

广西崙岗自然保护区石灰土的地球化学特征

韦启番 陈鸿昭 吴志东 黄 钺 教剑英

(中国科学院南京土壤研究所)

我国碳酸盐岩分布很广,占全国土地总面积的七分之一,而以广西、贵州和云南最为集中^[1]。在热带、亚热带地区,由其风化发育的土壤与赤红壤、红壤显著不同,通称为石灰土,归于隐域土中。我国对石灰土研究颇早,四十年代即有红色石灰土和黑色石灰土之分^[2,3],五十年代又划分出棕色石灰土^[7]。后来的调查研究表明,棕色石灰土是我国热带、亚热带岩溶区的主要土壤类型^[6]。

崙岗自然保护区位于广西西南部,是世界上典型的热带岩溶地区之一。区内石灰土基本上可作为我国热带石灰土的代表。本文拟在崙岗保护区综合考察基础上,并以桂林和湖南桃源的石灰土作对比,对棕色石灰土的地球化学特征及其发生学意义作一初步探讨。

一、石灰土生物积累的某些特点

(一) 保护区的主要植物

崙岗自然保护区在中国土壤区划中属于热带季雨林砖红壤地带琼雷平原砖红壤省^[4]。年均温 22℃,最冷月均温 13℃。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 7,400—7,900℃。年降水量 1150—1550 毫米,5—9 月降水量为全年的 76%。

区内植被保留完好,具有较典型的热带岩溶区植被特点。目前已知植物有 1282 种,分属 150 科,401 属。以大戟科、桑科、茜草科、樟科等为主。其中热带种占 42.9%,热带至亚热带种占 29.3%。若按石灰土代表种计,则占 40%。林层多而不明显,板根、茎花、附生现象多见,但又不及一般热带雨林典型。植被无明显垂直分带,仅在不同地形部位在组成上有所差异。洼地槽谷中的植物热带性较强,主要组成有海南风吹楠 (*Horsfieldia hainanensis*)、东京桐 (*Deutzianthus tonkinensis*)、火焰花 (*Saraca chinensis*)、桃楠 (*Arenga pinnata*); 地面基岩露头满布苔藓。坡地以蚬木 (*Burretiodendron hsienmu*)、金丝李 (*Garcinia paucinervis*)、肥牛树 (*Cephalomappa sinensis*) 为代表。峰丛顶部旱生性树种显著增多,达 38%,如铁屎米 (*Canthium dicoccum*)、毛叶山胶木 (*Sinosideroxylon pedunculatum*)、谷木 (*Memecylon ligustrifolium*)、蛇藤 (*Celastrus panisulatus*) 等,未见茎花、板根和附生现象。

(二) 石灰土植物化学元素的组成

植物一方面直接地从土壤中选择吸收营养元素;另一方面被迫地接受土壤中某些过量的元素。本区大量生长着喜钙植物,植物体中元素组成与同地带的赤红壤地区相比,有明显的差异(表 1)。

表 1 鼻岗自然保护区与区外植物化学组成比较(占干物质重 %)

Table 1 Chemical composition of plants in Longgang Natural Reserve Area in comparison with that in other region (% of dry matter)

植 物 Plant	灰分 Ash	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	N
肥牛树 (<i>Cephalomappa sinense</i>)	7.69	0.73	0.01	0.005	3.27	0.43	0.41	0.31	0.26	1.44
山胶木 (<i>Sinosideroxylon pedunculatum</i>)	5.88	0.13	0.01	0.01	1.33	0.44	0.51	0.12	0.10	1.23
谷木 (<i>Memecylon ligustrifolium</i>)	9.40	0.18	0.01	0.22	4.75	0.21	0.26	0.26	0.09	1.19
蛇藤 (<i>Celastrus panisulatus</i>)	6.29	0.83	0.01	0.01	1.95	0.47	0.51	0.51	0.13	0.89
苔藓 (Moss)	8.09	0.98	0.12	0.30	3.08	0.45	0.33	0.23	0.83	1.89
平均 Average	7.47	0.57	0.03	0.11	2.88	0.44	0.40	0.29	0.28	1.33
区外石灰土上 7 种植物平均* The average of seven kinds of plant on limestone soils in other region	8.96	—	0.03	0.05	2.51	—	1.04	0.03	0.18	1.49
西沙群岛磷质石灰土上 11 种植物平均 ^[3] The average of eleven kinds of plant on phospho-calcic soil in Xisha Islands	17.38	0.10	0.014	0.001	3.81	1.88	2.23	2.68	1.45	1.26
西双版纳赤红壤上 21 种植物平均 ^[13] The average of twenty-one kinds of plant on lateritic red earth in Xishuangbanna	—	2.67	0.26	0.31	1.60	1.42	0.48	0.10	0.22	1.90

* 根据林厚宣等写的“酸性土、钙质土和盐渍土指示植物的化学成分”一文中资料重新改算(土壤学报, 1957 年第 5 卷 3 期, 247—270 页)。

赤红壤地区的植物中, SiO₂ 含量一般均大于 CaO, 且碱金属和碱土金属总量较低, 铁、铝含量相对偏高。而本区石灰土上的植物, CaO 含量通常都超过 SiO₂, 铁、铝则甚微。与区外石灰岩母质的土壤上植物中元素组成相比, 十分类似。值得注意的是, 本区植物中磷的含量虽不如西沙群岛磷质石灰土上的植物那么富集, 但比赤红壤地区的植物要高, 这可能与石灰土磷素较易富集有关。

