

有机肥对石灰性土壤中锌、 锰生物有效性的影响

郭胜利 余存祖 戴鸣钧

(中国科学院水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘 要 本研究发现, 有机肥猪粪、牛粪和腐熟玉米秸秆具有一定的提供锌、锰能力; 石灰性土壤施有机肥能显著提高土壤锌、锰的有效性; 有机肥对土壤中锌、锰具有一定的活化能力; 锌肥与有机肥配施可降低土壤对锌肥的固定能力, 提高锌肥的利用率。

关键词 有机肥 锌 锰 有效性 活化 固定

近年来, 通过施用微肥, 改善土壤微量元素供应, 协调作物营养平衡, 已收到良好的效果。有机肥是我国农家传统肥料, 具有种类多、数量大、使用面广的特点, 如能对其进行深入研究开发作为微肥肥源, 对改变广大地区土壤微量元素的缺乏状况, 降低生产成本, 减少对环境的污染, 将会起到积极作用。但至今对这方面的研究未引起足够重视。本文通过恒温培养和生物反应试验, 结合分析测定, 对猪粪、牛粪、腐熟玉米秸秆三种有机肥的供给锌、锰能力, 对土壤锌、锰活性及生物有效性的影响等方面进行了研究, 以促进对有机肥的开发利用。

1 材料和方法

培养试验: 供试土壤为黑垆土、黄绵土、土(钙积层, 下同), 分别采自陕西长武县, 安塞县和武功县; 猪粪、牛粪、玉米秸秆均采自武功。每种土壤设 8 个处理: ①对照(ck), ②施猪粪(ckp), ③施牛粪(ckc), ④施秸秆(cks), ⑤施锌肥(ckZn), ⑥猪粪+ 锌肥(ckpZn), ⑦牛粪+ 锌肥(ckcZn), ⑧秸秆+ 锌肥(cksZn)。土样风干粉碎过 2mm 筛孔。有机肥经埋地下 30cm 处腐解三个月后取出风干粉碎。按有机肥 16.6g/kg 土、锌肥($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 10mg/kg 土的用量, 与 500g 土样充分混合, 喷洒 100ml 去离子水后, 装入 1000ml 聚乙烯塑料瓶中, 平衡 3 天后, 置 25℃ 恒温箱中培养 227 天。在此期间保持土样含水量在田间持水量范围, 定期采样测定土壤中有效锌、锰的含量。

盆栽试验: 布设于本所遮雨棚试验场内, 供试土壤为土, 8 个处理同上述培养试验, 6 次重复共 48 盆, 每个米氏盆装土 6.0kg, 有机肥、锌肥用量同培养试验。各处理(包括对照)统一加

氮150mg/kg 土, P₂O₅100mg/kg 土为肥底。将土、有机肥、 锌肥充分混合后装盆, 平衡 3 天 (此时约为 3 月上旬), 播种春小麦(定西 8—13912), 6 月下旬收获, 在整个生育期满足水分供应。对收获的小麦植株进行考种和锌、 锰含量测定。

土壤有效态锌、 锰用 DTPA(pH7. 3) 液提取, 有机肥和小麦植株中锌、 锰分别用干灰化和湿灰化法消煮, 均采用原子吸收分光光度计测定。

供试土壤基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的理化性质(单位: mg/kg)

土壤	黑垆土	黄绵土	土
pH	8. 13	8. 45	8. 43
CEC(cm o l k g ⁻¹)	13. 4	9. 2	14. 2
CaCO ₃ (%)	10. 16	12. 33	15. 23
有机质(%)	1. 14	0. 27	0. 46
碱解氮	80. 14	40. 45	42. 34
速效磷	8. 1	1. 4	2. 6
有效锌	0. 61	0. 16	0. 25
有效锰	5. 0	2. 5	3. 9
全锌	64	55	57
全锰	557	494	510
游离铁(%)	0. 82	0. 63	0. 78
游离锰	312	206	319

