

我国热带亚热带森林土壤养分循环 特点与成土过程研究

何园球 赵其国 王明珠 石 华

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

作者在海南吊罗山、南昌梅岭和江西红壤生态实验站选择了8个代表性森林土壤类型,设置排水采集器、集水区和综合观测装置进行长期地、定位地观测与研究,取得了土壤养分循环和脱硅富铝化过程长系列资料。并探讨了森林土壤成土过程、特别是现代成土过程是否仍在继续进行及其强度差异和水热状况对其的影响。

我国热带、亚热带森林土壤以红壤类(包括砖红壤、赤红壤、红壤)面积最大^[1],分布最广。这类土壤国内外学者已进行了大量的研究^[2-4]。但从总体上看,多偏重于静态描述和地理比较,定量、动态的观测数据较少,因而有关红壤物质迁移和转化规律,红壤形成过程的本质,特别是红壤脱硅富铝化过程是否仍在继续进行还需进一步阐明。从1984年起,我们采用长期定位观测的方法从不同角度研究森林与土壤间营养元素交换规律,积累了大量资料。对解决红壤的发生,特别是红壤现代成土过程的特点,以及红壤的利用改良等都具有较大的意义。

一、研究方法

试验选择在海南岛吊罗山(18°50'N,热带雨林、季雨林及橡胶林,母质为花岗岩)、南昌梅岭(28°4'N,亚热带常绿阔叶林、花岗岩)和江西鹰潭红壤生态站(28°12'N,人工幼林,第四纪红粘土)3个地点进行,共8个代表性森林土壤类型。

定位观测点内设置排水采集器、集水区和综合观测装置。如雨量器、蒸发皿、温度计(气温、地面温度、表土温度)、负压计(20、40、60、80、100厘米)、土壤渗漏水装置(0—2、0—14、0—35、0—90厘米)以及自计水位计等仪器和设施。

每天观测温度3次,观测地表径流量及蒸发量各1次;每月收集混合的地表径流水、各层土壤渗漏水、井水、河水、沟谷水等,并对其中的 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 K_2O 、 Na_2O 、 P_2O_6 、N等10种元素(以氧化物表示)的含量进行测定;每月测定凋落量,每年分析凋落叶和表土中上述10种元素的含量,同时,对大量观测和分析数据进行系统的分析。

二、结果和讨论

(一)森林土壤的养分循环特征

森林土壤物质循环有广义和狭义两种概念。本文从狭义的角度来探讨土壤养分循环特征。森林土壤与农田土壤相比,其物质循环具有周期长、人为干预少的特点,因而在土壤养分吸收、归还、迁移和平衡等方面具有显著的特点。

表 1 森林的生物吸收系数(元素为氧化物) (单位:克/千克)

林 型		硅	铁	铝	钙	镁	钛	锰	钾	钠	磷
橡胶林	凋落叶 (P)	367	27	139	113	117	3.0	26	126	13	71
	土 壤 (S)	781	18	152	1	7	5	1	3	6	1
	K _x (P/S)	0.47	1.50	0.91	113.0	16.7	0.6	26.0	4.2	2.2	71.0
雨 林	凋落叶 (P)	613	6	80	110	110	1	9	51	12	9
	土 壤 (S)	748	17	199	7	1	5	0.3	20	2	1
	K _x (P/S)	0.82	0.35	0.40	15.7	110	0.2	30	2.6	6.0	9.0
季雨林	凋落叶 (P)	657	3	33	155	73	1	8	55	4	11
	土 壤 (S)	814	13	127	1	5	3	1	32	3	1
	K _x (P/S)	0.81	0.23	0.26	155	14.6	0.33	8.0	1.7	1.3	11.0
常绿阔叶林	凋落叶 (P)	372	15	58	230	89	2	47	139	9	39
	土 壤 (S)	672	73	193	13	16	9	1	29	5	0.6
	K _x (P/S)	0.55	0.21	0.3	177	5.6	0.22	47.0	4.8	1.8	65.0

