

网络出版时间:2016-11-24 13:52

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.01.018

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20161124.1352.036.html>

长期施肥对黄土丘陵区农田土壤微量元素有效含量的影响

丁少男^{1,3}, 薛 菱², 刘国彬², 张 超²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3 商洛学院 城乡规划与建筑工程学院, 陕西 商洛 726000)

〔摘 要〕 【目的】探讨长期不同施肥处理对土壤微量元素有效含量的影响, 为农田管理和农业生产提供参考。

【方法】于 2012 年, 在位于黄土丘陵区陕西安塞的中国科学院水土保持综合试验站川地农田养分长期定位试验场(1997 年开始)内, 以大豆-玉米-玉米轮作模式的农田土壤为对象, 设置氮肥(N, 尿素 97.5 kg/hm²)、磷肥(P, 过磷酸钙 75.0 kg/hm²)、有机肥(M, 羊粪 7 500 kg/hm²)、N+P、N+M、P+M、N+P+M、裸地(BL)和不施肥(CK)共 9 个长期施肥处理, 采集 0~20 和 20~40 cm 土层土样, 测定不同土层土壤理化性质及有效铜、有效锌、有效锰和有效铁含量, 并对微量元素有效含量进行评价, 分析土壤理化性质与微量元素有效含量的相关性。【结果】与 CK 相比, 无论有机肥单施还是与无机肥配施, 土壤微量元素的有效含量均显著高于单纯施用化肥土壤, 其中土壤有效锌、有效锰和有效铁的平均增幅分别达 34.3%, 31.5% 和 40.4%, 长期施用氮肥会造成土壤有效锌和有效锰的轻微亏损。相关分析表明, 有机质、全氮、碱解氮和速效磷与有效锌、有效锰和有效铁的含量呈极显著正相关关系, 而 pH 则与其为负相关关系。【结论】总体上看, 黄土丘陵区农田土壤并不缺乏有效铜, 而有效锌、有效锰和有效铁都处于亏缺边缘, 施用有机肥可有效改善土壤中微量元素的亏缺状况。

〔关键词〕 长期施肥; 黄土丘陵区; 川地; 微量元素

〔中图分类号〕 S147.5

〔文献标志码〕 A

〔文章编号〕 1671-9387(2017)01-0124-07

Effect of long-term fertilization on soil microelements of farmland in hilly region of the Loess Plateau

DING Shaonan^{1,3}, XUE Sha², LIU Guobin², ZHANG Chao²

(1 College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 College of Urban, Rural Planning and Architectural Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: 【Objective】 This study determined the effect of long-term fertilization on contents of soil available microelements to provide suggestion the farmland management and agricultural activities. 【Method】 In 2012, contents of soil microelement and physicochemical properties at layers of 0—20 cm and 20—40 cm under different fertilization treatments N (urea 97.5 kg/hm²), P (monocalcium phosphate 75.0 kg/hm²), M (Composted sheep manure 7 500 kg/hm²), N+P, N+M, P+M, N+P+M, BL, and CK were determined at an alluvial terrace farmland of Ansai Research Station of Soil and Water Conservation in the hilly region of the Loess Plateau, Shaanxi province. Their levels were evaluated and relationships between

〔收稿日期〕 2015-10-09

〔基金项目〕 国家科技支撑计划项目(2015BAC01B03); 中科院西部青年学者项目(XAB2015A05); 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011KJXX36); 科技基础性工作专项(2014FY210100)

〔作者简介〕 丁少男(1986—), 男, 陕西延安人, 在读博士, 主要从事水土保持及土壤生态研究。E-mail: desen23@163.com

〔通信作者〕 刘国彬(1958—), 男, 陕西榆林人, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持与流域管理研究。

E-mail: gblu@ms.iswc.ac.cn

contents of soil available microelements and physicochemical properties were investigated. 【Result】 Compare to CK, organic manure significantly increased the contents of available microelements than inorganic fertilizer, especially for soil available Zn, available Mn and available Fe with average increase of 34.3%, 31.5% and 40.4% respectively. Long-term application of nitrogen fertilizer caused slight loss of available Zn and available Mn. Correlation analysis showed that organic matter, total nitrogen, available nitrogen and available phosphorus positively influenced available Zn, available Mn and available Fe content, while pH correlated with them negatively. 【Conclusion】 In general, the farmland soil in hilly region had enough available Cu but was lack of available Zn, available Mn and available Fe. Organic manure could improve the condition of soil microelements effectively.

