

桂西南不同地层土壤的元素地球化学特征*

The Geochemical Characteristics of Soil Elements of Strata in Southwestern Guangxi

李先琨 苏宗明

Li Xiankun Su Zongming

(广西植物研究所 桂林市雁山 541006)

(Guangxi Institute of Botany, Yanshan, Guilin, Guangxi, 541006, China)

摘要 以隆安县为桂西南代表,根据地层、地形、土类等确定调查路线和采样点,挖掘土壤剖面,采集B层土壤,同一地层采集多个样品充分混合,以风干土混合样进行分析。测定21个地层土壤的Fe Al Si N P K Na Ca Mg Mn Zn Cu S B Mo Co Ni Cr Sr Ba V As Ge Ga Se Cl I W F Br Sn元素含量,其中Fe Al Zn Ni V As Se含量和S P K Na Ca Mg S Ga含量分别高于和低于世界土壤元素背景值,Mn Cu B Mo Co Cr含量处于背景值范围,As的含量高于我国土壤临界含量,Ca Mn S的变异系数>100%,N P K Na Mg Zn Mo Ni Cr Sr Ba As Ge Se Cl I W元素的变异系数为50%~100%,Fe Al Si Cu B Co V元素的变异较小。该区石灰岩、白云岩、硅质岩等基性岩发育的土壤比由粉砂岩、页岩、泥岩和第四纪红土等基岩发育的土壤富铝化程度深,Fe Al富集明显。各地层Si Ca Mg Na K的迁移量大,以Si迁移和Fe富集为主要特征。378对元素组合中,109对元素组合之间相关关系 $P < 0.05$,134对元素组合之间相关关系 $P < 0.01$,且以正相关为主;Si与其他元素间的关系多为负相关;过渡元素间大多有相关关系;易迁移元素中,Si与K,Ca与Mg相互间有相关关系;S N P相互间、Cl与Na存在显著相关关系。该区主要植物的元素生物吸收顺序与地带性植被相似。

关键词 地层 土壤 元素 地球化学

中图法分类号 P 584; S 151.93

Abstract The Long'an area was chose as representative of the southwest of Guangxi. Survey route and sampling spots and soil profiles were determined according to strata, landform and type of soils. Soil samples were collected from several points in Layer B in the profile, and mixed and dried naturally for mensuration. The contents of elements Fe Al Si N P K Na Ca Mg Mn Zn Cu S B Mo Co Ni Cr Sr Ba V As Ge Ga Se Cl I W F Br Sn from 21 strata were determined. The contents of Fe Al Zn Ni V As Se are higher than the background values of soil elements of the world, and Si P K Na Ca Mg S Ga are lower, and Mn Cu B Mo Co Cr are in the range. The As content is higher than critical content of soils of China. The coefficient of variation of Ca, Mn, S were > 100%; N P K Na Mg Zn Mo Ni Cr Sr Ba As Ge Se Cl I W are 50% to 100%, and Fe Al Si Cu B Co V are much smaller. Al and Fe have heavier enrichment in the soils derived from limestone, dolomites, silicolites than the soils from aleuwite, shale, pelite and Quaternary red soil. Si, Ca, Mg, Na and K in strata have great movement, with characteristic of Si movement and Fe enrichment. In the correlation of 378 element combinations, 109 element combinations are significant at $P < 0.05$, 134 element combinations at $P < 0.01$, and most of them are plus. Si has minus correlation with most of other elements. There are correlation among transition elements, and between Si and K, and between Ca and Mg. The correlation among S, N and P, and between Cl and Na are significant. The biological absorption order of main plants in this area is similar to that of zonal vegetation type.

Key words stratum, soil, element, geochemical

母岩(质)是土壤形成的基础,母岩影响着土壤的性状和元素丰度,现代的地质学理论和积累的地质资料对岩石类型的研究不仅在成因上也反映在时间

2001-03-05收稿,2001-05-08修回。

* 国家自然科学基金与地区科学基金联合资助重点项目(30060022,30069005)部分内容。

和空间上^[1],同一时代,岩性不同或不同时代,岩性相同的岩石,其元素含量及其地球化学特征都有差异,而地层恰好直接反映土壤母岩的岩性。形成年代等特性。因此,研究不同地层土壤的地球化学特征,探讨元素在地球化学过程中的行为及赋存状态,对于土壤发生、分类和演变、土地利用、植被演替及生态环境的研究都十分重要。

