

黄土区旱地长期施用微肥对小麦产量的影响

郝明德¹, 魏孝荣², 党廷辉¹

(1. 中国科学院水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 以已进行18年的微量元素肥料定位试验为背景, 研究了长期施用微肥条件下小麦的增产效应。施入微肥后, 籽粒、秸秆中微量元素含量增加。长期定位施用硼肥平均增产112.8 kg/(hm²·a), 增产率达4.5%; 施用锌肥平均增产110.4 kg/(hm²·a), 增产率达4.4%; 施用锰肥平均增产92.2 kg/(hm²·a), 增产率达3.7%; 施用铜肥平均增产188.5 kg/(hm²·a), 增产率达7.6%。在不同降水年型微肥的增产作用不同, 硼肥在常态年增产作用显著, 增产率为8.0%, 干旱年增产率为2%, 丰水年不增产; 锌肥在不同降水年型增产作用较为稳定, 常态年增产为4.3%, 干旱年增产率为7%, 丰水年增产率为5.4%; 锰肥丰水年增产显著, 增产率为9.0%, 常态年、干旱年增产率分别为2.7%、1.3%。铜肥在常态年、干旱年增产率分别为10.7%、9.5%, 丰水年不增产。在目前微肥价格下, 施用硼、锌、锰、铜微肥有较好的经济效益。

关键词: 长期定位试验; 土壤微量元素; 小麦产量

中图分类号: S143.7 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2003)01-0025-04

Effects of Long-term Micronutrients Fertilization on Wheat Yield in Dryland of Loess Region

HAO Ming-de¹, WEI Xiao-rong², DANG Ting-hui¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Based on a long-term located experiment of applying micronutrients fertilizer for 18 years, it was investigated on effects of long-term applying micronutrients fertilizer on wheat yield. Contents of micronutrients in grain and stalk were increased by applying micronutrients. By applying B fertilizer, average yield was increased by 112.8 kg/(hm²·a), with a increase rate of 4.5%; by applying Zn fertilizer, average yield was increased by 110.4 kg/(hm²·a), with a increase rate of 4.4%; by applying Mn fertilizer, average yield was increased by 92.2 kg/(hm²·a), with a increase rate of 3.7%; by applying Cu fertilizer, average yield was increased by 188.5 kg/(hm²·a), with a increase rate of 7.6%. Effects of micronutrients fertilizer on yield were different in differernt partners of annual rainfall. The effect of B fertilizer was significant in normal year, with a increase rate of 8.0%. However, its increase rate was 2% in dry year and its effect was not significant in moist year. Effects of Zn fertilizer on yield were steadier in differernt pattern of annual rainfall, its increase rates in normal year, dry year and moist year were 4.3%, 7% and 5.4%, respectively. The effect of Mn fertilizer was significant in moist year, with a increase rate of 9.0%, however, its increase rates were 2.7%, 1.3% in normal year and dry year respectively. The increase rate of Cu fertilizer were 10.7% and 9.5% in normal year and dry year respectively, Cu fertilizer had no significant effect in moist year. Applying B, Zn, Mn and Cu fertilizer can get benefit greatly according to the present micronutrients fertilizer price.

Key words: long-term located experiment; micronutrients fertilizer; wheat yield

收稿日期: 2002-11-25
基金项目: 国家自然科学基金项目(40171058); 中国科学院知识创新方向性项目(KZCX2-413); 国家科技攻关(2001BA508B18)。
作者简介: 郝明德(1957-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。

20 世纪 40 年代,我国开始研究微量元素对植物生长发育的影响。崔徽^[1]首次成功地证明了锌在生长素合成中的作用。罗宗洛(1945 年)报道了微量元素对水稻、小麦、玉米种子萌发和淀粉水解的影响。金成忠(1948 年)发现锰能促进菜豆中淀粉的水解。黄宗甄(1945 年、1947 年、1948 年)研究微量元素对花粉萌发和花粉管生长的影响。随后开展土壤微量元素研究和微肥应用试验^[2],70 年代以来我国微量营养元素的研究与应用取得很大进展,查明我国土壤微量元素含量分布及丰缺状况^[3],总的趋势是东南部土壤有效硼含量不足,北部石灰性土壤有效锌、锰、铁不足。发现生产上有大面积油菜、棉花、甜菜等作物缺硼,水稻、玉米、小麦等作物缺锌、锰、铜等,禾本科牧草、大豆、花生等作物缺钼、铁,粮、棉、油、菜、果、药等 30 多种作物施用微肥增产显著^[4],制订了几种主要农作物施用锌、硼肥的技术规范^[5],针对性地施用微肥增产显著。黄土区每年施用锌肥在 667 万 hm²、施用锰肥在 33.3 万 hm²、施用硼肥在 66.7 万 hm² 左右^[6]。为了深入了解微量元素肥料的增产效应,我们在黄土地区旱塬进行了小麦长期施用微量元素的定位试验。本文以已进行了 18 年的微量元素肥料定位试验为材料,分析了长期施用微肥的作用,以期对微肥的合理施用提供理论依据。

