

# 长期施肥及覆膜栽培对土壤锌、铜、锰的形态及有效性影响的研究

崔德杰 张继宏

(山东莱阳农学院, 265200) (沈阳农业大学, 110161)

**摘要** 通过在沈阳棕壤上的 5 年定位试验, 对不同施肥处理土壤进行锌、铜、锰各形态系统分析, 结果表明: 覆膜栽培加剧了土壤中锌、铜、锰各形态的消耗, 不同施肥处理, 三种元素各形态含量存在较大差异, 土壤有机态锌、铜, 氧化物结合态铜, 交换态锰, 碳酸盐结合态锰是玉米吸收的主要形态。

**关键词** 长期肥料试验, 覆膜栽培, 微量元素形态

关于土壤锌、铜、锰的形态及其有效性研究虽已见较多报道<sup>[1,2,3]</sup>, 但多局限于不同土壤类型和短期试验, 而对长期施肥及覆膜条件下土壤各形态锌、铜、锰的含量及有效性的研究至今未见资料。本文旨在对上述问题进行探讨, 为合理施用肥料提供依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 供试材料

· 本试验于 1987—1992 年在沈阳农业大学试验地上进行, 土壤为发育在黄土性母质上的壤质棕壤, 作物为玉米, 连作 5 年。实验设地膜覆盖和裸地栽培两组, 施肥处理均为 5 个: (1)ck(对照, 不施肥); (2)  $N_2$ (单施氮素化肥, 施氮量为 135kg / ha.a); (3)  $M_2$ (单施有机肥, 施氮量同  $N_2$ ); (4)  $M_1N_1$ (有机肥配施氮素化肥, 总施氮量同  $N_2$ , 有机肥氮和化肥氮各半); (5)  $M_1N_1P_1$ (有机肥配施氮磷化肥, 即在  $M_1N_1$ 基础上配施化肥  $P_2O_5$  67.5kg / ha.a)。每个小区面积为 69m<sup>2</sup>, 三次重复。氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 有机肥为猪厩肥。供试土壤和肥料的基本状况见表 1。

表1 供试土壤和肥料的基本性状

Table 1 Basic properties of the soils and fertilizers studied

项 目 Item	PH(H <sub>2</sub> O)	有机质(g/kg) organic matter	全锌(μ g/g) Total Zn	全铜(μ g/g) Total Cu	全锰(μ g/g) Total Mn
裸地土壤	6.39	15.6	58.0	19.3	843.3
覆膜土壤	6.39	15.6	59.3	19.9	876.3
有 机 肥	—	15.83	79.4	14.6	1078.1
磷 肥	—	—	80.2	11.5	656.7

在玉米全生育期内,分别于4月20日、6月2日、7月20日和9月20日取土样和玉米样,土样用竹筴采自两株玉米间0—20cm耕层,每小区取5点混合样,风干后研磨过20目筛,用于有效态含量分析;过100目筛,用于三元素形态分析。玉米样取10株10片展开叶,用去离子水洗净,风干称重,粉碎过20目筛。

## 1.2 分析方法

土壤中锌、铜、锰的形态分析采用朱熹婉等人提出的5个组分连续提取法<sup>[4]</sup>,并做了一定修正,具体步骤如下:

小于100目风干土2.000g,用1mol/L  $MgCl_2$  (pH7.0),土液比1:8,振荡2小时,离心30分钟,清液测碳酸盐结合态和专性吸附态;再用0.04mol/L  $NH_4OH \cdot HCl$  醋酸溶液,土液比1:15,在 $96 \pm 3^\circ C$ 水浴中溶浸2小时,离心30分钟,清液测铁锰氧化物结合态,残土用水冲洗后,用30%  $H_2O_2$  氧化有机质,再用0.02mol/L  $HNO_3$  (pH2.0),土液比1:15,在 $85 \pm 2^\circ C$ 水浴中溶浸2小时后,加入3.2mol/L  $NH_4OAc$  振荡30分钟,离心30分钟,清液测有机态和残留态锌、铜、锰,方法是由全量减去上述各形态量而得。

土壤有效态锌、铜、锰用DTPA液浸提。全量用王水—高氯酸消煮。植物用硝酸—高氯酸消煮<sup>[5]</sup>。以上各形态锌、铜、锰均用原子吸收分光光度法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤中各形态锌、铜、锰含量变化