Key word: long-term fertilization; Loess Plateau; alluvial terrace farmland; microelement

土壤微量元素对作物生长起着不可或缺的作用,其含量、形态分布和有效性不仅与成土母质和成土过程有关,还受耕作制度、施用肥料、种植作物等人为因素的影响^[1]。微量元素是相对大量元素而言的,其中以相对活动态存在于土壤中、能被植物吸收利用的部分称为有效态微量元素^[2]。微量元素与生物分子蛋白、维生素、核酸、多糖等的代谢联系密切,可以调控植物体内各种生理代谢的关键过程及酶的活动,在植物生长发育过程中不可或缺和替代^[3]。植物正常生长过程中对微量元素的需要量很少,但其作用却不可忽视,因为微量元素不仅影响到作物的生长发育、产量及农作物的品质,甚至关系到人类的健康^[4]。目前已有大量土壤微量元素的研究成果,如李志军等^[5]对关中土壤的研究表明,长期施用氮、磷肥后,土壤有效锌、锰和铜接近亏缺边缘;韩晓日等^[6]在棕壤上进行的长期定位试验表明,不同施肥处理土壤 pH 和有机质含量变化对土壤有效铜含量无明显作用,不同施肥处理对土壤有效铁的影响与其对有效锰的影响相似;刘思科等^[7]在褐潮土上的研究也表明,长期施用氮、磷化肥可显著降低耕层土壤中的有效锰、铜、锌含量,而有机肥与化肥配合施用可显著提高耕层土壤各微量元素的有效含量。可见施肥管理对土壤中微量元素有效性的影响是十分复杂的。

黄土区是古老农业区,黄土性土壤是我国北方的主要土壤类型,因此明确黄土性土壤微量元素含量的分布规律及其有效性,对本区微量元素肥料的有效施用以及研究黄土性土壤的基本性质都有非常重要的意义。川地农田在黄土丘陵区农业生产中占有很大比重,土壤较坡耕地更为肥沃,而且由于退耕还林还草之后,耕地面积大幅减少,位于沟谷间的川地就成了区域农业粮食生产的重要保障。余存祖等^[8]在 20 世纪对黄土高原地区土壤微量元素的含量与形态分布进行了较全面的研究,后来也有学者

研究了其他不同生境条件下土壤微量元素的分布特征^[9-11],但有关黄土丘陵地区川地农田长期定位施肥后微量元素变化状况的报道尚比较少见。为此,本试验分析了长期定位试验中不同施肥处理对黄土丘陵区川地农田土壤微量元素有效含量的影响,以期为黄土高原地区农田发展和农业生产中的科学施肥提供决策依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

试验于 2012 年在中国科学院安塞水土保持综合试验站进行,该站位于黄土高原中部,(E 109°19', N 36°51'),海拔 1 068~1 309 m;属暖温带半干旱气候,年均降雨量 535 mm,60%的降水集中在 7—9 月,且多暴雨,干燥度 1.48;年均温 8.8℃,有效积温(>10℃)为 3 114℃,无霜期 160 d 左右。地貌类型为典型的梁峁状丘陵沟壑区,沟壑密度 8.06 km/km²;在土壤类型上处于黄绵土与沙黄土交错区,地带性土壤为黑垆土,绝大部分已流失,黄土母质广泛出露地表,主要为黄绵土;土壤养分比较贫瘠,氮、磷缺乏,钾富足。受自然条件和人类活动共同影响,水土流失严重。植被区划属于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原区,原始植被现已无存;因无灌溉条件,农业生产主要依靠天然降水,属雨养农业地区,农作制一年一熟,以秋作物为主,且一般都是畜力耕地。

1.2 试验设计

所选样地位于综合试验站的川地养分长期定位试验场,该定位试验场从 1997 年开始设置,为旱地,种植模式为大豆-玉米-玉米轮作模式,2012 年种植作物为玉米,耕作方式为机耕耕作,间苗与定苗时各除草 1 次。样地总面积 378 m²,每块样地面积为 14 m²。试验共设 9 个处理,其中施肥处理有氮肥(N)、