1 试验条件与研究方法

1.1 试验概况

试验区属暖温带半湿润大陆季风气候区。试验地海拔 1 200 m,年均气温 9.1℃,无霜期 171 d,多年平均降水 578.5 mm。试验于 1984 年布设在陕西省长武县十里铺塬地上,土壤为黏盖黑垆土,试验开始时土壤(耕层 0~20 cm)基本农化性状为:有机质含量 10.5 g/kg,全 N 含量 0.57 g/kg,碱解氮含量 37.0 mg/kg,速效磷含量 2.2 mg/kg,速效钾含量 129.3 mg/kg,CaCO₃10.84%,pH 8.1。试验地在黄土高原沟壑区有一定代表性。

1.2 试验设计

试验设计共 24 个处理,三次重复,随机排列。小区面积 22 m²。本文选择 CK(N 60 kg/hm²,P 26.4 kg/hm²)、B(硼砂 11.25 kg/hm²,含 B 11.3%)、Zn(ZnSO₄15 kg/hm²,含 Zn 22.73%)、Mn(MnSO₄22.5 kg/hm²,含 Mn 25.8%)、Cu(Cu-SO₄15 kg/hm²,含 Cu 25.45%) 五个处理,就施用微肥后的产量及吸硼、锌、锰、铜微肥特性进行研究。供试小麦品种 1984 年、1985 年用秦麦 4 号,1986~1995 年用长武 131,1996 年以后用长武 134,试验期内播种期 9 月 12 日~29 日,小麦收获期为 6 月中、下旬。氮素化肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,于作物播种前撒施地表,翻入土中。微肥采用开沟溜入播种行,田间管理同大田。

1.3 不同降水年型划分

试验区属暖温带半湿润大陆季风气候区,多年平均降水 578.5 mm。试验期间年平均降水 548.4 mm,比多年平均减少 30.1 mm,减少 5.2%。是历史上少有干旱频发期,特大干旱年数次出现,以 1992 年、1995 年最为显著,在干旱最严重的 1995 年,降水仅 296 mm,占多年平均降水的 50.7%,与

历史上旱灾最严重的 1929 年大旱降水量持平,造成粮田大面积绝收。为了便于分析,我们采用“生育年”概念,即从上季小麦收获后的 7 月至翌年的 6 月为小麦生育年,以生育年降水量增减在 10% 以内为常态年,以生育年降水量减少在 10% 以上为干旱年,以生育年降水量增加 10% 以上为丰水年。在试验进行的 18 年中常态年有 9 年,占 50%,干旱年有 5 年,占 27.8%,丰水年有 4 年,占 22.2%。生育年降水与休闲期降水呈正相关、相关系数达 0.91^{*},可依据休闲期降水量确定肥料用量及管理措施。

2 结果与分析

2.1 微肥对小麦籽粒产量的影响

黄土地区属于石灰性土壤,碳酸盐含量和 pH 都较高,土壤有机质含量低,加之受土壤侵蚀的影响,土壤微量元素的可供性较低,作物缺乏微量元素现象较为普遍。彭琳、余存祖等人在黄土区主要农业土壤如黄绵土、土上,进行了玉米、苜蓿、胡麻、水稻、小麦、谷子、棉花微肥效应大量的田间试验工作^[6],进行硼肥 511 组、锌肥 354 组、锰肥 222 组、铜肥 135 组田间试验,施硼增产机率达 87%,平均增产 12.2%;施锌增产机率达 75%,平均增产率 14.2%;施锰增产机率达 65.7%,平均增产率 12.2%;施铜增产机率达 46.6%,平均增产率 10.3%。近年来随着作物产量的提高,土壤中微量元素消耗也随着增加,施用微肥已引起普遍重视。