2.1.1 锌 由表2可以看出,长期单施氮素化肥,土壤交换态锌含量较试验前增加,而其它各形态包括全锌均有不同程度的减少。裸地土壤中有机态锌和全锌含量比试验前平均分别减少6.9%和5.4%;而覆膜土壤分别减少8.7%和6.7%,说明长期单施氮素化肥而

表2 不同处理土壤各形态锌含量( $\mu g/g$ )

Table 2 The forms and contents of Zn in soils of different treatments

处理 Treatment	交换态 Exchangeable	碳酸盐结合态 Carbonate bound	铁锰氧化物结合态 Oxide bound	有机态 Organic	残留态 Residual	总量 Total
裸地 uncovered						
试验前	0.54	1.54	5.45	6.22	44.29	58.04
ck	0.68	1.45	4.44	6.13	42.85	55.54
$N_2$	0.99	0.64	4.49	5.79	42.90	54.89
$M_2$	0.45	2.01	6.59	6.69	44.68	60.42
$M_1N_1$	0.66	1.91	5.77	6.40	44.48	59.22
$M_1N_1P_1$	0.77	1.67	5.80	6.33	44.56	59.13
覆膜 plastic sheet covered						
试验前	0.69	1.90	6.06	6.31	44.29	59.25
ck	0.55	1.67	5.06	5.86	43.12	56.26
$N_2$	0.92	1.04	5.52	5.79	42.04	55.31
$M_2$	0.36	2.85	6.74	6.88	44.75	61.58
$M_1N_1$	0.71	1.97	6.10	6.66	44.52	59.96
$M_1N_1P_1$	0.65	1.80	6.18	6.29	44.83	59.75

不施加其他锌源,作物吸收锌仅靠少部分根茬补充,抵不上作物带走锌量,使土壤中锌的贮量减少,因此覆膜后增加了土壤锌的消耗。

长期单施有机肥土壤中除交换态锌含量下降外,其余各形态锌含量均有所增加。裸地和覆膜处理差异较大的是铁锰氧化物结合态锌分别比试验前增加 20.9% 和 10.1%,可能是由于地膜覆盖降低了土壤 Eh 值<sup>[6]</sup>,进而引起此形态锌向其他形态转化。

有机-无机肥长期配合施用 ( $M_1N_1$ ,  $M_1N_1P_1$ ), 土壤各形态锌含量变化不大,作物吸收锌量与施肥所提供的锌量基本持平。

2.1.2 铜 由表 3 可见,交换态铜含量少,检测不出,其余土壤中各形态铜含量包括全铜量与试验前相比均有不同程度的减少(也有个别例外)。这主要是由于作物吸收而带走的铜量大于通过施肥加入的量,因而覆膜处理各形态铜的减少量大于裸地处理,覆膜增加了作物对铜的吸收。

表3 不同处理土壤各形态铜的含量( $\mu\text{g/g}$ )

Table 3 The forms and contents of Cu in soils of different treatments

处理 Treatment	交换态 Exchangeable	碳酸盐结合态 Carbonate bound	铁锰氧化物结合态 Oxide bound	有机态 Organic	残留态 Residual	总量 Total
裸地 uncovered						
试验前 ck	—	0.45	2.06	3.55	13.27	19.33
N <sub>2</sub>	—	0.44	1.80	3.52	12.81	18.57
M <sub>2</sub>	—	0.43	1.71	3.21	12.70	18.05
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	—	0.39	1.84	4.16	12.72	19.11
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	—	0.36	1.60	3.55	13.25	18.76
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	—	0.53	2.07	3.36	13.11	19.07
覆膜 plastic sheet covered						
试验前 ck	—	0.41	2.14	3.77	13.57	19.89
N <sub>2</sub>	—	0.38	1.79	3.42	12.63	18.22
M <sub>2</sub>	—	0.47	1.86	3.54	12.52	18.39
M <sub>2</sub>	—	0.39	1.68	3.90	13.17	19.14
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	—	0.41	1.79	3.60	12.79	18.59
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	—	0.43	2.03	3.52	12.47	18.43

