

河北曲周盐渍土区土壤元素特征*

李韵珠¹ 陆锦文¹ 吴金绥²

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

(2 中国农业大学基础科学技术学院, 北京 100094)

摘要 研究了地处华北冲积平原的曲周盐渍土区土壤元素全量(ST)、1:1 浸出液(SE)和土壤溶液(SS)中各元素的浓度范围和特征,及其与地下水中元素的联系。土壤元素全量主要与土壤质地(反映了矿物组成)有关,只有盐渍化严重的土壤,易溶性元素对其全量的增加有一定影响。元素在土壤溶液和 1:1 浸出液中的浓度差异受土壤水分状况的影响。各土层元素在 SE 中的含量占全量的百分率,其平均值和变异系数在一定程度上说明了该元素的可溶性和移动性。土壤-地下水系统中 1m 和 2m 土层的大部分元素在 1:1 浸出液中的浓度平均值与地下水矿化度和与地下水中相应元素的浓度值之间呈显著或极显著相关,无相关关系的元素,大多属迁移系数较小的元素。文中还以例说明了不同盐渍化程度土壤 1:1 浸出液中元素浓度垂直剖面特征,以及与地下水中相应元素浓度的联系。

关键词 盐渍土区, 冲积平原, 土壤元素, 土壤-地下水, 土壤元素垂直分布
中图分类号 S153.6, S155.293

土壤中元素含量及剖面分布状况主要与土壤类型有关,也就是与成土母质、气候、地貌和地下水、生物、人为影响有关。盐渍土作为一种特定条件下的土壤,其元素含量及分布有其一定的特征。本文主要研究在华北冲积平原盐渍土区内,不同盐渍程度土壤的元素特征,包括土壤元素全量、土水比为 1:1 浸出液和土壤溶液的元素状况,及其与地下水元素之间的联系。

1 条件和方 法

河北曲周盐渍土区属漳河冲积平原,南部受古黄河冲积的影响。土壤为盐化潮土和潮土。盐分类型主要为氯化物-硫酸盐和硫酸盐-氯化物^[1]。地下水矿化度平均为 3.90 gL⁻¹,最高可达 17 gL⁻¹,其化学类型以 Cl⁻-SO₄²⁻和 SO₄²⁻-Cl⁻为主^[2]。

采集该区典型土壤剖面和地下水样本(表 1),对土壤(ST)、土壤 1:1 浸出液(SE)和土壤溶液(SS),以及相应地点的地下水(GW)作了多个元素的化学分析。

取样时间为 1989 年 3 月,代表该区实行综合治理十余年来,盐渍化程度已减轻的状况。取样深度为 0~10、10~20cm,20cm 以下每 20cm 取一层,直至 200 cm。所以 SE 有 11 个剖面,共 121 个土层。全量分析层次为 0~10、10~20、20~40、60~80、100~120、140~160、180~200cm,7 个剖面,共 49 个层次。土壤

* 国家九五科技攻关项目(96-004-01-14-2)资助

收稿日期:2000-12-07;收到修改稿日期:2001-04-03

溶液用溶液提取器抽取,深度为 20、40、60、80、100 cm。在两个观测井 R1、R2 内设置的溶液提取器按实际深度为准。有 6 个土壤点,共 22 个样品。

表 1 土壤和地下水样本简况

Table 1 Brief conditions of soil and groundwater samples for elements analysis

	剖面号										
	Number of soil profiles										
	R1	R2	102	111	126	132	134	154	175	243	343
ST	1)										
SE											
SS											
GW	# 2)										
盐化程度	重盐化	中盐化	潮土	粘质潮土	中盐化	潮土	轻盐化	盐土	潮土	中盐化	潮土

1) 表示有此样本的分析资料; 2) # 为有部分元素分析资料

应用电感耦合等离子体光谱计 JA9000ICP 测定了上述样本的多个元素。SE 和 SS 共测定了 18 个元素, Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Pb、Ti、Sr、S 和 V。全量分析的前处理用 HF-HNO₃-HClO₄ 消煮法, 分析了 12 个元素, Ca、Co、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Na、P、Pb 和 V。