磷肥(P)、有机肥(M)、N+P、N+M、P+M 及 N+P+M,另设不施肥(CK)和裸地(无作物、不施肥,BL)2 个对照,随机区组排列。每个小区设置 3 块重复样地。氮肥施用的是尿素,磷肥为过磷酸钙,有机肥为羊粪,折算后施肥量分别为:N,97.5 kg/hm²;P,75.0 kg/hm²;M,7 500 kg/hm²。施肥时将有机肥和磷肥做种肥一次性施入,N 肥以 20%为种肥,剩余 80%在玉米大喇叭口期与抽雄期之间追施。其他管理措施均保持一致。

1.3 研究方法

1.3.1 样品采集 待作物收获后,采用“S”形取样法(5 个样点)采集农田土壤表层(0~20 cm)和下层(20~40 cm)土样,充分混匀后装在布袋中立即送回实验室保存。挑去土样中的主要杂物后风干、晾干,之后磨碎过 2 mm 尼龙筛,分析测定其常规理化性质、微量元素有效含量。

1.3.2 土壤常规指标测定^[12] 有机质含量用重铬

酸钾容量法-外加热法测定,全氮含量用半微量凯氏法测定,碱解氮含量用碱解扩散法测定,全磷含量用 HClO₄-H₂SO₄-钼锑抗法测定,速效磷含量用 0.5 mol/L NaHCO₃ 提取-钼锑抗法测定,pH 值用 pH 测定仪(水土体积质量比 2.5:1)测定。

1.3.3 铜、锌、锰、铁微量元素的测定^[13] 利用 DT-PA 液浸提过孔径 2 mm 筛的风干土样,然后用澳大利亚 GBC 产的 932AA 型原子吸收分光光度计,于 324.8,248.3,213.9 和 279.5 nm 下分别测定有效铜、有效铁、有效锌和有效锰的吸光度,最后计算其含量。

1.3.4 评价标准 根据全国农业系统的“土壤速效微量元素丰缺指标”和“中国科学院微量元素组的土壤有效态微量元素评价指标”^[14-15],制定土壤微量元素有效含量的评价标准(表 1),对黄土高原丘陵区农田土壤长期施肥后土壤微量元素的有效含量进行评价,分析其变化原因,为该地区农业发展和管理提供参考依据。

表 1 土壤微量元素有效含量的评价标准
Table 1 Evaluation standard of soil microelements

元素 Element	极低 Very low	低 Low	中等 Medium	高 High	极高 Very high	临界值 Critical value
有效锰 Available Mn	≤5.0	>5.0~≤10.0	>10.0~≤20.0	>20.0~≤30.0	>30.0	10.0
有效铜 Available Cu	≤0.1	>0.1~≤0.2	>0.2~≤1.0	>1.0~≤1.8	>1.8	0.2
有效铁 Available Fe	≤5.0	>5.0~≤7.0	>7.0~≤10.0	>10.0~≤15.0	>15.0	7.0
有效锌 Available Zn	≤0.5	>0.5~≤1.0	>1.0~≤2.0	>2.0~≤5.0	>5.0	1.0

1.4 数据处理

所有数据采用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析、多重比较(LSD 法)和相关性分析(Pearson 法)。

2 结果与分析

2.1 长期施肥后土壤理化性质的变化

表 2 显示,长期不同施肥处理后土壤理化性质

变化显著。与 CK 相比,施用化肥并不能显著增加土壤有机质、全氮和碱解氮含量,也不能显著影响 pH 值的变化。施用有机肥后,土壤有机质、全氮和碱解氮含量都有大幅提升。而对于土壤全磷和速效磷而言,施用磷肥处理都会使其明显高于其他处理。经过多年的不种植作物处理后,裸地 BL 与 CK 相比,除了表层土壤有机质含量显著降低和 pH 升高外,其他指标并无显著差异。

