

天山荒漠景观内蒸发地球化学垒的研究*

黄 标 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 天山荒漠景观内的蒸发地球化学垒可分为碳酸盐蒸发垒、石膏蒸发垒和易溶盐蒸发垒。这些蒸发垒沿天山山脉呈带状分布, 自天山山脉至两侧盆地依次分布碳酸盐蒸发垒、石膏蒸发垒和易溶盐蒸发垒。土壤中碳酸盐的积聚导致 Mn、Ti、Fe、V、Sc、Cu、Co 和 B 等元素含量的降低。石膏的富集常伴随着土壤中 B 和 Sr 含量的增加。随易溶盐的大量积累, 元素 B 的聚集非常明显, 而 Mn、Fe、Ti、V、K、Ba、Li、F 和 Zn 等元素含量则明显降低。蒸发地球化学垒对元素的生物有效性也有较明显的影响。碳酸盐的积累明显减低了 Fe、Cu、B 等元素的生物有效性, F 元素在碳酸盐蒸发垒内 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 含量较高的土壤中生物有效性较高。在易溶盐蒸发垒内元素 B 有较强的生物有效性。

关键词 蒸发地球化学垒; 土壤元素及有效性分异; 干旱土壤; 天山

中图分类号 S159 文献标识码 A

关于表生地球化学垒的现象早在 1937 年 Goldschmit 就有过描述^[1], 他描述了落叶林中土壤表层腐殖化作用使某些元素产生富集。而完整和系统的概念则在 1965 年由彼列尔曼^[2]提出, 是指表生带在短距离内迁移条件明显交替, 并导致化学元素浓集的地段。

地球化学垒的概念提出后, 一直受到人们的重视, 但研究较多的主要集中在地球化学领域, 用来研究表生和内生作用条件下成矿元素迁移和富集的规律^[1~3], 而运用于成土过程中元素分异的研究相对较少。随着土壤地球化学研究的不断深入^[4~6], 虽然对我国土壤中元素及其有效性的地带性分异规律有了较深刻的认识, 但元素的地带性分异规律对我们深入了解在微域景观内土壤元素及其有效性的分异特征是很有限的。在农业生产和环境评价的过程中, 往往更重要的是必须了解元素在局部景观内的分异规律^[7]。因此, 运用表生地球化学垒的概念来研究土壤中元素在各种景观内元素迁移和富集规律愈来愈受到人们的重视^[7~9]。

按表生地球化学垒形成的条件, 可分出 3 种基本类型的地球化学垒, 即机械地球化学垒、物理化学地球化学垒和生物地球化学垒^[2]。根据具体成土条

件的变化, 各基本类型又可划分出次一级类型的地球化学垒。天山及其邻近地区地形变化显著, 海拔高差达 5 000~ 6 000 m 以上, 导致土壤水分状况、土壤类型、植被类型等变化复杂, 上述的基本地球化学垒类型在该地区均有出现。作者曾对该地区的机械地球化学垒进行过系统的研究和讨论^[10]。

天山及其临近地区地处欧亚大陆腹地, 四周距海遥远, 加之北、西、南三面为高山所环抱, 很难受到海洋气流的影响, 是中国乃至世界上最干旱的地区之一。根据气象部门资料统计, 天山山前至盆地年降雨量仅 10~ 200 mm, 而年蒸发量较高, 约 1 500~ 3 400 mm, 最高可达 4 000 mm, 其干燥度达 8~ 340^[11]。因此, 蒸发地球化学垒成为该地区最主要的物理化学地球化学垒。本文将对蒸发地球化学垒进行详细的讨论。研究蒸发垒在天山地区的分布规律、土壤分异特征、土壤元素分布的地球化学特征、土壤元素有效性特征等, 其成果可为该地区的农业可持续发展提供重要的基础资料。土壤中元素的有效性与土壤环境关系密切, 受土壤性质影响较明显^[4~6, 9, 12~17], 所以, 土壤有效性可以作为土壤性质和形成环境变化的指示参数。元素有效性在地球化学垒内的变化规律也可以为研究干旱区生态环境的

* 国家自然科学基金(批准号: 49403046)和中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环重点实验室资助项目

作者简介: 黄 标(1962~), 副研究员。1992 年获南京大学理学博士学位。现就职于中国科学院南京土壤研究所。主要研究领域是土壤地球化学、土壤环境化学、土壤环境地球化学和健康。已发表论文 40 余篇

收稿日期: 2002- 12- 25; 收到修改稿日期: 2003- 06- 04

变化提供有效的基础资料,为干旱地区的环境保护服务。

1 材料和方法

1.1 天山及其邻近地区主要景观类型

天山山脉呈东西向横亘于新疆维吾尔自治区境内,处于暖温带和温带的过渡地区,北麓属温带气候条件,而南麓属暖温带气候条件。同时,由于山地高差悬殊,从高山到两侧盆地,水热条件呈现有规律的变化,即自高山至盆地,气温越来越高,降雨越来越少,导致植被覆盖自高山至盆地逐渐稀少^[18]。我们将天山山麓及其盆地地貌组合定义为干旱荒漠景观。蒸发地球化学垒主要产生于该景观类型区内。根据微气候特征又可将此景观划分为3个次一级的景观类型:

1.1.1 暖温带极端干旱荒漠景观 主要分布在南天山东部一带,该景观内年降雨量极少,仅几毫米至十几毫米。山麓土壤类型以正常干旱土为主,含盐磐,盆地内以盐成土为主。植被极少,仅盐成土上产少量盐生植物,覆盖度几乎为零。

1.1.2 暖温带干旱荒漠景观 主要分布于南天山中部一带,年降雨量约50~80 mm,土壤类型以正

常干旱土和盐成土为主。植被覆盖度一般5%~10%,局部可达30%~40%。发育荒漠植物和盐生植物。

1.1.3 温带干旱荒漠景观 主要分布于天山北麓,年降雨量稍高,达150~300 mm。土壤类型以钙积干旱土和盐成土为主。植被覆盖度稍高,达10%~20%,最高可达40%左右。植物种类较多,除荒漠植物和盐生植物外,可出现草原植物。

1.2 样品采集

根据以上干旱荒漠景观的类型和分布特征,选择了3个土壤断面作为研究重点,各断面基本特征及样品采集情况如下:

1.2.1 吐鲁番断面 该断面是极端干旱荒漠景观的典型代表。吐鲁番盆地是天山地区乃至全国最干旱的地区之一,年平均降雨量仅10 mm左右。自天山至盆地发育的土壤类型分别为:盐磐石膏正常干旱土(Huo-Zhi I)、石质盐积正常干旱土(Huo-Zhi II, III)、普通干旱正常盐成土(Huo-Zhi IV)和普通潮湿正常盐成土(Huo-Zhi V)等(图1)。植被覆盖度在干旱土上几乎为零,在干旱盐成土和潮湿盐成土上发育少量骆驼刺和芦苇。该断面共采集5个剖面的土壤样品(图1)。

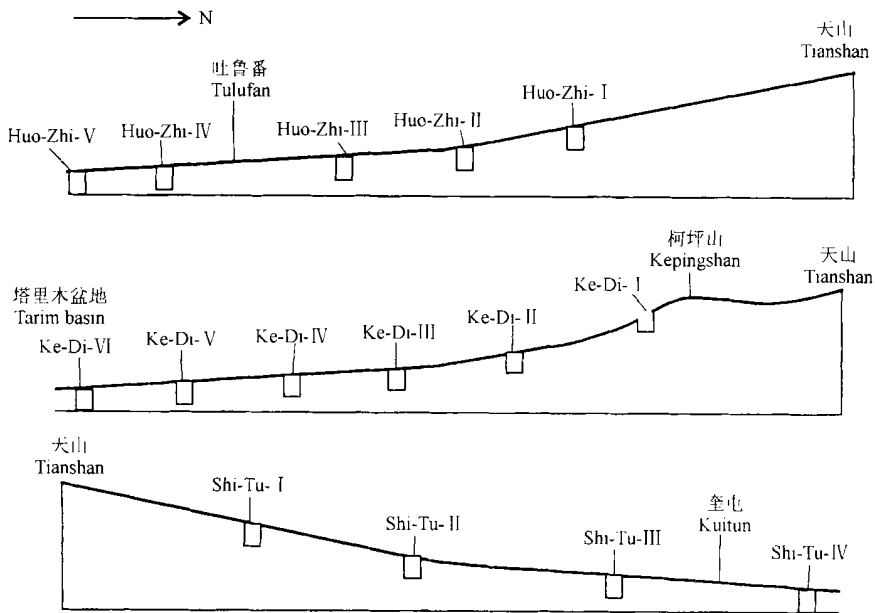


图1 天山及其邻近地区景观断面及其采样点分布图

Fig 1 Distribution of the sites taken samples along the sections across Tianshan Mountains and adjacent area

1.2.2 巴楚柯坪山—塔里木盆地断面 该断面位于西天山巴楚县境内,为暖温带干旱荒漠景观的典型景观。发育的土壤类型包括筒育正常干旱土(K_e-D_t-I, II, III)、石质筒育正常干旱土(K_e-D_t-IV, V)、龟裂碱积盐成土(K_e-D_t-VI)等(图 1)。植被覆盖度高于吐鲁番断面,一般 5%~10%,局部可达 30%。植物种类以猪毛菜为主,另见假木贼、木麻黄等。断面中按地势从高到低共采集 6 个剖面的样品。