2 结果与分析

2.1 土壤中元素含量状况

土壤中各元素全量、土壤溶液以及土壤 1:1 浸出液中各元素含量的范围, 示于图 1。

根据图 1 所示, 3 种状态下的元素含量, 可大致分级。ST 中的 12 个元素可分为三级: $10^3 \sim 10^4 \text{ mg kg}^{-1}$ 的有 Ca、Mg、Na、K 和 Fe; $10^2 \sim 10^3 \text{ mg kg}^{-1}$ 的为 P、Mn; $10^1 \sim 10^2 \text{ mg kg}^{-1}$ 的有 Pb、Cr、Cu、V、Co。SS 和 SE 中的元素浓度范围相仿, SS 中元素的浓度略大于 SE 的, 但范围较窄, 两者均低于 ST 中相应元素的含量 1~3 个数量级。 $10^1 \sim 10^3 \text{ mg L}^{-1}$ 的有 Ca、Mg、Na、S; $10^{-1} \sim 10^1 \text{ mg L}^{-1}$ 的有 K、Fe、P、Sr; $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ 的有 Pb、Cr、Cu、Mo、V 和 Co; $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{ mg L}^{-1}$ 的有 Mn、Cd、Ni 和 Ti。

2.2 土壤元素全量

2.2.1 土壤质地与元素全量 曲周盐渍土区的土壤主要是河流冲积物形成的, 土壤质地层次分异明显, 大体上为壤土(粉砂壤土或轻壤土)夹粘土层。在河间洼地分布有较厚的粘土层, 而在河流决口冲积锥的中上部主要为粉砂壤土。不同质地的土层反映了不同沉积年代及分选后的不同岩矿组成。

将土壤质地层次分为 4 组(重壤层次较少, 未列入): 粘土、中壤、轻壤和粉砂壤土(和砂壤土)。元素全量在不同质地层次土壤中有明显的规律, 见图 2。

由图 2 可见, 各元素全量均呈粘土 > 中壤 > 轻壤 > (粉) 砂壤。Na 则呈相反趋势, 可能与其矿物组成有关。另外, 在河间洼地的粘质土中含可溶 Na 盐较少, 而在壤质土中易积累可溶 Na 盐。

2.2.2 盐渍程度对土壤元素全量的影响 7 个土壤点按盐渍化轻重排列, 比较它们 0~20 cm 层次各元素全量(表 2)。

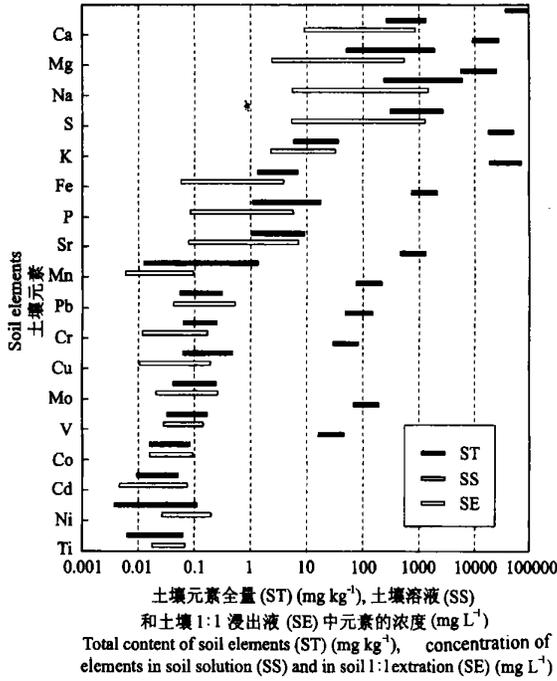


图 1 土壤、土壤溶液和土壤 1:1 浸出液中各元素含量的范围
 Fig. 1 Ranges of element contents in soil, soil solution and 1:1 extraction

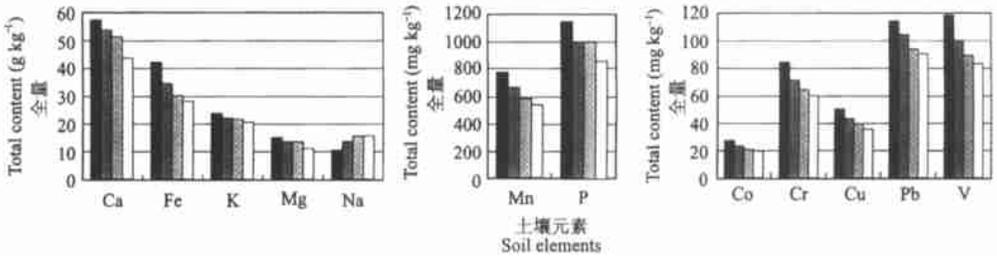


图 2 不同质地土壤的元素全量平均值(自左至右为粘土、中壤土、轻壤土和(粉)砂壤土)
 Fig. 2 Average total contents of soil elements in soil, of various textures
 (from left to right: clay, medium loam, light loam and silty loam (or sandy loam))

