植物营养与肥料学报 2006,12(4):549－553
Plant Nutrition and Fertilizer Science

长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响

杨丽娟[1,2]，李天来[1*]，付时丰[2]，邱忠祥[2]
（1 沈阳农业大学园艺学院，辽宁省设施园艺重点实验室，辽宁沈阳 110161；
2 沈阳农业大学土地与环境学院，辽宁沈阳 110161）

摘要：利用田间试验研究了长期定位施用有机肥和氮、磷、钾化肥对菜田土壤重要微量元素有效性的影响。结果表明，长期施用氮肥会提高土壤有效态铁、锰、锌、铜含量，随着氮肥用量增加，土壤酸化程度加重，土壤中铁、锰、锌、铜有效性亦随之增强。磷、钾化肥能够提高土壤有效铁、锰含量，对土壤锌有效性不会产生明显影响，在一定范围内可以提高土壤有效性铜含量，但效果不明显。长期施用有机肥对土壤微量元素的影响与配施的化肥种类有关。土壤有效铁、锰、铜含量与土壤 pH 呈极显著负相关，而有效锌含量与 pH 相关性不明显，而且关系比较复杂。总之，影响微量元素有效性的首要因素是土壤酸碱度。

关键词：长期施肥；菜田土壤；微量元素；有效性
中图分类号：S606⁺.2；153.6⁺1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)04-0549-05

Effects of long-term fertilization on availability of micro-elements in vegetable soil

YANG Li-juan[1,2], LI Tian-lai[1*], FU Shi-feng[2], QIU Zhong-xiang[2]
(*1 Hort. College, Shenyang Agric. Univ., Lab. of Protected Hort., Liaoning Province, Shenyang 110161, China;*
2 College of Resou. and Environ. Sci., Shenyang Agric. Univ., Shenyang 110161, China)

Abstract: Under field condition, a long-term trial with fixed position experiment was carried out to study long-term fertilization on the availability of micro-elements on a vegetable soil. The experiment started from 1988. The result showed that the micro-elements availability (Avail. Cu, Zn, Fe and Mn) of vegetable soil might be enhanced by long term N fertilization since N application exacerbated soil acidity, which in turn enhanced the availability of Fe, Mn, Zn and Cu in the soil. P and K application increased the availability of soil Fe and Mn, while it did not affect the the content of available Zn. Soil available Cu was observed to increase to certain extent with P and K application, however, there was no statistical significant. Effect of long-term manure application on the availability of micro-elements depended on the type of fertilizers combined. The contents of soil available Fe, Mn, Cu was significantly negative correlation to soil pH at 1% level, but there was no correlation between soil available Zn and soil pH. We can concluded that the soil pH was the dominant factor affecting the availability of soil micro-elements.

Key words: long-term fertilization; vegetable soil; micro-elements; availability

植物生长发育所必需的微量元素，往往在土壤中的含量很少，有效性低，所以在缺少微量元素的土壤或对微量元素敏感的作物上施用微肥一般效果甚佳，因此作物的微量元素营养引起了国内外科学工作者的高度重视，特别是近 20 年来，植物微量元素营养研究方面取得了较大的进展[1-7]。在集约农业生产条件下，长期施用有机肥和氮、磷、钾化肥能否满足作物对微量元素的需要及保持土壤养分平衡，

收稿日期：2005-01-25　　**修改稿收到日期**：2005-08-05
基金项目：辽宁省"博士起动基金"项目资助。
作者简介：杨丽娟(1968—)，女，辽宁庄河人，教授，博士，主要从事蔬菜营养及设施土壤水肥管理研究工作。　*通讯作者

