

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.06.016

姜冰, 王松涛, 孙增兵, 等. 山东省青州市土壤养分元素有效量及其影响因素. 土壤, 2021, 53(6): 1221–1227.

山东省青州市土壤养分元素有效量及其影响因素^①

姜冰^{1,2}, 王松涛^{1,2}, 孙增兵^{1,2}, 张海瑞^{1,2*}, 刘阳^{1,2}, 刘倩^{1,2}

(1 山东省第四地质矿产勘查院, 山东潍坊 261021; 2 山东省地质矿产勘查开发局海岸带地质环境保护重点实验室, 山东潍坊 261021)

摘要: 为研究山东省青州市土壤养分元素有效量及其影响因素, 通过系统采集分析 390 件表层土壤样品, 获得了 N、P、K、Cu、Zn、Mo、B 7 种土壤养分元素全量和有效量以及 pH 和有机质数据, 并对其进行了相关性和差异性分析。结果表明: 研究区土壤 Mo、B 元素有效量低, 总体表现为缺乏和较缺乏; N 元素有效量背景值略高于临界值, 分布不规则; P、K、Cu、Zn 元素有效量变异系数均大于 100%, 呈现西低东高的空间分布趋势。相关性分析表明, N、P、K、Cu、Zn、B 6 种元素全量与有效量呈显著正相关, 测试的 7 种元素有效量与 pH 均呈显著负相关, N、K、Zn、B 4 种元素有效量与有机质含量呈显著正相关。不同成土母质中, 奥陶系和寒武系土壤 pH、奥陶系土壤有机质含量显著高于全区, 养分有效量在奥陶系土壤中总体较低。不同土壤类型中, 粗骨土土壤 pH 和有机质含量显著高于全区, 养分有效量在粗骨土中总体较低。研究区土壤养分元素有效量不仅与元素全量水平关系密切, 同时受土壤 pH 和有机质含量的影响。

关键词: 养分元素; 有效量; 青州市

中图分类号: S151.9 **文献标志码:** A

Available Contents of Soil Nutrient Elements and Their Influencing Factors in Qingzhou City, Shandong Province

JIANG Bing^{1,2}, WANG Songtao^{1,2}, SUN Zengbing^{1,2}, ZHANG Hairui^{1,2*}, LIU Yang^{1,2}, LIU Qian^{1,2}

(1 Shandong Provincial No.4 Institute of Geological and Mineral Survey, Weifang, Shandong 261021, China; 2 Key Laboratory of Coastal Zone Geological Environment Protection, Shandong Geology and Mineral Exploration and Development Bureau, Weifang, Shandong 261021, China)

Abstract: In order to study the available content of soil nutrient elements and their influencing factors in Qingzhou City, Shandong Province, 390 topsoil samples were systematically collected and analyzed. The total and available contents of soil nutrient elements such as N, P, K, Cu, Zn, Mo and B, as well as pH and organic matter content were obtained, and the correlation and difference were analyzed. The results showed that the available contents of soil Mo, B elements in the study area were low, and the overall performance was lack and relatively lack. The background value of N element available content was slightly higher than the critical value, and its distribution was irregular. The variation coefficients of P, K, Cu, Zn elements available contents were greater than 100%, showed a spatial distribution trend of low west and high east. The correlation analysis showed that the total contents of N, P, K, Cu, Zn, B elements were significantly positively correlated with available contents, and the available contents of the 7 elements tested were significantly negatively correlated with pH. In addition, the available contents of N, K, Zn, B elements had a significant positive correlation with organic matter content. In different parent materials, pH of Ordovician and Cambrian soil and organic matter content of Ordovician soil were significantly higher than the whole area, but the available contents of soil nutrient elements were generally lower in Ordovician soil. In different soil types, pH and organic matter content of coarse bone soil were obviously higher than the whole area, while the available contents of soil nutrient elements were generally lower. The available content of soil nutrient elements in the study area was not only closely related to the total content of elements, but also affected by soil pH and organic matter content.

