

14
18-62
楼土农业生态系统中微量元素研究*

Ⅱ 有机肥对作物-土壤中 Zn Mn Cu 平衡的影响

李辉桃 赵伯善[✓] 李昌纬 华天懋 周建斌

(西北农业大学农化系, 陕西杨陵 712100)

A

摘 要 采用 8 年肥料定位试验, 研究有机肥对植株和土壤中 Zn、Mn、Cu 平衡状况的影响。结果表明, 随有机肥用量增加, 小麦、玉米籽粒和秸秆中 Zn、Mn、Cu 的含量降低。每年施用 32.75 kg/hm² P 和 37.5 t/hm² 有机肥, 其中的有效 Zn 和 Cu 不能补偿一年两熟的作物携出, 有效 Mn 有余。土壤对 Zn、Mn、Cu 的供应有相当的自动调节能力。土壤中 3 种元素的理论盈亏量和实际消长量之间有显著的相关性。

关键词 微量营养元素, 养分平衡, 宏观分析

中图分类号 S147.4

微量元素 楼土 有机肥 作物

有机肥在废物利用、培肥土壤、提高农作物产量等方面的作用已广为人知, 在增加土壤微量营养元素有效性方面的作用, 近年来也有一些研究^[1,2]。但长期施用有机肥后, 其中的微量营养元素在作物-土壤生态系统中的平衡状况则鲜见报道。本研究通过一个肥料结构 8 年定位试验, 探讨在 N、P 化肥肥底上长期施用不同数量的有机肥后, Zn、Mn、Cu 3 种微量营养元素在植株中的分布规律及其有效量在土壤中的平衡状况。

1 材料和方法

1.1 试验设置

试验田设在西北农业大学农作一站^[3], 每年小麦(小偃 6 号)-玉米(陕单 9 号)轮作, 年施肥量及其代号见表 1。

表 1 试验因素、水平及其代号

N(kg/hm ²)				P(kg/hm ²)			有机肥(t/hm ²)			
N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	P ₀	P ₁	P ₂	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃
0	103.5	207.0	310.5	0	32.75	65.5	0	37.5	75.0	150.0

1.2 样品采集和处理

试验前采深度为 20 cm 的耕层混合土样(称原始土样); 试验中采各年所施的 N 肥、P 肥和有机肥样; 每年收获小麦、玉米时, 采集各小区植株样(包括能拾起的枯落叶), 擦净、晒干, 称量经济产量和秸秆(包括茎、叶、麦糠和玉米芯)产量。试验进行 8 年后, 采集各小区新老耕层的土样(4 个有机肥处理的土重, 分别近似为 2.3×10⁶, 2.5×10⁶, 2.7×10⁶, 3.1×10⁶ kg/hm²^[3])。所采土壤和肥料样经风干、研碎, 过 0.25 mm 孔径的尼龙筛; 籽粒和秸秆样用不锈钢磨粉碎。每年所施有机肥均来自西北农业大学畜牧站, 系猪粪、牛粪和一

收稿日期: 1994-09-21

* 农业部“七五”攻关课题的部分内容。

定垫草混合积制而成。供试土壤和肥料中有关养分含量见表2。

表2 供试土壤和肥料中有效 Zn、Mn、Cu 含量

样 品	Zn(mg/kg)		Mn(mg/kg)		Cu(mg/kg)		有机质 (%)	全 N (%)	全 P (%)
	有效量	全 量	有效量	全 量	有效量	全 量			
原始土样	0.78	80.87	11.30	562.50	1.21	23.54	1.21	0.066	0.053
8年有机肥平均	9.67	116.51	36.23	571.12	2.31	26.00	14.57	0.774	0.256
5年重钙平均	206.40	843.50	2.92	64.60	18.40	32.35	—	—	20.96
3年普钙平均	90.80	581.50	630.40	2217.50	20.00	31.49	—	—	5.24
8年尿素平均	—	—	—	—	—	—	—	46	—
8年后 M ₀ 平均	0.82		10.63		1.13				
8年后 M ₁ 平均	1.00		11.62		1.22				
8年后 M ₂ 平均	1.37		12.46		1.28				
8年后 M ₃ 平均	2.07		13.13		1.38				

