

云南典型热带森林生态系统中微量元素 的生物地球化学特征研究

王旭

(中国科学院生态环境中心区域生态室)

章申

(中国科学院地理所化学地理室)

摘 要

本文以我国云南典型热带森林生态系统为研究对象,在物质循环较封闭的地段,按照不同地貌部位、不同的物质淋溶堆积景观类型进行采样,采样时在同一单元景观内同时收集土壤、风化壳、植物和天然水的样品,分析各样品中九种重金属元素的含量分布以及土壤风化壳样品中各元素的六种赋存形态的含量分布,通过对比元素在不同单元景观间、不同景观要素间和景观要素内部的分异特征,从而给出热带森林生态系统中元素的分布形成规律和动态分异特征。

一、研究意义、方法和实施

微量元素在生命系统中的作用已逐渐引起人们的重视,有些微量元素已被证明是生物生长发育所必不可少的。研究它们在植物、土壤和地表水中的物质迁移转化规律,将成为生态系统的化学结构和动态特征研究的一个有益的课题。目前,关于热带森林生态系统的研究工作在国际上仍是薄弱环节,尤其对热带森林生态系统中微量元素的生物地球化学研究更加少见,因此我们这项工作是这方面研究的一个有益的尝试。

我们选择受人类干扰较少,保护较完好的云南西双版纳勐仑热带植物保护区为试验点。按照B.Б.波雷诺夫有关景观地球化学的概念和原理,在保护区内选择了一个物质循环较封闭的地段,从地势较高的分水岭丘陵顶部的残积景观,依次向下按坡积景观、水上景观和水下景观的单元景观类型进行采样。在每一个单元景观内同时收集土壤、风化壳和植物样品。土壤按发生层依次采集各层土样,植物分别按叶、茎、果等不同部位收集;在水下景观采集的水样现场加高纯硝酸酸化到 $\text{pH} = 2$,以防瓶壁对元素的吸附,所用的聚乙烯塑料瓶预先用稀硝酸浸泡过夜,然后用超纯水冲洗过。固体物质(土壤和风化壳)微量元素的六种化学形态分析方法,采用Tessier(1979)的连续浸提法,分别提取出水溶相、可交换相、碳酸盐相、铁锰氧化物胶膜相、有机硫化物相和残渣晶格相。土壤全量和残渣晶格相用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$ 消化,测定Fe、Mn、Cu、Zn、Ni、Co、Pb和Cd等元素;用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3\text{-HF}$ 消化,测定元素Cr。植物样品采用干灰化法测定,灼烧时高温电炉温度不超过 450°C 。

二、云南热带森林生态系统中微量元素的含量分布特征

从分水岭顶部残积景观到沟底的水上景观的完整系列中(见图1),发生着物质自上而下的淋溶过程,由于水热条件的变化,其土壤、植被状况也发生相应变化,在分水岭顶部的

本文於1988年12月8日收到。

残积处境下发育着地带性的砖红壤, 逐渐下到沟底由于地下水埋葬较浅, 形成水成性质的隐地带性草甸森林土。植被状况为顶部残积处境下发育的季雨林带有亚热带季风常绿阔叶林的成份, 当向下过渡到沟谷底部平缓地段, 由于水份条件变好, 上层乔木发育较好, 成为典型的沟谷雨林植被类型。该区土壤的各种理化性质结果见表 1。

沟底溪水的水化学性质见表 2, 它属于碳

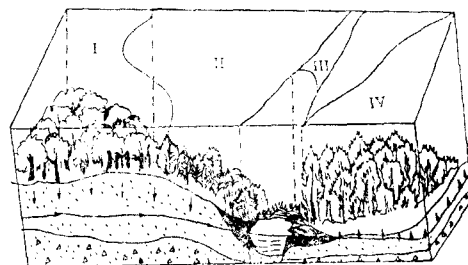


图 1 云南热带森林生态系统块状示意图

Fig.1 Landscape prism drawn to show tropical forest ecosystems in Yunnan

表 1 云南热带森林土壤的理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of tropical forest soils in Yunnan