1. 生物吸收特点:从森林的生物吸收系数(表 1)可以看出以下 3 点:(1)森林对各养分元素有不同的吸收与富集作用,按生物吸收系数(K_x)大小可将这些元素分为 3 组:明显富集元素(K_x为 10 左右),如 CaO、MgO、MnO、P₂O₅等;富集元素(K_x为 1—10),如 K₂O、NaO 等;被摄取的元素(k≤1),如 SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃、TiO₂等。橡胶林对 P₂O₅、Fe₂O₃、Al₂O₃ 强烈吸收,雨林对 MnO 强烈吸收而对 CaO 则较弱,阔叶林对 P₂O₅ 强烈吸收。(2)林木所吸收的主要是其本身生长所必需的元素,与土壤中多寡不密切。CaO、MgO、K₂O 在土壤中含量低,植物体内却强烈积累;SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ 在土壤中含量较高,K₂ 却很小。(3)热带森林的选择吸收要比亚热带强烈,这主要是由于气候条件的差异所造成的。

2. 养分归还特征:森林土壤养分归还主要有降雨、淋溶和凋落 3 种途径,以凋落归还为主(表 2);就归还量而言,一般为森林覆盖度大的,归还的数量较多,反之相反;就不同元素而言,一般以 SiO₂、CaO、N 最多,P₂O₅、Na₂O 最少。而 P₂O₅、N 对森林土壤发育和林木生长极为有利。

3. 养分迁移特征:森林土壤养分迁移主要有地表迁移和深层(100 厘米)渗漏迁移两种方式;其迁移量从绝对数量上看是热带森林土壤>亚热带森林土壤,但从相对数量上看则相

表 2 不同森林土壤元素的平衡 单位:千克/公顷/年

林 型	输 入					输 出			平 衡 结 余
	通过降水	凋落归还			合 计	地表径流	深层渗漏	合 计	
		凋落量	N	灰分					
季 雨 林	287.7	9680	115	1036.0	1323.7	44.8	69.8	114.0	1209.1
雨 林	195.1	8560	87	700.2	895.3	45.7	62.9	109.6	787.5
橡 胶 林	92.4		38	98.3	190.7		103.2	103.2	87.5
阔 叶 林	144.4	7270	64	319.2	465.3	28.5	34.0	62.5	401.1
人工幼林	41.5	1320	11	51.2	92.7	65.3	23.6	88.9	3.8

反, 热带森林土壤系统中迁移量只占归还量的12—14%, 而亚热带森林土壤系统中则占60—91%(表2); 不同元素的迁移量以 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 较大, 在热带占迁移量的61—71%, 在亚热带占58—95%, 磷、锰基本保持不变, 铁、铝则随降雨量增加而增加。

4. 养分平衡特征: 森林土壤养分一般收入大于支出。就总量而言, 以林被覆盖度大的雨林、季雨林和常绿阔叶林下的土壤结余的养分较多, 覆盖度小的人工林下的土壤养分则没有结余(表2。)就不同元素而言, 季雨林、雨林、常绿阔叶林下土壤中所有元素均出现结余, 橡胶林下土壤 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 MnO 、 P_2O_5 、 Na_2O 有结余, 其它的亏损, 人工林土壤中除磷、铝外, 其它的亏损。

综上所述, 热带亚热带森林由于林冠茂密, 大量的凋落物为土壤富铝化提供了物质基础。森林凋落物及其元素的大量积累, 维持森林土壤间养分的强烈交换, 促进生物富集过程不断发展, 并导致养分收支不平衡。所有这些物质循环特征都存在地理上的差异, 热带比亚热带明显, 林被覆盖好的比覆盖差的明显, 海拔低的地方比海拔高的明显。

(二) 森林土壤的脱硅富铝化过程

1. 脱硅富铝化的一般特点: 定位观测结果表明, 森林土壤中硅酸盐类矿物强烈分解, 硅和盐基大量淋失, 铁、铝等氧化物相对明显积累, 粘粒及次生粘粒不断形成。从元素迁移量(T)看(表3), 可将元素分为3组: 强迁移元素的 $T > 80\%$, 包括 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 等, 易迁移元素, T 为0—80%, 包括 SiO_2 、 MgO 、 MnO 等; 富集元素, $T < 0$, 包括 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 等。其迁移顺序, 首先是盐基, 然后是 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 。其迁移强度是热带森林土壤

