

## 长期定位施锌土壤-作物系统锌分布特征研究\*

魏孝荣 郝明德 田梅霞

(水利部水土保持研究所 杨陵 712100)  
中国科学院

**摘要** 长期定位试验研究施 Zn 土壤-作物系统 Zn 分布特征结果表明,长期施用 Zn 肥可引起 Zn 在土壤中的累积,其剖面各土层有效锌含量均高于对照,且高于 Zn 肥有效施用的临界值。冬小麦各器官及全株 Zn 浓度和积累量均高于对照,但分配有所不同。长期施用 Zn 肥土壤中 Zn 有较大盈余,作物携出量仅占当季施 Zn 量的 4.11%,长期施用 Zn 肥作物体内 Zn 含量虽未超标,但却引起 Zn 在土壤中的富集,对土壤生态环境造成潜在危害。

**关键词** 长期施 Zn 冬小麦 分布特征 平衡

**Distribution of zinc in soil-crop system after long-term located application of zinc fertilizer.** WEI Xiao-Rong, HAO Ming-De, TIAN Mei-Xia(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China), *CJEA*, 2005, 13(2):96~98

**Abstract** A long-term located experiment of application of zinc fertilizer is conducted to study the distribution of Zn in soil-crop system. The results show that zinc can be accumulated in soil after long term continuous application of zinc fertilizer, the available zinc concentration in soil is enhanced, which is higher than the critical value for assess whether Zn deficiency is occurred or not. High zinc concentrations in crops and different tissues are observed owing to continuous application of zinc, but their distributions are different. Zinc is accumulated in soil after a long term continuous application of zinc and zinc amount carried out by the crop is only 4.11% of the applied amount. So, it makes a potential risk for soil ecosystem.

**Key words** Long-term application of zinc fertilizer, Winter wheat, Distribution character, Balance

(Received Dec. 19, 2003; revised Feb. 13, 2004)

我国北方石灰性土壤、沿海盐渍土及南方部分土壤均存在缺 Zn 状况,缺 Zn 使植物生长受抑并引起动、植物生理病害。外源 Zn 进入土壤后作物对锌的吸收分配方面的研究已多见报道<sup>[1~3]</sup>,而对长期施 Zn 条件下作物吸收 Zn 规律及 Zn 在作物体内分布转运和长期施 Zn 的土壤环境效应方面的研究尚少见报道。本试验研究了连续 17 年施用 Zn 肥后土壤-作物系统 Zn 的分布特征,为合理安全使用 Zn 肥提供理论依据。

### 1 试验材料与方法

试验于 1984 年在陕西省长武县十里铺塬地上进行,该地海拔高度 1200m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,多年平均降水量 584.1mm,年均气温 9.1℃,年无霜期 171d。试验地土壤养分含量、地貌特征在黄土高原沟壑区有一定代表性,供试土壤为粘盖黑垆土,耕层土壤有机质含量为 10.5g/kg,全 N 含量 0.57g/kg,碱解氮 37.0mg/kg,有效磷 2.0mg/kg,速效钾 129.3mg/kg。

试验设对照(CK,施 N60kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>60kg/hm<sup>2</sup>)和施 Zn 肥(N60kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>60kg/hm<sup>2</sup>, ZnSO<sub>4</sub>15kg/hm<sup>2</sup>,含 Zn22.73%)2 个处理,3 次重复,小区随机排列,N 肥为尿素,P 肥为过磷酸钙,肥料于作物播种前撒施地表并翻入土壤,Zn 肥溜入播种行,管理同大田。供试小麦品种 1984~1985 年为“秦麦 4 号”,1986~1995 年为“长武 131”,1996 年后为“长武 134”,小麦采用沟播,头年 9 月中旬播种,翌年 6 月下旬收获。

