

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.06.015

江胜国, 詹华明, 刘广明, 等. 天津小站稻种植区土壤主要微量营养元素的有效量及其影响因素. 土壤, 2021, 53(6): 1215–1220.

天津小站稻种植区土壤主要微量营养元素的有效量及其影响因素^①

江胜国¹, 詹华明¹, 刘广明^{2*}, 郑爱军³, 卢东琪³, 王志刚¹, 宫少军¹

(1 天津市地质研究和海洋地质中心, 天津 300170; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 3 天津市农业发展服务中心, 天津 300061)

摘要: 土壤调查研究表明, 天津小站稻种植区土壤的微量元素全量中, Fe、Mn、Zn、S 丰富, Cu 中等, B、Mo 和 Se 偏低; 有效态含量中, Fe、Cu、Mn、S 丰富, Zn 和 B 中等偏上, 较普遍缺 Se, 少部分土壤缺 Mo。Cu、Mn、B、Mo、Se 和 S 的有效量受全量的影响较大, Fe 和 Zn 的有效量与其全量相关性不明显。Cu、Fe、Mo、Se、S 和 Mn 的有效量受有机质含量的影响显著, pH 对 Mn 和 Se 有效量的影响明显, 水溶性盐含量与 Fe、B 和 S 呈显著正相关。天津稻田土壤需要针对性施用微肥、配施有机肥并适当调理土壤酸碱度。本研究对于稻田土壤改良和水稻品质提升具有重要理论与实用价值。

关键词: 天津小站稻; 土壤; 微量营养元素; 有效量; 影响因素

中图分类号: S153.61 文献标志码: A

Available Contents of Microelements and Factors Influencing Their Availability in Soils of Tianjin Xiaozhan Rice Planting Area

JIANG Shengguo¹, ZHAN Huaming¹, LIU Guangming^{2*}, ZHENG Aijun³, LU Dongqi³, WANG Zhigang¹, GONG Shaojun¹

(1 Tianjin Geology Research and Marine Geological Center, Tianjin 300170, China; 2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3 Tianjin Agricultural Development Service Center, Tianjin 300061, China)

Abstract: The investigation on soil microelements in Tianjin Xiaozhan Rice Planting Area found that the total contents of Fe, Mn, Zn and S were in the high levels while B, Mo and Se were in the low levels; The available contents of Fe, Cu, Mn and S were greater than their critical values, Mo was in the medium level, whereas Se was in the low level. Correlation analysis found positive correlation existed between the total and available contents of Cu, Mn, B, Mo, Se and S except for Fe and Zn. Significant correlation was found between organic matter with available Cu, Fe, Mo, Se, S and Mn, pH played an important role in changing the availabilities of Mn and Se, and there was significantly positive correlation between water soluble salts with Fe, B and S. For paddy soil in Tianjin, it is necessary to apply microelement fertilizers combined with organic fertilizer and properly regulating soil pH. This study can provide important theoretical and practical instructions for the improvement of paddy soil and rice quality.

Key words: Tianjin Xiaozhan Rice; Soil; Microelements; Available contents; Influencing factors

土壤微量营养元素通常指有益于作物生长且需要量微小的元素, 主要来源于土壤矿物中能够被作物直接吸收利用的部分, 即有效量, 以活动态存在于土壤中。有学者研究认为土壤微量元素有效量不但影响作物的生长发育, 而且影响作物品质和产量^[1-4]。以水稻为例, 生长优质水稻的土壤通常具有高 K、Mg、Ca、Mn、Cu、Zn 和 Se, 低 P、Fe 和 Si 的特征^[5];

在水稻生长过程中进行科学的 Cu、Zn、Mg 等元素调控, 可以实现产量增加, 外观、营养、蒸煮食味品质均有一定改善^[6]。土壤微量营养元素的有效含量主要受土壤有机质含量、pH、盐分含量及耕作方式等因素的影响^[7-9]。随着有机质的积累, 土壤中生物酶的含量增多, 酶活性增强, 在有机质分解过程中将直接影响土壤微量营养元素的有效性^[10]; 土壤 pH 主要

