

海南島西南部水热状况在 紅褐土形成中作用

唐永鑒 覃朝峰 謝永泉 麥榮基 曾燕祥 何远鈞

(中山大学地質地理系)

罗綺蓮 黃丽梨

(广州地理研究所)

一 海南島西南部水热状况及其和紅褐土之間关系

地表水热状况在土壤形成中有着巨大意义,直接、間接强烈影响土壤中各种物理、化学和生物过程。例如土壤矿物质和有机质轉化以及物质淋移和聚集等过程与水热状况均有着紧密的关系。当然,不等于說水热状况在土壤形成中起着决定性作用。在土壤形成中起着主导作用者固然是生物因素,然而生物群落和群体組成、分布以及生物活动强度都直接受水热条件所左右。可見,研究地表水热状况在土壤形成中作用,对闡明土壤发生、分布和性質有着重要的意义。

海南島西南部(由三亚至昌城)沿海低丘、台地上土壤,前人虽有所研究,对土壤形成的实质,迄今尚未完全闡明,命名也未一致。何金海等称为紅棕壤〔1〕;李庆逵、石华后改称为紅棕色土〔2〕;C、B佐恩、李庆逵〔3〕列入热带干草原植被下的褐色紅壤土类中,并分出三个亚类:褐色紅壤、暗色紅壤和褐色热带草原土,馬溶之、文振旺称为紅褐土〔4〕。根据我們实地調查,同意最后的命名。世界紅褐土发育在热带干性森林气候条件下,海南島西南部生物气候特点相类似。

海南島西南部是海南島最干热的地方。年輻射总量达130—140大卡/厘米²年,在雨季消耗蒸发的热量較多,在干季大量消耗于乱流交換,全年消耗于乱流交換占很大比重,年輻射平衡值約70大卡/厘米²年〔5〕(表1),可見这里能量十分丰富。全年各月土壤表层温度均大于20°,4—8月在30°C以上,最高超出34°C。也和土壤疏松、砂质、常干燥、热容量小有一定关系。1月至2月,表层比20厘米深处的温度低1°C,4—8月則高1—2°C,反映土壤热交換,在干凉季节自下而上,雨季自上而下(图1)。与海南島东北和东南磚紅壤性土比較,有較明显差异,后者年輻射平衡值略小,土壤表层温度較紅褐土常低1—2°C,高温期略短,年振幅較大,在20厘米土层中,全年土壤热交換几均自上而下(图2)。