(三) 植物的生物吸收系数与顺序

植物的化学组成可因个体不同而有很大的差异。而研究一个地区的生物吸收系数和生物吸收顺序^[10,12,16], 将能更好地说明地区性的生物地球化学特征。鼻岗与赤红壤地区的生物吸收顺序较相似(表 2), 而与喜盐植物为主的西沙群岛植物有明显区别。其原因可能是, 本区虽然生长着大量喜钙植物, 但同时也生长有数量众多的广布种非喜钙植物。后者与赤红壤地区的植物组成类似。进一步分析可以发现, 生物吸收系数相差很大。一般说来, 土壤中植物生长必需的元素含量越低, 则其生物吸收系数越大。以钙为例, 赤红壤的生物吸收系数可达 $n \times 10^2$, 本区石灰土上为 $n \times 10^0$, 而磷质石灰土仅为 $n \times 10^{-1}$ 。

表 2 元素的生物吸收特点

Table 2 Characteristics of biological absorption of chemical elements

		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	N	备注
嶺崗地区 Longgang Area	植 物 Plants (P)	7.78	0.41	1.29	36.95	5.67	5.79	3.96	3.66	—	占灰分 %
	土壤 A 层 A horizon of soils (S)	45.12	15.31	27.65	4.75	1.55	1.19	0.82	0.93	—	占灼 烧土 %
	生物吸收系数 (P/S) Coefficients of biological absorption	0.17	0.02	0.05	7.78	3.66	4.86	4.83	3.93	—	
	生物吸收顺序 Order of biological absorption	CaO > K ₂ O > Na ₂ O > P ₂ O ₅ > MgO > SiO ₂ > Al ₂ O ₃ > Fe ₂ O ₃									
西沙群岛 ^[3] Xisha Islands	植 物 Plants (P)	0.64	0.11	0.01	22.37	10.72	14.48	13.58	9.64	—	占灰分 %
	土壤 A 层 A horizon of soils (S)	0.47	0.09	0.01	65.43	1.10	0.05	0.38	29.03	—	占灼 烧土 %
	生物吸收系数 (P/S) Coefficients of biological absorption	1.36	1.22	1.0	0.34	9.74	289.6	35.74	0.33	—	
	生物吸收顺序 Order of biological absorption	K ₂ O > Na ₂ O > MgO > SiO ₂ > Fe ₂ O ₃ > Al ₂ O ₃ > CaO > P ₂ O ₅									
西双版纳 ^[2] Xishuang- banna	植 物 Plants (P)	2.67	原缺	0.31	1.60	1.42	0.48	原缺	0.22	1.90	占干 物质 %
	土壤 A 层 A horizon of soils (S)	62.81	原缺	20.26	0.16	0.24	0.18	原缺	0.06	0.28	占风 干土 %
	生物吸收系数 (P/S) Coefficients of biological absorption	0.04	原缺	0.02	10.0	5.92	2.67	原缺	3.53	6.79	
	生物吸收顺序 Order of biological absorption	CaO > N > MgO > P ₂ O ₅ > K ₂ O > SiO ₂ > Al ₂ O ₃									

因此,生物吸收系数不仅反映出各元素的生物吸收特点,同时也反映出土壤中元素的富集程度和赋存特点(表 2)。

(四) 植物的元素归还系数和顺序

植物对元素的选择吸收,不断改变着土壤中各元素的分布。有些元素被植物从深层吸收后,以枯枝落叶和死亡的根系的形式归还土壤,而在表层相对富集。

表 3 结果表明,本区植物残体对土壤中元素富集作用最大的是氮,其次是碱金属和碱土金属,硅、铁、铝的归还系数最低。这与赤红壤地区相似,不同的是归还系数差异显著。例如,钙在本区植物残体中的含量很高,土壤中的含量也不低,所以其归还系数较低,为 1.37;相反,赤红壤地区植物残体中钙的含量远低于前者,但由于土壤贫钙,所以其归还系数便特别高,可达 10.13。但从绝对量来看,本区钙的归还量,大大超过赤红壤地区。

在北热带高温湿润气候条件下,土壤淋溶作用均十分强烈。尽管区内植物的生物富集作用很强,土壤表层的 Ca、Mg、K、Na 等元素,仍然不免遭到淋溶。而硅、铁、铝(特别是铁、铝)虽然富集量甚低,但一旦归还土壤,便形成难溶性化合物聚积在土壤上部,不易淋溶。

表 3 元素的生物归还特点

Table 3 Characteristics of biological recovery of chemical elements

		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	N
崙岗地区 Longgang Area	植物残落物* Litter (P)	4.08	0.89	0.69	6.07	0.51	0.41	0.39	0.30	1.52
	土壤 A 层** A horizon of soils (S)	33.24	10.73	21.30	4.44	1.40	0.96	0.69	0.70	0.62
	生物归还系数 (P/S) Coefficients of biological recovery	0.12	0.08	0.03	1.37	0.36	0.43	0.57	0.42	2.45
	生物归还顺序 Order of biological recovery	N>CaO>Na ₂ O>K ₂ O>P ₂ O ₅ >MgO>SiO ₂ >Fe ₂ O ₃ >Al ₂ O ₃								
西双版纳 ^[1] Xishuangbanna	植物残落物* Litter (P)	11.59	原缺	1.07	1.62	1.02	0.35	原缺	0.15	1.50
	土壤 A 层** A horizon of soils (S)	62.81	原缺	20.26	0.62	0.24	0.18	原缺	0.06	0.28
	生物归还系数 (P/S) Coefficients of biological recovery	0.18	原缺	0.05	10.13	4.25	1.94	原缺	2.42	5.36
	生物归还顺序 Order of biological recovery	CaO>N>MgO>P ₂ O ₅ >K ₂ O>SiO ₂ >Al ₂ O ₃								

* 占干物质重 % (on dry matter %); ** 占风干土重 % (on air dry weight %).