Key words: Nutrient element; Available content; Qingzhou City

①基金项目: 山东省地质矿产勘查开发局局控地质勘查和科技创新项目(KC201903、202005)资助。

* 通讯作者(sdzhr8557@126.com)

作者简介: 姜冰(1984—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 高级工程师, 主要从事生态环境地球化学研究。E-mail: jbing08@163.com

土壤元素有效量,指的是元素易溶于水的形态组分,其活性程度强,可以直接被植物吸收^[1]。总体来说,与土壤元素总量相比,有效量具有更直接的生态环境意义,能够更有效地反映植物营养元素的供给能力^[2]。元素有效量受多种因素的影响,如元素全量、土壤 pH、有机质、地质背景、土壤类型等^[3-5],同时反映不同地球表生环境下元素有效量的特征和影响因素^[6-7]。研究土壤养分元素有效量,可为指导科学施肥、提高土壤肥力提供重要依据^[8]。Cu 和 Zn 既是养分元素,又是重金属元素,而重金属元素有效量的分析,对生态环境评价具有指导意义^[9]。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

青州市是山东省潍坊市辖区的县级市,地理极值坐标 118°10'20"~118°46'30" E, 36°24'27"~36°57'25"N, 总面积 1 561.9 km², 地处鲁西隆起区的东南部边缘、鲁中山区和鲁北平原交接处, 总的地势是西南高、东北低。其西南部发育古生代寒武纪、奥陶纪地层, 地貌以上升剥蚀为主; 东南部小面积发育新生代新近纪地层, 地貌以剥蚀夷平为主; 其他区域广布新生代第四系, 表现为堆积地形, 系由山前、山间拗陷, 处于下降或相对下降所形成的坡洪积裙、冲洪积扇组成的倾斜平原。土壤类型包括潮土、砂姜黑土、粗骨土、褐土 4 类^[10](图 1)。

1.2 样品采集与加工

在研究区内均匀布设土壤采样点, 每 4 km² 采集

土样 1 件, 实际共采集样品 390 件, 采样深度 0~20 cm。采样时, 在布设的采样点上, 以 GPS 定位点为中心, 向四周辐射 50~100 m 范围内等量采集 3~5 个子样混合成 1 件土样。采集的各分样点土壤掰碎, 挑出根系、秸秆、石块、虫体等杂物, 充分混合后, 四分法留取 1 kg 装入干净结实的棉布袋。样品悬挂在木质样品架上自然风干, 用木棍或塑料棍碾压, 并将植物残体、石块等侵入体剔除干净, 全部过 2 mm 孔径的尼龙筛, 混匀后取不少于 500 g 移交实验室。

1.3 样品处理与测试

样品测试工作由山东省地矿局海岸带地质环境保护重点实验室完成。测试项目包括土壤 pH、有机质及 N、P、K、Cu、Zn、Mo、B 7 种养分元素的全量和有效量, 并严格按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[11]进行样品处理与测试, 样品处理和分析方法见表 1。测试中, 样品报出率为 100%; 采用国家一级标准物质控制准确度及精密度, 绝对偏差和相对偏差均不超差, 合格率为 100%。测试同时进行了样品内部密码抽查, 合格率为 100%。

1.4 数据处理

以原始数据的标准离差与平均值之比计算变异系数。利用 Microsoft Excel 2010 软件, 反复剔除平均值±3 倍标准离差的离散值后的算术平均值作为研究区背景值。pH 值在进行统计前, 先将土壤 pH 值换算成[H⁺]浓度进行统计计算, 然后再换算成 pH 值。变量之间采用 SPSS 22.0 软件做 Pearson 相关性分析。利用 MapGIS 6.7 中的泛克立格法进行养分空间分布制图。

