd 含量变化范围为 0.056 0 ~ 0.094 5 mg/kg,在收获期达到最大。随着辣椒生长发育,辣椒茎中 Cd 的含量逐渐增加,收获期茎中 Cd 含量达最大,为 0.092 8 mg/kg,比幼苗期增加了 44.65%。

在收获期,施用猪粪有机肥 60 t/hm² 显著提高了辣椒茎部 Pb 含量($P < 0.05$),比对照增加了 8.86%;而在幼苗期、开花坐果期和盛果期,施用猪粪有机肥对辣椒茎部 Pb 含量影响不显著。随着辣椒生长发育,Pb 含量逐渐增加,收获期 Pb 含量比幼苗期增

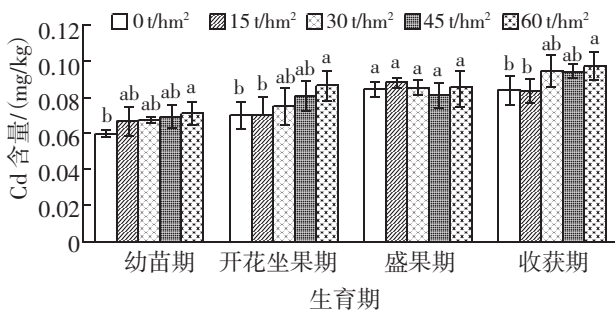


图 1 猪粪不同施用量对辣椒根部 Cd 和 Pb 含量的影响

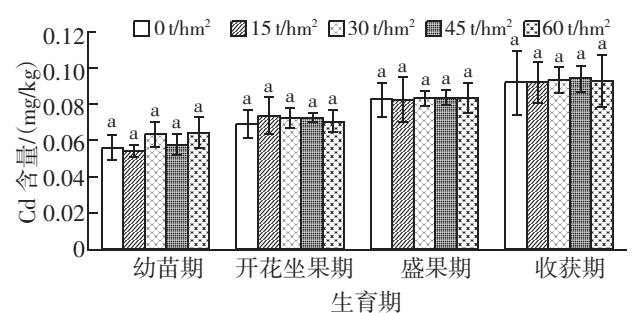


图 2 猪粪不同施用量对辣椒茎部 Cd 和 Pb 含量的影响

加了 47.93%。

2.2.3 叶片 如图 3 所示,在幼苗期,施猪粪有机肥 45、60 t/hm²显著提高了辣椒叶片 Pb 含量($P < 0.05$),分别比对照提高了 34.88%、3.98%。在辣椒的整个生长发育时期,辣椒叶片 Cd 含量变化范围为 0.054 4 ~ 0.087 5 mg/kg,无论猪粪有机肥施用量多少,辣椒叶片中的 Cd 含量由高到低表现为幼苗期、盛果期、收获期、开花坐果期。

施用猪粪有机肥可以在一定程度上降低辣椒叶片 Pb 含量($P < 0.05$),但在收获期并没有明显影响。在辣椒的整个生长发育时期,辣椒叶片 Cd 含量变化范围为 0.130 2 ~ 0.190 9 mg/kg,无论猪粪有机肥施用量多少,辣椒叶片 Pb 的含量由高到低表现为收获期、开花坐果期、盛果期、幼苗期。

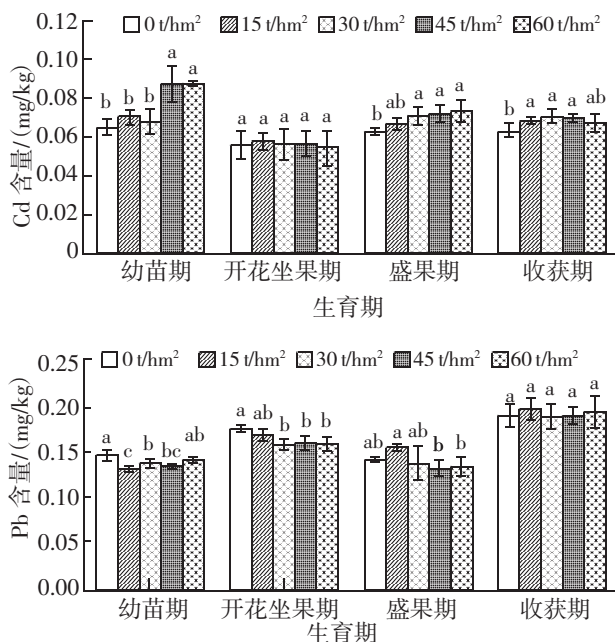


图 3 猪粪不同施用量对辣椒叶片 Cd 和 Pb 含量的影响

2.2.4 果实 如图 4 所示,在开花坐果期,施用猪粪有机肥 60 t/hm²显著提高了辣椒果实 Cd 含量($P < 0.05$),比对照增加了 14.20%,但猪粪有机肥各施用量处理间差异不显著。

