

济阳县土壤元素有效量及其影响因素研究

代杰瑞, 庞绪贵, 曾宪东, 王红晋

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:通过对济阳县生态地球化学调查研究, 该区受成土母质来源、土壤类型、地形地貌及其理化性质等因素影响, 土壤元素全量、有效量及有效度表现为: 低平洼地土壤中 K, P, N, Se, Mn, Fe, Zn, Cu 和 Mo 全量较高, P, N, Se 和 Cu 有效量较高, 显示为低平洼地为黏质成分的沉积成因特点; 而决口扇形地区土壤 Cu, Mo, N, Zn, B 有效量和全量均偏低。富含有机质, 且 pH 相对较低的潮土中 Se, Cu, Mo 和 B 等元素有效度较高, 贫有机质、pH 相对较高的草甸风沙土中 N, Fe, Cu, Mo, B 和 S 等元素有效量较低, 但 K 有效量和有效度均较高。统计分析表明, 土壤中 K, P, N, S 和 Cu 等元素全量与有效量间具显著正相关性, 表明全量是有效量的重要影响控制因素; 有机质含量与 K, P, Zn, Cu 和 B 有效度间为显著正相关, 说明有机质较高有利于土壤元素活化; Fe, P, S, Zn, B 和 Cu 有效度与 pH 值为显著负相关, 表明土壤酸性增强会增加这类元素的生物有效性。

关键词:土壤元素; 元素有效量; 影响因素; 济阳县

中图分类号: S152.3

文献标识码: A

土壤元素有效量是指以相对活动态存在于土壤中、能被动植物所吸收利用的那部分含量, 通常指植物营养和有益元素。土壤是一个包含无机物、有机物甚至生物体, 有固相、液相、汽相构成的复杂体系^[1]。土壤中营养和有益元素供给水平, 不仅与其总量有一定关系, 更大程度上取决于其有效量。因此, 测定土壤元素有效量, 研究有效量和土壤元素有效度(指土壤中某种元素有效量与其总量的百分比)的影响因素, 是实施科学平衡施肥^[2], 提高农作物产量和品质的重要依据。该文对山东省济阳县典型类型土壤中部分营养和有益元素有效量的基本特征进行了阐述, 采用相关分析等方法分析了影响土壤元素有效量的主要因素^①。

1 样品采集与分析

1.1 样品采集与加工

在济阳 1 076 km² 的县域范围内, 每 1 km² 为 1 个采样单元格, 并尽量使采样点位于单元格中央部位以保证样品空间分布上总体均匀。采样点布设在

农用大田、菜地、果园、林地中, 并避开明显的局部污染地段、垃圾及人为搬运的堆积土等, 离开主干公路 100 m 以上; 避开施肥期采样。

在采样点周围 50 m 范围内, 等量采集 3~5 点土壤样品组成 1 个样品。采样时除去表面杂物, 垂直采集地表至 20 cm 深的土壤, 保证上下均匀采集。弃去动、植物残留体、砾石、肥料团块等, 装入干净布袋, 样品原始重量大于 1 000 g, 共采集样品 1 180 件。土壤样品风干、敲碎, 过 20 目尼龙筛, 每 4 km² 一件组合样, 测定元素有效量和全量。

1.2 测试指标与方法

分析指标选择与农作物生长密切相关的元素 N, P, K, B, Mo, Mn, Cu, Zn, Fe, S, Se 等共计 11 项指标进行全量与有效量分析, 同时进行 pH 和有机碳测试。土壤全量和有效量的分析测试工作由中国地质科学院地球物理地球化学研究所完成。元素全量分析方法及质量监控要求执行中国地质调查局的《多目标区域地球化学调查规范(1:25万)》。元素有效量的处理及测定方法采用国内外实验方案进行

* 收稿日期: 2009-04-25; 修订日期: 2009-06-25; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 代杰瑞(1977—), 男, 黑龙江萝北人, 工程师, 主要从事农业地质、环境地质工作。

