

秦岭-黄淮平原 交界带土壤物质迁移与积累*

马建华

(河南大学地理系 开封 475001)

马向忠

(河南省卫生厅产业开发办科技中心 郑州 450003)

提 要 以横断秦岭-黄淮平原交界带中部的土壤断面为研究对象,应用土壤地球化学观点,讨论了交界带土壤物质迁移和积累规律。自西向东,随着海拔下降,土壤表层硅铝率逐渐增大,大部分土壤表层物质遵循迁移—积累—迁移—积累规律,“暖坡”地带是交界土壤地球化学活跃地段。并讨论了土壤物质迁移与土壤性质的关系。

关键词 秦淮交界带 土壤物质迁移 土壤物质积累

秦岭-黄淮平原交界带(以下简称交界带)位于河南省的中部,地理座标为 $32^{\circ}41' \sim 35^{\circ}00'N, 111^{\circ}54' \sim 114^{\circ}08'$,呈北宽南窄的不规则长条状,总面积约 $2.6 \times 10^4 km^2$ 。交界带西部是秦岭余脉构成的豫西山,东部是黄淮平原,地形以丘陵为主,地势西高东低,从海拔 500m 向东逐渐下降到 100m 左右。交界带自然地理具有明显的南北和东西过渡性,南部属于北亚热带季风气候,北部属于暖温带季风气候。地跨黄河、淮河和长江三大流域。据调查和 TM 影像分析,交界带共发育 10 个土类,23 个亚类。

1 土壤样品的化学组成和性质

根据交界带南北狭长,西高东低,大部分河流走向近乎东西的特点,在交界带中部选择了一条东西方向的土壤断面。它西起石人山北坡(海拔 1100m)向东沿沙河上游经鲁山县城到达白龟山水库附近(海拔 100m),东西两端均超出交界带范围一定距离,全长约 110km(图 1)。该断面各土壤剖面点成土条件、土体化学组成和理化性质见表 1~3。

2 交界带土体风化程度

根据表 2 所列硅铝铁率值可以看出,除剖面 S_5 外,其余土壤剖面从西向东,随着海拔下降,表层硅



图 1 交界带平面图及土壤剖面点分布
Fig. 1 The juncture plan and the distribution of soil sections

* 国家自然科学基金资助项目(项目号 49070028)。

贾晶、蔡丹平、赵俊萍、赵启龙、李涛、倪红雨、曹婧、李立仁等同志参加了土壤野外调查与室内分析工作,特此致谢。

本文收稿日期:1995-12-19,改回日期:1997-01-29。

铝铁率逐渐增大。在海拔>400m的丘陵和中低山区,土壤母质为花岗岩残积坡积物,随着海拔上升,土壤淋溶作用和水解风化作用增强。在洪积扇和平原区,土壤母质为河流冲积物或湖积物,接受了上部土壤游离硅酸和盐基离子,土壤呈中性至弱碱性反应,阻碍土壤脱盐基脱硅和富铁铝化的进程,土壤风化程度较低。S₅正处于“暖带”之中,其温度明显高于上部和大干等于下部地带^[1],水热条件组合利于土壤矿物质风化,铁锰游离出来并发生移动,形成铁锰胶膜,硅铝铁率值最低。

表1 各剖面成土条件

Table 1 The forming conditions of all soli sections

代号	土壤类型	海拔(m)	地 形	成 土 母 质	植 被
S ₁	棕 壤	1100	山坡,坡度 40°	花岗岩残积坡积物	栓皮栎油松林
S ₂	棕 壤	850	山坡,坡度 30°	花岗岩残积坡积物	栓皮栎林
S ₃	淋溶褐土	600	山坡,坡度 45°	花岗岩残积坡积物	栓皮栎林
S ₄	淋溶褐土	400	山坡,坡度 45°	花岗岩残积坡积物	栓皮栎萌生幼林
S ₅	黄 褐 土	240	山坡,坡度 30°	花岗岩残积坡积物	油桐林
S ₆	灰 潮 土	130	洪积扇中上段	河流冲积物	麦 田
S ₇	砂姜黑土	95	洪积扇前缘	湖相沉积物	麦 田