注:1)对“—”者为不含该成分或者含量甚少;2)下栏空缺的项目已全部测定,因与本研究无关,故未填写。

1.3 分析方法

土壤和肥料中有效 Zn、Mn、Cu 用 pH7.3 的 DTPA 溶液浸提,全量 Zn、Mn、Cu 用王水-高氯酸消解,均用原子吸收分光光度计测定。植株全量 Zn、Mn、Cu 用干灰化法,原子吸收分光光度计测定。有机质用丘林法;全 N 用浓硫酸消解,靛酚蓝比色法;全 P 用浓硫酸-高氯酸消解,钼锑抗比色法。

2 结果与分析

2.1 两种作物中 Zn、Mn、Cu 含量

选择有机肥 4 个水平, P 肥 3 个水平, N 肥最低(N₀)、最高(N₃) 2 个水平,测定 1983, 1986, 1989 三年所采小麦、玉米样中 Zn、Mn、Cu 的全量。并以 3 个年度为重复,对全部测定结果进行方差分析。3 种肥料间的交互效应均不显著,因此可以在 N、P 化肥平均肥底上研究有机肥的作用(见表3),平均肥底代表当地施 N、P 化肥的一般水平。

表3 小麦、玉米植株中 Zn、Mn、Cu 的含量

有机肥 水 平	mg/kg											
	Zn				Mn				Cu			
	小麦		玉米		小麦		玉米		小麦		玉米	
	籽	秆	籽	秆	籽	秆	籽	秆	籽	秆	籽	秆
M ₀	33.56	10.22	17.33	17.25	40.72	40.74	9.17	55.91	5.23	2.77	5.35	7.04
M ₁	28.61	8.99	16.88	15.28	40.14	35.77	8.20	51.13	3.77	2.54	4.37	6.21
M ₂	26.87	8.57	16.25	14.98	38.85	30.56	7.98	47.34	3.46	2.48	3.47	5.71
M ₃	27.59	8.47	16.26	13.10	38.30	23.96	7.52	45.70	2.88	2.43	3.42	5.83
M ₃ 比M ₀ ±%	-17.8	-17.1	-6.2	-24.0	-5.9	-41.2	-18.0	-18.3	-44.9	-12.3	-36.1	-17.2

注:表中数字是相同有机肥水平下 6 个处理的平均值。

由表3看出:①有机肥用量增加,小麦、玉米籽粒和秸秆中 Zn、Mn、Cu 的含量逐渐降低(少数数据异常)。原因可能是随着籽粒、秸秆产量提高(见表4),产生了“稀释效应”^[4,5]。也可能是有机肥的大量投入,引起 Zn、Mn、Cu 在根中形成稳定常数大的络合物,影响向地上部分运转^[6]。特别是当生长介质中微量营养元素供应适当和充足时,根系会大量积累奢侈吸收量,表现根中含量比地上部分高得多^[5]。结合表2看出,试验进行8年后,

土壤有效 Zn、Mn、Cu 随有机肥用量增加而增加,说明表 3 呈现的递减现象,决非土壤含量减少所致。②随有机肥增加,玉米籽粒含 Zn 量和小麦籽粒含 Mn 量减小较少,原因可能与作物特性有关。在地上部分浓度降低时,玉米向种子转运 Zn、小麦向种子转运 Mn 的能力相对较强,致使秸秆中 Zn、Mn 浓度的递减率远比籽粒大。相反,两种作物向种子转移 Cu 的能力相对较弱,表现 Cu 在秸秆中的递减率远比籽粒小。

2.2 各有机肥处理作物携出 Zn、Mn、Cu 量

由表 4 看出,两种作物在 8 年中携出 Zn、Mn、Cu 的总量, M_1 比 M_0 分别提高 30.5%, 37.3% 和 22.3%。由 M_1 到 M_3 , Zn 和 Cu 的携出总量继续提高,而 Mn 反而比 M_1 低。但提高和降低幅度都很小,一般比前一有机肥水平升降 2% 左右。说明有机肥施用量和作物携出 Zn、Mn、Cu 总量并不同步增长,如何提高有机肥中微量元素的营养效果,是今后应该深入研究的一个问题。

