

施用猪粪有机肥对土壤环境质量的影响

黄小洋¹,邵劲松²,马运涛¹

(1. 苏州农业职业技术学院,江苏 苏州 215008;
2. 农业部农产品质量安全监督检验测试中心,江苏 南京 210036)

摘要:为研究畜禽粪便有机肥的施用对土壤造成的潜在重金属污染,采用大田模拟试验,研究了3种猪粪有机肥对土壤有机质含量、pH值、重金属含量的影响。结果表明:施用有机肥T₁₁[下标数字分别表示有机肥种类(1、2、3)和施用量(1表示1 875 kg/hm²,2表示3 750 kg/hm²),下同]、T₁₂、T₂₂、T₃₁、T₃₂处理较对照(施用普通复合肥)土壤有机质含量均有不同程度的增加,增幅为5.34%~13.50%。且增量施用有机肥,土壤有机质含量会随之增加,但T₂₁处理土壤有机质较对照下降19.36%。与对照相比,各处理pH值没有较为一致的变化规律。除铅(Pb)外,施用有机肥处理浅层(0~40 cm)重金属含量较对照均有不同程度的增加,其中汞(Hg)、砷(As)在0~10 cm层增幅分别为0~232.70%、15.79%~238.35%,Pb、铜(Cu)、锌(Zn)在0~20 cm层增幅分别为6.27%~32.41%、10.14%~34.39%、12.95%~45.85%,铬(Cr)在0~40 cm层增幅为14.03%~26.82%;深层土壤重金属含量较对照显著减小,Pb在90~100 cm降幅为56.37%~71.01%,Zn在60~70 cm、90~100 cm层降幅分别为10.51%~36.24%、27.71%~49.36%,镉(Cd)在70~90 cm层降幅为29.36%~46.63%。多因素方差分析表明,Cr、Pb、Hg、As含量与有机肥施用量的关系极显著,Cu、Zn、Cd不显著;Cr、As、Zn含量与有机肥种类的关系极显著,Pb、Hg、Cu、Cd不显著。综合分析表明,施用3种有机肥对土壤特别是表层土壤有较强的潜在重金属污染风险。

关键词: 畜禽粪便有机肥;有机质;pH值;重金属;土壤污染

中图分类号:S153.6;X825 文献标志码:A 文章编号:1004-3268(2017)11-0060-09

Effects of the Application of Pig Manure Organic Fertilizers on Soil Environment Quality

HUANG Xiaoyang¹, SHAO Jinsong², MA Yuntao¹

(1. Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou 215008, China; 2. Agricultural Products Quality and Safety Supervision, Inspection, and Testing Center, Ministry of Agriculture, Nanjing 210036, China)

Abstract: On the consideration of potential soil heavy metal pollution caused by the application of animal manure organic fertilizer, pig mature organic fertilizers were selected to investigate the effects on maize soil pH value, organic matter and the content of heavy metal through simulated field experiment. The results indicated that the contents of soil organic matter in treatments T₁₁ [subscript numbers represented organic fertilizer types (1, 2, 3) and application amount (1 represented 1 875 kg/ha; 2 represented 3 750 kg/ha), the same below], T₁₂, T₂₂, T₃₁, and T₃₂ increased in varying degrees from 5.34% to 13.50% compared with CK (no organic fertilizer was used), and it increased with the increment of organic manure, but that of treatment T₂₁ was 19.36% lower than CK. The change of soil pH value was not relatively consistent in all

收稿日期:2017-07-10
基金项目:国家农产品质量安全风险评估重大专项课题(GJFP2016012);苏州市农业委员会院区结对资助项目(jd201615);江苏省高等学校自然科学研究面上资助经费项目(17KJB610011);苏州农业职业技术学院特色专业建设工程资助项目
作者简介:黄小洋(1974-),男,江西九江人,讲师,硕士,主要从事农业环境与保护方面的教学和研究。
E-mail:nyhb0508@163.com

treatments compared with that of CK. Except Pb, the content of other heavy metals in shallow soil (0—40 cm) increased in varying degrees compared with that of CK. In the 0—10 cm layer of soil, the contents of Hg and As increased within the range of 0—232.70% and 15.79%—238.35% respectively; and the increase rates of Pb, Cu and Zn in the 0—20 cm layer of soil were 6.27%—32.41%, 10.14%—34.39% and 12.95%—45.85% respectively, and the content of heavy metal Cr in the 0—40 cm layer increased by 14.03%—26.82%. The content of heavy metals in deep soil was significantly lower than that of CK. In the 90—100 cm layer of soil, the content of Pb decreased by 56.37%—71.01%; in terms of the content of Zn, the decreasing amplitude in the 60—70 cm layer was 10.51%—36.24% and in the 90—100 cm layer was 27.71%—49.36%; as for the content of Cd, there was a decline of 29.36%—46.63% in the 70—90 cm layer. The contents of soil heavy metals Cr, Pb, Hg and As significantly changed with the application of organic fertilizer, while the variation of Cu, Zn and Cd had no significant relation with it. It also showed that the kinds of organic fertilizer were related more obviously to the contents of Cr, As and Zn than that of Pb, Hg, Cu and Cd. The above study shows that there is stronger potential pollution risk on soil, especially shallow layers by using three kinds of organic fertilizers.