表3 热带亚热带森林土壤的元素迁移量 (单位: 克/千克)

地点, 林型	项 目	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5
吊 罗 山 季 雨 林	土 壤	608	29.4	254	1.3	2.3	3.0	0.4	3.4	2.0	1.0
	母 岩	732	15.8	153	15.9	3.9	1.7	0.5	35.2	33.0	1.8
	$t^*(\%)$	50.0	-12.1	0	95.1	64.4	-6.34	51.8	94.2	96.4	66.5
	迁移序列	$Na_2O > CaO > K_2O > P_2O_5 > MgO > MnO > SiO_2 > Al_2O_3 > TiO_2 > Fe_2O_3$									
吊 罗 山 雨 林	土 壤	610	30.0	223	4.3	4.0	4.4	0.2	7.2	0.9	0.6
	母 岩	672	49.0	150	34.3	18.5	6.4	0.8	24.1	30.0	3.6
	$t^*(\%)$	39.0	58.8	0	91.6	85.5	53.8	80.0	79.9	98.8	89.0
	迁移序列	$Na_2O > CaO > P_2O_5 > MgO > MnO > K_2O > Fe_2O_3 > TiO_2 > SiO_2 > Al_2O_3$									
南昌梅岭 常绿阔叶林	土 壤	599	75.8	199	0.9	15.2	8.5	0.8	27.0	3.9	0.8
	母 岩	657	65.5	163	10.3	17.0	6.9	1.0	34.0	18.5	0.4
	$t^*(\%)$	25.5	5.50	0	92.6	27.0	-0.60	38.0	35.2	82.9	-63.3
	迁移序列	$CaO > Na_2O > MnO > K_2O > MgO > SiO_2 > Fe_2O_3 > Al_2O_3 > TiO_2 > P_2O_5$									
红 壤 站 人工幼林	土 壤	647	65.1	176	6.4	9.3	7.0	0.19	16.7	0.8	0.39
	母 岩	838	8.7	74	14.4	2.6	6.5	0.12	25.4	9.4	0.33
	$t^*(\%)$	67.7	-213.4	0	81.4	-49.8	0.55	33.7	72.5	66.4	50.5
	迁移序列	$Na_2O > CaO > K_2O > SiO_2 > P_2O_5 > MnO > TiO_2 > Al_2O_3 > MgO > Fe_2O_3$									

$$*t = \frac{t_1 - t_2}{t_1} \times 100\%, \quad t_2 = t' \times \frac{\text{母岩 } Al_2O_3}{\text{土壤 } Al_2O_3} \times 100\%$$

式中: t 为氧化物从母岩风化过程中迁移的重量%; t_1 为母岩氧化物的重量%; t_2 为 Al_2O_3 在不变情况下土壤中氧化物的重量%; t' 为土壤氧化物的重量。

表 4

热带亚热带森林土壤的矿物组成

地点, 土壤	矿 物 含 量 顺 序
吊罗山砖红壤	高岭石、水云母、三水铝石
吊罗山黄壤	高岭石>蒙脱石>水云母>含铁矿物 (赤铁矿、针铁矿)
南昌红壤	高岭石>石英>蛭石>水云母>蒙皂石>1:1绿泥石-蛭石>绿泥石-蒙皂石
红壤站红壤	石英>高岭石>埃洛石>蛭石>三水铝石>水云母>1:1绿泥石-蛭石

较大, 亚热带森林土壤较小。从粘土矿物组成(表4)看, 花岗岩发育的红壤以1:1型高岭石为主, 第四纪红粘土发育的红壤则以石英、高岭石为主, 除主要矿物外, 不同母质、气候、植被条件下的土壤存在差异, 并在不同辅生矿物类型上得以体现。因此, 脱硅富铝化过程是红壤形成的基本过程, 也是红壤中所进行的一种地球化学过程。