景观类型	剖面深度 (cm)	有机质 (%)	pH (H ₂ O)	机械组成 (%)						吸湿水
				<0.001	0.005—0.001	0.01—0.005	0.01—0.05	0.05—0.25	1—0.25	
残积景观土壤	0—5	4.25	4.21	46.0	29.5	10.7	9.3	2.2	/	2.3
	20—30	2.94	4.00	47.0	30.0	10.0	10.6	/	/	2.4
	60—70	1.66	3.95	58.5	23.0	10.5	5.8	/	/	2.2
	>100	0.77	4.15	38.5	20.7	13.3	14.0	10.6	0.7	2.2
坡积景观土壤	0—20	7.26	5.10	24.0	34.0	17.6	10.1	9.5	2.3	2.5
	40—50	2.24	3.54	35.6	37.0	8.7	7.5	7.2	2.3	1.7
	50—60	1.42	3.70	42.8	33.2	11.0	7.5	1.6	1.9	2.0
	80—100	1.03	3.80	45.0	26.5	12.5	7.0	3.7	3.6	1.7
水上景观土壤	0—5	10.38	6.30	23.8	24.9	17.3	18.8	10.3	1.5	3.4
	10—25	3.67	5.50	31.0	31.2	14.5	13.3	6.3	1.2	2.5
	40—60	1.79	5.70	42.0	31.5	11.5	12.5	6.3	0.1	2.1
	70—80	1.36	6.20	45.0	20.5	12.3	11.2	5.9	3.5	1.6
	>100	1.36	6.30	24.6	19.4	15.5	15.7	8.6	14.8	1.4

酸盐、钙质 I 型水, 符号 C₁^o (按 O·A·阿尔金(1959)的分类), 沟底溪水作为化学物质淋溶的最终归宿反映了景观的淋溶状况。

表 2 云南热带森林景观沟谷溪水的水化学性质 (单位: mg/l)

Table 2. Water chemical properties of the small brook of tropical forest ecosystems in Yunnan (mg/l)

离子种类	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ + Na ⁺	全盐量
含量	n.d	225.1	21.3	n.d	49.3	9.10	24.8	329.6

兹将云南热带森林生态系统中土壤、水和植物中的微量元素的总量分布列于表 3 和表 4。

微量元素的总量不能全面反映出元素的特征, 由于微量元素在环境中的赋存状态不同, 它们的生物可利用性也是大不相同的, 现将本区域土壤中微量元素的六种地球化学形态的含量特征列于表 5。

表 3 云南热带森林生态系统中土与水的微量元素含量 (土: ppm 水: $\mu\text{g/l}$)Table 3 Trace elements contents of soils and water of tropical forest ecosystems in Yunnan (soil: ppm, water: $\mu\text{g/l}$)

土、水	元 素	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Pb	Fe	Cr	Cd
残积景观砖红壤		54.9	31.6	23.9	117.0	14.3	14.5	42200	63.3	33.2
坡积景观砖红壤		120.0	29.7	27.5	122.6	12.8	18.7	36110	63.2	70.8
水上景观草甸森林土		266.8	26.3	23.1	135.7	15.4	20.9	33900	41.9	172
总平均		147.3	29.2	24.8	125.1	14.7	18.0	37400	56.1	92
水下景观溪水		64.5	3.53	0.25	4.58	0.22	0.36	231	0.3	0.021

表 4 云南热带森林生态系统中植物微量元素含量 (占干重mg/kg)

Table 4 Trace element contents of selected plants in tropical forest ecosystems of Yunnan (mg/kg Dry Weight)