一直是人们关心的问题。同延安等人[8]在研究有机肥及化肥对塿土中微量元素的影响时发现，由于有机肥及其根茬腐解，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。韩晓日等人[9]在棕壤上进行的长期定位试验表明，连续施用有机肥料，既能补充锌，又能提高土壤 pH 和增加有机质含量；随着有机质和 pH 值增加，土壤有效锰明显减少；不同施肥处理土壤 pH 和有机质含量的变化对土壤有效铜没有明显的作用；土壤 pH 对有效铁的影响与对有效锰影响相似，但土壤有效铁含量与有机质含量呈正相关。可见，有机肥、化肥对土壤中微量元素有效性的影响是复杂的，不同试验可能得出不同的结果。上述有关施肥对土壤中微量元素有效性影响的研究主要集中在旱地土壤上，而长期定位施肥对保护地菜田土壤微量元素影响的研究则鲜见报道。保护地菜田土壤与露地农田土壤不同，由于其精细耕作，集约化种植，特别是蔬菜生长期间只靠人工灌溉，不受雨水淋洗，使保护地土壤的理化性质和生物学特性发生了重要变化。另外，蔬菜作物的吸水、吸肥特性与大田作物又有所不同。在栽培措施和施肥方式对土壤肥力和土壤质量影响的研究方面，长期定位试验研究内容的系统性和连续性，具有其他短期试验不可替代的优势。为此，我们利用园艺学院于 1988 年在菜田土壤上设置的长期定位试验，就施用有机肥及化肥对土壤微量元素养分(铁、锰、铜、锌)有效性作用进行了研究，为蔬菜作物平衡施肥提供理论依据。

1 试验方法

1.1 试验方法

试验于 1988 年建立，分为两部分：第一部分设施有机肥(A)与不施有机肥(B)两组，每组各设 3 个无机氮肥水平，即：AN_0、AN_1、AN_2、BN_0、BN_1、BN_2 6 个处理；第二部分为在 AN_1、BN_1(以下只记为 AN、BN)处理基础上配施 P、K 肥，即：AP、AK、APK、ANP、ANK、ANPK、BP、BK、BPK、BNP、BNK、BNPK12 个处理(N 只为一个水平)；共 18 个施肥处理，每处理重复 3 次。有机肥为腐熟的马粪，与磷、钾肥在定植前一次性施入，氮肥在作物生长季内分两次追施。小区面积为 1.5 m^2，各处理施肥量：A 为年施马粪 75037.5 kg/hm^2，B 为不施有机肥；N0 为不施氮肥，N1、N2 分别为年施尿素 652.5、1305.0 kg/hm^2，P 为年施过磷酸钙 4802 kg/hm^2，K 为年施硫酸钾 360 kg/hm^2。

试验土壤为草甸土，原始耕层(0—20 cm)土壤全碳含量 14.09 g/kg，全氮 1.16 g/kg，全磷 1.37 g/kg，pH 值(H_2O)6.75，有效性铁、锰、锌、铜含量分别为 23.8、19.8、13.0、3.4 mg/kg；有机肥中含全量铁、锰、锌、铜分别为 10355、482.9、129.2、39.2 mg/kg；磷肥中含全量铁、锰、锌、铜分别为 8162、755.2、138.7、18.4 mg/kg。

1.2 测定项目及方法

试验于 2001 年 10 月采样。土壤、肥料中微量元素测定采用 DTPA(pH 7.3)浸提法，土液比为 1:2，用原子吸收分光光度计测定；土壤全碳、全氮用德国产元素分析仪 Vario EL III 测定；土壤 pH 采用 1:2.5 的土液比，用雷磁 pH S-3C 型 pH 计测定。

2 结果与分析

2.1 无机氮肥对菜田土壤微量元素有效性的影响

图 1 为施用无机氮肥对菜田微量元素有效性的影响。

图 1a 看出，随着氮肥用量增加，土壤中铁有效性增强。不施有机肥组(B 组)土壤有效铁含量 BN_2 大于 BN_1 大于 BN_0，三者之间差异达极显著水平；有机肥组(A 组)不同氮水平处理土壤有效铁含量的变化规律与 B 组同。将 A 组和 B 组各对应处理进行比较可以看出，A 组土壤有效铁含量均低于 B 组；其中 N1、N2 水平上两组的差异达极显著水平，N0 水平上两组差异不明显。说明有机肥的施入降低了土壤有效铁含量。