1 自然条件概况和研究方法

1.1 研究区自然条件概况

研究区为桂西南岩溶区的隆安县,位于22°51′~23°21′N和107°21′~108°08′E之间,地形为东北、西南部高、中部和东南较低,全县地貌以丘陵为主,洼地谷、地次之,海拔均在700 m以下。年平均气温21.7℃,年均降水量1282.7 mm,年均日照时数1596 h,太阳辐射总量4.23×10⁵ J/cm² a。该区地层出露较齐全,从古生界寒武系、泥盆系至中生界三迭系、新生界第三系、第四系均有出露,共21个地层,其中以石炭系、泥盆系分布最广(图1),各地层岩性类型为:页岩(∈),砂岩夹泥岩(D_{1b}、D_{2y}),石灰岩(P_q、P_{1m}、P₃、D_{2d}³、C_{1y}、C_{1d}、C₃、C₃、T_{1b}、T_{1b}),白云岩(D_{2d}¹、T_{1b}),粉砂泥岩(T_{2-3p}¹),粉砂页岩(T_{2-3p}¹、T_{2-3p}³),砂泥岩夹煤层(N),第四纪红土(Qp、Qh),硅质岩(D₃)。土壤类型分别为:红壤及黄壤(∈),红壤(D_{1b}、D_{2y}),棕色石灰土(D_{2d}¹、D_{2d}³、D₃、C_{1y}、C_{1d}、C₃、C₃、P_q、P_{1m}、P₃、T_{1b}、T_{1b}),赤红壤(B下部 T_{2-3p}¹、T_{2-3p}³、T_{2-3p}³、N、Qp、Qh)各地层的土壤呈酸性至微碱性,以酸性至中性土壤居多^[2]。

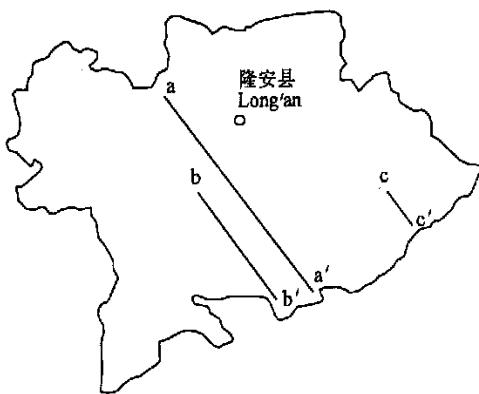


图1 研究区地理位置及调查路线示意图

Fig. 1 Location of the research area and survey routes aa', bb', cc'—调查采样路线 Survey and sampling routes. 各路线调查的地层 The strata investigated in the survey routes aa': T_{2-3p}³, T_{2-3p}¹, T_{1b}, P₂, P_{1m}, P_{1q}, C₂, C₃, C_{1d}, C_{1y}, D₃, Qp, Qh, D_{2y}; bb': C₂, C_{1y}, D₃, D_{2d}², D_{2d}¹, D_{2y}, D_{1b}, ∈; cc': D₃, C_{1y}, E, N.

1.2 研究方法

按研究区出露的地层类型,根据地层、地形、土类等自然条件,确定调查路线,选定取样点,挖掘土壤剖面进行土层划分和野外记录,采集未受人为干扰,能如实反映地质特征的B层土壤进行分析,同一地层采集多个样品充分混合,以风干土混合样进行分析。分析Fe、Al、Si、N、P、K、Na、Ca、Mg、Mn、Zn、Cu、S、B、Mo、Co、Ni、Cr、Sr、Ba、V、As、Ge、Ga、Se、Cl、I、W、F、Br、Sn,共31种元素的含量,全部分析项目由广西区测试分析研究中心完成。按有关文献的方法,计算土壤元素含量的算术平均值、几何平均值、变异程度^[3],计算元素的迁移和富集特征^[4]、元素间的相关性^[5]等,论述土壤的元素地球化学特征。

2 结果与分析

2.1 土壤元素丰度及其分异

从表可知,土壤中元素含量平均值(算术、几何均值)在100 000μg/g以上的有Al、Si, 10 000μg/g~100 000μg/g的有Fe, 2 500μg/g~10 000μg/g的有Mg、K, 620μg/g~2 500μg/g的有Ca、N、Na, 390μg/g~740μg/g的有Mn、P, 190μg/g~460μg/g的有Ge、V, 100μg/g~170μg/g的有Zn、S、Ba, 10μg/g~100μg/g的有Cu、B、Co、Ni、Cr、Cl、Sr、As、Ga、I, 15μg/g以下的有F、Br, 10μg/g以下的有Mo、Se、W、Sn。元素平均含量顺序为Si>Al>Fe>K>Mg>Ca>N>Na>Mn>P>Ge>V>Zn>Ba>S>Cr>Ni>Cl>As>Sr>Cu>B>Ga>I>Co>W>Mo>Se>Sn,大多数地层元素含量顺序为Si>Al>Fe>K>Mg>Ca>Na>Mn>P型(表2)。与世界土壤元素背景值^[6-9]比较,隆安县土壤中Fe、Al、Zn、Ni、V、As、Se高于背景值,而Mn、Cu、B、Mo、Co、Cr处于背景值范围,Si、P、K、Na、Ca、Mg、S、Ga则低于背景值。以地壳Clark值序列(Si>Al>Fe>Ca>Mg>Na>K>Mn>P)^[10]作参照,本区土壤Ca、Mg、Na的迁移次序高于K,说明元素的迁移富集能力不仅取决于离子本身,而且与所处生物气候、母质等环境条件有关。与地带性土壤元素平均含量^[4]相比,本区土壤B、Mo、Mn、Zn等均略微偏低,而Cu含量较高;As的含量高于我国土壤临界含量(红壤45μg/g,赤红壤38μg/g),Cu接近临界含量,但部分地层较高(赤红壤、红壤45μg/g~53μg/g)^[11]。土壤元素含量的几何平均值更接近于中值。从最大值和最小值相差倍数看,相差100倍以上的有Ge、Ga、Ca、I等元素,相差10倍~100倍的有Na、W、Cl、N、Sr、K、Cr、Ba、P、Mo、As、S、Mn、Se等