表2 各剖面土体化学组成

Table 2 Total chemical composition of all soil sections

剖面	土层	深度 (cm)	烧失重 (%)	土体化学组成(占灼烧土重%)										SiO ₂ R ₂ O ₃
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	
S ₁	1	4~17	7.42	67.97	21.27	4.17	0.42	0.88	1.33	0.22	0.06	3.66	1.82	4.82
	2	17~34	5.58	74.44	15.55	4.57	0.56	2.15	1.91	0.10	0.08	4.10	2.12	6.86
	3	>34	3.92	69.32	19.64	3.05	0.50	1.26	1.65	—	0.08	4.29	2.78	5.45
S ₂	1	6~12	9.22	67.02	18.89	4.43	0.48	2.10	0.93	0.14	0.08	3.44	2.78	5.26
	2	12~18	3.88	68.00	16.93	4.57	0.51	1.96	1.17	0.06	0.07	2.79	3.38	5.81
	3	>18	3.22	66.26	17.98	4.49	0.48	2.27	0.97	0.03	0.07	3.69	3.33	5.41
S ₃	1	0~19	9.88	70.30	16.36	4.83	0.49	1.78	1.29	0.11	0.09	3.53	1.90	6.17
	2	19~31	6.22	69.69	16.36	4.45	0.47	1.40	1.06	0.07	0.07	3.55	1.90	6.18
	3	>31	5.94	70.85	16.80	4.25	0.44	1.23	1.31	0.09	0.07	3.93	1.98	6.15
S ₄	1	0~8	8.72	70.43	16.33	3.42	0.46	1.33	1.04	0.06	0.05	3.65	1.69	6.49
	2	8~24	4.50	73.88	15.94	3.20	0.41	0.90	1.03	0.01	0.02	4.30	1.22	6.99
	3	24~34	4.88	73.85	16.16	3.49	0.41	1.12	0.96	—	0.03	3.64	1.31	6.84
S ₅	4	>34	4.88	73.22	17.41	3.35	0.40	0.70	1.18	—	0.04	4.60	1.33	6.34
	1	0~10	6.92	65.26	21.16	3.62	0.46	1.62	1.46	0.32	0.09	3.27	3.04	4.73
	2	10~29	4.86	65.80	19.56	3.69	0.46	2.00	1.13	0.02	0.08	3.46	3.05	5.10
S ₆	3	29~55	4.52	65.37	18.38	3.49	0.50	1.88	1.80	0.07	0.12	3.94	3.73	5.40
	1	0~33	3.76	76.00	15.76	3.50	0.50	1.79	1.45	0.01	0.08	1.54	2.04	7.16
	2	33~41	3.40	75.11	13.69	3.86	0.50	2.23	1.35	0.08	0.09	1.38	2.00	7.92
S ₇	3	>41	4.28	67.78	20.18	2.88	0.59	1.52	0.69	0.03	0.09	1.74	2.09	5.23
	1	0~20	6.98	74.82	13.67	4.14	0.54	2.23	2.08	0.38	0.10	2.12	2.25	7.79
	2	20~34	6.78	72.10	14.95	4.94	0.58	1.46	1.65	0.16	0.28	2.01	1.34	6.75
	3	34~67	10.03	66.21	17.34	6.76	0.68	2.26	1.79	0.06	0.15	1.95	1.50	5.21
	4	>67	10.50	66.26	18.92	7.36	0.69	1.84	2.20	0.10	0.13	2.17	0.94	4.78

为了探讨同一剖面不同土层间风化程度的差异,以每一剖面最下层硅铝铁率为基数,并规定为1的情况下,计算其它土层的硅铝铁率相对值。结果发现,硅、铝、铁沿剖面迁移积累状况及风化程度可分为4种类型:

1. S₁和S₂剖面表层脱硅富铁铝,风化程度高,中部发生硅的淀积,风化程度低。

2. S_3 和 S_4 剖面上下层硅铝铁没有明显移动, 风化程度上下层基本一致.

3. S_5 土体发生脱硅或富铁铝现象, 和母质相比, 风化程度增高, 是由于 S_5 所处独特的“暖带”位置决定的.

4. S_6 和 S_7 剖面土体发生富硅或脱铁铝现象, 和母质相比, 风化程度降低. 这主要是由于该地段地势低, 一方面发生 Fe_2O_3 还原淋溶, 另一方面接受上部地段迁移下来的硅质和其它物质所致. 综上所述, 整个土壤断面自西向东, 硅铝铁迁移积累状况从第一种类型逐渐向第四种类型有规律地变化. 这与断面水热条件、地形地势、侵蚀和堆积有规律变化直接相关.

