

# 有机肥及化肥对瘠土中微量元素平衡的影响

同延安 高宗 刘杏兰 朱克庄

(陕西农科院土肥所, 712100)

### 摘要

本文以长期定位试验为基本材料,研究了12年连续施用有机肥及化肥对土壤中Zn、Mn、Fe、Cu丰缺的影响。结果表明,有机肥是Zn、Fe、Cu的良好肥源,长期施用,使有效量比全量,上层比下层增加显著,上层有效Zn由0.2提高到1.6mg/kg,提高8倍;有效Fe由5.32提高到8.72mg/kg,增加了63.9%;有效Cu由1.14提高到1.34mg/kg,增加17.5%。增施有机肥及化肥,促进作物对Zn、Mn、Fe、Cu的吸收,提高了作物产量;同时,由于有机肥及根茬腐解,降低了土壤pH值,促进土壤全Zn、Fe、Mn的分解与矿化,使其转化为有效成分。

**关键词** 长期定位试验,微量元素,有效含量,有机肥,化肥

多年来,农田微量元素的供给与平衡主要靠有机肥。有机肥料是土壤物理、化学和生物化学过程的物质基础,它不仅是土壤生物养分的给源,且有机化合物具有一定的活性基团(-COO<sup>-</sup>、OH<sup>-</sup>、-NH<sub>2</sub>、=NH、=PO<sub>4</sub><sup>-</sup>、-S、O<sup>-</sup>)与微量元素Zn、Mn、Fe、Cu等络合或螯合,影响微量元素的有效性<sup>[1]</sup>。随着农业生产的发展,化肥用量将会大幅度提高,又因其易用、速效、高产等特点,使人们忽视了有机肥在微量元素供给中的作用,在目前中等施肥水平下,黄土丘陵区土壤自然状况下田间输入(根系残留、降水)的微量元素只能供应每公顷产900—1200kg所需,在陕西关中高肥力土壤上,微量元素只能供应每公顷产小麦4500kg以下,玉米6000kg以下所需,原因是没有商品微肥输入<sup>[2-4]</sup>。本文就长期施用化肥与有机肥对土壤中微量元素的平衡与累积进行了研究。

表1 有机肥与化肥配施定位试验方案

Table 1 Program of organic manure and chemical fertilizer application in the located experiment

处理 Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M <sup>1)</sup> (t/ha)	0	0	0	75	75	75	150	150	150
N (kg/ha)	0	75	120	0	75	120	0	75	120
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	0	30	60	0	30	60	0	30	60
12年共施肥									
M <sup>1)</sup> (1000t/ha)	0	0	0	1.46	1.46	1.46	2.92	2.92	2.92
N(t/ha)	0	1.80	2.88	0	1.80	2.88	0	1.80	2.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (t/ha)	0	0.72	1.44	0	0.72	1.44	0	0.72	1.44

1) M表示有机肥

## 一、材料与方 法

以长期定位试验为研究基本材料。试验于 1980 年夏播开始, 设置于陕西关中一年二作区的瘦土地上。试验方案如表 1, 设有机肥为主区, 化肥为裂区, 各三个水平。采用裂区拉丁方设计。小区面积 0.05 亩, 重复三次, 年种小麦、玉米各一季。

表 2 长期定位试验 12 年后各处理土壤中的微量元素含量 (mg/kg) 及 pH 值

Table 2 Microelement content (mg/kg) and pH value of soil after 12 year located experiment

处理号 No.	有效 Zn Available Zn				全 Zn Total Zn				有效 Mn Available Mn				全 Mn Total Mn			
	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean
1	0.20		0.12		63		49		2.50		2.08		498		463	
2	0.22	0.21	0.18	0.14	59	61.3	58	53.7	2.28	2.37	1.98	2.0	493	467	391	382
3	0.20		0.14		62		54		2.32		1.94		410		293	
4	0.66		0.16		58		56		2.12		2.06		426		318	
5	0.74	0.67	0.26	0.18	60	60	61	58.7	2.34	2.09	1.76	1.81	418	393	313	345
6	0.60		0.12		62		59		1.82		1.62		336		306	
7	1.60		0.48		78		53		2.06		1.96		388		316	
8	1.12	1.28	0.26	0.32	66	67.7	55	54.7	2.12	2.13	1.84	1.83	366	361	328	315
9	1.12		0.22		59		56		2.20		1.68		331		303	
r <sup>2)</sup>	-0.901**		-0.517		-0.467		-0.08		0.598		0.40		0.791**		0.258	

  

