

长期施肥对玉米籽粒中植物必需 营养元素含量的影响

王朔林¹,王改兰¹,杨艳菊¹,赵旭¹,陈春玉¹,黄学芳²

(1. 湖南农业大学 资源环境学院,湖南 长沙 410128;2. 山西农业科学院 旱地农业研究中心,山西 太原 030031)

摘要:为了探明栗褐土上长期施肥对玉米籽粒中植物必需营养元素含量的影响,在长期定位施肥试验的第25年,研究了不同施肥处理玉米籽粒中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo的含量。结果表明:长期施用不同肥料不同程度地提高了玉米籽粒氮、铁、锰、硼的含量,其中,氮的提高幅度为20.5%~48.6%,以处理M₁NP、NP、M₂N效果更明显。铁的增幅为4.92%~40.5%,随施用肥料种类和数量的增加而增加,锰的增幅为3.53%~10.2%,硼为0.41%~25.3%,以M₁NP处理的效果更明显。磷肥和有机肥及有机无机配施可有效提高玉米籽粒磷和钾含量,磷以M₁、M₁N处理的效果更明显,较对照增加78.4%、82.4%,钾以M₁处理的效果更明显,较对照增加62.1%。有机肥还可有效提高玉米籽粒镁含量,与化肥配施效果更佳,较对照提高幅度为5.52%~20.9%。长期施用氮肥、磷肥和有机肥对玉米籽粒Ca、Zn、Cu、Mo的含量无明显影响。

关键词:长期施肥;玉米;籽粒;营养元素

中图分类号:S143 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)02-0208-05

Effects of Long-term Fertilization on Contents of Plant Essential Nutrient in Maize Grain

WANG Shuo-lin¹, WANG Gai-lan¹, YANG Yan-ju¹, ZHAO Xu¹,
CHEN Chun-yu¹, HUANG Xue-fang²

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Institute of Dryland Farming, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: To ascertain the effects of long-term fertilization on the content of plant essential element in maize grain on the cinnamon soil, at the 25th year of the long-term fertilization experiment, the contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo in maize grain under different treatments was studied. The results showed that the contents of N, Fe, Mn, B in maize grain under the different fertilizer were all increased more or less. The increase of contents of N ranged from 20.5% to 48.6%, especially under the treatment of M₁NP, NP, and M₂N. The Fe contents of maize grain increased from 4.92% to 40.5%, with the increasing of application amount and type. Mn and B increased from 3.53% to 10.2% and from 0.41% to 25.3% respectively, furthermore there was a significant effect with the treatment of M₁NP on Mn and B contents. P and K contents of grains can be effectively increased by P fertilizer with organic fertilizer application and organic-inorganic application. The contents of P was significantly increased by 78.4% and 82.4% respectively in treatments of M₁, M₁N, while contents of K was significantly increased by 62.1% in M₁ treatment compared with CK. Contents of Mg can be effectively increased by organic fertilizer application, especially with chemical fertilizer, the contents increased from 5.52% to 20.9%. In contrast, there was no significant effect of long-term N fertilizer application, P fertilizer application and organic fertilizer application on contents of Ca, Zn, Cu, Mo in grains.

Key words: Long-term fertilization; Maize; Grain; Nutrient element

收稿日期:2013-12-26

基金项目:国家国际科技合作专项(2011DFR31230)

作者简介:王朔林(1989-),女,吉林长春人,在读硕士,主要从事植物营养与施肥研究。

通讯作者:王改兰(1959-),女,山西太原人,教授,硕士生导师,主要从事养分资源高效安全利用研究。

遗传和环境双重因素共同影响着作物的产量和品质^[1-2]。长期施肥对土壤肥力、环境演化、作物产量等方面有十分重要的影响^[1,3-4]。过去长期施肥试验的研究多集中于对土壤肥力和产量的影响,对作物必需营养元素的研究相对薄弱。作物必需营养元素共 16 种,包括碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、铜、锌、硼、钼和氯^[5],它们既是作物生长发育所必需的营养元素,同时也与人体健康息息相关^[5-6]。人体钙元素缺乏会导致骨质疏松^[7],铁锰锌铜等微量元素的缺乏则引起人体免疫力下降,智力发育不良^[8]。在发展中国家,由于饮食结构单一,营养元素缺乏比较普遍。

