

郭德杰,刘新红,徐丽萍,等. 连续多季施用猪粪有机肥对设施大棚中土壤及作物中 Cu、Zn 含量的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):283-286.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.054

# 连续多季施用猪粪有机肥对设施大棚中土壤及作物中 Cu、Zn 含量的影响

郭德杰<sup>1</sup>, 刘新红<sup>1</sup>, 徐丽萍<sup>2</sup>, 马艳<sup>1</sup>, 严少华<sup>1</sup>, 罗佳<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省南京市六合区耕地质量保护站, 江苏南京 211500)

**摘要:**在设施大棚内连续种植青椒、大白菜、白萝卜,研究猪粪有机肥施用对铜、锌在土壤、植株体内迁移和累积的影响。结果表明,等氮量施用条件下,不同施肥处理表层土壤(0~20 cm)中的铜、锌含量存在明显差异。与试验前相比,连续3茬化肥(CF)处理铜含量降低了16.41%,猪粪有机肥和化肥各施用50%(HOF)处理铜含量增加了9.33%,全量有机肥(OF)处理铜含量增加了23.76%,为51.20 mg/kg;而CF处理锌含量降低了40.58%,HOF处理增加了11.35%,OF处理增加了34.12%,达到164.30 mg/kg。在深层土壤(20~40 cm)中所有处理的铜、锌含量均无明显增加,说明铜、锌并未向下层土壤迁移;同时在作物果实中铜、锌含量与CK相比无明显差异,且未超过国家食品安全标准。因此,连续施用猪粪有机肥易造成表层土壤中铜、锌的少量积累,猪粪有机肥施用量越多则铜、锌积累量越大,而通过有机无机配施或者化肥与有机肥轮换施用既能减缓土壤中铜、锌的过多积累,又能维持土壤中铜、锌的营养平衡,有利于保持土壤健康和食品安全。

**关键词:**猪粪有机肥;设施栽培;铜;锌;重金属积累

**中图分类号:**S141;X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)18-0283-03

随着生态农业的兴起,越来越多的农户和农业企业开始重视有机肥的使用<sup>[1]</sup>,以畜禽粪便为主要原料制成的动物源有机肥及以农林废弃物为主要原料制成的植物源有机肥被大量施入到土壤中。有机肥可以改善土壤环境,提高作物品质,近年来随着有机肥的逐渐投入施用,生态农业、绿色农业等高附加值农业产业取得了较大发展;但不同来源物料制成的有机肥,对土壤及作物产生的影响不同,特别是以畜禽粪便为主要原料制成的动物源有机肥,若施用不当,可能会在改善土壤质地同时,对土壤又产生了新的危害,其中重金属对土壤产生的危害受到普遍关注<sup>[2-4]</sup>。

随着我国经济不断发展,人民日益增长的物质文化生活需求不断提高,集约化、规模化养殖成为必然趋势。为保证畜禽产量及减少病害的发生,大量含有铜(Cu)、锌(Zn)等重金属元素的饲料添加

剂在畜禽养殖场被施用,由此产生含有大量Cu、Zn等重金属元素的畜禽粪便<sup>[5-8]</sup>,这些畜禽粪便被制成动物源的有机肥施入土壤后,对土壤、作物的影响已有较多学者作了研究<sup>[9-10]</sup>,但是关于长期施用猪粪有机肥对设施大棚土壤中Cu、Zn积累效应的研究较少。

本试验以设施大棚中土壤及连续种植的青椒、大白菜、白萝卜3种蔬菜为研究对象,研究长期施用猪粪有机肥后,铜、锌在土壤、植株体内迁移和累积情况,以为动物源有机肥在设施农业中的科学施用提供理论依据和数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 有机肥来源和制备

