

安徽省宿州市埇桥区玉米土壤养分含量特征与评价

王景艳¹, 寇伟锋^{2*}, 姜超强³, 高飞⁴ (1. 安徽省农垦集团有限公司, 安徽合肥 230061; 2. 安徽省农村与社会科技发展中心, 安徽合肥 230088; 3. 安徽省农业科学院, 安徽合肥 230001; 4. 宿州市埇桥区夹沟镇农业综合服务中心, 安徽宿州 234102)

摘要 [目的]明确安徽省宿州市埇桥区玉米土壤养分含量现状,为当地土壤养分管理和合理施肥提供理论依据。[方法]选取埇桥区30个玉米种植区域,测定分析土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和中微量元素有效态含量及其相关性分析,评价各项养分指标的丰缺状况。[结果]玉米种植区土壤pH处于4.24~7.55,平均值为5.91,其中43.3%的取样点土壤属于酸性土壤,建议施用适宜用量的石灰来改良这部分酸性土壤,以促进玉米生长发育。土壤有机质平均含量为30.5 g/kg,土壤有机质较高;土壤碱解氮平均含量为146.07 mg/kg,76.7%取样点土壤碱解氮处于高和极高水平;土壤有效磷和速效钾平均含量分别为49.66和288.64 mg/kg,56.7%的土壤有效磷含量处于极高水平,83.3%的土壤速效钾含量处于极高水平。土壤的交换性钙、交换性镁含量均处于高或极高水平,土壤有效锰和有效铜基本处于中等或高水平,大部分土壤有效铁和有效锌处于极高水平,但也分别有20.0%和26.6%处于低水平,说明少部分区域缺铁和缺锌。[结论]综合来看,该区应适当减施氮肥,控制磷肥和钾肥投入,以减少土壤磷素累积及其对环境的污染。同时应加大微量元素的测土配方施肥,以均衡微量元素营养的供应,保障玉米丰产、农民丰收。

关键词 玉米;速效养分;微量元素;评价;相关性分析

中图分类号 X825 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)09-0042-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.09.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Characteristics and Evaluation of Soil Nutrients in Maize Planting Areas in the Yongqiao District of Suzhou City, Anhui Province with Different Tree Ages

WANG Jing-yan¹, KOU Wei-feng², JIANG Chao-qiang³ et al (1. Anhui Provincial State Farms Group, Hefei, Anhui 230061; 2. Anhui Rural and Social Science and Technology Development Center, Hefei, Anhui 230088; 3. Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001)

Abstract [Objective] The purpose of this study was to understand the status of soil nutrient contents in maize planting areas in the Yongqiao district of Suzhou City, Anhui Province, which could provide reference for local soil nutrient management and rational fertilization. [Method] 30 maize planting areas in Yongqiao district were selected to measure and analyze the soil pH, organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium, and the available content of medium and trace elements and their correlation analysis, and to evaluate the abundance and deficiency of various nutrient indicators. [Result] The results showed that the soil pH in maize planting areas was between 4.24 and 7.55, with an average value of 5.91, and 43.3% of those soil samples were acidic. It was suggested to apply suitable amount of lime to improve the acidic soil and to promote the growth and development of maize. The average content of soil organic matter was 30.5 g/kg, which belonged to a higher level. The average content of soil alkali-hydrolyzed nitrogen was 146.07 mg/kg, and 76.7% of the samples were at high or extremely high level. The average content of soil available phosphorus and available potassium was 49.66 mg/kg and 288.64 mg/kg, respectively, and 56.7% and 83.3% in available phosphorus and available potassium were at extremely high level, respectively. The contents of exchangeable calcium and exchangeable magnesium in soil were at high or very high levels, while the available manganese and available copper were at medium or high levels. Most of the soil available iron and available zinc levels were extremely high, but 20% and 26.6% of the soil available iron and zinc levels were low, indicating that a small number of areas were iron and zinc deficient. [Conclusion] In all, nitrogen fertilizer should be reduced and the input of phosphorus and potassium fertilizer should be controlled to reduce the accumulation of soil phosphorus and its pollution to the environment. Moreover, soil testing and formula fertilization should be increased to balance the supply of micronutrients and ensure the high yield of maize and farmers.