位置	植物名称	部位	Mn	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cr	Co	Cd
分水岭顶部残积景观	帽瓣蒲桃 <i>Syzygium oblatum</i> (Roxb.) Cowan	叶	98.2	14.4	14.6	5.00	114.1	0.61	0.035	0.18	0.023
		茎	19.8	7.15	8.1	1.70	24.2	0.33	0.018	0.057	0.0065
	大花哥纳香 <i>Goriotalamns griffithii</i> Hook fet Thoms	叶	1674	11.4	15.4	6.30	74.4	/	0.021	0.056	0.096
		茎	548.5	32.2	32.3	1.03	28.2	0.24	0.008	0.15	0.37
	鳞毛蕨属 <i>Dryopteris</i>	全株	229.3	16.1	59.0	4.30	119.8	0.44	0.052	0.19	0.0055
	斑果藤 <i>Stixis saaveolens</i> (Roxb.) Pierre	叶	1312	12.3	9.62	3.32	69.9	0.34	0.096	0.069	0.011
山坡坡积景观		茎	66.8	10.1	4.20	0.54	18.9	0.29	0.012	0.019	0.0069
	假海桐 <i>Pitto sporopsis</i> Kerril Craib	叶	1079	2.48	7.72	2.70	54.5	0.14	0.020	0.18	0.0069
		茎	166.6	4.60	7.91	1.36	19.7	0.23	0.018	0.057	0.016
	节鞭山姜 <i>Alpinia conchigera</i> Griff	叶	1016	2.90	8.86	2.17	55.8	0.17	0.020	0.025	0.012
		茎	186.5	5.03	4.20	0.70	20.9	0.26	0.008	0.044	0.013
	黄腺羽蕨 <i>Pleocnemia Winitii</i> Holtum	叶	138.1	19.9	42.7	4.30	138.4	0.34	0.104	0.106	0.026
山脚水上景观		茎	9.53	18.5	12.1	0.86	18.5	0.47	0.010	n.d	0.022
	木奶果 <i>Baccaccrea ramicflora</i> Lour	叶	303.4	6.30	31.7	7.90	33.5	0.32	0.083	5.80	0.0035
		茎	72.5	5.03	9.43	8.56	22.6	0.20	0.062	1.19	0.0041
	大叶藤 <i>Tinomisium tonkimensis</i> Gagn	叶	18.4	29.7	26.3	3.32	76.8	0.26	0.020	0.44	0.017
		茎	26.9	15.2	13.0	0.54	30.7	0.18	0.012	0.25	0.0032
	棕叶芦 <i>Thysanolaena maxime</i> (Roxb.) O.ktze	叶	283.4	11.4	27.7	6.60	130.7	/	0.035	0.18	0.0075
山脚水上景观		杆	143.8	7.15	54.5	2.67	41.2	0.22	0.008	0.11	0.0077
	粗丝木 <i>Gomphondra tetrandre</i> (Well.) Slem	叶	103.9	6.30	16.9	2.01	146.5	0.33	0.031	0.069	0.0029
		茎	24.4	9.28	16.6	2.99	23.8	0.14	0.014	0.025	0.017
	杜若 <i>Pollia</i> Sp.	叶	368.9	7.58	24.8	3.81	136.4	0.12	0.020	0.057	n.d
		茎	143.8	10.12	27.9	1.36	41.6	/	0.012	0.069	0.0007
	华羽棕 <i>Wallechra chinensis</i> Burret	叶	30.3	8.85	16.3	0.70	176.5	0.21	0.033	n.d	n.d
山脚水上景观		杆	3.55	12.3	4.86	0.31	14.5	0.26	0.006	n.d	n.d
		果	22.4	9.28	13.4	0.44	43.2	n.d	n.d	n.d	n.d
	上树蜈蚣 <i>Rhaphidophora lancifolia</i> Schott	叶	192.2	18.6	64.1	1.03	214.1	0.002	0.041	0.057	n.d
山脚水上景观		茎	109.6	11.8	40.1	1.29	75.2	0.003	0.012	0.088	n.d