表 2 不同施肥处理土壤的理化性质
Table 2 Soil physicochemical properties

处理 Treatment	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter		全氮/(g·kg ⁻¹) Total N		全磷/(g·kg ⁻¹) Total P		碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N		速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P		pH	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
BL	9.95 d	7.30 cd	0.56 c	0.44 c	0.65 c	0.59 b	37.20 c	28.37 c	9.67 cd	3.76 bc	8.63 a	8.66 a
CK	11.15 c	7.07 d	0.61 c	0.45 c	0.64 c	0.58 b	40.20 bc	28.93 c	2.65 d	1.40 c	8.53 bc	8.70 a
N	10.81 cd	7.29 cd	0.60 c	0.45 c	0.64 c	0.58 b	42.50 bc	29.43 c	2.42 d	1.29 c	8.57 ab	8.69 a
P	11.57 c	7.25 cd	0.63 c	0.46 bc	0.88 a	0.59 b	42.36 bc	28.30 c	42.85 b	5.57 b	8.49 bc	8.66 a
N+P	11.58 c	7.38 cd	0.64 c	0.47 bc	0.81 b	0.60 ab	44.30 b	31.83 bc	22.22 c	3.69 bc	8.54 bc	8.64 a
M	16.80 a	8.46 ab	0.91 a	0.53 a	0.68 c	0.58 b	64.10 a	34.67 ab	5.49 d	1.77 c	8.56 abc	8.69 a
M+N	15.49 b	8.48 ab	0.88 ab	0.52 a	0.67 c	0.58 b	68.13 a	36.90 a	4.84 d	2.04 c	8.52 bc	8.64 a
M+P	16.07 ab	8.89 a	0.94 a	0.53 a	0.88 a	0.64 a	63.33 a	33.13 b	68.75 a	8.85 a	8.54 bc	8.68 a
M+N+P	15.04 b	7.83 bc	0.82 b	0.50 ab	0.85 ab	0.61 ab	64.90 a	34.27 ab	47.22 b	6.49 ab	8.47 c	8.66 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异达显著水平(P<0.05),下表同。
Note: Different letters in each column indicate significant difference among treatments (P<0.05). The same below.

2.2 长期施肥处理后土壤微量元素有效含量的变化与评价

2.2.1 有效铜 表 3 显示,CK 农田表层土壤的有效铜含量为 0.90 mg/kg,下层土壤有效铜含量为 0.83 mg/kg,均处于中等水平。除 M 处理能显著增加表层土壤的有效铜含量外,其他施肥处理表层土壤的有效铜含量与 CK 相比无显著差异;M 处理下

层土壤有效铜含量与 CK 相比虽略微减少,但差异未达显著水平。不同施肥处理表层土壤有效铜含量为 0.86~1.14 mg/kg,下层土壤在 0.76~0.94 mg/kg。整体上,各处理土壤有效铜含量均超过临界值(0.2 mg/kg),说明研究区土壤有效铜并不缺乏。

表 3 不同施肥处理土壤的微量元素有效含量
Table 3 Available contents of soil microelements under different fertilization treatments mg/kg

处理 Treatment	有效铜 Available Cu		有效锌 Available Zn		有效锰 Available Mn		有效铁 Available Fe	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
BL	0.95±0.12 b	0.94±0.01 a	1.28±0.05 bc	0.57±0.09 a	8.77±0.99 b	7.19±0.36 b	5.22±0.00 d	5.11±0.76 c
CK	0.90±0.03 b	0.83±0.04 b	1.03±0.06 de	0.47±0.08 ab	8.59±0.60 b	7.42±0.38 b	6.31±0.25 c	5.36±0.28 bc
N	0.91±0.06 b	0.82±0.05 b	0.94±0.04 e	0.47±0.06 ab	8.28±0.24 b	7.42±0.29 b	6.34±0.33 c	5.41±0.15 bc
P	0.91±0.06 b	0.82±0.04 b	1.15±0.01 cd	0.52±0.06 a	9.09±0.23 b	7.34±0.26 b	6.75±0.34 c	5.37±0.27 bc
N+P	0.88±0.07 b	0.76±0.06 b	1.03±0.10 de	0.37±0.02 b	8.86±0.18 b	7.17±0.29 b	6.88±0.18 c	5.45±0.16 bc
M	1.14±0.01 a	0.81±0.13 b	1.38±0.15 ab	0.50±0.14 a	10.84±0.35 a	7.48±0.17 b	8.65±0.20 b	6.02±0.68 ab
M+N	1.00±0.20 ab	0.83±0.08 b	1.22±0.07 bc	0.45±0.08 ab	11.70±1.12 a	7.49±0.21 b	8.44±0.33 b	5.87±0.46 abc
M+P	0.91±0.08 b	0.83±0.02 b	1.55±0.19 a	0.56±0.02 a	11.59±0.54 a	7.54±0.17 b	9.62±0.95 a	6.29±0.67 a
M+N+P	0.86±0.05 b	0.81±0.05 b	1.39±0.12 ab	0.56±0.04 a	11.03±0.13 a	8.01±0.39 a	8.73±0.10 b	5.90±0.39 abc

注:表中数据为“平均值±标准差”。
Note:The value is presented as “mean±standard deviation”.