2.1.1 微肥增产作用 硼、锌、锰、铜是植物生长所必需的微量营养元素,起调节、促进植物生理生长的作用。缺乏微量元素时,植物生长发育出现停滞状态。土壤中微量元素是植物吸收微量元素的主要来源,土壤中微量元素含量低,是造成微量元素缺乏的主要原因。施用微肥能影响土壤中微量元素的含量以及供应,大面积施用微肥有较好的增产作用。18 年长期定位施用硼肥增产机率达 61.1%,平均增产 112.8 kg/(hm²·a),增产率达 4.5%;施用锌肥增产机率达 66.7%,平均增产 110.4 kg/(hm²·a),增产率达 4.4%;施用锰肥增产机率达 66.7%,平均增产 92.2 kg/(hm²·a),增产率达 3.7%;施用铜肥增产机率达 66.7%,平均增产 188.5 kg/(hm²·a),增产率达 7.6%;在目前微肥价格下,施用硼、锌、锰、铜微肥有较好的经济效益。

2.1.2 不同降水年型微肥增产作用 微肥在不同降水年型增产作用不同。硼肥在常态年增产 208.0 kg/hm²,增产率为 8.0%,干旱年硼肥增产 40.8 kg/hm²,增产率为 2%,丰水年硼肥不增产;锌肥在不同降水年型增产作用较为稳定,常态年锌肥增产 110.4 kg/hm²,增产率 4.3%,干旱年锌肥增产 139.5 kg/hm²,增产率为 7%,增产显著,丰水年锌肥增产 154.7 kg/hm²,增产率为 5.4%;常态年锰肥增产 69.5 kg/hm²,增产率 2.7%,干旱年锰肥增产率为 1.3%,丰水年锰肥增产显著,增产 257.8 kg/hm²,增产率为 9.0%。施用铜肥常态年增产 276.2 kg/hm²,增产率为 10.7%,干旱年增产 191.0 kg/hm²,增产率为 9.5%,丰水年不增产。在农业生产中应根据降水年型采用微肥施用技术。

表 1 连续 18 年施用微肥小麦的增产机率

处 理	年数/a 增产机率/%		常 态 年		干 旱 年		丰 水 年	
			年数/a	增产机率/%	年数/a	增产机率/%	年数/a	增产机率%
B	11	61. 1	4	44. 4	4	80	3	75. 0
Zn	12	66. 7	6	66. 7	3	60	3	75. 0
M n	12	66. 7	5	55. 6	3	60	4	100
C u	12	66. 7	6	66. 6	4	80	2	50. 0

表 2 连续 18 年施用微肥小麦的增产效果 kg/hm²

处 理	平均产量	增产量	常 态 年		干 旱 年		丰 水 年	
			产量	增产量	产量	增产量	产量	增产量
CK	2488. 0		2584. 6		2006. 9		2872. 3	
B	2600. 8	112. 8	2792. 6	208. 0	2047. 7	40. 8	2860. 8	- 11. 5
Zn	2598. 4	110. 4	2695. 0	110. 4	2081. 4	139. 5	3027. 4	154. 7
M n	2580. 2	92. 2	2654. 1	69. 5	2032. 2	25. 3	3130. 1	257. 8
C u	2676. 5	188. 5	2860. 8	276. 2	2197. 9	191. 0	2860. 1	- 12. 2

在旱地农业生产中, 一个显著的特点是旱作产量随降水量而波动, 1992 年、1995 年小麦产量降低的原因是生育年降水量减少, 1999 年产量减少的原因是生育期降水偏少, 生育年降水量波动大, 旱作小麦产量波幅大。如 CK 最高产量与最低产量波幅为 3. 75, 施硼处理为 3. 33, 施锌处理为 3. 5, 施锰处理为 3. 01, 施铜处理为 3. 64, 施用不同微肥减少了旱作产量的波动性程度也不同(图 1)。