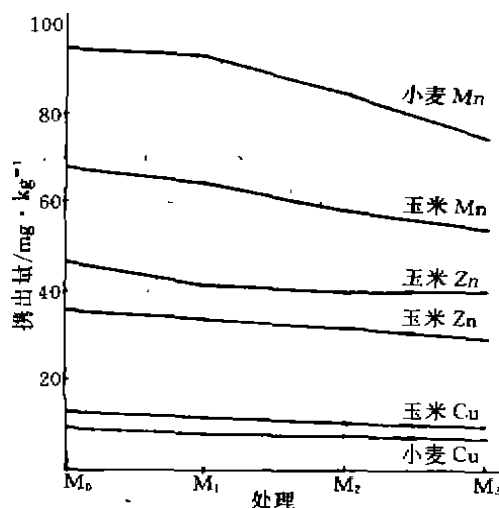
表 4 小麦玉米 8 年中携出 Zn、Mn、Cu 量 g/hm^2

处 理	小 麦			玉 米			合 计		
	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn	Cu	Zn	Mn	Cu
M_0	996.1	1996.2	187.9	1004.2	1920.5	360.9	2000.2	3916.7	548.8
M_1	1281.7	2841.5	229.9	1328.6	2537.1	441.5	2610.3	5378.6	671.4
M_2	1319.2	2812.4	238.4	1356.3	2453.7	446.6	2675.5	5266.1	685.0
M_3	1461.9	2699.5	237.5	1414.2	2581.3	446.9	2876.1	5280.8	684.4

单位经济产量携出养分量是科学施肥的重要参数。由附图看出,随有机肥用量增加,单位籽粒携出 Zn、Mn、Cu 的数量依次降低。从 M_0 到 M_3 处理,降低的绝对数量 Mn 最多, Zn 次之, Cu 最少,降低的相对数量 Cu 最多,小麦、玉米分别是 25.8% 和 23.6%; Mn 次之,小麦、玉米分别是 20.6% 和 20.2%; Zn 最少,小麦、玉米分别是 13.6% 和 16.4%。这些数据再次说明,有机肥中 3 种微量营养元素未得到正常利用。

2.3 土壤有效 Zn、Mn、Cu 平衡状况的宏观分析

微量营养元素的平衡是土壤、肥料、作物等诸因素的动态平衡,因农药、大气、降雨、淋洗、挥发等数量缺乏可靠资料,研究时不考虑自然投入、转化和损失,只计算施肥投入和作物携出。本研究是在 N、P 化肥肥底上进行的,供试 N 肥所含有有效 Zn、Mn、Cu 很少,忽略不计。8 年中,由 P 肥和有机肥进入土壤的有效 Zn、Mn、Cu 总量,减去作物携出总量,得土壤有效养分的理论盈亏量。8 年前后各有机肥处理土壤含量之差,为土壤实际升降的浓度,乘以新老耕层土重,得土壤有效养分的实际消长量(表 5)。



附图 单位籽粒携出 Zn、Mn、Cu 的数量

表5 土壤有效 Zn、Mn、Cu 8 年收支概算

g/hm²

有机肥水平	项目	Zn	Mn	Cu
M ₀	施肥投入	365.7	1790.7	64.9
	理论盈亏	-1634.5	-2126.0	-483.9
	实际消长	92	-1541	-184
M ₁	施肥投入	2275.4	9397.1	509.3
	理论盈亏	-334.9	4018.5	-162.1
	实际消长	550	800	25
M ₂	施肥投入	4184.9	17003.6	953.4
	理论盈亏	1909.4	11737.5	268.4
	实际消长	1593	3132	189
M ₃	施肥投入	8004.0	32216.3	1841.9
	理论盈亏	5127.9	26935.5	1157.5
	实际消长	3999	5673	527

从表5理论盈亏看,仅施P肥不施有机肥,土壤有效 Zn、Mn、Cu 都严重亏损。每年施 32.75 kg/hm²P 和 37.5 t/hm² 有机肥,其中的有效 Zn 和 Cu 也不能补偿一年两熟的作物携出,而有效 Mn 有余。从土壤实际消长量看,土壤对有效 Zn、Mn、Cu 的吸储与释供有相当的自动调节能力^[7]。在严重亏损的 M₀ 处理,能够从非有效量中释放一部分;在盈余量较多的 M₂ 和 M₃ 处理,理论盈余的相当部分不再以有效态在新老耕层存在。

用 x 代表理论盈亏量, y 代表实际消长量,二者之间的相关方程分别是:

$$y_{Zn} = 869.3 + 0.591x \quad r = 0.995^{**}$$

$$y_{Mn} = -436.4 + 0.242x \quad r = 0.980^{**}$$

$$y_{Cu} = 57.5 + 0.419x \quad r = 0.994^{**}$$

三个方程均达到显著或极显著水准。自变量的系数表示,随有机肥用量增加,土壤有效 Zn、Mn、Cu 分别以理论盈余量的 59.1%, 24.2%, 41.9% 的比率上升,平均大约有 41% 的有效 Zn、76% 的有效 Mn、58% 的有效 Cu 变为非有效态,或者离开了新老耕层。这 3 个比率对合理施肥有重要参考价值。其中 Mn 无效化最多,这是因为石灰性土壤的氧化还原电位高,加上有机肥分解中氧化酶和酚类物质的作用^[8,9],低价 Mn 易被氧化为高价 Mn。