而在收获期,施用猪粪有机肥 15 t/hm²后辣椒果实 Cd 含量比对照显著提高了 16.68% ($P < 0.05$)。在辣椒整个生长发育时期,辣椒果实 Cd 含量变化范围为 0.023 3~0.049 0 mg/kg,无论猪粪有机肥施用量多少,辣椒果实 Cd 含量由高到低表现为收获期、开花坐果期、盛果期。

在辣椒的整个生长发育期,施用猪粪有机肥对辣椒果实 Pb 含量影响不显著,Pb 含量变化范围为 0.062 7~0.086 5 mg/kg,无论猪粪有机肥施用量多少,果实中 Pb 含量由高到低表现为收获期、开花坐果期、盛果期。

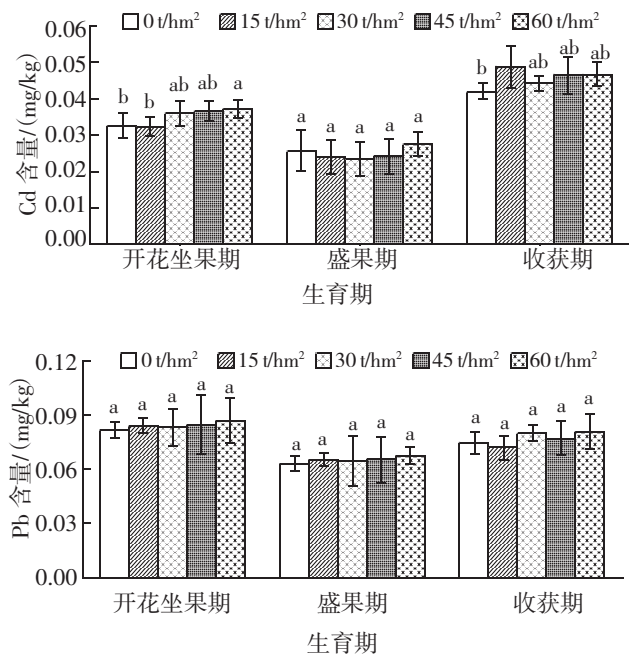


图 4 猪粪不同施用量对辣椒果实 Cd 和 Pb 含量的影响

2.3 对辣椒 Cd 和 Pb 富集系数的影响

富集系数是蔬菜根部重金属含量与相应的土壤重金属含量之比,反映蔬菜从土壤中吸收重金属的能力^[23]。从表 4 可以看出,施用猪粪有机肥在幼苗期和收获期均可以提高 Cd 的富集系数,Cd 富集系数的变化范围为 0.184 1 ~ 0.330 9,而 Pb 富集系数的变化范围为 0.007 4 ~ 0.017 5。在同一猪粪用量下,随着辣椒生长发育,辣椒根部对重金属

表 4 猪粪不同施用量处理的辣椒 Cd 和 Pb 富集系数

猪粪施用量 (t/hm ²)	幼苗期		开花坐果期		盛果期		收获期	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
0	0.184 1	0.008 3	0.227 8	0.011 3	0.286 8	0.015 5	0.266 0	0.015 9
15	0.198 8	0.008 3	0.226 7	0.009 9	0.289 2	0.015 8	0.277 9	0.015 8
30	0.194 7	0.007 9	0.247 2	0.012 3	0.277 9	0.015 6	0.322 1	0.016 0
45	0.205 2	0.007 4	0.259 5	0.011 1	0.264 2	0.015 0	0.320 9	0.017 5
60	0.197 9	0.007 9	0.285 5	0.011 5	0.286 6	0.014 2	0.330 9	0.016 1

Cd 和 Pb 的富集能力大小均有所上升。无论猪粪有机肥施用量多少, Cd 富集系数远大于 Pb, 说明 Cd 更容易从土壤进入植物根部, 但 Pb 和 Cd 的富集系数始终小于 1。

3 结论与讨论

猪粪是一种有机质含量较高的有机肥, 经常被施入农田土壤中, 用于改善土壤理化性质, 提高土壤肥力^[24], 但近年来也有很多学者发现猪粪中重金属超标的现象。参照我国农业行业标准, 有机肥料(NY525—2012)中重金属限量标准(Pb≤50 mg/kg, Cd≤3 mg/kg)^[25], 本试验供试猪粪有机肥中 Cd 和 Pb 含量(Cd 为 0.410 5 mg/kg, Pb 为 37.89 mg/kg)均在限量范围之内, 属于达标有机肥。研究结果表明, 土壤重金属 Cd 和 Pb 的含量随着猪粪有机肥施用量的增加而增加。土壤中 Cd 和 Pb 的最大含量分别为 0.360 3 mg/kg 和 29.11 mg/kg, 均未超过土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(GB15618—2018, pH>7.5 时, Cd 含量≤0.60 mg/kg, Pb 含量≤170 mg/kg)^[19], 可以认为短期施入猪粪源有机肥不会造成土壤重金属污染, 但长期施用则有可能造成土壤 Cd 和 Pb 的污染, 有必要进行进一步监测。

