

黄土高原地区长期施用微肥土壤 Cu、Zn、Mn、Fe 含量的时空变化

李丽霞, 郝明德*

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 以 19 年微肥定位试验为基础, 研究了长期施用微肥条件下冬小麦土壤 Cu、Zn、Mn、Fe 含量的时空变化。结果表明, 长期施用微肥能增加土壤耕层相应微量元素含量, 施铜肥的土壤耕层有效 Cu 含量增加 5 倍以上; 施锌肥的土壤耕层有效 Zn 含量增加 3.58 倍。从剖面变化看, 不同处理土壤有效 Cu 的变化趋势一致, 且耕层以下各土层有效 Cu 含量低于耕层, 土壤有效 Zn 的变化趋势与之相似; 土壤有效 Mn 在 80cm 土层含量较高, 80cm 以上以及下面的土层中 Mn 含量明显低于 80cm 土层, 在土壤剖面上有效 Mn 存在淋溶和累积现象。施用不同微肥对土壤有效 Fe 含量的影响各不相同。

关键词: 长期定位试验; 微量元素; 剖面分布; 黄土高原

中图分类号: S153.6⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2006)01-0044-05

Temporal and spatial variation of Cu, Zn, Mn and Fe content in soils with long term trace fertilizer application on the Loess Plateau

LI Li-xia, HAO Ming-de*

(Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MOWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the 19 years fix position experiment on microelement fertilizer application on the Loess Plateau, the distribution of trace elements on soil profile was studied in this paper. The result showed that the content of available trace element was increased in topsoil after 19-year application of microelement fertilizer, in which the content of available Cu and Zn was increased by more than 5 times and 3.58 times, respectively. In term of the spatial variation in the profile, the change tendency of available Cu of all treatments was unanimous, and the available Cu content under the topsoil was lower than that on the topsoil. The change tendency of available Zn showed a similar pattern to that of Cu. The highest content of Mn on soil profile was observed in the layer of 80cm, the content of available Mn in other layers were obviously lower than that in 80cm soil layer, indicating that eluviations and accumulation of available Mn occurred. The effect of microelement fertilize application on the content of available Fe was divergent.

Key words: long-term fix position experiment; microelement; distribution in profile; Loess Plateau

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, 70 年代以来, 我国对微量元素的研究与应用取得了很大进展^[1-4], 基本上查明了我国土壤微量元素的含量、分布及丰缺状况^[5]。随着农业生产的发展和作物产量的大幅度提高, 作物对微量元素的需求量日益增加, 对微量元素的研究

逐渐引起了人们的重视。彭琳、余存祖等人在黄土高原地区对土壤微量元素的含量与形态分布, 微肥的有效施用条件与施用技术以及微量元素与生态环境效应方面进行了较全面的研究^[6-8], 但长期施用微肥后微量元素在土壤剖面上的含量与分布状况报道较少。本试验以 19 年微肥定位试验为基础, 研究

收稿日期: 2004-09-12

修改稿收到日期: 2005-04-13

基金项目: 中科院野外台站基金, 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413); 国家科技攻关项目(2001BA508B18)资助。

作者简介: 李丽霞(1979—), 女, 山东东营人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与生态环境方面的研究。* 通讯作者

黄土高原地区长期施用微肥条件下土壤主要微量元素含量的剖面分布状况,以期为微肥的合理施用和土壤环境评价提供依据。

1 材料与方法

试验区位于黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺村塬地上,农业生产全部依赖天然降水,属典型的旱作农业区。年均气温 9.1℃,无霜期 171d,属暖温带半湿润型季风气候。1984~2002 年试验期间年平均降水 548.4mm,降雨主要集中在 7~9 月,占年降雨总量的 57% 左右。供试土壤为粘质黑垆土,试验开始时土壤耕层有机碳含量为 6.09 g/kg,全氮含量 0.77g/kg,有效 N 含量 37.0 mg/kg,有效磷含量 3.0 mg/kg,速效钾含量 129.3 mg/kg,有效锌含量 0.084 mg/kg,有效锰含量 2.844 mg/kg,有效铜含量 1.008 mg/kg,有效硼含量 0.148 mg/kg,土壤肥力水平较低。