表 3 各剖面土壤理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of soil sections

剖面	土层	颜色 (干土)	砾石含量 (%, >1mm)	颗粒组成(%, 粒径 mm)					有机质 含量(%)	pH	速效养分(mg/hg±)		
				1~0.05	0.05~ 0.01	0.01~ 0.005	0.005~ 0.001	<0.001			碱解氮	速效钾	速效磷
S_1	1	10YR7/4	16.69	51.0	20.0	9.0	13.6	6.4	2.38	5.6	7.25	8.43	1.32
	2	10YR7/4	8.04	77.0	11.0	2.4	7.3	2.3	0.95	6.0	2.56	5.20	—
	3	10YR8/4	15.62	77.0	12.0	3.2	5.4	2.4	0.42	6.8	0.89	4.97	—
S_2	1	7.5YR2/2	21.43	73.4	13.0	2.8	5.0	5.8	4.20	6.0	15.19	12.29	1.00
	2	7.5YR5/2	29.05	82.0	8.0	2.2	4.2	3.6	1.47	6.4	7.76	6.86	1.46
	3	7.5YR6/3	39.19	82.0	10.0	1.0	4.4	2.6	0.92	6.4	4.73	6.40	0.52
S_3	1	7.5YR5/6	20.09	51.0	19.8	7.6	11.8	9.8	4.21	6.6	14.72	11.86	0.26
	2	7.5YR6/6	16.90	51.0	18.6	7.4	12.8	10.4	2.01	6.8	5.94	5.83	—
	3	7.5YR6/6	14.44	52.4	18.6	5.0	10.0	14.0	1.62	6.8	0.29	5.74	—
S_4	1	10YR6/4	16.74	49.0	22.0	8.0	10.4	10.6	4.55	7.2	16.80	16.60	0.39
	2	10YR8/3	20.41	51.8	21.0	6.2	14.6	6.4	1.01	6.8	4.03	5.66	—
	3	5YR5/8	16.50	49.4	22.6	8.0	14.8	5.2	0.59	6.8	2.67	5.00	—
	4	5YR5/8	19.73	63.8	18.1	5.1	9.8	3.2	0.49	6.8	1.53	6.40	—
S_5	1	7.5YR7/4	13.41	68.8	15.8	4.0	3.6	7.8	1.80	7.2	16.10	5.94	0.82
	2	7.5YR6/4	37.16	59.8	22.1	1.7	8.4	8.0	1.14	7.2	4.28	5.46	0.52
	3	5YR4/8	35.87	41.8	31.8	8.4	12.0	6.0	0.73	7.2	2.53	12.17	0.12
S_6	1	7.5YR5/4	5.33	40.0	48.0	2.0	7.6	2.4	1.18	7.2	2.89	6.63	0.31
	2	10YR4/6	8.06	45.0	39.0	6.0	7.4	2.6	0.35	7.2	1.62	5.20	0.44
	3	7.5YR5/6	11.03	46.0	42.0	2.6	7.8	1.6	0.19	7.6	0.56	8.00	0.68
S_7	1	10YR5/3	1.15	2.0	42.0	12.0	12.0	32.0	1.59	7.8	6.35	12.74	0.66
	2	10YR5/3	—	—	42.0	12.0	14.0	32.0	1.17	7.6	4.25	11.86	0.52
	3	10YR4/2	—	4.6	22.0	12.0	16.0	46.0	1.28	7.6	3.21	15.29	0.36
	4	10YR5/3	—	6.0	22.0	12.0	20.0	40.0	0.98	7.8	3.39	12.54	—

