

山东典型植烟土壤微量元素有效态含量研究^①

王影影^{1,2}, 梁洪波^{1*}, 徐宜民¹, 董建新¹, 王程栋¹, 张继光¹,
彭东^{1,2}, 李哲^{1,2}, 包自超^{1,2}, 王海云¹

(1 中国农业科学院烟草研究所, 农业部烟草生物学与加工重点实验室, 中国农业科学院青岛烟草资源与环境野外科学观测试验站, 山东青岛 266101; 2 中国农业科学院研究生院, 北京 100081)

摘要: 为摸清山东典型植烟区土壤微量元素有效态含量分布情况, 采集和分析了临朐、蒙阴、诸城、费县、五莲、莒县 6 个主要植烟县的烟田耕层和剖面土样。结果表明: 耕层土壤有效 Fe 和 Mn 含量丰富, 有效 Cu 含量适中, 有效 Zn 含量较低。石灰性砂页岩发育的土壤中微量元素有效态含量相对较低。有效态 Fe、Mn 和 Zn 主要为表层富集型, 有效 Cu 垂直分布相对均匀。土壤有效态 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量随 pH 升高而降低, 随有机质增加而增加; pH 是影响有效态 Fe 和 Mn 的重要因素, 而有机质是影响有效态 Cu 和 Zn 的重要因素。

关键词: 植烟土壤; 微量元素; 有效性; 分布特征

中图分类号: S158

铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)是农作物生长必需的营养元素^[1-2], 我国在植烟土壤微量元素方面已开展了很多的研究工作^[3-12], 有研究表明微量元素缺乏已成为制约某些植烟土壤烟叶生长的限制因素^[7-8]。

山东是我国北方一个重要的烟叶种植省份, 近十几年来由于烟区复种指数高、土地利用强度大, 加上肥料施用结构不合理、烟田土壤养分不协调问题日益突出, 微量元素缺乏现象时有发生, 这在一定程度上制约了山东烟草产量和品质的提升。虽然吴建明等^[13]曾研究了山东主要土壤类型中微量元素的分布特征, 孟庆华和李根英^[14]也探讨了山东高产农田微量元素及其理化指标的相关性问题, 但针对山东典型植烟土壤微量元素的报道甚少。为此, 本文选取山东省临朐、蒙阴、诸城、费县、五莲和莒县 6 个主要植烟区代表性烟田的土壤, 研究其微量元素有效态含量, 以期为从微量元素的角度为山东烟田微肥施用和优质烟叶的生产提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山东烤烟种植主要集中在鲁中南低山丘陵区, 海

拔高度在 100 ~ 700 m 之间, 属暖温带大陆性季风气候区, 年均气温 12℃ ~ 14℃, 降雨量 700 ~ 850 mm, 蒸发量 1 600 ~ 2 000 mm, 常年种植面积 3 万 hm² 左右。该区域为我国古地块之一, 多为古老的片麻岩、结晶片岩及花岗岩, 间隔有古生代寒武系、奥陶系的石灰岩及第四纪薄层沉积物。发生学上的土壤类型主要以棕壤(筒育湿润淋溶土/锥形土)和褐土(筒育干润淋溶土/锥形土)为主, 少数是潮土(淡色潮湿锥形土)和砂姜黑土(砂姜钙积潮湿变性土/锥形土)。

1.2 土样采集

采取“以烟定田, 兼顾土类”的原则, 在 6 个主要植烟区, 综合考虑地形地貌、成土母岩(质)、土壤类型和植烟面积等因素, 合计选择了 37 块代表性烟田(表 1), 在每个代表性烟田采集耕作层土样和剖面土样。耕层土样采集方法为: 在大田施肥前, 用不锈钢土钻按“S”型采集 10 ~ 15 个点的耕层土样(0 ~ 30 cm)混匀, 采用四分法留取 1.5 kg 土样。剖面土样是在烟田挖掘 1.2 m 深土壤剖面, 划分发生层, 然后逐层均匀采集 1.5 kg 土样。所采土样经风干和去杂后, 用木棍研细过 2 mm 尼龙筛备用。

基金项目: 国家烟草专卖局/中国烟草总公司“特色优质烟叶重大专项(110201101001[TS-02])”和中国烟草总公司山东省公司“山东浓香低害烟叶研究与开发项目(KN188-201101)”资助。

* 通讯作者(lhb1961@126.com)