2.2.2 有效锌 表 3 显示,CK 表层土壤的有效锌含量为 1.03 mg/kg,属于中等水平;下层土壤为 0.47 mg/kg,含量较低。与 CK 相比,施用有机肥处理的表层土壤有效锌含量显著增加,平均增幅为 34.3%;而下层土壤有效锌含量则无显著变化。单一施用化肥后土壤有效锌含量与 CK 相比也无显著变化。整体上各处理表层土壤有效锌含量超过或者在临界值(1.0 mg/kg)附近,下层含量在临界值以下,说明研究区土壤有效锌基本上处于平衡状态。

2.2.3 有效锰 表 3 显示,CK 表层土壤的有效锰含量为 8.59 mg/kg,下层为 7.42 mg/kg。与 CK 相比,施用有机肥处理的表层土壤有效锰含量显著增加,且达到中等水平,平均增幅为 31.5%;而施用化肥处理的表层土壤有效锰含量则无显著变化。在下层土壤中,M+N+P 处理土壤的有效锰含量显著高于其他处理。施用化肥处理的表层土壤有效锰含量为 8.28~9.09 mg/kg,在临界值(10 mg/kg)之下,施用有机肥处理的表层土壤有效锰含量则在临界值之上,说明本地区有效锰濒临亏缺,只有大量施用有机肥,才能满足作物需求。

2.2.4 有效铁 表 3 显示,CK 表层土壤有效铁含量为 6.31 mg/kg,下层为 5.36 mg/kg,属于低水平状态。不同施肥处理土壤有效铁含量的变化规律与有效锰类似,即与 CK 相比,施用有机肥处理的表层

土壤有效铁含量显著增加,而单一施用无机肥处理的表层土壤有效铁含量则无显著变化;下层土壤中,只有 M+P 处理的有效铁含量显著高于其他施肥处理。各施肥处理中,只施用化肥处理土壤的有效铁含量在临界值(7.0 mg/kg)以下,施用有机肥的有效铁含量则在临界值之上,说明本地区土壤有效铁也处于亏缺边缘。

2.3 种植作物对土壤微量元素含量的影响

由表 3 可知,在表层土壤中,与 BL 相比,CK 土壤有效锌含量显著降低,有效铁含量显著升高,而有效铜和有效锰含量无显著变化;而在下层土壤中,与 BL 相比,CK 土壤有效铜含量显著降低,而有效锌、有效锰、有效铁含量则无显著变化。总体而言,种植作物后,由于作物对土壤中微量元素的吸收运移,再加上微量元素在淋溶作用下下移,土壤中有效铜和有效锌会逐渐消耗,有效锰变化不大,而有效铁会富集于表层。

2.4 土壤微量元素与理化性质的相关性

由表 4 可以看出,研究区土壤中的 4 种有效微量元素与有机质呈显著或极显著相关,除有效铜外,其他 3 种微量元素也与速效磷、全氮和碱解氮呈显著或极显著正相关;全磷与有效锌和有效铁呈显著正相关;pH 与有效铁呈显著负相关关系^[16]。此外,有效锰、有效铁和有效锌之间也呈极显著相关,这与

高明等^[17]的研究结论基本一致,他认为各种形态铁、锰、铜、锌之间存在着相互制约和相互影响的关系。

表 4 土壤微量元素与土壤理化性质的相关性

Table 4 Correlation analysis between soil physicochemical properties and microelements

指标 Index	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	pH	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn	有效锰 Available Mn
有效铜 Available Cu	0.41 *	0.36	−0.25	0.28	−0.32	0.14			
有效锌 Available Zn	0.69 * *	0.74 * *	0.41 *	0.64 * *	0.53 * *	−0.11	0.23		
有效锰 Available Mn	0.88 * *	0.89 * *	0.29	0.90 * *	0.39 *	−0.30	0.20	0.72 * *	
有效铁 Available Fe	0.92 * *	0.92 * *	0.46 *	0.88 * *	0.52 * *	−0.40 *	0.24	0.70 * *	0.86 * *

注: * 表示相关性达显著水平($P<0.05$), * * 表示相关性达极显著水平($P<0.01$)。
Note: * means significant correlation($P<0.05$), * * means extremely significant correlation($P<0.01$).