3 土壤物质迁移和积累规律

以母质层为比较层, 在假定 Al_2O_3 为不移动氧化物的情况下, 分别计算了各层氧化物迁移系数^[2]和相对淋失率^[3]. 计算结果表明, 两者完全吻合. 由表 4 可以看出, 各剖面表层氧化物相对迁移和积累序列为:

S_1 $Na_2O > CaO > MnO > MgO > TiO_2 > K_2O > SiO_2 > Fe_2O_3 > P_2O_5$;

S_2 $Na_2O > CaO > K_2O > MgO > Fe_2O_3 > SiO_2 > TiO_2 > MnO > P_2O_5$;

S_3 $K_2O > Na_2O > MgO > SiO_2 > TiO_2 > Fe_2O_3 > P_2O_5 > MnO > CaO$;

S_4 $K_2O > MgO > SiO_2 > Fe_2O_3 > TiO_2 > MnO > Na_2O > CaO > P_2O_5$;

S_5 $MnO > MgO > TiO_2 > SiO_2 > Fe_2O_3 > K_2O > CaO > Na_2O > P_2O_5$;

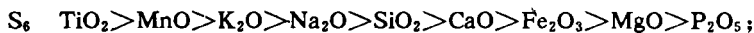
表 4 各剖面氧化物沿剖面相对淋失率(%)¹⁾

Table 4 The relatively luvic rate of oxides along the soil sections

剖面	土层	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO	K ₂ O	Na ₂ O
S ₁	1	-9.46	+26.23	-22.00	-35.51	-25.45	+306.00	-31.25	-21.21	-39.57
	2	+35.95	+89.84	+42.00	+115.87	+46.06	+160.00	+25.00	+20.98	-3.60
S ₂	1	-3.67	-6.01	-2.08	-11.89	-8.76	+343.33	+8.57	-11.11	-20.42
	2	+5.30	+4.45	+8.33	-11.45	+27.84	+105.20	+2.86	-22.49	+4.20
S ₃	1	+1.90	+16.71	+13.64	+48.78	+0.76	+25.56	+28.57	-7.63	-1.52
	2	+1.02	+7.53	+9.09	+17.07	-16.79	-22.22	+2.86	-7.12	-1.52
S ₄	1	+2.54	+9.25	+22.50	+145.71	-5.93	+∞	+32.50	-15.43	+35.34
	2	+10.20	+4.48	+12.00	+40.00	-4.66	+∞	-45.00	+2.17	+0.19
	3	+8.67	+12.34	+10.00	+72.86	-12.37	+∞	-20.00	-14.78	+6.02
S ₅	1	-13.19	-9.89	-20.00	+15.57	-29.44	+297.14	-35.00	-3.40	+52.60
	2	-5.42	-0.57	-13.60	+54.10	-41.11	-72.86	-37.50	+10.54	+65.90
S ₆	1	+43.57	+55.56	+8.47	+50.66	+169.57	+326.67	+11.11	+13.22	+24.88
	2	+63.34	+97.57	+24.92	+116.45	+188.41	+300.00	+44.44	+16.90	+41.05
S ₇	1	+56.29	-22.15	+8.70	+67.93	+30.91	+426.00	+7.69	+35.02	+230.85
	2	+37.70	-15.08	+6.38	+0.54	-5.00	+102.00	+169.23	+17.05	+80.85
	3	+9.03	+0.27	+7.25	+34.24	-11.36	-35.00	+26.15	-1.84	+74.47