3 讨 论

3.1 有机肥料与化学微肥配合施用

本研究的一个重要结论是,随有机肥用量增加,小麦、玉米植株中 Zn、Mn、Cu 的含量降低。本文前面对这一现象已做了多方面的解释。此外,令人疑惑的是微量元素络合物的植物有效性问题。大量文献肯定,施入土壤中的微量元素,相当部分以络合物的形式存在,各种络合物的稳定常数差别很大,与胡敏酸络合的微量元素对植物是无效的^[8];有机质对 Cu 的固定容量大且牢固^[5];由于络合剂与植物争夺,会降低植物吸收锌^[5]。总之,有机肥施用量和其中微量元素实际供应强度之间的微妙关系,目前知之甚少。有机肥提高土壤微量元素有效量已确凿无疑,但不一定提高植株体内微量元素的含量,杨玉爱的试验也有同样结果^[10]。因此,为了不断提高作物的产量和品质,有机肥料和化学微肥合理配合施用效

果可能更好。

3.2 有机肥施用量

本研究的另一个重要结论是,每年施用 $32.75 \text{ kg/hm}^2 \text{ P}$ 和 37.5 t/hm^2 有机肥,其中的有效 Zn 和 Cu 不能补偿一年两熟的作物携出。有机肥施用量过多时,其中相当数量的有效微量元素会无效化,尽管有些是暂时的。因此,有机肥的施用也有一个适宜量问题。为了培肥土壤,充分发挥有机肥的各种效能,提高其中微量营养元素的利用率,在目前生产水平下,每年施用有机肥的数量在 $37.5 \sim 75 \text{ t/hm}^2$ 之间较好。

参 考 文 献

- 1 韩晓日. 长期施用有机肥可以增加土壤微量元素的有效量. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(青年学术论文专辑), 56~61
- 2 汪寅虎, 张明芝, 周德兴等. 有机肥改土作用和供肥机制研究. 土壤通报, 1990, 21(4), 145~151
- 3 李辉桃, 李全新, 李昌纬等. 坡土农业生态系统中微量元素研究. 1 不同施肥处理土壤微量元素的消长规律. 西北农业大学学报, 1995, 23(3), 25~30
- 4 廉鸿志, 张璐, 宇万太等. 大剂量磷肥对作物微量营养元素的影响. 土壤通报, 1993, 24(1), 27~29
- 5 刘铮, 朱其清. 土壤微量元素译文集. 无锡: 江苏科学技术出版社, 1981, 11~34, 40~47, 62~65
- 6 中国农业科学院土壤肥料研究所编译. 农业中的微量营养元素. 北京: 农业出版社, 1984, 61~110, 158~182
- 7 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云等. 土壤的自动调节性能与抗逆性能. 土壤学报, 1991, 28(2), 168~176
- 8 青叶幸二, 片仓芳雄. 果树锰吸收与多酚成分和细根酶活性的关系. [日]果树试报 A, 1982, 9, 132~141
- 9 Prasad B, Sinha N P. Changes in the status of micronutrients in soil with long term applications of chemical fertilizers lime and manure. Plant and Soil, 1982, 64(3), 437~441
- 10 杨玉爱, 何念祖, 叶正茂. 有机肥料对土壤锌、锰有效性的影响. 土壤学报, 1990, 27(2), 195~201

Trace Elements in Agro-Ecological System of Lou Soil

I The Effects of Organic Manure on the Balances of Zn Mn and Cu in the Crop-Soil

Li Huitao Zhao Boshan Li Changwei Hua Tianmao Zhou Jianbin

(The Department of Agro-Chemistry, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract This paper deals with the effect of organic manure on the balance of Zn, Mn and Cu in the plant-soil system. The results show that the contents of Zn, Mn, and Cu in the grain and straw of wheat and corn decrease with the increase of organic manure applied to soil. The applications of 32.75 kg/hm^2 of P and 37.5 t/hm^2 of organic manure can't balance the effective Zn and Cu absorbed by wheat and corn with two crops a year, except Mn. The results also show that soil has the high ability to adjust the supply amount of these three elements. Furthermore, there is a positive relation between the theoretical profit and loss with the actual element consumption and increase of the three.

Key words micronutrient, balance of nutrients, macroscopic analysis