3 讨 论

3.1 不同施肥处理对土壤微量元素含量的影响

从本研究结果来看,施用有机肥处理土壤微量元素的有效含量显著高于单一施用化肥处理土壤,这与其他研究者的结论^[18]基本一致。此外本研究发现,有机肥处理土壤中有效锰、有效铁和有效锌总体有显著变化,但是对有效铜含量影响较小,这与前人的研究结论^[19]相似。无论是单施有机肥还是有机肥与化肥配合施用,土壤有效铁和有效锌含量随土层深度的增加而降低,即一般情况下土壤微量元素更容易积累在表层耕层土壤,这与魏孝荣等^[20]的结论一致。

3.2 不同因素对土壤微量元素含量的影响

本研究中的相关性分析表明,影响微量元素有效含量的主要因素有土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷。有机质影响土壤微量元素,不仅是因为其从源上直接向土壤中带入微量元素,而且其也影响着微量元素在土壤中的吸附-解析过程^[21]。此外,有机质也会间接地影响土壤 pH,进而影响土壤氧化还原环境,最终会影响到微量元素在土壤中的形态,这与微量元素的有效性有着密切的联系^[22]。

本研究中,与裸地相比,种植作物会对 0~40 cm 土层土壤有效锌、有效铜和有效铁含量造成不同程度的影响,但对有效锰含量则无显著影响。有研究表明,种植作物处理土壤的有效锌和有效铜含量较撂荒处理低,主要是因为作物对微量元素的吸收再加上作物收获,微量元素完成了从土壤到作物的转移^[20],这与本研究结论基本一致。此外,植物根系的形态性状和生理活性等都会影响植物对微量元素的吸收。根系分泌物如有机酸、糖类、氨基酸和其他次生代谢物质,能与土壤重金属络合、螯合、生成沉淀和改变根际环境,进而影响耕层土壤重金属的

有效性,最终影响作物对微量元素的吸收和利用^[23]。

除施肥因素外,外部的人为管理措施也会对土壤微量元素的有效性造成影响,如秸秆还田等措施。作物秸秆还田不仅可以提高土壤中的有机质,也会给土壤中带来一部分微量元素。朱先进等^[24]和宇万太等^[25]的研究表明,玉米收获物中的微量元素含量高于大豆,且玉米收获物中的微量元素主要集中在秸秆中。因此,在我国未来农业发展中,应重视以秸秆还田等措施为代表的养分循环利用方式的推广和应用,对于解决农业发展的不可持续问题、实现资源的合理利用具有重要意义。此外,大气沉降、降雨和灌溉也是土壤微量元素的来源之一^[26]。我国各地区自然条件不同,土壤微量元素的分布很不平衡。综合前人的研究和经验^[27-28],建议在本地区的农业生产中,应增施有机肥,注重采取秸秆还田以及其他可以改善土壤理化状况的措施。

长期定位试验虽然已有一百多年的历史,并在许多研究领域取得重要进展,但从目前的研究来看,对微量元素的研究还远远不够,今后应加强这方面的研究,尤其是关于长期定位施肥情况下土壤微量元素的形态转化、迁移及其土壤-植物循环过程等的研究。

4 结 论

- 1) 本研究表明,15 年长期氮肥处理会造成土壤有效锌和有效锰的轻微亏损。有机肥单施或是与化肥配施,土壤有效铜、有效锌、有效锰和有效铁含量总体显著高于单一化肥处理;与 CK 相比,施用有机肥可显著提高土壤有效锌、有效锰和有效铁含量,平均增幅分别达 34.3%,31.5%和 40.4%。
- 2) 黄土丘陵区农田土壤并不缺乏有效铜,而有效锌、有效锰和有效铁均处于亏缺边缘,施用有机肥