从表 2 资料可以看到, 盐渍程度对土壤元素全量影响不大。只有在盐渍化较重的土壤中, 组成易溶性盐类的元素对全量的增加有一些影响。如去除质地的影响, 以表层为轻壤的点 154、R1、R2 相比, 可以看到 Ca、Mg 全量在盐土(154)土壤表层中明显较高, Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Pb 和 V 在盐土(154)中的全量也较高, 说明这些元素都随蒸发上移而在表层有所积累。Na 不明显, K 和 P 在表层受施肥的影响。点 111 则反映了粘质土壤的特点, 大多数元素含量均列首位, 与盐渍化无关。

表 2 不同盐渍程度土壤(0~ 20 cm)的元素含量

Table 2 Total element content in soils with different salinity levels (0~ 20 cm) (mg kg⁻¹)

土壤编号 ¹⁾	元素											
	Elements											
No.	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Pb	V
154-l	55660	22.7	68.0	41.5	32650	21915	16179	624	15703	931	112.0	93.7
R1-l	53116	20.1	61.3	40.5	28130	20420	13156	550	15753	975	83.2	84.2
R2-l	50511	20.8	65.2	37.7	29813	26035	13146	579	16053	1142	92.2	88.2
243-s	39424	20.3	59.8	37.8	29080	20973	11589	564	15451	923	88.5	83.8
132-s	41026	20.1	59.2	36.1	28755	21160	11564	558	15408	883	96.4	82.9
343-s	41461	22.2	65.0	38.1	31725	22160	12164	602	15498	941	95.6	90.3
111-e	47361	28.3	86.8	51.6	43438	24210	15931	792	9856	1227	112.5	121.5

1) l-壤土 loam; s-粉砂壤土 silty loam; e-粘土 clay

2.3.1.1 浸出液(SE)和土壤溶液(SS)中的元素含量特征

2.3.1 土壤溶液和土壤 1:1 浸出液中元素浓度的比较 土壤溶液中的元素组成及浓度对植物生长有着直接影响,掌握这方面的信息对农业生产具有重要意义。但是土壤溶液的取得常常受到土壤干旱的影响和各方面条件的限制。而 1:1 浸出液比较容易得到,它与国外常用的饱和提取液接近。