玉米是我国主要的粮、饲兼用作物,其籽粒必需营养元素的含量直接或间接影响人类健康^[9]。因此,本研究以淡栗褐土已进行了 25 年的长期定位施肥试验为平台,就玉米籽粒中的植物必需营养元素含量展开了研究,为科学施肥、提高农产品品质提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

试验于 1988 年布置在山西省河曲县砖窑沟流域的沙坪村窑家嘴梁顶平地上,供试土壤按山西省第 2 次土壤普查分类为轻壤黄土质淡栗褐土(土种),以中国土壤系统分类为黄土正常新成土(土类),1988 年作物播种前测得的试验地 0~20 cm 土壤基本理化性状:有机质含量 5.64 g/kg,全氮 0.455 g/kg,全磷 1.23 g/kg,碱解氮 14.0 mg/kg,速效磷 2.85 mg/kg,速效钾 87.0 mg/kg,pH 值 8.06,CaCO₃ 含量为 13.55%。

1.2 试验设计

试验设 8 个处理:①不施肥(CK);②单施氮肥(N);③氮磷肥合施(NP);④单施低量有机肥(M₁);⑤低量有机肥与氮肥合施(M₁N);⑥低量有机肥与氮磷肥合施(M₁NP);⑦高量有机肥与氮肥合施(M₂N);⑧高量有机肥与氮磷肥合施(M₂NP)。各处理施肥量见表 1。试验设 3 次重复,随机区组排列,小区面积 4 m×6 m,每年试验小区的处理不变。氮肥用含 N 46% 的尿素,磷肥用含 P₂O₅ 14% 的过磷酸钙,有机肥使用当地圈肥。种植作物从 1988 年到 2008 年一直为糜子(*Panicum miliaceum*)和马铃薯(*Solanum tuberosum*)2 种作物每年换茬轮作,从 2009 年至今一直种植玉米。所有肥料全部作基肥,在作物播种前撒施,并耕翻入土。耕作管理措施与大田相同。

表 1 各处理的施肥量

Tab.1 Fertilization amount of each treatment

处理 Treatment	有机肥 Organic fertilizer	氮肥(N) Nitrogenous fertilizer	磷肥(P ₂ O ₅) Phosphate fertilizer
CK	0	0	0
N	0	120	0
NP	0	120	75
M ₁	22 500	0	0
M ₁ N	22 500	120	0
M ₁ NP	22 500	120	75
M ₂ N	45 000	120	0
M ₂ NP	45 000	120	75

1.3 玉米籽粒样品的采集与制备

2012 年 10 月 5 日玉米收获时,在各小区随机抽取 15 穗玉米,风干、脱粒后,将玉米籽粒混合均匀,再用四分法缩分至每个样品大约 500 g,粉碎后待用。

1.4 玉米籽粒营养元素的测定

本试验共测定了玉米籽粒中的 11 种营养元素的含量,包括 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo。其中,全氮、全磷、全钾采用常规方法测定^[10],Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo 采用干灰化—ICP-AES 法测定。

1.5 数据处理

数据处理采用 SPSS 和 Microsoft Excel 软件,方差分析采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米籽粒氮、磷、钾含量的影响

氮磷钾作为植物必需的大量营养元素,对提高作物的产量、改善品质和保持品种优良性状有重要作用^[5,11]。表 2 是不同处理玉米籽粒全氮、全磷、全钾含量。可以看出,与对照相比,不同施肥处理均提高了玉米籽粒氮的含量,提高幅度为 20.5%~48.6%,尤以处理 M₁NP、NP、M₂N 效果明显,依次较对照增加 48.6%,47.3%,43.3%,差异达到显著水平;其次是 M₂NP,较对照增加 39.1%,差异接近显著水平;M₁N、M₁N 处理的增加幅度较小,与对照间差异不显著。以上结果表明,长期施用氮肥和有机肥对提高玉米籽粒含氮量有一定的作用,氮肥配施磷肥或氮肥配施磷肥和有机肥可有效提高玉米籽粒含氮量。