1.2.3 奎屯断面 为温带干旱荒漠景观的代表。位于奎屯县境内天山北坡至准葛尔盆地边缘。该地区降雨量明显高于以上断面处的降雨量,年降雨量可达 200 mm。土壤类型沿奎屯河呈带状分布,其类型自高至低分别为钙积干润均腐土(Sh_i-T_u-I)、石膏钙积正常干旱土(Sh_i-T_u-II)、普通钙积正常干旱土(Sh_i-T_u-III)、结壳潮湿正常盐成土(Sh_i-T_u-IV)等。植被覆盖度相对较高,钙积干润均腐土分布区可达 40%,但钙积正常干旱土分布区仍很稀少,仅 5%~10%。植物种类也相对较复杂。钙积干润均腐土上发育有针茅、冷杉等草原植被,其余土壤则以荒漠植物和盐生植物为主,如:琵琶柴、猪毛菜、刺果藜、假木贼等,该断面共采集 4 个土壤剖面(图 1)。

1.3 样品处理和分析

在野外每个剖面均按土壤发生层次分别采样。样品采集后带至室内风干,再按分析要求研磨成不同粒度,供分析之用。土壤 pH 用电极测定 1:2 土水比的浑浊液而得到。土壤 CaCO₃、有机质、石膏、阳离子代换量、机械组成、盐分组成等分析方法参见文献[19]。微量元素全量是将 0.1~0.2 g 土样用硝酸-高氯酸-氢氟酸消化后,测定消化液的元素含量,Zn、Cu、Mn、Fe、Sc、Ti、V、Cr、Co、K₂O、Li、Ba、Sr 等元素用等离子体光谱法测定,B 元素用姜黄素比色法测定,F 元素用电极法测定。Zn、Cu、Fe 等微量元素的有效态含量是用 DTPA 溶液按 1:2 的土液比提取^[12],然后用原子吸收光谱法测定提取液中的元素含量。B、F 等元素的有效态含量是用热水按 1:5 的土液比提取,用姜黄素比色法测定提取液中的 B 含量,用电极法测定 F 含量。

2 结果和讨论

2.1 典型景观内土壤中蒸发地球化学垒的分布和形成条件

蒸发作用是干旱地区最主要的成土作用。因

此,由于蒸发作用导致土壤中物质积聚形成的地球化学垒是干旱地区最主要的表生地球化学垒。蒸发作用自水体流入天山山麓的丘陵地即已产生,因而蒸发垒也分布在丘陵地区至两侧盆地的洼地。按蒸发垒内盐分组成的不同又可分为以下几种蒸发垒:

2.1.1 碳酸盐蒸发垒 分布于山前的丘陵地带,位置依天山地区降水量的多少而定,一般土壤中碳酸钙大量积聚的地区年降雨量在 100~300 mm 之间。钙积干润均腐土和钙积正常干旱土的分布区,土壤内碳酸钙积聚较明显,含量可达 10%~15%(表 1)。

2.1.2 石膏蒸发垒 形成环境比碳酸盐蒸发垒更为干旱,分布位置比碳酸盐蒸发垒更靠近盆地,即石膏正常干旱土分布区。土壤剖面内石膏积聚很明显,石膏含量相当高,可达 25% 以上,局部层段可形成石膏磐,含量达 50% 以上。

2.1.3 易溶盐蒸发垒 形成于更干旱的环境中,主要分布于天山两侧的盆地内,而在极干旱荒漠景观内可出现于山前的丘陵地带,即盐磐石膏正常干旱土和各类盐成土分布区。土壤中以易溶盐积累为特征,易溶盐含量 10%~30%,局部可高达 60% 以上,形成盐磐。

从以上讨论结合典型土壤断面中土壤的分布可看出,受气候影响,随着降水量的减少和气温的增加,蒸发垒自天山至两侧盆地,按碳酸盐蒸发垒-石膏蒸发垒-易溶盐蒸发垒的顺序分布。这与土壤中盐分的溶解度大小有关。

实际上,在干旱条件下,受蒸发作用影响,同一类土壤中或多或少有以上 3 种盐类物质存在,只是在碳酸盐蒸发垒的土壤中以碳酸钙积聚为主,石膏蒸发垒和易溶盐蒸发垒亦然。而这 3 种盐类在土壤剖面上的分布,受成土作用影响,表现出不同的分布形式。一种是由于地表水的强烈蒸发形成的分布形式。随着地表水的下渗在土壤中分别沉淀出碳酸盐、石膏和易溶盐,所以在以上各种正常干旱土中易溶盐的积聚层较偏剖面下部,往往在碳酸盐和石膏聚集层之下(表 1)。而另一种盐类分布形式,主要出现在山前洼地的盐成土中,由于地形低洼,地下水位偏高,蒸发作用导致碳酸盐和石膏在土壤剖面下部先沉淀,最终易溶盐在地表或接近地表处沉淀,往往这类土壤剖面中易溶盐积聚在石膏和碳酸盐积聚层之上(表 1)。这一特征已经成为区别干旱土和盐成土的一个诊断标志应用于干旱地区土壤的系统分类研究中^[20]。