元素在这两种状态下浓度的异同,可以用重盐化土壤(R1)的浓度剖面为例说明(图 3)。该土壤在 3 月上旬时地下水埋深为 3.15 m,土壤水分状况亦示于图 3。

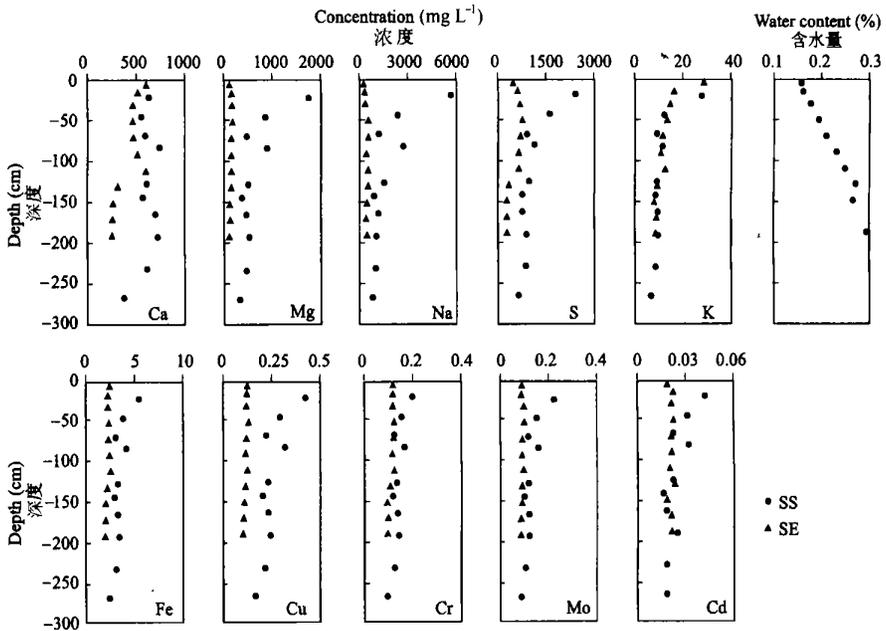


图 3 重盐化土壤(R1)的土壤溶液和 1:1 浸出液中的元素浓度剖面

Fig. 3 Concentration profiles of elements in soil solution and 1:1 extraction of heavy saline soil (R1)

由图 3 可看到,在土壤剖面上部,元素在 SS 和 SE 两种状态下的浓度差异甚大。如 Na 在 R1 剖面上部,SS 中的浓度可高于 SE 中的 15 倍多, Mg 达 12 倍左右,在其他剖面中

还有达 30 多倍的。在 R1 土壤剖面深度约 1.3 m 以下, 两者浓度差距缩小, 有些元素, 如 Cd、K 在 SS 和 SE 中的浓度接近。这种状况是由于当时剖面中上干下湿的水分状况所造成的, 因而, 浓度差异变小的土层深度应决定于地下水埋深和土壤水分的实际情况。因此在研究易溶性元素时, 可以考虑根据相应层次的元素在 SE 中的浓度和土壤水分作回归分析得到该元素在 SS 中浓度。也可以直接应用 SE 的化学组成资料分析影响植物生长的因素。

这里也应说明的是, 在重盐化土壤(R1) 的 SS 和 SE 元素浓度剖面中, 有的元素并不像图 3 中所呈现的规律, 而是在 SE 中的浓度大于在 SS 中的浓度, 它们是 Co、Ni、Mn、Pb、Ti 和 V。这 6 个元素与下面几节中分析的溶解度和迁移系数小的元素基本类同。但其中 Pb 在有土壤溶液资料的 6 个土壤剖面中, 其浓度都是在 SE 中大于在 SS 中。其余 5 个元素则在 3~4 个土壤剖面中有此现象。因此今后还需获得更多的土壤溶液和 1:1 浸出液资料, 作进一步研究和判断。

2.3.2 元素在土壤 1:1 浸出液中的浓度与全量之间的关系和特征 1:1 浸出液(SE) 中的各元素含量是土壤中该元素全量中能溶于水的部分, 其中也包含了部分由他处迁移来的或迁移走后的状况。SE 中元素的浓度单位为 mg L^{-1} , 由于土水比为 1:1, 所以相当于 mg kg^{-1} 。各元素在 SE 中的含量占其全量的百分率及其变异系数可以在一定程度上反映该元素(包括含该元素的离子、化合物或配合物)的可溶性和迁移程度。

从 7 个土壤剖面(包括盐渍化和非盐渍化土壤)共 49 个层次各元素在 SE 中浓度占其全量的百分率资料, 可归纳情况于表 3。

表 3 曲周盐渍土区土壤各元素在 SE 中含量占全量的百分率¹⁾

Table 3 Percentages of element contents in SE/ST against soil total elements in the salt-affected soil region of Quzhou (%)

	土壤元素											
	Soil elements											
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Pb	V
平均值 <i>m</i>	0.491	0.159	0.111	0.182	0.005	0.045	0.598	0.005	1.721	0.025	0.030	0.081
标准差 <i>s</i>	0.409	0.062	0.064	0.120	0.003	0.032	0.744	0.003	2.117	0.009	0.010	0.027
变异系数 <i>v</i>	83.3	38.7	57.6	65.8	61.8	71.2	124.3	64.1	123.0	34.8	32.7	33.3

1) $n = 49$; *m*-mean value; *s*-standard deviation; *v*-coefficient of variation

从表 3 资料可以了解, 上述元素在 SE 中的含量占全量(SE/ST)百分率的平均值大体上可以分为 4 级:

Na、Ca、Mg: 百分率 > 0.49%, 其中 Na 高达 1.72%; Co、Cr、Cu: 在 0.10%~0.20% 之间; K、P、Pb、V: 在 0.01%~0.08% 之间; Fe、Mn: < 0.01%。