续表 4

位置	植物名称	部位	Mn	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cr	Cd	Cd
山脚水土景观	柃叶 <i>Phrynium capitatum</i> (Lour) Mezz	叶	226.4	4.18	15.5	4.96	117.3	0.002	0.020	0.106	0.024
		茎	123.8	7.15	40.8	2.01	50.9	/	0.012	0.057	0.081
	云南芽蕨 <i>Pteridrys cnemidria</i> (Christ) C.Chr. et C.H.	叶	26.9	11.0	24.9	0.37	144.9	0.43	0.029	0.025	0.011
		茎	1.55	4.60	15.3	0.18	20.1	/	n.d	n.d	0.015
	野椴 <i>Mananthus patentiflora</i> (Hemsl) Bremek	叶	41.2	12.3	46.3	1.07	174.4	0.002	0.025	0.057	0.0078
		茎	17.2	9.28	13.8	0.21	43.6	0.182	0.005	n.d	0.0028

表 5 云南热带森林土壤中微量元素形态分布 (范围/全剖面平均值 ppm)

Table 5 Fraction of trace element's speciation of tropical forest Soils in Yunnan (extent/average ppm)

形态	元 素								
	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Pb	Fe	Cr	Cd
水溶态 I	0.08—1.86 0.54	0.021—0.14 0.066	n.d n.d	n.d—0.83 <0.36	n.d n.d	0.043—0.34 0.18	2.19—31.8 13.7	0.005—0.042 0.013	n.d
可交换态 II	1.62—24.1 12.4	0.004—0.123 0.046	n.d—0.204 <0.15	n.d—0.21 <0.10	n.d—0.21 <0.10	n.d n.d	0.44—17.6 6.50	n.d—0.024 <0.010	0.033—15.8 6.16
碳酸盐态 III	0.33—4.76 2.12	n.d—0.21 0.097	n.d—0.27 <0.12	0.79—35.2 4.00	0.051—0.20 0.10	n.d—0.23 <0.11	5.5—15.4 9.07	0.014—0.09 0.039	n.d—37.8 <9.2
铁锰氧化态 IV	5.49—3.65 103.9	1.87—n.d 0.87	0.18—3.52 1.24	1.80—53.0 13.3	n.d—3.10 <1.14	0.39—2.01 0.97	2098—6483 4018	0.22—0.72 0.47	10.8—105 37.0
有机硫化物态 V	1.14—57.2 13.5	0.70—7.84 2.13	0.099—2.20 0.71	1.17—10.6 3.35	0.15—1.43 0.68	0.59—2.81 1.14	2.0—1483 213	0.23—1.11 0.54	6.3—26 12.3
残渣晶格态 VI	25.3—71.6 37.9	20.5—32.2 24.7	15.8—32.1 22.9	52.9—156.8 103.6	7.63—13.3 10.7	6.44—28.1 12.2	15338—42494 29478	25.6—58 41.2	1.76—85 35

三、热带森林生态系统中微量元素的动态特征

1. 残积—水上一水下景观中微量元素的淋溶分异

化学元素从岩石风化中释放出来以后,在表生地球化学作用下,重新发生分异作用,这一作用主要是通过化学溶蚀、迁移淋溶和沉淀,在地表的各个尺度规模上重新分配。首先,

从分水岭顶部的残积景观向沟谷底部的水上景观,具有一个由淋溶转向堆积的趋势。按A.И.彼列尔曼的水迁移计算公式计算,热带森林生态系统中各元素的水迁移系数见表6。若我们将堆积景观中各元素的平均含量除以残积景观中各元素含量,所得的比值记为系数A,它可作为元素从残积景观向堆积景观淋溶的程度标志,它反映了残积景观和堆积景观间的地球化学对比性,这一比值与水迁移系数Kx值之间具有一定的相关性(图2)。

表6 热带森林生态系统中微量元素水迁移系数Kx值和A值

Table 6. Values of Kx (coefficients of aqueous migration) and A (defined in article above) of trace elements in tropical forest ecosystems of Yunnan