表 1 天山及其邻区代表性景观蒸发盐内典型土壤盐分含量

Table 1 The concentrations of CaCO₃, gypsum, and total soluble salts (TSS) in the typical soils within evapo-geochemical barrier in Tianshan Mountains and adjacent area

样号 Sample No	景观 Landscape	土壤类型 Soil group	地点 Location	深度 Depth (cm)	碳酸钙	石膏	易溶盐总量
					CaCO ₃	CaSO ₄ ·2H ₂ O	TSS (Total soluble salts)
					g kg ⁻¹		
Ke-Di-I	暖温带干旱荒漠景观, 碳酸盐蒸发盐	筒育正常	巴楚	0~ 5	143.3	7.7	1.4
		干旱土		5~ 25	101.2	29.5	6.4
		Hapli-Orthic		25~ 50	110.9	12.2	3.2
		Aridosols		50~ 80	113.9	9.7	2.8
Huo-Zhi-I	暖温带极干旱荒漠景观, 石膏蒸发盐	石膏正常	吐鲁番	0~ 5	67.2	247.7	11.7
		干旱土		5~ 18	80.6	105.6	90.3
		Gypsi-Orthic		18~ 60	38.5	62.1	122.3
		Aridosols		60~ 80	39.3	40.6	176.5
Huo-Zhi-IV	暖温带极干旱荒漠景观, 易溶盐蒸发盐	潮湿正常	吐鲁番	0~ 10	21.6	64.8	311.1
		盐成土		10~ 20	13.3	48.4	477.0
		Aqui-Orthic		20~ 25	1.2	6.6	608.1
		Halosols		25~ 30	1.2	28.4	631.4
				30~ 50	9.1	182.9	52.9
				50~ 64	64.0	131.2	31.8
				64~ 90	63.2	94.4	25.3
	90~ 120	66.5	78.5	21.3			

2.2 蒸发地球化学盐某些元素的地球化学特征

2.2.1 元素的地球化学类型 元素在不同条件下的聚集和分散首先取决于其内因, 即元素的地球化学性质。由于一些元素的地球化学性质较为相似, 在迁移过程中往往相伴迁移聚集。因此, 有必要根据元素间的相关程度将土壤内的各种元素进行地球化学分类, 以期了解干旱的蒸发成土环境中元素的共生组合状况。图 2 为各类土壤中所测元素的聚类枝状图。若以离距 15 为界, 可将元素分为 4 组: I 包括 Mn、Fe、Ti、V、Sc、Cu、Co、Cr 等铁族元素; II 为 B 元素; III 包括 K、Ba、Li、F、Zn 等元素; IV 仅为 Sr 元素。各组元素在典型土壤剖面中的含量和分布被列于表 2 中。

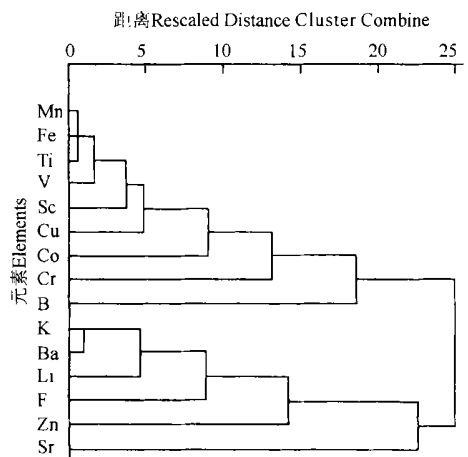


图 2 天山及其邻近地区土壤中元素聚类分析枝状图

Fig. 2 Dendrogram of the elements in the soils of Tianshan Mountains and adjacent area through cluster analysis

表 2 天山及其邻区代表性景观蒸发垒内典型土壤元素含量(单位: Fe 和 K_2O 为 $g\ kg^{-1}$, 其余元素为 $mg\ kg^{-1}$)

Table 2 The concentrations of some elements in the typical soils within evapo-geochemical barrier in Tianshan Mountains and adjacent area ($g\ kg^{-1}$ for Fe and K_2O , $mg\ kg^{-1}$ for the others)