2. 脱硅富铝化过程仍在继续进行: 脱硅富铝化过程目前是否仍在继续进行是一个有争议的问题^[5-7]。我们长期定位观测的结果表明, 该过程仍在继续进行, 主要表现在以下几方面。

(1) 土壤渗漏水中元素浓度: 土壤不同深度渗漏水中所检测的9种元素都有一定的含量, 以盐基和硅含量较高, 铁、铝、磷相对较少, 但不同林型间存在差异(表5)。

表 5

元 素 的 迁 移 浓 度

(单位: 毫克/升)

林型	土层深度 (cm)	标本数	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
季雨林	0—2	80	10.52	0.61	0.92	4.75	2.06	0.10	12.07	2.52	0.12
	0—35	80	5.70	0.79	0.88	2.92	2.78	0.05	10.70	1.88	0.04
	0—90	50	5.52	0.42	0.75	1.83	1.17	0.05	5.16	2.22	0.06
雨 林	0—2	80	10.35	0.72	0.88	1.19	1.68	0.03	1.82	3.43	0.07
	0—35	80	8.21	0.92	1.33	0.48	0.72	0.03	4.44	2.44	0.08
	0—90	50	7.64	1.94	1.79	0.58	0.68	0.33	4.73	2.66	0.05
橡胶林	0—2	80	5.58	0.71	0.58	5.07	1.92	0.05	5.32	2.23	0.09
	0—35	80	6.10	0.40	0.98	2.25	1.58	0.05	6.47	2.21	0.09
	0—90	50	4.31	0.36	0.41	2.68	1.03	0.05	6.82	2.35	0.03
阔叶林	0—2	70	5.91	0.62	0.34	3.58	2.36	0.05	4.36	1.69	0.09
	0—35	70	2.67	0.14	0.09	3.68	2.33	0.09	9.32	1.95	0.05
	0—90	50	0.57	0.10	0.17	8.82	1.57	0.03	3.26	2.78	0.08
人工林	0—2	70	3.3	0.12	0.05	4.91	1.03	0.08	2.12	2.35	0.05
	0—14	70	2.66	0.15	0.04	4.54	0.82	0.07	1.73	1.78	0.05
	0—35	50	2.77	0.12	0.74	3.68	0.99	0.10	3.20	7.12	0.06