元素, 而 Si Fe Al B V Co Ni Cu Mg Zn 等元素相差倍数较小; 从变异系数看, $C.V. > 100\%$ 的有 Ca Mn S 等元素, $50\% \sim 100\%$ 的有 N P K Na Mg Zn Mo Ni Cr Sr Ba As Ge Se Cl I W 等 17 个元素, 而 Fe Al Si Cu B Co V 等元素变异较小 (表 1)

2.2 土壤的地球化学过程

由表可见, 石灰岩、白云岩、硅质岩等基性岩 (包括 D_{21}^1 、 D_{21}^2 、 D_3 、 C_{15} 、 C_{14} 、 C_3 、 C_3 、 P_9 、 P_{10} 、 P_3 、 T_{11} 、 T_{11} 等地层) 所发育的土壤, 其淋滤系数、铁化系数、铝化系数、分解系数的相对值高于由粉砂岩、页岩

岩、泥岩和第四纪红色粘土等基性岩 (包括 E 、 D_{11} 、 D_{12} 、 T_{2-3p^1} 、 T_{2-3p^2} 、 T_{2-3p^3} 、 N 、 Q_p 、 Q_h 等地层) 所发育的土壤, 前者的富铝化程度深, Fe Al 富集作用明显, 后者相对较弱。这与地带性土壤的地球化学过程是一致的^[9]。

2.3 元素的富集与迁移特征

各地层母岩风化壳风化及成土过程中元素的迁移和富集状况有一定差异 (表 4), 但以 S 的迁移、Fe 的富集为主要特征, Ca Mg Na K 几乎均为迁移, 且迁移量大, 而 Al 的土壤含量多在母岩含量 (平均 $38.066 \mu g/g$) 的 3 倍以上, 表现明显的富集特征。

Table 1 Contents of elements in the soils of 21 strata in the southwest of Guangxi

元素 Element	最小值 Min. ($\mu g \cdot g^{-1}$)	中值 Median ($\mu g \cdot g^{-1}$)	最大值 Max. ($\mu g \cdot g^{-1}$)	几何平均值 Geometric Mean ($\mu g \cdot g^{-1}$)	算术 Arithmetic		世界土壤元素背景值 Background values of elements in soils of the world ($\mu g \cdot g^{-1}$)
					平均值 Mean ($\mu g \cdot g^{-1}$)	变异系数 C. V. (%)	
Fe	40300	79800	116600	73235	76957	29.45	39869 ^[6]
Al	58200	125100	171200	113653	119019	28.58	70971 ^[6]
S	14373335	208600	347711	218890	227539	28.45	329560 ^[6]
N	0	910	4300	969.68	1108.4	71.12	
P	92.4	561	1973	484.24	608.3	69.14	800 ^[6]
K	1550	7920	23200	7547.82	9271.6	62.36	14110 ^[6]
Na	281	427	3101	621.99	852.3	89.16	4970 ^[6]
Ca	156	430	26200	662.48	2167.1	254.32	14994 ^[6]
Mg	1101	2132	7750	2511.17	2934.9	62.47	5005 ^[6]
Mn	61.8	298	2568	394.99	731.6	117.35	500~ 1000 ^[6, 8]
Zn	43.9	145	336	134.56	159.7	56.54	50~ 100 ^[7]
Cu	18.9	34.6	98.4	135.36	38.5	45.71	15~ 40 ^[7, 8]
S	14	126	490	107.94	162.1	116.16	700 ^[6]
B	21	31.9	68.5	34.69	36.7	35.42	20~ 50 ^[8]
Mo	0.125	0.988	2.83	0.86	1.16	69.83	1~ 2 ^[8]
Co	8.19	13.0	27.5	13.30	14.3	40.56	10~ 15 ^[7, 8]
Ni	36.6	52.6	156	60.90	68.5	55.33	40~ 50 ^[6, 7]
Cr	16.9	86.0	284	86.75	106.0	62.26	100~ 300 ^[7, 8]
Sr	1.37	51.7	120	43.53	52.4	55.34	
Ba	35.9	117.0	618	125.07	163.8	82.84	
V	90.7	215.0	302	192.65	205.4	32.72	90~ 100 ^[6, 8]
As	4.84	48.1	128	41.99	55.7	64.99	5~ 6 ^[6, 7]
Ge	0.86	410	1531	200.04	460.3	82.34	
Ga	0.4	30.7	47.4	19.77	28.6	48.25	30 ^[8]
Se	0.031	0.896	2.58	0.70	1.09	70.64	0.2 ^[8]
Cl	22.1	46.3	270	46.82	58.0	89.83	
I	0.13	25.4	50.8	15.64	26.0	56.54	
W	0.764	5.71	8.96	3.89	5.05	58.02	
F	< 15		< 15				200 ^[9]
Br	< 15		< 15				
Sn	< 0.09		< 0.09				