二、石灰土的发育及地球化学特征

(一) 石灰土成土母质的特性

保护区内出露的地层,主要为石炭系灰白色厚层块状灰岩,局部夹有薄层条状或团块状白云质灰岩或白云岩。除中石炭统大埔组外,自下石炭统至下二迭统方解石含量逐渐增加,而白云石递减¹⁾。本文所研究的棕色石灰土均系下二迭统、上石炭统灰岩风化物(表 4)。局部地段有上二迭统暗紫色层状铁铝岩,夹褐红色铁质砂泥岩,组成极不均一,方解石类碳酸盐矿物较少,且含量不等。其上发育为不典型的红色石灰土。

保护区内的岩溶地形以峰丛洼地为主,峰丛多为锥状,密度较大(平均每平方公里 20—30 个)。高度为海拔 300—400 米。山地谷壁上有两层溶洞。洼地规模较小,呈圆形

表 4 石灰土成土母岩的 CaO 和 CO₂ 含量 (%)Table 4 The content of CaO and CO₂ in parent rocks of limestone soils (%)

剖面号 Profile No.	CaO		CO ₂
	全量 Total	CaCO ₃ -Ca	
桂 崙 1	55.82	54.73	43.57
桂 崙 2	55.61	55.22	43.57
桂 桂 1	54.27	53.83	43.06

1) 崙岗自然保护区综合考察队地质报告(1980年)。

或多边形,直径 100—200 米,个别为长条形,长达 800—1,000 米,宽 300 米左右。洼地中常见有漏斗和落水洞。

(二) 石灰土的发育特点

(1) 特异的剖面特征 众所周知,石灰岩的风化是以化学溶解作用为主的。石灰土是在母岩风化后所剩 1% 左右¹⁾ 残留物上发育起来的。因此,土层浅薄,土体与母岩交接面清晰,无碎屑状风化物层。仅在裸露的基岩上生长着苔藓等岩生植物,岩面疏松,呈乳白色砂粒状半风化物,其厚度仅数毫米至 1—2 厘米。这显然是生物风化作用的结果。此种风化层在下二迭统栖霞阶灰岩地区多见。

土壤剖面发生层次的分化,是成土过程阶段性的表现。虽然石灰土发生层次多半不明显,然而大多数剖面仍有一定的分异。区内石灰土可归纳为如下剖面发育图式(图 1)。

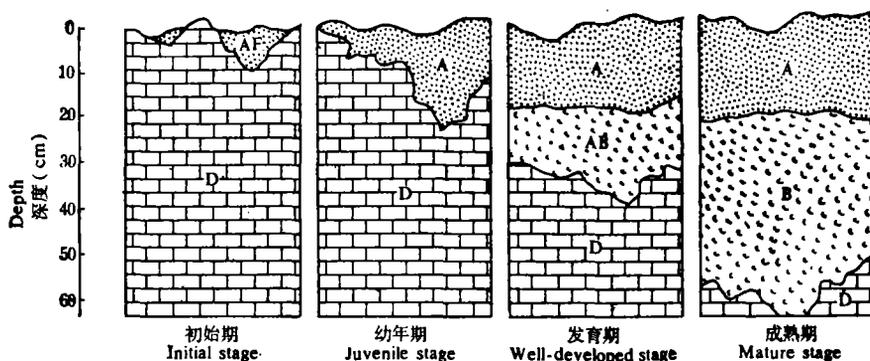


图 1 石灰土剖面发育图式

Fig. 1 Patterns of limestone soil profiles

初始期土壤实际上是石灰岩风化残留物。土壤矿物基本尚未发生风化,化学元素的淋溶刚刚开始;还有大量游离碳酸盐,与植物残落物和根系交织,呈棕黑至暗橄榄棕色(2.5Y3/2—2.5Y3/3)。随着成土过程的进展,土层逐渐增厚。到成熟期,B层发育,呈暗棕至黄棕色(10YR4/3.5—10YR5.5/5),并有少量软质细粒状铁锰结核和结构面上光亮的胶膜形成。

(2) 漫长的发育过程 石灰土的发育是一个缓慢的过程。据卢耀如等^[5]对岩溶试验的结果,在广西地区溶蚀率为 0.12—0.3 毫米/年。我们以假定钛不发生移动为基础,计算出灰岩风化后形成土壤的残留量为 0.15% 左右²⁾,即每克土壤相当于 666.67 克灰岩。方解石的比重为 2.87,本区棕色石灰土的容重,1,2,3 号剖面加权平均值分别为 1.70,