元素	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Pb	Fe	Cr	Cd
Kx值	0.245	0.107	0.0042	0.347	0.0067	0.054	0.0149	0.0028	0.013
A 值	0.85	0.83	0.96	1.16	1.08	1.44	0.80	0.66	5.20

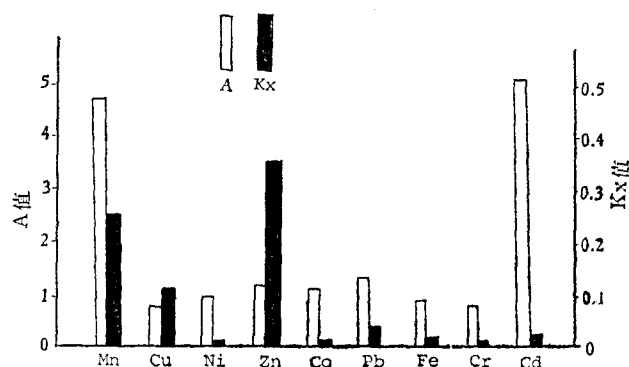


图2 残积—堆积景观间元素A值和Kx值关系

Fig.2. Relationship of values A and Kx of trace elements between eluvial landscape and alluvial landscape

在物质循环较封闭的地段,迁移越强烈的元素,在堆积景观中的聚集现象就越明显;相反,A值<1的元素Cr、Fe、Cr等,在热带森林生态系统的残积景观中反而因其它元素的淋失而相对富集。但总的来说,除Mn和Cd外,其它各元素的A值几乎都在1左右。说明它们通过淋溶而在堆积景观中的富集是不明显的,其地球化学对比性较小。

2. 各单元景观土壤剖面中元素的分异特征

化学元素在每一单元景观内部,即各土壤剖面中也形成更次一级的小尺度的分异(图3)。

从微量元素总量在土壤剖面中的分异规律看,残积景观砖红壤剖面中各元素明显自上而下在淀积层聚积。个别元素(Zn和Pb)在淋溶层被明显淋溶。坡积的砖红壤剖面由于受地表径流和地下径流的侧流影响,因而在土壤次表层的淋溶不明显,但仍表现出向下部堆积的趋势。其中,较易移动的元素Mn出现自表层向下层减少的相反趋势,这明显是受残积景观淋出的地表径流影响的缘故。沟谷底部的水上景观具有水成土壤的性质,土壤母质层上部出现灰蓝色粘重的潜育层(G层),在这种草甸森林土中,Mn、Fe、Ni、Cr和Co诸元素在潜育层中含量少,而在其上层出现聚集现象,可能是由于还原条件下这些元素随毛细管水上升的活动性所致。相反Cu、Zn和Pb诸元素在潜育层中积累很显著。残渣晶格态元素含量在剖面中与总量分布轨迹相当吻合,尤其在残积景观表现最明显,这与土壤中元素主要以残渣晶