①基金项目: 战略性国际科技创新合作重点专项(2018YFE0206403)和天津华北地质勘查局科研项目(HK2020-B1Z)资助。

* 通讯作者(gmliu@issas.ac.cn)

作者简介: 江胜国(1982—), 男, 山东济宁人, 硕士, 高级工程师, 主要从事农业地质调查研究和土壤改良工作。E-mail: 273212714@qq.com

通过化学对土壤微量营养元素的有效性产生影响^[11-13];由于溶质势等原因土壤盐分会影响作物根部吸收微量营养元素的数量^[14-16];不同土地利用方式及人为的耕作、灌溉和施肥等,会导致土壤微量营养元素的有效量产生较大分异^[7-9, 17]。

目前天津地区尚缺乏土壤微量营养元素有效量特征及其对作物影响方面的研究,未见针对稻田土壤微量营养元素全量、有机质含量、pH及盐分含量等对有效量影响的报道。本研究系统性探讨了研究区土壤微量营养元素全量和有效量的相关性,分析了有机质含量、pH和水溶性盐对土壤微量营养元素有效量的影响,旨在为天津小站稻种植区内的土壤地力提升及全面实现天津小站稻振兴战略提供理论及决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于天津小站稻产业振兴规划区内(图 1),主体属于宝坻区黄庄镇,属大陆性-暖温带半干旱、半湿润季风气候,光照较为充足,昼夜温差大,夏季为水稻的生长期,雨水较为集中,土壤温度和湿度适宜,有利于水稻的种植。地形以平原为主,其次为洼地,海拔平均 2~7 m,从北部到南部有逐渐下降的趋势。区内主要水系为潮白河,水质较好,为稻作农田的主要灌溉水源。

研究区内地质特征单一,以第四系地层为主,上部为全新统天津组(Q_{ht}),岩性以冲积-湖沼相粉质黏土沉积为主,上部夹深灰色黏性土、黄色粉土及粉细砂,局部见浅海相深灰色淤泥质黏土夹粉砂沉积。研究区耕地土壤主要为黏土和粉质黏土,土层厚,总体质地黏重,成土母质以第四系湖沼相沉积物为主。

1.2 样品采集与制备

在研究区约 160 km²的范围内,共采集 40 个样品($n=40$),采集层位为耕作层,采集深度为 20 cm。区内每 4 km²设 1 个采样区,由于土壤本身存在着空间分布的不均一性,为了更好地代表采样区的土壤性状,在每个采样区内,选定代表性点位,然后以代表性点位为中心等距(200 m)选定 4 个点位,采用“梅花采样法”多点取样,最后组合成一个样品,样品原始重量大于 1 000 g。把采集的土样放置阴凉通风处,干燥后敲碎成小块,挑拣出杂质,然后研碎过 20 目筛,装入样袋贴好标签,待测。样品采集日期为 2020 年 9 月 20 日。

