

三工河流域绿洲土壤微量元素有效含量特征分析^①

董国涛^{1,2,3}, 张爱娟⁴, 罗格平^{1,2**}, 许文强^{1,2}, 戴丽^{1,2,3}

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 乌鲁木齐 830011;

3 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4 新疆焉耆县农技中心 841100)

摘要: 土壤微量元素的含量与分布特征是反映特定地区环境状况的一个重要因素, 对土地资源的合理开发和利用具有重要意义。本研究以天山北坡三工河流域冲积平原绿洲为研究区, 选择盐土、潮土和灰漠土 3 种土壤类型, 分析其 B、Mn、Zn、Fe、Cu 等微量元素的有效含量特征。结果表明: (1) 以“全国农业系统的土壤速效微量元素丰缺指标”为标准, 土壤有效 Mn 含量属于极低水平, 有效 Zn 和 Fe 含量属于中等水平, 有效 Cu 属于丰富水平, 有效 B 属于极富水平; (2) 三工河流域绿洲土壤中有有效 Mn、Zn、Fe、Cu 含量与土壤 pH 呈负相关关系; 土壤有机质对有效 Fe、Cu 含量影响很大; 有机质和 Mn 的关系不明显, 这和湿润地区研究结果存在显著差异; (3) 不同的土壤类型对于土壤有效 B、Zn 和 Fe 的含量影响显著; 潮土中微量元素的有效含量与盐土、灰漠土中含量相比有显著差异。

关键词: 干旱区绿洲; 微量元素; 有效性

中图分类号: S153.6

土壤微量元素的含量与分布特征是反映特定地区环境状况的一个重要因素, 对研究土壤环境质量演变、人为活动对土壤质量的影响及合理开发和利用土地资源具有重要意义^[1]。土壤微量元素是土壤肥力必不可少的组成部分, 其中能被植物吸收利用的部分称为有效含量。土壤微量元素有效含量主要受元素总量和影响其有效性的土壤条件两个因素的影响。土壤微量元素含量的主要来源是成土母质^[2], 而影响土壤微量元素含量有效性的因素主要有 pH、氧化还原电位 (Eh)、土壤质地、有机质含量、微生物活动等^[2-3]。研究显示土壤微量元素有效态含量的特征具有显著的区域特性^[4]。国内外学者对湿润地区的微量元素有效态含量与 pH、有机质之间的关系进行过一些研究^[5-9], 研究发现, 一般情况下土壤微量元素的有效含量随 pH 的升高而降低, 而有效含量与有机质呈显著正相关关系; 在半湿润半干旱地区也有相似的结论^[10-12]。然而, 针对干旱区土壤微量元素含量与分布特征的研究不多, 尤其对土壤微量元素含量有效性与 pH、有机质等的相互关系还不明确, 更深入的研究有待开展。

中国西部干旱区发育着典型的山地—绿洲—荒漠景观, 人类活动日益加剧, 在天然绿洲的基础上, 荒

漠逐渐演变为绿洲, 原始荒漠土壤经过灌溉、施肥等过程逐渐演变为绿洲耕作土壤^[13]。在长期作物连作和轮作条件下, 土壤微量元素的形态和分布已较原来土壤发生了很大变化。然而, 针对干旱区土壤微量元素属性特征研究还较为薄弱, 尤其对绿洲土壤微量元素的含量状况和分布规律的研究还不够深入, 这不利于干旱区土地资源的合理开发和利用。本文以天山北坡三工河流域下游冲积平原绿洲为例, 选择盐土、潮土和灰漠土 3 种土壤类型, 探讨土壤微量元素有效含量状况及其与土壤 pH、有机质和土壤类型的相互关系, 旨在为该区合理施肥提供科学依据。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

天山北坡三工河流域绿洲为典型的冲洪积扇—冲积平原绿洲 (图 1), 绿洲的南部是东天山, 北部是古尔班通古特沙漠。本研究选择下部的冲积平原绿洲作为研究区, 其隶属新疆生产建设兵团阜北农场 (222 团), 面积约 187 km²。研究区内地形较为平坦, 地势东南高, 西北低, 海拔 450 ~ 480 m 之间。地下水埋深 1 ~ 4 m。气候属典型温带大陆性气候, 年平均气温 6.6