1) 指本文所讨论的纯质石灰岩。

2) 按
$$\sum_{n=1}^m \left[\frac{\sum_{n=1}^n (X_{mn} \frac{P}{P_n} I_n)}{\sum_{n=1}^n I_n} \right]$$
 计算。式中: X_{mn} 为 n 层土壤 m 元素含量, P_n 为 n 层土壤中 TiO_2 含量, P 为

母岩中 TiO_2 含量, I_n 为 n 层土壤的厚度。各元素含量均以占灼烧重%计算。

表 5 石灰土中各种形态铁、锰的含量 (%)

Table 5 The contents of different forms of iron and manganese in limestone soils

土壤类型 Soil type	剖面号 Profile No.	深度 (cm) Depth	Fe ₂ O ₃					MnO				
			全量 Total (1)	游离态 Free (2)	活性 Active (3)	(2) (1) × 100	(3) (2) × 100	全量 Total (1)	游离态 Free (2)	活性 Active (3)	(2) (1) × 100	(3) (2) × 100
			棕色石灰土 Brown limestone soils									
棕色石灰土 Brown limestone soils	桂鼻 1	0—2	9.28	6.79	0.40	73.1	5.9	0.40	0.28	0.23	71.1	81.7
		2—10	9.96	7.20	0.44	72.2	6.1	0.41	0.31	0.23	75.1	75.3
		10—21	11.04	8.10	0.42	73.4	5.2	0.42	0.31	0.20	74.5	62.3
		21—38	11.36	8.20	0.40	72.2	4.9	0.40	0.31	0.17	78.3	55.6
		38—55	14.02	8.13	0.38	58.0	4.7	0.45	0.31	0.23	68.5	74.2
	桂鼻 2	0—5	12.17	9.44	0.42	77.6	4.4	0.70	0.58	0.56	83.6	96.6
		5—14	12.44	10.45	0.48	84.0	4.6	0.60	0.62	0.56	—	90.3
		14—34	12.54	11.36	0.46	90.6	4.1	0.78	0.63	0.58	80.4	92.1
		34—45	12.35	7.05	0.41	57.1	5.8	0.67	0.60	0.59	92.8	95.2
	桂鼻 3	0—6	14.23	10.11	1.43	71.0	14.1	0.66	0.57	0.54	86.7	94.7
		6—15	14.82	12.57	1.29	84.8	10.2	0.68	0.60	0.56	87.9	93.3
		15—41	14.84	12.13	1.29	81.7	10.6	0.69	0.43	0.42	62.5	97.7
		41—62	15.58	12.81	1.04	82.2	8.0	0.44	0.36	0.37	82.9	100
	桂鼻 9	0—27	13.76	13.06	0.58	94.9	4.4	0.57	0.35	0.25	91.1	71.4
		27—52	14.58	13.32	0.33	91.4	2.5	0.60	0.21	0.14	95.8	66.7
52—80		14.02	13.81	0.34	98.5	2.4	0.60	0.23	0.16	—	69.6	
桂桂 1	0—10	10.84	9.40	0.56	86.7	6.0	1.64	0.12	0.05	85.8	41.7	
	10—26	11.95	10.47	0.50	87.6	4.8	1.70	0.09	0.06	90.1	66.7	
	26—50	12.46	13.49	0.52	—	3.9	1.71	0.10	0.04	—	40.0	
红色石灰土 Red limestone soils	桂鼻 4	0—7	10.08	8.75	0.58	86.8	6.6	0.28	0.23	0.17	81.2	73.9
		7—27	10.12	9.00	0.53	88.9	5.9	0.31	0.23	0.18	74.7	78.3
		27—41	11.70	10.02	0.39	85.6	3.9	0.25	0.22	0.14	89.9	63.6
		41—50	11.67	10.21	0.39	87.5	3.8	0.25	0.21	0.14	83.8	66.7
	桂鼻 7	0—10	17.86	16.52	0.38	92.8	2.3	0.16	0.13	0.09	83.2	69.2
		10—35	17.97	17.64	0.48	98.1	2.7	0.17	0.14	0.11	85.1	78.6
		35—60	17.78	16.73	0.34	94.1	2.1	0.11	0.10	0.06	94.4	60.0
		60—85	17.74	17.32	0.30	97.4	1.8	0.09	0.09	0.04	98.7	44.4

1.63, 1.65, 平均为 1.66¹⁾。以此进行计算, 则平均 1 厘米土层需 627 厘米厚的基岩风化形成, 也即需要 1.3—3.2 万年。这与南斯拉夫石灰土发育的速度相近(在那里形成 1 厘米的土层需要 2 万年²⁾)。显然石灰土的形成是从地质时期就已经开始的。加上径流的侵蚀作用, 使成土过程更加漫长。

(3) 明显的地带烙印 石灰土虽通常归属于隐域土, 地带性因素仍然有深刻的影响。在北热带条件下, 本区石灰土矿物风化十分强烈。一般认为土壤中铁、锰的游离程度

1) 张云同志分析。

2) 南斯拉夫波-黑科学院秘书长米·契里奇 (M. Ćirić) 教授 1979 年 12 月在南京土壤所的报告。

是风化强度的标志之一^[2],棕色石灰土游离铁、锰的含量都很高,一般占全铁、全锰的70%以上。铁的游离化程度在剖面中较为均一,只是底层稍低。1, 2, 3号剖面分别位于峰丛山地的上部、中部和坡麓,游离化程度依次增高,表明成土过程随地形部位自上而下依次增强。但从活性铁与游离铁的比例来看,一般只有2—6%,说明其活性并不很高。而活性锰高者几近100%。由于锰随氧化还原条件的变化而在剖面中迁移频繁,因而土壤中含量多变且规律不明显(表5)。