于 2001 年 3 月采集各处理剖面土壤样品(每 20cm 为 1 层,采样深度为 1m),土样自然风干后过 1mm 和 0.25mm 尼龙筛备用。冬小麦收获期每小区中间随机抽取 1 行,采集 1m 长植株样品,按不同器官分为茎、叶、壳和籽粒,样品洗净后置 85℃ 烘干称干物质量,再用不锈钢粉碎机粉碎过 1mm 尼龙筛,以干灰化-原子吸收分光光度法测定植株样品 Zn 含量。用 DTPA(pH7.3)浸提-原子吸收分光光度法测定土壤样品有效锌

\* 国家自然科学基金项目(40171058)、中国科学院知识创新工程方向性项目(KZCX2-413-3)和国家科技攻关项目(2001BA508B18)资助

收稿日期:2003-12-19 改回日期:2004-02-13

含量。土壤和植物样品测定结果均以风干样为基准表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤 Zn 含量

余存祖等<sup>[4]</sup>认为研究土壤元素有效形态的富集远比研究其总量有意义。由表 1 可知长期施 Zn 处理其土壤中有有效锌含量远高于未施 Zn 处理,特别是 0~20cm 土层、20~40cm 土层和 80~100cm 土层土壤施 Zn 处理分别比未施 Zn 处理高 357.75%、95.50% 和 70.30%,在作物根系广泛分布的 0~100cm 土层土壤平均有效锌含量比未施 Zn 处理高 151.44%。长期施 Zn 处理土壤中有有效锌主要分布于 0~20cm 表层,占整个土壤剖面的 58.70%,而未施 Zn 处理由于作物的携出其土壤中有有效锌含量较低,且表层土壤有效锌占整个剖面的比例较小,仅为 32.28%。Takkar P. N. 等<sup>[10]</sup>和 Rathore G. S. 等<sup>[11]</sup>分别提出 0.600mg/kg 和 0.460mg/kg 的土壤有效锌临界值标准,彭琳等<sup>[5]</sup>把 0.500mg/kg 作为垆土有效锌(DTPA-Zn)临界值,这与 Brown A. L. 等<sup>[12]</sup>、Lindsay W. L. 等<sup>[13]</sup>提出的有效锌(DTPA-Zn)临界值指标相同。施 Zn 处理 0~100cm 土层平均有效锌含量为 0.875mg/kg,高于当地土壤有效锌临界值(0.500mg/kg)。由于长期施用 Zn 肥,土壤中有有效锌已满足作物生长需要,不再成为作物生长的限制因子。未施 Zn 处理由于无 Zn 肥投入,加之每年有作物吸收携出,土壤 Zn 素处于亏损状态,其 0~100cm 土层土壤平均有效锌含量仅为 0.348mg/kg,低于当地土壤有效锌临界值,仍为作物生长的限制因子。

表 1 土壤 Zn 含量

Tab.1 Available zinc content in soil

处 理 Treatments	有效锌/mg·kg <sup>-1</sup> Available zinc 土层/cm Soil depth					合 计 Total	均 值 Average
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100		
施 Zn 肥	2.568	0.739	0.400	0.324	0.344	4.375	0.875
对 照	0.561	0.378	0.351	0.246	0.202	1.738	0.348
比对照(±)/%	357.75	95.50	13.96	31.71	70.30		151.44

### 2.2 作物 Zn 含量

长期施用 Zn 肥处理土壤中有有效锌含量已超过有效锌临界值(见表 1),此时施 Zn 肥对作物生长的影响已不明显,但仍能增加作物生物量(见表 2),茎、叶和壳分别比对照增加 3.77%、11.33% 和 5.48%,而其千粒

表 2 长期施 Zn 肥对作物生长的影响\*

Tab.2 Effect of long-term zinc application on crop biomass

处 理 Treatments	茎/g·株 <sup>-1</sup> Bine	叶/g·株 <sup>-1</sup> Leaf	壳/g·株 <sup>-1</sup> Shell	籽粒/g·株 <sup>-1</sup> Grain	合计/g·株 <sup>-1</sup> Total
施 Zn 肥	8.8652	7.6356	5.3600	11.4272	33.2880
对 照	8.5432	6.8583	5.0817	11.6474	32.1306
比对照(±)/%	3.77	11.33	5.48	-1.89	