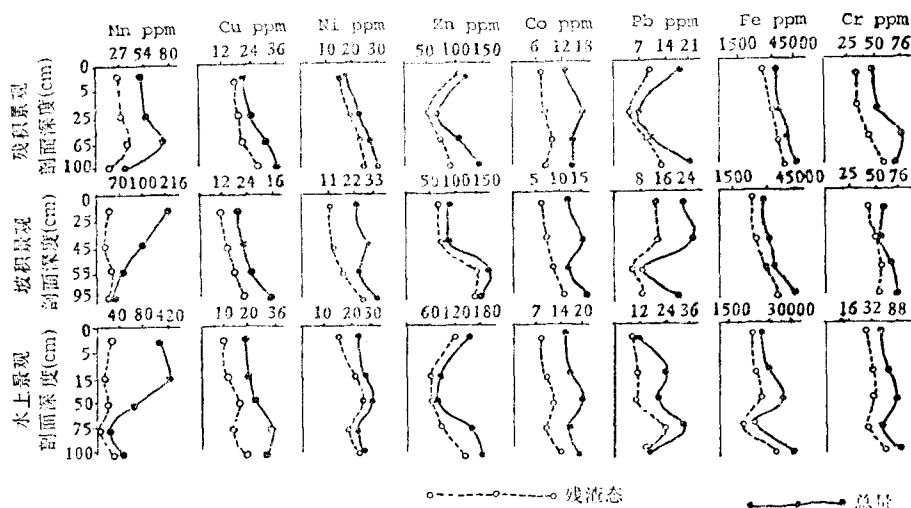


图3 单元景观土壤中微量元素总量和残渣态的含量分异

Fig.3. Distribution of total contents and residual contents of trace elements in soils of elementary landscapes

格态存在的结论是一致的。

土壤有机硫化物结合态的微量元素含量,基本上与有机质含量的分布相一致,从上层向下层急剧减少,这一规律在残积景观较典型,而水上景观的草甸森林土则在土壤下部潜育层中出现另一个元素的富积层,这可能是由于潜育层还原条件下存在硫化物的结合态微量元素。

土壤中铁锰氧化态在剖面中的分布较复杂,它一方面取决于铁锰氧化物的数量,另一方面与各元素和铁锰氧化物的共生性质有关。在热带的富铝化成土作用下,Fe、Mn元素以氧化物形式共存的量占总量比例分别达20%和70%左右,并且在残积景观土壤的淀积层明显富积氧化态的铁锰物质,而在水上景观土壤中,氧化态铁锰富集在土壤次表层,还原条件下的土壤底层和潜育层含量较少。其它各元素的铁锰氧化态除Cu以外,大部分在残积景观土壤中从表层向下层减少,个别元素(Zn)在淀积层有富积现象。

碳酸盐态的各元素含量在土壤剖面中的分布特征较一致,即在残积景观土壤中从表层向下层减少。事实上,热带气候条件下砖红壤中碳酸盐已淋失殆尽,碳酸盐态各元素含量与实验中的弱酸(HAc-NaAc)提取方法有关,所以其含量与土壤的pH值有关。在酸性相对较弱的水上景观草甸森林土中碳酸盐态元素含量较高,而在土壤底层有弱堆积现象。

可交换态元素的含量与有机和无机粘粒对元素的吸附有关(见图4),残积景观砖红壤中Cu、Zn和Cr分布基本一致,与0.01—0.005mm粉砂级颗粒含量轨迹相吻合,可交换态Fe、Mn和Cu分布基本从上向下减少。坡积景观砖红壤中Fe、Mn、Co、Cu、Zn和Cr分布轨迹都很近似,即在次表层含量增高,与0.005—0.001mm级颗粒分布一致。水上景观各元素分布较复杂,除Co外,没有发现元素在潜育粘化层(G)中的富积现象。