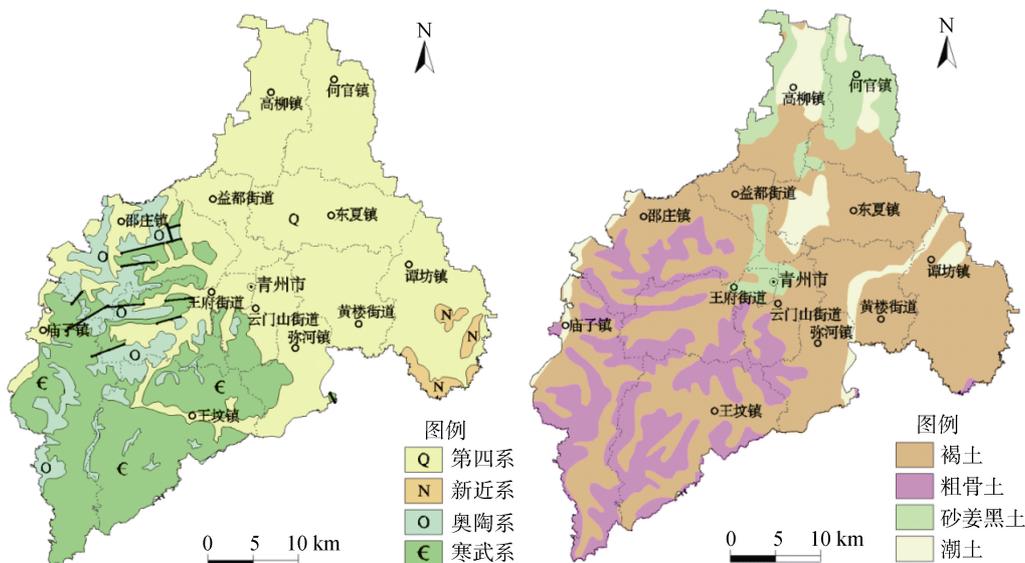


图 1 研究区地质单元和土壤类型

Fig. 1 Geological units and soil types in study area

表 1 土壤样品处理与分析方法
Table 1 Soil sample processing and analysis methods

分析项目	分析方法	样品处理
Mo	电感耦合等离子体质谱法	HF、HNO ₃ 、HClO ₄ 溶矿分解、赶氟，HNO ₃ 提取
Cu、Zn、P、K	X 射线荧光光谱法	经塑料环镶边，粉末压饼法成型，上机测定待测元素
B	发射光谱法	加缓冲剂以交流电弧摄谱，计算机自动译谱测定
N	酸碱容量法	经硫酸、硫酸铜消解，硒粉催化；加 NaOH 蒸馏，盐酸标准溶液滴定
有机质	氧化还原法	经硫酸、重铬酸钾消解，硫酸亚铁铵容量法测定
pH	离子电极法	加无二氧化碳蒸馏水浸溶，pH 计测定
碱解氮	酸碱滴定法	氢氧化钠处理扩散法硼酸吸收，盐酸标准溶液滴定
有效磷	电感耦合等离子体光谱法	NaHCO ₃ 浸取，电感耦合等离子体光谱法测定
速效钾	电感耦合等离子体光谱法	乙酸铵浸取，电感耦合等离子体光谱法测定
有效铜、有效锌	电感耦合等离子体光谱法	DTPA 浸取，电感耦合等离子体光谱法测定
有效钼	电感耦合等离子体光谱法	草酸-草酸铵浸取，蒸干灰化，盐酸提取，电感耦合等离子体光谱法测定
有效硼	电感耦合等离子体光谱法	热水提取，电感耦合等离子体光谱法测定

2 结果

2.1 土壤养分元素全量、pH 和有机质含量

表 2 列出了研究区表层土壤养分元素全量、pH 和有机质含量。变异系数(CV)反映数据的离散程度，变异系数越大，数据空间分布差异性越大^[12-13]。研究区养分元素全量、pH 和有机质含量差异性依次为：有机质>N>Mo>P>Cu>Zn>B>K>pH。与山东省表层土壤背景值相比^[14]，比值为 0.93~1.34，研究区 N、P、Zn、B、有机质相对丰富，K、Cu、Mo 相对缺乏，pH 以碱性为主。

2.2 土壤养分元素有效量及分级

以《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[11]中养分指标有效量等级划分标准的中等下限为临界值，结合统计描述结果(表 3)来衡量研究区

土壤养分元素有效量背景值的大小，可见，有效钼和有效硼的背景值低于临界值，总体含量低，而其他元素的有效量背景值高于临界值，总体含量高。有效量差异性依次为：有效锌>有效磷>有效铜>速效钾>碱解氮>有效钼>有效硼，其中除有效硼属于中等变异外，其他元素有效量均为强变异，离散程度高，分布极不均匀。

基于上述评价规范，将土壤养分元素有效量划分为 5 个等级(表 4)，利用泛克立格法对有效量进行空间插值，空间分布见图 2。碱解氮各分级区域主要呈斑状或点状不规则分布，丰富区在研究区南部相对集中，缺乏区主要呈斑状分布于研究区西部；有效磷、速效钾、有效铜、有效锌总体上呈现西低东高的空间分布趋势；有效钼和有效硼在研究区内处于偏低水平，与表 3 的统计描述结果相对应。

表 2 土壤养分元素全量、pH 和有机质含量的描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of soil total contents of nutrient elements, pH and organic matter content