对玉米籽粒全磷含量而言,单施氮肥处理稍低于对照,降低幅度为 10.3%。其他 6 个有外源磷的处理玉米籽粒全磷含量均极显著高于对照,提高幅

度为 53.8% ~ 82.4%, 其中, M_1 和 M_1N 处理表现出一定的优势, 较对照增加 78.4%, 82.4%; NP 处理的作用较小, 较对照增加 53.8%。 M_1NP 、 M_2N 、 M_2NP 处理磷的投入量较 M_1 和 M_1N 处理增加, 但玉米籽粒磷含量并无明显增加, 甚至有所降低。以上结果表明, 在栗褐土上, 长期施用氮肥对玉米含磷量无明显影响, 长期施用磷肥和有机肥可有效提高玉米籽粒磷含量, 以有机肥的效果优于磷肥, 但不随施磷量的增加而增加。

表 2 不同处理玉米籽粒全氮、全磷、全钾含量

Tab. 2 Total content of nitrogen phosphorus and

potassium of corn grain in different treatments g/kg

处理 Treatments	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K
CK	8.633bA	1.324bB	2.223bB
N	11.16abA	1.188bB	2.238bB
NP	12.71aA	2.036aA	2.999aAB
M_1	10.40abA	2.362aA	3.604aA
M_1N	11.36abA	2.415aA	3.396aA
M_1NP	12.82aA	2.291aA	3.541aA
M_2N	12.37aA	2.157aA	3.138aAB
M_2NP	12.00abA	2.376aA	3.570aA

注: 同列数据小写字母表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 大写字母表示处理间差异达到 $P < 0.01$ 极显著水平。表 3 ~ 4 同。

Note: Lowercase letters denote significance at 0.05 levels and the capital letters denote 0.01 levels among different processings. The same as Tab. 3 - 4.

由表 2 还可以看出, 除 N 处理的玉米籽粒全钾含量与对照无明显差异外, 其他处理的玉米籽粒全钾含量较对照有不同程度的提高, 提高幅度为 34.91% ~ 62.10%。其中, 处理 M_1 、 M_2NP 、 M_1NP 、 M_1N 玉米籽粒含钾量增幅较大, 与对照相比, 差异达到极显著水平, 与单施氮肥相比也达到了极显著水平; 其次是处理 M_2N 、NP, 玉米籽粒钾含量显著高于对照, 同时也显著高于单施氮肥处理。将有氮肥无磷肥的 3 个处理(N、 M_1N 、 M_2N) 和既有氮肥又有磷肥的 3 个处理(NP、 M_1NP 、 M_2NP) 对应比较还可以看出, 无磷处理的玉米籽粒全钾含量均低于相应的有磷处理。上述结果表明, 长期施用氮肥对玉米籽粒全钾含量无明显影响, 长期施用有机肥可有效提高玉米籽粒全钾含量, 磷肥对提高玉米籽粒全钾含量也有积极作用, 有机肥配施氮肥会削弱有机肥的作用。

2.2 不同处理对玉米籽粒钙、镁含量的影响

钙、镁元素既是作物生长发育必需的营养元素, 同时也与人体健康密切相关。钙是人体骨骼生长和调节生理功能的重要物质^[12], 镁具有维护神经、降低血压等作用^[13]。玉米作为重要粮食作物之一, 其籽粒钙镁含量直接关系到人体的健康。

表 3 不同处理玉米籽粒钙、镁含量

Tab. 3 Total content of Ca and Mg of corn

grain in different treatments

mg/kg

处理 Treatments	Ca	Mg
CK	123.7ab	884.5bc
N	129.7ab	879.4c
NP	115.8b	879.4c
M_1	122.7ab	933.3abc
M_1N	121.0ab	981.9abc
M_1NP	117.8ab	1 068.9a
M_2N	127.9ab	1 049.1ab
M_2NP	139.0a	1 019.5abc

从表 3 可知, 不同处理的玉米籽粒钙含量差异较小, 与对照相比, N、 M_2N 、 M_2NP 处理有提高的趋势, 提高幅度为 3.39% ~ 12.37%, 其他处理玉米籽粒钙含量较对照有不同程度的下降, 下降幅度为 0.82% ~ 6.39%, 均未达到显著差异水平。以上结果表明, 在栗褐土上, 长期施肥对玉米籽粒钙含量影响不明显。