Key words Maize; Available nutrients; Trace elements; Evaluation; Correlation analysis

玉米是我国播种面积最大的作物之一,对保障粮食安全具有重要的战略意义^[1-2]。作物的生长发育在很大程度上依赖于土壤养分的供给,土壤养分含量高低与玉米产量密切相关,也是实现玉米高产优质的重要基础保障^[2-3]。为了提高玉米产量和品质,诸多研究者在不同区域乃至全国范围内对玉米种植区开展了大量关于土壤养分状况及其变化方面的研究^[2,4-6]。因此,调查了解土壤肥力状况,研究土壤养分的变化规律及其影响因素,对土壤养分管理,制订施肥方案及提高作物产量和减少施肥不当导致的污染等具有重要意义。

宿州市是安徽省重要的粮食主产区,主要农作物有玉米、小麦、大豆、蔬菜等^[7]。宿州市埇桥区玉米种植面积稳定

在8万hm²以上,2019年玉米产量达到9600kg/hm²以上,是当地重要的粮食安全保障^[8]。近年来,埇桥区夏玉米的产量和品质的提升均受到了较大限制,其中土壤养分管理也出现了一些问题,包括农户施肥缺乏科学指导,存在较大的盲目性和随意性^[8]。因此,笔者以埇桥区玉米种植区域为研究对象,通过田间采样和室内检测分析相结合,研究土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和中微量元素有效态含量及其相关性分析,评价各项养分指标的丰缺状况,以期在当地土壤养分管理和合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 试验区位于安徽省宿州市埇桥区,地处淮北平原,属暖温带半湿润季风气候区。该区四季分明,年均气温14.4℃,最冷月1月平均气温为0℃,最热月7月平均气温为26.8℃,年平均日照时数2021~2648h,年降水量630.3~1040.8mm^[7-8]。该区主要地形地貌为丘陵、阶地、平

基金项目 安徽省重点研究和开发计划项目(1804g07020163)。
作者简介 王景艳(1982—),女,宁夏固原人,农艺师,博士,从事农业生产研究。*通信作者,副研究员,硕士,从事作物栽培及植物营养研究。
收稿日期 2022-07-06

原,主要农作物有玉米、小麦、大豆、蔬菜、果树,是我国粮食生产大区^[7-8]。

1.2 样品采集 于2020年10月上旬,在埇桥区夹沟镇采集玉米地土壤样品。根据玉米种植面积和地形,选取30个具有代表性的种植地,采用“S”形采样方法,用木铲取耕层(0~20 cm)土壤,按照四分法取混合样品1 kg,共30个土壤样品。采集的样品经风干后剔除植物残体、研磨过筛,待测。

1.3 测定方法 土壤理化性状指标参照鲍士旦^[9]的方法测定,其中,pH采用pH计电位法测定,有机质含量采用重铬酸

钾容量法测定,碱解氮含量采用碱解扩散法测定,有效磷含量采用0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,速效钾含量采用1 mol/L NH₄OAC 浸提-火焰光度计法测定,交换性钙和交换性镁的含量用中性1 mol/L NH₄Ac 浸提-原子吸收法测定;有效铁、锰、铜、和锌的含量用二乙三胺五乙酸(DT-PA)浸提-原子吸收光谱法测定。

1.4 分级标准 根据全国第二次土壤普查的养分分级标准,结合相关文献^[4,6]将土壤养分含量指标分为5个等级(表1)。

表 1 玉米种植区土壤养分含量分级标准
Table 1 Grading standard of soil nutrients for maize field

级别 Level	OM g/kg	N mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
极低 Extreme low	<10	<60	<5	<50	<0.3	<0.05	<2.5	<5	<0.1	<0.5
低 Low	10~<20	60~<90	5~<10	50~<100	0.3~<1.0	0.05~<0.15	2.5~<10.0	5~<10	0.1~<0.2	0.5~<1.0
中 Middle	20~<30	90~<120	10~<20	100~<150	1.0~<3.0	0.15~<0.30	10.0~<20.0	10~<20	0.2~<1.0	1.0~<3.0
高 Rich	30~<40	120~<150	20~<40	150~<200	3.0~<5.0	0.30~<0.50	20.0~<30.0	20~<30	1.0~<1.8	3.0~<5.0
极高 Extreme rich	≥40	≥150	≥40	≥200	≥5.0	≥0.50	≥30	≥30	≥1.8	≥5.0