作者简介: 王影影(1986—), 女, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培和植物营养方面的研究。E-mail: wangyingying505@163.com

表 1 山东主要植烟区代表性烟田基本信息
Table 1 Information of typical tobacco-planting fields in Shandong

剖面编号	剖面地点	成土母岩(质)	发生学土壤类型
MY-01	联城镇南炉村	花岗岩	棕壤性土
MY-02	联城镇大王庄	花岗岩	棕壤性土
MY-03	联城镇大王庄	花岗岩	酸性粗骨土
MY-04	联城镇塘子村	花岗岩	棕壤性土
MY-05	联城镇湘家庄	石灰岩(钙质岩类)	褐土性土
MY-06	常路真山泉官庄	砂页岩	淋溶褐土
MY-07	联城镇董家台庄	花岗岩	酸性粗骨土
MY-08	联城镇董家台庄	砂页岩	褐土
MY-09	桃墟镇岭前村	砂页岩	淋溶褐土
MY-10	垛庄镇长明村	石灰性砂页岩	淋溶褐土
LQ-02	五井镇大楼村	石灰岩	淋溶褐土
LQ-03	五井镇马庭村	石灰岩	褐土性土
LQ-04	五井镇北黄谷村	砂页岩	褐土
LQ-05	九山镇土崮堆村	花岗岩	酸性粗骨土
LQ-06	寺头镇中福家村	砂页岩	钙质粗骨土
LQ-07	寺头镇西孙村	砂页岩	钙质粗骨土
LQ-08	寺头镇长远峪村	石灰岩	褐土性土
LQ-09	寺头镇山枣村	石灰性砂页岩	褐土性土
LQ-10	寺头镇山枣村	砂页岩	褐土性土
FX-01	大田庄乡齐鲁地村	石灰性砂页岩	褐土性土
FX-02	费城镇东新安村	石灰岩(钙质岩类)	淋溶褐土
FX-03	费城镇常胜庄	砂页岩	淋溶褐土
FX-04	朱田镇良田村	黄土性物质	褐土
FX-05	石井镇龙山村	黄土性物质	褐土
ZC-01	贾悦镇琅埠烟叶农场	砂页岩	淋溶褐土
ZC-02	皇华镇东燕沟村	花岗岩	棕壤性土
ZC-03	百天河镇大楼子村	洪积-冲积物	潮土
ZC-04	冒城镇孙家队农场	洪积-冲积物	潮土
ZC-05	百天河镇张戈庄	洪积-冲积物	潮褐土
JX-01	茅埠乡高崖村	石灰性紫砂岩	褐土性土
JX-02	库山乡西山村	石灰性紫砂岩	钙质粗骨土
JX-03	东莞镇大王坡村	石灰性紫砂岩	淋溶褐土
JX-04	棋山镇天宝村	砂页岩	淋溶褐土
JX-05	东莞镇孙家石河村	砂页岩	褐土性土
WL-01	于里镇娄家村	砂页岩	钙质粗骨土
WL-02	汪湖镇方城村	砂页岩	钙质粗骨土
WL-03	高泽镇高泽村	黄土性	淋溶褐土

注：LQ、MY、FX、JX、ZC、WL 分别代表临朐、蒙阴、费县、莒县、诸城和五莲。

1.3 土样测定

土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量用二乙基三胺五乙酸(DTPA)浸提-原子吸收分光光度计测定^[15]。

1.4 统计分析方法

1.4.1 评价标准 依据第二次全国土壤普查微量

元素分级标准和 1989 年中国科学院在南京召开的微量元素工作会议所制定的土壤微量元素有效态含量丰缺指标(表 2)^[16]，对山东烟区土壤有效 Fe、Mn、Cu 和 Zn 微量元素有效态含量进行评价。

表 2 土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 有效态含量丰缺评价指标 (mg/kg)

Table 2 Content classification of soil available microelements					
微量元素	极缺	缺乏	适中	丰富	极丰
Fe	<2.5	2.5 ~ 4.5	4.5 ~ 10.0	10.0 ~ 20.0	>20.0
Mn	<1.0	1.0 ~ 5.0	5.0 ~ 15.0	15.0 ~ 30.0	>30.0
Cu	<0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 1.0	1.0 ~ 1.8	>1.8
Zn	<0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 3.0	>3.0