可有效改善土壤中微量元素的贫瘠状况。

3)有机质、全氮、碱解氮和速效磷是影响土壤有效锌、有效锰和有效铁含量的主要因素。

参考文献

- [1] 张晓霞,李占斌,李 鹏.黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究[J].水土保持学报,2010,24(5):45-48.
Zhang X X, Li Z B, Li P. Study on distribution characteristics soil trace elements of grass land in the Loess Plateau [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(5): 45-48.
- [2] 陈 超,杨 丰,刘洪来,等.贵州喀斯特地区草地开垦对土壤微量元素的影响与评价[J].农业工程学报,2013,29(7):230-237.
Chen C, Yang F, Liu H L, et al. Effects and evaluation of soil trace elements after grassland converted into cropland in Guizhou karst area [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(7): 230-237.
- [3] 董国涛,张爱娟,罗格平,等.三工河流域绿洲土壤微量元素有效含量特征分析[J].土壤,2009,41(5):726-732.
Dong G T, Zhang A J, Luo G P, et al. Study on contents of available trace elements in oasis soil of Sangong river watershed [J]. Soils, 2009, 41(5): 726-732.
- [4] Gupta U C, Wu K, Liang S. Micronutrients in soils, crops, and livestock [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 9: 110-125.
- [5] 李志军,李平儒,史银光,等.长期施肥对关中壤土微量元素有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1456-1463.
Li Z J, Li P R, Shi Y G, et al. Effects of long-term fertilizer management regimes on availability of soil micronutrient elements [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1456-1463.
- [6] 韩晓日,邹德乙,郭鹏程.长期施肥对土壤中锌的形态含量及其有效性的影响[J].沈阳农业大学学报,1992(Z09):62-67.
Han X R, Zou D Y, Guo P C. Effect of long-term application of manure and fertilizers on morphology and availability of Zinc in brown earth [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 1992(Z09): 62-67.
- [7] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期施氮,磷,钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
Liu E K, Zhao B J, Hu C H, et al. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applications on maize yield and soil fertility [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(5): 789-794.
- [8] 余存祖,彭 琳,刘耀宏,等.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, et al. Content and distribution of trace elements and fertilizer efficiency in soils of Loessal Region [J]. Acta Pedologica Sinica, 1991, 28(3): 317-326.
- [9] 李丽霞,郝明德.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[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):44-48.
Li L X, Hao M D. Temporal and spatial variation of Cu, Zn, Mn and Fe content in soils with long term trace fertilizer application on the Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(1): 44-48.
- [10] 魏孝荣,郝明德,邵明安.黄土高原旱地长期种植作物对土壤微量元素形态和有效性的影响[J].生态学报,2005,25(12):3196-3203.
Wei X R, Hao M D, Shao M A. Effects of long-term cropping on the forms and the availability of micro-nutrients in dryland soils on the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3196-3203.
- [11] Li B Y, Zhou D M, Cang L, et al. Soil micronutrient availability to crops as affected by long-term inorganic and organic fertilizer applications [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 96(1): 166-173.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil agro-chemical analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [13] 张 超,刘国彬,薛 蕊,等.黄土丘陵区撂荒农耕地土壤有效态微量元素演变特征[J].中国农业科学,2013,46(18):3809-3817.
Zhang C, Liu G B, Xue S, et al. Characteristic of soil available trace elements on abandoned cropland in the Loess Hilly Region [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(18): 3809-3817.
- [14] 刘洪来,杨 丰,黄 顶,等.农牧交错带草地开垦对土壤有效态微量元素的影响及评价[J].农业工程学报,2012,28(7):155-160.
Liu H L, Yang F, Huang D, et al. Effect and evaluation of soil trace elements after grassland converted into cropland in agro-pasturage ecotone of northern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 155-160.
- [15] 王德宣,富德义.吉林省西部地区土壤微量元素有效性评价[J].土壤,2002,34(2):86-89.
Wang D X, Fu D Y. Appraisalment on available trace element in soil of western Jilin Province [J]. Soils, 2002, 34(2): 86-89.
- [16] 杨丽娟,李天来,付时丰.长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):549-553.
Yang L J, Li T L, Fu S F. Effects of long-term fertilization on availability of micro-elements in vegetable soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 549-553.
- [17] 高 明,车福才.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,2000,6(1):11-17.
Gao M, Che F C. Effect of long-term application of manures on forms of Fe, Mn, Cu and Zn in Purple Paddy soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 11-17.
- [18] 任顺荣,邵玉翠,高宝岩,等.长期定位施肥对土壤微量元素含量的影响[J].生态环境,2005,14(6):921-924.
Ren S R, Shao Y C, Gao B Y, et al. Effects of long-term located fertilization on the microelement contents of soil [J]. Ecol-

ogy and Environment Sciences,2005,14(6):921-924.