表2 各地层土壤的化学组成

Table 2 The chemical composition of soil of strata

地层 Stratum	Fe ₂ O ₃ (g/kg)	Al ₂ O ₃ (g/kg)	SiO ₂ (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	Na ₂ O (g/kg)	CaO (g/kg)	MgO (g/kg)	MnO (g/kg)
€	66.48	180.64	610.31	0.71	19.64	0.44	0.22	6.50	0.39
D ₁₁	64.28	147.76	675.31	0.63	23.73	0.40	0.23	4.64	0.21
D _{2y}	74.57	140.20	637.21	1.20	27.95	0.59	0.28	3.61	0.16
D ₂₁ ¹	150.86	193.11	447.01	1.90	3.66	0.41	3.18	11.03	2.55
D ₂₁ ²	166.74	323.38	308.01	2.75	7.63	0.48	0.86	3.54	0.20
D ₃	138.14	269.82	407.11	1.72	9.54	0.58	0.90	3.98	1.08
G _{4y}	138.56	292.11	399.31	1.56	9.01	0.58	0.60	3.51	0.44
G _{4d}	127.27	318.00	348.11	1.63	6.07	0.39	0.87	3.12	0.35
C ₂	99.67	212.76	491.11	1.18	4.79	0.54	6.44	12.92	3.32
C ₃	136.71	270.58	389.31	1.29	5.29	0.51	0.51	2.03	0.08
P _{1q}	108.51	236.38	316.01	4.52	4.55	0.55	36.68	10.39	3.06
P _{1m}	135.99	306.48	365.41	2.00	9.16	1.25	0.57	3.55	0.46
P ₂	101.39	262.07	410.37			4.18	3.01	2.78	1.02
T ₁₁	104.96	200.47	469.72			2.79	5.67	8.17	3.55
T _{1b}	124.26	277.94	427.21	1.31	10.11	1.33	0.66	4.18	0.51
T _{2-3p} ¹	127.70	177.05	520.01	0.41	17.35	2.81	0.76	5.40	0.37
T _{2-3p} ²	64.49	109.97	745.11	0.59	11.36	1.84	0.41	2.79	1.21
T _{2-3p} ³	65.35	164.76	700.21	0.45	18.67	2.23	0.40	2.39	0.27
N	57.62	122.44	742.22	0.21	1.87	0.38	0.44	1.84	0.16
Qp	143.00	265.28	338.01	1.55	9.63	0.57	0.46	3.07	0.25
Qh	114.11	251.30	492.41	0.99	12.12	1.28	0.57	3.31	0.21

表3 土壤的风化及成土系数

Table 3 Coefficient of weathering and soil formation in different strata

地层 Stratum	层次 Horizon	SO ₂ /MgO		Fe ₂ O ₃ /SO ₂		Al ₂ O ₃ /SiO ₂		Fe ₂ O ₃ /MgO	
		分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value
€	土壤 Soil	62.60	6.86	0.04	1.33	0.17	2.13	2.55	8.79
	母岩 Parent rock	9.13	1.00	0.03	1.00	0.08	1.00	0.29	1.00
D ₁₁	土壤 Soil	97.87	1.92	0.04	1.00	0.13	0.81	3.50	1.75
	母岩 Parent rock	51.06	1.00	0.04	1.00	0.16	1.00	2.00	1.00
D _{2y}	土壤 Soil	118.00	3.44	0.04	1.33	0.13	1.08	5.18	5.57
	母岩 Parent rock	34.31	1.00	0.03	1.00	0.12	1.00	0.93	1.00
D ₂₁ ¹	土壤 Soil	27.09	451.50	0.13	2.60	0.25	1.14	3.43	1143.33
	母岩 Parent rock	0.06	1.00	0.05	1.00	0.22	1.00	0.003	1.00
D ₂₁ ²	土壤 Soil	58.33	9.05	0.20	10.00	0.62	8.85	11.84	43.85
	母岩 Parent rock	6.44	1.00	0.02	1.00	0.07	1.00	0.27	1.00
D ₃	土壤 Soil	67.85	1696.25	0.13	0.65	0.39	2.60	8.63	863
	母岩 Parent rock	0.04	1.00	0.20	1.00	0.15	1.00	0.01	1.00
G _{4y}	土壤 Soil	75.63	65.20	0.13	1.86	0.43	1.30	9.84	109.33
	母岩 Parent rock	1.16	1.00	0.07	1.00	0.33	1.00	0.09	1.00
G _{4d}	土壤 Soil	74.38	70.17	0.14	2.80	0.54	1.86	10.19	203.80
	母岩 Parent rock	1.06	1.00	0.05	1.00	0.29	1.00	0.05	1.00
C ₂	土壤 Soil	25.34	10.78	0.08	2.00	0.25	1.25	1.93	21.44
	母岩 Parent rock	2.35	1.00	0.04	1.00	0.20	1.00	0.09	1.00
C ₃	土壤 Soil	129.76	49.72	0.13	6.50	0.41	3.42	17.08	39.72
	母岩 Parent rock	2.61	1.00	0.02	1.00	0.12	1.00	0.43	1.00
P _{1q}	土壤 Soil	20.26	14.90	0.13	6.50	0.44	2.75	2.64	87.00
	母岩 Parent rock	1.36	1.00	0.02	1.00	0.16	1.00	0.03	1.00
P _{1m}	土壤 Soil	67.67	63.84	0.14	7.00	0.49	4.45	9.44	472
	母岩 Parent rock	1.06	1.00	0.02	1.00	0.11	1.00	0.02	1.00
P ₂	土壤 Soil	98.14	0.15	0.09	0.60	0.38	0.97	9.06	0.09
	母岩 Parent rock	649.30	1.00	0.15	1.00	0.39	1.00	99.20	1.00
T ₁₁	土壤 Soil	38.19	49.60	0.08	0.50	0.25	0.71	3.20	24.62