比较不同处理玉米籽粒镁含量可知, 单施化肥 2 个处理 N、NP 玉米籽粒镁含量稍低于对照, 而所有施有机肥的处理均不同程度地提高了玉米籽粒镁含量, 提高幅度为 5.52% ~ 20.85%。其中, M_1NP 处理玉米籽粒含镁量较高, 比对照增加 20.85%, 差异达到显著水平; 其次是处理 M_2N 、 M_2NP 、 M_1N , 较对照增加 18.6%, 15.3%, 11.0%; 处理 M_1 作用较小, 镁含量提高了 5.6%。这表明, 长期施用有机肥有利于提高玉米籽粒中镁的含量, 且有机肥与氮肥或有机肥与氮磷肥配施可以进一步提高镁含量。

2.3 不同处理对玉米籽粒微量营养素含量的影响

铁、锰、锌、铜、硼、钼既影响作物生长发育, 也直接影响人体的营养。作物缺乏铁、锰、锌、铜、硼、钼会导致作物减产和品质下降^[14], 人体缺乏这些微量元素则会引起免疫力降低、智力发育不良等严重问题^[15-17]。

表 4 是不同处理玉米籽粒铁、锰、锌、铜、硼、钼的含量, 由表 4 可知, 不同施肥处理对玉米籽粒铁、锰、硼含量的影响较大, 各施肥处理玉米籽粒铁、锰、硼的含量均高于对照, 铁增幅为 4.92% ~ 40.5%, 锰增幅为 3.53% ~ 10.2%, 硼为 0.41% ~ 25.3%。对铁而言, 与对照相比, 施 3 种肥料的处理(M_2NP 、 M_1NP) 玉米籽粒铁含量增幅较大, 为 40.5%, 31.7%, 其次是施 2 种肥料的处理(M_1N 、 M_2N 、NP), 增幅为 16.8% ~ 30.1%, 施单一肥料的处理(M_1 、N) 提高幅度较小, 为 7.20%, 4.92%。以上结果表明, 随肥料种类的增多玉米籽粒铁含量也随之增多。

对锰而言,施有氮肥的处理(N、NP、M₁N、M₁NP、M₂N、M₂NP)提高幅度较大,为6.4%~10.2%,均显著高于对照,而单施有机肥处理的玉米籽粒中锰的含量与对照相比差异不显著,这可以说明玉米籽粒锰含量受氮肥影响较大,低量有机肥处理虽然也有一定影响,但效果不明显。对硼而言,施低量有机肥的3个处理(M₁NP、M₁、M₁N)玉米籽粒硼含量提高

幅度较大,为18.41%~25.18%,显著高于对照,其他处理提高幅度相对较小,为0.355%~9.492%,与对照之间差异不显著,因此,对玉米籽粒硼含量而言,低量有机肥处理有一定优势。从表4还可以看出,各施肥处理玉米籽粒中锌、铜、钼的含量与对照相比均无显著差异。

表4 不同处理玉米籽粒铁、锰、锌、铜、硼、钼含量

Tab. 4 Fe, Mn, Zn, Cu, B and Mo content of different processing

mg/kg

处理 Treatments	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
CK	30.66b	9.53c	6.17a	8.51ab	4.93c	2.97ab
N	32.17b	10.16ab	6.18a	8.54ab	4.95c	2.71ab
NP	37.16ab	10.14ab	6.16a	8.67ab	5.37bc	2.43b
M ₁	32.87ab	9.87bc	5.99a	8.43b	5.97ab	2.80ab
M ₁ N	39.91ab	10.25ab	6.38a	8.99a	5.84ab	3.53a
M ₁ NP	40.37ab	10.50a	6.43a	8.70ab	6.18a	3.31ab
M ₂ N	35.81ab	10.35ab	6.17a	8.40b	5.40bc	2.42b
M ₂ NP	43.09a	10.27ab	6.43a	8.50ab	5.36bc	2.88ab