至于粘粒部分的化学性质,我们以与本区类似的广西德保和云南砚山的棕色石灰土为例来说明(表6)。其粘粒部分硅铝分子率在1.8左右。粘土矿物主要是蛭石和高岭石,二氧化物含量也很高,与红壤的矿物组成相似,只是蛭石较后者多而高岭石较少^[3]。表明石灰土深受地带性因素的制约,矿物风化较深。但风化作用又不及同地带的赤红壤强烈。

表6 棕色石灰土粘粒部分的硅铝率

Table 6 Silica-sesquioxide ratio of clay in brown limestone soils

剖面号 Profile No.	德保 6		德保 5	砚山 1
深度 Depth (cm)	0—10	40—60	0—20	0—10
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1.78	1.81	1.80	1.81

(三) 石灰土元素迁移富集的某些特点

(1) 石灰土主要元素的含量 石灰土主要元素组成按含量水平可分为三级:含量百分率为 $n \times 10^1$ 的元素有硅、铁、铝; $n \times 10^0$ 的元素为钙、镁、钛; $n \times 10^{-1}$ 的元素为锰、钾、钠、磷。这些数量级基本上不连续,有着明显的差异。

钙占绝对多数的母岩在风化成土过程中,由50%以上的含量(CaO)降为1—5%;而其它元素总和从1—5%增至95%以上。其中硅、铁、铝总量由母岩中的1%左右相对增高到90%。各种元素含量多寡的顺序,也发生了很大的变化。母岩中是 $Ca \gg Al, Si > Fe, Mg > K > P, Ti, Mn$; 土壤中为: $Si > Al > Fe > Ca > Ti, Mg > K, Mn, P$ 。这是成土过程中各种元素按其地球化学特性进行迁移、富集的结果(表7)。

在同一地带内由酸性母岩发育的赤红壤,除同样以硅、铁、铝为骨架元素外,钙、镁、钾、钠都低于石灰土数倍至数十倍,磷也明显较低。可见生物气候条件相同,但元素的迁移富集特点各异。而且石灰土中钙和镁是以游离碳酸盐状态存在的(表10),这与赤红壤截然不同。

(2) 石灰土元素的迁移富集特点 研究化学元素在成土过程中的迁移富集特点和规律,通常是用比较土壤和成土母质的含量来阐明的。在研究由基岩风化物发育的土壤时,多采用土壤与碎屑状风化物相比较,认为基岩至碎屑状风化物是风化过程,在此基础上进行成土作用。如前所述,石灰土无半风化物层,所以我们选用剖面下部灰岩作比较。由于铝在元素迁移中的惰性,曾多被应用于对比中的假定不移动元素^[4];但钛主要以抗风

表 7 石灰土化学组成 (加权平均值, 占灼烧重 %)

Table 7 Chemical composition of limestone soil (Weighted average, % in ignition weight)

土壤类型 Soil type	剖面号 Profile No.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
棕色 石灰土 Brown lime- stone soils	桂岭 1	46.06	14.18	29.92	3.78	1.90	1.68	0.51	0.91	0.44	0.44
	桂岭 2	43.28	15.11	29.47	4.52	1.56	1.94	0.92	1.63	0.74	0.78
	桂岭 3	44.02	17.63	29.46	1.64	0.98	3.41	0.71	0.67	0.56	0.93
	桂岭 9	44.04	16.61	33.68	1.23	0.69	2.12	0.33	0.66	Tr.	0.33
	母岩	0.28	0.17	0.75	55.82	0.53	0.003	0.007	0.21	Tr.	0.03
	桂桂 1	48.77	14.33	29.07	2.85	2.03	1.52	0.17	0.60	0.39	0.22
	母岩	1.07	0.45	1.06	54.27	0.50	0.005	0.01	0.15	Tr.	0.007
红色 石灰土 Red lime- stone soils	桂岭 4	52.68	12.85	27.04	1.97	1.18	1.50	0.36	0.68	0.42	0.29
	桂岭 7	38.46	21.45	40.45	0.91	0.56	3.03	0.15	0.43	0.26	0.16
	桃 64	63.85	8.23	21.16	2.28	1.27	0.65	0.12	2.08	0.13	0.12
	母岩	0.77	0.12	1.59	54.44	0.32	0.09	0.01	1.16	0.11	Tr.