1.5 数据处理 数据采用SPSS 19.0 进行统计分析,用最小显著差数法(LSD 法)分析数据间的差异显著性,并用 Microsoft Excel 2013 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH、有机质分析 由表2可知,研究区域玉米地土壤 pH 为4.24~7.55,平均值为5.91,pH 低于5.50 的取样点占43.3%;有机质含量为4.7~47.6 g/kg,平均值为30.5 g/kg;碱解氮、有效磷、速效钾含量变化范围分别为37.80~233.40、4.99~161.17 和138.00~529.60 mg/kg,平均

值分别为146.07、49.66 和288.64 mg/kg;交换性钙和交换性镁的含量分别为1.57~25.85 和0.40~2.14 g/kg,平均值分别为9.52 和0.77 g/kg;有效铁、有效锰、有效铜和有效锌含量变化范围分别为5.12~288.94、6.67~28.56、0.20~1.81 和0.13~66.34 mg/kg,平均值分别为109.83、17.93、0.87 和27.78 mg/kg。不同养分指标的变异系数差异较大,其中,土壤 pH 的变异系数最小(19.40%),有效铁的最大(85.65%),全部养分指标的变异系数均在10%~100%,均属于中等变异性。

表 2 土壤 pH 和养分含量描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of soil pH and nutrients

项目 Item	pH	有机质 Organic matter g/kg	碱解氮 Available N mg/kg	有效磷 Available P mg/kg	速效钾 Available K mg/kg	交换性钙 Exchan- geable Ca//g/kg	交换性镁 Exchan- geable Mg//g/kg	有效铁 Available Fe mg/kg	有效锰 Available Mn mg/kg	有效铜 Available Cu mg/kg	有效锌 Available Zn mg/kg
最大值 Max.	7.55	47.6	233.40	161.17	529.60	25.85	2.14	288.94	28.56	1.81	66.34
最小值 Min.	4.24	4.7	37.80	4.99	138.00	1.57	0.40	5.12	6.67	0.20	0.13
平均值 Mean	5.91	30.5	146.07	49.66	288.64	9.52	0.77	109.83	17.93	0.87	27.78
标准差 SD	1.15	10.5	40.51	34.03	106.63	6.98	0.57	94.07	6.18	0.48	19.41
变异系数 CV//%	19.40	34.33	27.73	68.52	36.94	73.30	73.78	85.65	34.46	55.01	69.89

2.2 土壤养分指标等级分布 由表3可知,土壤各项养分指标总体为中等及以上等级,其中,交换性钙大多处于高或极高等级,速效钾和交换性钙处于高和极高等级的比例分别占96.6%和90.0%,说明土壤速效钾和交换性钙的整体水平很高。有效磷和碱解氮高和极高等级的比例分别占80%和76.7%,处于低水平的则分别占10.0%和6.7%,说明土壤有效磷和碱解氮含量整体较高。有机质含量主要分布在中和高2个水平,分别占30.0%和33.3%,一部分区域处于低、极低水平(占16.6%)。有效锌和有效铁处于极高水平的分别占73.3%和66.7%,但是分别有26.6%和20.0%处于低或极低水平,说明大部分区域有效锌和有效铁过剩,但也有一部分区域较为缺乏。有效铜和有效锰含量总体较为适宜,均有

60.0%处于中等水平,另外分别有30.0%和36.7%处于高水平。

2.3 土壤养分指标相关性分析 由表4可知,土壤 pH 与碱解氮、有效磷和有效铁呈显著或极显著负相关,与交换性钙和交换性镁呈极显著正相关。有机质与除交换性镁以外的其他指标呈正相关,且与碱解氮、有效磷、速效钾、有效锰和有效锌呈显著或极显著正相关。碱解氮与有效磷、有效铁、有效锰、有效铜和有效锌呈显著或极显著正相关,与交换性镁呈显著负相关。有效磷与有效铁、有效锰和有效铜呈显著或极显著正相关,与交换性钙和交换性镁呈显著负相关。交换性钙与交换性镁呈极显著正相关,与有效铁呈极显著负相关。有效铜和有效铁呈显著正相关。

表 3 土壤养分指标频率分布
Table 3 Distribution of soil nutrient frequency

级别 Level	有机质 Organic matter	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn
极低 Extreme low	3.3	3.3								23.3
低 Low	13.3	6.7	10.0				20.0	10.0		3.3
中 Middle	30.0	13.3	10.0	3.3	10.0		6.7	60.0	60.0	
高 Rich	33.3	20.0	23.3	13.3	20.0	73.3	6.7	30.0	36.7	
极高 Very rich	20.0	56.7	56.7	83.3	70.0	26.7	66.7		3.3	73.3