水溶态各元素的分布规律不明显,一般表现为在残积景观土壤中从上向下减少,坡积和水上景观土壤中这一现象不明显。

3. 景观中植物-土壤系统微量元素分异

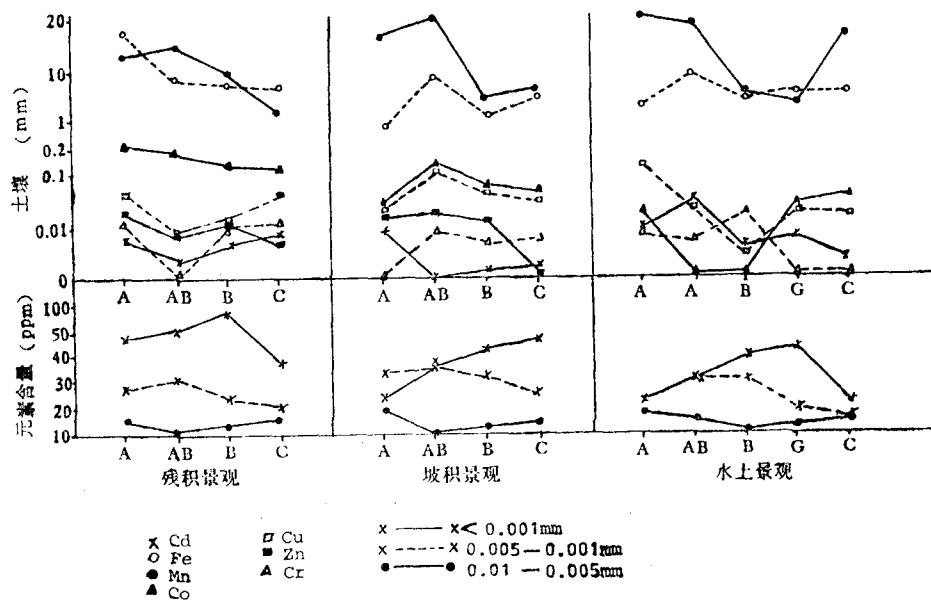


图4 土壤可交换态元素含量与土壤颗粒关系

Figure 4 Relationships between the exchangeable contents of trace elements and particles of soils

在景观中的植物与土壤间的元素交换,也是一种尺度上的元素分异,它主要通过植物对土壤中元素的选择性吸收而富集元素于活植物体中。云南热带森林中植物的生物富集系数值见表7。

表7 热带森林生态系统中植物的生物吸收系数 A_x 值

Table 7 Coefficients of biological richment of selected plants in tropical forest ecosystems of Yunnan

类型	元素	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Pb	Fe	Cr	Cd
残积景观	叶	1014	5.59	3.88	3.88	0.163	0.342	0.037	0.0144	20.2
砖红壤	茎	141.6	15.8	2.78	3.18	0.206	0.697	0.027	0.0137	118
坡积景观	叶	9.07	8.26	2.43	4.25	1.03	0.169	0.043	0.0131	1.24
砖红壤	茎	3.61	14.56	1.80	3.80	<0.62	0.334	0.019	0.0067	2.35
水上景观	叶	2.94	3.18	0.783	1.37	<0.039	<0.200	0.044	0.0052	0.09
草甸森林土	茎	1.37	4.51	0.69	1.46	<0.040	<0.276	0.014	<0.0033	1.58

从上表看出, Mn、Ni和Cr元素在植物叶中的聚积强于茎,并且从残积景观、坡积景观向水上景观过渡时,生物富集系数减小; Fe和Zn元素也表现中叶中积累大于茎中的积累。相反, Cu和Pb元素则在茎中积累大于叶中积累。表7的结果表明,在云南热带森林生态系统中Mn、Cu、Zn和Ni作为大部份植物的堆积元素($A_x > 1$),一方面由于这些元素水迁移强烈(见表6),它们在景观中相对比较活跃,易为植物所吸收;另一方面也由于这些元素的淋失,而使环境中这些元素相对贫乏,因而植物相对于土壤环境来说就堆积这些元素。

3. 云南热带森林生态系统中微量元素的物质循环特征

从云南热带森林生态系统中各单元景观之间以及它们内部的物质运动和积累情况看,残

积景观以淋溶为主,在土壤B层中出现化学元素淀积垒,贮存Mn、Cu、Ni、Zn、Pb、Fe和Cr等元素。坡积景观土壤中的次表层就出现Ni、Co和Pb等元素的淀积垒,其它各元素也在底层有淀积现象。在水上草甸森林土中,剖面下部潜水面以上,有一粘化的灰蓝色潜育层,形成化学元素的吸附垒和还原垒,贮存Cu、Zn和Pb等元素;在潜育层向上由还原条件向氧化条件转化时,又形成氧化垒,贮存Mn、Fe、Cr、Co和Ni等元素。热带森林另外一个重要的物质循环体系是森林植被与土壤系统间的生物地球化学循环,它首先在活的森林植被中形成元素的富集,其中Mn、Ni、Zn、Fe和Cr元素在叶中积累,通过落叶返回土壤表层,因而具有较快的物质循环速率。而聚集在植物茎中的元素Co、Cu和Pb等物质循环则较慢。其次,在土壤表层的腐殖质层中形成生物-吸附垒,富集各种微量元素,这一富集现象在热带森林土壤中不如草原生态系统明显。