样号 Sample No	深度 Depth (cm)	I 组 Group I							
		Mn	Fe	Ti	V	Sc	Cu	Co	Cr
Ke-Di II	0~ 5	441	18.3	2.439	66	10.8	14.8	10.3	56.6
	5~ 25	250	9.0	1.295	50	6.1	12.7	7.2	52.7
	25~ 50	301	11.5	1.653	51	6.9	11.1	6.5	53.6
	50~ 80	298	11.3	1.492	53	9.3	9.7	12.1	52.8
Huo-Zhi I	0~ 5	688	33.7	4.673	121	20.1	22.9	12.4	49.5
	5~ 18	749	36.8	5.002	130	20.3	31.2	14.7	67.0
	18~ 60	887	44.2	6.588	182	25.9	39.0	12.7	55.6
	60~ 80	787	41.5	5.854	163	21.7	37.2	12.2	49.6
	80~ 100	933	46.5	6.803	182	16.3	42.1	11.1	50.0
Huo-Zhi IV	0~ 10	615	25.6	3.509	113	23.2	40.8	30.5	76.3
	10~ 20	383	16.3	2.066	89	18.3	34.7	30.9	117.0
	20~ 25	46	1.8	289	66	7.1	30.4	21.6	83.3
	25~ 30	29	1.1	166	55	3.4	23.2	20.4	76.0
	30~ 50	653	28.7	3.830	125	22.3	40.0	30.6	78.4
	50~ 64	755	32.5	4.093	130	26.1	43.8	27.3	79.5
	64~ 90	828	32.9	4.521	137	25.0	47.1	34.3	98.9
	90~ 120	856	34.9	4.621	140	24.4	42.6	31.4	78.6

样号 Sample No	深度 Depth (cm)	II 组 Group II			III 组 Group III			IV 组 Group IV
		B	K_2O	Ba	Li	F	Zn	Sr
Ke-Di II	0~ 5	2.1	17.6	312	27.2	332.1	88.9	274
	5~ 25	< 0.1	9.2	178	11.2	259.4	33.3	413
	25~ 50	6.8	11.2	218	16.1	302.2	112.0	215
	50~ 80	7.5	10.6	207	16.9	276.0	47.8	201
Huo-Zhi I	0~ 5	18.9	16.9	276	29.2	581.0	72.9	1166
	5~ 18	89.3	18.6	287	31.7	556.1	59.7	739
	18~ 60	65.5	17.9	263	28.0	557.0	62.4	370
	60~ 80	63.8	17.6	244	27.0	526.6	64.4	249
	80~ 100	60.4	17.5	284	29.6	519.9	60.8	287
Huo-Zhi IV	0~ 10	416	20.1	265	28.4	395.0	59.6	317
	10~ 20	699	12.6	170	20.3	252.1	39.6	172
	20~ 25	650	2.7	31	5.1	120.2	7.6	39
	25~ 30	246	1.3	20	3.0	89.2	18.5	29
	30~ 50	490	18.0	311	32.0	364.7	69.9	765
	50~ 64	239	19.0	347	34.3	391.6	94.1	674
	64~ 90	193	20.5	355	34.3	428.4	83.3	543
	90~ 120	140	21.7	370	36.3	453.7	79.7	474

2.2.2 影响元素迁移积聚的因素 将上述各组元素在土壤中的含量与土壤的碳酸钙、石膏、易溶

盐、颗粒组成、有机质和 pH 等一系列性质进行了相关分析(表3)。

表 3 元素全量和土壤性质之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficients between the concentrations of the elements and soil properties

元素组 Groups	元素 Elements	碳酸钙 CaCO ₃	石膏 CaSO ₄ ·2H ₂ O	易溶盐总量 TSS(Total soluble salts)	有机质 O. M.	粘粒 Clay	砂粒 Sand
I	Mn	- 0.398***	0.035	- 0.369***	0.115	0.028	- 0.039
	Fe	- 0.423***	0.008	- 0.338***	0.058	0.022	- 0.020
	Ti	- 0.490***	- 0.008	- 0.316***	0.031	- 0.204	0.220
	V	- 0.473***	- 0.027	- 0.232*	- 0.058	- 0.211	0.203
	Sc	- 0.415***	0.201	- 0.090	0.003	- 0.140	0.089
	Cu	- 0.555***	0.150	0.044	0.047	- 0.194	0.131
	Co	- 0.288***	0.192	0.132	0.061	0.031	- 0.147
	Cr	- 0.070	0.129	- 0.044	0.013	0.362**	0.500***
II	B	- 0.382***	0.340**	0.564***	0.177	- 0.103	0.027
III	K	- 0.129	0.083	- 0.321**	0.319**	0.542***	- 0.548***
	Ba	- 0.058	0.038	- 0.474***	0.283**	0.470***	- 0.475***
	Li	- 0.035	0.171	- 0.254*	0.207*	0.618***	- 0.649***
	F	0.022	0.075	- 0.294**	0.299**	0.485***	- 0.425***
	Zn	0.140	- 0.001	- 0.231*	0.058	0.540***	- 0.584***
IV	Sr	0.029	0.877***	0.090	0.032	0.164	- 0.050

*、**、*** 分别表示达到 0.05, 0.01, 0.001 水平上的相关性 * , ** , and *** denote significance at $p = 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively

结果表明, 土壤中碳酸盐的含量与第 I 组中除 Cr 以外的所有元素都呈极显著的负相关, 与第 II 组的 B 元素也呈极显著的负相关, 而与第 III 和 IV 组的元素间无明显的相关性。这一结果显示在碳酸盐蒸发地球化学垒内的蒸发作用并未造成以上所有元素的明显聚集, 相反, 碳酸盐的积聚稀释了土壤, 使得第 I 组元素含量明显降低。因这些元素均为铁族元素, 在土壤中活动性相对较弱, 基本在原地残留, 所以受碳酸盐的稀释作用较明显。活泼元素 B 与碳酸盐之间存在的负相关, 除了稀释作用外, 可能与该元素在此地球化学垒内存在一定的淋溶作用有关。至于第 III、IV 组元素可能受其他因素影响, 与碳酸盐未显相关性。

土壤中石膏含量与第 II 组元素 B 和第 IV 组元素 Sr 分别达到 0.01 和 0.001 水平上的显著正相关, 在这一更干旱的地球化学垒内活动性较强的 B 和 Sr 等元素开始出现积聚。石膏的聚集未引起其余元素含量的变化。

土壤中易溶盐含量与土壤中 B 元素含量达到极显著正相关, 表明元素 B 在可溶盐蒸发垒内进一步积聚, 其最高含量在极干旱荒漠景观内的潮湿正

常盐成土土壤剖面的盐磐层中 B 元素的含量达 700 mg kg^{-1} 。而 Sr 元素与土壤中可溶盐之间则无明显相关性存在, 由此可看出, Sr 元素的积聚仅是和石膏蒸发地球化学垒的形成条件一致。易溶盐含量与第 I 组元素中的 Mn、Fe、Ti、V 等元素以及第 III 组元素含量间达到显著或极显著的负相关。这种相关性所反映的信息可能与碳酸盐对元素的稀释作用一样, 易溶盐的大量积聚也不同程度地稀释了以上元素, 使它们在土壤中的含量明显降低。

以上分析表明, 干旱地区的蒸发作用并未对上述第 I 组元素和第 III 组元素的分异造成明显的影响, 而从这些元素与土壤砂粒含量、粘粒含量、土壤有机质之间的相关关系不难看出(表 3), 这些元素主要是受机械作用影响而产生分异的^[10]。这里所强调指出的是第 II 元素除与土壤粘粒的积聚有关外, 还与土壤有机质的积累有关, 这些元素与土壤有机质之间的相关性亦达到显著或极显著水平(表 3)。由于在所讨论的景观内的土壤 pH 值较高(8.01~9.62), 均为较强的碱性环境, 在这种环境下, pH 的变化对上述金属元素的活化作用有限, 所以, 对元素迁移富集的影响不明显, 与上述所有元素

的含量均无显著的相关关系(结果未列出)。

2.3 蒸发地球化学垒中某些元素的生物有效性

元素的生物有效性受多种因素影响,如元素的种类、元素全量、土壤理化性质等。就本文所研究的干旱土壤而言,元素铁的有效性受铁的全量影响较大,两者之间的相关关系达到 0.001 水平,但由于蒸发地球化学垒内铁元素的聚集并不明显,铁的生物

有效性(DTPA-Fe)均较低,DTPA-Fe 的含量一般为 0.39~10.47 mg kg⁻¹,明显低于作物需铁的要求^[6, 17]。此外,铁的生物有效性还受碳酸盐的积聚影响,两者之间的相关性为负的极显著相关(表 4),显然,在碳酸盐蒸发垒内铁的有效性更低,DTPA-Fe 的含量仅为 0.39~1.37 mg kg⁻¹。

表 4 几种元素有效态含量与土壤物理化学性质之间的相关性

Table 4 The correlation coefficients between the concentrations of some available elements and soil properties

元素 Elements	碳酸钙 CaCO ₃	石膏 CaSO ₄ ·2H ₂ O	易溶盐总量 TSS (Total soluble salts)	pH	有机质 O. M.	粘粒 Clay
Fe	-0.415***	-0.019	0.089	-0.184	0.184	-0.074
Cu	-0.229*	0.247	0.184	-0.176	0.388***	0.293*
B	-0.319**	0.163	0.622***	0.071	0.111	-0.068
F	0.068	0.075	-0.103	0.082	0.189	0.283*
Zn	-0.169	0.001	0.513***	0.080	0.260*	0.392***

***、**、* 分别表示达到 0.05, 0.01, 0.001 水平上的相关性 * , ** , and *** denote significance at $p = 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively

各类土壤中生物有效性铜(DTPA-Cu)的含量为 0.02~1.94 mg kg⁻¹。DTPA-Cu 与 DTPA-Fe 有些类似,也受其全量($r^2 = 0.412, p < 0.001$)和土壤中碳酸盐的积聚影响,但不同的是有机质的积累可明显提高土壤的有效铜含量(表 4)。