2 结果与分析

2. 1 有机肥提供锌、 锰的能力

有机肥中全锌、 全锰的含量是它提供这两种元素能力的反映。如表 2 所示, 猪、 牛粪全锌含量分别为 121. 7mg/kg 和 103. 1mg/kg, 明显高于黄土区土壤全锌含量的平均值(69. 1mg/kg)^[1], 但秸秆全锌含量(47. 0mg/kg) 低于此值。三种有机肥全锰含量范围为 82. 5~228. 0mg/kg, 低于黄土区土壤全锰含量平均值(537mg/kg)^[1]。DTPA 络合态锌和锰表征了能被植物吸收利用的锌、 锰含量^[1], 从测定结果看, 三种有机肥的含量都远远高于黄土区土壤的平均值。DTPA-Zn: 猪粪中的含量 19. 2mg/kg 为黄土区土壤平均值(0. 51mg/kg) 的 37. 6 倍, 牛粪为 71. 6 倍, 秸秆为 29. 3 倍。DTPA-Mn: 猪粪为黄土区土壤平均值(7. 7mg/kg) 的 9. 5 倍, 牛粪为 8. 9 倍, 秸秆为 5. 9 倍, 表明有机肥提供有效态 Zn、 Mn 能力是相当大的。

表 2 有机肥中锌、 锰的含量(mg/kg)

有机肥	全 量		DTPA 络合态	
	锌	锰	锌	锰
猪粪	121. 7	228. 0	19. 20	72. 9
牛粪	103. 1	155. 2	36. 52	68. 9
秸秆	47. 0	82. 5	14. 94	45. 8

2. 2 有机肥对土壤中锌、 锰的有效性影响

有机肥腐解过程对土壤养分有明显的影响。从定期采样测定的结果看, 在一定温度和含水量条件下, 土壤施加有机肥培育后, 各个时期有效锌、 锰含量都明显地增加了, 即 ck_{om}(土壤和有机肥混合物) > ck(土壤)。施加有机肥对土壤有效锌增加量与土壤原有效锌量相比最低为 0. 56 倍(黑垆土秸秆处理), 最高达 6. 5 倍(黄绵土牛粪处理)(表 3)。这足以说明有机肥具有提高土壤有效锌的作用。增加的有效锌一方面是有有机肥本身带入的锌, 但另一方面有机肥腐解过程中对土壤原非有效态锌的活化作用亦不可忽视。同一种有机肥在三种不同供试土壤中培育后增加的有效锌量不同。例如, 同是加猪粪处理, 黑垆土增量为 0. 84mg/kg, 黄绵土为 0. 76mg/kg, 而 土仅为 0. 55m/kg。秸秆处理也存在类似规律。另外, 在同一种土壤上, 猪、 牛粪处理的有效锌增量均大于秸秆处理的, 除了猪、 牛粪有效锌含量高于秸秆处理的之外(表

2), 畜粪中含有较多的有机酸和腐解中间产物是重要原因。莫淑勋曾报道, 猪、牛粪及各种秸秆在腐解过程中都能够产生有机酸^[2]。Dean Hersterberg 等^[6]研究发现牛粪液能够增加土壤中金属的溶解性。

表 3 培养期间不同土肥混合处理的有效锌含量(mg/kg)

土壤	培养天数	DT PA - Zn						
		ck	ck p	ck c	cks	ckp- ck	ckc- ck	cks- ck
黑垆土	45	0.62	1.66	1.60	1.00	1.04	0.98	0.38
	77	0.68	1.69	1.66	1.00	1.01	0.98	0.32
	95	0.76	1.60	1.69	1.13	0.84	0.93	0.37
	116	0.66	-	1.59	1.06	-	0.93	0.40
	166	0.55	1.29	1.56	0.89	0.74	1.01	0.34
	227	0.41	1.08	1.29	0.63	0.67	0.88	0.22
	平均	0.61	1.45	1.57	0.95	0.84	0.96	0.34
黄绵土	45	0.18	0.92	1.50	0.68	0.74	1.32	0.50
	77	0.18	0.90	1.20	0.56	0.72	1.02	0.38
	95	0.22	1.04	1.40	0.67	0.82	1.18	0.45
	116	0.29	1.00	1.02	0.53	0.71	0.73	0.24
	166	0.07	0.75	1.09	0.41	0.68	1.02	0.34
	227	0.04	-	0.99	0.27	-	0.95	0.23
	平均	0.16	0.92	1.20	0.52	0.76	1.04	0.36
土	45	0.28	1.08	1.36	0.54	0.80	1.08	0.26
	77	0.34	0.90	1.48	0.52	0.56	1.14	0.18
	95	0.39	1.04	1.60	0.61	0.65	1.21	0.22
	116	0.40	0.80	1.13	0.56	0.40	0.73	0.16
	166	0.14	0.61	0.99	0.45	0.47	0.85	0.09
	227	0.04	0.48	0.89	0.23	0.44	0.85	0.09
	平均	0.27	0.82	1.24	0.49	0.55	0.97	0.22