Key words: organic manure of livestock and poultry manure; organic matter; pH; heavy metal; soil pollution

适量施用有机肥可增加土壤有机质含量^[1-2]、提高作物产量^[3-4]、改善农产品品质^[5-6]。但我国有机肥重金属超标现象比较普遍^[7],且重金属含量与原料的来源、季节关系密切,尤其以猪粪为原料的有机肥重金属[特别是砷(As)元素]超标最为严重,一般季节性有机肥重金属含量表现为春季高于夏季。据统计,有机肥料的生产原料和辅料种类多、来源繁杂,除了传统的畜禽粪便、秸秆等农业废弃物外,近年来也出现了味精厂、制糖业、造纸业等的下脚料,生活垃圾,城市污泥,膨润土,硅藻土,粉煤灰等^[8]。这些材料来源广泛、成分复杂,存在重金属、病原菌、抗生素残留等安全隐患,特别是集约化养殖场的畜禽粪便有机肥中重金属严重超标,而农村普遍的过量施用的施肥方式会加重土壤重金属污染,影响土壤环境质量。覃丽霞^[7]研究了不同养殖源商品有机肥的重金属含量后发现,猪粪源有机肥的重金属含量最高,中量有机肥处理(5 500 kg/hm²)、高量有机肥处理(8 125 kg/hm²)土壤耕作层(0~20 cm)中铜(Cu)、锌(Zn)、汞(Hg)含量分别较低量有机肥处理(2 675 kg/hm²)增加 2.53 mg/kg、1.12 mg/kg、2.26 mg/kg、6.00 mg/kg、0.04 mg/kg、0.01 mg/kg。唐海龙^[9]利用单因子污染指数法研究了腐熟牛粪有机肥对 0~40 cm 层土壤重金属 Cu、Zn、铅(Pb)、铬

(Cr)含量的影响,其单因子指数均小于 1,即施用腐熟牛粪有机肥能降低 0~40 cm 土壤重金属污染的风险。目前,有关有机肥施用对重金属含量影响的研究主要侧重于 0~40 cm 土壤,40~100 cm 层土壤重金属未涉及。

近年来,我国对有机肥的合理有效利用愈发重视,2015 年农业部制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》,该行动方案中设定的目标之一是有肥料资源得到合理利用,到 2020 年畜禽粪便养分还田率达到 60%。畜禽粪便有机肥是土壤重金属输入途径之一^[10],且江苏省生猪养殖占全省畜禽养殖总量的 59.3%^[11]。鉴于此,研究了施用猪粪商品有机肥对土壤有机质含量、pH 值、重金属含量的影响,以期对有机肥产品的土壤环境质量评价、强化风险预警提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

试验地点为镇江市农业科学院试验地。通过重金属含量测定,从江苏省主要的 31 种有机肥中筛选出 3 种重金属含量相对较高的春季猪粪有机肥作为供试有机肥。3 种供试有机肥来源及重金属含量见表 1。

表 1 3 种猪粪有机肥重金属含量 mg/kg

编号	来源	Cr	Zn	Pb	Cu	Hg	As	Cd
有机肥 1	南京明珠肥料有限公司的精品有机肥	128.4	96.2	20.7	74.0	0.38	0.72	—
有机肥 2	无锡天蓝地绿生物科技有限公司的天蓝地绿有机肥	99.6	90.1	15.1	100.6	0.65	1.31	—
有机肥 3	苏州市兴稼生物有机复合肥有限公司的兴穗有机肥	74.7	109.4	22.1	56.0	0.65	1.49	—

试验设 6 个施肥处理(表 2),1 个对照组(CK),每个处理面积为 10 m²,无重复,对照面积为

20 m²。T_{i1}(i 为有机肥种类,i = 1,2,3)施有机肥 1 875 g(1 875 kg/hm²)、普通复合肥 400 g;T_{i2}施用有机肥倍量 3 750 g(3 750 kg/hm²)、普通复合肥 400 g;CK 施用普通复合肥 800 g。试验设计及各处理施肥量见表 2。

采用五点取样法取土样,采样深度为 0 ~ 100 cm,每 10 cm 采集土壤样品 1 kg,采集时间为 2016 年 7 月 9 日和 9 月 22 日。试验地土壤重金属的背景值、pH 值、有机质含量见表 3。小区种植作物为玉米,2016 年 7 月 9 日播种,2016 年 9 月 22 日一次性收

获,2016 年 7 月 9 日(取土样后)所有试验肥料一次性基施,其他水肥管理措施同一般大田。

表 2 试验设计及各处理有机肥施用量

有机肥种类	处理编号	有机肥施用量/g	普通复合肥施用量/g
	CK	0	800
有机肥 1	T ₁₁	1 875	400
	T ₁₂	3 750	400
有机肥 2	T ₂₁	1 875	400
	T ₂₂	3 750	400
有机肥 3	T ₃₁	1 875	400
	T ₃₂	3 750	400

表 3 土壤重金属背景值、pH 值、有机质含量

土壤深度/ cm	Cr/ (mg/kg)	Cu/ (mg/kg)	Zn/ (mg/kg)	Cd/ (μg/kg)	Pb/ (mg/kg)	Hg/ (mg/kg)	As/ (mg/kg)	pH	有机质/ (g/kg)
0 ~ 10	56.8	46.7	92.9	0.15	24.6	0.2	9.5	5.6	18.6
10 ~ 20	56.1	39.2	84.1	0.15	22.8	0.3	9.2	6.3	13.9
20 ~ 30	53.3	30.6	74.4	0.11	21.8	0.3	9.1	6.8	9.1
30 ~ 40	57.8	24.4	70.4	0.07	18.1	0.3	9.0	6.8	11.1
40 ~ 50	53.6	20.5	49.8	0.06	18.3	0.4	9.1	6.7	7.4
50 ~ 60	53.8	22.4	46.0	0.06	22.2	0.7	8.2	6.7	6.0
60 ~ 70	50.6	24.6	48.7	0.05	22.2	0.3	8.0	7.0	4.6
70 ~ 80	54.9	21.7	46.4	0.07	18.5	0.5	7.2	7.0	4.2
80 ~ 90	57.4	22.0	48.9	0.05	14.7	0.3	8.6	6.9	2.9
90 ~ 100	52.7	24.8	68.9	0.10	20.2	0.2	8.7	7.0	3.0