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO.40671015) 资助。

* 通讯作者 (luogp@ms.xjb.ac.cn)

作者简介: 董国涛 (1982—), 男, 硕士研究生, 吉林白山人, 主要从事土地利用变化、遥感与 GIS 应用研究。E-mail:dongguotao06@mails.gucas.ac.cn

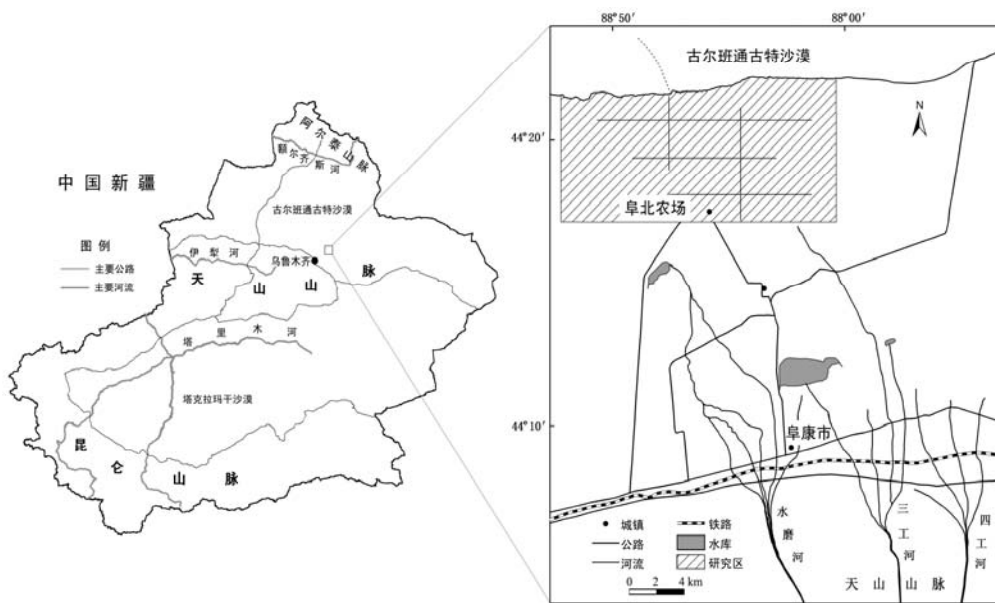


图 1 三工河流域绿洲和研究区地理位置示意图

Fig. 1 The sketch map of oasis in Sangong River watershed and the study area

℃, 平均降水 164 mm, 年均蒸发潜力 1780 ~ 2453 mm。研究区土壤成土母质以冲积物为主, 有盐土、潮土和灰漠土 3 种土壤类型, 其面积分别占土地总面积的 36.3%、35% 和 28.7%。

2.2 采样与数据

土壤数据包括 2003 年土壤采样数据和 1982 年全国第二次土壤普查数据。

2003 年土壤采样数据。采集土样时间为 5 月上旬, 采样深度为 0 ~ 20 cm, 采样方法为: 针对每种土壤类型, 任意选取面积大致相等的若干条田 (750 m × 200 m) 进行采样, 首先在每块条田的四周和中心各采集 1

个初始土壤样品, 然后将 5 个初始样品混合均匀, 得到 1 个约 1 kg 的混合样品, 共采集 72 个混合土样 (图 2)。将土样风干剔除未分解的植物残体, 用玛瑙研磨器进行研磨, 过 100 目尼龙筛。有效 Mn、Zn、Fe、Cu 用二乙三胺乙酸 (DTPA) 浸提, 原子吸收分光光度计测定; 有效 B 用沸水浸提, 姜黄素比色法测定^[14]。

1982 年土壤数据。来自于第二次土壤普查数据, 研究采用了 1982 年土壤普查采样点和 2003 年土壤采样点的位置大致重合的 10 个采样点 (图 2) 的土壤微量元素分析数据。