指标	最大值	最小值	平均值	标准离差	变异系数	背景值	山东省土壤背景值	研究区与山东省土壤背景值比值
N	5.32	0.17	1.31	0.77	0.58	1.12	0.89	1.26
P	4.34	0.09	1.01	0.51	0.51	0.98	0.82	1.19
K	36.90	4.60	19.37	3.28	0.17	19.29	20.50	0.94
Cu	75.8	2.7	23.13	8.88	0.38	21.70	22.60	0.96
Zn	262.7	25.4	70.14	22.13	0.32	66.75	63.30	1.05
Mo	4.31	0.11	0.6	0.33	0.55	0.54	0.58	0.93
B	87.8	5.4	50.66	11.7	0.23	50.59	42.70	1.18
pH	9.50	5.88	7.93	0.59	0.07	7.94	7.32	1.08
有机质	122.67	2.30	22.61	16.62	0.74	18.21	13.62	1.34

注：表中 N、P、K、有机质含量单位为 g/kg，pH 无量纲，其余含量单位为 mg/kg。

表 3 土壤养分元素有效量的描述性统计
Table 3 Descriptive statistics for available contents of soil nutrient elements

指标	最大值(mg/kg)	最小值(mg/kg)	平均值(mg/kg)	标准离差(mg/kg)	变异系数	背景值(mg/kg)	临界值 ^[11] (mg/kg)
碱解氮	504.08	25.20	117.89	64.83	0.55	106.15	90
有效磷	585.73	0.24	46.08	63.26	1.37	32.79	10
速效钾	1973.89	13.61	188.93	197.35	1.04	152.56	100
有效铜	14.94	0.01	1.05	1.24	1.18	0.83	0.2
有效锌	51.22	0.11	2.26	3.71	1.64	1.21	0.5
有效钼	0.20	0.01	0.08	0.04	0.50	0.08	0.15
有效硼	0.99	0.10	0.29	0.10	0.34	0.27	0.5

表 4 土壤养分元素有效量分级(mg/kg)^[11]
Table 4 Grades for available contents of soil nutrient elements

指标	一等(丰富)	二等(较丰富)	三等(中等)	四等(较缺乏)	五等(缺乏)
碱解氮	>150	120 ~ 150	90 ~ 120	60 ~ 90	≤ 60
有效磷	>40	20 ~ 40	10 ~ 20	5 ~ 10	≤ 5
速效钾	>200	150 ~ 200	100 ~ 150	50 ~ 100	≤ 50
有效铜	>1.8	1.0 ~ 1.8	0.2 ~ 1.0	0.1 ~ 0.2	≤ 0.1
有效锌	>3	1 ~ 3	0.5 ~ 1	0.3 ~ 0.5	≤ 0.3
有效钼	>0.3	0.2 ~ 0.3	0.15 ~ 0.2	0.1 ~ 0.15	≤ 0.1
有效硼	>2	1 ~ 2	0.5 ~ 1	0.2 ~ 0.5	≤ 0.2