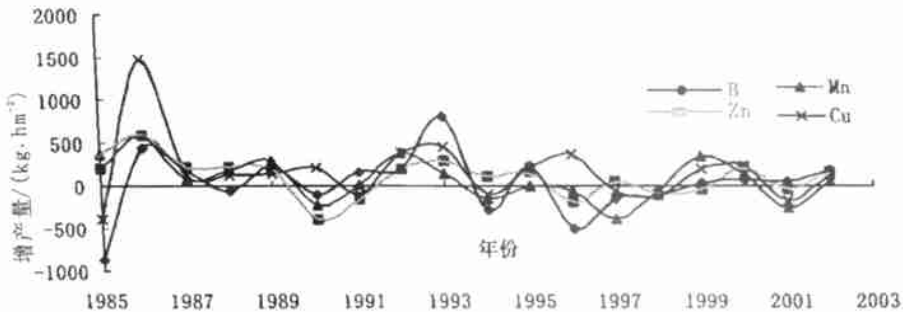


图 1 连续施用微肥小麦增产量变化

2.1.3 微肥对小麦产量性状的影响 不同降水年型对小麦的产量结构影响不同, 普遍表现为在丰水年小麦的成穗数增加, 干旱年份减少, 丰水年的成穗数较常态年增加 11% ~ 17. 6%, 较干旱年增加 21. 8% ~ 28. 9%。穗粒数在干旱年份减少, 丰水年增加, 干旱年的穗粒数较常态年减少1. 0 ~ 1. 8 粒, 较丰水年减少 3. 3 ~ 6. 6 粒, 千粒重在丰水年平均 55. 7 g, 常态年平均 48. 4 g, 干旱年平均 45. 4 g, 丰水年比常态年增加 13. 1%, 比干旱年增加 18. 5%。不同微肥处理间的穗粒数、成穗数、千粒重在不同降水年型间变化及对产量的影响, 有待于进一步深入研究。

表 3 不同降水年型施用微肥小麦产量结构性状的变化

处 理	常态年			干旱年			丰水年		
	成穗数/ (个·hm ⁻²)	穗粒数 /个	千粒重 /g	成穗数/ (个·hm ⁻²)	穗粒数 /个	千粒重 /g	成穗数/ (个·hm ⁻²)	穗粒数 /个	千粒重 /g
CK	320. 3	20. 7	48. 7	274. 0	19. 5	46. 0	424. 7	23. 5	54. 9
B	305. 4	20. 3	49. 5	273. 3	18. 6	43. 9	351. 8	23. 6	54. 7
Zn	320. 9	20. 6	47. 4	286. 6	19. 4	46. 8	408. 2	21. 7	55. 5
M n	309. 4	21. 1	47. 9	263. 2	19. 8	45. 4	384. 1	22. 8	57. 8
C u	328. 6	21. 2	48. 3	285. 1	20. 2	44. 9	391. 0	25. 6	55. 8

2.2 小麦收获期微量元素含量变化

通过对 2001 年、2002 年小麦收获期微量元素含量测定, 施入硼、锌、锰、铜微肥后, 小麦对铜、锌、锰等微量元素的吸收发生明显变化(表 4), 小麦籽粒、秸秆的含锌、锰、铜量增加, 小麦籽粒中含锌量较对照增加 3. 35 mg/kg, 增加率为 15. 1%, 秸秆含锌量较对照增加 1. 21 mg/kg, 增加率为 16. 7%。小麦籽粒秸秆含锰量较对照增加 12. 93 mg/kg 和 9. 10 mg/kg, 增加率为 26. 3%、19. 9%, 小麦籽粒含铜量增

加 1.04 mg/kg, 增加率为 27.4%, 秸秆的含铜量增加 0.93 mg/kg, 增加率为 13.6%; 施入锌、锰、铜微量元素肥料后, 籽粒、秸秆中的锌、锰、铜含量增加, 根据这一特点, 可用于某些功能食品的加工或饲料加工, 改善人体或畜禽的微量元素营养。

表 4 连续施用微肥小麦微量元素含量变化 mg/kg						
处 理	籽 粒			秸 秆		
	含锌量	含锰量	含铜量	含锌量	含锰量	含铜量
CK	22.12	49.15	3.80	7.23	45.71	6.83
B	21.28	59.54	4.36	6.61	41.75	6.46
Zn	25.47	65.41	4.43	8.44	43.83	7.59
Mn	21.34	62.08	4.24	6.42	54.81	8.15
Cu	19.21	63.03	4.84	6.68	46.11	7.76

注: 表中数据为 2001 年、2002 年两年平均。

2.3 施用微肥对小麦吸收锌的影响

对照处理 18 年通过收获小麦从土壤中携带走有效锌 1 713.12 g/hm², 其中籽粒占 54.95%, 秸秆占 45.05%; 携带走有效锰 6 970.7 g/hm², 籽粒占 30%, 秸秆 70%; 有效铜 890.74 g/hm², 籽粒占 18.16%, 秸秆占 81.84%。18 年共施入硼肥 22.86 kg/hm²; 施入锌 61.37 kg/hm², 施 Zn 处理较 CK 多吸收锌 349.94 g/hm², 通过收获小麦携带有效锌占施入锌量的 0.57%; 施入锰 104.49 kg/hm², 施锰处理较 CK