\*表中均为 3 次重复平均值。

籽粒是冬小麦体内 Zn 含量最高部位,茎中 Zn 浓度较低,长期施 Zn 处理可改变叶和壳 Zn 浓度顺序。长期施 Zn 处理冬小麦各部位 Zn 浓度均高于未施锌处理,且以茎中最明显,比对照高 240.83%,其次为叶和籽粒,而壳中仅比对照高 9.03%。Zn 在冬小麦各器官的积累分配也呈相同趋势,这与张怀渝等<sup>[6]</sup>研究结果一致。长期施 Zn 处理冬小麦茎、叶中 Zn 分配大于未施锌处理,而壳和籽粒中 Zn 分配则小于未施锌处理,这是因为作物对 Zn 的吸收主要是受代谢控制的主动吸收过程,作物从土壤中吸收更多的 Zn,Zn 在韧皮部中移动性较差,且在作物体内再利用程度较低<sup>[7]</sup>,而在衰老器官如茎、叶中积累量相对较多所致,但其总体趋势仍为籽粒大于茎叶。

### 2.3 长期施 Zn 土壤-作物系统中 Zn 素平衡状况

养分平衡以土壤养分库收入和支出相抵

重、籽粒重量比未施锌处理分别降低 10% 和 1.89%,但地上部生物总量仍高于未施锌处理。

土壤中 Zn 含量对作物体内 Zn 积累影响较大,长期施用 Zn 肥处理影响 Zn 在作物体内含量和累积,且对其在作物体内各器官的分配也有一定影响。作物对 Zn 的吸收见表 3,表 3 表明长期施锌处理冬小麦体内 Zn 浓度分布模式为籽粒>叶>壳>茎,而未施 Zn 处理为籽粒>壳>叶>茎。

表 3 植株中 Zn 含量

Tab.3 Zinc content in crop

项 目 Items	茎 Bine	叶 Leaf	壳 Shell	籽粒 Grain	植株 Crop
浓 度 Zn /mg·kg <sup>-1</sup>	8.18	10.91	8.69	22.39	13.77
对照/mg·kg <sup>-1</sup>	2.40	7.13	7.97	18.78	10.23
比对照(±)/%	240.83	53.02	9.03	19.22	34.60
积 累 量 Zn /μg·株 <sup>-1</sup>	7.25	8.33	4.66	25.59	45.83
对照/μg·株 <sup>-1</sup>	2.05	4.89	4.05	21.87	32.86
比对照(±)/%	253.66	70.35	15.06	17.01	39.47
分 配 率 Zn / %	15.82	18.18	10.17	55.84	-
对 照 / %	6.24	14.88	12.33	66.56	-

表4 Zn在土壤-作物系统中的平衡状况

Tab.4 Balance state of zinc in soil-crop system

处 理 Treatments	输入/kg·hm <sup>-2</sup> Input			输出/kg·hm <sup>-2</sup> Output		平 衡 Balance state
	肥 料 Fertilizer	降水与种子 Precipitation and seeds	总输入 Total input	地上部带走 Harvested	总输出 Total output	
施Zn肥	3.410	0.001	3.411	0.140	0.140	3.271
对 照	0.000	0.001	0.001	0.112	0.112	-0.111

后的盈亏量表示,本试验条件下不存在养分流失,故旱地淋溶渗漏可忽略不计,降水和种子输入的养分引用监测资料,由此可得到土壤-作物系统 Zn 素平衡状况。表 4 表明长期施用 Zn 肥处理使 Zn 在土壤中有较多积累,而未施 Zn 肥处理土壤则呈现 Zn 亏缺。Zn 素在土壤-作物系统中的平衡在无 Zn 肥投入下处于较大亏缺状态,这是因土壤无 Zn 素的补给而作物却从土壤中吸收较多的 Zn 素所致,这与余存祖等<sup>[8]</sup>对该区 Zn 素的平衡研究结论一致。一旦投入 Zn 肥土壤中 Zn 库则有较大的补给,呈现出盈余状况。