随着氮肥用量增加，土壤中锰有效性亦增强。B 组不同氮水平之间有效性锰含量差异均达极显著水平；A 组 AN_2 处理土壤有效锰含量极显著地高于 AN_1、AN_0 处理，但 AN_1 与 AN_0 之间差异不明显。除 AN_0 土壤有效性铁含量极显著高于 BN_0 之外，其余两个氮水平均是 B 组高于 A 组，其中 BN_2 与 AN_2 之间差异达显著水平，BN_1 与 AN_1 之间差异不显著(图 1b)。因有机肥本身含有锰，所以单独施有机肥(AN_0)时土壤有效锰含量较不施肥(BN_0)的高，但有机肥与氮肥配合时，氮肥引起土壤 pH 下降而对锰有效性的影响掩蔽了有机肥带入土壤锰的效应。随着氮肥用量增加，这种掩蔽效果越强。崔德杰等人[10]的玉米长期定位施肥试验也得到了相同的结果。

随着氮肥用量增加，土壤有效铜含量亦呈递增趋势。B 组中 BN_2、BN_1 之间差异不明显，但二者分别极显著和显著地高于 BN_0。A 组中 AN_2、AN_1 之间

差异亦不明显，但两者均极显著地高于 AN_0。A 组土壤有效性铜含量略高于 B 组。说明有机肥对土壤铜有效性不会产生明显影响(图 1c)。

图 1d 表明，土壤有效性锌含量随氮肥用量变化不明显。B 组 3 个氮水平之间差异不明显，BN_2 处理略高于 BN_1、BN_0 处理。A 组的 AN_2 处理分别显著、极显著地高于 AN_1、AN_0 处理，而后两者之间没有明显差异。A 组土壤有效性锌含量极显著地高于 B 组，随着氮肥用量增加，两组之间差异亦趋于增大。说明由于长期施用有机肥，提高了土壤有机质含量(见表 2)，而土壤有机质可以螯合锌，从而提高了锌的有效性[11]。