表 4 各项养分指标之间的相关系数
Table 4 Correlation coefficient among soil nutrients

指标 Index	pH	有机质 Organic matter	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchan- geable Ca	交换性镁 Exchan- geable Mg	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn
pH	1										
有机质 Organic matter	-0.083	1									
碱解氮 Available N	-0.448 *	0.846 **	1								
有效磷 Available P	-0.521 **	0.578 **	0.691 **	1							
速效钾 Available K	0.239	0.542 **	0.315	0.141	1						
交换性钙 Exchangeable Ca	0.862 **	0.028	-0.321	-0.446 *	0.150	1					
交换性镁 Exchangeable Mg	0.727 **	-0.065	-0.396 *	-0.429 *	0.082	0.835 **	1				
有效铁 Available Fe	-0.784 **	0.322	0.499 **	0.675 **	-0.007	-0.630 **	-0.576 **	1			
有效锰 Available Mn	-0.255	0.391 *	0.381 *	0.399 *	0.218	-0.246	0.018	0.245	1		
有效铜 Available Cu	-0.171	0.325	0.481 **	0.533 **	0.091	-0.174	-0.304	0.363 *	0.019	1	
有效锌 Available Zn	-0.062	0.526 **	0.392 *	-0.045	0.285	0.063	0.064	0.089	0.323	-0.102	1

注：* 表示在 0.05 水平相关性显著，** 表示在 0.01 水平相关性显著。
Note: * indicates significant correlation($P<0.05$), ** indicates significant correlation($P<0.01$).

3 讨论

土壤 pH 是土壤重要的理化指标之一,反映土壤的酸碱平衡体系,是土壤养分循环的主控因子之一^[10]。该研究中玉米种植区土壤 pH 处于 4.24~7.55,平均值为 5.91,其中 43.3%的取样点土壤属于酸性土壤。赵晴月等^[2]研究发现,我国玉米主产区土壤 pH 为 5.1~7.9,平均值为 6.8。可见,该研究区域土壤 pH 偏低,且土壤 pH 与碱解氮、有效磷和有效铁呈显著或极显著负相关,与交换性钙和交换性镁呈极显著正相关。这与人研究结果一致,我国不同玉米主产区耕层土壤养分含量分析发现,土壤 pH 与有机质、全氮和有效磷呈负相关关系^[2],与有效铁和有效锰呈显著负相关关系^[6],与钙元素间呈极显著正相关关系^[6]。可见,土壤 pH 直接影响土壤养分的有效性。玉米对酸较为敏感,土壤 pH 低于 5.4 玉米生长会受到明显抑制^[11]。该研究玉米种植区土壤低于 5.4 的比例占 43.3%,因此,应该采取适宜的措施改良这一部分酸性土壤,以促进玉米生长发育。施用石灰是提高土壤 pH,改良酸性土壤的有效方法。有研究表明,土壤 pH 为 4.3~5.8,施用石灰 3 000~6 000 kg/hm² 可以有效改良酸性土壤^[12];张丽丽等^[13]研究表明,酸性土壤施用生石灰 1.52~2.42 g/kg,能够显著提高土壤 pH,缓解土壤酸化,促进玉米幼苗生长。

该研究区域土壤有机质含量为 4.7~47.6 g/kg,平均值为 30.5 g/kg,处于中等及以上水平(≥ 20 g/kg)的比例占

83.3%,明显高于宿州市埇桥区耕地土壤有机质含量的平均水平(20.57 g/kg)^[7],说明该玉米种植区土壤有机质含量较高。有研究发现,与 2010 年相比,2019 年埇桥区耕地土壤有机质含量显著提升了 4.13 g/kg^[7],精耕细作结合优化施肥管理是有机质提升的重要原因^[14]。该研究中,碱解氮平均含量为 146.07 mg/kg,76.7%取样点土壤碱解氮处于高和极高水平,且土壤有机质与碱解氮、有效磷和速效钾含量呈极显著正相关关系。徐圣林^[8]研究发现,宿州埇桥区夏玉米生产中存在氮肥施入比例过大、有机肥施入量相对较低的问题。因此,根据该玉米种植区域土壤有机质含量较高,供氮能力较强的现状,可以适当减施氮肥;同时,合理施用有机肥以维持和提升土壤有机质水平,从而提高肥料利用率,促进玉米高产稳产。