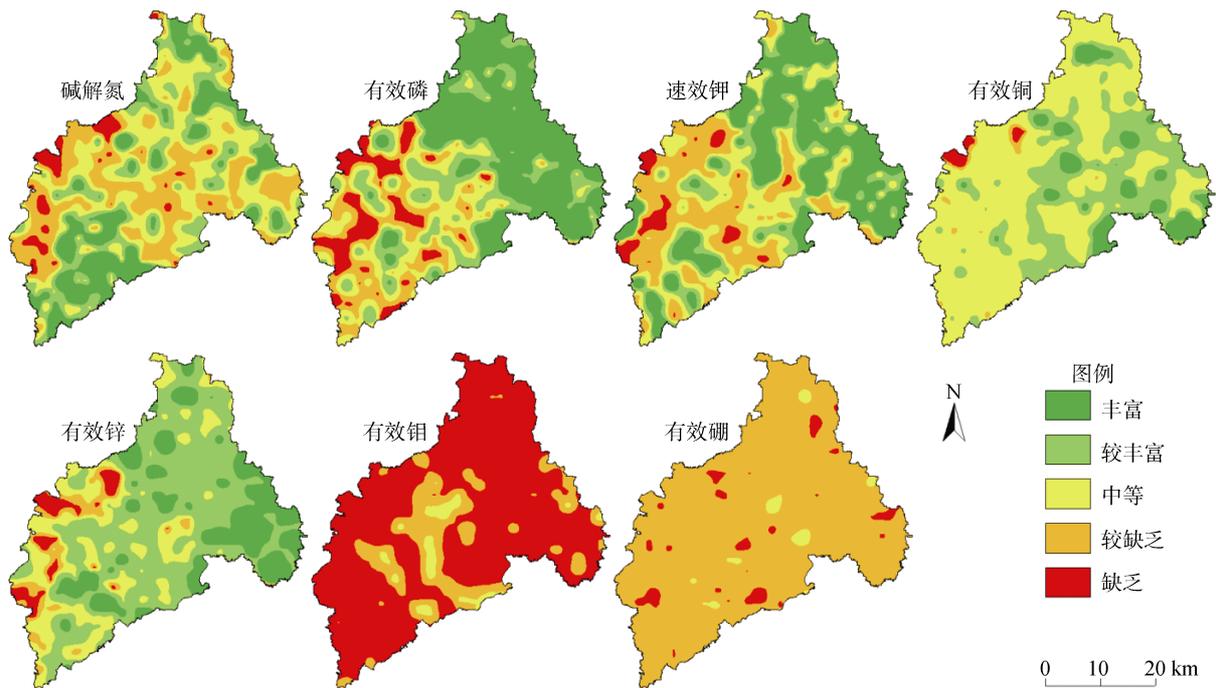


图 2 土壤元素有效量分级空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of available contents of soil nutrients elements

2.3 土壤养分元素有效量在不同成土母质中的变化规律

根据研究区地层分布情况(图 1), 统计有效量在不同母质中的变化规律, 由表 5 可知, 研究区内不同成土母质中的土壤有效磷、速效钾、有效铜、有效锌含量具有显著性差异, 第四系、新近系土壤

有效磷、有效铜含量显著高于其他母质, 第四系土壤速效钾含量显著高于其他母质, 新近系土壤有效锌含量显著高于其他母质, 而碱解氮、有效钼、有效硼含量在不同成土母质中没有显著性差异。研究区土壤不同成土母质的土壤 pH、有机质含量亦有显著性差异, 奥陶系、寒武系土壤 pH 显著高于其

他母质，奥陶系土壤有机质含量显著高于其他母质，即不同成土母质发育的土壤理化性质不同，与

前人研究结论一致^[15]，其也是间接影响土壤养分元素有效量的重要因素^[16]。

表 5 不同地质单元土壤养分元素有效量、pH 和有机质含量的对比

Table 5 Comparison of available contents of soil nutrient elements, pH and organic matter content between different geological units

指标	第四系(n=235)	新近系(n=9)	奥陶系(n=36)	寒武系(n=110)
碱解氮	103.64 ± 38.05 a	100.11 ± 47.83 a	115.9 ± 62.12 a	112.65 ± 53.23 a
有效磷	55.22 ± 45.41 a	47.23 ± 53.24 a	4.51 ± 2.71 b	8.34 ± 7.17 b
速效钾	196.34 ± 124.52 a	119.30 ± 93.90 b	86.76 ± 38.69 b	114.61 ± 69.02 b
有效铜	1.02 ± 0.54 a	1.31 ± 1.65 a	0.53 ± 0.34 b	0.65 ± 0.40 b
有效锌	1.64 ± 1.11 b	3.15 ± 4.19 a	0.82 ± 0.60 c	0.83 ± 0.52 c
有效钼	0.09 ± 0.03 a	0.08 ± 0.01 a	0.08 ± 0.04 a	0.07 ± 0.05 a
有效硼	0.28 ± 0.08 a	0.24 ± 0.04 a	0.27 ± 0.07 a	0.28 ± 0.07 a
pH	7.74 ± 0.51 b	7.29 ± 0.19 c	8.44 ± 0.43 a	8.27 ± 0.47 a
有机质	16.79 ± 5.76 c	12.76 ± 4.71 c	30.03 ± 20.77 a	24.30 ± 12.25 b

注：表中同行不同小写字母表示不同地质单元土壤间差异显著($P < 0.05$)。

2.4 土壤养分元素有效量在不同土壤类型中的变化规律

根据研究区土壤类型分布情况(图 1)，表 6 统计了有效量在不同土壤类型中的变化规律。研究区内不同土壤类型中的土壤养分元素有效量多具有显著性

差异，有效钼在褐土中含量最高，碱解氮在粗骨土中含量最高，速效钾、有效铜在砂姜黑土中含量最高，有效磷、有效锌、有效硼在潮土中含量最高。土壤类型不同，其理化性质也各不相同，研究区内粗骨土中的土壤 pH 和有机质均显著高于其他土壤类型。