总之,热带森林生态系统中,物质循环较快,在残积景观中易水迁移元素淋溶强,而水迁移弱元素反而相对富集(Fe、Cr等)。在水上景观土壤中,微量元素的堆积并不明显,因为热带高温高湿气候条件下,不封闭的水上景观中的元素仍有可能继续从景观中被淋溶而迁移出去。

四、小 结

1. 云南热带森林生态系统物质淋溶过程强烈,其水迁移系数顺序为: $Zn > Mn > Cu > Pb > Fe > Cd > Co > Ni > Cr$, 元素在水上景观中的堆积现象不明显,即地球化学对比性不强。水迁移弱的元素Fe、Cr、Ni等在残积景观中相对富集。

2. 微量元素以铁锰氧化物胶膜态共存在的含量相对较高,尤其Mn元素(达70%以上),其铁锰氧化物态向下移动明显,在堆积景观和土壤层下部堆积。

3. 整个热带森林中部份植物的富集系数顺序为: $Cu > Mn > Cd > Zn > Ni > Pb > Co > Fe > Cr$ 。微量元素在土壤表层的富集不如草原生态系统和温带森林生态系统中明显,以有机硫化物态存在的各元素含量占总量百分比都不超过10%,说明热带森林土壤表层有机质分解迅速;而景观中生长着的大量活质——森林植被,是重要的物质贮存库。

致谢: 本工作在野外采样工作中得到云南省地质矿产局五大队高若锋同志和中科院热带植物所部份同志的大力帮助,植物样品的鉴定也由热植所部份同志协助,在此笔者一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- O.A.阿列金, 1959年水化学(袁龙蔚译), 第4—25页, 水利电力出版社。
李庆远主编, 1983, 中国红壤, 第10—23, 28—56页, 科学出版社。
邹国础, 赵其国, 1964, 云南高原南部地区土壤区划, 土壤专刊, 第36号, 1—68页。
A.И.彼列尔曼, 1958, 景观地球化学概论(陈传康等译), 第2—8页, 62—84页, 地质出版社。
B.Б.波雷诺夫, 1956, 景观与土壤, 第25—48页, 科学出版社。
Brooks, R.R., 1973 Biogeochemical parameters and their significance for mineral exploration, *J. Applied Ecology*, 10(3):825—836。
Fortescue, A.C., 1980 *Environmental Geochemistry*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 76—93。
Tessier, A. et al, 1979 Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.*, 51:844—851。

STUDY OF THE BIOGEO CHEMICAL STRUCTURE OF TYPICAL ECOSYSTEM IN YUNNAN'S TROPICAL FOREST

Wang Xu Zhang Shen

(*Institute of Geography, Academia Sinica*)

According to the principles and methods of landscape geochemistry, the samples of soil, plant and surface water collected at the same time eluvial, super-aqual and aqual landscapes in the different landforms were studied and analysed as a whole ecosystem. The abundance of the eight trace elements in every landscape's component and the geochemical patterns of the landscape were given, and the relationship between the cause of the characteristics and the environmental factors was discussed by analyzing the vertical redistribution of elements under the conditions of supergenesis geochemistry, especially the distribution of the trace element's speciations in the soils. It can be concluded that: (1) the geochemical contrast is not strong in the tropical forest ecosystem of Yunnan, but there's a little relative enrichment in the eluvial landscape for the elements Fe, Cr, Ni whose aqual migration is weak yet. (2) The portion of the trace elements bound to Fe-Mn oxides in soil is always very high, especially the element Mn covering 70%. (3) Living things-forest cover is an important reservoir of the trace elements. The concentration of trace elements bound to organic matter in soil surface, however, is very low.