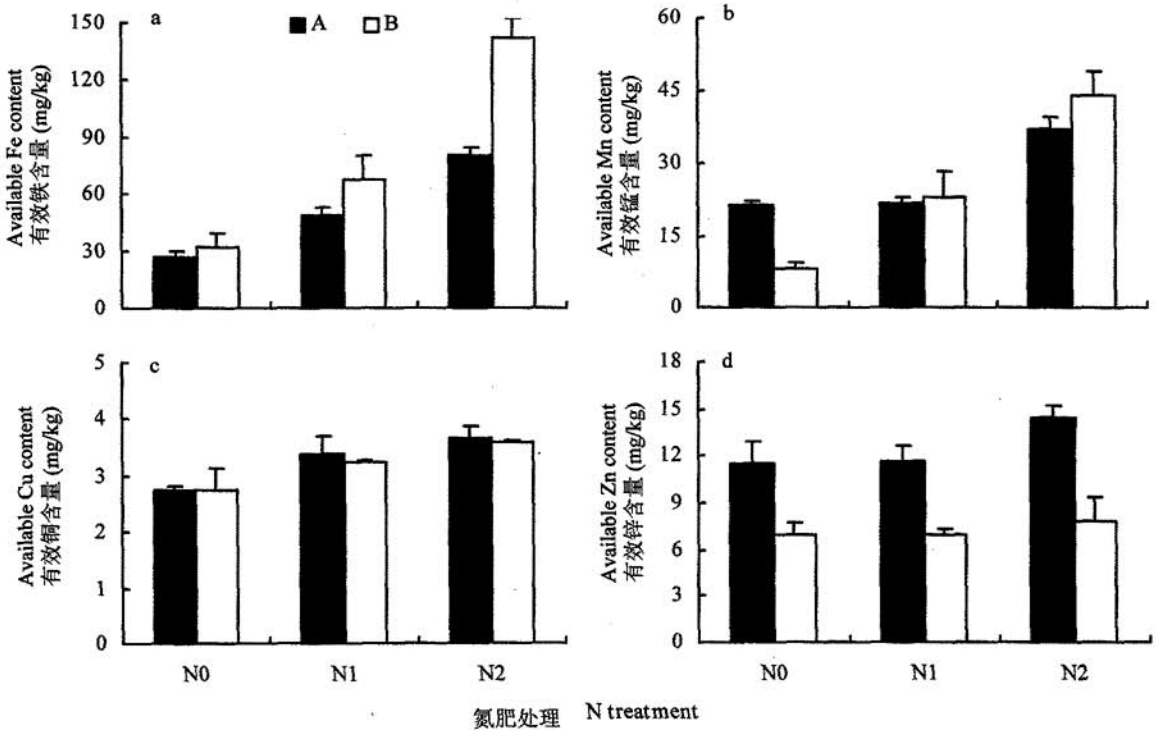

图 1　不同氮肥用量对土壤有效态微量元素含量的影响

Fig.1　Effect of different N rate on available micro-elements in soil

2.2　配施磷、钾肥后菜田土壤微量元素有效性的变化

表 1 看出，施用有机肥(A 组)土壤有效铁含量低于不施有机肥(B 组)处理。磷、钾化肥的施用可以提高土壤中有效铁的含量，其中磷肥提高土壤铁有效性的效果最好，钾肥次之，磷钾配施的效果不如单施。BP、BK、BPK 处理土壤有效铁含量分别比 BN_0 高 38.95%、35.51%、31.8%，差异均达极显著或显著水平。

试验结果(表 1)表明，磷、钾肥和有机肥配施，土壤有效锰略有降低，但各处理之间差异不明显。不施有机肥的 BP、BK、BPK 处理，土壤有效锰分别比 BN_0 提高 20.85%、13.25%、19.74%，说明长期施用磷、钾肥能够提高土壤有效锰含量。

表 1 还看出，有效性铜除 AN、AP、APK 处理大于 BN、BP、BPK 处理，AN_0 接近于 BN_0 处理外，其余各处理均是 B 组大于 A 组。说明有机肥对土壤有效性铜的影响效果不稳定，与配施的化肥种类有关。

A 组土壤有效性锌含量极显著地大于 B 组，且均以氮钾配合处理土壤有效性锌含量最高。ANK、ANPK 极显著地高于 APK；BNK 极显著地高于 BP、BNPK、BN_0、BN、BNP、BPK。表明 P、K 肥无论单施或配施对土壤锌有效性的影响均不明显。

2.3　土壤有效态微量元素含量与土壤全碳、全氮量及 pH 的关系

土壤有效性微量元素与土壤全碳、全氮含量及 pH 值(表 2)的相关分析表明，土壤有效铁含量与土壤全碳含量及 pH 值分别呈显著和极显著的负相关关系；与土壤全氮含量的相关性不明显，其回归方程见表 3。说明增施氮肥导致土壤有效铁含量增加

表1 长期施用磷、钾肥对土壤微量元素含量的影响

Table 1 Effects of long-term application of P and K fertilizers on soil micro-elements content

处理 Treatments	Fe	Mn	Zn	Cu	处理 Treatment	Fe	Mn	Zn	Cu
AN_0	27.60±2.82	21.57±0.68	11.60±1.34	2.73±0.11	BN_0	32.07±7.00	8.05±1.20	7.01±0.66	2.74±0.40
AN	48.47±4.41	21.65±1.39	11.66±0.99	3.39±0.30	BN	67.33±13.30	22.96±5.44	6.95±0.39	3.23±0.12
AP	35.27±6.99	20.96±1.17	11.60±1.38	3.42±0.30	BP	52.53±10.28	10.17±0.48	7.30±0.50	3.06±0.21
AK	36.16±2.44	17.44±0.96	10.71±1.47	2.86±0.41	BK	49.73±5.41	9.28±1.34	7.80±0.58	3.14±0.42
ANP	50.67±4.66	20.54±1.63	11.75±0.66	3.27±0.41	BNP	63.49±8.74	15.01±2.38	6.76±1.05	3.62±0.20
ANK	43.87±4.91	19.80±2.10	11.97±1.54	3.07±0.50	BNK	89.40±9.23	24.36±4.36	9.68±1.67	4.36±0.41
APK	43.20±7.66	18.65±3.50	9.71±0.74	3.01±0.42	BPK	46.53±4.42	10.02±1.58	6.51±0.29	2.88±0.10
ANPK	46.98±4.38	27.95±3.87	11.97±0.60	3.06±0.31	BNPK	57.58±4.72	15.19±3.63	7.05±0.96	3.25±0.30