处理号 No.	有效 Fe Available Fe				全 Fe Total Fe (%)				有效 Cu Available Cu				全 Cu Total Cu				pH <sup>1)</sup>	
	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	Mean	20-40 cm	Mean	0-20 cm	20-40 cm
1	5.32		5.26		3.35		2.74		1.14		1.04		30		32		8.27	8.29
2	5.80	5.68	5.76	5.37	3.23	3.20	2.88	2.79	1.14	1.14	1.12	1.05	32	31.7	31	31.7	8.20	8.26
3	5.94		5.08		3.02		2.77		1.14		1.00		33		32		8.20	8.28
4	6.36		5.76		3.18		2.70		1.24		1.08		36		31		8.18	8.30
5	7.26	6.94	5.92	5.77	3.18	3.05	2.17	2.39	1.26	1.21	1.00	1.02	36	35.7	32	31.3	8.14	8.25
6	7.20		5.64		2.80		2.31		1.14		0.98		35		31		8.14	8.29
7	8.72		6.80		2.81		2.56		1.34		1.10		33		30		8.07	8.24
8	8.74	8.63	6.64	5.37	2.63	2.69	2.60	2.68	1.28	1.30	1.08	1.07	33	33	30	30.3	8.07	8.19
9	8.42		5.66		2.63		2.89		1.28		1.02		33		31		8.09	8.20
r <sup>2)</sup>	-0.981**		-0.595		0.865**		-0.107		-0.09		-		-		-		-	-

1) pH 指土壤水悬液测定的 pH 值 水:土=2:1。

2) r 值指土壤 pH 与各测定值之间的相关系数。

1992 年, 按处理分别采集小麦叶片, 0-20, 20-40cm 土层的土样, 小麦叶片用干灰化法, 土样分别用湿消解法和 DTPA (二乙烯三胺五醋酸) 浸提, 原子吸收光谱测定全量及有效微量元素。结果分别列于表 2 和表 3。

表 3 小麦扬花期叶片中微量元素含量

Table 3 Microelement contents in leaves of winter wheat at flowering stage

处理号 No.	Zn (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Cu (mg/kg)	
	上叶 <sup>1)</sup> Upper leaf	下叶 <sup>2)</sup> Lower leaf	上叶 Upper leaf	下叶 Lower leaf	上叶 Upper leaf	下叶 Lower leaf	上叶 Upper leaf	下叶 Lower leaf
1	5.8	4.8	42.0	39.2	136	156.2	3.5	2.8
2	8.2	9.2	68.9	51.5	197.8	228.5	5.5	5.5
3	14.2	9.1	84.9	60.2	246.8	289.8	6.2	5.5
4	7.4	5.7	39.9	31.3	94.0	139.2	5.8	3.5
5	11.6	8.5	79.5	58.9	211.5	261.5	4.0	5.8
6	14.1	8.9	91.88	64.6	221.5	323.5	4.0	5.8
7	8.2	7.0	46.8	37.3	78.8	213.8	8.5	3.8
8	16.5	13.3	46.6	51.5	176.5	318.8	9.0	7.8
9	14.1	11.4	62.1	62.6	163.0	351.5	7.0	8.2

1) 上叶——指旗叶。 2) 下叶——指旗叶以下第三个叶片。

## 二、结果与讨论

经过 12 年定位试验,小麦、玉米总产量及微量元素携出量列于表 4。由结果可知,长期施肥及作物的吸收携走已明显影响到土壤中微量元素的平衡。现分述如下:

### (一) 锌 (Zn)

1. 有机肥作用 由表 2 可知,增施有机肥使上、下层中的土壤有效 Zn 分别由 0.21、0.14 上升到 1.28、0.32mg/kg,增加 6—2.3 倍。土壤全 Zn 因施高量有机肥(处理 7、8、9)在上层由 61.3 增加到 67.7mg/kg,下层则基本保持平衡。pH 和土壤有效 Zn 含量呈负相关<sup>[5,6,10,11]</sup>,长期施入有机肥及根茬腐解,pH 由 8.27 降至 8.07,本试验 pH 下降与有效 Zn 提高的相关系数为  $-0.907^{**}$ 。因此,增施有机肥是提高有效 Zn 含量的重要措施。

2. 化肥作用 在未施或施低量有机肥的基础上,再增施化肥,对上、下层土的有效 Zn 及全 Zn 含量影响甚微(处理 2、3 与 1、5、6 与 4 比较);但在高量有机肥基础上,增施化肥,使上、下层有效 Zn 分别由 1.60、0.48 下降到 1.12、0.22 (处理 8、9 与 7 比较)。这可能由于增施化肥后,产量增加,作物地上部 Zn 携走量大幅度提高(表 4),如小麦叶片含 Zn 量(表 3)成倍增长。