试验设: 1) CK (对照, N 60 kg/hm² + P 26.4 kg/hm²); 2) B (施 B, Na₂B₄O₇ 11.25 kg/hm² 含 B 11.3%); 3) Zn (施 Zn, ZnSO₄ 15 kg/hm² 含 Zn 22.73%); 4) Mn (施 Mn, MnSO₄ 22.5 kg/hm² 含 Mn 25.8%) 和 5) Cu (施 Cu, CuSO₄ 15 kg/hm² 含 Cu 25.45%) 共 5 个处理,重复 3 次。试验从 1984 年开始连续种植冬小麦(品种 1984 年、1985 年为秦麦 4 号,1986~1995 年为长武 131,1996 年以后为长武 134)。小麦播种期为 9 月 12 日至 9 月 29 日,收获期为 6 月下旬。氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙,均于播种前撒施地表,翻入土壤;各种微肥在播种时开沟溜入播种行,试验管理为常规管理,不浇灌,属旱作雨养农业。

2003 年 9 月中旬采集土样,采样深度为 200cm,每 20cm 为一层。土壤有效 Cu、有效 Zn、有效 Fe 用 DTPA 溶液浸提,有效 Mn 用对苯二酚-1N NH₄OAc 浸提,原子吸收法测定。试验所得数据用 DPS 软件进行 SSR 检验,用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 长期施用 Cu、Zn、Mn、B 肥对土壤有效 Cu 含量的影响

土壤中有有效 Cu 含量变化与培肥条件、土壤特性和土地利用方式等密切相关。长期微肥定位试验的结果说明,施铜肥可以有效地补充和增加土壤 Cu 营养供应,它不仅增加了 0—20cm 土层的土壤有效 Cu 含量(表 1),而且 20—40cm 土层的土壤有效 Cu 含

量也有较明显增加。试验发现,施铜肥的土壤耕层有效 Cu 含量增加 5.7 倍以上;施用锰肥和锌肥的土壤耕层有效 Cu 含量分别增加 77.19% 和 8.76%;施用硼肥的土壤耕层有效 Cu 含量略有降低(表 1)。施用不同微肥深层土壤有效 Cu 含量差异不显著,有效 Cu 含量在 20—60cm 降低,在 60—100cm 含量略有增加,100cm 以下土壤有效 Cu 含量随土层深度的增加而逐渐减少(图 1)。连续不施肥条件下,土壤中有有效铜含量下降很快^[9],施肥能较显著地增加土壤有效铜含量^[10-12]。

表 1 长期施用微肥耕层微量元素含量

Table 1 The content of trace elements in the cultivated layer of soil (mg/kg)

处理 Treat.	有效 Cu Avai. Cu	有效 Zn Avai. Zn	有效 Mn Avai. Mn	有效 Fe Avai. Fe
CK	0.776	0.561	151.2	5.208
Cu	5.240**	0.548**	167.7**	5.143*
Zn	0.844**	2.568**	165.3**	6.159**
Mn	1.375**	0.496**	191.3**	6.060**
B	0.748*	0.731**	162.4**	5.917**

注(Note): *、** 分别表示差异达 5%、1% 显著水平。* and ** means significant at 5% and 1% levels, respectively.