[19] 张淑香,王小彬,金 柯,等. 干旱条件下氮、磷水平对土壤锌、铜、锰、铁有效性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(4):391-396.

Zhang S X,Wang X B,Jin K,et al. Effect of different N and P levels on availability of zinc,copper,manganese and iron under arid conditions [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001,7(4):391-396.

[20] 魏孝荣,邵明安. 黄土沟壑区小流域不同地形下土壤微量元素分布特征 [J]. 环境科学,2009,30(9):2741-2746.

Wei X R,Shao M A. Distribution of micronutrients in soils as affected by landforms in a Loessial Gully Watershed [J]. Environmental Science,2009,30(9):2741-2746.

[21] 朱 静,黄 标,孙维侠,等. 农田土壤有效态微量元素的时空变化及其影响因素研究 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 2007,43(1):1-12.

Zhu J,Huang B,Sun W X,et al. Temporal-Spatial variability and its influencing factors of available trace metals in soils [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition),2007,43(1):1-12.

[22] 刘 铮,朱其清,唐丽华,等. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布 [J]. 土壤学报,1982(3):209-223.

Liu Z,Zhu Q Q,Tang L H,et al. Geographical distribution of trace elements-defficient soils in China [J]. Acta Pedologica Sinica,1982(3):209-223.

[23] 魏明宝,魏丽芳,胡 波. 长期施肥对土壤微量元素的影响进展研究 [J]. 安徽农业科学,2010,38(22):11951-11953.

Wei M B,Wei L F,Hu B,et al. Advances on the effects of long-term fertilization of micro-elements in soil [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(22):11951-11953.

[24] 朱先进,宇万太,马 强,等. 不同施肥模式下作物收获物中微量元素含量及其分配研究 [J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1063-1068.

Zhu X J,Yu W T,Ma Q. Effect of varying fertilization treatment on the content and distribution of trace elements in harvested crops [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2009,17(6):1063-1068.

[25] 宇万太,朱先进,周 桦,等. 不同施肥模式下土壤微量元素变化与转化特征 [J]. 生态学杂志,2010,29(4):711-716.

Yu W T,Zhu X J,Zhou H,et al. Dynamic changes of soil trace elements under different fertilization modes [J]. Chinese Journal of Ecology,2010,29(4):711-716.

[26] Nicholson F A,Smith S R,Alloway B J,et al. Quantifying heavy metal inputs to agricultural soils in England and Wales [J]. Water and Environment Journal,2006,20(2):87-95.

[27] Baldantoni D,Leone A,Iovieno P,et al. Total and available soil trace element concentrations in two Mediterranean agricultural systems treated with municipal waste compost or conventional mineral fertilizers [J]. Chemosphere,2010,80(9):1006-1013.

[28] Wei X R,Hao M D,Shao M A,et al. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization [J]. Soil & Tillage Research,2006,91(1/2):120-130.

(上接第 123 页)

[18] 钟倩云,曾 敏,廖柏寒,等. 碳酸钙对水稻吸收重金属(Pb Cd Zn)和 As 的影响 [J]. 生态学报,2015,35(4):1242-1248.

Zhong Q Y,Zeng M,Liao B H,et al. Effects of CaCO₃ addition on uptake of heavy metals and arsenic in paddy fields [J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(4):1242-1248.

[19] 朱奇宏,黄道友,刘国盛,等. 改良剂对镉污染酸性水稻土的修复效应与机理研究 [J]. 中国生态农业学报,2010,18(7):847-851.

Zhu Q H,Huang D Y,Liu G S,et al. Effects and mechanisms of amendments on remediation of cadmiumcontaminated acid paddy soils [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2010,18(7):847-851.

[20] 罗远恒,顾雪元,吴永贵,等. 钝化剂对农田土壤镉污染的原位钝化修复效应研究 [J]. 农业环境科学学报,2014,33(5):890-897.

Luo Y H,Gu X Y,Wu Y G,et al. In-situ remediation of cadmium-polluted agriculture land using stabilizing amendments [J]. Journal of Agro-Environment Science,2014,33(5):890-897.