### 3 小 结

长期施用 Zn 肥可引起 Zn 在土壤中的积累,且剖面土壤有效态含量均高于对照处理,0~100cm 剖面平均有效锌含量达 0.875mg/kg,已高于 Zn 肥有效施用的临界值(0.500mg/kg);作物从土壤中吸收的 Zn 量也大大增加,冬小麦各器官及整个植株 Zn 浓度和积累量均高于对照,只是其分配有所不同。土壤中的 Zn 通过被作物吸收而向生态系统迁移,这种迁移是土壤与人、畜健康产生联系的重要环节。余存祖等<sup>[9]</sup>研究发现土壤与农作物中 Zn 浓度之间的关系可用幂函数表达。张怀渝等<sup>[6]</sup>研究 Zn 在土壤-作物系统中的转移与利用时发现,施入土壤中的 Zn 肥当季被作物地上部利用的仅有 2.39%,而大部分(88.84%)Zn 素以各种形态残留于土壤,表明 Zn 在土壤中的富集能力很强,当季施入 Zn 的转移率很低,长期施用 Zn 肥可能带来 Zn 污染的潜在危险。本试验研究发现长期施用 Zn 肥处理土壤中的 Zn 有较大盈余,作物携出量仅占当季施 Zn 量的 4.11%,长期施用 Zn 肥作物体内 Zn 含量未超标,但却引起 Zn 在土壤中的富集,对土壤生态环境造成潜在危害。

### 参 考 文 献

- 1 刘新保,褚天铎,杨清等.不同施锌水平对冬小麦含锌量及其他营养元素影响研究.硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术会论文集.成都:成都科技大学出版社,1993.300~304
- 2 杨清等.小麦锌肥施用量试验.农业环境保护,1988,7(4):30~31
- 3 张燕卿.小麦锌肥营养初报.土壤肥料,1991(1):29~32
- 4 余存祖,彭琳,刘耀宏等.黄河中游地区土壤背景值与八个城市土壤元素富集的研究.环境科学,1986,7(2):69~73
- 5 彭琳,彭祥林,李鼎新等.壤土的锌肥肥效和磷、锌关系.土壤学报,1980,17(1):62~68
- 6 张怀渝,王化新,吴素琼等.微量元素锌在土壤-植物-动物生态系统中的循环转移与利用 I.微量元素锌在土壤-植物系统中的转移与再利用.四川农业大学学报,1999,17(4):374~377
- 7 刘福来.土壤植物系统中锌的研究概况.土壤肥料,1998(5):10~14
- 8 余存祖,戴鸣钧,刘耀宏等.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.北京:科学技术文献出版社,1991.169~175
- 9 余存祖,彭琳,刘耀宏等.黄河中游土壤锌、铜、铁、锰、铝、硼含量分布与迁移及其生态环境效应.环境中重金属研究文集.北京:科学出版社,1988
- 10 Takkar P. N., Mann M. S. Evaluation of analytical methods for estimating available zinc and response of maize to applied zinc in major soil series of ludhiana, puniab(India). Agrochimica,1975,19:420~430
- 11 Rathore G. S., Gupta G. P., Khamparia R. S., et al. Response of wheat to zinc application in alluvial soils of morena district, Madhya pradesh. J. Indian Soc. Soil Sci.,1978,26:58~61
- 12 Brown A. L., Quick J., Eddings J. L. A comparison of analytical methods for soil zinc. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1971,35:105~107
- 13 Lindsay W. L., Norvell W. A. A new DTPA-TEA soil test for Zn and Fe Agron. Abstr., 1969.84