1.2 测定指标与方法

土壤中重金属含量的测定采用 ICP - MS 法;土壤有机质含量和 pH 值的测定分别采用中国农业行业标准 NY/T 1121.6—2006 和 NY/T 1377—2007。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行试验数据汇总与图形绘

制,采用 SPSS 13.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对不同深度土壤有机质含量的影响

由图 1 可知,与 CK 相比,T₁₁处理在 70 ~ 90 cm 层土壤有机质含量降低,0 ~ 70 cm 层增加,T₁₂处理

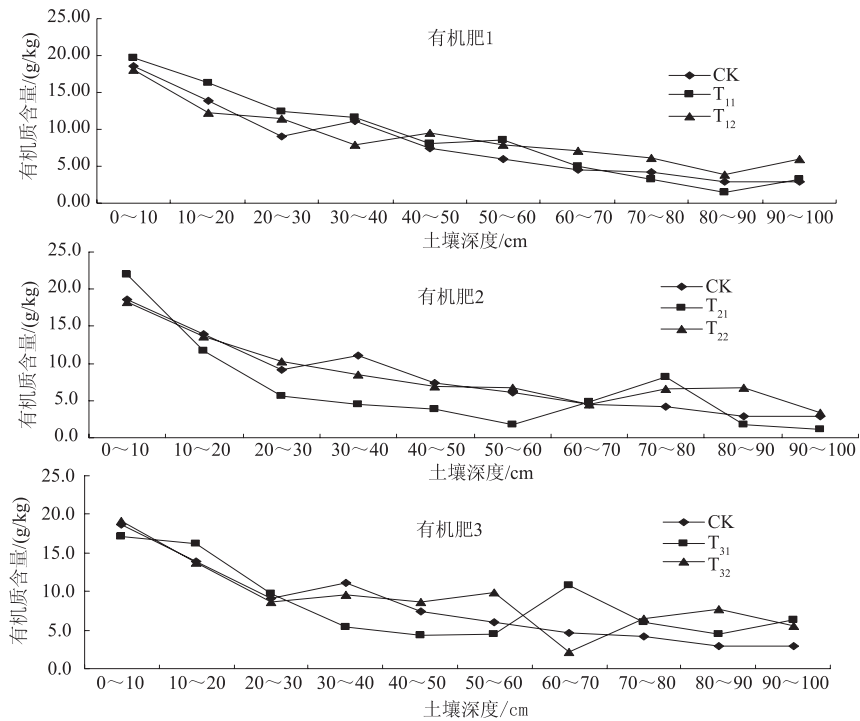


图 1 不同处理对不同深度土壤有机质含量的影响

在 0 ~ 20、30 ~ 40 cm 土壤有机质含量降低,其他各层增加。 T_{21} 处理在 0 ~ 10、60 ~ 80 cm 土壤有机质含量增加,其他各层降低, T_{22} 处理在 0 ~ 20、30 ~ 50、60 ~ 70 cm 土壤有机质含量降低,其他各层增加。 T_{31} 处理在 0 ~ 10、30 ~ 60 cm 土壤有机质含量降低,其他各层增加, T_{32} 处理在 10 ~ 40、60 ~ 70 cm 土壤有机质含量降低,其他各层增加。整体来看, T_{11} 、 T_{12} 、 T_{22} 、 T_{31} 、 T_{32} 处理的平均土壤有机质含量较 CK 分别增加 10.83%、11.61%、5.86%、5.34%、

13.50%, T_{21} 处理减少 19.36%。
2.2 不同处理对不同深度土壤 pH 值的影响
由图 2 可知,在 20 ~ 60 cm 层平均土壤 pH 值大小依次为 T_{11} (7.05) > T_{31} (7.04) > T_{21} (6.87) > CK (6.75),而在 90 ~ 100 cm 层,CK (6.96) > T_{21} (6.94) > T_{11} (6.92) > T_{31} (6.86),其他处理各层土壤 pH 值变化无明显规律。整体来看, T_{11} 、 T_{21} 、 T_{32} 处理平均土壤 pH 值较 CK 分别增加 3.64%、1.15%、0.08%, T_{12} 、 T_{22} 、 T_{31} 处理分别减少 1.21%、0.61%、1.60%。