紅壤土地溫年狀況圖

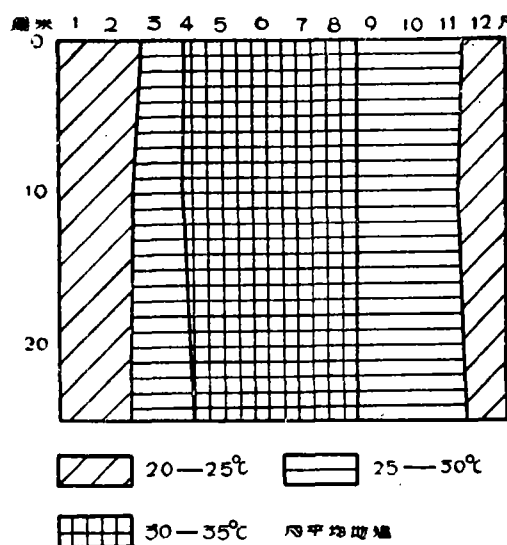


圖1

鉄質硬紅壤性土地溫年狀況圖

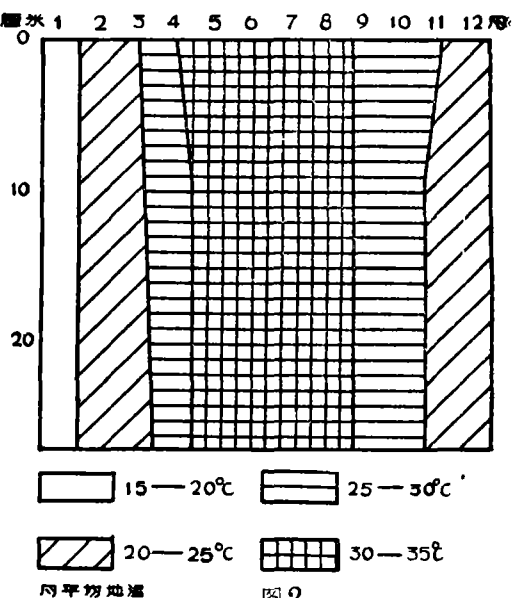


圖2

表1 海南島西南部和東南部的水熱狀況比較

項 目 \ 地 區	西 南 部	東 南 部
活 動 積 溫 $^{\circ}\text{C}$	8900—9300	8000—9000
年 降 水 量 (毫米)	1000—1300	2000—2800
年 蒸 發 量 (毫米)	2500	1800
蒸 發 量 降 水 量	1.5—2.3	<1.0
水 熱 系 數 (注)	1.2—1.5	2.5
年 總 輻 射 量 Q (大卡/厘米 2 年)	130—140	125—130
輻 射 平 衡 R (大卡/厘米 2 年)	70以上	68—70
蒸 發 耗 熱 LE (大卡/厘米 2 年)	36—45	56
亂 流 熱 通 量 I (大卡/厘米 2 年)	25—30和以上	14—15
輻 射 干 燥 指 數 (R/LE)	1.2—1.5	0.5
$\frac{LE}{I}$	1.2—1.4	3.7—4.0

(注)水熱系數 $K = \frac{r}{0.1\sum\theta}$ (式中 r 代表高于 10°C 時期的降水量; $\sum\theta$ 代表同時期的積溫)

水分狀況和海南島磚紅壤性土分布地區比較,有着更為明顯的差別。年雨量1000—1300毫米,僅及海南島東南部的二分之一,由於熱量豐富,蒸發特別強烈,年蒸發量遠大於雨量。前者為後者1.5—2.3倍。不過,雨量分配異常不均,雨量集中5—10月(雨季),占全年雨量85—90%,11月至4月(旱季)占10—15%,雨季雨量為蒸發量2倍,旱季剛剛相反,蒸發量為雨量的2—4倍。因此,土壤水分狀況也和熱量一樣,有明顯季節更替,雨季土壤比較濕潤,水分以自上向下運動為主,但晴天,由於蒸發,部分水分自下往上運行。旱季蒸發強烈,水分以自下而上運行占絕對優勢,不過土壤多為砂壤土,孔隙度約占48%,大多為非毛細管孔隙,當表

土变干后, 心土和底土水分, 主要借水气扩散逐渐消失, 因此仍較湿润, 一般自然含水量为表土的2—5倍(表2)所以浅根的草本植物旱季枯黄, 深根的乔木, 生势仍然旺盛, 仅部分落叶, 减少蒸腾, 有刺灌丛亦生长正常。

表2 海南島西南部旱季的紅褐土水分状况
(分析者: 麦荣基、吳三保、唐日光)

采集地	植被	土层深度 (厘米)	自然含 水量%	田间特 水量%
东方市 附近	有刺灌 丛草地	0—5	3.33	19.88
		5—05	4.28	15.82
		25以下	11.3	17.1
热水居 便东南 2公里	有刺灌丛	0—10	6.0	
		10—25	8.51	
		25以下	10.09	
新 街	撩荒草地	0—14	3.3	8.73
		14—34	9.5	13.14
		34—65	14.0	17.08
		65—100	14.55	
北 黎	防护林	0—20	9.64	
		20—40	12.01	
		40—80	21.52	

可見, 热量丰富, 水分不足, 水分和热量又有明显季节更替, 是海南島西南部气候最主要特点。它对土壤形成有着明显影响。按照M. M. 布德科提出的辐射干燥指数和辐射平衡值与植被关系看来, 这里辐射平衡值約70大卡/厘米²年, 辐射干燥指数为1.2—1.5, 自然植被应属于热带森林和热带草原过渡类型(6), 則土壤介乎磚紅壤和热带草原土之間, 依照B. P. 沃洛布耶夫[8]提出的热力系列和水文系列与土壤之間关系(表3), 这里土壤属于热带栗鈣土, 热带稀树干