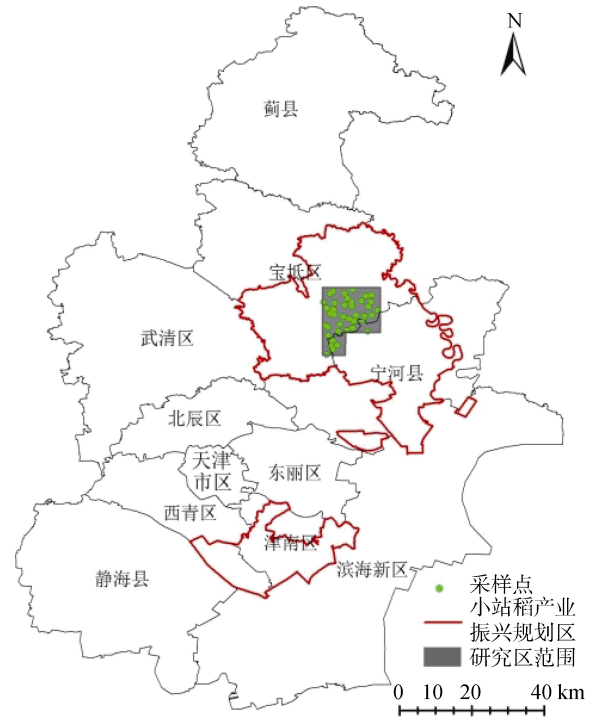


图 1 研究区位置及采样点分布图
Fig.1 Location of study area and soil sampling sites

1.3 分析测定方法

测定土壤中的 Cu、Fe、Mn、Zn、B、Mo、Se 和 S 等 8 种微量营养元素的全量和有效量。全量的分析测定方法: Cu、Mo、Zn 和 Se 采用电感耦合等离子体质谱法测定; Mn 和 Fe 采用 X-射线荧光光谱法测定; B 采用电感耦合等离子体发射光谱法测定; S 采用原子荧光光谱法测定。有效量的分析测定方法: Cu、Mn、Zn、Fe 和 Se, 用 0.1 mol HCl 提取, 采用火焰原子吸收法测定; Mo 用 Tammi 试剂提取, 采用等离子体质谱法测定; B 用沸水提取, 采用等离子体光谱法测定; S 用一米平面光栅摄谱, 采用红外碳硫分析法测定。pH 用水浸提样品, 采用电位法测定, 并与 pH 计测定值对比。有机质采用重铬酸钾氧化还原容量法测定。水溶性盐采用烘干残渣法测定。由华北有色地质勘查局燕郊中心实验室测试, 经标样和重复样检查, 数据质量合格。

2 结果与分析

2.1 稻作农田土壤理化性质

2.1.1 土壤机械组成和 pH 研究区土壤质地相对黏重, 以黏土为主, 局部为重黏土。土壤机械组成检测数据(采用甲种比重计法)统计结果表明, 黏粒(<0.002 mm)含量范围为 47%~70%, 平均 58%; 粉粒(0.002~0.02 mm)含量范围为 20%~47%, 平均

32%; 砂粒(0.02 ~ 2 mm)含量范围为 0 ~ 27%, 平均 10%; 吸湿水平均值 4.33%。

土壤 pH 的统计结果表明, 最低值 7.80, 最高值 8.42, 平均 8.04。根据《中国土壤》^[18]的分级标准, 为碱性土壤。

2.1.2 土壤有机质和盐分含量 研究区土壤有机质含量属中等水平。经统计分析, 研究区土壤有机质含量最小值为 12.10 g/kg, 最大值为 31.40 g/kg, 均值为 20.10 g/kg。本批次土壤样品中的 19 个样品有机质含量大于 20 g/kg, 占总样品数的 47.50%。

据统计分析, 研究区泡田土壤盐分含量范围为 0.73 ~ 1.33 g/kg, 平均 0.97 g/kg; 其中 17 个样品的土壤盐分含量大于 1 g/kg, 占总样品数的 42.50%, 为轻度盐渍化土壤。

2.2 稻作农田土壤微量营养元素全量和有效量含量

表 1 为土壤微量营养元素全量数据, 经统计分析可知: 全 Cu 含量平均为 28.06 mg/kg, 与全国土壤平均含量基本一致; 地壳中 Fe 的含量丰富^[19], 研究区土壤 Fe 含量均值为 55.73 g/kg, 较为丰富; 全 Mn 含量均值为 783.83 mg/kg, 最高可达 1 041.00 mg/kg, 为中国土壤平均含量的 2 倍; 全 Zn 含量平均为 88.76 mg/kg, 最高为 108.00 mg/kg, 高出全国土壤平均含量约 35%; 全 B 含量平均为 55.27 mg/kg, 低于全国土壤平均值(62.60

mg/kg); 全 Mo 含量低, 平均为 0.74 mg/kg, 不到全国土壤均值的 50%; 全 Se 含量平均为 0.20 mg/kg, 低于全国土壤平均值(0.29 mg/kg); 全 S 含量丰富, 平均值为 584.85 mg/kg, 约为全国土壤平均含量的 2 倍。可见, 对研究区土壤微量营养元素全量而言, Fe、Mn、Zn、S 含量丰富, Cu 含量中等, B、Mo 和 Se 含量偏低。