地层 Stratum	层次 Horizon	SO ₂ /MgO		Fe ₂ O ₃ /SO ₂		Al ₂ O ₃ /SiO ₂		Fe ₂ O ₃ /MgO	
		分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value	分子比 Molecular ration	相对值 Relative value
T _{1b}	母岩 Parent rock	0.77	1.00	0.16	1.00	0.35	1.00	0.13	1.00
	土壤 Soil	67.81	678.10	0.11	3.67	0.38	6.33	7.39	246.3
T _{2-3p1}	母岩 Parent rock	0.10	1.00	0.03	1.00	0.06	1.00	0.003	1.00
	土壤 Soil	64.20	1.94	0.09	1.50	0.20	1.54	5.91	3.14
T _{2-3p2}	母岩 Parent rock	33.07	1.00	0.06	1.00	0.13	1.00	1.88	1.00
	土壤 Soil	177.40	13.01	0.03	0.60	0.09	0.75	5.76	8.00
T _{2-3p3}	母岩 Parent rock	13.64	1.00	0.05	1.00	0.12	1.00	0.72	1.00
	土壤 Soil	194.50	1.35	0.04	1.33	0.14	1.56	6.80	1.84
N	母岩 Parent rock	144.12	1.00	0.03	1.00	0.09	1.00	3.69	1.00
	土壤 Soil	274.89	54.65	0.03	0.60	0.10	0.83	8.00	34.78
Qp	母岩 Parent rock	5.03	1.00	0.05	1.00	0.12	1.00	0.23	1.00
	土壤 Soil	72.22	0.53	0.16	1.60	0.46	0.94	11.46	0.83
	母质 Parent material	136.81	1.00	0.10	1.00	0.49	1.00	13.79	1.00

表 4 风化及成土过程元素的迁移(-)和富集(+)

Table 4 Movement (-) and enrichment (+) of elements in the process of weathering and soil formation

地层 Stratum	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)
∈	- 51.52	- 36.72	- 99.26	- 92.89	- 98.46	- 51.79
D ₁₁	+ 23.01	+ 12.20	- 94.42	- 35.37	- 16.67	- 32.08
D _{2y}	- 10.88	+ 44.49	- 90.63	- 74.31	- 81.82	+ 12.51
D _{2d1}	- 13.66	+ 135.00	- 99.97	- 99.82	- 98.44	- 98.85
D _{2d2}	- 89.26	+ 20.00	≈ - 100	- 98.81	- 98.25	- 92.02
D ₃	- 66.62	- 78.22	≈ - 100	- 99.98	- 95.08	- 74.03
C _{1y}	- 25.00	+ 29.84	≈ - 100	- 98.86	- 97.75	- 95.18
C _{1d}	- 48.00	+ 36.29	≈ - 100	- 99.25	- 99.00	- 92.38
C ₂	- 22.32	+ 57.71	- 99.98	- 92.76	- 97.10	- 91.65
C ₃	- 71.33	+ 121.45	≈ - 100	- 99.42	- 95.95	- 89.27
P _{1q}	- 62.71	+ 82.90	- 99.92	- 97.50	- 97.64	- 93.22
P _{1m}	- 77.08	+ 34.06	≈ - 100	- 99.64	- 97.76	- 89.42
P ₂	+ 4.41	- 36.67	+ 29.29	+ 593.84	+ 15.64	
T ₁₁	+ 42.75	- 26.09	- 99.98	- 97.11	- 89.15	
T _{1b}	- 82.81	- 29.13	≈ - 100	- 99.97	- 93.70	- 80.41
T _{2-3p1}	- 32.86	+ 8.83	- 88.15	- 65.35	- 59.27	- 35.35
T _{2-3p2}	+ 38.29	- 14.51	- 99.00	- 89.36	- 79.14	- 25.35
T _{2-3p3}	- 31.49	- 6.37	- 96.91	- 49.25	- 63.21	- 20.90
N	+ 20.68	- 21.90	- 99.99	- 97.78	- 92.00	- 99.30
Qp	+ 7.16	+ 68.68	+ 56.15	+ 103.80	+ 275.00	+ 122.08