Na、Ca、Mg: 变异系数 > 80%; Cr、Cu、Fe、K、Mn: 50%~80%; Co、P、Pb、V: 30%~40%。

以上分级表明, 这些元素中, Na、Ca、Mg 不仅平均值高, 而且变异系数大, 说明它们在可溶性和移动性方面的特殊性, 在盐渍土区十分突出。Fe、Mn 在北方旱田条件下的水溶性较低。Co、P、Pb、V 的变异系数较小, 亦即它们在不同土壤中在 SE 中的含量占总量的百分率变化不大, 应与它们的迁移性较低有关^[3]。

2.4 土壤—地下水元素间关系

土壤—地下水之间的元素状况有着密切的联系, 主要通过水分在土壤剖面和地下水

之间的垂直运动使易溶性元素在两者之间进行着重新分配,在土壤中淋失或积累。由于地下水的流动,溶质又在水平方向进行着迁移和再分配。盐渍土区土壤和地下水之间元素的这种频繁运动,体现在土壤 地下水元素的垂直分布上。下面从几个方面来分析。

2.4.1 土壤与地下水之间元素的数量关系 用 11 个土壤剖面 1 m 和 2 m 厚土层 1:1 浸出液中的各元素平均浓度与相应点地下水的矿化度和地下水中对应元素浓度分别作相关分析,结果见表 4。

表 4 土壤浸出液与地下水之间的元素相关关系

Table 4 Correlations between elements in soil extraction and in groundwater

		相关系数 Correlation coefficient								
		Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn
SE 中元素平均浓度与 M 的相关性	(0~1 m)	0.760 [*]			0.725 [*]	0.709 [*]	0.805 [*]	0.763 [*]	0.882 [*]	
	(0~2 m)	0.797 [*]			0.768 [*]	0.753 [*]	0.839 [*]	0.818 [*]	0.903 [*]	
SE 中元素平均浓度与 Y 的相关性	(0~1 m)	0.693 [*]			0.750 [*]	0.630 [*]	0.788 [*]	<u>0.703</u>	0.862 [*]	
	(0~2 m)	0.747 [*]			0.843 [*]	0.739 [*]	0.866 [*]	0.763 [*]	0.891 [*]	
水迁移系数 ^[3,4]		强	8.50	0.34	0.24	2.64	弱	中	强	0.12

		相关系数 Correlation coefficient								
		Mo	Na	Ni	P	Pb	Sr	S	Ti	V
SE 中元素平均浓度与 M 的相关性	(1~1 m)	0.671 [*]	0.851 ^{**}				0.875 [*]	0.621 [*]		
	(0~2 m)	0.709 [*]	0.839 ^{**}				0.898 [*]	0.672 [*]		
SE 中元素平均浓度与 Y 的相关性	(0~1 m)		<u>0.633</u>					0.695 [*]		
	(0~2 m)	<u>0.682</u>	<u>0.633</u>				<u>0.659</u>	0.791 [*]	<u>0.706</u>	
水迁移系数 ^[3,4]		6.38	强	0.65		0.52	2.50	强	0.01	0.10

注:表中数字有下划线者为接近于 0.05 水平的,空格表示不相关;M-地下水矿化度, g L^{-1} ; Y-地下水中相应元素的浓度, mg L^{-1} ; 0~1 m 和 0~2 m 指土体厚度; $n=11(\text{M})$, $n=9(\text{Ca, Mg, Na, S})$, $n=8(\text{其他元素})$

表 4 数据说明, 1 m 和 2 m 土体的 1:1 浸出液中元素平均浓度值与地下水矿化度具有极显著或显著相关的元素有 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mo、Na、Sr 和 S。元素在土壤浸出液中浓度与地下水中相应元素浓度相关性较密切的有 Ca、Cr、Cu、Fe、K、Mg、S (Mo、Na、Sr 和 Ti 接近 0.05 显著水平), 与前面基本相似。与地下水的矿化度或与其相应元素浓度不相关的元素中, 大部分是亲 Fe 元素 (V、Co、Ni、Ti、Mn), 又是迁移能力较小的元素。此外还可看到, 由于各土壤 地下水点的地下水埋深不同和土壤中可溶盐的积累或淋失状况各异, 所以大部分元素在 2m 土体 SE 中的浓度平均值的相关系数较 1 m 的稍高。