草原黑色土或紅棕色土。П. И. 格拉西莫夫曾把活动积温 and 干燥指数作为代表影响土壤形成过程的水热条件的基本指标, 认为在活动积温为8000—11000°C 的热带, 当干燥指数0.5—1.0时, 出现热带雨林磚紅壤, 为1.00—1.7时, 出现热带高草稀树、热带草原紅色土, 为1.7—2.5时, 出现热带干旱森林紅褐土, 干燥指数如果大于2.5时, 出现热带稀树草原紅棕色土。根据海南島西南部气候資料計算, 活动积温为8900—9300°C, 干燥指数为1.5—2.3, 以此数据来看, 这里土壤属于热带高草稀树草原紅色土和热带干旱森林紅褐土。R. 兰格 (Lang, 1915年) 最早提出水热状况和土壤的关系[8], 把雨温商 $\left[RF = \frac{R(\text{降水量, 毫米})}{F(\text{年均温, } ^\circ\text{C})}\right]$ 作为划分土类界限的指标, 海南島西南部的雨温商为45左右(表3), 則土壤介乎热带荒漠土和磚紅壤之間。从上述水热状况和土壤之間种种关系看来, 海南島西南部自然植被属于热带干性季雨林, 土壤为紅褐土。它和磚紅壤性土在发育系統和空間分布上有着紧密联系, 例如分布在东方、乐东盆地的褐色磚紅壤性土, 是它們之間联系的环节。

二、水热状况在土壤矿物轉化中作用

水热状况对土壤矿物轉化有着决定性意义, 是无可否认的, 但它們之間关系迄今尚未充分闡明。虽然H. 珍尼(9)曾提出土壤矿物和水热状况之間有着函数关

系。并借水热状况计算粘土含量:

$$\Gamma = 0.0114me^{0.14T}$$

式中 Γ ——100厘米厚土层中粘粒平均含量, m ——罗伊尔系数

($NS = \frac{\text{降水量}}{\text{空气中水汽饱和差}}$), T ——温度, e ——自然对数底。

E. 科罗乌捷尔 (КроуБер) 提出铝率与降水量 (R 厘米) 和温度 ($T^{\circ}C$) 之间有函数关系:

$$S = 4.056 - 0.0255R + 0.113T$$

这些经验公式只适用于局部地区, 缺乏普遍意义。虽则如此, 仍然可以看出水热状况对土壤矿物转化和元素迁移有着明显影响。

海南岛西南部水热状况在红褐土的矿物组成和转化中所起的作用, 概括为下列两点:

1. 风化淋溶较弱, 具有中性铝化类型特点

海南岛西南部热量异常丰富, 但水分不足, 矿物风化和物质淋溶远没有海南岛西北、东北和东南砖红壤性土中那样强烈, 原生矿物没有彻底分解, 次生粘土矿物合成过程也较迟缓, 分解系数远较砖红壤性土低, 粘粒含量较小 (表4), 在矿物转化过程中, 物质淋溶较弱, 不仅硅酸态 SiO_2 迁移微弱, 而且硷土金属淋失不强, 仅硷金属有多量淋失。具体表现铝化系数、硅铁化系数特别高, 淋溶系数、残积系数特低, 在吸收复合体中, 代换性钙、镁占显著优势, 盐基饱和度在70%以上, 为铁质砖红壤性土的4倍, pH为6.5—7.0。在粘土矿物组成中, 尚含有钾长石等原生矿物, 次生粘土矿物以高岭土、伊利石为主, 其次为褐铁矿和无定形 SiO_2 , 没有砖红壤性土中代表性粘土矿物——三水铝石。粘粒中铝率和硅铁铝率均较高, 在2以上, 为砖红壤性土的2倍, 可见红褐土矿物组成具有中性铝化类型特点, 由表3.图3.可以明显看出, 由红褐土而褐色砖红壤性土, 红色砖红壤性土、铁质砖红壤性土至典型砖红壤土, 即由海南岛西南而西北、东北以至东南, 水热状况不断变化, 由干热渐变为热湿, 干燥辐射指数逐渐减小, 水文系数逐渐增大, 风化淋溶过程愈来愈强烈, 分解系数、淋溶系数、残积系数逐渐增大, 铝率和硅铁铝率逐渐减小, 粘土矿物由以高岭土、伊利石为主, 渐转变以高岭土、三水铝石、赤铁矿为主。充分反映水热状况在土壤矿物转化中巨大作用。