表 2 为土壤微量营养元素有效量数据, 经统计分析可知: 有效 Cu 含量丰富, 最大值为 7.41 mg/kg, 最小值为 3.81 mg/kg, 均值 5.68 mg/kg, 远高于土壤缺素临界值和中国土壤均值(1.61 mg/kg); 有效 Fe 含量均值为 123.79 mg/kg, 远远超过缺素临界值; 有效 Mn 含量均值为 41.73 mg/kg, 超过缺素临界值, 高于中国土壤均值(25.80 mg/kg); 有效 Zn 含量平均为 1.74 mg/kg, 超过缺素临界值, 高出中国土壤均值(0.84 mg/kg); 有效 B 含量均值为 2.29 mg/kg, 超过缺素临界值和中国土壤均值(0.45 mg/kg); 有效 Mo 含量均值为 0.20 mg/kg, 略高于缺素临界值(0.15 mg/kg), 其中研究区南部稻田土壤普遍低于缺素临界值; 有效 Se 含量均值为 0.02 mg/kg, 远低于缺素临界值(0.10 mg/kg); 有效 S 含量均值为 210.05 mg/kg, 远高于缺素临界值(14.10 mg/kg)。从有效量的角度分析, 研究区土壤大面积缺 Se, 也有部分土壤缺 Mo, 而 Zn 和 B 含量中等偏上, Fe、Cu、Mn、S 含量比较丰富。

表 1 研究区土壤微量元素全量(mg/kg)

Table 1 Total contents of soil microelements in study area

参数	全 Cu(mg/kg)	全 Fe(g/kg)	全 Mn(mg/kg)	全 Zn(mg/kg)	全 B(mg/kg)	全 Mo(mg/kg)	全 Se (mg/kg)	全 S(mg/kg)
最大值	33.20	64.60	1 041.00	108.00	59.70	1.15	0.25	974.00
最小值	22.20	46.80	532.00	75.70	48.50	0.50	0.16	384.00
中值	28.05	56.65	750.50	88.40	55.35	0.73	0.20	536.50
平均值	28.06	55.73	783.83	88.76	55.27	0.74	0.20	584.85
标准差	2.69	4.38	140.23	6.79	2.87	0.16	0.03	150.80
变异系数(%)	0.10	0.08	0.18	0.08	0.05	0.22	0.13	0.26
中国土壤平均值 ^[10]	26.20	-	550.00	79.80	62.60	1.70	0.29	300.00

表 2 研究区土壤微量元素有效量(mg/kg)

Table 2 Available contents of soil microelements in study area

参数	有效 Cu	有效 Fe	有效 Mn	有效 Zn	有效 B	有效 Mo	有效 Se	有效 S
最大值	7.41	214.00	77.00	6.24	3.24	0.35	0.02	345.00
最小值	3.81	77.80	23.90	0.97	1.55	0.11	0.01	105.00
中值	5.63	121.00	35.75	1.59	2.32	0.20	0.02	205.50
平均值	5.68	123.79	41.73	1.74	2.29	0.20	0.02	210.05
标准差	0.97	28.16	13.70	0.84	0.34	0.05	0.00	67.17
变异系数(%)	0.17	0.23	0.33	0.48	0.15	0.28	0.22	0.32
有效系数	0.20	0.00	0.05	0.02	0.04	0.27	0.08	0.36
中国土壤平均值 ^[10]	1.61	-	25.80	0.84	0.45	-	-	-
土壤缺素临界值 ^[10-11]	0.20	4.50	7.00	0.50	0.50	0.15	0.10	14.10

注: 微量营养元素有效系数=有效量均值/全量均值。

从有效系数角度分析，Cu、Mo 和 S 的有效系数高，Fe、Zn 和 B 的有效系数较低。从变异系数角度分析，全量的变异系数总体上都小于有效量，表明研究区稻作农田土壤的成土矿物组成较为均匀，而有效量受到多种因素的影响导致空间差异较大。由于元素全量向有效量转化具有复杂性和不均一性，土壤矿物构成、土地利用方式及年限、人为耕作管理习惯等都可能造成该变异系数差异的原因。