施用不同量的猪粪有机肥后, 辣椒各器官 Cd 和 Pb 的含量由高到低均表现为根、叶、茎、果实, 说明根部对 Cd 和 Pb 具有一

定的截留作用^[26]。辣椒果实中 Cd 含量变化范围为 0.023 3~0.049 0 mg/kg, Pb 含量变化范围为 0.062 7~0.086 5 mg/kg, 均未超过食品安全国家标准食品中污染物限量(GB 2762—2017, Cd 含量≤0.05 mg/kg, Pb 含量≤0.1 mg/kg)^[27], 可以安全食用。可以认为, 虽然猪粪有机肥的施用导致了土壤 Cd 和 Pb 的积累, 但对辣椒各器官影响较小, 这可能是因为猪粪有机肥的施用增加了辣椒整株生物量, 从而使 Cd 和 Pb 含量并没有明显增加, 说明短期施用有机肥一般不会导致辣椒果实 Cd 和 Pb 含量的超标。辣椒对重金属的富集能力为 Cd>Pb, 说明辣椒根对 Cd 的富集能力强于 Pb, 因此 Cd 更容易被辣椒吸收进而进入植物体内, 进而通过食物链传递, 增加人体健康风险。

参考文献:

- [1] 李燕燕, 李章平, 熊海灵, 等. 重庆市街道灰尘重金属污染的健康风险评价[J]. 西南大学学报, 2015, 34(2): 18-23.
- [2] 周 辉, 张志转. 中国蔬菜农业污染现状、污染来源及污染防控[J]. 农业灾害研究, 2013(5): 27-38.
- [3] 李书幻, 温祝桂, 陈亚茹, 等. 我国蔬菜重金属污染现状与对策[J]. 江苏农业科学, 2016(8): 231-235.
- [4] 曾希柏, 李莲芳, 梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11): 30-36.

- [5] 王 婷, 南 海. 白银区东大沟流域农田土壤 Cd 分布及其影响因素[J]. 甘肃农业科技, 2015(7): 9-12.
- [6] 陈同斌, 宋 波, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜铅含量及其健康风险评估[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1589-1597.
- [7] 单英杰, 章明奎. 不同来源畜禽粪的养分和污染物组成[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 80-86.
- [8] 潘 寻, 韩 哲, 贲伟伟. 山东省规模化猪场猪粪及配合饲料中重金属含量研究[J]. 农业环境科学学报, 2013(1): 160-165.
- [9] 王 飞, 赵立欣, 沈玉君, 等. 华北地区畜禽粪便有机肥中重金属含量及溯源分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 202-208.
- [10] 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, 4(2): 392-397.
- [11] 刘全东. 有机肥源重金属在土壤-蔬菜体系中累积迁移的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [12] GUAN T X, HE H B, ZHANG X D, et al. Cu fractions, mobility and bioavailability in soil-wheat system after Cu-enriched livestock manure applications[J]. Chemosphere, 2011, 82: 215-222.
- [13] 刘 赫, 李双异, 汪景宽. 长期施用有机肥对棕壤中主要重金属积累的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2177-2182.
- [14] 唐 政, 邱建军, 陈小香, 等. 有机种植中施肥引发的重金属累积风险研究[J]. 广东农业科学, 2012(16): 95-97.
- [15] 沈 彤, 刘明月, 贾 来, 等. 长沙地区蔬菜重金属污染初探[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005(1): 87-90.
- [16] 李富荣, 李敏等. 茄果类蔬菜对其产地土壤重金属的吸收富集与安全阈值研究[J]. 农产品质量与安全, 2018(1): 52-58.
- [17] 茹淑华, 张国印, 贡冬梅, 等. 铜、锌、铅和镉复合污染对番茄生长和重金属累积规律的影响[J]. 华北农学报, 2013(2): 564-566.
- [18] 李非里, 刘丛强, 杨元根, 等. 贵阳市郊菜园土-辣椒体系中重金属的迁移特征[J]. 生态与农村环境学报, 2007(4): 52-56.
- [19] 生态环境部国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准:GB 15168—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-4.
- [20] 国家环境保护局. 土壤质量铅、镉的测定火焰原子吸收分光光度法: GB/T 17141—1997 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 97-98.
- [21] 国家食品药品监督管理总局. 食品中镉的测定: GB5009. 15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 1-4.
- [22] 国家食品药品监督管理总局. 食品中铅的测定: GB5009. 12—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 4-6.
- [23] 陈玉梅, 周根娣, 胡 洁, 等. 土壤重金属复合污染对茄果类蔬菜的影响研究[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2016(5): 495-501.
- [24] 贾武霞. 畜禽粪便施用对土壤中重金属累积及植物有效性影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [25] 中华人民共和国农业部. 有机肥料: NY525—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 2.
- [26] 黎佳佳, 付庆灵, 吕 意, 等. 辣椒对灰潮土重金属全 Cd 全 Pb 污染的反应与矿质元素吸收[J]. 农业环境科学学报, 2005(2): 236-241.
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中污染物限量: GB/T2762—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-17.

(本文责编: 陈 珩)