表4. 海南岛西南部红褐土的机械组成
(分析者: 罗荣基、吴三保、唐日光)

采集地	采样深度(厘米)	粒 级 含 量 %			机械组成	母 质
		2—0.02	0.02—0.002	<0.002		
黄流岭头 顶西南	0—10	77.62	13.90	8.48	砂 壤 土	花岗岩风化残 积坡积物
	10—20	67.39	15.17	17.44	砂质粘壤土	

三、水热状况在灰分元素的生物循环与土壤 有机质转化中的作用

水热状况在土壤的物质生物循环中的作用,主要通过植物群丛和微生物。按照这里气候的特点,自然植被为热带干性季雨林。由于长期人类活动的影响,现状植被主要有两种类型:

1. 次生热带干性季雨林。目前主要分布在距海较远的海拔45—60米(相对高度35—55米)的丘陵台地上。由落叶、常绿乔木组成的次生疏林,组成种类有木棉、楹树、酸豆(*Tamarindus*)厚皮树(*Lannea grandis*)等,林下灌木很多。

2. 有刺灌丛。它是海南岛西南部分布较广的现状植被,多分布在海拔35—45米(相对高度25—35米)的台地上。主要组成种类有酒饼簕(*Atalantia buxifolia*)、长簕木(*Gymnosporia diversifolia*)、刺篱木(*Flacourtia indica*)、圆叶刺篱木(*Flacourtia rukam*)、毒刺木(*Phyllochlanys taxoides*)、木刺藤(*Horrisonia perforata*)等,此外有老人皮(*Polyalthia Cerasoides*)、黑面神(*Breynia fruticosa*)、大沙叶(*Aporosa Chinensis*)、乌墨(*Syzygium Cumini*)、赤才(*Erioglossum rubiginosum*)、鸡占(*Terminalia hainanensis*)等阳性灌木和小乔木。

此外,在近海台地(海拔15—35米,相对高度10—25米)上,常为由东方金发草(*Chrysogon orientalis*)华三芒(*Aristida Chinensis*)茅根(*Perotis indiea*)扭黄茅(*Heteropogon Contortus*)丝毛飘拂草(*Fimbristylis Sericca*)等组成的草地。

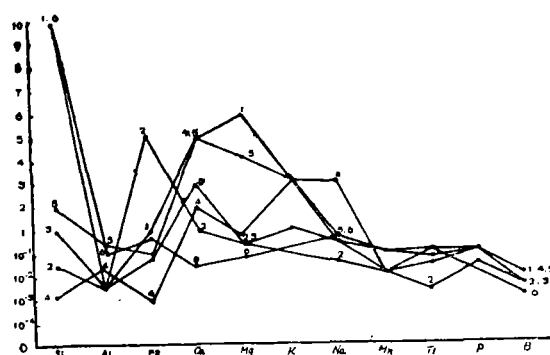
因此,每年进入土壤中的有机残遗物远比海南岛热带季雨林、雨林下砖红壤性土少。由于气候干热,土壤干燥,干季表层自然含水量为3%,心土可达12.0%,土壤常处于好气状况,好气微生物占绝对优势。每逢雨季,雨水迅速下渗(由于质地较粗),同时蒸发强烈,仍然以好气微生物最为活跃,植物残遗物强烈分解,形成的腐殖质也不断分解,土壤中累积腐殖质很少,只有0.3—1.4%,仅及铁质砖红壤性土的三分之一至十分之一,典型砖红壤性土的五分之一至二十分之一。将它们与水文系数和辐射干燥指数联系起来看,其间有一定相关性,随着水文系数增加和辐射干燥指数减少,腐殖质及其中N素含量有增加的趋向(图3、表3)此外,红褐土中腐殖质是在近乎中性环境中累积,其中胡敏酸含量比较高,有时居于优势,胡敏酸和富里酸比值远比砖红壤性土大。

水热状况在灰分元素生物循环上也有明显影响。由于气候干热,淋溶较弱,土体中含有一坚数量的硷金属和硷土金属,同时硅酸态 SiO_2 转入土壤溶液中很少,因此转入生物循环中的灰分元素的相对数量和砖红壤性土—植被间循环中的有显著差别,后者以Si占优势[10],在红褐土的灰分元素生物循环中, Si处于极不重要地位, K、Ca、Na、Mg起着主要作用。由有刺灌丛组成成分的灰分元素含量顺序可以明显看出(表5图4):

