

禽粪有机肥对土壤锌积累特征及其生物有效性的影响

茹淑华¹, 张国印¹, 苏德纯², 孙世友¹, 王 凌¹, 耿 暖¹, 陈贵今¹

(1. 河北省农林科学院 农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 针对畜禽粪便有机肥中 Zn 含量普遍偏高的状况, 本研究采用盆栽试验的方法开展了鸡粪和鸭粪的施用对土壤 Zn 积累特征及其生物有效性的影响研究。结果表明, 随着鸡粪和鸭粪施用量的增加, 土壤全 Zn 含量、有效 Zn 含量均趋于上升趋势。有机肥鸡粪和鸭粪的施用量与土壤全 Zn 含量、有效 Zn 含量的关系均分别符合二次型曲线和线性模型。检验结果表明二者之间的相关性均达到极显著的水平。忽略作物收获每年从土壤中吸收带走的 Zn 量, 如果要保证河北省安新县农田 100 年内土壤重金属 Zn 含量不超过国家一级土壤标准, 鸡粪和鸭粪每年的用量分别应不超过 14.3 t/hm² 和 16.8 t/hm²。油菜 Zn 含量与土壤全锌含量间呈线性相关。按国家食品锌限量卫生标准规定的蔬菜中锌含量标准, 土壤全锌含量应不超过 472 mg/kg。

关键词: 禽粪有机肥; 土壤; 锌含量; 有效性

中图分类号: S141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2011)02-0186-06

Effects of Poultry Manures on the Soil Zn Content and Zn Availability

RU Shu-hua¹, ZHANG Guo-yin¹, SU De-chun²,
SUN Shi-you¹, WANG Ling¹, GENG Nuan¹, CHEN Gui-jin¹

(1. Institute of Agro-resource and Environment, Hebei Academy of Agriculture and

Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Zn content in livestock and poultry manures is generally high, the effect of different rate of organic chicken manure and duck manure on the characteristic of soil Zn accumulation and Zn bioavailability were discussed by pot experiment. The results showed that the total Zn and available Zn contents of soil increased significantly with the increasing amounts of the organic chicken manure and duck manure. The relationship between the amounts of organic manure and the contents of soil total Zn, available Zn could be simulated by mathematic curve. Test results suggested that both correlative coefficient attained very significant level. In 100 years, the farmland soil Zn content in the Anxin county of Hebei would not surpass the First Chinese Environmental Quality Standard for soils (GB15618-1995) ($pH > 7.5$, $Zn \leq 100 \text{ mg/kg}$) if the organic chicken manure and duck manure application amounts were less than 14.3 t/hm² soil, 16.8 t/hm² soil respectively. The relationship between soil total Zn content and Zn content of oilseed rape accorded with linear model. According to the tolerance limit of zinc in food (GB13106-91), the soil Zn content were less than 472 mg/kg.

Key words Poultry manures; Soil Zinc content; Availability

我国是世界上畜禽养殖大国, 其畜禽产品在世界具有举足轻重的作用。家禽养殖业是我国畜牧业的支柱产业, 也是规模化集约化程度最高的产业。据估算, 2003 年我国畜禽粪便为 31.9 亿 t, 其中家禽粪便为 2.88 亿 t^[1]。由于畜禽粪便无害化处理和资

源化利用落后, 有机废弃物已经成为农村面源污染的主要来源。最佳的解决途径是通过资源化利用制成有机肥施入土壤进入养分循环, 但是有机废弃物中除了含有氮磷钾等养分外, 还含有一些有害的重金属元素, 这些有害元素在土壤中长期积累会通过

收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAD87B04); 公益性行业 (农业) 科研专项 (200903015); 河北省自然科学基金项目 (C2008001180)