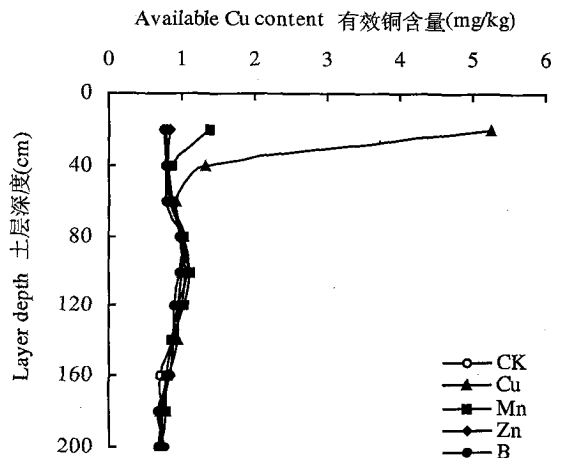


图 1 有效 Cu 含量的剖面变化

Fig.1 The variation of available Cu in soil profile

2.2 长期施用 Zn、Cu、Mn、B 微肥对土壤有效 Zn 含量的影响

作物每季从土壤中带走大量的有效 Zn,而土壤缓效 Zn 转化速度较慢,所以不施肥或单施氮、磷、钾化肥土壤有效 Zn 含量明显降低。土壤有效 Zn 还与

土壤 pH 密切相关,高 pH 的石灰性土壤锌的有效性低,主要是由于粘粒和碳酸钙对锌的吸附;另外,高浓度重碳酸根离子(HCO_3^-)强烈抑制锌的吸收和向地上部转移^[13]。施用锌肥是改变土壤有效锌含量的重要途径之一。施用锌肥可大幅度提高耕层土壤有效 Zn 含量,与 CK 相比增加 3.5 倍以上;施硼肥促进土壤锌向有效态的转化,能提高 0—20cm 土层的土壤有效 Zn 含量;施锰肥和铜肥对耕层土壤有效 Zn 含量的影响不显著(表 1)。从剖面变化看(图 2),0—60cm 土层有效 Zn 含量迅速下降,施用不同微肥的土壤有效 Zn 含量差异显著;60cm 以下土壤有效 Zn 含量变化较小,不同处理间差异不显著。长期施用锌肥土壤剖面有效 Zn 含量明显增加,每公顷土地的土壤耕层有效 Zn 储量比对照多 5.778kg,表明冬小麦播种时施锌肥能改善土壤对植物的 Zn 营养供应。还有研究表明,有机肥单施或与无机肥配施均显著提高土壤有效 Zn 含量^[14-18]。

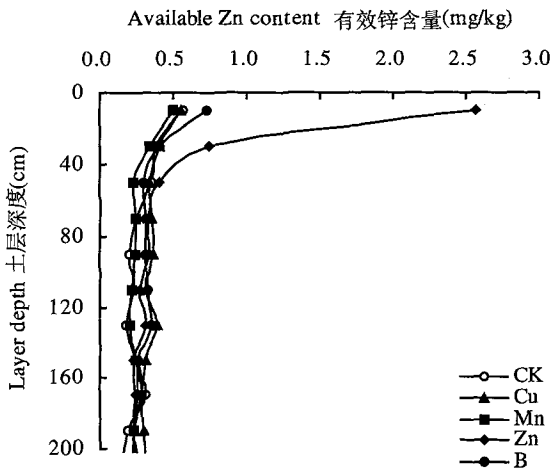


图 2 有效 Zn 的剖面变化

Fig.2 The variation of available Zn in soil profile

2.3 长期施用 Mn、Cu、Zn、B 微肥对土壤有效 Mn 含量的影响

锰是土壤中含量较高的微量元素,它包括交换性 Mn 和易还原性 Mn,受土壤 pH、氧化还原状况和有机质含量等土壤条件的影响。19 年定位施用锰肥耕层土壤的有效 Mn 含量增加 40.1 mg/kg,施用其它微肥也能增加耕层土壤的有效 Mn 含量,但增加量较小(表 1)。

长期施用不同微肥不能改变土壤剖面有效 Mn 的变化趋势,但对同一土层的有效 Mn 含量有一定影响。土壤剖面上有效 Mn 含量随土壤深度的增加

先增加后减小,在 80cm 左右的土层上达到有效 Mn 含量最高值,与耕层相比增加 100 mg/kg 以上(图 3),表明土壤有效 Mn 可能存在淋溶与累积现象;同一土层土壤有效 Mn 含量因施肥条件的不同而不同,因微肥种类的不同而不同,0—20cm 及 140cm 以下土层有效 Mn 含量对照最低,40—120cm 土层有效 Mn 含量低于对照,80cm 土层有效 Mn 含量施 Mn > 施 Cu > 施 B > 施 Zn,表明播前施用锰、铜、硼、锌肥可能与深层土壤有效 Mn 的淋溶与累积有关。