1.4.2 分析方法 数据分析采用 Excel 进行平均数、标准差和变异系数等的计算，采用 SAS8.1 进行方差分析和相关分析。

2 结果与分析

2.1 耕层土壤铁、锰、铜和锌有效态含量

从采集的 37 个代表性烟田的耕层土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量的统计结果(表3)看：土壤 Fe 有效态含量范围为 2.22 ~ 50.67 mg/kg，平均为 18.86 mg/kg，总体属丰富水平；含量适中至极丰富的样本 33 个，占总数的 89.2%。Mn 有效态含量范围为 4.69 ~ 101.93 mg/kg，平均为 27.37 mg/kg，总体上也属丰富水平；含量适中至极丰富的样本合计36 个，占样本总数的 97.2%。Cu 有效态含量范围为 0.12 ~ 1.57 mg/kg，平均为 0.83 mg/kg，总体属适中水平；含量适中的样本 28 个，占样本总数的 76%。

Zn 有效态含量范围为 0.21 ~ 2.21 mg/kg，平均为 0.69 mg/kg，总体属适中水平；含量缺乏的样本 11 个，占总数的 29.7%；适中水平的样本有 22 个，其中约 50% 样本 Zn 有效态含量处于较低水平，为潜在缺 Zn 区，这表明山东烟区整体上应注意适当补充 Zn 肥。

表 3 山东主要植烟区代表性烟田微量元素有效态含量描述性统计(mg/kg)

微量元素	均值 ± 标准差	变幅	变异系数(%)
Fe	18.86 ± 14.97	2.22 ~ 50.67	79.34
Mn	27.37 ± 23.24	4.69 ~ 101.93	84.91
Cu	0.83 ± 0.34	0.12 ~ 1.57	41.05
Zn	0.69 ± 0.34	0.21 ~ 2.21	49.50

从各元素的变异性看，Fe 和 Mn 有效态含量的变异系数均超过 75%，属强变异性^[17]，说明 Fe 和

Mn 在空间中的分布不均匀;Cu 和 Zn 有效态含量的变异系数分别为 41% 和49%, 近于中等变异^[17]。导致 Fe 和 Mn 有效态含量空间变异较大的原因一方面是由于烟区土壤大多分布在低山丘陵区,地形复杂破碎,造成元素的空间变异性较强;另一方面还可能与元素本身的含量、化学性质、在土壤中的行为以及肥料的施用和田间管理等因素有关^[18]。

2.2 不同母质发育的土壤耕层铁、锰、铜和锌有效态含量

在没有施用微量元素肥料的情况下,土壤微量元素主要来自于成土母岩(质)的风化,由于不同成土母岩(质)发育的土壤差异很大,因而会在很大程度上影响土壤微量元素的有效性。一般来说,母质中某元素

含量越高其发育的土壤中该元素浓度也越高,反之亦然。从表 4 中耕作层(Ap1 和 Ap)的统计结果看,不同母质上发育的土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量差异还是较为明显的。花岗岩和黄土性物质上发育的土壤中 Fe 和 Mn 有效态含量显著高于在石灰岩和石灰性紫砂岩上发育的土壤,石灰性紫砂岩和花岗岩发育的土壤 Cu 有效态含量较低,石灰岩、石灰性砂页岩和黄土性物质母质发育的土壤 Cu 有效态含量较丰富,石灰岩和石灰性砂页岩发育的土壤 Zn 有效态含量相对较高(呈适中水平),而石灰性紫砂岩母质发育的土壤 Zn 有效态含量最低。因此,山东植烟区石灰性紫砂岩发育的土壤要注意施用微量元素肥料,石灰岩母质发育的土壤要适当调节 Fe 和 Mn 的供应。

表 4 山东主要植烟区代表性烟田微量元素有效态含量的垂直分布描述性统计(mg/kg)
Table 4 Descriptive statistics of available microelement contents in typical tobacco-planting soil profiles in Shandong