作者简介: 茹淑华 (1973-), 女, 河北平山人, 副研究员, 硕士, 主要从事施肥与农业环境方面的研究。

通讯作者: 张国印 (1962-), 男, 山西陵川人, 研究员, 主要从事施肥与农业环境方面的研究。

食物链传递到人体,对人类健康构成威胁。研究表明以牛粪、鸡粪和猪粪等为原料的畜禽废弃物堆制的有机肥是土壤重金属累积的重要来源^[23]。施有机肥对土壤锌有效性也有显著影响,随着有机肥用量增加,土壤有效锌含量也增加^[4-7]。有机肥的施入,提高了土壤有机质含量,而土壤有机质可以螯合锌,增强锌的有效性^[2]。锌属于中等毒性的重金属元素,一般植物含锌量为 10~ 100 mg/kg。当植物含锌量 > 50 mg/kg 时,就会发生锌中毒,抑制光合作用,减少 CO₂ 固定,改变细胞膜渗透性等^[8-9]。开展农田有机肥的承载量研究是控制农田重金属累积的重要前提。由于近年来因饲料添加剂的应用,使工厂化养殖场的畜禽排泄物中含有较高的重金属 Zn 元素^[10-12]。针对畜禽粪便有机肥中 Zn 含量普遍偏高的状况,本研究开展鸡粪和鸭粪有机肥施用

对土壤锌的积累特征和生物有效性的影响,探讨农田畜禽粪便有机肥的最佳用量以及安全施用量,为保护农田土壤环境和人类健康提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验采用玉米品种为郑单 958 (*Zea Mays* L.), 油菜品种为精选上海青 (*Brassica campestris* L.)。试验用土壤采自河北省安新县中六村 0~ 20 cm 表层土。试验用有机肥鸡粪和鸭粪分别采自河北省安新县典型的规模化养鸡和养鸭场。基础土壤和有机肥的主要理化性质见表 1。试验采用 20 cm × 25 cm 的塑料盆。试验于 2009 年 7~ 11 月份在河北省农林科学院资环所网室进行。

表 1 供试土壤和有机肥的主要理化性质

Tab 1 Principal chemical properties of tested soil

项目 Item	pH 值 pH value	有机质 / (g/kg) Organic matter	全 N / (g/kg) Total N	全 P / (g/kg) Total P	全 K / (g/kg) Total K	全 Zn / (mg/kg) Total Zn
鸡粪 Chicken manure	7.56	237.9	10.6	11.4	9.1	338.80
鸭粪 Duck manure	7.54	266.8	24.4	17.6	20.0	299.99
基础土 Foundation soil	7.60	26.7	2.25	9.1	20.8	83.11

1.2 方法

用土培盆栽试验,2 种家禽粪便有机肥为鸡粪和鸭粪(风干后粉碎过筛),有机肥施用量分别设 7 个水平,试验设计见表 2。为了保证植物正常生长,根据试验设计的有机肥施肥量,确定土壤养分含量不低于 N: 0.30 g/kg P₂O₅: 0.20 g/kg K₂O: 0.30 g/kg。在测定和计算有机肥氮、磷、钾养分的基础

上,养分不足的处理用化肥补足用量。化肥分别采用尿素、过磷酸钙和氯化钾。把相应量的有机肥以及化肥分别与过 3 mm 筛土壤反复混合均匀,每盆装土 5 kg。每个处理设 4 次重复。于 2009 年 7 月 28 日播种,玉米出苗后,每盆保留长势一致的 8 株幼苗,生长过程中用蒸馏水控制土壤水分含量在田间持水量的 70%,9 月 10 日收获。沿土面剪取玉米

表 2 鸡粪、鸭粪试验处理及肥料不同施用量

Tab 2 The treat of chicken manure and duck manure application amount

试验 Treat	处理(代号) Treatment	有机肥施用量 / (g/kg) Organic fertilizers	折合田间有机肥施用量* / (t/hm ²) Equivalent to the field of organic fertilizers	化肥施用量 / (g/kg) Chemical fertilizer		
				尿素 Urea	过磷酸钙 SSP	氯化钾 KCl
鸡粪试验	对照(CK)	0	0	0.652	0.435	0.500
	鸡粪 1(JF1)	13.33	15	0.590	0.131	0.358
	鸡粪 2(JF2)	26.67	30	0.529	—	0.217
	鸡粪 3(JF3)	40.00	45	0.467	—	0.075
	鸡粪 4(JF4)	53.33	60	0.405	—	—
	鸡粪 5(JF5)	80.00	90	0.282	—	—
	鸡粪 6(JF6)	133.33	150	0.035	—	—
鸭粪试验	对照(CK)	0	0	0.652	0.435	0.500
	鸭粪 1(YF1)	13.33	15	0.511	—	0.189
	鸭粪 2(YF2)	26.67	30	0.369	—	—
	鸭粪 3(YF3)	40.00	45	0.227	—	—
	鸭粪 4(YF4)	53.33	60	0.086	—	—
	鸭粪 5(YF5)	80.00	90	—	—	—
	鸭粪 6(YF6)	133.33	150	—	—	—