(2) 地表迁移量: 以盐基和硅迁移量最大, 不同林型下均超过总迁移量的98%, 而铁、铝等<2%; 迁移总量以林被覆盖度大的较大(表6)。

(3) 土壤渗漏迁移量: 以盐基和硅迁移量最大, 占总迁移量的81—99%(表6)。

(4) 水迁移系数: 水迁移系数顺序为盐基>硅、磷>铁、铝, 迁移能力与迁移顺序一致, 且热带比亚热带强烈(表7)。

表 6

元素(氧化物)迁移量

单位: 千克/公顷/年

林 型	类 型	方 式	硅	铁	铝	钙	镁	锰	钾	钠	磷	合计	盐基和硅占 %
雨 林	地表	迁 移 量 迁移系列	12.2	0.22	0.02	9.61	2.18	0.05	14.9	5.4	0.22	44.80	98.9
			$K_2O > SiO_2 > CaO > Na_2O > MgO > P_2O_5, Fe_2O_3 > Al_2O_3, MnO$										
季 雨 林	渗漏	迁 移 量 迁移系列	23.3	5.9	5.5	1.8	2.1	0.1	14.4	8.1	0.2	61.33	81.4
			$SiO_2 > K_2O > Na_2O > Fe_2O_3 > Al_2O_3 > CaO > MgO > P_2O_5 > MnO$										
常 绿 阔 叶 林	地表	迁 移 量 迁移系列	12.7	0.10	0.02	10.3	2.4	0.05	14.9	6.0	0.25	46.7	99.1
			$K_2O > SiO_2 > CaO > Na_2O > MgO > P_2O_5 > Fe_2O_3 > MnO > Al_2O_3$										
人 工 幼 林	渗漏	迁 移 量 迁移系列	21.8	1.6	2.3	7.3	5.3	0.2	25.5	5.7	0.2	69.8	94.0
			$K_2O > SiO_2 > CaO > NaO > MgO > Al_2O_3 > Fe_2O_3 > P_2O_5 > MnO$										
吊 罗 山 季 雨 林	地表	迁 移 量 迁移系列	11.0	0.23	0.14	4.7	1.4	0.1	6.6	4.3	0.1	28.5	98.3
			$SiO_2 > K_2O > CaO > Na_2O > MgO > Fe_2O_3 > Al_2O_3 > MnO, P_2O_5$										
吊 罗 山 橡 胶 林	渗漏	迁 移 量 迁移系列	6.2	0.53	0.41	9.1	3.9	0.41	9.8	3.8	0.18	34.0	96.5
			$K_2O > CaO > SiO_2 > MgO > Na_2O > Fe_2O_3 > Al_2O_3 > P_2O_5 > MnO$										
南 昌 梅 岭 阔 叶 林	地表	迁 移 量 迁移系列	13.9	0.15	0.54	9.7	1.7	0.02	16.1	23.1	0.04	85.3	98.8
			$Na_2O > K_2O > SiO_2 > CaO > MgO < Al_2O_3 > P_2O_5 > MnO > Fe_2O_5$										
红 壤 站 人 工 林	渗漏	迁 移 量 迁移系列	5.0	0.13	0.02	8.7	2.5	0.10	3.5	3.6	0.07	23.8	98.7
			$CaO > SiO_2 > Na_2O > K_2O > MgO > Fe_2O_3 > MnO > P_2O_5 > Al_2O_3$										

表 7

热带亚热带森林土壤元素(氧化物)的水迁移系数(K_x)*

地点, 林型	项 目	硅	铁	铝	钙	镁	锰	钾	钠	磷
吊 罗 山 季 雨 林	K_x	0.43	1.43	0.21	6.54	19.43	4.52	10.40	2.48	1.47
	迁移序列	镁>钾>钙>锰>钠>磷>铁>硅>铝								
吊 罗 山 雨 林	K_x	0.60	1.05	0.41	0.57	2.44	1.17	10.93	4.25	1.01
	迁移序列	钾>钠>镁>锰>铁>磷>钙>硅>铝								
吊 罗 山 橡 胶 林	K_x	0.37	2.30	0.24	10.65	20.00	5.34	8.41	3.29	1.78
	迁移序列	镁>钙>钾>锰>钠>铁>磷>硅>铝								
南 昌 梅 岭 阔 叶 林	K_x	0.28	0.24	0.07	26.04	6.71	4.06	8.45	6.04	13.04
	迁移序列	钙>磷>钾>钠>镁>锰>硅>铁>铝								
红 壤 站 人 工 林	K_x	0.25	0.65	0.01	25.63	40.96	35.72	5.8	16.25	12.52
	迁移序列	镁>锰>钙>钠>磷>钾>铁>硅>铝								

* $K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$; K_x —x元素的迁移系数, m_x —x元素在水中的含量(克/升); a —水中离子总量(毫克/升);

n_x —x元素在土壤中的含量(%)。

尽管溶液中元素的浓度、迁移量和迁移强度随植被组成、母质类型、土壤深度不同而有一定差异,但脱硅富铝化总趋势是一致的。因此可以认为,红壤的发育虽然经历了长期古风化过程,但当前生物气候条件对其仍有明显的影响,并表现出现代成土过程的特点,说明在当前生物气候条件下,红壤的脱硅富铝化过程仍在继续进行中。

3. 脱硅富铝化过程的相对强度和影响因素

(1) 脱硅富铝化过程的相对强度: Pedro (1966) 提出的脱硅富铝化相对值^[8]以下式计

表 8 红壤脱硅富铝化的相对强度
与成土过程

母 质	红砂岩	花岗岩	玄武岩	第四纪 红粘土
结合的SiO ₂ (mol)	24301	18642	16753	24301
结合的盐基(mol)	1293	2508	6997	1293
淋洗的SiO ₂ (mol)	12757	8907	12650	14539
淋洗的盐基(mol)	1041	1696	6535	798
R值(1)	18.8	7.4	2.5	18.8
L值(2)	12.3	5.3	1.9	18.2
0.64R	12.0	4.7	1.6	12.0
相对结果	0.64<L>R			
成土过程	高岭化作用			
脱盐基(%) (3)	80.0	67.0	98.0	62.0
脱SiO ₂ (%) (4)	53.0	48.0	76.0	60.0