土壤碱解氮、有效磷和速效钾是土壤供肥能力的重要指标。该研究区域土壤有效磷和速效钾平均含量分别为 49.66 和 288.64 mg/kg。丁琪洵等^[7]研究发现,2019 年埇桥区全氮、有效磷和速效钾含量分别为 1.04 g/kg、20.53 mg/kg 和 147.19 mg/kg,且比 2010 年分别增加了 9.5%、36.5% 和 27.7%。农户长期过量施用化肥是导致土壤养分大幅提升的主要因素之一。Chen 等^[15]在全国 5 省 4 548 个样本的农户调研数据显示,玉米主产区的平均施氮量为 257 kg/hm²,远高于其推荐施用量。该研究玉米种植区,56.7%土壤有效磷含量处于极高水平(≥ 40 mg/kg)。土壤有效磷含量的增

加与持续施用磷肥密切相关,磷肥施用量增加导致了土壤有效磷含量的增加^[2,16-18]。Li等^[19]研究发现,2007年我国土壤有效磷含量比1980年增加了17.3 mg/kg,土壤磷盈余达到242.0 kg/hm²。目前,如何减磷增效已成为亟待解决的问题。此外,该研究中83.3%的土壤速效钾含量处于极高水平,可能与当地比较重视钾肥施用和全面实施秸秆还田有关。因此,该区应当控制磷肥和钾肥投入,同时改进施肥方式,以提高肥料利用率,减少土壤磷素累积及其对环境的污染。

土壤微量元素也是反映土壤肥力的重要指标,其有效态含量不仅直接影响作物正常生长和发育,而且与农产品的产量和品质密切相关^[6]。该研究发现,该区绝大部分玉米土壤的交换性钙、交换性镁含量均处于高或极高水平,土壤有效锰和有效铜基本处于中等或高水平,表明土壤有效钙、有效镁、有效锰、有效铜能够满足玉米正常生长发育的需求。大部分土壤有效铁和有效锌处于极高水平,但也分别有20.0%和26.6%处于低水平,说明大部分区域有效铁和有效锌过量,少部分区域则有缺铁和缺锌的情况。总体而言,研究区域土壤有效态微量元素含量较为丰富,一方面与该区土壤发育母质中土壤全量微量元素含量较高有关;另一方面,与当地多年来推行测土配方施肥和秸秆还田有关,大量秸秆还田,其中的微量元素归还土壤,有效增加了土壤微量元素有效态含量^[6]。进一步的分析发现,土壤有效铁和有效锌含量的变异系数分别达到85.65%和69.89%,表现为一部分土壤的含量极高,而另一部分土壤的含量则偏低。其主要原因可能是农户肥料投入差异加大造成,不同地块、不同施肥方案造成较大差异的施肥量,因多年累积效应,从而导致了土壤养分含量两极化的差异现象。微量元素对作物生长发育具有两面性,其含量过高会影响作物正常生长^[20]。因此,应加大微量元素的测土配方施肥,以均衡微量元素营养的供应,保障玉米丰产、农民丰收。

4 结论

该研究玉米种植区土壤pH为4.24~7.55,平均值为5.91,其中43.3%的取样点土壤属于酸性土壤,建议施用适宜用量的石灰来改良该部分酸性土壤,以促进玉米生长发育。土壤有机质平均含量为30.5 g/kg,土壤有机质较高;土壤碱解氮平均含量为146.07 mg/kg,76.7%取样点土壤碱解氮处于高和极高水平;土壤有效磷和速效钾平均含量分别为49.66和288.64 mg/kg,56.7%的土壤有效磷含量处于极高水平,83.3%的土壤速效钾含量处于极高水平。土壤的交换性钙、交换性镁含量均处于高或极高水平,土壤有效锰和有

效铜基本处于中等或高水平,大部分土壤有效铁和有效锌处于极高水平,但也分别有20.0%和26.6%处于低水平。综合来看,该区应当减施氮肥,控制磷肥和钾肥投入,以减少土壤磷素累积及其对环境的污染。同时,应加大微量元素的测土配方施肥,以均衡微量元素营养的供应,保障玉米丰产、农民丰收。