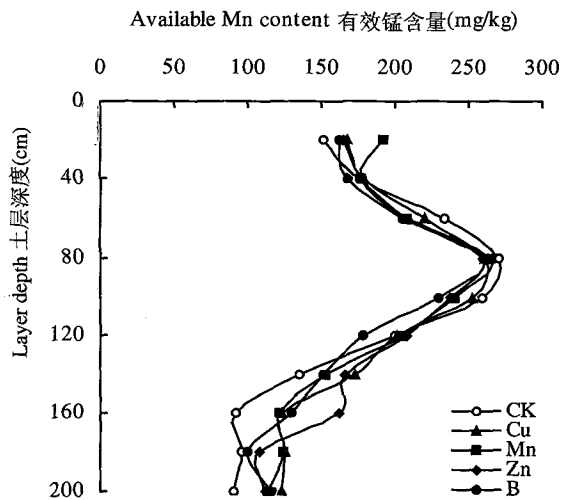


图 3 有效 Mn 含量的剖面变化

Fig.3 The variation of available Mn in soil profile

在土壤有效 Mn 组分中易还原性 Mn 容易淋溶损失,影响土壤中锰的有效性和作物对土壤锰的利用率。有研究^[20-21]表明,单施有机肥或有机肥与化肥配施,土壤有效锰含量下降,施用有机肥土壤 pH 值升高,交换态锰减少;有机肥还可使土壤还原势增强,提供了更多的还原性锰的淋溶条件,有效锰含量下降。此外,锰铁拮抗也影响锰的有效性。长期施用微肥 0—20cm 土层土壤 Mn 含量明显增加,80cm 左右土层有效 Mn 含量低于 CK(图 3),表明长期施用微肥能提高耕层土壤有效 Mn 含量,降低深层土壤有效 Mn 含量,有利于作物对土壤 Mn 的吸收利用。

2.4 长期施用 Cu、Zn、Mn、B 微肥对土壤有效 Fe 含量的影响

长期施肥对土壤中有有效铁含量影响较大。长期不施肥土壤中有有效铁含量下降^[10],单施化肥、有机肥或二者配施均可提高土壤有效铁含量。有机肥含有较多有机结合态铁,对土壤有效铁的贡献比较大。冬小麦播前长期施用锌、锰、硼肥能使耕层土壤有效

Fe 含量增加 18.26%~13.61%;施用铜肥对土壤耕层有效 Fe 含量的影响不显著(表 1)。从土壤有效 Fe 的剖面变化趋势看(图 4),施用铜肥土壤剖面有效 Fe 含量随土层深度的增加先增加后减少,100—160cm 土层土壤有效 Fe 含量最高,与 CK 的变化趋势基本吻合;施用锰、硼、锌肥,0—40cm 土层的土壤有效 Fe 含量远远高于对照,80cm 土层的土壤有效 Fe 含量最低,这可能是因为施用锰、硼、锌肥促进了作物的生长,增加了深层土壤有效 Fe 向地表的迁移,120cm 以下土壤有效 Fe 含量再次增加,这可能是土壤本身的特性以及深层土壤水分条件和氧化还原条件等环境因子综合作用的结果。