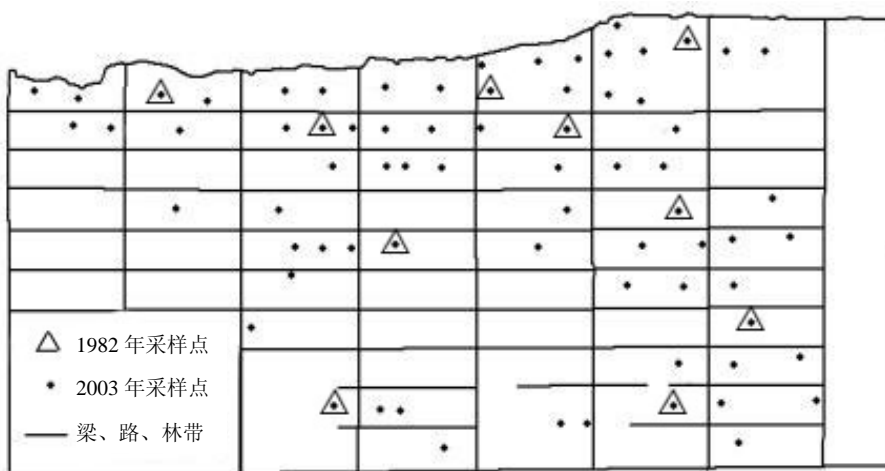


图 2 研究区土壤采样点位置分布图

Fig. 2 The distribution map of soil sampling sites in the study area

2.3 数据分析

所有土壤数据的汇总与分析通过数理统计软件 SPSS 进行。不同土壤类型中的微量元素有效含量是否具有显著差异,通过单因素方差分析(one-way ANOVA)来完成。pH 和有机质含量与土壤微量元素有效含量的相关性将采用 Person 相关系数和 Two-tailed 显著性检验完成。

3 结果与分析

3.1 土壤微量元素有效含量的总体特征

表 1 为研究区绿洲土壤微量元素的描述性统计。与 1982 年土壤普查数据相比,2003 年微量元素有效 B 和 Zn 含量都有所提高,分别提高了 19.0% 和 8.5%; 而有效 Cu 含量减少了 49.8%,有效 Mn 含量减少了 27%,有效 Fe 含量减少了 18.7%,这与郑德明等^[15]对全疆农田有效态土壤微量元素变化趋势的分析结果一致。1982 年和 2003 年土壤有效 B 含量变异系数都是最大的,说明土壤中有效 B 空间分布不均匀。1982 年有效 Mn 含量的变异系数最小,2003 年有效 Cu 含量变异系数最小。

表 1 土壤微量元素有效态含量的描述性统计 (mg/kg)

Table 1 The descriptive statistics of soil available trace elements

微量元素	均值		标准差		变异系数 (%)	
	2003 年	1982 年	2003 年	1982 年	2003 年	1982 年
B	4.26	3.58	3.84	2.41	90	67
Mn	4.07	5.57	1.13	1.10	28	20
Zn	0.89	0.82	0.35	0.24	39	29
Fe	6.07	7.47	2.49	2.67	41	36
Cu	1.14	2.27	0.30	1.00	26	44

按照 1985 年在西安召开的微量元素肥料工作会议制定的“全国农业系统的土壤速效微量元素丰缺指标”(表 2),该地区土壤有效 B 含量平均值属于极富水平,从 72 个样本来看,含量在临界值以下的样本有 2 个,占总样本数的 2.78%,中等水平样本有 1 个,占总样本数的 1.39%,丰富和极富水平的样本分别有 13 和 56 个,占总样本数的 95.83%,说明该区有效 B 含量丰富;有效 Mn 含量属于极低水平,所有的土样有效 Mn 含量都远低于临界值;有效 Zn 含量平均值属于中等水平,含量在临界值以下的样本有 12 个,占总样本数的