2.3 稻作农田土壤微量营养元素有效量的影响因素

2.3.1 微量营养元素全量 根据数据统计分析，可知研究区土壤中微量元素全量与有效量的总体变化趋势相似，说明了土壤微量营养元素丰度是水稻对微量营养元素吸收的主要控制因素^[20]。Cu、Mn、B、Mo、Se 和 S 的全量和有效量呈显著正相关性(图 2)，相关系数分别为 0.830、0.620、0.835、0.911、0.502

和 0.869，Fe 和 Zn 的全量与有效量相关性不明显。总体上，研究区土壤中微量元素有效量主要受到其总量的控制，个别元素明显受到其他因子的影响。

2.3.2 土壤有机质 如表 3 所示，研究区土壤中有有机质和有效 Cu、Fe、Mo、Se 和 S 呈显著正相关，相关系数分别为 0.807、0.399、0.697、0.541 和 0.655，说明有机质可以促进这些元素全量向有效量的转化，进而促进水稻对这些微量元素的吸收，提高其有效利用率，这进一步证明了这些微量元素受到了有机质吸附作用和固定作用的影响。有学者的研究表明，有机质含量明显影响 Cu、Fe、Mo、Se 和 S 的有效量，有机质在分解过程中可增强这些元素的活化作用，提高有效利用量^[8-10]。有机质与有效 Mn 呈显著负相关关系，相关系数为 -0.670，可能是土壤中 Mn 与有机配位体所形成的络合物不够稳定^[21]。