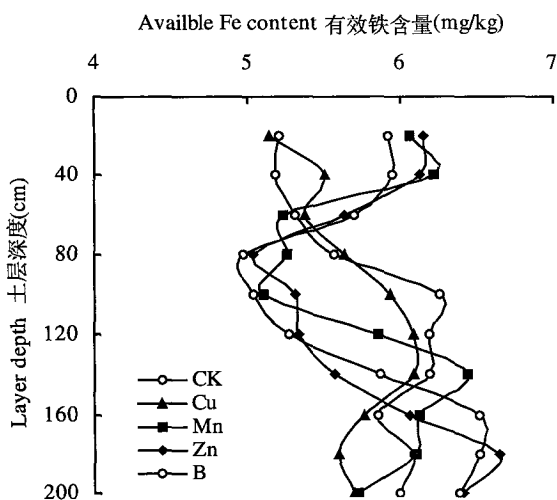


图 4 有效 Fe 含量的剖面变化

Fig.4 The variation of available Fe in soil profile

3 结论

1)长期施用微肥能增加土壤耕层相应微量元素含量,施铜肥和锌肥效果最显著。施铜肥的耕层土壤有效 Cu 含量增加 5.75 倍;施锌肥的耕层土壤有效 Zn 含量增加 3.58 倍。土壤耕层有效 Mn 含量在施用锰肥条件下增加 40.1mg/kg。

2)不同微量元素的剖面变化趋势不同,施用不同微肥对其产生的影响也不同。施用不同微肥深层土壤的有效 Cu 含量差异不显著,在 20—60cm 有效 Cu 含量降低,60—100cm 含量略有增加,100cm 以下土壤有效 Cu 含量随土层深度的增加而逐渐减少;不同处理的有效 Zn 含量在 0—60cm 差异显著且含量随土层加深而迅速下降,60cm 以下有效 Zn 含量变化较小;不同微肥处理土壤有效 Mn 的剖面变化趋势一致,有效 Mn 含量随土壤深度的增加先增加

后减小,80cm 左右土层土壤有效 Mn 含量最高,土壤 Mn 可能存在淋溶与累积现象;土壤剖面有效 Fe 变化较为复杂。

3)近年来,我国微量元素的研究取得了很大进展,但大部分都集中于短时间的和土壤耕层的研究,一些研究表明,施用微肥能够提高作物产量^[1-3,6-8],而长期施用微肥对土壤环境造成的影响也不容忽视;长期定位试验研究结果表明,长期施用微肥可能造成微量元素在土壤中的累积,如土壤有效锰的淋溶与累积;还可能造成重金属的污染,从而产生一些环境问题。因此,开展长期微肥试验,研究长期施用微肥引起的一系列问题具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘铮. 中国科学院微量元素学术交流会文集[C]. 北京: 科学出版社, 1980.
Liu Z. Symposium of academic meeting of trace elements chinese academic of science [M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [2] 李慧英,陈素英,王骞. 土壤-植物系统中铜锌临界值的研究[J]. 农村生态环境, 1994, 10(2): 22-24.
Li H Y, Chen S Y, Wang H. Study on the fates of Cu and Zn in soil-plant system as well as their critical content[J]. Rural. Eco-Environment, 1994, 10(2): 22-24.
- [3] 何忠俊,华璐,白玲玉. 土壤-植物系统中氮锌交互作用的研究进展[J]. 土壤与环境, 2001, 12(2): 133-137.
He Z J, Hua L, Bai L Y. Research of interact between N and Zn in the soil-plant system[J]. Soil and Environment, 2001, 12(2): 133-137.
- [4] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 536-545.
Zhao B Q, Zhang F S, Liao Z W et al. Research on development strategies of fertilizer in China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(5): 536-545.
- [5] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
The Office of Soil Census in China. Chinese soil [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [6] 彭林,彭祥琳,余存祖. 黄土高原土壤中锌的含量分布、锌肥肥效及其有效施用条件[J]. 土壤学报, 1983, 22(4): 361-372.
Peng L, Peng X L, Yu C Z. Content and distribution of Zn, fertilizer efficiency and reasonable fertilization in soil of loess region[J]. Acta Pedologica Sinica, 1983, 22(4): 361-372.
- [7] 邓英,谢振翅. 农作物施用微肥研究进展[J]. 湖北农业科学, 1999, (2): 26-28.
Deng Y, Xie Z C. Research progress of applying micronutrient fertilizers on crop[J]. Hubei Agricultural Science, 1999, (2): 26-28.
- [8] 余存祖,彭林,刘耀宏. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 317-326.
Yu C Z, Peng L, Liu Y H. Content and distribution of trace elements and fertilizer efficiency in soils of loessial region[J]. Acta Pedologica