母岩(质)	剖面层次	Fe	Mn	Cu	Zn
石灰岩	Ap1(6)	7.62 / 4.56 ~ 12.45	14.41 / 12.39 ~ 26.64	1.05 / 0.48 ~ 1.32	0.81 / 0.59 ~ 1.17
	Ap2(3)	5.50	11.72	0.77	0.25
	Bw(1)	6.36	9.32	1.07	0.32
	Bt(2)	6.20	11.69	0.69	0.49
	R(2)	6.93	9.48	0.78	0.15
石灰性砂页岩	Ap1(6)	11.77 / 5.04 ~ 26.25	26.91 / 5.50 ~ 62.53	1.07 / 0.93 ~ 1.22	0.93 / 0.54 ~ 1.51
	Ap2(3)	6.19	15.37	0.70	0.18
	Bw(3)	4.43	7.01	0.63	0.07
	Bt(3)	7.29	24.06	0.55	0.08
	R(4)	3.86	8.09	0.34	0.04
砂页岩	Ap1(10)	12.71 / 5.02 ~ 26.18	24.17 / 6.86 ~ 84.82	0.74 / 0.24 ~ 1.61	0.54 / 0.18 ~ 0.64
	Ap2(4)	12.13	27.66	0.84	0.35
	Bw(6)	11.66	9.56	0.53	0.19
	Bt1(3)	6.85	11.36	0.77	0.10
	Bt2(2)	4.29	16.69	0.83	0.82
	R(2)	2.83	11.69	0.62	0.16
黄土沉积物	Ap1(3)	25.77 / 6.18 ~ 48.89	35.26 / 20.65 ~ 64.17	1.36 / 0.47 ~ 2.38	0.46 / 0.24 ~ 0.57
	Ap2(3)	13.66	17.32	0.72	0.20
	Bt1(3)	9.03	12.05	0.40	0.10
	Bt2(3)	7.82	11.22	0.39	0.09
花岗岩	Ap(7)	25.87 / 7.36 ~ 42.94	32.73 / 4.74 ~ 61.04	0.66 / 0.21 ~ 1.29	0.76 / 0.26 ~ 1.20
	Bw(3)	19.72	21.20	0.45	0.23
	R(2)	8.06	16.02	0.38	0.09
石灰性紫色砂岩	Ap(3)	3.50 / 3.02 ~ 3.93	1.42 / 1.35 ~ 1.74	0.36 / 0.23 ~ 0.42	0.32 / 0.16 ~ 0.41
	Bw(2)	23.17	14.15	0.65	0.38

注: Ap: 旱耕表层, Ap1: 旱耕表层(淡薄表层), Ap2: 旱耕耕淀层, Bw: 雏形层, Bt: 黏化层, R: 母岩; 括号内数字为土壤样品数; 含量表达方式为: 平均值/含量范围

2.3 铁、锰、铜和锌有效态含量的垂直分布

从表 4 可以看出,在大多数剖面中,Fe、Mn、Cu 和 Zn 在各个发生层次中含量变化都表现出明

显的同步性,体现出较为明显的微量元素对成土母质的继承性;但相比而言,石灰岩母质发育的土壤剖面中这种同步性表现得不是很明显。可以这样认为,除

了受母质的影响外,成土过程中的生物富集、土壤水分、灰化和淋溶等地球化学作用可以较明显地改变石灰岩母质上发育的微量元素的含量。受这些因素的影响微量元素在剖面中表现出不同的分布特征,主要有表层富集型、底层富集型、相对均匀型和某一层位富集型^[19]。通过对 37 个代表性烟田的土壤剖面的统计分析表明,由于表层土壤熟化程度高,一半以上的土壤剖面中 Fe 和 Mn 的分布类型为表层富集型,耕作层中 Fe 和 Mn 有效态含量显著高于下面的层次,表层含量一般为第二层的 2~3 倍;但同一剖面耕作层以下层次间 Fe 有效态含量差异不大。Zn 在剖面中的分布类型也主要为表层富集型,但与 Fe 和 Mn 不同的是,Zn 有效态含量随着深度增加急剧下降,尤其表现在花岗岩和石灰性砂页岩母质发育的土壤上,这说明 Zn 在土壤中往下迁移十分缓慢^[20],这一特点更适合 Zn 肥施在根系密集的耕作层。

相比较而言,Cu 在剖面中的表聚现象不明显,同一剖面不同层次间 Cu 有效态含量相差不到两倍,与吴建明等^[13]的研究结果相同,这也反映了 Cu 不易迁移的特性。尽管如此,Cu 受淋溶、淀积、风化等的影响,在剖面中还是会有一定的差异,MY-01 和 LQ-10 两个剖面 Cu 表现出明显的富集作用,需要注意的是这两个剖面表层土壤有机质含量都显著高于下部层次,可能是因为有机质含有的有机胶体吸附了大量铜离子,提高了 Cu 的有效性。