16.67%,中等水平样本有 21 个,占总样本数的 29.17%,丰富水平的样本有 39 个,占总样本数的 54.17%;有效 Fe 含量属于中等水平,15.28% 的有效 Fe 含量在临界值以下,中等水平样本有 57 个,占总样本数的 79.17%;有效 Cu 含量属于丰富水平,中等水平样本有 23 个,占总样本数的 31.94%,丰富水平的样本有 48 个,占总样本数的 66.67%。总体来看,222 团土壤微量元素中最缺的元素是 Mn,这与一般情况下缺 Mn 主要发生在碱性土壤中是一致的^[16];最丰富的是 B,这符合干旱区和半干旱区土壤 B 含量较高的结论^[16]。

表 2 全国农业系统的土壤速效微量元素丰缺指标 (mg/kg)

Table 2 Plentiful-lack indices of soil available trace elements in Agricultural Libraries all over China

元素	极低	低	中等	丰富	极富	临界值
水溶性 B	<0.1	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0	0.5
速效 Zn	<0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 3.0	>3.0	0.5
速效 Cu	<0.2	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0	0.5
速效 Fe	<2.5	2.5 ~ 4.5	4.5 ~ 10	10 ~ 20	>20	4.5
速效 Mn	<5.0	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	>30	10

注:表 2 引自 1985 年西安微量元素肥料工作会议资料。

三工河绿洲有效Mn含量过低,这同其他碱性土壤地区研究结果相同^[10,17],因为在碱性土壤中有有效Mn离子会变为不溶性的氧化物;再者新疆冬季漫长,土壤温度低有可能降低Mn的有效性^[18]。缺Mn现象同样也存在于强酸性土壤中^[19],强酸条件会造成Mn的大量淋失,但一般酸性土壤有效Mn含量均处于较丰富水平^[5,7]。有效B含量很丰富,这与刘铮等^[21]对新疆土壤调查的结果一致;而南方酸性土壤中的有效B含量往往很少^[6,20]。一般来说,土壤中B含量因土壤类型和成土母质种类而异,干旱区和半干旱区的土壤具有高的B含量;而热带湿润地区和温带、寒温带地区的土壤中B

含量则较低^[22]。

3.2 土壤微量元素和pH的关系

pH是影响土壤微量元素有效性的重要因素之一。表3为土壤微量元素有效含量和pH相关系数表,其中有效Mn、Zn、Fe、Cu和土壤pH之间呈显著的负相关关系,而有效B和pH的相关性不明显。土壤pH对微量元素有效性的影响是多方面的,不但影响溶液中的离子组成,同时也影响胶体上交换性离子的组成^[23],从而影响微量元素的有效性。分析结果中有效Mn、Zn、Fe、Cu与土壤pH呈负相关关系,这与阳离子型微量元素的有效性随pH上升而降低的结论一致^[24-25]。

表3 土壤微量元素有效含量和pH值的相关性分析

Table 3 Correlation between available contents of soil trace elements and pH

	B	Mn	Zn	Fe	Cu
皮尔逊相关系数	0.140	-0.252*	-0.253*	-0.313**	-0.437**
双尾检验	0.239	0.033	0.032	0.007	0.000

注: *表示相关性 $p < 0.05$ 水平显著; **表示相关性 $p < 0.01$ 水平显著(下同)。

三工河绿洲土壤中微量元素Mn、Zn、Fe、Cu的有效含量都随pH的升高而降低,而B和pH的相关性不显著。主要是因为:土壤中的水溶态Mn和代换态Mn都随着pH增加而减少,Mn的有效性随之降低^[22];在碱性土壤中,土壤中的Zn化合物溶解度很低,而且土壤中的碳酸钙对Zn有很强的吸附作用,每当土壤pH增大一个单位时,Zn的溶解度下降100倍^[26];在碱性条件下,有效Fe和pH之间存在负相关关系,由于随着pH的升高,Fe离子将逐渐转化为氢氧化物或氧化物,溶解度降低,有效性变小^[7];在碱性土壤中由于有大量的碳酸根离子,随着pH的升高形成碳酸铜沉淀而导致Cu的