3 讨 论

3.1 不同处理对玉米籽粒氮、磷、钾含量的影响

以往研究表明,随施氮量的增加,作物各器官中氮的含量有明显提高^[5],在本试验中也有类似结果,施用氮肥和有机肥均提高了玉米籽粒氮的含量。本研究基于长期定位试验进一步表明,氮肥配施有机肥及氮肥与磷肥配施效果更明显,氮肥配施磷肥可以促进玉米籽粒含氮量的提高,其原因是氮磷具有交互作用,磷肥可促进作物对氮的吸收利用^[5]。

本研究表明,长期施用有机肥和磷肥均能提高玉米籽粒磷含量,且有机肥效果优于施磷肥处理,究其原因,除了有机肥本身磷源充足、供肥长久外,还可能源于有机肥分解的有机酸促进了磷酸钙盐的溶解,活化土壤磷,提高磷有效性,玉米籽粒磷含量也随之提高^[18-20]。长期施用有机肥也可有效提高玉米籽粒全钾含量,其道理与对全磷含量的作用机制相似。有机肥配施氮肥不利于提高玉米籽粒含钾量,因为氮与钾之间存在拮抗作用,不利于作物对钾的吸收^[21]。磷肥对提高玉米籽粒全钾含量有积极作用,可能是由于过磷酸钙是酸性肥料,施用于石灰性土壤有利于土壤钾的活化^[22]。

3.2 不同处理对玉米籽粒钙、镁含量的影响

俄胜哲等^[23]研究发现,随着施氮量增加,籽粒的钙含量先升高后降低,而施磷肥则会降低稻米钙含量,但本试验结果表明,长期施用氮肥、磷肥以及有机肥对玉米籽粒钙含量的影响并不明显,其原因可能是因为本试验中土壤钙背景值较高^[24],钙不构

成玉米养分的限制因子。

本研究表明,施用有机肥有利于提高玉米籽粒镁含量,究其原因,一方面,有机肥中的牛羊粪便可以补给镁元素,缓解土壤镁元素养分的输出;另一方面,施用有机肥可以促进土壤生化反应,影响镁元素生物有效性,提高玉米籽粒对镁元素的吸收、积累能力^[14],本试验结果还表明,有机肥无机肥配施可以进一步提高玉米籽粒镁含量,可能是因为有机无机肥配施可以促进根系生长,提高根系吸收镁能力^[25],进而提高玉米籽粒镁含量。

3.3 不同处理对玉米籽粒微量营养元素含量的影响

从本研究可以看出,氮肥、磷肥、有机肥均可在一定程度上增加玉米籽粒铁、锰、硼的含量,其原因可能在于尿素和过磷酸钙的长期连续施用有利于降低石灰性土壤pH值,可促进土壤中铁、锰、硼的有效性,而有机肥则本身含有少量的铁、锰、硼可在一定程度上补给土壤以上养分的输出^[26-27],从而使玉米籽粒铁、锰、硼元素含量也有所增加。关于施肥对籽粒铜、锌含量的影响,李本银等^[28]研究表明,长期施肥对水稻籽粒Cu、Zn的含量并没有显著影响,这与本试验结果相似,8个处理玉米籽粒Cu、Zn含量变幅很小,基本上没有显著差异,这可能与Cu、Zn等元素在玉米体内的再分配和运输等有关。Cu、Zn等元素主要分布在作物根和茎中,而向籽粒转移较少。

有研究表明^[28],钼以含氧酸根以及阴离子形式为植物根系吸收,pH愈高,有效性愈高,一般缺钼现象易发生在酸性土壤上。本试验栗褐土pH值为8.06,为碱性土,钼的有效性较高,玉米籽粒能吸收

的土壤中钼较充足,因此,施肥对玉米钼含量影响不明显。

值得注意的是,Zn、Cu 元素同时也为重金属元素,其含量过高会对人体造成伤害^[29]。从表 4 可以看出,不同处理玉米籽粒 Zn 含量为 5.99 ~ 6.43 mg/kg,远低于国家食品卫生标准 Zn 限量 50 mg/kg,而锌是人体不可缺少的微量元素,缺 Zn 会引起侏儒症、糖尿病等多种疾病,玉米籽粒是人类食物的主要来源之一,其锌含量影响人体微量营养进而影响人体健康。从本试验结果可以看出,籽粒锌含量有待于提高。由于施氮肥、磷肥和有机肥对其影响不明显,可以通过基因工程、育种等方法提高玉米籽粒锌含量^[15]。不同处理 Cu 含量为 8.40 ~ 8.99mg/kg,低于食品中 Cu 限量卫生标 10 mg/kg,但与限量比较接近,所以在以后生产中应控制外源重金属铜对土壤和作物的污染。