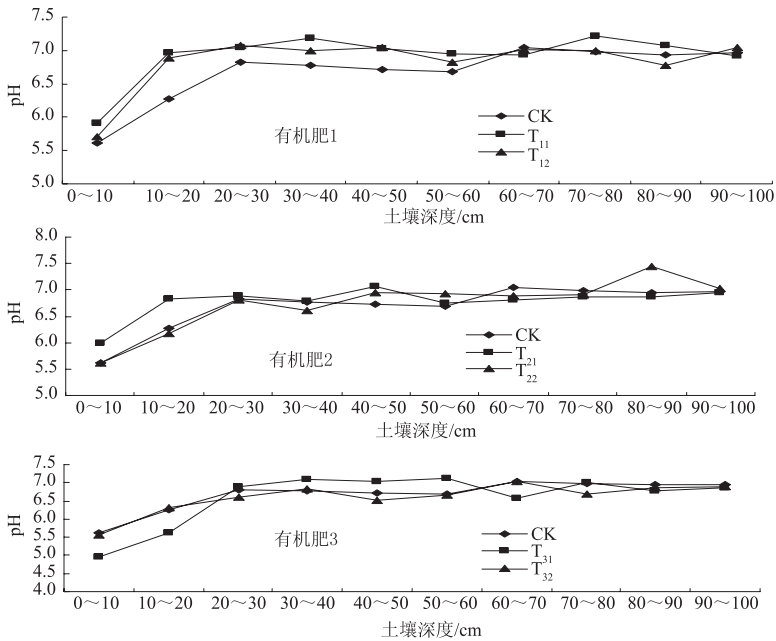


图 2 不同处理对不同深度土壤 pH 值的影响

2.3 不同处理对不同深度土壤重金属含量的影响
2.3.1 Cr 由图 3 可知,总体上,各处理 Cr 含量随土壤深度的增加而增加。在 0 ~ 40 cm 层,6 个处理的 Cr

含量均大于 CK, T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{31} 、 T_{32} 处理平均 Cr 含量较 CK 分别增加 24.89%、22.25%、15.26%、15.90%、26.82%、14.03%,其他层 Cr 含量变化无一致规律。

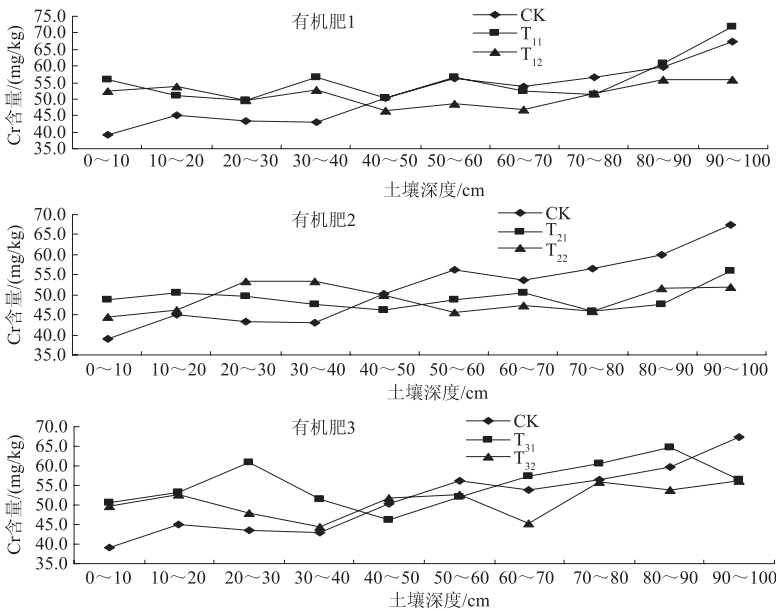


图 3 不同处理对不同深度土壤重金属 Cr 含量的影响

2.3.2 Pb 由图 4 可知,0 ~ 20 cm 层各处理 Pb 含量均高于 CK, T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{31} 、 T_{32} 处理平均 Pb 含量较 CK 分别增加 32.41%、24.61%、26.47%、6.27%、28.34%、20.82%; 20 ~ 30、90 ~ 100 cm 层各处理 Pb 含量均低于 CK, 在 20 ~ 30 cm 层 6 个处

理 Pb 含量较 CK 分别降低 49.42%、47.58%、56.49%、48.29%、36.05%、50.94%, 在 90 ~ 100 cm 层分别降低 56.37%、69.13%、68.43%、71.01%、67.17%、59.10%。其他层 Pb 含量变化无一致规律。

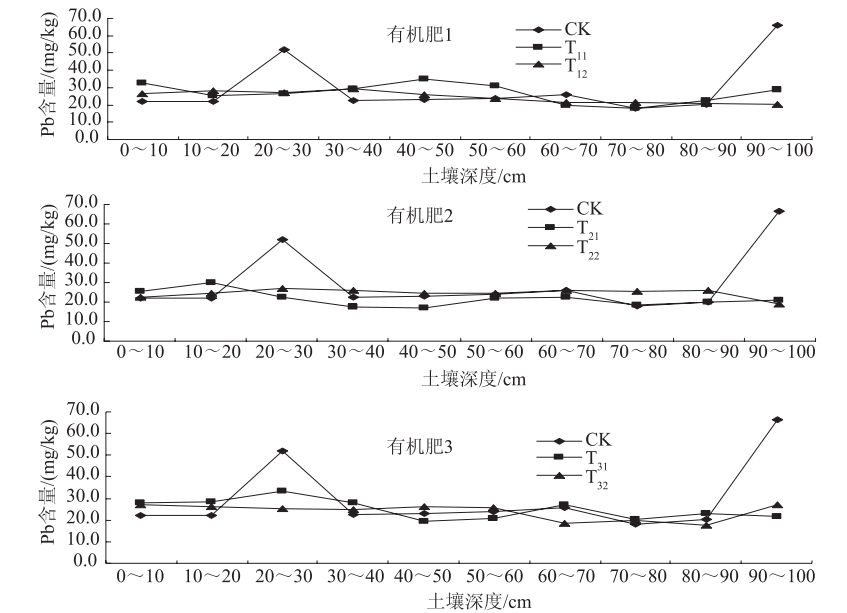


图 4 不同处理对不同深度土壤重金属 Pb 含量的影响

2.3.3 Hg 由图 5 可知,0 ~ 10 cm 层 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{31} 、 T_{32} 处理 Hg 含量较 CK 分别增加 1.90%、0、68.82%、232.70%、29.28%、106.84%。其他层 Hg