1) 以 Al₂O₃ 为假定不移动氧化物,各剖面最下层各氧化物相对淋失率均为零。

很明显, S₁ 和 S₂ 棕壤地带碱土金属和碱金属氧化物发生了相对迁移,而 SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃, MnO 和 P₂O₅ 则发生了相对富积。Na₂O 的相对迁移量较 K₂O 大,主要是因为此处植被覆盖度大,生物选择性富钾作用延缓了钾的迁移所造成的。S₃ 和 S₄ 淋溶褐土地带, CaO 相对富积, S₄ 的 Na₂O 富积也较明显,其原因可能是由于该地带淋溶作用弱, Na⁺, Ca²⁺ 随季节性上升水流到达土壤表层所致。S₅ 的情况比较特殊,由于受“暖坡效应”的影响,硅、铝、铁、钛等发生游离并开始移动,淀积在土体下部,形成胶膜状新生体,而碱金属和 CaO 因淋溶作用较弱,表层则发生富积。S₆ 以东的洪积扇及洪积平原堆积风化物区,堆积物的矿物化学组成在垂直方向上受气候、河川径流的时间变化影响而比较复杂,虽然经过后生地球化学的长期作用,土壤表层氧化物迁移富积规律也不甚明显,几乎全部氧化物都发生了富积。平原地区尤其是山前洼地,地下水位较浅甚至在地质历史时期曾一度渍水,风化物处于还原状况下, Fe, Mn 等变价元素迁移比较明显而富积量较少。从 S₁ 至 S₇ 所有剖面的 P₂O₅ 均发生富移,而且富积量在绝大多数剖面中也最大,这与生物富磷和人工施用磷肥直接有关,也与磷的化学行为有关,它在铁、铝较多的土壤中往往形成磷酸铁铝化合物,在钙较多的土壤中往往形成磷酸多钙,这些都是溶解度很低的化合物,常被固定在土壤中很少发生迁移。

土壤表层氧化物沿断面迁移和积累状况可以明显划分为两段:一段是 S₅ 以西花岗岩残积坡积风化物段,二段是 S₆ 以东的河流冲积或湖积堆积风化物段。在残积坡积段,碱金属氧化物除 S₄ 和 S₅ 的 Na₂O 外,迁移系数均 < 1,相对淋失率均为负值,表明迁移或淋失比较明显。碱土金属氧化物、SiO₂ 和 TiO₂ 在 S₁ 和 S₂ 处迁移也较明显,而铁、锰氧化物除个别剖面外发生不同程度的富积。需要特别指出的是,位于“暖带”的 S₅,因其水热条件

组合利于矿物质风化,致使化学性质不活泼的氧化物(如 SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO 等)发生迁移,形成断面土壤地球化学最活跃的地段,这是交界带特有的地球化学状况. 剖面 S_3 和 S_4 淋溶作用较弱,除 K_2O 和 MgO 外,其它各元素均发生不同程度的富积,尤以 CaO 和 MnO 的富积最为明显,并有增强的趋势. 总之,在残积坡积段,就一般状况来说,氧化物迁移序列为: $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{CaO} > \text{SiO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{MnO} > \text{P}_2\text{O}_5$. 在堆积风化物段,除 S_7 剖面 Fe_2O_3 发生还原淋溶迁移外,其它氧化物迁移系数均大于 1,相对淋失率均为正值,说明均发生不同程度的富积,这完全符合堆积景观地球化学特征^[4]. 就一般状况来看,积累序列为: $\text{P}_2\text{O}_5 > \text{Na}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{CaO} > \text{SiO}_2 > \text{K}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{TiO}_2 > \text{MnO}$.

综上所述,整个土壤断面土壤物质迁移积累规律可概括为:交界带西部海拔 700m 以上的中低山区的土壤 S_1 和 S_2 ,土体风化和淋溶作用较强,表层除部分 Fe_2O_3 和 MnO 有少量富积外,其余氧化物全部发生淋失;海拔 600~400m 地带的土壤 S_3 和 S_4 ,接受上部迁移下来的物质,再加上此处淋溶作用较弱,只有 K_2O 和部分 MgO 发生完全或不完全淋失,而其余氧化物全部发生积累;海拔 300~150m 之间的 S_5 地带,因处于交界带“暖坡效应”地段,大部分氧化物发生淋失;海拔 <150m 的土壤,接受了西部山地丘陵特别是丘陵区迁移下来的物质,除 S_7 的 Fe_2O_3 有一定淋失外,其余氧化物全部发生富积. 可见,沿土壤断面大部分土壤表层物质遵循迁移→积累→迁移→积累规律,在交界带范围内遵循积累→迁移→积累规律.