表 8 石灰土的淋失率 (加权平均值, %)

Table 8 The leaching rate of elements in limestone soils (Weighted average, %)

土壤类型 Soil type	剖面号 Profile NO.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
棕色石灰土 Brown limestone soils	桂岭 1	70.57	88.08	92.86	99.99	99.36	86.92	99.23	—	97.35
	桂岭 2	76.13	86.27	93.93	99.99	99.55	79.67	98.80	—	96.00
	桂岭 3	86.17	90.88	96.54	99.99	99.84	91.13	99.72	—	97.27
	桂岭 9	77.71	86.16	93.64	99.99	99.81	93.39	99.56	—	98.44
	平均	77.65	87.85	94.24	99.99	99.64	87.78	99.33	—	97.27
	桂桂 1	-49.94	-4.78	9.74	99.98	86.65	42.87	86.81	—	-1.63
红色石灰土 Red limestone soils	桃 64	-1150.32	-936.25	-100.85	99.28	42.86	-73.10	72.69	80.93	—
元素迁移顺序 Sequence of tranlocation		Ca > Mg > K > P > Al > Fe, Mn > Si								

注: 淋失率根据参考文献[12]中公式计算。

化的钛铁矿形式存在, 所以更广泛地选择为假定不移动元素。我们以两者为依据分别进行了计算, 结果的趋势是相同的, 元素的迁移富集顺序完全一致。这里以钛为假定不移动元素作基础计算的淋失累积率来讨论 (表 8)。

如表 8 所示, 棕色石灰土在成土过程中主要元素均受到强烈淋失, 淋失率在 70% 以上。元素淋失顺序是: Ca > Mg > K > P > Al > Mn, Fe > Si。桂林的棕色石灰土 (桂桂 1) 淋失强度较弱, 并有硅、铁累积现象, 但其顺序不变。各剖面相比, 淋失最强的元素钙、镁、钾淋失率十分一致, 淋失率较低者其数值变幅稍大, 表明前者已基本淋失殆尽, 而后者尚处于淋失过程之中。

在热带条件下, 赤红壤以富铝化为主要成土过程。但在舜岗北热带岩溶区和地处亚热带湖南桃源的石灰土, 这一过程都不明显。相反, 在假定钛不发生淋失的条件下, 不仅硅, 而且铁、铝均有淋失, 其淋失顺序为 Al > Fe > Si。值得注意的是, 这种现象随着生

物气候条件的改变,似有自南往北,铝、铁、硅的淋失强度渐次降低,并逐步转变为累积的现象,但其迁移顺序不变。这是否为石灰土成土过程的特点,还是地带性特点,尚待进一步研究。

石灰土元素淋失率在剖面上下的变化不大,是其发生层次分化不明显的原因之一。硅和锰在 20 厘米以上淋失较强,铁、铝也略显此现象。磷则表层相对地稍有富集,其它元素均不显变化。

表 9 的结果与铁、锰的游离化程度一样,由峰丛山地的上部、中部到坡麓,硅和铝的淋失率明显依次增高,反映着土壤发育程度的增强。然而,其它元素并不明显。

表 9 石灰土淋失率剖面变化

Table 9 The variation of leaching rate of elements in profile of limestone soils

剖面号 Profile No.	深度 (cm) Depth	淋 失 率 Leaching rate (%)								TiO ₂ 含量 (占灼烧重%) Content of TiO ₂ (% in ignition weight)
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅	
桂 1	0—2	72.63	87.69	93.43	99.98	99.34	87.11	99.24	96.92	1.76
	2—10	71.83	87.26	93.25	99.99	99.38	92.50	99.27	96.96	1.78
	10—21	70.49	85.78	92.62	99.99	99.37	86.86	99.26	97.15	1.66
	21—38	69.01	84.93	92.15	99.98	99.37	87.11	99.19	97.67	1.60
	38—55	71.28	82.82	93.44	99.99	99.39	86.60	99.22	97.43	1.71
桂 2	0—5	78.51	86.74	94.88	99.99	99.56	81.49	98.93	93.95	2.15
	5—14	75.26	85.86	93.69	99.99	99.59	83.20	98.80	94.12	1.90
	14—34	76.68	86.59	93.97	99.99	99.53	76.74	98.80	95.52	1.97
	34—45	74.53	85.94	93.56	99.98	99.54	81.47	98.73	97.16	1.83
桂 3	0—6	87.64	92.50	97.42	99.99	99.87	91.56	99.64	97.67	4.01
	6—15	87.30	92.10	97.20	99.99	99.86	91.20	99.59	97.70	3.84
	15—41	85.94	90.78	96.35	99.99	99.83	89.56	99.99	97.24	3.34
	41—62	85.36	89.82	96.13	99.99	99.82	93.01	99.46	97.00	3.14
桂 9	0—27	79.22	87.74	94.58	99.99	99.84	91.78	99.65	98.54	2.33
	27—52	77.76	85.85	93.45	99.99	99.81	89.56	99.53	98.48	2.09
	52—80	75.91	84.91	92.72	99.99	99.79	93.99	99.95	98.29	1.94
桂 1	0—10	-62.01	-5.67	8.01	99.69	85.61	-49.14	85.38	-37.86	1.41
	10—26	-18.51	18.54	30.28	99.89	89.57	69.33	88.75	25.50	1.94
	26—50	-76.23	-28.19	-185.26	99.81	84.17	58.33	85.49	-12.43	1.28
桃 64	0—12	-1880.95	-1307.13	-185.26	97.59	59.08	-171.93	54.39	—	0.38
	12—43	-760.44	-553.83	-27.96	99.71	58.68	-77.19	82.09	—	0.89
	43—65	-1373.94	-1216.76	-140.63	99.45	21.61	-798.26	98.19	—	0.50
	65—85	-1070.29	-997.95	-119.42	32.00	34.50	74.47	89.61	—	0.60