(1) R值 = 结合的SiO₂/结合的盐基; (2) L值 = 淋洗的SiO₂/淋洗的盐基; (3) 脱盐基 = 淋洗的盐基/结合的盐基; (4) 脱硅 = 淋失的SiO₂/结合的SiO₂

算:

$$\begin{cases} dx/dt = -P_x x \\ x(t_0) = x_0 \end{cases}$$

其解为:

$$x = x_0 \cdot e^{-P_x t}; \quad t = \lg(x_t/x_0)/-P_x$$

式中: x为某元素的含量; t为时间; P_x为元素迁移强度; x₀为原始母质中某元素的含量; x_t为土壤中某元素的含量。

根据上式, 以排水采集器所得到的物质迁移量为基础, 可推算出不同母质发育的红壤其成土过程均处于高岭化阶段。脱硅脱盐基量为砖红壤>红壤, 玄武岩发育的>第四纪红粘土发育的>砂岩发育的>花岗岩发育的红壤^[9](表8)。

(2) 水热状况对红壤脱硅富铝化的影响:

雨水的影 响。在雨季, 土壤渗漏水中元素浓度低, 旱季则高。一般来说, 降雨量为20—50毫米时, 土壤渗漏水中元素浓度最高, <20毫米时次之, >50毫米时最低。硅的浓度一般随降雨量增加而增加; 铁、铝、锰等在降雨量大时, 浓度升高, 钙、镁、钾、钠在中等降雨条件下浓度最高(表9)。

表 9 降雨量与渗漏水中元素(氧化物)含量的关系 单位: 毫克/升

林 型	降雨量 (毫米)	硅	铁	铝	钙	镁	锰	钾	钠	磷	合计
季雨林	<20	8.27	0.40	0.23	2.72	2.18	0.02	18.5	3.3	0.13	35.72
	20-50	13.2	0.47	0.57	2.21	2.11	0.06	15.9	2.2	0.13	36.83
	>50	10.8	0.30	0.23	1.63	1.52	0.07	9.8	1.9	0.05	26.24
橡胶林	<20	6.2	0.21	0.08	2.54	2.49	0.03	8.7	2.6	0.04	22.88
	20-50	9.5	0.36	0.28	4.43	3.09	0.07	12.6	2.9	0.14	33.43
	>50	6.8	0.39	0.37	2.06	1.66	0.06	7.1	2.0	0.10	20.54
阔叶林	<20	3.5	0.20	0.18	2.43	1.60	0.08	2.88	1.37	0.06	12.33
	20-50	4.1	0.21	0.18	3.57	2.40	0.09	2.98	1.69	0.11	15.33
	>50	4.8	0.24	0.11	1.78	1.57	0.10	2.37	1.09	0.11	11.67
人工林	<20	3.0	0.18	0.04	7.02	0.85	0.10	2.1	2.70	0.15	16.14
	20-50	3.2	0.18	0.02	8.38	1.83	0.08	2.6	2.8	0.12	19.21
	>50	3.8	0.20	0.05	4.4	0.79	0.11	1.5	1.6	0.11	12.56

温度的影响。以硅为例, 迁移量随温度上升而增加, 随温度降低而减少。计算出的不同母质发育的土壤的温度与土壤溶液中元素浓度的相关关系式及其r值列于表10。

研究土壤养分循环和脱硅富铝化过程, 除了可为土壤系统分类提供定量分类指标、阐明成土过程实质, 为全球环境变化提供有关参数外, 还可为农业生态系统的农林果合理布局及其配置, 因地制宜, 合理施肥以及提高系统的生产率, 恢复和保持生态平衡提供理论依据, 为当前农业生产和生态环境建设服务。