注:—,有机肥提供的养分能满足作物生长需要,不需补充化肥;* .按耕层土 2 250 t/hm² 计算田间有机肥施用量。

Note:—,The Organic fertilizer is enough to plants, the chemical fertilizer is needn't

植株地上部,用纯水漂洗干净、烘干,称重后用不锈钢粉碎机磨碎备用。同时采集土壤样品,风干后分别过 2 mm 筛和 0.149 mm 筛,用于测定土壤有效 Zn 和全 Zn 的含量。在第一茬玉米收获后,第二茬作物种植前每个处理再次施入相应量的有机肥和化肥。于 2009 年 9 月 18 日播种油菜,待油菜出苗后,每盆保留长势一致的 6 株油菜,10 月 30 日收获。生长过程中的管理、样品的采集和处理同玉米试验。

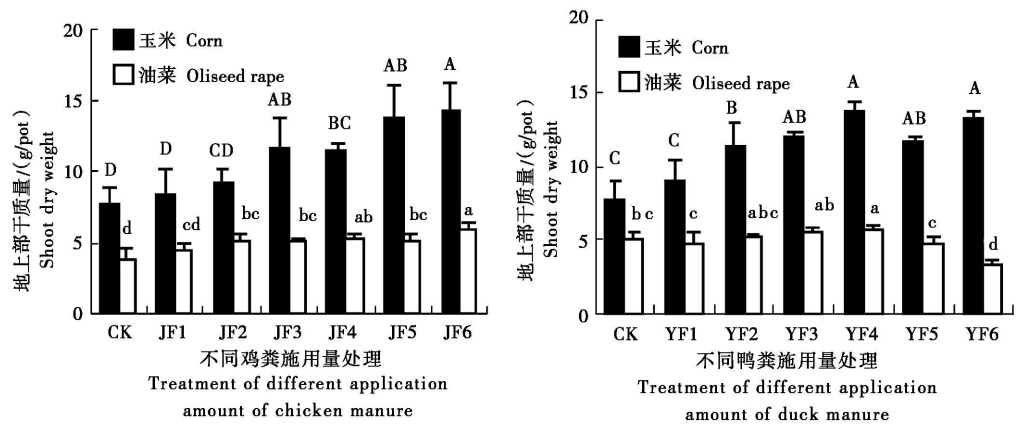
土壤和植株样品全 Zn 含量分别用 $HClHNO_3-HF-HClO_4^{[13]}$ 、 $HNO_3-HClO_4^{[14]}$ 在电热板上消化,土壤有效 Zn 含量采用 DTPA 浸提^[15],分别用原子吸收光谱法测定提取液中的 Zn 含量。样品分析过程中插入国家标准样品(编号 GBW 08303、GBW 08503b)进行质量控制,数据用 SAS 软件进行统计检验。

2 结果与分析

2.1 禽粪有机肥施用对玉米和油菜生长的影响

从图 1 可以看出,鸡粪试验中 JF3 处理(土壤中鸡粪施用量为 40 g/kg)玉米地上部干质量显著高于 JF2、JF1 处理(鸡粪施用量低)和 CK(不施有机肥)。JF2 处理(土壤中鸡粪施用量为 26.67 g/kg)油菜地上部干质量显著高于 CK(不施鸡粪)。随着鸡粪施