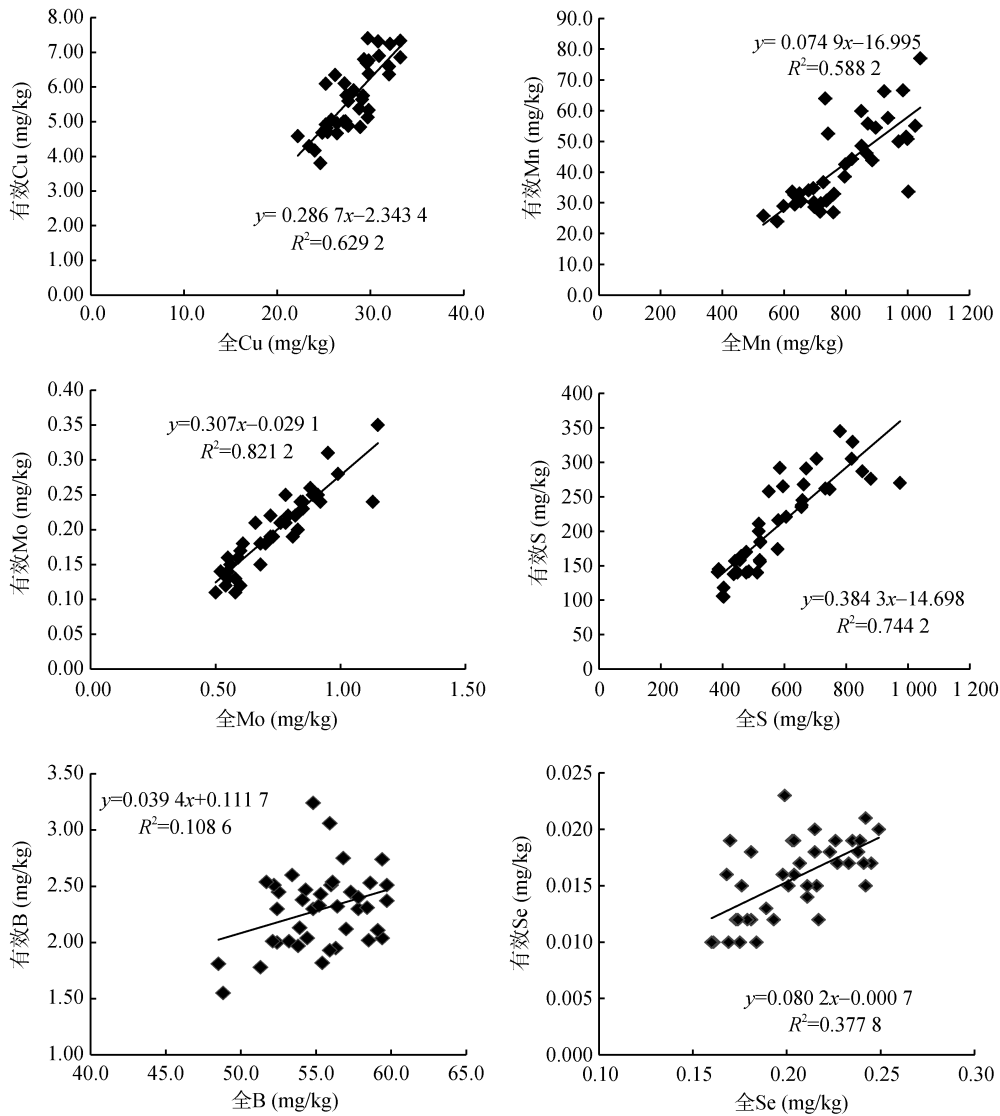


图 2 土壤微量营养元素有效态和全量关系
Fig.2 Relationship between contents of soil total and available microelements

表 3 研究区土壤有机质、pH 和水溶性盐与微量元素有效量的相关性
Table 3 Correlation of soil organic matter, pH, water soluble salt and available contents of microelements

	有效 Cu	有效 Fe	有效 Mn	有效 Zn	有效 B	有效 Mo	有效 Se	有效 S
有机质	0.807**	0.399*	-0.670**	0.071	0.149	0.697**	0.541**	0.655**
pH	-0.137	-0.049	0.331*	0.074	0.143	-0.120	-0.469**	-0.109
水溶性盐	0.269	0.339*	-0.005	0.181	0.424**	0.087	-0.147	0.621**

注: *、**分别表示相关性达 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 显著水平($n = 40$)。

有机质含量与有效 Cu、Mo、Se 和 S 之间相关性极显著,说明有机物的螯合作用可以促进水稻对这些微量元素的吸收,可溶的低分子螯合物(有机酸、氨基酸、糖酸及酚类等)的螯合作用增加了这些微量元素的有效性,而难溶的有机质如腐殖质等与某些微量元素结合会限制其有效性^[22]。

2.3.3 土壤 pH 如表 3 所示,土壤微量元素有效量与 pH 的关系较为明显。pH 对有效态 Se 呈极显著负相关,相关系数为 -0.469; pH 对有效态 Mn 呈显著正相关,相关系数为 0.331。表明中酸性土壤有利于促进水稻对 Se 的吸收,而偏碱性土壤有利于 Mn 有效量的提高。

有研究认为,在碱性条件下,有效 Fe 可逐渐被转换为氢氧化铁、磷酸铁等被固定; pH 可影响无机 Zn 化合物的溶解度,通过影响土壤其他性质而控制 Zn 的吸附作用和络合作用^[23]。本研究的结果, pH 对有效态 Fe 呈负相关,对有效态 Zn 呈正相关,但二者相关性均不明显,可能受样品数量限制,有待进一步研究。

2.3.4 土壤盐分含量 如表 3 所示,水溶性盐与有效态 Fe、B 和 S 呈显著正相关,相关系数分别为 0.339、0.424 和 0.621。本研究测试的为泡田土壤的盐分含量,最高值为 1.33 g/kg,均值为 0.97 g/kg,多为轻度盐渍化程度。本研究表明,轻度盐渍化条件下的土壤盐分含量可促进水稻对 Fe、B 和 S 等微量元素的吸收,这可能亦是土壤轻度盐渍化条件下的稻米品质较为优异的原因之一。