有效性下降^[22]。B和pH的相关性不是很明显,干旱区土壤pH很高,B的有效性理论值应该很低,但由于雨量小,淋溶作用很弱,水溶态B多,增加了B的有效性^[16,22]。

3.3 土壤微量元素和有机质的关系

微量元素的有效性受多种反应的控制,这些反应包括有机、无机配位体的复合,离子交换和吸附,固体的沉淀和溶解。在这些反应过程中,有机质都起着关键作用^[27]。表4为微量元素和有机质的相关系数表,其中有效Fe、Cu和土壤有机质呈显著正相关关系,而有机质对有效B、Mn和Zn含量影响不明显。

表4 土壤微量元素有效含量和有机质的相关性

Table 4 Correlation between available contents of soil trace elements and organic matter

	B	Mn	Zn	Fe	Cu
皮尔逊相关系数	-0.116	0.035	0.053	0.372**	0.250*
双尾检验	0.331	0.773	0.658	0.001	0.034

土壤中有有效Fe与有机质呈明显的正相关,这与浙江、重庆等地研究结果相同^[6-7]。其原因是土壤中有有机质增加会降低Eh和pH,促进Fe的还原,使各种形态的亚铁化合物含量增加,且在碱性土壤中,代换态Fe、可提取态Fe和游离态Fe的含量与有机质含量呈正相关^[28]。有效Cu与有机质也呈明显的正相关,有机质含有大量的有机胶体,能吸附大量的阳离子Cu,导致它们

的有效性高,同时大量的腐质酸有降低土壤pH的作用。

3.4 土壤微量元素和土壤类型的关系

表5描述了3种土壤类型微量元素有效含量的均值和标准差。潮土中的有效Mn、Zn和Fe含量高于盐土和灰漠土;而有效Cu在不同土壤类型中的含量平均值差异不大。盐土和灰漠土中有效B的标准差高于其他微量元素,说明有效B在土壤中的分布不均匀,盐

土变化幅度最大,灰漠土其次。潮土中的有效 Fe 的标准差最大,表明有效 Fe 在潮土中空间分布差异大;不同土壤类型中有效 Zn 和 Cu 的标准差很小,说明二者空间分布均匀。

不同土壤类型对于土壤有效 B、Zn 和 Fe 的含量影响显著(表 5)。盐土和潮土中的有效 B 含量有显著

差异($p < 0.05$),这与盐土中 B 含量高于各类型土壤平均值的结论相吻合^[22]。潮土中有效 B 含量显著低于盐土;潮土和盐土以及灰漠土的有效 Zn 和有效 Fe 含量均有显著差异;而 3 种不同土壤类型中有效 Mn 和 Cu 的含量差异不显著。总体来看,潮土中的微量元素有效含量和其他两种土壤类型差异较大。

表 5 不同土壤类型微量元素有效含量的均值和标准差 (mg/kg)

Table 5 Means and standard deviations of soil available trace elements in different soil types

土壤类型	样本数	B	Mn	Zn	Fe	Cu
盐土	12	6.56 (6.63) a	4.04(1.20) a	0.74(0.29) a	5.18(2.24) a	1.16(0.28) a
潮土	39	3.44(2.24) b	4.25(1.22) a	0.99(0.33) b	6.79(2.80) b	1.15(0.34) a
灰漠土	21	4.48(3.76) ab	3.76(0.85) a	0.79(0.36) a	5.28(1.55) a	1.10(0.21) a

注:括号内的值为土壤样品标准差;同一列中字母不同表示均值在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

潮土中有效 B 含量显著低于盐土,这与刘铮等^[29]研究结果一致,原因是研究区处于干旱区和盐渍地区,硼酸盐化合物存在大量积聚现象^[27]。潮土中的黏粒含量较高,微量元素金属离子被带电的黏粒所吸附后还不失其有效性,导致潮土中的 Zn 和 Fe 有效含量均高于盐土和灰漠土。潮土中的有效 Fe 含量高于盐土与高贤彪等^[30]对山东地区的研究结果相同。由于土壤中有效 Mn 的影响因素主要是 pH 和 Eh,有效 Cu 的影响因素主要是土壤 pH 和有机质^[22],而 3 种土壤类型 pH 和有机质含量差异不大,导致不同土壤类型中有效 Mn 和 Cu 的含