2.4.2 土壤 地下水中元素的垂直分布 选择三种不同盐渍程度的典型土壤 地下水, 其 SE 中元素浓度的垂直分布状况示于图 4。各元素的分层 SE 和 GW 中的浓度见表 5。

由图 4 和表 5 资料可以看到:

盐土 154: 大部分土壤元素表聚性强, 除中部粘土层或及其上下邻层的元素含量稍高外, 总体上呈上大下小形状。易溶性元素 Ca、Mg、Na、S 在土壤浸出液 SE 和地下水 GW 中的浓度都十分高, 各为 200~1150 mg L^{-1} 和 700~1700 mg L^{-1} 。它们和其余大部分元素在 GW 中浓度接近或大于表层 SE 中的。但 K、Pb、Ti 在 GW 中明显小于 SE 的。Ni、Mn 和 V 则在 GW 中的浓度小于或接近于表层 SE 的。

表 5 3 个典型土壤 地下水点的元素在 SE- GW 中的浓度垂直分布

Table 5 Vertical distribution of element concentrations in SE-GW at 3 typical soil-groundwater sites (mg L^{-1})

元素 Elements	非盐化土壤(132) Non-saline soil (132)				中盐化土壤(126) Medium-saline soil (126)				盐土(154) Sobndhak (154)			
	0~0.2 m		0~1.0 m		0~0.2 m		0~1.0 m		0~0.2 m		0~1.0 m	
	1.0~2.0 m	GW	1.0~2.0 m	GW	0~0.2 m	0~1.0 m	1.0~2.0 m	GW	0~0.2 m	0~1.0 m	1.0~2.0 m	GW
Ca	57	72	116	500	313	315	225	682	756	416	416	720
Cd	0.014	0.016	0.017	0.005	0.020	0.022	0.020	0.012	0.027	0.018	0.021	0.045
Co	0.036	0.036	0.036	0.014	0.042	0.043	0.048	0.014	0.051	0.038	0.040	0.064
Cr	0.041	0.045	0.055	0.083	0.093	0.093	0.079	0.101	0.155	0.102	0.109	0.200
Cu	0.054	0.050	0.050	0.115	0.114	0.097	0.073	0.135	0.176	0.109	0.116	0.368
Fe	0.78	0.79	1.00	1.91	1.80	1.82	1.56	2.40	3.52	2.33	2.47	5.19
K	12.7	6.3	5.7	12.0	14.1	10.5	8.4	10.9	24.4	12.8	11.3	13.0
Mg	11	13	25	175	104	113	76	216	438	226	250	1380
Mn	0.027	0.019	0.019	0.018	0.072	0.045	0.044	0.028	0.045	0.034	0.034	0.057
Mo	0.058	0.054	0.052	0.051	0.076	0.082	0.068	0.072	0.132	0.082	0.092	0.199
Na	24	52	182	218	329	383	477	270	1152	646	903	1707
Ni	0.054	0.055	0.055	0.024	0.063	0.063	0.062	0.063	0.152	0.084	0.067	0.090
P	0.96	0.97	1.22	5.46	2.44	2.57	2.10	6.46	3.94	2.32	3.06	21.4
Pb	0.212	0.190	0.221	0.000	0.300	0.280	0.270	0.026	0.419	0.308	0.276	0.131
Ti	0.026	0.026	0.026	0.011	0.032	0.033	0.035	0.017	0.037	0.027	0.028	0.017
Sr	0.27	0.38	0.64	2.13	1.69	1.68	1.41	2.02	6.05	3.10	3.26	7.32
S	35	81	209	604	518	617	477	602	658	484	562	1545
V	0.071	0.070	0.071	0.021	0.086	0.090	0.084	0.040	0.105	0.074	0.077	0.108

中盐化土壤 126: 大部分土壤元素在 SE 中的浓度呈上、中部突出状, 表示表层的元素已有所下移, 积聚于上、中部, 属上部积聚型。易溶性元素 Ca、Mg、Na、S 在 SE 和 GW 中的浓度范围各为 $100\sim 600 \text{ mg L}^{-1}$ 和 $200\sim 700 \text{ mg L}^{-1}$, 远低于盐土 154 的。除 Cd、Co、Mn、Pb、Ti、V 在 GW 中的浓度小于在 SE 中的浓度外, 其他元素均为在 GW 中的浓度大于或接近于在 SE 中的浓度。