3 结论

1) 与中国土壤微量元素均值相比,研究区土壤 Fe、Mn、Zn、S 的有效态含量丰富, Cu 中等, B、Mo 和 Se 偏低; 对比土壤中有效态含量的土壤缺素临界值,有效量 Fe、Cu、Mn、S 含量较为丰富,有效 Zn 和 B 处于中等偏上水平,有效 Se 含量整体较低,有效 Mo 含量北部土壤略高于临界值,南部土壤较低。针对研究区土壤中个别营养元素缺乏的现状,建议有针对性地施用微量元素肥。

2) 天津小站稻种植区的土壤质地相对黏重; 土壤 pH 为 7.80 ~ 8.42, 平均值为 8.04, 为弱碱性; 有机质含量范围为 12.10 ~ 31.40 g/kg, 平均 20.10 g/kg, 属中等水平; 泡田土壤盐分含量范围为 0.73 ~ 1.33 g/kg。

3) 土壤微量营养元素全量对有效量的控制作用较为明显,有机质含量、pH 及水溶性盐含量等对微量营养元素的有效利用率具有重要影响。Cu、Mn、B、Mo、Se 和 S 的全量对有效量有重要的控制作用,有机质含量对 Cu、Fe、Mo、Se 和 S 的有效量具有正效应,适量配施有机肥可以增强这些元素的活化作用,提高其有效利用率; 偏酸性土壤更有利于水稻对微量营养元素 Cu、Fe、Mo、Se 和 S 的吸收,土壤改良过程中配施微肥时需适当考虑对土壤酸碱度的调理。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张朝生, 陶澍, 袁贵平, 等. 天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(1): 50-57.
- [3] 李珊, 李启权, 张浩, 等. 泸州植烟土壤有效态微量元素含量空间变异及其影响因素[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1215-1222.
- [4] 倪国祥. 针对江淮分水岭地区水稻高产栽培技术的研究[J]. 农业与技术, 2018, 38(12): 11-12.
- [5] 杨兴. 黑龙江省五常地区优质水稻基地地球化学环境评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [6] 李冠男. 施肥及微量元素调控对盐碱地水稻品质的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [7] 杨显贺. 腐熟玉米秸秆对黄瓜根区土壤环境及品质和产量的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [8] 林绍霞, 张清海, 崔斗斗, 等. 贵州‘鸟玉茶’产地土壤微量元素特征及影响因素研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 304-310.
- [9] 王影影, 梁洪波, 徐宜民, 等. 山东典型植烟土壤微量元素有效态含量研究[J]. 土壤, 2014, 46(1): 172-177.
- [10] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

- [11] 于君宝, 王金达, 刘景双, 等. 典型黑土 pH 值变化对微量元素有效态含量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 93-95.
- [12] 刘铮. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [13] 刘铮, 唐丽华, 朱其清, 等. 我国主要土壤中微量元素的含量与分布初步总结[J]. 土壤学报, 1978, 15(2): 138-150.
- [14] Kibria M G, Hossain M, Murata Y, et al. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes[J]. Rice Science, 2017, 24(3): 155-162.
- [15] 刘广明, 塔依尔, 杨劲松, 等. 中性盐胁迫对乌拉尔甘草种子萌发的影响研究[J]. 土壤, 2011, 43(1): 135-139.
- [16] 刘广明, 李金彪, 王秀萍, 等. 外源水杨酸对黑麦草幼苗盐胁迫的缓解效应研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 995-1002.
- [17] 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): 86-89,93.
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 843-984.
- [19] 贺行良, 刘昌岭, 任宏波, 等. 青岛崂山茶园土壤微量元素有效量及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 1131-1134.
- [20] 周国华, 吴小勇, 周建华. 浙北地区土壤元素有效量及其影响因素研究[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 316-322.
- [21] 王强. 腐殖酸与铁锰铝及其氧化物的相互作用机理研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [22] 陈爱莲. 土壤监测修复技术与有毒有害物质残留分析改良评价标准实用手册[M]. 北京: 伯通电子出版社, 2002: 632-633.
- [23] 于君宝, 刘景双, 王金达, 等. 典型黑土 pH 值变化对营养元素有效态含量的影响研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 404-408.