①山东省地质调查院, 山东省济阳县生态地球化学调查报告, 2007年。

(表 1)^[3-4]。

表 1 土壤元素有效量提取与测定方法

分析项目	提取方法	分析方法	检出限/ 10 ⁻⁶
B	沸水提取	等离子体 光谱法测定 (ICP-OES)	0.005
Mo	Tammi 试剂提取		0.005
P	0.5mol NaHCO ₃ 提取		0.25
Cu, Zn, Fe	0.005mol DTPA - 0.01mol CaCl ₂ - 0.1mol TEA 提取		0.02
速效 K	1.0mol NH ₄ AC 提取		1.25
Mn	1.0mol NH ₄ AC 提取		0.01
S	0.5mol NaHCO ₃ 提取		0.1
Se	水提取		原子荧光光谱法 测定 (AFS)
氨态 N	碱解扩散	碱解扩散法	1.25

2 土壤元素有效量与有效度统计特征

2.1 土壤元素有效量与有效度

对分析测试数据统计表明(表 2), 323 件样品中元素全量依次为(均值): Fe, K, N, P, Mn, S, Zn,

B, Cu, Mo, Se; 而土壤元素有效量依次为(均值): K, N, P, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Se。对比两者间的排序可以发现土壤中多数元素有效量与全量的总体变化趋势较为相似, 如 K, P, N 无论是全量还是有效量均较高, 含量级别往往高于其他元素一个或数个含量级, 又如 Zn, B, Cu, Mo, Se 五元素, 无论是全量还是有效量均处在第二级次, 反映了土壤元素丰度对有效量的制约作用。

由表 2 可见, 土壤元素有效度(平均值)顺序为: Mo, S, N, Cu, Mn, P, B, Se, Zn, K, Fe。可见不同元素的有效度相差十分悬殊, 显然, 元素表中地球化学性质是决定其有效度的重要内因。例如, 土壤中全量 S (318.79 × 10⁻⁶) 小于全量 Mn (588.79 × 10⁻⁶), 但由于土壤中 S 活动性强, 其有效度大于 Mn, 相差约 3 倍, 从而使土壤中 S 有效量高于 Mn。同时, S, Mn 作为双重性元素, 在土壤中的含量不能缺少, 但多了有害, 因此, 在评价土壤 S, Mn 污染时, 土壤 S 污染的生态危害性更应引起注意。

表 2 济阳县土壤元素全量有效量和有效度

指标	全量			有效量			有效度(%)		
	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
Fe	5.09	3.38	4.22	37.20	12.80	25.05	0.13	0.04	0.08
K	2.50	2.12	2.30	295.10	57.80	175.64	1.44	0.35	0.90
N	1540.97	747.98	983.45	109.90	57.40	83.53	8.70	6.01	7.35
P	1232.96	713.72	974.53	62.10	0.50	28.63	5.72	0.07	2.89
Mn	710.84	465.94	588.79	27.90	14.40	21.25	5.02	2.00	3.53
S	510.04	228.03	318.79	39.00	13.10	25.93	13.39	5.62	9.18
Zn	85.70	52.40	68.84	1.93	0.68	1.30	3.15	0.81	1.97
B	56.12	40.65	48.41	1.99	0.57	1.28	4.11	1.16	2.65
Cu	28.71	14.96	21.83	2.12	0.61	1.35	7.65	4.35	6.02
Mo	0.74	0.40	0.56	0.16	0.04	0.10	24.78	9.69	17.11
Se	0.24	0.16	0.20	5.48	3.45	4.46	3.01	1.52	2.28

注: 全量 Fe, K 单位 10⁻²; 有效量 Se 单位 10⁻⁹; 其余为 10⁻⁶。

2.2 地貌单元土壤元素有效量

济阳县发育低平洼地、缓平坡地、决口扇形地、河漫滩高地 4 种地貌类型。不同地貌类型土壤有机质含量和酸碱性有一定差别, 其 4 种地貌类型的有机质含量(平均值, %) 分别为 1.81, 1.57, 1.29 和 0.99; pH 值为 7.75, 8.23, 8.16 和 8.35。统计表明, 不同地貌单元间土壤中某些元素的有效量差异明显(表 3), 其有效量与全量、有效度具有以下特征:

(1) 低平洼地土壤中 P, N, Cu 和 Se 有效量平均值大于其他地貌区, Mn, Fe, Mo 和 B 有效量也相对较高。比较不同地貌单元土壤元素全量和有效度可以发现, 低平洼地地区土壤中 Cu 的全量与有效度以及 P, N 和 Se 全量高于其他地貌区的相应值, 反映了元素全量对有效量的协同影响。相比而言, 低平洼地土壤中仅 K 和 S 的有效量低于其他地貌区, 与之相对应, 低平洼地土壤这些元素的全量和有效度也是 4 种地貌单元中相对较低的。从地质背景条件

分析,低平洼地土壤中大部分元素的土壤全量较高,可能与低洼地区土壤质地以黏质成分为主,黏质成分具有较强吸附元素的能力有关。另外,土壤富含有机质,是导致P,N,Cu和Se有效度相对较高的主要原因。

(2)决口扇形地区土壤Mn和Fe有效量较高,而Cu和Mo有效量较低,同时N,Zn和B有效量也偏低。Cu,Mo,N,Zn和B较低的原因,一方面与这些元素全量偏低有关,同时也与这些元素有效度较低直接有关。

(3)缓平坡地区土壤K,Zn,Mo和B有效量较高,而Se和Mn有效量较低。对比不同地貌单元土壤元素全量、有效度可以发现,与(1)相类似,全量、有效度与有效量具有共消长变化规律。K,Zn,Mo和B有效量较高与土壤pH值较低,有机质较高,从而提高元素有效度有关。

(4)河漫滩高地土壤中K,Mn和S有效量较高,而N,P,Fe,Mo和B的有效量则较低。这与土壤质地以砂质成分为主及全量、有效度和有机质偏低有直接关系。

表3 不同地貌类型土壤中元素有效量与有效度

	地貌类型	K ₂ O	P	N	Se	Mn	Fe	Zn	Cu	Mo	B	S
全量	低平洼地	2.52	980	916	0.18	701	5.15	78.23	26.95	0.66	54.34	267.56
	决口扇形地	2.23	948	857	0.16	512	3.97	58.4	19.58	0.54	48.61	283.65
	缓平坡地	2.33	893	793	0.17	584	4.36	66.2	22.5	0.59	52.8	276.68
	河漫滩高地	2.30	869	783	0.15	564	4.19	62.35	21.05	0.61	45.05	319.56
有效量	低平洼地	180.56	30.23	86.81	4.54	21.06	27.79	1.41	1.85	0.10	1.34	25.89
	决口扇形地	121.74	27.69	77.63	4.46	21.82	27.84	1.36	1.02	0.09	0.89	30.48
	缓平坡地	224.08	30.12	84.32	4.2	19.56	24.27	1.41	1.41	0.11	1.44	28.22
	河漫滩高地	227.83	17.17	62.63	4.44	22.83	22.09	0.97	1.36	0.09	0.58	39.52
有效度 (%)	低平洼地	0.72	3.08	9.48	2.26	3.00	0.05	1.80	6.68	15.15	2.47	8.97
	决口扇形地	0.55	2.92	9.06	2.79	4.26	0.07	2.33	5.21	16.67	1.83	10.75
	缓平坡地	0.96	3.37	10.63	2.13	3.35	0.06	2.13	6.27	18.64	2.73	10.20
	河漫滩高地	0.99	1.98	8.00	2.96	4.05	0.05	1.56	6.46	14.75	1.29	12.37

注:全量Fe,K单位 10^{-2} ;有效量Se单位 10^{-9} ;其余为 10^{-6} 。

2.3 土壤类型与元素有效量

土壤是成土母质、地形地貌、气候、植被与时间等多种因素综合作用的产物,不同类型土壤有着其独特的理化性质、元素含量以及元素分配特征,从而决定土壤元素有效量及有效度。无可置疑,土壤元素含量及其分布分配不仅受到自然地质作用的影响,还不同程度地受到工业“三废”排放、化肥农药施肥、交通运输污染等各种人为作用的影响。根据