### (二) 锰 (Mn)

1. 有机肥及化肥对土壤 Mn 含量的影响 由表 2 知,土壤有效 Mn 及全 Mn 含量随有机肥及化肥用量增加而减少。这可能由于增施肥料后,植株对 Mn 的吸收量增加(表 3),产量提高,作物 Mn 携出量成倍增长(表 4)。如处理 4、7 与 1 相比,产量由 58.91 分别增加到 96.44 与 117.17t/ha,Mn 携出量由 5.18 增加到 8.54 与 10.71kg/ha,上层有效 Mn 却分别由 2.50 下降到 2.12 与 2.06mg/kg。上下层全 Mn 下降随 Mn 携走量增加的相关系数分别为  $-0.847^{**}$ 与  $0.788^{**}$ ,均达极显著水平。

表 4 12 年各处理总产量及微量元素携出量

Table 4 Total crop yields and the amounts of microelements removed from the soil during 12 years

处 理 No.	小 麦 Wheat		玉 米 Corn		小麦+玉米 Wheat + Corn	
	总 产 Total yield (t/ha)	平 均 Average yield (t/ha · year)	总 产 Total yield (t/ha)	平 均 Average yield (t/ha · year)	总 产 Total yield (t/ha)	平 均 Average yield (t/ha · year)
1	19.58	1.63	39.32	3.28	58.91	4.91
2	38.77	3.23	66.22	5.52	104.98	8.75
3	49.18	4.09	77.16	6.43	126.34	10.53
4	32.64	2.72	63.00	5.32	96.44	8.04
5	55.59	4.63	79.53	6.63	135.12	11.26
6	61.17	5.10	82.23	6.86	143.47	11.96
7	43.02	3.59	74.15	6.18	117.17	9.76
8	59.48	5.00	87.02	7.26	146.50	12.21
9	60.60	5.05	87.08	7.25	147.67	12.31

  

处 理 No.	地 上 部 携 走 的 微 量 元 素 Amount of microelements was taken away from soil by crops (kg/ha)											
	Zn			Mn			Fe			Cu		
	小麦 Wheat	玉米 Corn	合计 Total	小麦 Wheat	玉米 Corn	合计 Total	小麦 Wheat	玉米 Corn	合计 Total	小麦 Wheat	玉米 Corn	合计 Total
1	0.83	1.49	2.32	3.02	2.17	5.18	11.12	23.29	34.41	0.31	0.95	1.26
2	1.64	2.51	4.14	5.97	3.65	9.62	22.01	39.22	39.25	0.61	1.60	2.21
3	2.08	2.92	4.96	7.57	4.25	11.83	27.91	45.71	73.62	0.77	1.86	2.64
4	1.38	2.42	3.79	5.03	3.52	8.54	18.53	37.79	53.32	0.51	1.54	2.05
5	2.35	3.01	5.36	8.56	4.38	12.94	31.55	47.11	78.67	0.88	1.92	2.80
6	2.58	3.12	5.70	9.42	4.54	13.96	48.22	48.76	83.47	0.96	1.99	2.95
7	1.82	2.81	4.62	6.62	4.09	10.71	24.42	43.93	68.34	0.68	1.79	2.47
8	2.51	3.29	5.80	9.16	4.64	13.96	33.76	53.05	85.31	0.94	2.10	3.04
9	2.56	3.30	5.85	9.34	4.80	14.13	34.39	51.58	85.71	0.95	2.10	3.06

注: 每收获 100kg 籽实地上部携出的微量元素 (mg)<sup>21</sup>。

其中: 玉米: Zn 3.785; Mn 5.510; Fe 59.236; Cu 2.414。

小麦: Zn 4.220; Mn 15.402; Fe 56.764; Cu 1.578。

2. 有效 Mn、全 Mn 在上下层之间的关系 上层有效 Mn 和全 Mn 之间的相关系数为 0.715\*, 有效 Mn、全 Mn 在上、下层之间的相关系数分别为 0.52 与 0.79\*\*, 说明上层有效 Mn 和全 Mn 处于动态平衡, 全 Mn 在上层土壤中的消长也影响到下层。因此, 上下层土体中的有效 Mn 和全 Mn 均有被植物利用的可能。

### (三) 铁 (Fe)

1. 有机肥作用 增施有机肥(处理 4、7 与 1 比较), 使上层有效 Fe 从 5.32mg/kg 分别增加到 6.36 与 8.72mg/kg, 提高了 19.5% 与 63.9%, 下层有效 Fe 也略有增加。说明有机肥是铁素的良好肥源。