土壤施加有机肥培育后也显著地提高了有效锰的含量(表 4)。与原土相比, 有效锰含量增加 26% ~ 171%。不同土壤施加同一种有机肥培育后增加量有明显不同。例如, 同是加秸秆处理, 黑垆土有效锰增加量为 2.68mg/kg, 黄绵土为 3.31mg/kg 而 土高达 4.82mg/kg, 表明秸秆腐解过程中对土壤中非有效态锰具有活化作用, 猪、牛粪处理也具有类似作用。但与锌显著不同的是, 在同一种土壤上秸秆处理的有效锰增加量显著高于畜粪处理的, 例如, 对于 土, 有效锰的增量, 秸秆处理为 4.82mg/kg, 猪粪处理 2.03mg/kg, 牛粪处理 2.11mg/kg。表明有机肥对锌、锰活化具有不同的机理。土壤有效态锰的增加主要来自以下几个方面: 一是有机肥本身带入的有效锰; 二是有机肥腐解过程中造成局部还原条件导致氧化锰还原而使有效锰增加。土壤中锰有多种价态, Mn²⁺ 和各种含锰氧化物依赖于不同 pH 和 Eh 相互转化, Eh 值降低易导致高价锰还原而增加其有效性。另外有机肥腐解产物的络合或螯合也能导致矿物态锰的溶解^[3]。在本试验中, 除有机肥带入及腐解产物络合或螯合增加有效锰外, 有机肥施入土壤培育后进一步耗氧分解造成的局部缺氧而导致 Eh 值降低可能是土壤有效锰增加的主要原因。

从时间顺序上看, 随着时间的延长, 土壤有效锌增加量逐渐变小, 这可能是由于随着易腐解有机肥减少, 腐解产生的具有络合或螯合作用的产物不断被分解造成的。随着时间的延长土壤有效锰的增加量也越来越小。这可能是随着易腐解有机肥减少, 分解反应越来越慢, 土壤 Eh

值又有所回升致使还原态锰又被氧化成高价态锰之故。

表 4 培养期间不同土肥混合处理的有效锰含量 (mg/kg)

土壤	培养天数	DT PA- Mn						
		ck	ckp	ckc	eks	ckp- ck	ckc- ck	eks- ck
黑垆土	45	5.70	6.90	8.00	9.30	1.20	2.30	3.60
	77	3.96	5.80	5.95	7.90	1.84	1.99	3.94
	95	4.40	5.18	5.34	6.44	0.78	0.94	2.04
	116	3.39	4.06	3.45	4.52	0.67	0.06	1.13
	平均	4.36	5.49	5.69	7.04	1.13	1.32	2.68
黄绵土	45	2.70	6.00	6.20	7.30	3.30	3.50	4.60
	77	2.70	6.16	5.80	7.40	3.46	3.10	4.70
	95	1.90	3.62	3.46	5.18	1.72	1.56	3.28
	116	1.00	2.30	1.92	3.91	1.30	0.92	2.91
	227	1.34	2.44	2.07	3.17	1.10	0.73	1.83
	平均	2.08	4.10	3.89	5.39	2.02	1.81	3.31
土	45	4.16	9.60	9.60	14.90	5.04	5.44	10.74
	77	3.10	6.20	6.60	10.89	3.10	3.50	7.76
	95	3.94	4.56	5.50	8.00	0.62	1.56	4.06
	116	3.15	3.61	3.53	5.75	0.46	0.38	2.60
	166	3.01	-	4.43	6.05	-	1.42	3.04
	227	2.07	2.80	2.44	2.80	0.73	0.43	0.73
	平均	3.24	5.27	5.35	8.06	2.03	2.11	4.82