量差异不显著。

表 6 是 3 种不同土壤类型中微量元素有效含量与 pH、有机质的相关系数表。盐土中有效 B 和有机质呈显著负相关,有效 Cu 和有机质为显著正相关关系。潮土中有效 Zn 和 Cu 都与 pH 呈显著的负相关,有效 Fe 和有机质是正相关关系。灰漠土中有效 Fe 和 pH 呈极显著的负相关关系,有效 B、Fe 与有机质则为正相关。盐土和灰漠土中有效 B 与有机质都显著相关,但相关性相反,这一结论和所有土壤样本与有机质的相关关系不同。

表 6 不同土壤类型微量元素有效含量和 pH 值、有机质的相关性

Table 6 Correlation between available contents of soil trace elements and pH, organic matter in different soil types

土壤类型	微量元素	pH 值		有机质	
		皮尔逊相关系数	双尾检验	皮尔逊相关系数	双尾检验
盐土 (12)	B	0.252	0.513	-0.797*	0.010
	Mn	-0.039	0.921	0.171	0.660
	Zn	-0.337	0.375	0.566	0.112
	Fe	-0.460	0.213	-0.027	0.945
	Cu	-0.244	0.527	0.729*	0.011
潮土 (39)	B	0.001	0.995	0.105	0.513
	Mn	-0.288	0.068	-0.204	0.200
	Zn	-0.367*	0.018	-0.128	0.426
	Fe	-0.217	0.173	0.355*	0.023
	Cu	-0.507**	0.001	0.114	0.478
灰漠土 (21)	B	0.347	0.113	0.477*	0.025
	Mn	-0.106	0.638	0.011	0.962
	Zn	0.11	0.625	-0.482	0.123
	Fe	-0.589**	0.004	0.517*	0.014
	Cu	-0.338	0.124	0.324	0.141

注:括号内的值为样本数。

4 讨论

人类的土地利用活动对三工河绿洲微量元素含量的影响很大。20 多年以来, 222 团土壤中的有效B、Zn含量有所提高; 有效Cu、Mn、Fe含量大幅减少。主要原因是: 从上世纪 80 年代以来, 有机肥施用量明显减少, 无机肥用量大幅增加, 粮棉产量大幅提高, 造成土壤微量元素被带走的多归还的少; 而有效B、Zn含量小幅增长的原因是: 从 90 年代开始 222 团种植棉花面积大幅增长(由 1991 年的 408 hm²增加到 1999 年的 2008 hm²), 由于B肥和Zn肥在棉花增产方面具有显著的作用^[31], 农户为获得高产, 施用B肥和Zn肥。土地利用方式的不同, 作物吸收消耗微量元素的量不同以及耕作措施等差异, 也会对土壤微量元素的有效含量产生影响。

有机质对有效Zn含量影响不明显, 在一般情况下, 土壤中Zn的有效性随有机质含量增加而增加, 同时由于Zn可能同有机质络合而被固定, 成为植物不能利用的Zn^[28], 所以相关性不显著。在盐土和灰漠土中有效B与有机质的相关性呈现了相反的结果, 且与全部土壤样本和有机质的相关关系也不一致, 其中采样和测量误差不可排除, 但也表明了有效B和土壤有机质关系的复杂性, 至今有机质对于土壤中B有效性的影响仍未完全搞清^[32]。有效Mn和有机质的相关性不明显, 这与Shuman^[8]提出的增加土壤有机质含量会提高Mn的有效性不同, 其原因是两个研究区自然条件差异大, Shuman的研究地区属于湿润区, 降雨量多, 土壤呈酸性, 增加有机质含量会使代换态Mn和易还原态Mn增多^[33]; 本文研究区干旱少雨, 土壤呈碱性, 对有效Mn含量影响显著的是pH, 而有机质对有效Mn的影响相对较弱。另外许文强等^[34]研究发现 20 多年来 222 团绿洲农作物系统变化导致土壤有机质经历了先下降后上升的变化过程, 这也会对微量元素有效含量变化造成一定的影响。