硼的生物有效性(H₂O-B)受土壤全硼的影响更为明显($r^2 = 0.869, p < 0.001$),同时,与土壤全硼一样,H₂O-B 与土壤中易溶盐之间也达到极显著的正相关(表 4)。如吐鲁番断面的盐成土剖面中 H₂O-B 含量的分布状况与硼的全量和易溶盐含量在土壤剖面中的分布一致(表 1、表 2)。硼的生物有效性含量随着硼的全量和易溶盐含量的增加而增加。在可溶盐蒸发垒内 H₂O-B 含量极高,局部层次 H₂O-B 可达 670 mg kg⁻¹,占土壤全硼的 96%,几乎接近土壤中全量的水平。

氟元素的生物有效性(H₂O-F)除与土壤全氟有关外($r^2 = 0.513, p < 0.001$),经研究发现,H₂O-F 还与土壤溶液中 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 的含量密切相关^[21]。这两个组分的积聚与土壤的碱化作用有关。也即碱化作用较强的土壤上 H₂O-F 含量较高。这可从我们所研究的奎屯断面中钙积干润均腐土和钙积正常干旱土中有较高的 H₂O-F 得到验证,这些土壤成土过程中常伴有碱化作用,土壤中有效态氟含量在碱化

层内达 32 mg kg⁻¹。

本地区土壤锌的生物有效性(DTPA-Zn)较为特殊,整体来讲,DTPA-Zn 的含量均较低,仅为 0.01~0.45 mg kg⁻¹。绝大部分土壤的 DTPA-Zn 低于碱性土壤上作物的临界值^[12]。与其他元素生物有效性不同的是 DTPA-Zn 与土壤全锌间无明显的相关性($r^2 = 0.078, p > 0.05$),但与土壤中粘粒含量和易溶盐含量间达极显著正相关(表 4)。业已证实,土壤中锌的生物有效性与土壤碳酸盐的积累呈互为消长的关系^[22],从本文研究的结果看,在天山地区极度干旱的景观条件下,锌的生物有效性较低,碳酸盐的积累对锌的生物有效性的影响并不十分明显。而对土壤生物有效性锌的主要影响因素可能是来自土壤中粘粒的积累,粘粒的增加可明显提高土壤中锌的生物有效性。由于本地区易溶盐含量较高的盐成土都分布于地形较低洼的山前盆地内,该类土壤中粘粒含量均较高^[10],结果导致 DTPA-Zn 与土壤粘粒含量间也达到极显著正相关。

综上所述,对我们所研究的这几个元素而言,Fe、Cu、B 等元素在碳酸盐蒸发垒内,受碳酸盐积聚的影响,生物有效性较低,除此之外,Cu 元素还受土壤有机质的积聚影响,在有机质含量较高的土壤上显示出较高的生物有效性。F 元素在碳酸盐蒸发垒

内碱化作用较强的土壤上有较高的生物有效性。Zn元素在易溶盐蒸发垡内表现为较高的生物有效性。由于碳酸盐蒸发垡内的钙积干润均腐土和钙积正常干旱土是天山地区主要的农牧利用的土壤类型,因此,注意铜、铁、锌的营养管理尤其是铁和锌元素的补充显得尤为重要。同时这类土壤分布区也是居民分布区,土壤中氟的生物有效性高对地下水及人畜身体健康的影响也应引起足够的重视。在易溶盐蒸发垡内积聚的硼则是今后农业亦或工业上利用的一个重要资源。此外,监测自然条件下这些元素生物有效性的变化对了解天山地区自然环境的变化与这一干旱地区的生态环境保护也有重要的实际意义。