表 6 不同土壤类型土壤养分元素有效量、pH 和有机质含量的对比

Table 6 Comparison of available contents of soil nutrient elements, pH and organic matter content between different soil types

指标	褐土(n=252)	粗骨土(n=80)	砂姜黑土(n=30)	潮土(n=28)
碱解氮	104.08 ± 42.62 b	132.18 ± 82.56 a	121.10 ± 60.43 ab	122.10 ± 52.05 ab
有效磷	41.20 ± 41.18 b	4.78 ± 3.06 c	59.15 ± 53.70 a	66.19 ± 39.33 a
速效钾	168.96 ± 118.95 b	96.50 ± 48.80 c	227.13 ± 138.83 a	195.96 ± 100.21 ab
有效铜	0.92 ± 0.54 a	0.57 ± 0.35 b	1.02 ± 0.51 a	0.95 ± 0.37 a
有效锌	1.46 ± 1.10 b	0.79 ± 0.51 c	1.42 ± 0.90 b	2.26 ± 1.95 a
有效钼	0.084 ± 0.04 a	0.073 ± 0.05 ab	0.062 ± 0.02 b	0.078 ± 0.04 ab
有效硼	0.270 ± 0.07 b	0.271 ± 0.07 b	0.298 ± 0.08 ab	0.302 ± 0.07 a
pH	7.84 ± 0.57 b	8.32 ± 0.52 a	7.85 ± 0.38 b	7.91 ± 0.39 b
有机质	17.46 ± 6.85 b	27.45 ± 16.32 a	17.16 ± 5.04 b	18.84 ± 6.69 b

注：表中同行不同小写字母表示不同土壤类型土壤间差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

元素全量通常对有效量具有制约影响^[17]。通过计算研究区内土壤元素全量与有效量的相关性，除 Mo 元素不相关外，其他元素全量与其有效量均在 $P < 0.01$ 水平呈显著正相关，按相关系数大小排序为 $P(0.796) > N(0.716) > Zn(0.694) > Cu(0.433) > K(0.167) > B(0.139) > Mo(-0.018)$ ，表明有效量很大程度上受全量的影响明显，且不同元素全量向有效量转化具有差异性。

pH 和有机质是影响土壤养分元素有效量的重要

因素^[18]。由表 7 可知，土壤 pH 与 7 种元素的有效量均呈显著负相关。有研究认为，土壤 pH 的降低甚至酸化会引起某些元素的有效量增加^[19]。另外，pH 会影响溶液、胶体中的离子组成和元素形态，进而对元素有效性产生影响^[20]。有机质含量与碱解氮、速效钾、有效锌、有效硼含量呈显著正相关，与其他元素有效量相关性不显著。随着有机质的积累，伴随有机质的络合固定作用^[21]，使这些元素有效量增加，尤其与碱解氮含量达极显著正相关，碱解氮包括矿物态氮和有机质中易分解的有机态氮，所以有机质含量

高, 则土壤熟化程度高, 碱解氮含量也就高。

表 7 土壤养分元素有效量与 pH 和有机质含量的相关性
Table 7 Correlation between available contents of soil nutrient elements and pH and organic matter content

相关系数	pH	有机质
碱解氮	-0.237**	0.682**
有效磷	-0.414**	-0.062
速效钾	-0.137**	0.106*
有效铜	-0.362**	0.014
有效锌	-0.334**	0.226**
有效钼	-0.102*	-0.059
有效硼	-0.108*	0.439**