参考文献

- [1] 董树亨,张吉旺.建立玉米现代产业技术体系,加快玉米生产发展[J].玉米科学,2008,16(4):18-20,25.
- [2] 赵晴月,许世杰,张务帅,等.中国玉米主产区土壤养分空间变异及影响因素分析[J].中国农业科学,2020,53(15):3120-3133.
- [3] 王激清.我国主要粮食作物施肥增产效应和养分利用效率的分析与评价[D].北京:中国农业大学,2007.
- [4] 徐新朋,赵士诚,张云贵,等.吉林省玉米种植区土壤养分空间变异特征研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1342-1350.
- [5] LIU Z P,SHAO M A,WANG Y Q. Spatial patterns of soil total nitrogen and soil total phosphorus across the entire Loess Plateau region of China[J]. Geoderma,2013,197/198:67-78.
- [6] 陈婷,李廷亮,张晋丰,等.山西省玉米种植区土壤养分含量特征[J].山西农业科学,2022,50(2):213-222.
- [7] 丁琪淘,詹雪洁,张天恩,等.宿州市耕地土壤养分时空变化特征分析[J].农业资源与环境学报,2023,40(1):97-105.
- [8] 徐圣林.宿州埇桥区夏玉米生产影响因素及高产栽培技术[J].安徽农学通报,2021,27(3):33,146.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2003:25-106.
- [10] CHENG Y,WANG J,MARY B,et al. Soil pH has contrasting effects on gross and net nitrogen mineralizations in adjacent forest and grassland soils in central Alberta,Canada[J]. Soil biology & biochemistry,2013,57:848-857.
- [11] FAGERIA N K,BALIGAR V C. Growth and nutrient concentrations of common bean,lowland rice,com,soybean,and wheat at different soil pH on an inceptisol[J]. Journal of plant nutrition,1999,22(9):1495-1507.
- [12] 曾廷廷,蔡泽江,王小利,等.酸性土壤施用石灰提高作物产量的整合分析[J].中国农业科学,2017,50(13):2519-2527.
- [13] 张丽丽,樊叶,薛兵东,等.生石灰对辽东南地区酸化土壤改良及玉米幼苗生长的影响[J].湖北农业科学,2022,61(5):23-26.
- [14] 韩天富,马常宝,黄晶,等.基于Meta分析中国水稻产量对施肥的响应特征[J].中国农业科学,2019,52(11):1918-1929.
- [15] CHEN X P,CUI Z L,VITOUSEK P M,et al. Integrated soil-crop system management for food security[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the USA,2011,108(16):6399-6404.
- [16] 赵宇光,梁成华,杜立宇,等.长期定位施肥设施土壤微团聚体磷素吸附解吸特征性探讨[J].北方园艺,2009(5):1-4.
- [17] ZHANG W,LIU D Y,LIU Y M,et al. Zinc uptake and accumulation in winter wheat relative to changes in root morphology and mycorrhizal colonization following varying phosphorus application on calcareous soil[J]. Field crops research,2016,197:74-82.
- [18] 官利兰,陈锐浩,程凤娟,等.磷施用量对红壤中玉米生长的影响[J].安徽农业科学,2017,45(25):34-36.
- [19] LI H,HUANG G,MENG Q,et al. Integrated soil and plant phosphorus management for crop and environment in China. A review[J]. Plant and soil,2011,349(1/2):157-167.
- [20] 张超,刘国彬,薛楚,等.黄土地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.

(上接第37页)

- [10] 王珍珍,孙莎莎,张志凯,等.内蒙古乌兰察布市马铃薯优良品种引进比较试验[J].安徽农业科学,2022,50(24):33-37,85.
- [11] 任珂,姜波,安光日,等.呼伦贝尔市马铃薯产业现状、存在问题及发展建议[J].中国马铃薯,2018,32(6):374-378.
- [12] 冯耀斌,李晓娟.山西马铃薯:变短板为优势借机遇谋突破[J].种子科技,2015,33(7):12-14.
- [13] 李竹梅,张志军.山西马铃薯生产优势与发展趋势[J].种子科技,2004

- (4):196-197.
- [14] 许云琪.山西省马铃薯产业的现状及发展建议[J].北京农业,2011(36):86-87.
- [15] 赵一博,蒯海龙,牛丽娟.2020年马铃薯品种登记现状、存在问题及建议[C]//金黎平,吕文河.马铃薯产业与绿色发展(2021).哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2021:251-253.
- [16] 张颢城,李中慧,王秀丽.中国马铃薯主要品种特征与产业布局分析[J].中国马铃薯,2022,36(1):78-85.