石灰性紫砂岩母质发育的土壤中粒径 >2 mm 的粗骨物质较多,土壤通透性好,淋溶作用强,导致元素在底层淀积^[19],微量元素表现出明显的底层富集的特性。而 JX-03、JX-04、MY-06 和 MY-09 为砂页岩或石灰性砂页岩发育的淋溶褐土,其土壤中粗骨物质少,质地相对较细,淋溶作用受到一定限制,导致微量元素在中间某一层富集而并没有运移到底层,这也可以从野外剖面观察中 B 层存在铁锰斑纹/结核得到佐证。

2.4 微量元素有效态含量与土壤 pH 和有机质含量的关系

土壤有机质含量和 pH 以及土壤中共存元素等的相互作用一起影响着微量元素的有效态含量,微量元素的有效性受 pH 的影响很大^[21-22],一般情况下,微量元素有效态含量随 pH 的升高而降低,但在强酸性土壤中微量元素有效态含量也可能随着 pH 的降低而降低^[23]。从表 5 可以看出,本研究的土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量与土壤 pH 呈负向关系,其中 Fe 和 Mn 与 pH 达到极显著负相关,这与其他人的研究结果一致。漆良华等^[24]对中亚带黄壤坡地

土壤微量元素效应的研究表明,随着 pH 的升高土壤中难溶性 Fe 的氧化物增大,可溶性 Fe 含量减少。董国涛等^[25]对三工河流域绿洲土壤的研究表明,土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量与 pH 之间均存在明显的负向关系,本研究中 Cu 和 Zn 有效态含量与 pH 的相关性未达到显著水平,这主要是因为影响 Cu 和 Zn 有效含量的因素较多,pH 对其有效性的影响不起主导作用。

表 5 山东主要植烟区代表性烟田土壤微量元素有效态含量与 pH 和有机质的相关性

Table 5 Correlations between contents of available microelements, pH values and organic matters in typical tobacco-planting soils in Shandong

	Fe	Mn	Cu	Zn
pH	-0.75**	-0.50**	-0.22	-0.17
有机质	0.12	0.23	0.56**	0.54**

注:*表示相关性达到 $P<0.05$ 显著水平,**表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平。

土壤有机质含量与 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量均呈正向关系,其中 Cu 和 Zn 与有机质达到极显著正相关,而 Fe 和 Mn 与有机质之间的相关性不显著。研究表明,一般的土壤有机质含量越高,微量元素有效态含量越高。原因主要有:一方面有机质分解可释放出微量元素,同时分解矿化过程中产生各种有机酸是土壤矿物的增溶剂,能提高微量元素的有效性^[26];另一方面有机质具有很高的阳离子交换量,可以通过离子交换吸附溶液中的金属离子,这也是有机质影响阳离子型微量元素有效性的一个重要因素^[20]。本研究中 Fe 和 Mn 有效态含量与有机质含量之间相关性不显著,可能与研究区降雨量较少,土壤呈中性至微碱性,pH 是影响 Fe 和 Mn 有效性的主要因素,而有机质对有效 Fe 和 Mn 的影响相对较弱。

3 结论

(1) 山东典型植烟土壤 Fe 和 Mn 有效态含量丰富,但元素空间分布不均匀,变异性较强。Cu 有效态含量适中,Zn 有效态含量较低,属缺乏和潜在缺乏水平。

(2) 花岗岩和黄土性物质上发育的土壤中 Fe 和 Mn 有效态含量较高,石灰性紫砂岩和花岗岩发育的土壤中 Cu 有效态含量较低,石灰岩和石灰性砂页岩发育的土壤中 Zn 有效态含量相对较高。

(3) Fe、Mn 和 Zn 主要为表层富集型,表层以下 Fe 和 Mn 随着深度的增加,含量变异不明显,

但 Zn 呈现急剧降低现象; Cu 随深度的变异很小, 垂直分布相对均匀。

(4) pH 是影响 Fe 和 Mn 有效态含量的重要因素, 而有机质是影响 Cu 和 Zn 有效态含量的重要因素。

参考文献:

- [1] 刘铮. 微量元素肥料[M]. 北京: 化学工业出版社, 1988
- [2] 刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996
- [3] 陶晓秋, 夏林, 黄玫. 四川省植烟土壤有效态微量元素含量评价及施肥探讨[J]. 烟草科技, 2003(11): 43-45
- [4] 王世济, 李桐, 赵第锐, 韩永镜, 崔权仁, 刘小平, 武家美. 安徽烟区土壤和烟叶的中微量元素含量的研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(11): 2 065-2 066
- [5] 黄元炯, 张翔, 范艺宽, 宝德俊, 马国华. 河南烟区土壤硫、镁及微量元素的含量与分布[J]. 烟草科技, 2005 (3): 33-36
- [6] 吴春. 贵州植烟土壤与烟叶中微量元素分析及微肥施用(农推硕士学位论文)[D]. 贵阳: 贵州大学, 2006
- [7] 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[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 119-124
- [8] 唐莉娜, 陈顺辉, 林祖斌, 曾文龙, 刘雪刚, 江忠明. 福建烟区土壤中、微量元素丰缺状况及施肥对策[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 334-337
- [9] 罗华元, 吴涛, 常寿荣, 王绍坤, 陈初. 红云集团原料基地植烟土壤中量和微量元素状况研究[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 30-33
- [10] 徐雪芹, 陈志燕, 王维刚, 曾德芬, 周晓. 广西主烟区土壤和初烤烟中微量元素含量分析[J]. 广东农业科学, 2010, 37(4): 106-108
- [11] 刘国顺, 李娟, 黄克久. 重庆植烟土壤有效态微量元素状况分析[J]. 烟草科技, 2010 (5): 55-59
- [12] 王东胜, 徐庆凯, 王能如, 何宽信, 韩延, 李立新. 江西烟区土壤中量及微量元素的含量分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(2): 91-96
- [13] 吴建明, 高贤彪, 高弼模. 山东省土壤微量营养元素含量分布[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 87-93
- [14] 孟庆华, 李根英. 山东省主要土类高产农田的微量元素及其理化指标的相关性研究[J]. 土壤, 2008, 40(4): 622-625
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 205-207
- [16] 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
- [17] 毕如田, 李华. 不同地形部位耕地微量元素空间变异性研究——以永济市为例[J]. 土壤, 2005, 37(3): 290-294
- [18] 秦钟立, 秦松, 武伟, 刘洪斌. 贵州植烟土壤微量元素特征研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(1): 56-64
- [19] 熊金莲. 安徽省土壤有效性微量元素分布研究——III. 有效锰的含量与分布[J]. 安徽农业大学学报, 1990, 17(4): 256-262
- [20] 李修鑫, 杨靖民, 徐忠妍, 刘艇, 周米平. 不同土壤耕层有效锌垂直分布特征研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(36): 18 352-18 356
- [21] 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[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 404-408
- [22] 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[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 25-28
- [23] 董国政, 刘德辉, 姜月华, 陶于祥. 湖州市土壤微量元素含量与有效性评价[J]. 土壤通报, 2004, 35(4): 474-478
- [24] 漆良华, 张旭东, 彭镇华, 范少辉, 周金星. 不同植被恢复模式下中亚热带黄壤坡地土壤微量元素效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 735-740
- [25] 董国涛, 罗格平, 许文强, 谌莉. 三工河流域下游绿洲土壤微量元素有效含量空间变异特征[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 863-869
- [26] 苏德成. 山东烟草[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 234-235

Contents of Available Microelements in Typical Tobacco-planting Soils of Shandong Province

WANG Ying-ying^{1,2}, LIANG Hong-bo^{1*}, XU Yi-min¹, DONG Jian-xin¹, WANG Cheng-dong¹,
ZHANG Ji-guang¹, PENG Dong^{1,2}, LI Zhe^{1,2}, BAO Zi-chao^{1,2}, WANG Hai-yun¹

(1 Tobacco Research Institute, CAAS, Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao Tobacco Resources and Environment Field Station of CAAS, Qingdao, Shandong 266101, China; 2 Graduate School of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to study the content characteristics of available microelements in typical tobacco-planting soils of Shandong Province, soil samples were collected from 6 main tobacco-planting regions, i.e., Linqi, Mengyin, Zhucheng, Feixian, Wulian and Juxian and the available contents of Fe, Mn, Cu and Zn in the samples were analyzed. The results showed that: 1) the contents of available Fe and Mn in the plough horizon were plentiful, while those of Cu and Zn were moderate and insufficient respectively; 2) available Fe, Mn and Zn were obviously accumulated in plough horizon while available Cu distributed homogeneously in the profile; 3) available Fe, Mn, Cu and Zn in soils derived from calcareous purple sandstone were significantly lower than from other parent materials; 4) significantly negative correlations were observed between the contents of available Fe and Mn and soil pH while a significantly positive correlation found between soil available Cu, Zn and soil organic matter.

Key words: Tobacco-planting soil, Microelements, Availability, Distribution characteristics