注: ** 相关性在 $P < 0.01$ 显著; * 相关性在 $P < 0.05$ 显著。

成土母质和土壤类型是分析土壤元素空间变异的主要因素^[22-23], 成土母质和土壤类型不同, 土壤理化性质也各不相同, 影响着土壤养分元素有效量。研究区西南部寒武纪和奥陶纪碳酸盐岩系地层, 成土母质碳酸盐、盐基离子含量较高, 使得土壤 pH 较高; 另外西南部为山地丘陵区, 植被发育, 有利于土壤有机质的积累; 东北部为平原区, 主要发育新近纪和第四纪地层, 也是主要工农业生产区, 人为扰动对土壤酸碱度产生影响, 同时缺少有机质的积累。研究区内褐土发育在低山丘陵坡麓、近山阶地和山前平原, 粗骨土发育在西南部山地丘陵区的碳酸盐岩坡积风化物上, 砂姜黑土发育在大型洼地, 潮土发育在河流沉积物上, 不同土壤类型的成土条件不同, 导致了土壤理化性质的差异。粗骨土的土层浅薄、成土过程微弱, 受成土母质和植被的影响大, 使其 pH 和有机质显著高于其他土壤类型; 潮土和砂姜黑土耕性好, 质地适中, 是农作物的高产稳产区, 受人为扰动大(如耕作、施肥), 使得多数元素的有效量高于其他土壤类型。因此, 结合有效量与 pH、有机质含量的相关性分析结果可知, 不同成土母质和土壤类型土壤养分元素有效量的差异, 是由其土壤 pH 和有机质含量的差异导致的。

4 结论

研究区土壤养分元素有效钼和有效硼总体含量低, 分别存在缺乏和较缺乏现象; 碱解氮背景值略高于临界值, 但分布不规律; 有效磷、速效钾、有效铜、有效锌含量变异系数均大于 100%, 分布极不均匀, 呈现西低东高的空间分布趋势。有效量除了受全量水平影响外, 还受控于土壤其他理化性质, 而不同成土母质和土壤类型导致了土壤理化性

质的差异, 最终对土壤养分元素有效量形成了差异性影响。

参考文献:

- [1] 严明书, 吴春梅, 蒙丽, 等. 重庆市黔江猕猴桃果园土壤养分状况分析[J]. 物探与化探, 2019, 43(5): 1123-1130.
- [2] 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.
- [3] 刘全友, 童依平, 李继云, 等. 多伦县土壤营养元素有效态含量的影响因素研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1034-1037.
- [4] 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.
- [5] 齐虹凌, 元野, 刘世丰, 等. 安徽省黟县农田耕层土壤中微量元素含量研究[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1280-1284.
- [6] 唐丽静, 王冬艳, 宋诚亮. 山东省沂源县耕层土壤营养元素有效态含量及其影响因素研究[J]. 山东农业科学, 2014, 46(8): 71-74.
- [7] 张智, 任意, 鲁剑巍, 等. 长江中游农田土壤微量养分空间分布特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1489-1496.
- [8] 章程, 谢运球, 吕勇, 等. 广西弄拉峰丛山区土壤有机质与微量营养元素有效态[J]. 中国岩溶, 2006, 25(1): 63-66.
- [9] 季一诺, 赵志忠, 吴丹, 等. 海南东寨港红树林沉积物中重金属的分布及其生物有效性[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 593-600.
- [10] 山东省土壤肥料工作站. 山东土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 54-63.
- [11] 中华人民共和国国土资源部. 土地质量地球化学评价规范: DZ/T 0295—2016[S]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [12] 师荣光, 蔡彦明, 郑向群, 等. 天津郊区农田降雨径流重金属的污染特征及来源分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 213-217.
- [13] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 198-206.
- [14] 庞绪贵, 代杰瑞, 胡雪平, 等. 山东省土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2018, 34(1): 39-43.
- [15] 徐尚平, 陶澍, 徐福留, 等. 内蒙土壤微量元素含量的空间结构特征[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 337-345.
- [16] 乔依娜, 刘洪斌. 农田土壤有效态微量元素空间预测方法及影响因子定量分析[J]. 土壤, 2019, 51(2): 399-405.
- [17] 施宪, 王冬艳, 李月芬, 等. 吉林西部土壤微量营养元素有效量及其影响因素[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12503-12505, 12508.

- [18] 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.
- [19] 赵全桂, 卢树昌, 吴德敏, 等. 施肥投入对招远农田土壤酸化及养分变化的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(1): 301–306.
- [20] 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.
- [21] 王昌全, 李冰, 龚斌, 等. 西昌市土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 有效性评价及其影响因素分析[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 447–451.
- [22] 李巧玲, 苏建平, 阚建鸾, 等. 江苏省如皋市土壤中微量元素含量有效性评价[J]. 土壤, 2019, 51(2): 263–268.
- [23] 王雪梅, 柴仲平, 毛东雷. 不同质地耕层土壤有效态微量元素含量特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 189–192.