用量的增加,玉米和油菜地上部干质量在不断增加,JF6 处理玉米和油菜地上部干质量均达到最大值,分别为 14.22 g/pot 和 6.02 g/pot。鸭粪试验中 YF2 处理(土壤中鸭粪施用量为 26.67 g/kg)玉米地上部干质量显著高于 CK(不施鸭粪)和 YF1 处理(施用量较低)。YF4 处理(土壤中鸭粪施用量为 53.33 g/kg)油菜地上部干质量显著高于 YF1 处理(施用量较低)和 CK(不施鸭粪)。随着鸭粪施用量的增加,玉米和油菜地上部的干质量显著增加,YF4 处理玉米和油菜地上部干质量均达最大值,分别为 13.72 g/pot 和 5.75 g/pot 而后鸭粪施用量再增加,玉米地上部干质量却没有明显的增加,油菜地上部的干质量却明显下降。YF5 和 YF6 处理油菜地上部干质量显著低于 YF3 和 YF4 处理。鸡粪和鸭粪试验中,尽管土壤中的养分元素均能满足玉米生长的需要,但由于有机肥除了能提供植物所需要的营养元素外还能改善土壤的结构,增加土壤的透气性等,因此适量有机肥使玉米和油菜植株干质量随施用量的增加而升高。鸭粪氮磷钾养分含量比鸡粪丰富,用量较低时即可满足作物的养分需求。不论鸡粪或鸭粪,施用过高量的有机肥并不能进一步促进玉米和油菜植株干质量的增加。本试验中连续施用超高量的鸭粪明显抑制了油菜的生长,这可能与鸭粪的全盐含量较高有关。



a b c d e f 油菜处理间差异显著性; A, B, C, D, E, F 玉米处理间差异显著性(后同)。
a b c d e f Indicated significant difference of all treatments in oilseed rape; A, B, C, D, E, F. Indicated significant difference of all treatments in corn (the same below).

图 1 禽粪有机肥施用对玉米和油菜干质量的影响

Fig 1 Effect of poultry manures application on dry weight of corn and oilseed rape

2.2 禽粪有机肥施用对土壤全 Zn 含量的影响

从图 2 可以看出,随着有机肥鸡粪和鸭粪施用量的增加,土壤全 Zn 含量均趋于上升趋势。第一次施用鸡粪的试验中,与不施鸡粪 CK 相比,JF3、JF4、JF5 和 JF6 处理土壤全 Zn 含量均显著升高,分别比 CK 增加 3.67%、7.78%、9.91% 和 19.37%,第二次施用鸡粪的试验中 JF2、JF3、JF4、JF5 和 JF6 处

理土壤全 Zn 含量均显著升高,分别比 CK 增加 7.69%、6.36%、14.95%、16.79% 和 27.17%。第一次施用鸭粪的试验中:与不施鸭粪 CK 相比,YF6 处理土壤 Zn 含量显著升高,比 CK 增加 11.31%。第二次施用鸭粪的试验中:与不施鸡粪 CK 相比,YF4、YF5 和 YF6 处理土壤全 Zn 含量显著升高,分别比 CK 增加 9.18%、12.23% 和 24.20%。通过用数学

模型对两次有机肥鸡粪和鸭粪施用量与土壤全 Zn 含量的关系模拟,发现二者符合二次型曲线模型。检验结果表明二者之间的相关性均达到极显著的水平。由拟合方程推算出:土壤中全 Zn 的含量达到国家规定的一级土壤标准 100 mg/kg(pH 值 > 7.5) 时^[16],第一次鸡粪施用量为 126.35 g/kg 鸭粪施用

量为 195.21 g/kg 第二次鸡粪施用量为 84.68 g/kg 鸭粪施用量为 117.59 g/kg。忽略作物收获每年从土壤中吸收带走的 Zn 量,如果要保证安新县中六村农田 100 年内土壤重金属 Zn 含量不超过国家一级土壤标准,每年鸡粪和鸭粪的用量分别应不超过 14.3 t/hm² 和 16.8 t/hm²。