2.4 土壤中元素的相关性

桂西南 21 个地层土壤元素间的相关分析表明,在总共 37 对元素组合中,达到 0.05 水平以上显著相关的有 10 对元素(占 28.84%),达到 0.10 水平相关的有 13 对元素(占 35.4%),而且以元素含量的正相关为主,0.05 水平以上显著相关的 10 对元素中 8 对为正相关(表 5)。Si 与其他元素间的关系多为负相关,而 Fe Al N P Ca Mg Mn Zn Cu Co Ni V 等各元素之间及与其他元素的关系多为正相关,Na B Sr Ge Ga Se 等元素与其他元素间较少存在相关关系。过渡元素间大多具有相关关系,第 4 族元素的 V Cr Mn

Fe Co Ni Cu Zn 等 8 个元素彼此相关,第 5 族的 Mg 与第 4 族的 Fe V 之间也存在相关关系。这在我国不同类型土壤中也有相似的现象,绝大多数过渡元素间者具有显著相关性^[5]。此外,易迁移元素如 Si Ca Mg Na K 等元素,仅 Si 与 K Ca 与 Mg 相互之间具相关关系,这可能反映了该区易迁移元素的土壤地球化学特点,在该区自然地理条件下,这些元素的表生地球化学发生了较显著的分异;而 Cl S N P 等易迁移元素间除 Cl 外,其余存在显著相关关系,Cl 与 Na 存在显著相关关系,反映了该区土壤的元素共生组合关系。