全国土壤普查暂行技术规程和《山东省第二次土壤普查土壤工作分类暂行方案》,济阳县土壤类型可分潮土、盐化潮土、草甸风沙土3个亚类^[5]。各类土壤有机质含量(平均值,%)分别为潮土1.78、盐化潮土1.39、草甸风沙土0.74,潮土富含有机质,耕作熟化程度较低的草甸风沙土有机质最低。各类土壤pH分别为潮土8.15、盐化潮土8.08、草甸风沙土8.39(表4)。

表4 不同类型土壤中元素有效量与有效度

	指标	K ₂ O	P	N	Se	Mn	Fe ₂ O ₃	Zn	Cu	Mo	B	S
全量	潮土	2.79	937.25	968	0.17	578.08	4.23	65.41	22.31	0.58	51.37	276.45
	盐化潮土	2.29	987.17	857	0.19	558.14	4.23	63.81	21.54	0.56	49.51	307.63
	草甸风沙土	2.18	895	815	0.23	550	3.91	61.4	20.34	0.51	47.13	163.76
有效量	潮土	185.61	22.11	83.95	4.44	21.62	25.31	1.31	1.39	0.15	1.29	25.07
	盐化潮土	144.2	32.4	80.14	4.69	20.44	25.56	1.22	1.23	0.09	1.1	28.27
	草甸风沙土	223.25	31.45	80.03	4.93	44.5	21.2	1.23	0.91	0.07	0.97	18.7
有效度 (%)	潮土	0.665	2.359	8.673	2.612	3.740	0.059	2.003	6.230	17.241	2.511	8.069
	盐化潮土	0.630	3.282	9.351	2.468	3.662	0.060	1.912	5.710	16.071	2.222	9.190
	草甸风沙土	0.979	3.514	9.820	2.143	2.091	0.054	2.073	4.483	13.725	2.059	7.419

注:全量Fe,K单位 10^{-2} ;有效量Se单位 10^{-9} ;其余为 10^{-6} 。

从表 4 可见,济阳县不同类型土壤中各种元素的有效度变化较大,具有以下规律:Se, Cu, Mo, B 有效度为潮土 > 盐化潮土 > 草甸风沙土; K₂O, Mn, Zn 有效度为草甸风沙土 > 潮土 > 盐化潮土; P, N, S 有效度为草甸风沙土 > 盐化潮土 > 潮土; Fe₂O₃ 有效度为盐化潮土 > 潮土 > 草甸风沙土。

不同土壤类型间元素有效度的这种差异性,反映了土壤有机质、pH 值对土壤元素地球化学行为的规律性作用。主要表现为:

(1) 潮土相对富含有机质,且 pH 相对较低,从而使 Se, Cu, Mo 和 B 等大多数元素具有较高的有效度;而草甸风沙土 pH 相对较高,有机质含量较低,因而大多数元素有效度很低。土壤成因、性质的不同以及由此决定的元素有效度的显著差异,使潮土和盐化潮土中 Mn, Zn, Cu, Fe 和 Mo 等元素有效量明显大于草甸风沙土。

(2) 潮土、盐化潮土、草甸风沙土中 K₂O 含量分别为 2.79×10^{-2} , 2.29×10^{-2} , 2.18×10^{-2} , 潮土相对较高,草甸风沙土 K₂O 含量最低。由于 pH 较高条件下 K₂O 有效度较高,导致草甸风沙土中 K₂O 有效量较高。

(3) 各种类型土壤间 P, N 和 S 有效度虽有差异,但变化不大。对比不同类型土壤间元素全量及有效量,可以发现 P, N 和 S 元素有效量与全量的总体变化趋势相似,说明元素全量是导致潮土、盐化潮土、草甸风沙土中 P, N, S 有效量差异的主要原因。