- Sinica, 1991, 28(3): 17-326.
- [9] 陈琼贤, 刘国坚, 段炳源, 等. 有机肥料和无机肥料对土壤微量元素含量的影响[J]. 亚热带土壤科学, 1997, 6(4): 135-138. Chen Q X, Liu G J, Duan B Y. Effect on soil trace elements under condition of organic fertilizers and inorganic fertilizers[J]. Tropical and Subtropical Soil Science, 1997, 6(4): 135-138.
- [10] 苏伟, 聂宜民, 胡晓洁. 农田土壤微量元素的空间变异及 King 估值[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(2): 222-226. Su W, Nie Y M, Hu X J. Space changes of trace elements and King estimate[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(2): 222-226.
- [11] Martens D C, Westermann D T. Fertilizer applications for corn correcting micronutrient deficiencies[J]. Soil Sci. Am. J. 1991: 549-592.
- [12] Kriedemann P E, Anderson J. Growth and photosynthetic responses to manganese and copper deficiencies in wheat (*Triticum aestivum*) and barley grass (*Hordeum glaucum* and *H. leporinum*) [J]. Plant Physiology, 1998, 15: 429-446.
- [13] Marschner H(李春俭译). 高等植物的矿质营养[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001. Marschner H(Li C J translate). Mineral nutrition of advanced plant [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001.
- [14] Yilmaz A, Ekiz H, Torun B *et al.* Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soil[J]. Plant Nutrition, 1997, 20: 461-471.
- [15] Wells B R. Zinc nutrition of rice growing on Arkansas soils [M]. Fayetteville, AR: Ark. Agric. Exp. Stn Bull. Univ. of Arkansas, 1980. 848.
- [16] Sedberry J E Jr, Peterson F J, Wilson F E *et al.* Influence of soil reaction and applications of zinc on yields and zinc contents of rice plants[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1980, 11: 283-295.
- [17] Slaton N A, Wilson C E, Sixte Ntamungiro. Evaluation of zinc seed treatments for rice[J]. American Society of Agronomy, 2001, 93: 152-157.
- [18] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤有机无机复合体中有机质和微量元素含量的影响[J]. 土壤肥料, 2003, 6: 8-11. Shi J P, Zhang F D, Lin B. Effects of long-term fertilization on content of organic matter and microelement in soil organic and inorganic compound[J]. Soils and Fertilizers, 2003(6): 8-11.
- [19] 崔德杰, 张继宏. 长期施肥及覆膜栽培对土壤锌、铜、锰的形态及有效性的研究[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 260-265. Cui D J, Zhang J H. Effects of long-term fertilization and plastic sheet-covered culture on forms of Zn, Cu and Mn in soil and their availability[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 260-265.
- [20] 崔德杰, 张继宏, 关连珠. 长期施用有机肥对紫色水稻土铁锰铜锌形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 19(1): 11-17. Cui D J, Zhang J H, Guan L Z. Effects of long-term organic fertilization on forms of Mn, Cu and Zn in ripe soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 19(1): 11-17.
- [21] 李松青, 武秉钧, 武广云, 等. 云南省思茅地区土壤微量元素含量分布及其肥效[J]. 土壤学报, 1989, 26(4): 362-370. Li S Q, Wu B J, Wu G Y. The Content and distribution of trace element in the soil of simao distract in Yunnan[J]. Acta Pedologica Sinica, 1989, 26(4): 362-370.
- [22] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理与施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. Lu R K. The principle of soil-plant nutrition and fertilization[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998.
- [23] 刘铮, 朱其清. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社, 1991. 63-65. Liu Z, Zhu Q Q. Agri-chemistry of trace elements [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1991. 63-65.
- [24] Adam M L, Norvell W A, Philpot W D, Peverly J H. Spectral detection of micronutrient deficiency in 'Bragg' soybean[J]. American Society of Agronomy. 2000, 92: 261-268.
- [25] Brow J C, Jones W E. Fitting plants nutritionally to soil: I. Soybeans [J]. American Society of Agronomy, 1997, 69: 399-404.