5 结论

(1) 20 多年以来, 三工河流域绿洲土壤中的有效 B 含量提高了 19.0%; 土壤中有效 Zn 含量提高了 8.5%; 有效 Cu 含量减少了 49.8%; 有效 Mn 含量减少了 27%; 有效 Fe 含量减少了 18.7%。总体来看, 土壤有效 Mn 含量属于极低水平, 有效 Zn 和 Fe 含量属于中等水平, 有效 Cu 含量属于丰富水平, 有效 B 含量属于极富水平。有效 B 含量过高, 会对植被产生毒害作用, 而有效 Mn 含量过低, 成为作物生长的限制因

子。

(2) 研究区内土壤有效 Mn、Zn、Fe、Cu 的含量都随 pH 的升高而降低; 而有效 B 和 pH 的相关性不明显, 这与干旱区雨量小, 淋溶作用弱有关。土壤有效 Fe、Cu 与有机质呈明显的正相关, 但有机质对有效 B、Mn、Zn 的影响不显著, 有效 Mn 和有机质的关系与湿润地区研究结果存在显著差异。

(3) 在不同土壤类型中, 土壤有效 B、Zn 和 Fe 的含量差异显著, 总体来看三工河绿洲潮土中的微量元素有效含量和盐土、灰漠土中微量元素有效含量比差异较大。

参考文献:

- [1] 陶澍, 曹军, 李本纲, 徐福留, 陈伟元. 深圳市土壤微量元素含量成因分析. 土壤学报, 2001, 38(2): 248-255
- [2] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业科学出版社, 1999: 209-212
- [3] Vavoulidou E, Avramides EJ, Papadopoulos P, Dimirkou A. Trace metals in different crop/cultivation systems in Greece. Water, Air, Soil Pollut., 2004, 4(2): 631-640
- [4] 文勇立, 李辉, 李学伟, 杨雪, 王洪志, 朱刚. 川西北草原土壤及冷暖季牧草微量元素含量比较. 生态学报, 2007(7): 2837-2846
- [5] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价. 土壤, 2004, 36(4): 438-441
- [6] 董国政, 刘德辉, 姜月华. 湖州市土壤微量元素含量与有效性评价. 土壤通报, 2004, 35(4): 474-478
- [7] 李晓宁, 高明, 慈恩. 重庆市植烟土壤有效态微量元素含量评价. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 25-28
- [8] Shuman LM. Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. Soil Sci., 1988, 146(3): 192-198
- [9] Tack FMG, Verloo MG, Vanmechelen L, VanRanst E. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). Sci. Total Environ., 1997, 201(2): 113-123
- [10] 王德宣, 富德义. 吉林省西部地区土壤微量元素有效性评价. 土壤, 2002, 34(2): 86-93
- [11] Sharma BD, Mukhopadhyay SS, Katyal JC. Distribution of total and DTPA-extractable zinc, copper, manganese, and iron in vertisols of India. Commun Soil Sci. Plant Anal., 2006, 37 (5): 653-672
- [12] Wei XR, Hao MD, Shao MG, Gale WJ. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. Soil Till. Res., 2006, 91(1): 120-130