表5 土壤元素间的相关矩阵

Table 5 Correlation matrix among elements in soils

	Fe	Al	S	N	P	K	Na	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	S	B
Fe	+ 1.000	+++	---		++	--					++	+++		
Al	+ 0.809	+ 1.000	---		++	--								
Si	- 0.877	- 0.906	+ 1.000		---	++					---	--		
N	- 0.056	+ 0.104	- 0.360	+ 1.000	+++			+++	++	+++	+++		+++	
P	+ 0.517	+ 0.544	- 0.738	+ 0.804	+ 1.000	-		+++	+	++	+++	+	+++	
K	- 0.485	- 0.442	+ 0.501	- 0.176	- 0.401	+ 1.000				-	---	-		
Na	- 0.138	+ 0.104	+ 0.090	- 0.171	- 0.361	+ 0.298	+ 1.000							+
Ca	+ 0.007	+ 0.038	- 0.308	+ 0.958	+ 0.768	- 0.289	- 0.067	+ 1.000	+++	+++	+++		+++	
Mg	+ 0.008	- 0.115	- 0.168	+ 0.536	+ 0.375	- 0.227	- 0.136	+ 0.552	+ 1.000	+++	+++	++	++	
Mn	+ 0.004	- 0.104	- 0.177	+ 0.621	+ 0.469	- 0.429	+ 0.126	+ 0.604	+ 0.857	+ 1.000	+++	++	+++	
Zn	+ 0.460	+ 0.327	- 0.582	+ 0.566	+ 0.628	- 0.602	+ 0.027	+ 0.584	+ 0.793	+ 0.834	+ 1.000	+++	+++	
Cu	+ 0.587	+ 0.245	- 0.472	+ 0.201	+ 0.424	+ 0.413	+ 0.106	+ 0.193	+ 0.493	+ 0.505	+ 0.726	+ 1.000		
S	+ 0.061	+ 0.095	- 0.367	+ 0.961	+ 0.788	- 0.240	+ 0.025	+ 0.899	+ 0.488	+ 0.624	+ 0.555	+ 0.252	+ 1.000	
B	+ 0.316	+ 0.160	- 0.158	- 0.141	+ 0.0004	+ 0.0009	- 0.423	- 0.257	- 0.289	- 0.282	- 0.200	- 0.081	- 0.217	+ 1.000
Mo	+ 0.575	+ 0.469	- 0.512	+ 0.098	+ 0.243	- 0.382	- 0.186	- 0.118	- 0.017	+ 0.090	+ 0.250	+ 0.360	+ 0.195	+ 0.374
Co	+ 0.271	+ 0.072	- 0.354	+ 0.540	+ 0.488	- 0.511	+ 0.141	+ 0.546	+ 0.800	+ 0.886	+ 0.904	+ 0.748	+ 0.581	- 0.289
Ni	+ 0.296	+ 0.112	- 0.379	+ 0.563	+ 0.534	- 0.438	- 0.133	+ 0.618	+ 0.830	+ 0.690	+ 0.836	+ 0.690	+ 0.453	- 0.285
Cr	+ 0.057	+ 0.036	- 0.221	+ 0.288	+ 0.242	- 0.329	+ 0.346	+ 0.219	+ 0.258	+ 0.436	+ 0.463	+ 0.443	+ 0.271	- 0.205
Sr	+ 0.164	+ 0.150	- 0.163	+ 0.054	+ 0.165	- 0.155	+ 0.670	+ 0.125	+ 0.073	+ 0.343	+ 0.281	+ 0.255	+ 0.204	- 0.417
Ba	- 0.488	- 0.370	+ 0.460	- 0.035	- 0.303	+ 0.783	- 0.228	+ 0.190	+ 0.013	- 0.302	- 0.460	- 0.355	- 0.177	- 0.048
V	+ 0.874	+ 0.775	- 0.862	+ 0.168	+ 0.557	- 0.622	+ 0.005	+ 0.123	+ 0.162	+ 0.235	+ 0.630	+ 0.689	+ 0.196	+ 0.237
As	+ 0.617	+ 0.824	- 0.733	+ 0.090	+ 0.474	- 0.374	+ 0.148	+ 0.042	- 0.126	- 0.063	+ 0.335	+ 0.276	+ 0.079	- 0.017
Ge	- 0.356	- 0.289	+ 0.459	- 0.191	+ 0.293	+ 0.223	+ 0.192	- 0.141	- 0.154	- 0.202	- 0.401	- 0.336	- 0.263	- 0.051
Ga	- 0.262	- 0.352	+ 0.242	- 0.024	- 0.170	+ 0.205	+ 0.065	- 0.055	- 0.047	+ 0.053	- 0.112	+ 0.055	+ 0.028	+ 0.211
Se	+ 0.128	+ 0.253	- 0.170	- 0.201	+ 0.070	+ 0.169	- 0.181	- 0.274	- 0.362	- 0.338	- 0.287	- 0.082	- 0.128	+ 0.238
Cl	- 0.305	- 0.148	+ 0.165	- 0.066	- 0.375	+ 0.386	+ 0.728	- 0.023	- 0.191	- 0.021	- 0.092	- 0.082	- 0.090	- 0.374
I	- 0.431	- 0.460	+ 0.562	- 0.198	- 0.583	+ 0.597	- 0.218	- 0.213	- 0.004	- 0.272	- 0.448	- 0.485	- 0.322	+ 0.084
W	+ 0.739	+ 0.701	- 0.638	+ 0.031	+ 0.484	- 0.380	- 0.542	- 0.043	- 0.235	- 0.322	+ 0.043	+ 0.206	- 0.037	+ 0.562
	Mo	Co	Ni	Cr	Sr	Ba	V	As	Ge	Ga	Se	Cl	I	W
Fe	+++					--	+++	+++						+++
Al	++					-	+++	+++						+++
Si	--		-			++	---	---	--			+++		---
N		++	+++											
P		++	++				++	+					---	++
K	-	--	--			+++	+++	-				+	++	-
Na					+++							++		--
Ca		+++	+++											
Mg		+++	+++											
Mn		+++	+++	++										
Zn		+++	+++	++		--	+++	-					--	
Cu		+++	+++	++			+++						--	
S		+++	++											
B	+				-									+++
Mo	+ 1.000						++					--	-	++
Co	+ 0.171	+ 1.000	+++	+++		-	++		-					
Ni	- 0.035	+ 0.781	+ 1.000				+				--			
Cr	- 0.081	+ 0.552	+ 0.273	+ 1.000						++		++	---	
Sr	+ 0.031	+ 0.299	+ 0.066	+ 0.095	+ 1.000	-								
Ba	- 0.314	- 0.372	- 0.241	- 0.296	- 0.420	+ 1.000	+++						+++	
V	+ 0.534	+ 0.502	+ 0.379	+ 0.322	- 0.175	- 0.578	+ 1.000	+++	--				---	+++
As	+ 0.333	+ 0.095	+ 0.144	- 0.028	+ 0.239	- 0.358	+ 0.695	+ 1.000		-			++	
Ge	- 0.410	- 0.234	- 0.233	- 0.358	- 0.166	+ 0.296	- 0.436	- 0.373	+ 1.000				+++	
Ga	+ 0.010	+ 0.153	- 0.049	+ 0.507	- 0.234	+ 0.131	- 0.072	- 0.416	+ 0.154	+ 1.000				
Se	+ 0.209	- 0.368	- 0.506	- 0.114	- 0.064	+ 0.134	+ 0.014	+ 0.203	- 0.114	- 0.155	+ 1.000			
Cl	- 0.439	+ 0.019	- 0.070	+ 0.531	+ 0.223	- 0.072	- 0.076	+ 0.088	- 0.085	+ 0.283	- 0.209	+ 1.000		--
I	- 0.411	- 0.346	- 0.142	- 0.561	- 0.263	+ 0.646	- 0.573	- 0.431	+ 0.627	+ 0.088	- 0.306	- 0.183	+ 1.000	
W	+ 0.469	- 0.165	- 0.053	- 0.281	- 0.264	- 0.199	+ 0.564	+ 0.435	+ 0.024	- 0.248	+ 0.314	- 0.561	- 0.160	+ 1.000

“+”或“-”表示呈正或负相关;“+++”或“---”,“++”或“--”,“+”或“-”分别为0.01,0.05,0.10水平显著;“+” or“-” shows correlation among elements
“+++” and“---”,“++” and“--”,“+” and“-” stand for significant at 0.01, 0.05, 0.10 levels, respectively.