试验所用猪粪有机肥来自于江苏省农业科学院六合动物科学基地(以下简称六合基地)堆肥场,堆肥所用猪粪来源于六合基地养猪场,养猪场猪粪清出后被运至堆肥场进行堆肥发酵,经过发酵腐熟和无害化处理后形成的猪粪有机肥即为本试验所用猪粪有机肥。如表1所示,试验所使用猪粪有机肥各养分指标基本符合行业标准<sup>[11]</sup>,重金属含量和病原菌数量等也均未超标。

收稿日期:2019-12-01

基金项目:苏北科技专项(编号:SZ-YC2017028)。

作者简介:郭德杰(1978—),女,山东曲阜人,硕士,助理研究员,主要从事畜禽废弃物资源化利用研究。E-mail:guodejie99@163.com。

通信作者:罗佳,博士,副研究员,主要从事农林剩余物肥料化和基质化利用技术研究。E-mail:luo\_jia\_428@163.com。

表 1 猪粪有机肥的养分、重金属、病原菌含量

类别	有机质含量 (%)	总氮含量 (g/kg)	总磷含量 (g/kg)	总钾含量 (g/kg)	砷含量 (mg/kg)	汞含量 (mg/kg)	铅含量 (mg/kg)	镉含量 (mg/kg)	铬含量 (mg/kg)	粪大肠菌群数 (个/g)	蛔虫卵死亡率 (%)
猪粪有机肥	45.82	35.21	18.43	13.86	0.27	0.02	7.26	0.20	46.71	27	97.12
行业标准	≥45		≥50		≤15	≤2	≤50	≤3	≤150	≤100	≥95

注:有机肥养分、重金属含量以烘干样计,粪大肠杆菌和蛔虫卵死亡率以鲜样计。

1.2 大棚试验设计

本试验在江苏省农业科学院六合动物基地设施大棚内进行,试验设 4 个处理,分别为对照,不施肥(CK);施用化肥(CF);施用 50% 化肥和 50% 猪粪有机肥(HOF);施用猪粪有机肥(OF)。每个处理设 3 次重复,各处理小区随机排列。各处理施肥原则为等氮施用,施用量为 112.44 kg/hm<sup>2</sup>。试验共种植 3 茬蔬菜,第 1 茬种植青椒,第 2 茬种植大白菜,第 3 茬种植白萝卜;每茬施肥量相同,均依照试验设计的施肥量施用,所有肥料均在蔬菜苗移栽前作基肥一次性施入。

供试土壤基本理化性状如下:全氮含量 5.80 g/kg、全磷含量 2.42 g/kg、全钾含量 9.86 g/kg、速效磷含量 0.65 g/kg、速效钾含量 0.66 g/kg、有机质含量 50.97 g/kg、pH 值 6.7。供试猪粪有机肥养分含量见表 1,供试化肥是氮、磷、钾含量均为 15% 的复合肥。

1.3 样品采集与测定方法

试验时间为 2017 年 8 月至 2018 年 6 月,期间每天进行日常管理和环境条件监测,蔬菜成熟时及时采摘并进行相关指标测定,试验期间每间隔 30 d 采集土样进行相关测试,土壤化学指标测定方法参照《土壤农业化学分析法》<sup>[12]</sup>,每茬种植结束后测定土壤和植株中全 Cu、全 Zn 含量,按照景丽洁等的方法<sup>[13]</sup>对样品进行前处理,利用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP)进行测定。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 连续 3 茬施用不同配比猪粪有机肥对土壤理化性状的影响

由表 2 可以看出,在氮肥等量施用的基础上,与 CK 相比,施用化肥(CF)处理土壤 pH 值有所下降,土壤酸化趋势明显;施用猪粪有机肥能够缓解土壤酸化趋势,其中 OF 处理效果最好。连续 3 茬施用猪粪有

机肥能够明显提高土壤有机质含量,其中以 OF 处理效果最好,与其他处理相比有机质含量明显提高。连续 3 茬施用猪粪有机肥能够提高土壤中养分含量,其中有机肥施用量越高土壤中养分含量越高,OF 处理的总养分[氮(N)、磷(P)、钾(K)]含量比 CK 提高了 47%,而 CF 处理总养分含量比 CK 提高了 27%。