含量变化无一致规律。

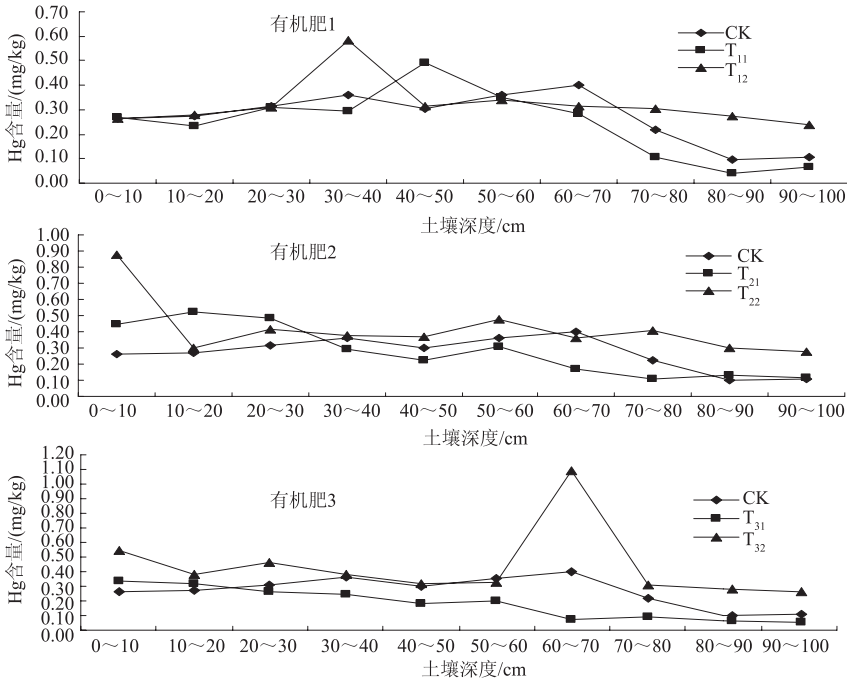


图 5 不同处理对不同深度土壤重金属 Hg 含量的影响

2.3.4 As 由图 6 可知, T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、 T_{31} 处理各层 As 含量均高于 CK, T_{22} 、 T_{32} 处理在部分土层低于 CK。在 0 ~ 10 cm 层, T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{31} 、 T_{32} 处理

As 含量较 CK 分别增加 238.35%、215.79%、231.20%、209.40%、216.92%、15.79%。其他层 As 含量的变化无一致规律。

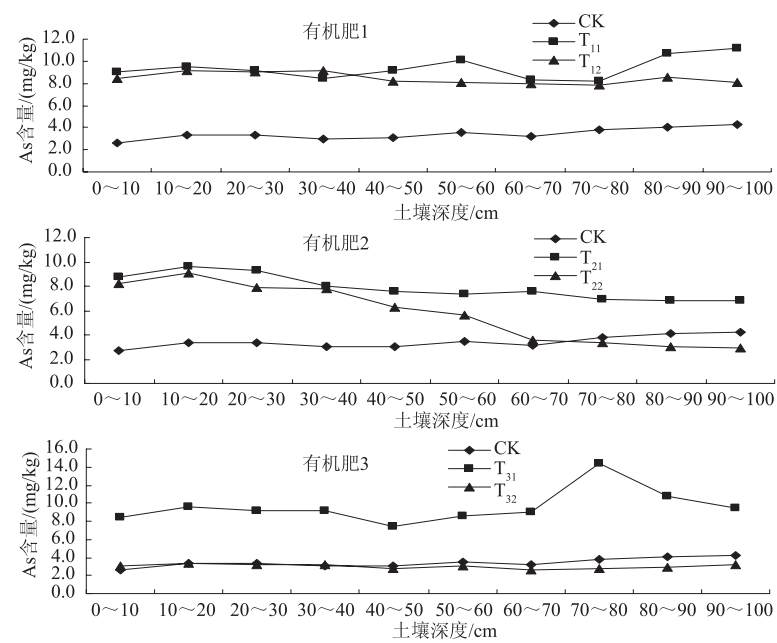


图 6 不同处理对不同深度土壤重金属 As 含量的影响

2.3.5 Cu 由图 7 可知,0~20 cm 层各处理 Cu 含量均高于 CK,T₁₁、T₁₂、T₂₁、T₂₂、T₃₁、T₃₂ 处理 Cu 含量较 CK 分别增加 17.57%、10.14%、34.39%、28.71%、17.57%、17.57%。其他层 Cu 含量变化无一致规律。