2.5 主要植物的吸收系数与顺序

广西隆安县板栗、荔枝、玉米、甘蔗等主要经济林木和农作物植株的元素平均含量顺序为: $Si > Ca > N > K > Mg > P > Cl > Mn > S > Al > Fe > Na > Zn > Cu$, 生物吸收顺序为 $Cl > N > Ca > S > P > Mg > Mn > K > Cu > Zn > Na > Si > Al \approx Fe$ (表 6)。赤红壤地区的植物中, Si 的含量一般大于 Ca, 且碱金属和碱土金属总量较低, Fe、Al 相对偏高^[9,12], 本区的植物化学组成亦有类似情况, 其生物吸收顺序也较相似, 且生物吸收系数从 $n \times 10^{-3} \sim n \times 10^1$ 不等, 相差很大, 与海南常绿阔叶林等植被类型生物吸收顺序也有相似性^[13]。这不仅反映各元素的生物吸收特点, 同时也反映土壤元素的富集程度和赋存特点。

表 6 主要植物化学组成及元素生物吸收特点

Table 6 Chemical composition of main plants and characteristics of biological absorption of elements

元素 Element	含量 Contents		生物吸收系数 Coefficient of biological absorption	生物吸收顺序* Order of biological absorption
	植物 Plants ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	土壤 Soils ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)		
Si	13937	227539	0.06	12
Ca	13238	2167	6.10	3
N	11231	1108	10.14	2
K	6739	9272	0.73	8
Mg	3865	2935	1.32	6
P	1087	608	1.79	5
Cl	827	58	14.26	1
Mn	784	732	1.07	7
S	687	162	4.24	4
Al	254	119019	0.002	13
Fe	153	76957	0.002	13
Na	86	852	0.10	11
Zn	23	160	0.14	10
Cu	13	39	0.33	9

* 数字大小表示排序先后 The number denotes sequence; 样品数 No. of Sampling = 21.

该区分布有较大面积的棕色石灰土, 但由于地带性生物气候条件的作用, 隐域性分布的土壤也明显地带带有地带性的烙印, 地球化学过程、元素的迁移和富集、生物吸收顺序等方面均显示出与红壤区的一致性。

3 结语

桂西南 21 个地层土壤中 3 种元素含量分异明显; 与世界土壤元素背景值比较, 本区有 7 种元素高于世界元素背景值, 1 种元素较低; 与地带性土壤元素平均含量比较, 本区 B、Mo、Mn、Zn 含量略偏低, Cu 含量

偏高, As 高于土壤临界含量。

石灰岩、白云岩、硅质岩等基性岩发育的土壤比由粉砂岩、页岩、泥岩和第四纪红土等基岩发育的土壤富铝化程度深, Fe、Al 富集明显。

各地层母岩(质)风化成土过程中元素迁移和富集状况有一定差异, 但均以 Si、Ca、Mg、Na、K 等的迁移和 Fe、Al 的富集为主要特征。

约占 1/3 的元素组合之间存在相关关系 ($P < 0.05, P < 0.01$), 且以正相关为主, 过渡元素间大多具有显著相关性; 易迁移元素中 Si、Ca、Mg、Na、K 等较少存在相关关系, 而 S、N、P 相互间存在显著相关性, Cl 与 Na 存在显著相关关系。

本区主要植物的元素生物吸收顺序与地带性植被相似, 隐域性分布的棕色石灰土也明显带有地带性烙印和特征。

参考文献

- 1 童潜明, 杨慧敏. 地质学对土壤学的影响. 见: 周恩湘等主编. 土壤地质. 北京: 北京地质出版社, 1994. 264~ 270.
- 2 李先琨, 黄玉清, 邓庆等. 隆安县不同地层岩石与土壤中的元素自然含量特征. 广西科学, 1997, 4(2): 112~ 117.
- 3 中国环境监测总站主编. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- 4 李庆远主编. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983. 1~ 40, 171~ 193.
- 5 夏增禄, 李森照, 罗金发. 喀喇昆仑山-西昆仑山地区土壤微量元素的自然含量特征. 应用生态学报, 1992, 3(1): 28~ 35.
- 6 童潜明, 张建新主编. 湖南农业地质概论. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1994. 5~ 15.
- 7 中科院土壤背景协作组. 北京南京地区土壤中若干元素的自然背景值. 土壤学报, 1979, 16(4): 319~ 328.
- 8 唐丽华, 徐俊祥, 朱其清等. 黄壤中微量元素的含量和分布. 土壤学报, 1983, 20(2): 186~ 196.
- 9 熊毅, 李庆远主编. 中国土壤. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 1987. 39~ 54, 565.
- 10 中科院贵阳地球化学所编译组. 简明地球化学手册. 北京: 科学出版社, 1977. 60~ 88.
- 11 夏增禄. 中国主要类型土壤若干重金属临界含量和环境容量区域分异的影响. 土壤学报, 1994, 31(2): 161~ 169.
- 12 韦启瑞, 陈鸿昭, 吴志东等. 广西岩溶自然保护石灰土的地球化学特征. 土壤学报, 1983, 20(1): 30~ 42.
- 13 王景华. 海南岛土壤和植物中的化学元素. 北京: 科学出版社, 1987. 104~ 106.

(责任编辑: 邓大玉)