参考文献

- [1] Fortesue J A C. Environmental Geochemistry. New York, Heidelberg, Berlin: SpringerVerlage, 1980
- [2] 彼列尔曼著. 龚子同, 等译. 后生地球化学. 北京: 科学出版社, 1975. Perel' man. ed. Gong Z T translated. Epigenic Geochemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1975
- [3] 汪蕴璞, 汪珊, 王翠霞, 等. 海洋底部水岩系统现代环境和成矿作用. 地球学报, 1998, 19: 387~ 394. Wang Y P, Wang S, Wang C X, *et al.* Modern environment and mineralization of water-rock system in oceanic floor (In Chinese). Journal of Earth Sciences, 1998, 19: 387~ 394
- [4] 龚子同, 等编著. 土壤地球化学的进展和应用. 北京: 科学出版社, 1985. Gong Z T, *et al.* Progress and Application of Soil Geochemistry (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [5] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤图集. 北京: 中国地图出版社, 1986. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Atlas of the Soils of China (In Chinese). Beijing: China Cartographical Press, 1986
- [6] 熊毅, 李庆远. 中国土壤(第二版). 北京: 科学出版社, 1991. Xiong Y, Li Q K. The Soils of China (In Chinese). 2nd Ed. Beijing: Science Press, 1991
- [7] 林年丰. 医学环境地球化学. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991. Lin N F. Medico-Environmental Geochemistry (In Chinese). Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1991
- [8] 王景华, 饶莉丽. 华北平原化学元素的表生迁移. 北京: 科学出版社, 1990. Wang J H, Rao L L. Epigenic Migration of Chemical Elements in Northern China Plain (In Chinese). Beijing: Science Press, 1990
- [9] 侯少范, 等. 暖温带地理景观中土壤硒的分异特征. 地理学报, 1990, 47: 17~ 25. Hou S F, *et al.* Spatial differentiation of selenium in the soils of the geographical landscapes in warm temperate zone, China (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 1990, 47: 17~ 25
- [10] 黄标, 龚子同, 黄钺. 天山荒漠景观内土壤机械地球化学垒的研究. 地理科学, 1998, 18: 279~ 287. Huang B, Gong Z T, Huang Y. Study on mechanical-geochemical barriers in the soils of arid-desert landscapes in Tianshan Mountains, Xinjiang (In Chinese). Geographical Science, 1998, 18: 279~ 287
- [11] 新疆维吾尔自治区农业厅, 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆土壤. 北京: 科学出版社, 1996. Agricultural Bureau of Xinjiang Uygur Autonomic Region, Soil Survey Office of Xinjiang Uygur Autonomic Region. The Soils of Xinjiang (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996
- [12] Lindsay W L, Norvell W A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., 1978, 42: 421~ 428
- [13] Bingham F T, Sposito G, Strong J E. The effect of chloride on the availability of cadmium. J. Environ. Qual., 1984, 13: 71~ 74
- [14] Kuo S, Jellum E J, Baker A S. Effects of soil type, liming, and sludge application on zinc and cadmium availability to Swiss chard. Soil Sci., 1985, 139: 122~ 130
- [15] He Q B, Singh B R. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers. II. Relationship with extractable soil cadmium. Water, Air, and Soil Pollution, 1994, 74: 251~ 265
- [16] Singh B R, Narwal R P, Jeng A S, *et al.* Crop uptake extractability of cadmium in soils naturally high in metals at different pH levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1995, 26: 2 123~ 2 142
- [17] 刘铮主编. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996. Liu Z. Trace Elements in the Soils of China (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996
- [18] 蒋寒荣主编. 新疆土地资源. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1989. Jiang H R. Land Resources in Xinjiang (In Chinese). Urumqi: Xinjiang People's Press, 1989
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Physical and Chemical Analysis of Soil (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
- [20] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 中国土壤系统分类检索(第三版). 合肥: 中国科技大学出版社, 2001. The Research Team on Soil Taxonomy, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Key to China Soil Taxonomy. 3rd Ed. (In Chinese). Hefei: China Science and Technology University Press, 2001
- [21] Huang B, Gong Z T, Gu G A. Geochemistry of water-soluble fluorine in Aridisols with different landscape and relation to endemic diseases in the Tianshan Mountain region. In: Zhao Q G. ed. Pedosphere. Nanjing: Nanjing University Press, 1994
- [22] 龚子同, 黄标, 欧阳洮. 我国土壤地球化学及其在农业生产上的意义. 地理科学, 1998, 18: 1~ 9. Gong Z T, Huang B, Ouyang T. Soil geochemistry in China and its bearing in agriculture (In Chinese). Geographical Science, 1998, 18: 1~ 9

STUDY ON EVAPOR-GEOCHEMICAL BARRIERS IN SOILS OF ARID-DESERT LANDSCAPES IN TIANSHAN MOUNTAINS, XINJIANG

Huang Biao Gong Zitong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract The evapor-geochemical barriers (EGB) in soils of arid-desert landscapes in Tianshan Mountains, Xinjiang may be divided into carbonate EGB, gypsum EGB, and soluble salt EGB, which are mainly composed of carbonatic soil, gypsic soil, and saline soil, respectively. These EGBs are distributed along Tianshan Mountains as a sequence of carbonate EGB, gypsum EGB, and soluble salt EGB from mountain to basin.

In the carbonate EGB, the concentrations of Mn, Ti, Fe, V, Sc, Cu, Co, and B in soils were diluted and lowered as the result of the accumulation of dissociated CaCO_3 . In the gypsum EGB, B and Sr in soils were increased with increasing gypsum. In the soluble salt EGB, the accumulation of soluble salts always accompanied with an increase of B, and a decrease of Mn, Fe, Ti, V, K, Ba, Li, F, and Zn in soils due to the dilution of soluble salts.

The EGB significantly affected the bio-availability of Fe, Cu, B, F, and Zn as well. The accumulation of dissociated CaCO_3 in the carbonate EGB significantly decreased the bio-availability of Fe, Cu, and B, whereas the bio-availability of B increased with the concentration of soluble salts in soils. Water-soluble F in the carbonate EGB was high in the soils with high concentrations of CO_3^{2-} and HCO_3^- . In addition, the bio-availability of Cu is higher in the soils with high organic matter than in the other soils. The bio-available Zn has significantly positive relationship to the content of clay in soils.

Key words Evapor-geochemical barrier; Elements and their bio-availabilities; Arid soils; Tianshan Mountains