表2 长期施肥对土壤pH、全碳、全氮含量的影响

Table 2 Effects of long-term fertilization on pH, total C and total N in soil

处理 Treatments	pH	全C Total C (g/kg)	全N Total N (g/kg)	处理 Treatments	pH	全C Total C (g/kg)	全N Total N (g/kg)
AN_0	6.36±0.16	13.73±2.03	2.00±0.17	BN_0	6.32±0.05	11.09±0.82	1.23±0.21
AN_1	6.07±0.16	21.27±1.10	2.59±0.03	BN_1	5.67±0.52	12.90±3.12	2.00±0.24
AN_2	5.28±0.47	22.47±2.21	2.88±0.13	BN_2	4.69±0.36	12.14±0.46	2.22±0.24
AP	6.10±0.11	24.21±3.07	2.73±0.08	BP	5.74±0.36	13.97±3.71	2.07±0.33
AK	6.50±0.14	13.45±2.07	1.78±0.21	BK	6.20±0.18	12.14±1.16	1.85±0.07
ANP	5.77±0.42	21.87±1.54	2.74±0.09	BNP	5.20±0.30	13.33±2.33	2.22±0.29
ANK	6.15±0.13	22.67±0.68	2.63±0.12	BNK	5.58±0.27	12.36±2.71	1.96±0.25
APK	5.91±0.06	19.96±1.62	2.48±0.15	BPK	5.73±0.28	13.16±2.73	1.90±0.23
ANPK	5.60±0.17	21.77±0.08	2.71±0.11	BNPK	5.56±0.37	11.43±1.21	1.87±0.04

表3 土壤有效性微量元素与土壤全碳、全耐及pH的回归方程

Table 3 Regression equation of the available microelements and the total C, toal N and pH in soil

微量元素 Micro-elements	拟合方程 Regression equation	$r(y,x_1)$	$r(y,x_2)$	$r(y,x_3)$
Fe	$y=299.79-9.001x_1+110.30x_2-39.44x_3$	-0.3125*	0.2127	-0.7691**
Mn	$y=43.2613+4.9123x_1+145.63x_2-8.2252x_3$	0.2664	0.4570**	-0.5683**
Zn	$y=-5.5871+1.4564x_1+29.0921x_2+1.0745x_3$	0.7203**	0.6802**	0.1686
Cu	$y=0.4601-0.0295x_1+0.4888x_2-0.0340x_3$	-0.0347	0.1927	-0.4653**

的原因不是因为土壤全氮量的增加，而是因为施入氮肥降低了土壤pH值，随着氮肥施用量的增加，土壤pH降低的幅度增大，土壤有效铁含量增加的幅度也随之提高。这与Savvas[12]试验结论"土壤中铁的含量随着根区pH的升高而降低"相一致。

表3看出，土壤有效锰与土壤全碳呈正相关关系，相关系数接近显著水平；与土壤全氮含量、pH值分别呈极显著正相关和负相关，但与pH值的相关系数大于与全氮的相关系数。说明影响土壤锰有效性的首要因素是土壤酸碱度。土壤有效性铜与土壤全碳和全氮含量相关性不明显；与土壤pH值呈极显著负相关。说明提高土壤有效性铜的主要是长期施用氮肥导致土壤酸化的结果。

土壤有效锌含量与土壤全碳、全氮含量呈极显著正相关关系，与pH值也呈正相关，但相关性不大。土壤pH值对锌有效性的影响可能是多方面的。当pH<6.0时，以Zn^{2+}为主，有效性高；pH在6.0～7.85(石灰性土壤)形成$Zn(OH)_2$沉淀，有效锌减少；当pH>7.85时，土壤中的锌呈锌酸状态，ZnO_2^{2-}、$HZnO_2^-$溶解度增大，有效性提高。所以，笼统地将土壤有效性锌含量与pH值做相关性分析，会得出不确切的结论，应当将pH分段进行讨论。

3 结论

长期施用氮肥能够提高土壤中有效铁、锰、锌、铜含量，而且随着氮肥用量的增加，土壤中微量元素有效性增强。主要是长期施用氮肥导致土壤 pH 值的降低，且随着氮肥用量的增加而增强，从而导致土壤微量元素有效性进一步提高。长期施用有机肥对土壤微量元素的影响与配施的化肥种类有关。