2.3 有机肥在减少土壤对锌肥固定中的作用

土壤中锌的特性与土壤环境条件和土壤组成成份有很大的关系。在 pH 较高的石灰性土壤中, 锌由可溶态变为难溶态或被土壤胶粒氧化物所吸附而不易为作物吸收利用^[4]。这种固定作用一直是石灰性土壤锌肥利用率低的原因。有机肥的施入不仅可以提高土壤有效锌含量, 而且还可降低土壤对外源锌的固定。由表 5 数据可知, 在供试的三种土中, 尤以 土施有机肥效果显著。在没有施有机肥的情况下, 施入 10Znm g/kg, 土对锌的固定率(= $\frac{\text{施入量} - (\text{测出量} - \text{对照})}{\text{施入量}} \times 100$) 为 74.2%, 其主要原因可能是 土的钙积层含 CaCO₃ 高(15%) 的缘故。而锌肥与有机肥配施时, 土对锌的固定率降为 66.3% ~ 68.5%, 降低了约 7 个百分点。对于同一种土壤, 三种不同施肥处理间差异不大。土壤作为一个多组分的复杂体系, 对锌的固定是由各组分共同作用的结果, 不同土壤对锌的固定能力是不一样的。考查一下不同有机肥在减少固锌方面的相对效果, 即在有机肥对土壤有效锌贡献的基础上增加的相对量就能清楚地看到不同有机肥的作用有明显差异性(表 5 第 9 行数据)。土施入猪粪其相对值为 1.27, 牛粪为 0.81, 秸秆为 2.71。黑垆土、黄绵土也有类似结果。由此可知, 不同有机肥减少固锌作用大小次序为: 秸秆> 猪粪> 牛粪。

2.4 有机肥对春小麦吸收利用锌、锰的影响

以上分析表明, 施加有机肥能够提高土壤中锌、锰的含量, 降低土壤对锌肥的固定。盆栽试验进一步证实了施加有机肥后对春小麦有良好效应。从表 6 看出, 除秸秆处理外, 单施有机肥、

锌肥及两者配施均有显著的增产效果, 与对照相比均达极显著水平; 配施与单施锌肥相比产量差异亦达极显著水平。相关分析表明, 产量 $Y(\text{g/盆})$ 与植株吸锌量 $X(\text{mg/盆})$ 存在显著的正相关性: $Y=0.0056X+7.9393, R=0.9043^{**}$ 。表 7 表明, 施加有机肥后(除秸秆处理外), 无论是有机肥单施还是与锌肥配施都显著地提高了锌的吸收量。

表 5 施加有机肥后土壤有效锌含量的变化 (mg/kg)

编号	处 理	黑 垆 土			黄 绵 土			土		
		猪粪	牛粪	秸秆	猪粪	牛粪	秸秆	猪粪	牛粪	秸秆
1	对照	0.61	0.61	0.61	0.16	0.16	0.16	0.26	0.26	0.26
2	有机肥	1.42	1.57	0.95	0.92	1.20	0.52	0.82	1.24	0.47
3	锌肥	4.23	4.23	4.23	4.00	4.00	4.00	2.84	2.84	2.84
4	有机肥+ 锌肥	5.14	5.25	4.65	4.81	5.10	4.39	4.11	4.61	3.62
5	3- 1	3.62	3.62	3.62	3.84	3.84	3.84	2.58	2.58	2.58
6	4- 2	3.72	3.68	3.70	3.89	3.90	3.87	3.29	3.37	3.15
7	2- 1	0.81	0.96	0.34	0.76	1.04	0.36	0.56	0.98	0.21
8	6- 5	0.10	0.06	0.08	0.05	0.06	0.03	0.71	0.79	0.57
9	8/7	0.12	0.06	0.24	0.07	0.06	0.08	1.27	0.81	2.71