参考文献:

- [1] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等. 长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(5):711-716.
- [2] Randall P J, Wrigley C W. Effects of sulphur supply on the yield, composition and quality of grain from cereal soil seeds and legumes[J]. Advance in Cereal Science, 1986(8):171-206.
- [3] 赵秉强,张夫道. 我国的长期肥料定位试验研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(增刊):3-8.
- [4] Chwab A P, Owensby C E, Kulyingyong S. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1990,149(1):35-43.
- [5] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:13-107.
- [6] 汪川,王金英,郑金贵. 稻米矿物营养元素含量受种植环境的影响研究[J]. 福建农业科学报,2004,19(1):1-6.
- [7] 尉兰,孙芳梅. 人体内(钙)元素缺乏的治疗与护理[J]. 中国保健营养,2012,22(12):5312.
- [8] 单振芬. 微量元素与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2006,23(3):66-67.
- [9] 米国华,陈范骏,刘向生,等. 玉米籽粒铁含量的基因型差异[J]. 玉米科学,2004,12(2):13-15.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业大学出版社,2008:263-270.
- [11] 吴迅,黄玉碧,郑祖平,等. 玉米氮素利用效率的进展[J]. 黑龙江农业科学,2010(7):159-161.
- [12] 吴广来,岑泳延,郑建仙,等. 钙的食品强化[J]. 食品工业科技,2004(1):42.
- [13] 张进,吴良欢,王敏艳. 铁氮配施对稻米中铁、锌、钙、镁和蛋白质含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2007,26(1):122-125.
- [14] 王飞,林诚,李清华,等. 长期不同施肥对南方黄泥田水稻籽粒与土壤锌、硼、铜、铁锰含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(5):1056-1063.
- [15] 石荣丽,邹春琴,张福锁. 籽粒铁、锌营养与人体健康研究进展[J]. 广东微量元素科学,2006,13(7):1-8.
- [16] 李雅男. 硼元素的营养功能及缺失症状探索[J]. 河南农业,2012(23):16-17.
- [17] 谢伟,徐国茂,叶琴. 微量元素硼与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2010(1):65-66.
- [18] 邱岭,殷立忠. 微量元素钼与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2008,25(5):64-65.
- [19] 赵晓弃,鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报,1991,28(1):7-13.
- [20] 关春林,周怀平,解文艳,等. 长期施肥对褐土壤磷素累积及层间分布的影响[J]. 山西农业科学,2009,37(3):64-67.
- [21] 杨艳菊,王改兰,王振宙,等. 长期施用不同肥料对栗褐土无机磷组分的影响[J]. 华北农学报,2011,26(增刊):99-103.
- [22] 尹鹏达. 氮磷钾肥配施对填充型烤烟主要化学品质和产量的影响研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [23] 俄胜哲,袁继超,丁志勇,等. 氮磷钾对稻米铁、锌、铜、锰、镁、钙含量和产量的影响[J]. 中国水稻科学,2005,19(5):434-440.
- [24] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京:中国农业出版社,2007:103-109.
- [25] 林葆,周卫,李书田,等. 长期施肥对潮土硫、钙和镁组分与平衡的影响[J]. 土壤通报,2001,32(3):126-128.
- [26] 史吉平,张夫道,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):1-6.
- [27] 蒋廷惠,胡霁堂,秦怀英. 土壤中锌、铜、铁、锰的形态与有效性的关系[J]. 土壤通报,1989,20(5):228-231.
- [28] 李本银,汪鹏,吴晓晨,等. 长期肥料试验对土壤和水稻微量元素及重金属含量的影响[J]. 土壤学报,2009,46(2):281-288.
- [29] 温明霞,高焕梅,石孝均. 长期施肥对作物铜、铅、铬、镉含量的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(4):119-122.