非盐化土壤 132: 大部分土壤元素的 SE 浓度呈上小下大状, 属元素向下淋失的脱盐型土壤。Ca、Mg、Na、S 在 SE 中的浓度范围, 0~1 m 为 $10\sim 80 \text{ mg L}^{-1}$, 1m 以下为 $20\sim 210 \text{ mg L}^{-1}$, 在 GW 中的浓度范围为 $170\sim 600 \text{ mg L}^{-1}$ 。与 126 相比, 土壤中, 尤其是表层和上部的 SE 中元素浓度要比 126 的低得多, 但在 GW 中的浓度却相差无几, 说明土壤中易溶元素向地下水的迁移。除 Cd、Co、Mn、Ni、Pb、Ti、V 在 GW 中的浓度小于在 SE 中的浓度外, 其他元素均为在 GW 中的浓度大于或接近于在 SE 中的浓度。

以上 3 个典型点含量超过 1 mg L^{-1} 以上的元素垂直分布, 明显地显示了不同盐渍程度土壤 地下水中元素的上述迁移特点(见图 4 左侧两列图幅)。它们中的大部分元素的 SE 浓度都是点 154> 126> 132, 由于点 126 有的元素如 S、P 在上部积累较为明显, 使其在 0~1 m 的平均浓度表现为点 126> 154> 132(表 5)。其他小于 1 mg L^{-1} 的微量元素, 在垂直分布方面变化较小, 但 154 点的元素表聚现象仍较明显。另外, 在 SE 与 GW 中元素浓度的比较中还可以看出, 大部分元素在 GW 中的浓度都是点 154> 126> 132。由于点 132 土壤盐分向下淋洗, 使点 126 与点 132 两者在 GW 中的浓度比较接近, 但明显低于点 154 的。迁移系数小的微量元素在 GW 中的浓度大都小于或近似于在 SE 中的浓度。这些现