有机肥在各个生长期对作物吸收锰素也有良好的效应, 但凡施锌处理春小麦对锰的吸收量都有所下降(表 7), 这可能是由于施锌对锰吸收产生一定拮抗效应造成的, 陈铭等亦发现这一现象^[5]。秸秆处理的春小麦干物重和产量最低, 锌锰吸收量也小于对照。这与秸秆腐解过程中大量消耗土壤有效氮而造成春小麦生长前期氮供应不足有关(尽管秸秆处理土壤中有效锌锰含量高于对照)。这也说明了作物所需营养平衡的重要性。

表 6 不同处理对春小麦产量、千粒重、干物质的影响

处理	产量(g/盆)	与对照比		与施锌比		千粒重(g)	干物质(g/盆)
ck	10.8					22.8	34.9
ckp	14.5	*	*			25.2	42.1
cke	16.5	*	*			28.8	51.3
cks	9.6					27.9	27.6
ckZn	13.8	*	*	*	*	25.1	38.1
ckpZn	16.7	*	*	*	*	29.9	46.0
ckeZn	18.0	*	*			30.8	47.6
cksZn	10.8					28.8	29.2

注: 表内数据为三次重复平均值

表 7 有机肥对春小麦锌、锰吸收量的影响 (mg/盆)

元素	ck	ckp	cke	cks	ckZn	ckpZn	ckeZn	cksZn
Zn	0.45	0.93	1.04	2.46	0.79	1.43	1.95	0.84
Mn	2.06	2.15	3.27	1.03	1.84	1.86	2.44	1.09

3 结论与讨论

猪粪、牛粪、玉米秸秆三种有机肥具有提供锌、锰的能力, 是一种良好的微肥肥源。

施加猪粪,牛粪,秸秆能显著提高土壤有效锌、锰的含量。这不仅是由于有机肥本身含有锌、锰,还由于施加有机肥可活化土壤原有的锌、锰。

有机肥具有促进春麦吸收锌、锰作用。有机肥与锌肥配施,可降低土壤对锌肥固定,促进春麦对锌肥的吸收利用。

参 考 文 献

- 1 余存祖,彭琳. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应. 土壤学报, 1991, 28(3): 317 ~ 326
- 2 莫淑勋. 土壤中有机酸产生转化及对土壤肥力的某些影响. 土壤学进展, 1986, (4): 1 ~ 9
- 3 于天仁,陈志诚. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990, 146 ~ 148
- 4 余存祖,彭琳. 锌、锰肥的固定与施用研究. 陕西农业科学, 1984(3): 17 ~ 19
- 5 陈铭,尹崇仁. 锰、锌对冬小麦体内锰的浓度分布模式和积累效应的研究. 土壤通报, 1990, 21(5): 232 ~ 234
- 6 Hersterberg D, Bril J et al. Thermodynamic modeling of zinc, cadmium and copper solubilities in a matured, acidic loamy sand topsoil. J Environ Qual, 1993, 22(33): 681 ~ 688

Effects of Organic Manure on Biological Availabilities of Zn, Mn in Calcareous Soil

Guo Shengli Yu Cunzu Dai Mingjun

(Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The constant temperature experiment and pot experiment have been conducted for studying effects of organic manure on Zn, Mn in soils. The main results are summarized as follows:

1. Pig manure, cow manure and corn straw are good fertilizers for providing plants with Zn and Mn nutrients.
2. The application of organic manure can increase the availabilities of Zn and Mn in soils. The increase of DTPA-Zn, Mn mainly lie in two aspects: one is O. M. (organic manure) with DTPA-Zn, Mn, another is activation of O. M. on original non-available Zn and Mn when incubation of O. M. with soils. Organic acids can complex or dissolve Zn, change of soil redox can increase DTPA⁻ Mn of soils
3. O. M. can increase the amount of absorbed Zn, Mn in plants and reduce the fixation of zinc fertilizer in soils.

Key words: Organic manure; Zn; Mn; Availability; Activation; Fixation