K、Ca、Na>Mg, P、Ti>Al、B、Mn、Cu>V>Si、Fe、Pb、在植被和土壤

之間吸水系列中(表 6), 反映植物从土壤中大量吸收Ca、Mg、K、Na等。当然, 这和生物本身特性有一定联系。

图 4 海南島西南部紅褐土及其上植被与砖紅壤性土上青梅林的灰分元素組成(%) (光谱分析) (李瑩珊繪)



- 1——青梅; 2——长勒水(果叶); 3——园叶刺篱木(枝叶);
4——有刺灌木; 5——紅褐土上枯枝落叶;
6——紅褐土表层 (图2)

当植物殘遺物进入土壤表面, 常形成薄薄的枯枝落叶层。在这样干热条件下, 其組成也发生一定变化。将新鲜植株和它对比, 除Na发生較明显迁移外, 其他組成成分沒有显著变化, Ca、Mg、Mn、Al、Fe和Si有相对增加的趋势(表 6)。当它們进一步轉化, Ca、Mg在土壤中发生明显累积。C、B、佐恩和李庆远曾有类似看法(3)。

表 6、海南島西南部紅褐土生物吸收系列迁移系列和累积系列
(根据光谱分析資料換算)

生物—土壤系列类型	生物吸收系列, 迁移系列和累积系列的元素順序
生物吸收系列 植物群丛的灰分元素含量	Ca $\frac{10^{-1}-10^{-2}}{1-50}$ > Mg, Na $\frac{1}{10}$ > B, Mn $\frac{1}{10}$ > Ti, Cu $\frac{1}{10^{-1}}$ > Al $\frac{1}{10^{-1}}$ > Fe $\frac{1}{10^{-3}}$ > Si $\frac{1}{10^{-4}}$
土壤表层灰分元素含量	
生物迁移系列 植物群丛的灰分元素含量	Na $\frac{1}{1-50}$ > K, B, P, Ti, Cu $\frac{1}{1}$ > Ca, Mg, Mn $\frac{1}{10^{-1}}$ > Al, Fe $\frac{1}{10^{-2}}$ > Si $\frac{1}{10^{-3}}$
枯枝落叶灰分元素含量	
生物累积系列 枯枝落叶灰分元素含量	Mg, Ca $\frac{1}{10^2}$ > B $\frac{1}{10}$ > Al $\frac{1}{1-10}$ > Na, Fe, Mn, Ti, Cu $\frac{1}{1}$ > Si $\frac{1}{10^{-1}}$
土壤表层灰分元素含量	

由于碱土金属淋溶較弱, 而且Ca、Mg发生生物累积, 土壤吸收复合体中代換性阳离子以Ca和Mg离子为主, 土壤溶液呈微酸性至中性反应(PH值为6.5至7.0),

因此磷的有效性比較高，一般呈离子状态($\text{PHO}_4^{--}\text{H}_2\text{PO}_4^-$)，易轉入生物循环，所以在植物灰分中，磷的含量仅次于碱土金属和碱金属。植物殘遺物經過矿化作用以后，轉入土壤中磷酸盐，在气候干旱和土壤含一定Ca、Mg、Fe等元素条件下，不易淋失，在植物土壤体系中，保持动态平衡（表6）。

在上述条件下，紅褐土是热带含铜很丰富的土壤（ $10^{-2}\%$ ），同时也較活跃地轉入生物循环，它在植物土壤体系中也保持动态平衡。

紅褐土也和热带其他土类一样，在高温好气条件下，Fe、Al、Mn、Ti等元素在土壤中有明显累积。它們有一定数量轉入生物循环，其中鈦比較突出，植物灰分中Ti的含量几和P相近。