土壤中碳酸盐结合态铜经过 5 年耕作施肥其含量变化很少。不同处理对铁锰氧化物结合态铜影响不同,尽管与试验前相比均有下降,但  $M_1N_1P_1$  处理变化最少,裸地处理几乎没变,覆膜栽培仅减少 5.1%,单施有机肥处理变化较大,裸地和覆膜处理较试验前分别减少 10.7% 和 21.5%,其原因可能有二:一是由于有机质对铜的络合固定能力强,施高量有机肥增加了土壤有机质,从而导致铁锰氧化物结合态铜含量下降;二是由于有机质分解使土壤 Eh 下降,造成此形态铜向其他形态转化。

经过 5 年连作,土壤有机态铜只有单施有机质处理有所增加,裸地和覆膜处理分别增加 13.3% 和 3.5%,覆膜栽培加快了土壤有机质的分解<sup>[6]</sup>,导致了有机态铜的释放,从而裸地栽培增加量高于覆膜栽培。

2.1.3 锰 由表 4 所示,单施氮肥和单施有机肥对土壤交换态锰含量影响较大。经 5

年连作玉米,单施氮素化肥处理,土壤中交换态锰含量比试验前均有增加,裸地和覆膜处理分别增加 13.8% 和 5.8%,而单施有机肥裸地和覆膜处理,交换态锰分别比试验前减少 35.6% 和 59.3%。

表4 不同处理土壤各形态锰的含量(μg/g)

Table 4 The forms and contents of Mn in soils of different treatments

处理 Treatment	交换态 Exchangeable	碳酸盐结合态 Carbonate bound	铁锰氧化物结合态 Oxide bound	有机态 Organic	残留态 Residual	总量 Total
裸 地 uncovered						
试验前 ck	22.56 12.05	26.21 23.46	104.65 109.50	60.16 59.54	629.74 624.76	843.32 829.31
N <sub>2</sub>	25.56	20.19	123.99	64.75	597.04	831.65
M <sub>2</sub>	14.54	27.62	110.51	67.60	656.72	876.99
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	12.07	29.80	104.79	68.54	638.72	853.33
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	16.85	25.07	100.88	63.97	620.54	827.31
覆 膜 plastic sheet covered						
试验前 ck	22.49 11.67	27.22 24.07	106.98 116.71	62.00 60.70	657.65 629.49	876.34 824.64
N <sub>2</sub>	23.79	23.66	112.76	60.10	633.61	853.92
M <sub>2</sub>	9.15	28.34	107.22	67.81	680.90	893.92
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	17.33	27.34	108.44	69.52	663.10	885.73
M <sub>1</sub> N <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	11.89	23.43	105.49	58.52	646.22	845.55

铁锰氧化物结合态锰对土壤锰的供给起着重要作用<sup>[7]</sup>。从表 4 可以看出 M<sub>1</sub>N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>处理无论覆膜还是裸地栽培,经过 5 年耕种,土壤氧化物结合态锰含量最小,主要原因在于 M<sub>1</sub>N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>处理生物量大,作物吸收锰量多。其他各施肥处理氧化物结合态锰含量比试验前均有所增加,其中单施氮素化肥处理增加幅度最大,裸地和覆膜分别增加 18.5% 和 5.5%。而单施有机肥氧化物结合态锰含量增加小。裸地和覆膜土壤分别增加 5.6% 和 0.2%。这是因为 pH > 5.5 时微生物活动导致氧化物作用很强。在通气良好的条件下 pH 为 7 时最强,但在氧张力低时则发生还原作用,多量有机质有助于发生还原反应<sup>[7]</sup>。

碳酸盐结合态锰与土壤 pH 值关系非常密切,随着 pH 值的增大而增加,pH 值减少而减少。有机态锰较试验前变化不明显,不同处理之间差异较少。总的来看施有机肥土壤有机态锰含量增加,不施肥和单施氮素化肥有机态锰含量相对减少,覆膜处理规律性较强。

### 2.2 土壤中锌、铜、锰形态与作物吸收关系

本试验以玉米为供试植物,研究了土壤中锌、铜、锰形态与玉米吸收量之间的关系,结果见表 5。

由表 5 可见,玉米单株吸收量与交换态锌、锰,碳酸盐结合态锌、铜、锰均有较高的相关性,无论裸地还是覆膜栽培均达到极显著相关水平。其中氧化物结合态锌、铜,有机态锌、铜与玉米单株吸收量也有较高的相关性。氧化态铜和覆膜处理氧化态锌均达到极显著相关水平。说明除残留态锌、铜外,其他各形态锌、铜都易被玉米吸收利用。交换态锰、碳酸盐结合态锰是玉米易吸收利用的组分,覆膜栽培增大了玉米单株吸收量与各形态锌、