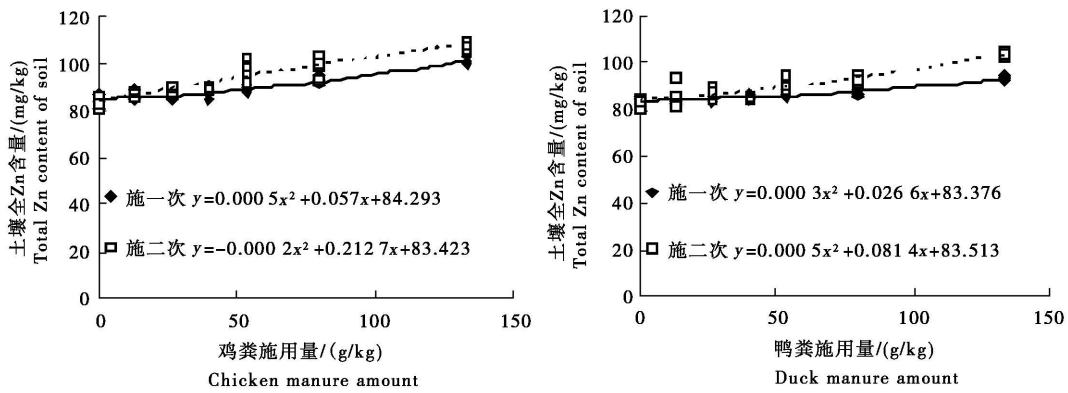


图 2 禽粪有机肥施用对土壤全 Zn 含量的影响

Fig 2 Effect of poultry manures application on soil total Zn content

2 3 禽粪有机肥施用对土壤有效 Zn 含量的影响

从图 3 可以看出,两次施用有机肥的试验中,土壤有效 Zn 含量随着土壤有机肥施用量的增加而显著升高。通过用数学模型对有机肥鸡粪和鸭粪的施用量与土壤有效 Zn 含量的关系模拟,发现二者符合线性模型。检验结果表明二者之间的相关性都达到极显著的水平。在土壤有机肥施用量为 0~133 g/kg 时,土壤中的有效 Zn 含量随着土壤施入鸡粪的增加而增加。与 CK (不施鸡粪) 相比,两次施用鸡粪 JF1、JF2、JF3、JF4、JF5 和 JF6 处理土壤有效 Zn 含量均显著升高,第一次施用鸡粪分别比 CK 增加 47.14%、89.98%、101.35%、144.19%、191.84%、363.84%。与第一次施用鸡粪相比,第二次施用

JF1、JF2、JF3、JF4、JF5 和 JF6 处理分别增加 36.03%、62.14%、75.25%、77.22%、81.25%、55.00%。鸭粪试验中,土壤有效 Zn 含量随着土壤施入鸭粪的增加也呈现增加的趋势。与 CK (不施鸭粪) 相比,YF1、YF2、YF3、YF4、YF5 和 YF6 处理土壤有效 Zn 含量均显著升高,第一次施用鸭粪分别比 CK 增加 25.98%、42.27%、58.34%、75.71%、122.73% 和 181.41%,第二次施用鸭粪 YF1、YF2、YF3、YF4、YF5 和 YF6 处理分别比第一次增加 52.72%、65.09%、63.80%、80.89%、107.37%、131.58%。可见连续 2 次施用鸭粪比鸡粪对土壤有效 Zn 含量的影响更明显。

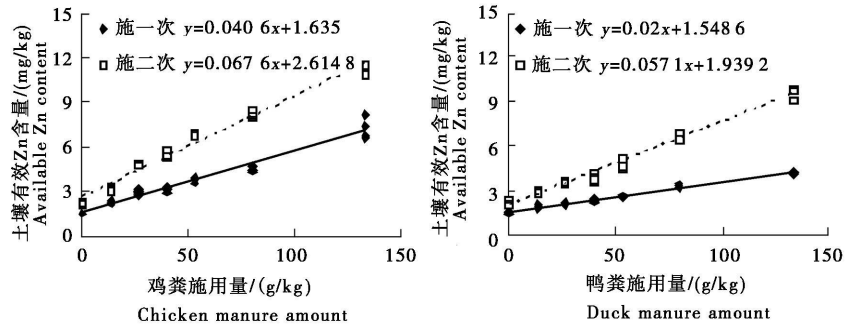


图 3 禽粪有机肥施用对土壤有效 Zn 含量的影响

Fig 3 Effect of poultry manures application on soil available Zn content

2 4 禽粪有机肥施用对玉米和油菜植株 Zn 含量的影响

从图 4 可以看出,随着有机肥鸡粪和鸭粪施用量的增加,玉米和油菜植株 Zn 含量 (以鲜质量计)

均趋于上升趋势。施用鸡粪试验中,与 CK (不施鸡粪) 相比,JF1、JF2、JF3、JF4、JF5 和 JF6 处理玉米植株 Zn 含量均显著升高,分别比 CK 增加 15.70%、22.37%、24.61%、27.38%、46.09%、60.35%。