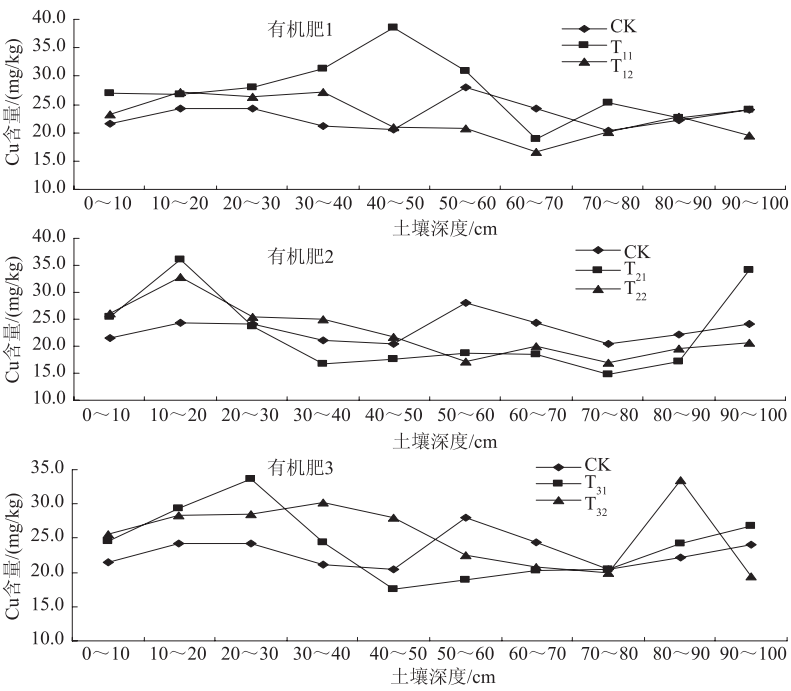


图 7 不同处理对不同深度土壤重金属 Cu 含量的影响

2.3.6 Zn 由图 8 可知,0~20 cm 层各处理 Zn 含量均高于 CK,T₁₁、T₁₂、T₂₁、T₂₂、T₃₁、T₃₂ 处理 Zn 含量较 CK 分别增加 45.85%、30.86%、12.95%、19.95%、39.03%、29.74%。60~70 cm 层 6 个处理 Zn 含量较 CK 分别降低 22.67%、30.43%、26.14%、23.48%、10.51%、36.24%,90~100 cm 层 Zn 含量分别降低 27.71%、48.46%、40.00%、49.36%、48.39%、47.99%。其他层 Zn 含量变化无一致规律。

2.3.7 Cd 由图 9 可知,70~90 cm 层各处理 Cd 含量均低于 CK,T₁₁、T₁₂、T₂₁、T₂₂、T₃₁、T₃₂ 处理 Cd 含量较 CK 分别降低 29.36%、38.75%、40.79%、43.12%、44.74%、46.63%。其他层 Cd 含量变化无一致规律。