表 2 不同处理对土壤养分含量的影响

处理	pH 值	有机质含量 (%)	全 N 含量 (g/kg)	全 P 含量 (g/kg)	全 K 含量 (g/kg)
CK	6.47	3.49	3.98	1.59	7.24
CF	5.98	2.93	4.90	1.87	9.45
HOF	6.84	3.04	5.16	1.81	10.56
OF	7.26	4.45	5.26	1.85	11.74

2.2 连续 3 茬施用不同配比猪粪有机肥对土壤全 Cu 含量的影响

由表 3 可知,在表层土壤中 CK、CF 处理的全 Cu 含量随着种植茬数的增加逐渐降低,其中 CF 处理降低幅度较大;HOF、OF 处理的全 Cu 含量随着种植茬数的增加而逐渐增加,其中 OF 处理增加幅度较大,连续 3 茬种植后与种植前相比全 Cu 含量增加 23.76%。连续 3 茬施用不同肥料处理对深层土壤中全 Cu 含量影响有限,未在深层土壤中造成 Cu 累积。

2.3 连续 3 茬施用猪粪有机肥对土壤中全 Zn 含量的影响

如表 4 所示,在表层土壤中 CK、CF 处理全 Zn 含量与全 Cu 含量相似,随着种植茬数的增加逐渐降低,其中 CF 处理降低幅度较大,连续 3 茬种植后全 Zn 含量降低 40.58%;HOF、OF 处理土壤全 Zn 含量随着种植茬数的增加逐渐增加,其中 OF 处理增加幅度较大,连续 3 茬种植后全 Zn 含量增加 34.12%,而 HOF 处理仅增加了 11.35%。连续 3 茬施用不同肥料处理对深层土壤中全 Zn 含量影响有限,未在深层土壤中造成 Zn 累积。

2.4 连续 3 茬施用不同配比猪粪有机肥对不同蔬菜作物中 Cu、Zn 含量的影响

铜、锌是人体必需微量元素,作物果实体内富含铜、锌对提高作物的品质和营养成分含量具有重

表 3 不同处理对土壤全 Cu 含量的影响

处理	表层土壤(0~20 cm)全 Cu 含量(mg/kg)				深层土壤(20~40 cm)全 Cu 含量(mg/kg)			
	种植前	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	种植前	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬
CK	41.37	38.52	37.35	36.45	14.15	12.81	12.98	14.55
CF	41.37	39.97	36.31	34.58	14.15	10.37	14.37	15.01
HOF	41.37	41.95	44.24	45.23	14.15	14.16	14.58	16.58
OF	41.37	42.29	48.71	51.20	14.15	15.59	18.11	16.61

表 4 不同处理对土壤全 Zn 含量的影响

处理	表层土壤全 Zn 含量(mg/kg)				深层土壤全 Zn 含量(mg/kg)			
	种植前	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	种植前	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬
CK	122.50	106.82	97.30	89.11	24.73	22.35	28.91	22.64
CF	122.50	105.44	89.73	72.79	24.73	25.94	26.35	23.51
HOF	122.50	128.73	131.60	136.40	24.73	26.32	28.45	23.80
OF	122.50	135.82	147.31	164.30	24.73	22.27	24.39	27.37

要影响,然而铜、锌含量过量会对人体健康产生负面影响。如表 5 所示,多茬施用并未造成作物果实体内 Cu、Zn 大量累计,与对照相比作物中 Cu、Zn 含量无明显提高,没有超过国家限定的标准。叶菜类作物相对于茄果类和根茎类作物 Cu、Zn 含量更高。

表 5 不同处理对不同蔬菜作物中 Cu、Zn 含量的影响

处理	Cu 含量(mg/kg)			Zn 含量(mg/kg)		
	辣椒	大白菜	白萝卜	辣椒	大白菜	白萝卜
CK	5.86	7.13	5.37	9.45	13.86	6.75
CF	5.24	6.24	3.47	8.20	11.24	10.75
HOF	4.37	7.90	4.12	6.72	10.90	8.92
OF	6.26	8.26	3.72	10.35	12.26	9.43