表 10

不同母质发育的土壤的温度与土壤溶液中元素浓度的关系(1989)

日期 (月/日)	T (℃)	S (mg/L)	T (℃)	G (mg/L)	T (℃)	B (mg/L)	T (℃)	Q (mg/L)
7/05	26.8	3.447	26.3	5.193	27.0	4.09	26.8	3.64
9/10	25.8	2.647	25.9	—	25.0	3.27	25.8	3.30
9/25	25.9	3.113	26.0	—	26.0	3.5	26.0	2.84
10/15	23.4	3.08	23.4	—	23.5	—	23.4	2.57
10/15	20.4	2.22	20.5	8.77	20.6	1.78	20.5	1.78
11/05	21.4	—	21.5	—	21.6	2	21.5	1.96
12/30	10.8	2.415	10.7	5.1185	10.9	2.51	10.7	1.94
1/15	10.1	2.027	10	5.355	10.2	2.82	10	2.10
1/20	9.6	1.503	9.7	3.85	9.8	0.86	9.7	1.867
1/25	9.0	1.547	9.1	4.045	9.1	1.305	9.1	1.813
1/25	9.8	1.62	10	4.11	9.9	1.31	9.9	1.917
2/10	8.9	1.38	9.1	2.51	9	1.31	9.1	1.527
2/20	11.5	1.2	11.5	2.617	11.7	0.66	11.5	1.637
3/10	11.2	1.187	11.5	2.58	11.4	0.633	11.4	1.497
关系式	$S = 0.09 T$ 0.68		$G = 0.177 T$ + 2.14		$B = 0.12 T$ + 0.19		$Q = 0.07 T$ + 0.98	
r值	$r = 0.87$ $n = 13$		$r = 0.56$ $n = 10$		$r = 0.74$ $n = 13$		$r = 0.81$ $n = 14$	

注：表中T代表温度；S为红砂岩、G为花岗岩、B为玄武岩、Q为第四纪红粘土发育的土壤

三、结 论

1. 我国热带亚热带森林强烈的选择吸收是养分运动的动力源，大量的凋落物为土壤富铝化提供物质基础，维持森林土壤间养分强烈交换并促进生物富集过程的不断发展，水热条件从总体上加速了物质循环过程，导致养分不平衡，促进了脱硅富铝化进程。所有这些特征因林型、母质、气候不同而存在差异。

2. 我国热带亚热带森林土壤的形成过程是脱硅富铝化和生物富集两种过程长期相互作用的结果。在现代生物气候条件下，红壤形成的主要过程，即脱硅脱盐基仍在继续进行，铁、铝则相对富集。并随气候、母质和林型而异。就母质而言，脱硅脱盐基的相对强度以玄武岩 > 红粘土 > 红砂岩 > 花岗岩；就气候而言，热带 > 亚热带；就林型而言，覆盖度大 > 覆盖度小。

参 考 文 献

- [1] 李庆远主编，中国红壤。第254—260页，科学出版社。1983。
- [2] 赵其国等，热带土壤的发生和分类研究进展。土壤学进展，第1—2期。1983。
- [3] E. C. J. Mohr, A comprehensive study of their genesis. Tropical soil. 120—180. 1971.
- [4] G. M. Marison, D. N. Hendricks, G. R. Dutl, soil science. Vol. 121, No. 2, 1971.
- [5] 赵其国，我国富铝化土壤发生特性的初步研究。土壤学报，第20卷4期，1983。
- [6] Jenny, Hans, Factors of soil Formation. A system of Quantitative Pedology, McGraw—Hill, New York, 281. 1941.
- [7] Vebl, M. A, Geochemical mass balances and weathering rates in forested watershed of southern Blue Ridge. American Journal of science. 285: 904, 1985.
- [8] Pedro, G and Berrier, J. C. R., Acad. Sci. paris, 262: 729—732, 1966.
- [9] Zhao Qiguo et al., Pedosphere, Vol. 1, No. 2, pp. 117—126, 1991.