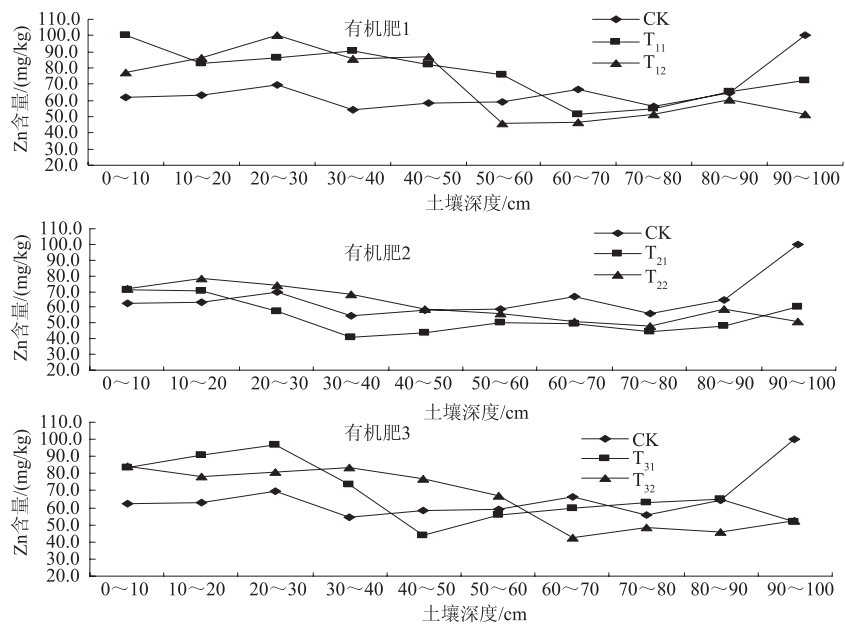


图 8 不同处理对不同深度土壤重金属 Zn 含量的影响

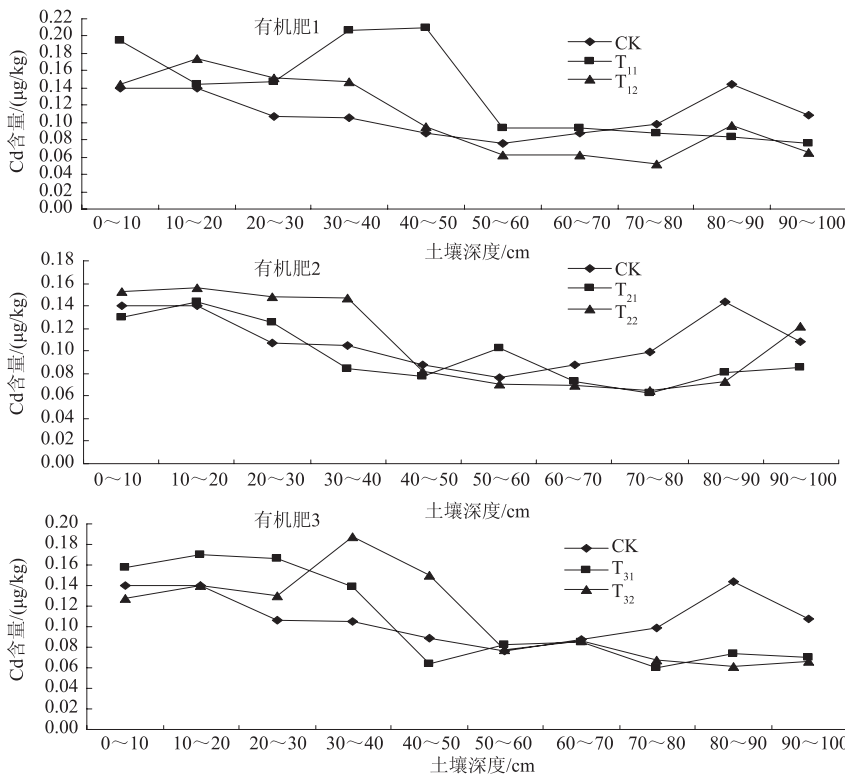


图 9 不同处理对不同深度土壤重金属 Cd 含量的影响

2.3.8 多因素方差分析 对有机肥种类、有机肥施用量、土壤深度做三因子交叉分组方差分析(表 4)。土壤深度(D)对土壤重金属 Cr、Pb、Hg、Cu、Zn、Cd 含量的影响极显著,对 As 的影响不显著;有机肥用量(A)对土壤重金属 Cr、Pb、Hg、As 含量的影响极显著,对 Cu、Zn、Cd 含量的影响不显著;有机肥种类(K)对土壤重金属 Cr、As、Zn 含量的影响极显著,对

Pb、Hg、Cu、Cd 含量的影响不显著。
土壤深度与有机肥施用量双因子(D × A)对土壤重金属 Cr、Pb、Cd、Zn 含量的影响极显著,对 Cu 含量影响显著,对 Hg、As 影响不显著;土壤深度与有机肥种类双因子(D × K)对土壤重金属 Cr、Pb、Hg、As、Zn 含量的影响极显著,对 Cd、Cu 含量的影响显著;有机肥种类与有机肥施用量双因子(K ×

A)对土壤重金属 As、Zn 含量的影响极显著,对 Cr、Cu、Cd 含量的影响显著,对 Hg、Pb 的影响不显著。

表 4 土壤重金属三因子方差分析

重金属	变异来源	平方和	自由度	均方	F
Cr	D	1 642.123 9	9	182.458 2	17.154 0 **
	A	131.784 6	2	65.892 3	6.194 9 **
	K	164.639 3	2	82.319 7	7.739 4 **
	D × A	1 038.061 0	18	57.670 1	5.421 9 **
	D × K	1 005.206 3	18	55.844 8	5.250 3 **
	A × K	138.343 4	4	34.585 9	3.251 6 *
Pb	D	2 639.760 2	9	293.306 7	28.627 9 **
	A	531.949 5	2	265.974 7	25.960 2 **
	K	44.248 6	2	22.124 3	2.159 4
	D × A	4 673.630 9	18	259.646 2	25.342 5 **
	D × K	5 161.331 9	18	286.740 7	27.987 0 **
	A × K	100.930 9	4	25.232 7	2.462 8
Hg	D	0.690 4	9	0.076 7	5.873 1 **
	A	0.398 9	2	0.199 4	15.270 0 **
	K	0.028 6	2	0.014 3	1.095 3
	D × A	0.296 0	18	0.016 4	1.259 2
	D × K	0.666 3	18	0.037 0	2.834 2 **
	A × K	0.094 2	4	0.023 6	1.803 2
As	D	10.446 9	9	1.160 8	1.257 3
	A	463.548 2	2	231.774 1	251.054 2 **
	K	50.052 7	2	25.026 3	27.108 2 **
	D × A	30.922 1	18	1.717 9	1.860 8
	D × K	444.417 6	18	24.689 9	26.743 7 **
	A × K	115.379 7	4	28.844 9	31.244 4 **
Cu	D	467.188 3	9	51.909 8	4.367 5 **
	A	34.826 9	2	17.413 4	1.465 1
	K	53.831 5	2	26.915 7	2.264 6
	D × A	470.568 6	18	26.142 7	2.199 6 *
	D × K	451.564 0	18	25.086 9	2.110 7 *
	A × K	145.361 4	4	36.340 3	3.057 6 *
Zn	D	6 501.146 7	9	722.349 6	12.299 3 **
	A	6.334 4	2	3.167 2	0.053 9
	K	1 531.931 5	2	765.965 8	13.041 9 **
	D × A	8 145.232 9	18	452.512 9	7.704 8 **
	D × K	6 619.635 8	18	367.757 5	6.261 7 **
	A × K	1 364.111 6	4	341.027 9	5.806 6 **
Cd	D	0.067 8	9	0.007 5	14.509 2 **
	A	0.000 3	2	0.000 2	0.307 9
	K	0.002 0	2	0.001 0	1.898 0
	D × A	0.023 5	18	0.001 3	2.509 7 **
	D × K	0.021 8	18	0.001 2	2.333 0 *
	A × K	0.005 5	4	0.001 4	2.651 8 *

注: *、** 分别表示 0.05、0.01 水平显著;“D”代表土壤深度(deep),“K”代表有机肥种类(kind),“A”代表有机肥施用量(application)。

3 结论与讨论

本研究中,添加有机肥 T₁₁、T₁₂、T₂₂、T₃₁、T₃₂处理较 CK 土壤有机质含量均有不同程度的增加,这与前人研究结果^[9,12-14]一致,增幅为 5.34% ~ 13.50%。且增量施用有机肥,土壤有机质含量随之

增加,这与管建新等^[15]研究报道一致。但 T₂₁处理土壤有机质较 CK 下降 19.36%,这可能与猪粪有机质含量较低或有机肥生产原料有关^[16],具体有待深入研究。

目前关于禽畜粪便有机肥直接施用对土壤 pH 值的影响没有较为一致的研究结果^[17-18]。有研究发现,施用猪粪堆肥后提高了 0 ~ 15 cm 层土壤 pH 值^[19];而施用腐熟牛粪有机肥则会降低土壤 pH 值^[20]。本研究中各处理土壤 pH 值较 CK 增幅为 -1.60% ~ 3.64%,原因可能是猪粪被发酵产生酸性物质或配施化肥致有机、无机肥反应中和。