3 影响土壤元素有效量的主要因素

3.1 土壤元素全量对有效量的影响

济阳县 323 件土壤样品统计分析表明,各元素全量与有效量的相关系数分别为: Fe - 0.016, K 0.664, P 0.683, N 0.794, Mn - 0.15, S 0.979, Zn 0.242, B 0.28, Cu 0.620, Mo 0.126, Se 0.131 (置信度 $\alpha = 0.05$ 时,显著相关临界值约为 0.183)。即 K, P, N, S, Zn, B, Cu 等元素有效量总体上受全量的明显影响,因此,土壤元素全量资料对于农业施肥 (K, P, N, S, Cu, B 和 Zn)、环境质量和生态效应评价 (S, Zn 和 Cu)、富硒特色农产品发展均具有较为直接的参考应用价值。

3.2 土壤有机质对有效量和有效度的影响

(1) 对有效量的影响

统计分析表明,土壤有机质含量与有效量间的相关系数分别为: Fe 0.263, K 0.335, P 0.396, N 0.794, Mn - 0.184, S - 0.062, Zn 0.450, B 0.447, Cu 0.468, Mo 0.063, Se - 0.063 (置信度 $\alpha = 0.05$ 时,显著相关临界值约为 0.183)。表明了多数元素有效量受土壤有机质含量的影响。其中 Fe, K, P, N, Zn, B, Cu 等元素有效量与有机质含量呈良好的线性正相关(图 1),表明增施有机肥,可以提高这些元素的有效量,从而提高其肥力; Mn 有效量与有机质呈负相关;而 Mn, S, Mo, Se 有效量与有机质关系不明显。

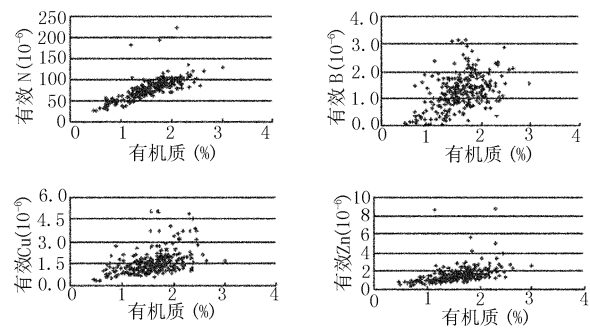


图 1 有机质与 N, B, Cu, Zn 元素有效量相关性散点图

(2) 对有效度的影响

经统计,土壤有机质含量与有效度间的相关系数分别为: Fe 0.181, K 0.329, P 0.303, N - 0.553, Mn - 0.34, S - 0.139, Zn 0.352, B 0.435, Cu 0.390, Mo 0.019, Se - 0.323 (置信度 $\alpha = 0.05$ 时,显著相关临界值约为 0.183)。表明多数元素有效度受土壤有机质含量影响。其中 K, P, Zn, Cu 和 B 等元素有效度与有机质含量呈正相关性,表明长期耕作对有机质积累,可使这些元素的有效度提高,使土壤中这些元素的生物有效量增加,有利于作物的吸收利用。相反,土壤中 N, Se 和 Mn 有效度与有机质呈负相关性(图 2),表明增加有机质含量使土壤中这些元素处于相对稳定的赋存状态,使肥力下降。其余元素有效度与有机质相关性则不明显。

3.3 土壤 pH 值对有效度的影响

土壤 pH 值是土壤的重要化学性质,它不但直接决定了土壤保肥、供肥能力,影响农作物的生长外,而且还影响着元素在土壤中的有效态转换,致使全量相当而酸碱性不同的土壤供肥能力差异明显。