JF1、JF2和 JF3处理间差异不显著,其他处理间差异达到显著水平。与 CK(不施鸡粪)相比, JF2、JF3、JF4、JF5和 JF6处理油菜植株 Zn含量均显著升高,分别比 CK增加 15.19%, 15.40%, 16.35%, 19.44%, 28.99%。JF2、JF3、JF4和 JF5处理间差异不显著, JF6处理显著高于其他处理。JF6处理玉米和油菜植株 Zn含量分别达到最大值,为 4.21 mg/kg和 4.26 mg/kg。施用鸭粪试验中,与 CK(不施鸭粪)相比, YF2、YF3、YF4、YF5和 YF6处理玉米植株 Zn含量均显著升高,分别比 CK增加 9.62%, 15.73%,

9.78%, 26.45%, 47.63%。YF1、YF2、YF3和 YF4处理间差异不显著,其他处理间差异显著。YF6处理玉米植株 Zn含量最大,为 3.72 mg/kg。与 CK(不施鸭粪)相比, YF1、YF2和 YF3处理油菜植株 Zn含量没有明显差异, YF4、YF5和 YF6处理均显著升高,分别比 CK增加 13.73%, 14.58%, 48.10%。YF6处理油菜植株 Zn含量最大,为 4.64 mg/kg,与国家食品锌限量卫生标准规定的蔬菜中锌含量标准(20 mg/kg鲜质量)^[17]相比,本研究所施用有机肥处理油菜锌含量均没有超标。

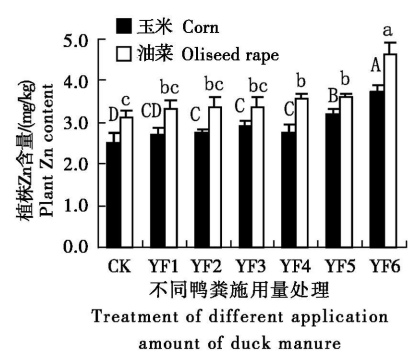
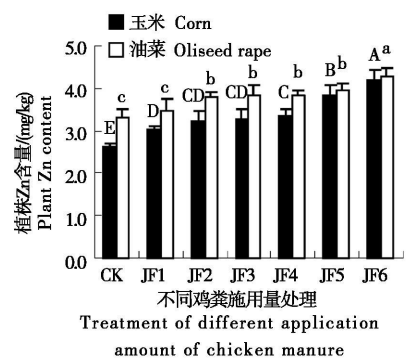


图 4 禽粪有机肥施用对玉米和油菜植株 Zn含量的影响

Fig 4 Effect of poultry manures application on Zn content of corn and oliseed rape

2.5 土壤全锌含量与油菜植株 Zn含量的关系

从图 5可以看出,随着土壤全锌含量的增加,油菜 Zn含量趋于上升趋势。当土壤全锌含量在 80~110 mg/kg范围内时,油菜植株的锌含量在 2.94~4.97 mg/kg。通过用数学模型分别对土壤全锌含量与油菜 Zn含量的关系模拟,发现二者符合线性模型。检验结果表明二者之间的相关性都达到显著的水平。由拟合方程推算出:土壤中全 Zn的含量分别达到国家规定的一级土壤标准 100 mg/kg和二级土壤标准 300 mg/kg(pH 值 > 7.5)时^[16],油菜 Zn含量分别为 4.04 mg/kg和 12.62 mg/kg。按国家食品锌限量卫生标准规定的蔬菜中锌含量标准^[17],由拟合方程推算出土壤全锌含量应不超过 472 mg/kg。