4 物质迁移与土壤性质的关系

土壤物质迁移不仅与环境条件有关,而且与土壤理化性质相联系. 表 5 给出了研究断面土壤表层 pH 值、有机质含量和机械组成的回归方程. 由表 5 可见,沿研究断面自西向东,除 S_5 外,随着海拔下降,降水量减少,土壤表层 pH 值逐渐升高,表层硅铝铁率逐渐增大,而碱金属迁移或淋失率有逐渐减少的趋势. 在残积风化物段,植被条件好,土壤有机质含量较高,生物选择性吸收某些亲生物元素(如钾素等)及生物小循环作用,可以明显阻碍或延缓这些元素的迁移. 研究断面随着粉粘比的减小,硅铝铁率逐渐增大,两者呈负相关. 这说明矿物种类是影响硅铝铁率大小的主要因素,与粘粒的绝对含量没有直接关系,而与粉粒的相对含量密切相关,这也是交界带物质迁移的一大特点.

表 5 土壤性质与物质迁移的回归方程¹⁾

Table 5 The regress equations between soil properties and soil material migration

土壤理化性质	回 归 方 程	相关系数(r)	显著水平(P)
土壤表层 pH 值 (S_5 除外)	$Y_{\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3} = -2.65 + 1.3276 x_{\text{pH}}$	0.9786	0.01
	$Y_{\text{K}_2\text{O}} = -0.32 + 0.1917 x_{\text{pH}}$	0.7616	0.05
	$Y_{\text{Na}_2\text{O}} = -5.00 + 0.9410 x_{\text{pH}}$	0.8131	0.05
	$Y_{(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})} = -4.94 + 1.0778 x_{\text{pH}}$	0.7868	0.05
土壤表层有机质含量 (残积风化物段)	$Y_{\text{K}_2\text{O}} = -0.635 + 0.058 x_c$	0.9137	0.01
土壤表层机械组成	$Y_{\text{粘/粉}} = 11.81 - 4.15 x_{\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3}$	-0.7834	0.05

1)Y 为迁移系统

参 考 文 献

- [1] 施其仁. 秦岭-黄淮平原交界带热量资源初步分析. 河南大学学报(自然科学版), 1993. 23(4): 1~6.
- [2] 李天杰等. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1983. 16.
- [3] A. H. 彼列尔曼. 龚子同译. 后生地球化学. 北京: 科学出版社, 1975. 224~232.
- [4] B. A. 柯夫达. 陆宝树译. 土壤学原理(上册). 北京: 科学出版社, 1983. 78~79.

A STUDY ON THE MIGRATION AND ACCUMULATION LAWS OF SOIL MATERIALS IN THE JUNCTURE OF QINLING-HUANGHUAI

Ma Jianhua

(Department of Geography, Henan University Kaifeng 475001)

Ma Xiangzhong

(Public Health Bureau of Henan Zhengzhou 450003)

Abstract

The studied object in this paper is the soil section from west to east that acrosses the middle juncture of Qinling-Huanghuai. The migration and accumulation laws of soil material along the soil section above are discussed, based on the soil investigation outdoor and the physical-chemical experiment with soils indoor, and applying the view of soil geochemistry. The $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ in soil surface layers increases gradually along the section from west to east with that height above sea level descends by degrees from west to east. The soils which are above 700m above sea level accumulate Fe_2O_3 and MnO at small amount in surface layer, the other oxides are leaching out greatly. K_2O and MgO in surface layer are leaching out at small amount in the soils which are between 600m~400m above sea level, the other oxides accumulate greatly. The bulk of oxides in surface layer are leaching out greatly in the soils which are between 300m~150m above sea level. Fe_2O_3 in surface layer is leaching out at small amount in the soils which are below 150m above sea level, The other oxides accumulate greatly. The bulk of soil materials in surface layer abide by the law of migration→accumulation→migration→accumulation along the section from west to east, and it abides by the law of accumulation→migration→accumulation in the juncture of Qinling-Huanghuai from west to east. The "warm belt" is the belt in which soil geochemical processes are activest in the juncture. Finally, some relations between the migration of soil materials and pH, content of organic matter, texture of soils are discussed.

Key words the juncture of Qinling-Huanghuai, material migration, material accumulation