多吸收锰 1 856.68 g/hm², 携带的锰量占施入锰量的 1.77%; 施入铜 68.72 kg/hm², 施铜处理较 CK 多吸铜 138.46 g/hm², 携带的铜量占施入铜量的 0.2%。通过收获小麦所带走的微量元素锌、锰、铜量占施用量较小, 大部分残留在土壤中, 增加了土壤微量元素含量, 微量元素的供应状况也随之发生变化, 如施锌后 锌素在土壤中大量累积, 累加施锌量与土壤有效锌累积量呈正相关, 土壤有效锰、有效铜也随施肥量增加而增加的趋势, 有关长期施用微量元素对土壤生态环境的影响有待于进一步研究。

3 结果与讨论

(1) 微肥在不同降水年型增产作用不同, 硼肥在常态年增产作用显著, 增产率为 8.0%, 干旱年硼肥增产率为 2%, 增产作用不甚明显, 丰水年硼肥不增产, 平均增产率达 4.5%; 锌肥在不同降水年型增产作用较为稳定, 常态年锌肥增产率 4.3%, 干旱年增产率为 7%, 丰水年增产率为 5.4%, 平均增产率达 4.4%; 常态年锰肥增产率 2.6%, 干旱年锰肥增产率为 1.3%, 丰水年锰肥增产显著, 增产率为 9.0%, 平均增产率达 3.7%; 施用铜肥常态年增产 261.4kg/hm², 增产率为 10.7%, 干旱年增产 191.04 kg/hm², 增产率为 9.5%, 丰水年不增产, 平均增产率达 7.6%。在农业生产中应根据降水年型采用微肥施用技术。

表 5 18 年连续施用微肥小麦吸量 g/hm ²									
处 理	籽 粒			秸 秆					
	吸铜量	吸锌量	吸锰量	吸铜量	吸锌量	吸锰量	吸铜量	吸锌量	吸锰量
CK	161.72	941.40	2091.76	729.02	771.72	4879.00	890.74	1713.12	6970.76
B	188.22	918.66	2570.35	708.23	724.67	4577.15	896.45	1643.33	7147.50
Zn	196.47	1129.59	2900.92	839.46	933.47	4847.62	1035.93	2063.06	7748.54
Mn	186.79	940.12	2734.89	905.93	713.63	6092.55	1092.72	1653.75	8827.44
Cu	221.64	879.7	2886.42	807.56	695.16	4798.51	1029.20	1574.87	7684.92

(2) 施入锌、锰、铜微量元素肥料后, 籽粒、秸秆中的锌、锰、铜含量增加, 小麦籽粒中含锌、锰、铜量较对照分别增加了 3.35 mg/kg、12.93 mg/kg、1.04 mg/kg, 小麦秸秆的含锌、锰、铜量较对照分别增加 1.21 mg/kg、9.10 mg/kg、0.93

mg/kg, 根据这一特点, 可用于某些功能食品的加工或饲料加工, 改善人体或畜禽的微量元素营养。施入微量元素后, 土壤中微量元素含量随施用量的增加而增加, 将对土壤、植株微量元素营养产生影响, 这有待于进一步深入研究。

参考文献:

[1] Tsui C(崔徵) .The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant[J] . Amer. J. Bot, 1948, 25, 172– 179.
[2] 刘铮. 中国科学院微量元素学术交流会汇刊[Z] . 北京: 科学出版社, 1980.
[3] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M] . 北京: 中国农业出版社, 1998.
[4] 农业部农业局. 微量元素肥料研究与应用[M] . 武汉: 湖北科技出版社, 1986.
[5] 全国微肥科研协作组. 几种主要农作物锌、硼肥施用技术规范[J] . 土壤肥料, 1989, (3): 6– 9, (5): 41– 45, (6): 1– 4.
[6] 彭琳, 等. 黄土地区土壤中锌的含量分布、锌肥肥效及其有效施肥条件[J] . 土壤学报, 1983, 20(4): 361– 372.
[7] 余存祖, 等. 施用微量元素对农产品中营养成分浓度的影响[J] . 微量元素, 1985(3): 36.
[8] 史吉平, 张天道, 林葆. 长期定位施肥对土壤中微量营养元素的影响[J] . 土壤肥料, 1999(1): 3– 6.
[9] 金星耀, 梅守荣, 杨永清. 肥料定位试验中微量元素的变化[J] . 上海农业科技, 1984(6): 12– 13.
[10] Hodgson J F et al. Micronutrient cation complexing in soil solution from calcareous soils[J] . Soil Sci Am Proc, 1966, 30, 723– 725.