三、石灰土的土壤地球化学特点及其实践意义

石灰岩在热带的溶蚀速度比温带高出 7—10 倍^[1]。源源释放的钙不断补给土壤和水。

富钙的水土条件使喜钙植物得以发展,一般植物也适应其生态条件相对地富集钙素。形成了热带地区富钙的土壤生物地球化学环境^[15,17,18]。

本区石灰土含钙量一般大大超过赤红壤,土壤中含钙的原生矿物主要为方解石,比长石类矿物中的钙易于释放。钙也是盐基饱和的交换性阳离子的主要组成。

区内的地下水主要是重碳酸钙型水, Ca^{++} 达 90—115 毫克/升,矿化度 250—300 毫克/升, pH 7.06—7.72, 属弱碱性微硬淡水。由于水中富含钙离子这种强凝聚剂,因此水质清澈。由地下溶洞暗流,岩溶地面池塘到地表河流,水的矿化度、 Ca^{++} 及 HCO_3^- 明显地依次降低。

峯岗保护区喜钙植物和富钙植物很多,典型岩溶植物计有 508 种,如肥牛树、蚬木、金丝李、谷木等。其鲜叶含钙量高者达干重的 4.75%, 平均含量高于赤红壤地区植物 1 倍。其它元素则无甚差异或较低。富钙植物又以其有机残体归还土壤,对土壤发生深刻的影响。

表 10 棕色石灰土不同发育时期 CaCO_3 、pH 和土体厚度变化

Table 10 The change of CaCO_3 , pH and thickness of solum in different developing stages of brown limestone soils

发育时期 Developing stage	剖面号 Profile No.	土体厚度 (cm) Thickness of solum	采样深度 (cm) Depth	pH	CaCO_3 (%)	地形部位 Geomorphological position
初始期 Initial stage	桂 嶺 6	9	0—9	7.90	17.60	峰丛顶部 Hilltop
幼年期 Juvenile stage	桂 嶺 1	50	0—2	7.76	3.43	峰丛上部 Upper hillside
			25—35	7.22	0.20	
发育期 Well-developing stage	桂 嶺 2	45	0—5	7.12	0.59	峰丛中下部 Lower hillside
			14—34	7.22	0.35	
	桂 嶺 5	50	0—7	7.52	0.33	
			20—35	7.44	0.20	
成熟期 Mature stage	桂 嶺 3	>100	0—6	6.58	0.15	坡 麓 Hillfoot
			20—35	6.42	0.13	
	桂 嶺 9	>100	0—10	7.92	0.63	槽谷中部 Valley terrace
			25—35	6.70	0.14	
	桂 嶺 8	>100	0—3	8.12	84.90	槽谷底部 Valley bottom
			20—30	8.25	78.95	

石灰土的发育与钙的迁移富集状况密切相关。随着成土作用的进程,淋溶作用增强, CaCO_3 含量逐渐减少,至成熟期仅残存痕迹量, pH 值已低于 7。必须指出,区内石灰土剖面中碳酸盐淋溶淀积作用不甚明显;相反,由于生物积聚作用和地表水的迁移聚积,表层的碳酸钙含量反而较高(表 10)。

地形是区内钙的迁移富集制约因素。峰顶只在巨石凹面和裂隙就地溶蚀风化残留物,碳酸钙含量最高,是石灰土的初始期,称为原始石灰土。峰丛上部地面巉崖峭壁,仅有5%的土被,是其幼年期——褐色石灰土。坡地中下部土被10—20%,为发育期的棕色石灰土。坡麓和槽谷,由于堆积作用,土层增厚,成土时间长,淋溶作用增强。然而在底部平缓,季节性积水的槽谷中, CaCO_3 又大量聚积,低洼地表土成为 CaCO_3 淀积层。

总之,在北热带条件下,石灰土淋溶脱钙和淀积复钙作用很活跃。这种土壤地球化学特点在实践中有重要的意义。

结 语

(一) 通常把南方石灰岩风化发育的土壤称为石灰土,实际上石灰土中所含游离石灰极少甚至全无。因此,将这类土壤命名为石灰土是不确切的。但从土壤地球化学观点出发,考察到这种土壤处于一个富钙的生物地球化学环境,在石灰土中不论在岩石风化过程中,还是在生物积累过程中,钙的迁移和富集都比赤红壤强烈得多,因而此种土壤与脱硅富铝过程为特点的赤红壤有本质的区别;而且,这种土壤物质循环是在热带条件下进行的,有明显的地带烙印,有一定的富铝化特征。另一方面,钙素在土壤中由母岩不断释放补给,但又遭受着强烈淋溶,使土壤常保持在痕迹量,从而与北方的钙层土有重大区别。虽然,石灰土的名称并不确切,但从土壤地球化学观点看,石灰土作为一个热带(包括亚热带)特殊的地球化学类型是客观存在的。无疑,它应该是岩成土壤中的一个重要组成成员。我们不反对石灰土这个名称,但应赋予土壤地球化学内涵,只有这样,石灰土才具有明确的发生学意义。