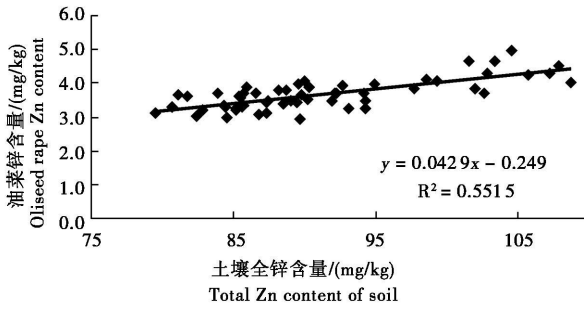


图 5 土壤锌含量对油菜植株 Zn含量的影响

Fig 5 Effect of the soil total Zn content on Zn content of oliseed rape

3 结论与讨论

Zn是植物生长必需的微量元素,缺少时植物会出现缺素症,但当土壤中含量超过一定限度时,也会影响作物的正常生长和品质^[18]。本试验中,随着鸡粪和鸭粪有机肥施用量的增加,土壤全 Zn含量均趋于上升趋势。与施用化肥的对照处理相比,连续两次施用有机肥鸡粪的用量在 30~150 t/hm²时,土壤全 Zn含量显著增加,鸭粪用量在 60~150 t/hm²时,土壤全 Zn含量显著增加。这与王俊等^[3]在高量有机肥(60 t/hm²)施入条件下菜田土壤锌会显著积累的研究结果基本上相一致。参照德国腐熟堆肥中部分重金属限量标准^[19] Zn最高限量为 400 mg/kg。该试验中所用的鸡粪和鸭粪的全 Zn含量分别为 338.80 mg/kg和 299.99 mg/kg,低于规定标准。然而,长期大量使用这类畜禽粪有机肥也将会导致农田土壤 Zn的积累。

DTPA浸提态的 Zn与植物吸收 Zn有较高的相关性,常用来做为衡量土壤中有效态数量指标。土壤中 Zn的有效性受多种因素影响,如土壤 pH、土壤水分含量、温度、肥料的种类和数量以及植物吸收等。本试验中土壤有效 Zn含量随着土壤施入有机肥量的增加呈现明显的线性增加趋势。一方面可能由于本试验所采用的有机肥鸡粪和鸭粪中锌含量比

较高, 另一方面可能是因为有机肥的施入, 提高了土壤有机质含量, 而土壤有机质可以螯合锌, 增强锌的有效性^[2]。

在本研究中随有机肥施用量的增加, 玉米和油菜植株 Zn 含量均趋于明显的上升趋势。随土壤全锌含量的增加, 油菜植株 Zn 含量也趋于上升趋势, 二者符合线性模型。连续 2 次施用鸡粪和鸭粪有机肥 (150 t/hm²), 油菜含锌量仍远远低于国家食品锌限量卫生标准规定的限量值。

参考文献:

- [1] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应 [J]. 中国环境科学, 2006 26(5): 614–617
- [2] 杨丽娟, 李天来, 刘 好, 等. 长期施用有机肥和化肥对菜田土壤锌有效性的影响 [J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 395–397.
- [3] 王 俊, 郭 颖, 吴 蕊, 等. 不同种植年限和施肥量对日光温室土壤锌累积的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2009 28(1): 89–94
- [4] Sims J I Patrick W H. The distribution of micronutrients in soils under conditions of varying redox potential and pH [J]. Soil Sci Soc Am J 1978 42: 258–262
- [5] 郭胜利, 余存祖, 戴鸣钧. 有机肥对碱性土壤三锌锰生物有效性的影响 [J]. 华北农学报, 1996 11(4): 63–68
- [6] 高 明, 车福才, 魏朝富. 长期施用有机肥对紫色水稻土铁锰铜锌形态的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000 6(1): 11–17.
- [7] 韩晓日, 邹德乙, 刘 杰. 长期施用有机肥和化肥对土壤锌锰铜铁养分平衡的影响 [C] / 胡思农. 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集. 成都: 成都科技大学出版社, 1993 329–398
- [8] 黄昌勇, 李保国, 潘根兴, 等. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版, 2000
- [9] 李学垣. 土壤化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [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, 24(2): 392–397.
- [11] 李书田, 刘荣乐, 陕 红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179–184
- [12] 陈丽娜, 张晓芳, 赵全利, 等. 保定市郊养殖场畜禽粪中重金属含量调查分析 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 357–362
- [13] GB/T 17138–1997 土壤质量铜、锌的测定火焰原子吸收分光光度法.
- [14] 中国国家标准化管理委员会. 中国国家标准汇编 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2004
- [15] 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, 2000
- [16] GB15618-1995 土壤环境质量标准.
- [17] 中华人民共和国卫生部. 食品中锌限量卫生标准 (GB 13106-1991) [S]. 北京: 中国国家标准出版社, 1991.
- [18] 任顺荣, 邵玉翠, 高宝岩, 等. 长期定位施肥对土壤重金属含量的影响 [J]. 水土保持学报, 2005 19(4): 96–99.
- [19] Verdonck O, Szmidt R A K. Compost specifications [J]. Acta Horticulturae 1998 469: 169–177.