- [13] 罗格平, 许文强, 陈曦. 天山北坡绿洲不同土地利用对土壤特性的影响. 地理学报, 2005 (5): 779-790
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 205-226
- [15] 郑德明, 姜益娟, 朱朝阳, 吕双庆, 伍维模. 新疆农田土壤有效态微量元素含量现状. 塔里木农垦大学学报, 2003, 15(2): 8-10
- [16] Aubert H, Pinta M. Trace Elements in Soils. New York: Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam-Oxford, 1977
- [17] 智颖飙, 杨持, 姚一萍, 高天云, 黄洁. 西鄂尔多斯地区土壤与四合木微量元素含量特征分析. 应用生态学报, 2004, 15(3): 396-400
- [18] 李泽岩, 谢玉英, 田秀芬, 杨清泉. 新疆土壤微量元素的含量与分布. 土壤学报, 1986, 23(4): 330-334
- [19] 秦建成, 罗云云, 魏朝富, 高明. 基于 ArcGIS 的彭水县烟区土壤有效态微量元素丰缺评价. 土壤学报, 2006, 43(6): 892-897
- [20] 王林, 许自成, 肖汉乾, 毕庆文, 何结望. 湖南烟区土壤有效态微量元素含量的分布特点. 土壤学报, 2008, 39(1): 119-124
- [21] 刘铮, 朱其清, 唐丽华, 徐俊祥, 尹楚良. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布. 土壤学报, 1982, 19(3): 209-213
- [22] 刘铮. 微量元素的农业化学. 北京: 农业出版社, 1991: 108-242
- [23] 于君宝, 刘景双, 王金达, 齐晓宁, 王洋. 典型黑土 pH 值变化对营养元素有效态含量的影响研究. 土壤通报, 2003, 34(5): 404-408
- [24] Sharma BD, Arora H, Kumar R, Nayyar VK. Relationships between soil characteristics and total and DTPA-extractable micronutrients in inceptisols of Punjab. *Communic Soil Sci. Plant Analy.*, 2004, 35(5): 799-818
- [25] 谢德体. 土壤肥科学. 北京: 中国林业出版社, 2004:305-307
- [26] Lindsay WL. Zinc in soils and plant nutrition. *Adv.Agron.*, 1972, 24: 147-181
- [27] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983: 47
- [28] 刘铮. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 68-102
- [29] 刘铮, 朱其清, 唐丽华. 土壤中硼的含量和分布的规律性. 土壤学报, 1989, 26(4): 354-362
- [30] 高贤彪, 高弼模, 杨果, 吴建明, 卢丽萍. 山东省不同土类有效铁含量分布及影响因子. 土壤通报, 1991, 22(4): 162-164
- [31] 周自默. 锌肥·硼肥对棉花的增产效果. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2788-2788
- [32] 宋时奎, 李文华, 严红, 曹东. 土壤性质与硼有效性的关系. 东北农业大学学报, 2004, 35(1): 113-118
- [33] Christensen PD, Toth SJ, Bear FE. The status of soil manganese as influenced by moisture, organic matter and pH. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 1950, 15: 279-282
- [34] 许文强, 陈曦, 罗格平, 唐飞, 肖鲁湘. 天山北坡绿洲土壤养分对作物系统变化的响应. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1021-1026

Study on Contents of Available Trace Elements in Oasis Soil of Sangong River Watershed

DONG Guo-tao^{1,2,3}, ZHANG Ai-juan⁴, LUO Ge-ping^{1,2}, XU Wen-qiang^{1,2}, DAI Li^{1,2,3}

(1 *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China*; 2 *Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, CAS, Urumqi 830011, China*; 3 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 4 *Center for Agriculture Technology of Xinjiang Yanqi Country, Yanqi, Xinjiang 841100, China*)

Abstract: Taking the alluvial plain oasis as a study case, the available contents of B, Mn, Zn, Fe, and Cu in three soil types were analyzed with SPSS. The results showed that:①According to "Plentiful-lack index of soil available trace elements in Agricultural Libraries all over China", available Mn was insufficient, available Zn and Fe were moderate, available Cu was rich, and available B was very plentiful. ②Significant negative correlations were observed between available contents of Mn, Zn, Fe, Cu and soil pH. The effect of organic matter content on available Fe and Cu was significant in arid area oasis, which was significantly different from humid area.③There were differences in available contents of B, Zn and Fe among different soil types, the available contents of trace elements in the alluvial soil were significantly different from the saline soil and gray desert soil.

Key words: Arid area oasis, Trace elements, Availability