茹淑华等^[21]认为,猪粪有机肥对 0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Cr 含量的影响不明显,本研究中,0 ~ 100 cm 土层中只有 0 ~ 40 cm 层土壤重金属 Cr 含量呈增加趋势,增幅为 14.03% ~ 26.82%。黄新灿等^[19]研究发现,施用有机肥致 0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Pb 含量增加,本试验 0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Pb 增幅为 6.27% ~ 32.41%,与其研究结果接近;但 20 ~ 30、90 ~ 100 cm 层土壤重金属 Pb 含量呈降低趋势,降幅分别为 36.05% ~ 56.49%、56.37% ~ 71.01%,变化幅度较大,与王开峰等^[22]施用有机肥对土壤重金属 Pb 影响较小的结论相反。0 ~ 10 cm 层土壤重金属 Hg、As 含量增幅分别为 0 ~ 232.70%、15.79% ~ 238.35%,远高于前人报道的 25.9%、13.8%^[19]。贾武霞^[23]研究表明,0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Cu、Zn 含量的增幅为 108.16%、74.82%,本试验 0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Cu、Zn 含量的增幅分别为 10.14% ~ 34.39%、12.95% ~ 45.85%,均低于其增幅;而王琼瑶等^[24]认为猪粪对稻田 0 ~ 40 cm 层土壤 Cu、Zn 含量的影响不显著。前人研究表明,0 ~ 20 cm 层土壤重金属 Cd 含量呈增加趋势^[23,25],本试验未得出此结论,但 70 ~ 90 cm 层土壤重金属 Cd 含量降低 29.36% ~ 46.63%。多因素方差分析结果显示,土壤重金属 Cr、Pb、Hg、As 含量变化与有机肥施用量的关系极显著,Cu、Zn、Cd 含量变化与有机肥施用量的关系不显著;土壤重金属 Cr、As、Zn 含量与有机肥种类的关系极显著,而 Pb、Hg、Cu、Cd 则与之关系不显著。由此可见,施用重金属含量较高的猪粪有机肥会导致土壤部分重金属含量增幅较大,对不同深度土壤重金属含量也有影响,本研究弥补了前人只研究表层(0 ~ 40 cm)土壤重金属含量变化的不足。

参考文献:

[1] 胡诚,曹志平,罗艳蕊,等.长期施用生物有机肥对土

- 壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 48-51.
- [2] 张恩平, 王维念, 张淑红. 长期定位施肥条件下土壤活性有机碳变化及其与土壤速效养分的相关性[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(5): 528-532.
- [3] 姜汉川, 居立海. 氮钾肥配施对番茄产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2005, 33(5): 117-119.
- [4] 石海峰, 周文兵, 邓昌彦, 等. 有机无机复混肥不同配比及施用方式对樱桃番茄生长、产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(5): 601-605.
- [5] 刘术新, 丁枫华, 刘巧玲. 不同肥源有机肥对茶叶产量、品质及安全性的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(12): 45-48.
- [6] 刘建, 魏亚凤, 吴魁, 等. 有机无机 N 不同配比与中梗稻稻米品质关系的研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2004, 22(3): 246-250.
- [7] 覃丽霞. 养殖源有机肥的重金属污染及环境风险评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [8] 张世贤. 我国有机肥料的资源、利用、问题和对策[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(1): 8-11.
- [9] 唐海龙. 有机肥与化肥配施对土壤环境质量影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [10] 鲁洪娟, 马友华, 樊霆, 等. 有机肥中重金属特征及其控制技术研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(12): 2022-2030.
- [11] 吴昊, 管永祥, 梁永红, 等. 江苏省太湖流域畜禽养殖污染治理现状及政策建议[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 401-403.
- [12] 张立超. 不同施肥处理对马铃薯土壤可培养微生物数量和有机质含量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [13] 邢月华, 包红静, 蔡广兴, 等. 连续施用不同量有机肥对土壤肥力及玉米产量的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(4): 66-70.
- [14] 王玉红, 王长松, 陈莉萍, 等. 不同有机肥与无机肥配施对小麦产量、效益及土壤养分的影响[J]. 作物研究, 2016, 30(5): 527-530.
- [15] 管建新, 王泽云, 王伯仁, 等. 施用有机肥对红壤旱地玉米产量与土壤性质的影响[J]. 湖南农业科学, 2016(8): 52-54.
- [16] 王美, 李书田. 肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 466-480.
- [17] 吴东涛. 畜禽养殖废弃物农田应用的重金属污染风险及污染修复[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
- [18] 王利辉. 不同来源有机肥及其配合施用对土壤性质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [19] 黄新灿, 章明奎. 长期施用猪粪源有机肥对蔬菜-土壤系统重金属积累的影响[J]. 农学学报, 2016, 6(4): 30-35.
- [20] 洪瑜, 王芳, 刘汝亮, 等. 长期配施有机肥对灌淤土春玉米产量及氮素利用的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 248-252, 261.
- [21] 茹淑华, 张国印, 杨军芳, 等. 鸡粪和猪粪对小麦生长及土壤重金属累积的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(z1): 494-499.
- [22] 王开峰, 彭娜, 王凯荣, 等. 长期施用有机肥对稻田土壤重金属含量及其有效性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 105-108.
- [23] 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.
- [24] 王琼瑶, 李森, 周玲, 等. 猪粪-秸秆还田对土壤作物重金属铜锌积累及环境容量影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(9): 1764-1772.
- [25] 乔德波. 施用有机肥对设施菜地土壤养分、重金属含量及其分布特征的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.