### 3 讨论与结论

农田土壤中重金属的生物毒性是影响农产品质量和土壤生态安全的重要因素。目前,随着集约化养殖场的发展、微量元素饲料添加剂的规模化使用,畜禽粪便有机肥的施用成为土壤重金属污染的重要来源。本试验结果表明,连续 3 茬施用不同配比猪粪有机肥对土壤理化性状影响存在差异,施用化肥的土壤酸化趋势明显,施用有机肥能够缓解土壤酸化趋势,且效果随着有机肥施用量的增加而增加。这与商和平等的研究结果类似,在酸性土壤条件下,施用畜禽养殖废弃物有机肥能够提高土壤的 pH 值<sup>[4]</sup>。有机肥的施用能够有效改善土壤环境,提高土壤有机质含量和农产品品质,因此施用有机肥逐渐被农民所接受,然而畜禽养殖废弃物制成有机肥中重金属等在土壤中累积现象不能忽视<sup>[14-16]</sup>。

重金属的毒性和迁移能力在很大程度上取决于它们在土壤中各种形态存在的数量比例,不同形态的重金属在土壤系统中的循环过程存在显著差异<sup>[16]</sup>。有机肥中含有大量的有机质,能够吸附、络合重金属,施入土壤后会影影响外源重金属形态转化的过程<sup>[17]</sup>。本试验仅对土壤不同层次的铜、锌含量进行了测定,并未测定有效态铜、锌含量,这在后续研究中有待进一步分析。同时,本试验仅种植了 3 茬作物,铜、锌累积多久后在土壤、作物中会存在含量超标的风险,有待进一步的研究。

连续施用猪粪有机肥在表层土壤中易造成铜和锌的少量积累,猪粪有机肥施用量越多则铜和锌积累量越大,这与孙国峰等研究得到的稻麦两熟农田耕层土壤 Zn 含量随着猪粪有机肥施用量增加呈线性增强结果<sup>[3]</sup>一致;而通过有机无机配施或者化肥与有机肥轮换施用既能够减缓土壤中铜、锌的过多积累,又能维持土壤中铜和锌的营养平衡,有利于保持土壤的健康和食品的安全。

#### 参考文献:

- [1] 张 辉,李文凤,赵盈盈,等. 猪粪对土壤不同形态铜、锌含量及蔬菜的影响[J]. 浙江农业科学,2019,60(5):816-818.
- [2] 周维仁,邹思湘,李松岩,等. 高铜高锌日粮在猪体内的代谢规律及对土壤污染的评估[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):290-294.
- [3] 孙国峰,盛 婧,张丽萍,等. 基于稻麦轮作农田土壤锌累积的猪粪安全施用[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(1):174-180.
- [4] 商和平,李 洋,张 涛,等. 畜禽粪便有机肥中 Cu、Zn 在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化[J]. 环境科学,2015,36(1):314-324.

李兴宇,丁文魁,蒋菊芳,等. 气候变化背景下石羊河下游径流特征[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):286–293.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2020.18.055

# 气候变化背景下石羊河下游径流特征

李兴宇<sup>1,2</sup>, 丁文魁<sup>2</sup>, 蒋菊芳<sup>2</sup>, 任丽雯<sup>2</sup>, 杨 华<sup>2</sup>, 程 倩<sup>2</sup>, 王鹤龄<sup>1</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃兰州 730020; 2. 甘肃省武威市气象局农业气象试验站, 甘肃武威 733000)