统计分析表明,土壤有效度与 pH 值间的相关系数分别为: Fe - 0.238, K 0.015, P - 0.355, N

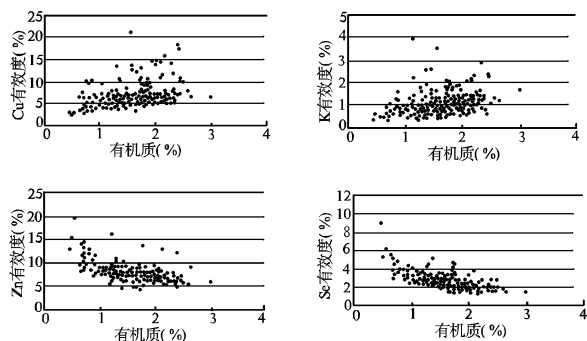


图2 有机质与 Cu, K, N, Se 元素有效度相关性散点图

0.272, Mn - 0.054, S - 0.551, Zn - 0.354, B - 0.224, Cu - 0.232, Mo 0.177, Se 0.054 (置信度 $\alpha = 0.05$ 时, 显著相关临界值约为 0.183)。反映了多数元素有效度受土壤 pH 值的影响, 其中 Fe, P, S, Zn, B 和 Cu 有效度与 pH 值呈显著负相关, 而 N 则与 pH 呈正相关, 即 pH 值是影响土壤中 Fe, P, S, Zn, B, Cu 和 N 等元素有效性及其有效量的重要因素。

4 结语

济阳县土壤元素全量和有效量研究表明, 地理地貌、成土母质来源是决定土壤中 K, P, N, Se, Mn,

Fe, Zn, Cu, Mo, B, S 等元素含量的重要因素, 土壤有机质、酸碱度等理化性质对土壤元素赋存状态、有效量及有效度有重要影响。土壤中 K, P, N, S 和 Cu 等元素全量是其有效量的重要控制影响因素, 而元素的地球化学性质是决定元素有效度的重要因素。有机质增加有利于 K, P, Zn, Cu 等元素的活化, 从而提高其有效量; 土壤酸碱度对 Fe, P, S, Zn, B 和 Cu 有效度有显著影响, 酸性土壤有利于提高这些元素的有效量, 而碱性环境中 N 元素有效量较高。土壤元素有效量与全量的关系及其影响因素研究成果, 对于土壤地球化学资料在农业营养施肥和环境质量评价等方面具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 等. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 79 - 135.
- [2] 鲁如坤. 土壤-植物营养原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 250 - 278.
- [3] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 116 - 149.
- [4] 朱端卫. 土壤硼的化学行为研究进展[J]. 土壤学进展, 1994, 22(1): 11 - 17.
- [5] 阎鹏, 许世良, 曲克健, 等. 山东土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 54 - 63.

Study on Available Contents and Influencing Factors of Soil Elements In Jiyang County

DAI Jie - rui, PANG Xu - gui, ZENG Xian - dong, WANG Hong - jin
(Shandong Geological Survey Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Through study on ecological and geochemical survey in Jiyang county, it is regarded that due to the influences of parent rocks, soil types, topography and physical and chemical properties, total contents, available contents and available degrees of soil elements are: in downfold soil, the total contents of K, P, N, Se, Mn, Fe, Zn, Cu and Mo are rather high, and available contents of P, N, Se and Cu are rather high. It shows the characteristics of sedimentary origin with viscid composition; the available contents and total contents of Cu, Mo, N, Zn and B are lower in soil of crevasse fan - shaped area. In the fluvo - aquic soils with rich organic matters and relative lower pH value, the available degree of Se, Cu, Mo and B are higher, in the bedding aeolian sandy soil with poor organic matters and relative higher pH value, the available contents of N, Fe, Cu, Mo, B and S are lower, but the available contents and available degree of K are rather high. As showed by statistic analysis, it is found that the total contents and available contents of K, P, N, S and Cu are obvious positive correlation. It shows that the total contents are main influence and control factors for available contents, the organic matters contents and available degree of K, P, Zn, Cu and B are obviously positive correlation. It shows that high contents of organic matters are favorable for elements activation in soil; the pH value and the available degree of Fe, P, S, Zn, B and Cu are obvious negative correlation. It shows that increasing acidity of soil can enhance the biology validity of those elements.

Key words: Soil elements; available contents of soil elements; influencing factors; Jiyang county