2. 化肥作用 增施化肥(处理 2、3 与 1 比较), 提高了小麦叶片中 Fe 含量(表 3),

产量及 Fe 携出量大幅度增加(表 4),因而引起上层全 Fe 下降,说明高产必然引起土壤 Fe 的亏缺。但有效 Fe 却有所增加,其它处理也得到类似结果,这可能由于增施肥料后,残茬留量大,根茬腐解,引起 pH 下降,Fe 有效性提高<sup>[7-9]</sup>。

3. Fe 携出量、全 Fe、有效 Fe 及 pH 之间的关系 Fe 携出量与上层全 Fe 下降的相关系数为 $-0.817^{**}$ ,上层全 Fe 下降与有效 Fe 增加的相关系数为 $-0.868^{**}$ ,说明有效 Fe 和全 Fe 都有被利用的可能。pH 是影响土壤 Fe 有效性的重要因素<sup>[7-9]</sup>,该试验 pH 下降与有效 Fe 提高的相关系数为 $-0.981^{**}$ ,pH 下降与全 Fe 下降的相关系数为 $0.865^{**}$ 均达极显著水平。因此,有效 Fe 和全 Fe 由于受 pH 影响而处于动态平衡。

#### (四) 铜 (Cu)

增施有机肥(处理 4、7 与 1 比较),有效 Cu 含量由 1.14 增加到 1.24 与 1.34mg/kg,分别提高 8.77% 与 17.5%,但对全 Cu 含量影响不大。增施化肥,小麦叶片中 Cu 浓度增加(表 3),但对土壤全 Cu 和有效 Cu 都没有明显的影响,Cu 总携走量上升(表 4)。

### 参 考 文 献

1. 杨玉爱等,1990: 有机肥料对土壤锌、锰有效性的影响,土壤学报,第 27 卷 2 期,195—201 页。
2. 余存祖等,1991: 黄土丘陵区土壤-作物系统中微量元素的循环与平衡,土地资源及生产力研究,中科院西北水土保持所编,科学技术文献出版社,169—175 页。
3. 余存祖等,1991: 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应。土壤学报,第 28 卷 3 期,317—326 页。
4. 余存祖等,1991: 黄土高原地区土壤微量元素区域分布与生态影响,土地资源及生产力研究,中科院西北水土保持所编,科学技术文献出版社,189—200 页。
5. 同延安等,1983: 石灰性土壤固锌量对锌肥肥效影响的研究,土壤通报,第 3 期,35—37 页。
6. 刘铮,朱其清等译,1980: 《土壤微量元素译文集》。江苏科学技术出版社,38 页。
7. 张福锁,曹一平,1992: 根际动态过程与植物营养,土壤学报 第 29 卷 3 期,239—250 页。
8. 张福锁等,1992: 根分泌物及其对根际微生态系统中养分有效性的直接影响,土壤与植物营养研究新动态,第一卷,46—72 页。
9. 刘铮等,1991: 微量元素的农业化学,农业出版社。202—204 页。
10. 张大第,1981: 土壤和植株的锌营养,土壤肥料。第五期,33—35 页。
11. Lindsay, W. L., 1972: Zinc in soil and plant nutrition. Adv. Agron. 24: 147—181.

## EFFECTS OF ORGANIC MANURE AND CHEMICAL FERTILIZER ON BALANCE OF MICROELEMENTS IN LOU SOIL

Tong Yanan, Gao Zong, Liu Xinglan and Zhu Kezhuang

(*Soil and Fertilizer Institute Shaanxi Academy of Agricultural Sciences, 712100*)

### Summary

Effects of long-term application of organic manure and chemical fertilizer on the contents of Zn, Mn, Fe and Cu in soil were studied. The results show that the organic manure is a good resource of Zn, Fe and Cu. After long-term application of organic manure, the available Zn increased 8 times from 0.2 to 1.6 mg/kg; available Fe increased by 63.9% from 5.32 to 8.72 mg/kg; and available Cu increased by 17.5% from 1.14 to 1.34 mg/kg. Part of increased nutrients came from organic manure, and part from the decomposition and mineralization of soil Zn, Fe and Mn because the soil pH was decreased due to the decay of organic manure and roots. Correlation coefficients of pH decrease and available Zn and Fe increase were  $-0.907^{**}$  and  $-0.981^{**}$  respectively, while correlation coefficients of pH decrease and total soil Fe and Mn decrease were  $0.864^{**}$  and  $0.791^{**}$  respectively, showing a close correlation between the availability of Zn, Fe and Mn and the pH of Soil.

**Key words** Long-term located experiment, Microelements, Available content, organic manure, Chemical fertilizer.