**摘要:**利用近 50 年石羊河下游蔡旗水文站径流观测资料和该站上游凉州、古浪、乌鞘岭、永昌 4 个气象站气温、降水、蒸发量观测数据,运用累计距平、Mann–Kendall (M–K) 突变检验、Morlet 小波分析和皮尔逊相关系数法分析气候变化背景下石羊河下游径流量的变化特征。结果表明,石羊河的径流变化存在 2 年、4 年、22 年变化周期,其中以 22 年时间尺度径流的变化最为明显,径流量在该尺度上表现为丰水期–枯水期–丰水期–枯水期–丰水期交替变化,截至 2017 年,径流量表现持续增加趋势。流域内气温、蒸发量呈上升趋势,降水量变化趋势平稳,三者变化周期较一致,在 2 年、3 年、4 年、5 年、20 年、22 年等年际和年代际尺度上,径流量变化与气温、蒸发量变化呈显著负相关关系,且时间尺度越大相关性越强;降水量在年际和多时间尺度上对径流量变化有一定影响,但 2–5 年时间尺度上无明显相关性,20 年、22 年时间尺度上却呈显著负相关关系,说明石羊河径流量变化可能还与除气候变化外的人类活动等其他因素有很大关系。

**关键词:**气候变化;石羊河流域;径流;特征;气温;降水;蒸发量

**中图分类号:**S273.29

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002–1302(2020)18–0286–08

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 5 次报告指出,全球变暖加剧<sup>[1]</sup>,且在北半球中纬度

地区尤为明显<sup>[2]</sup>。区域气候条件变化会直接影响陆–气水循环结构,使水资源系统配置的时空分布发生变化,进而导致区域水资源问题更加突出<sup>[3–6]</sup>。近几十年来,我国西北地区气候总体向偏暖偏湿方向发展,气温、降水、蒸发量等气候要素发生明显变化,对径流变化影响显著<sup>[7–11]</sup>。

近年来,许多学者利用时间序列分析方法通过

收稿日期:2019–09–18

基金项目:国家自然科学基金(编号:41775107、41275118);公益性行业(气象)科研专项(重大专项)(编号:GYHY201506001–2)。

作者简介:李兴宇(1990—),男,甘肃古浪人,硕士,工程师,主要从事农业与生态气象业务和科研工作。E–mail: Daniel\_0817@126.com。

[5]冯春霞. 合理调制饲料降低畜禽粪便中氮、磷、铜排出量[J]. 饲料技术,2006,3:14–15.

[6]任顺荣,邵玉翠,王正祥. 利用畜禽废弃物生产的商品有机肥重金属含量分析[J]. 农业环境科学学报,2005,24(增刊1):216–218.

[7]黄 磊,郭金花,李彦明. 不同饲养阶段猪粪中微量元素含量水平调查研究[J]. 北京农业,2011(3):39–42.

[8]Xiong X O, Li Y X, Lin W, et al. Copper content in animal manures and potential risk of soil copper pollution with animal manure use in agriculture[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(11):985–990.

[9]张树清,张夫道,刘秀梅,等. 高温堆肥对畜禽粪中抗生素降解和重金属钝化的作用[J]. 中国农业科学,2006,39(2):337–343.

[10]Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, et al. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures[J]. Chemosphere, 2005, 59(2):167–175.

[11]农业部. 有机肥料:NY 525—2012[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.

[12]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.

[13]景丽洁,马 甲. 火焰原子吸收分光光度法测定污染土壤中 5 种重金属[J]. 中国土壤与肥料,2009(1):74–77.

[14]董同喜,张 涛,李 洋,等. 畜禽粪便有机肥中重金属在水稻土中生物有效性动态变化[J]. 环境科学学报,2016,36(2):621–629.

[15]张云青,张 涛,李 洋,等. 畜禽粪便有机肥中重金属在不同农田土壤中生物有效性动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2015,34(1):87–96.

[16]许 浩,韩丽媛,茹淑华,等. 不同有机肥中 Cu、Zn 在农田土壤中的有效性与形态趋归[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(4):998–1009.

[17]Zeng F R, Shafaqat A, Zhang H T, et al. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants[J]. Environment Pollution, 2011, 159(1):84–91.