表5 土壤中锌、铜、锰形态与玉米吸收量关系及逐步回归方程 (n=20)

Table 5 The relationships between the forms of Zn, Cu and Mn in soil and their absorption by corn and the stepwise regression equations

项目	交换态	碳酸盐结合态	铁锰氧化物结合态	有机态	残留态	逐步回归方程 ( $\alpha \leq 0.05$ )
Item	Exchangeable	Carbonate bound	Oxide bound	Organic	Residual	Stepwise regression equation
锌单株吸收量						
裸地	-0.74**	-0.65**	-0.54*	-0.83**	-0.15	$y = 3226.52 - 552.51(OM - Zn)$ $r = 0.83$
覆膜	-0.79**	-0.71**	-0.70**	-0.82**	-0.12	$y = 3736.42 - 637.43(OM - Zn)$ $r = 0.82$
铜单株吸收量						
裸地	—	-0.69**	-0.67*	-0.51*	-0.22	$y = 742.38 - 1138.25(OX - Cu)$ $+ 358.87(OM - Cu)$ $r = 0.76$
覆膜	—	-0.77**	-0.75**	-0.58**	-0.10	$y = 678.99 - 1506.95(OX - Cu)$ $+ 578.5(OM - Cu)$ $r = 0.88$
锰单株吸收量						
裸地	-0.58**	-0.70**	-0.01	-0.08	0.08	$y = 11116.57 - 200.77(Ex - Mn)$ $- 341.88(CAB - Mn)$ $r = 0.77$
覆膜	-0.61**	-0.77**	-0.06	-0.02	0.03	$y = 12143.28 - 209.58(Ex - Mn)$ $- 342.38(CAB - Mn)$ $r = 0.80$

注: \*, \*\* 分别表示 5%、1% 显著水平。

Ex-交换态, CAB-碳酸盐结合态, OX-铁锰氧化物结合态, OM-有机态。

铜、锰之间的相关系数, 因此也加剧了玉米对锌、铜、锰各形态的吸收利用。统计结果表明: 有机态锌、铜, 氧化物结合态铜, 交换态锰, 碳酸盐结合态锰是供玉米吸收利用的主要组分。

### 参 考 文 献

1. Singh J P, Lyenger S S. J. Indian Soc. Soil. Sci., 1990, 38: 213—217.
2. 蒋廷惠, 胡儒堂, 秦怀英. 土壤中铜、铁、锌、锰的形态与有效性的关系. 土壤通报, 1989, 20(5): 228—231
3. Brar S P S, Singh B, Deol Y S. 锌库及其对玉米—小麦轮作的有效性. 土壤学进展, 1989: 17(1): 32—39
4. 朱熹熹, 沈壬水, 钱钦文. 土壤中金属元素的五个组分的连续提取法. 土壤, 1989, 21(3): 163—166
5. 劳家桢, 祁明楣, 纪宝华. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988. 706—708
6. 汪景宽, 张继宏, 须湘成. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究. 沈阳农业大学学报专刊, 1992. 32—38
7. 刘 铮, 朱其清. 微量元素的农业化学. 北京: 农业出版社, 1991. 63—65

## EFFECTS OF LONG-TERM FERTILIZATION AND PLASTIC SHEET-COVERED CULTURE ON FORMS OF Zn, Cu AND Mn IN SOIL AND THEIR AVAILABILITY

Cui De-jie

Zhang Ji-hong

(*Shandong Laiyang Agricultural College, 265200*) (*Shenyang Agricultural University, 110161*)

### Summary

A systematic study concerning the effects of persistent fertilization and plastic sheet-covered culture on forms of Zn, Cu and Mn in a brown soil of Shenyang was conducted. The results showed that the consumptions of various forms of Zn, Cu and Mn increased after plastic sheet-covered culture. The forms of these three elements varied greatly in different fertilization treatments. The major forms absorbed by corn from soil were organic Zn and Cu, oxide bound Cu, exchangeable Mn and carbonate bound Mn.

**Key words** Long-term fertilization experiment, Plastic sheet-covered culture, Forms of microelements