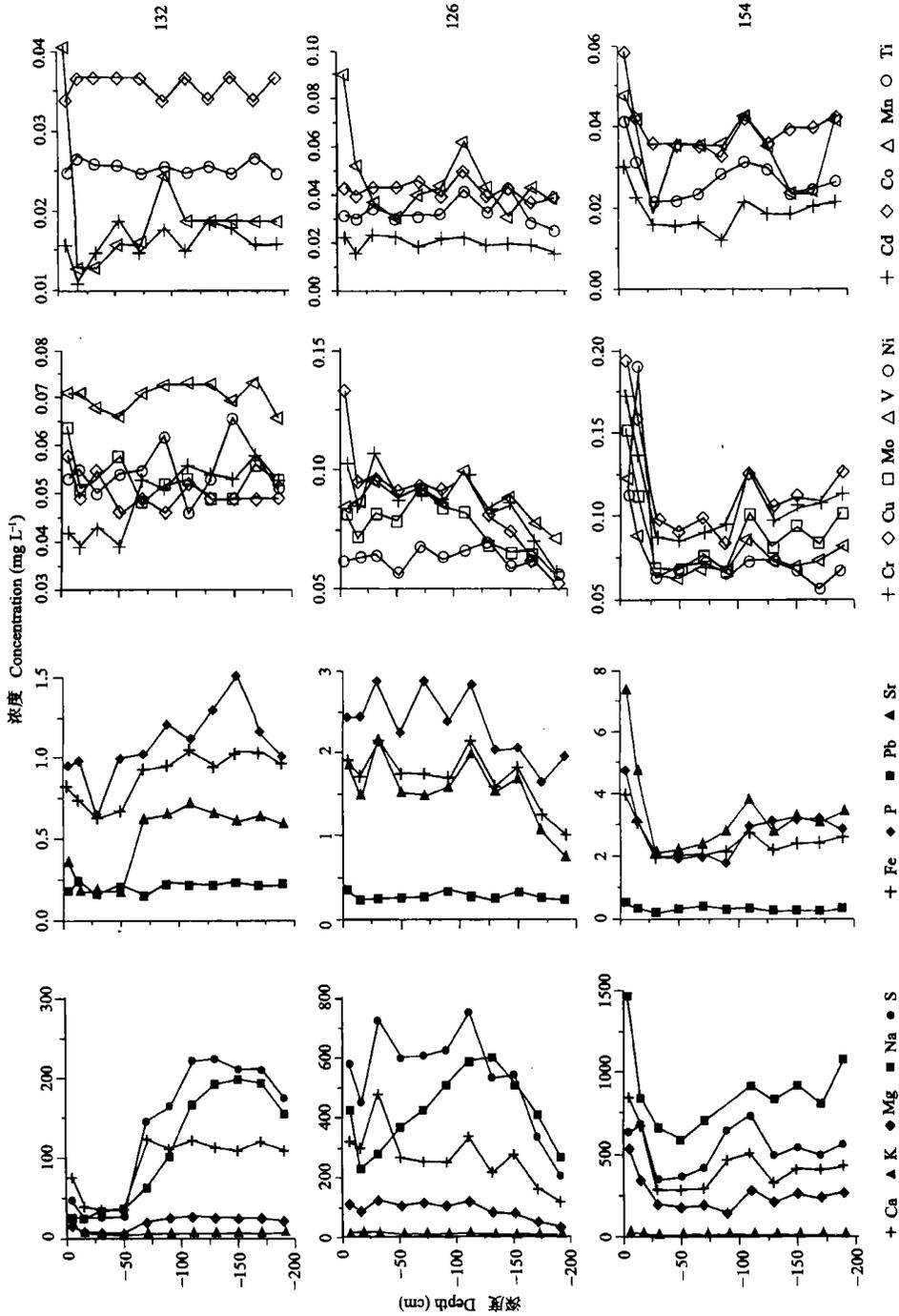


图 4 曲周盐渍土区 3 种典型土壤(132, 126, 154)的各元素在 SE 中的浓度剖面

Fig. 4 Element concentration profiles in SE of three typical soils in Qazhou saline soil region

象可以作这样的分析, 即它们虽迁移能力弱, 但仍有一定程度的移动, 再加之在干旱季节的强烈蒸发的长期影响下使它们在 SE 中的浓度在盐渍土中增高。

3 小 结

曲周盐渍土区土壤元素全量与其质地有关, 反映了该区河流冲积母质矿物组成的差异。只有盐分含量很高的土壤, 组成易溶盐的元素对全量的增加有些影响。易溶性元素在土壤溶液和 1B1 浸出液中浓度的差异, 因水分含量而异。各元素在 1B1 浸出液中的含量占全量的百分率和变异系数的大小, 在一定程度上可以说明该元素的可溶性和迁移性。土壤各元素在 SE 中的浓度和地下水矿化度、对应元素浓度之间的相关性大小, 与其水迁移系数大小基本一致。不同盐渍程度的土壤) 地下水系统的元素浓度垂直分布特征, 也说明了它们服从于元素地球化学的迁移规律。

参 考 文 献

- 11 石元春, 李保国, 李韵珠, 等. 区域水盐运动监测预报. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1991. 102~ 107
- 21 李韵珠, 陆锦文, 吴金绶. 河北曲周盐渍土区的地下水化学特征 1 土壤学报, 2001, 38(3): 401~ 412
- 31 多布罗沃利斯基 BB. 朱颜明译. 微量元素地理学. 北京: 科学出版社, 1987. 80~ 86
- 41 沈照理 1 水文地球化学 1 北京: 地质出版社, 1986 49~ 52

THE CHARACTERISTICS OF SOIL ELEMENTS IN SALT-AFFECTED SOIL AREA IN QUZHOU, HEBEI

Li Yun-zhu¹ Lu Jin-wen¹ Wu Jin-sui²

(1 College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094)

(2 College of Basic Sciences and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094)

Summary

Concentration ranges and characteristics of soil elements in soil (ST), soil 1B1 extraction (SE) and soil solution (SS), and their relation with the element concentration in groundwater in Quzhou salt-affected area are studied in this paper. Differences between concentrations of element in SS and that in SE are influenced by water content in the soil. SE/ST ratio of each element and its average and variation coefficient in soil layers can illustrate its solubility and movement ability in a certain extent. The averages of SE in 1 m or 2 m soil profile of most of the elements are correlated significantly with mineralization and concentration of the same element in groundwater. There is no correlation ship between the concentrations in SE and in groundwater of those elements with low migration coefficient. In addition, the characteristics of vertical distribution of concentrations of elements in SE and its relations with the concentrations of elements in groundwater are described by some examples under different levels of salinity condition.

Key words Salt-affected soil area, Alluvial plain, Soil elements, Soil-groundwater, Vertical distribution of soil elements