磷、钾化肥长期单施或配施以及它们与有机肥配施均可提高土壤有效铁含量；但与氮肥配施可能是因为较高的氮素水平对土壤中铁有效性的影响效果掩盖了磷、钾的作用，因而使磷、钾肥在不同情况下对土壤铁有效性产生不同的效应。因此，在强调氮、磷、钾化肥配施平衡土壤养分条件时，应注意这种配施效应对土壤中其它养分元素产生的影响。磷、钾化肥单施或配施以及它们与氮肥配合均可提高土壤有效锰含量。因为所用磷肥过磷酸钙本身含有锰，而且过磷酸钙游离酸含量一般在 3.0%～5.0%，长期施用会使土壤酸化，引起土壤有效性锰增加。硫酸钾是一种生理酸性肥料，长期施用也可以导致土壤酸化，使土壤交换态锰增加。长期施用磷、钾化肥对土壤锌有效性不会产生明显影响，在一定范围内可以提高土壤有效性铜含量，但效果不明显。

土壤有效性铁、锰、铜含量与土壤 pH 呈极显著负相关，而土壤有效性锌含量与 pH 相关性比较小。说明影响微量元素有效性的首要因素是土壤酸碱度。

参 考 文 献：

[1] Duraisamy P, Mani A K. Effect of iron and molybdenum on yield and nutrition of horsegram in a red loamy sand soil[J]. Indian J. of Dryland Agricultural Research and Development, 2001, 16(2): 115-119.

[2] Umamaheswari P, Singh C P. Influence of irrigation levels and micronutrients (Fe and Zn) on yield and yield attributes of rajmash (*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Legume Research, 2002, 25(2): 121-123.

[3] Nogueira M A, Cardoso E J B N. Microbial interactions on manganese availability and uptake by soybean [J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 2002, 37(11): 1605-1612.

[4] 曹恭，梁鸣早．铁——平衡栽培体系中植物必需的微量元素[J]．土壤肥料，2003(4)：46-48.
Cao G, Liang M Z. Iron, the essential microelement of plant in balance culture system[J]. Soils and Fertilizers, 2003(4): 46-48.

[5] Imticz M, Alloway B J, Shah K H *et al*. Zinc nutrition of wheat: II. Interaction of zinc with other trace elements[J]. Asian J. of Plant Sci., 2003, 2(2): 156-160.

[6] 田秀平，李玉梅，韩晓日．大豆长期连作及施肥对白浆土 pH 和铁、锌、铜、锰形态的影响[J]．植物营养与肥料学报，2003，9(2)：253-255.
Tian X P, Li Y M, Han X R. Effect of long-term successive planting of soybean and fertilization on pH and forms of Fe, Zn, Cu and Mn in albic soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 253-255.

[7] 肖时运．湖南省稻田硒含量及硒肥施用效果[J]．植物营养与肥料学报，2004，10(2)：212-214.
Xiao S Y. Study on the Se content and its effect in paddy soil of Hunan [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(2): 212-214.

[8] 同延安，高宗，刘杏兰．有机肥及化肥对塿土中微量元素平衡的影响[J]．土壤学报，1995，32(3)：315-319.
Tong Y A, Gao Z, Liu X L. Effect of organic manure and chemical fertilizer on the balance of soil micronutrient elements[J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32 (3): 315-319.

[9] 韩晓日，邹德乙，刘杰．长期施用有机肥和化肥对土壤锌锰铜铁养分平衡的影响[A]．胡思农．硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用——国际学术讨论会论文集[C]．成都：成都科技大学出版社，1993．329-398.
Han X R, Zhou D Y, Liu J. Effect of long-term application of organic manure and chemical fertilizer on the balance of soil zinc, manganese and iron[A]. Hu S N. On the role of sulphur, magnesium and micronutrients in the balanced plant nutrition—Proceedings of the international symposium [C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993. 329-398.

[10] 崔德杰．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[J]．土壤学报，1998，35(2)：260-265.
Cui D J. Study on effect of long-term fertilization and mulching culture on the forms and availability of soil zinc, manganese and iron [J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(2): 260-265.

[11] 金星耀．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.
Jin X Y. Variation of micronutrient elements in a long-term fertilization experiment[J]. Shanghai Agricultural Sci. and Tech., 1984 (6): 12-13.

[12] Savvas D, Gizas G. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios[J]. Scientia Horticulturae, 2002, 96(1-4): 267-280.