(二) 在石灰土形成过程中生物富集作用对土壤肥力产生积极影响。首先在热带旺盛的生物作用下土壤有机质大量积累,林下测定残落物 566.9—714.5 斤/亩,当然全年远远超过此数;土壤有机质高达 $6.19 \pm 5.88\%$ 。相应的在生物作用下元素大量富集,特别是钙和磷以及其它一些元素。石灰土中钙比赤红壤中大 10 倍,磷为赤红壤的 1—5 倍;某些有效态微量元素如锌和铜均比较高,前者为 $26.3 \pm 2.5\text{ppm}$ ($n=7$),有效铜 $1.34 \pm 1.13\text{ppm}$ 。但是,石灰土是在母岩风化后所剩 1% 左右残余物上发育起来的,成土作用又十分缓慢,2—3 万年才能形成 1 厘米土壤,所以土层比较浅薄,一旦水土流失土被就很难恢复。从这一土壤地球化学特点出发,我们主张石灰土应以保护为主,以林为主,以石灰土上特有的经济林木为主,这是既保护土壤资源,又具有经济效益的利用方向。

(三) 在富钙的土壤地球化学环境下,钙随地形变化向低处集中,并形成一定硬度的地下水。在这种情况下,如对谷地、溶盆中的水田土壤过量施用石灰,或用高硬度的溶洞水灌溉,可能会导致石灰板结田的形成。因此,在实践上要注意合理施用石灰,并最好用河水灌溉。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1980: 中国自然地理, 地貌。119—138 页, 科学出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。413—415、498—500、642—646 页, 科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所西沙群岛考察组, 1977: 我国西沙群岛的土壤和鸟粪磷矿。9—10 页, 科学出版

- 社。
- [4] 中国科学院自然区划委员会, 1958: 中国土壤区划(初稿)。137—150 页, 科学出版社。
- [5] 卢耀如等, 1973: 中国岩溶(喀斯特)发育规律及其若干水文地质工程地质条件。地质学报, 第 1 期, 121—136 页。
- [6] 何金海、石华等, 1959: 广西壮族自治区隆林、田林、凌云、凤山、东兰五县土壤考察报告。土壤专报, 第 35 号, 70—72 页。
- [7] 张俊民、韦启璠, 1958: 广西百色和德保主要土类的生成环境和特性。土壤通报, 第 3 期, 15—20 页。
- [8] 郭魁士, 1941: 广西石灰岩区土壤之初步观察。土壤季刊, 第 1 卷 4 期, 32—47 页。
- [9] 顾新运、许冀泉, 1963: 中国土壤胶体研究: V. 滇桂地区石灰岩发育的三种土壤的粘土矿物组成和演变。土壤学报, 第 11 卷 4 期, 411—416 页。
- [10] 曾水泉、易绍楨, 1964: 关于风化壳中化学元素迁移与累积计算方法的探讨。中山大学学报, 2(自然科学), 272—280 页。
- [11] J. 梭颇(朱莲青等译), 1941: 中国之土壤概要。土壤季刊, 第 2 卷 1 期, 4—94 页。
- [12] A. И. 彼列尔曼(龚子同等译), 1975: 后生地球化学。224—232 页, 科学出版社。
- [13] A. И. 彼列尔曼(陈傅康等译), 1958: 景观地球化学概论。163—168 页, 地质出版社。
- [14] A. И. 彼列尔曼, С. Г. 巴图林(陈郁华等译), 1963: 风化壳中元素迁移的序列。化学地理的基本理论与方法。70—77 页, 科学出版社。
- [15] A. П. 维诺格拉多夫(林尚志译), 1958: 生物地球化学省。1—34 页, 科学出版社。
- [16] К. И. 卢卡舍夫(刘培桐译), 1963: 生物圈地球化学研究的基本问题。化学地理的基本理论与方法。7—20 页, 科学出版社。
- [17] Ковальский, В. В., Легунова, С. В., 1979: Пятьдесят лет биогеохимической лаборатории. Труды Биогеохимической Лаборатории Том. XVII, 3—11.
- [18] Ковальский, В. В., 1979: Современные задачи и проблемы биогеохимии. Труды биогеохимической лаборатории. Том. XVII, 12—29.

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LIMESTONE SOILS IN LONGGANG AREA, GUANGXI

Wei Qifan, Chen Hongzhao, Wu Zhidong, Huang Yue and Jiao Jianying

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Summary

Longgang Natural Reserve Area is one of the typical karst area under evergreen monsoon forest nearby the north margin of the tropics in China. Studies on chemical composition of soils, rocks, plants and ground water have showed that the main soil type is brown rendzina in this area. During the process of soil formation, the loss rate of elements by leaching is more than 70%. The translocation sequence of the elements by leaching is as follows: $Ca > Mg > K > P > Al > Mn > Fe > Si$. The calcium content of the soils derived from the rocks rich in Ca up to 50% (CaO) may decrease to 1—5% in the process of soil formation. However, calcium is still the most important element in biogeochemical environment of limestone soils. A great deal of calcicolous plants have grown in this area, which then brings about the accumulation of calcium to some extent in soils. The sequence of elements absorbed by plant is as follows: $Ca > K > Na > P > Mg > Si > Al > Fe$, while the sequence of element recovery is as below: $N > Ca > Na > K > Mg > P > Si > Fe > Al$. According to the data calculated from corrosion rate of limestone, specific gravity of calcite, amount of elements eluviated and illuviated and soil bulk density, it is estimated that to form a solum with a thickness of 1 cm needs about 13,000—32,000 years. Because the limestone soils are usually characterized by the higher fertility and thin and erodible solum, vigorous biological cycling of materials and rich biological resources. The ecosystem in the region of this soil is fragile, once the system is destroyed, it is difficult to recover. It is suggested that in utilization of the soils, account should be taken into the conservation of the natural resources, which includes plantation of special economic forests.