四、紅褐土利用和改良

紅褐土是热带干性森林下发育的土壤。风化淋溶較弱，有机殘遺物的矿化作用特別强烈，因而土体疏松，矿物质养料丰富，但有机质貧乏，氮素不足。此外土性温暖，热量丰富，而水分不足，特别是土壤表层在秋冬特別缺水。深根的本木植物生长良好，草本植物常常旱死。按照海南島西南部生物气候和紅褐土性态看来，发展热带耐旱作物如劍麻、油棕等，特别是本木經濟作物如腰果等有很广阔前途。在雨季和水源条件較好的地方，可以种植一些較耐旱的作物如番薯、西瓜等。提高紅褐土生产力，首在增高土壤水分含量，如开辟灌溉水源和建立防护林。北黎和新街建立的木麻黄防护林，生长旺盛，提高环境湿度和土壤水分有显著效果，旱季林下表土自然含水量为林外撩荒草地的3倍。其次在于增施有机肥料和綠肥，保証养分供应，特别是氮素供应有很大意义。

参 考 文 献

- 〔1〕 何金海等：海南島土壤調查报告 土壤专报第31号 1958年
- 〔2〕 李庆逵、石华：广东、湖南、江西三省及广西僑族自治区初步土壤区划 土壤专报第34号 1959年
- 〔3〕 C.B.佐恩、李庆逵：中国热带土壤发生与分类的一些問題 土壤学报第6卷第3期1958年
- 〔4〕 馬溶之、文振旺：以农业发展为目的的土壤区划的原則 土壤学报第6卷第3期1958年
- 〔5〕 黃潤木：广东地面的热量平衡 地理学报第26卷第3期 1960年
- 〔6〕 M.N.布德科：地表面热量平衡 科学出版社 1960年
- 〔7〕 么枕生：气候学原理 科学出版社 1959年
- 〔8〕 B.П.沃洛布耶夫：土壤与气候 科学出版社 1958年
- 〔9〕 Hans Jenny：Факторы Почвообразования 1958年 俄文譯本
- 〔10〕 唐永鑾、謝永泉、麦荣基、汪晋三、邓尚桐：广东主要景观类型的生物地球化学特点 地理学报第28卷第4期 1962年
- 〔11〕 张汝年：海南島热带土壤的粘土矿物 土壤学报第11卷第1期 1963年

表3. 海南島水熱狀況與主要土類的組成和性態對比關係

[illegible]

(注1) 水文系数 $H=43.2 \cdot P^{-1}$; 式中 P —年降水量; t —年坝高(=C)

(注2) 淋溶系数= SiO_2 ; ($MgO + CaO + Na_2O + K_2O$)

表5. 海南島紅褐土及其上植物和磚紅壤性土上青梅林灰分的光譜半定量分析*
(分析者: 覃朝峰、謝永泉)

灰分元素 含量% 样品名称	硅 Si	鋁 Al	鐵 Fe	鈣 Ca	鎂 Mg	硼 B	磷 P	鉛 Pb	鎢 W
长勒木(果叶)	10^{-1} — 10^{-2}	$3 \cdot 10^{-2}$	1—10	1	10^{-1} —1	$3 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1} — $3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
圓叶刺欖木 (枝叶)	1	$3 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-2}$	1—10	$\sim 3 \cdot 0$	$3 \cdot 10^{-1}$ —1	$3 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-2}$	$\sim 3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-3} — 10^{-2}
有刺灌丛 (混合成分)	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$< 10^{-3}$	1—3	$3 \cdot 10^{-1}$ — $5 \cdot 10^{-1}$	10^{-2} — $5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$	×
枯枝落叶	1—3	$5 \cdot 10^{-1}$ —1	$\sim 10^{-1}$	$\sim 5 \cdot 0$	3—5	$\sim 10^{-2}$	10^{-1} — $3 \cdot 10^{-1}$	$\sim 3 \cdot 10^{-2}$	×
紅褐土表层	> 10	10^{-1} — $3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-2} — 10^{-1}	$3 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^{-3}$	—	—	×
青梅(枝叶) (砖紅壤性土上)	> 10	10^{-3} — 10^{-2}	1—0	1—10	3—10	10^{-2} — $5 \cdot 10^{-2}$	10^{-1} — $3 \cdot 10^{-1}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$	—

灰分元素 含量% 样品名称	錳 Mn	鈦 Ti	鉬 Mo	鈮 V	銅 Cu	鎳 Ni	鈷 Co	鋇 Ba	鉀 K	鈉 Na	鎳 Ga
长勒木(果叶)	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-2}$	×	$< 10^{-3}$	10^{-4}	10^{-3} — 10^{-2}	—	10^{-3}	—	$3 \cdot 10^{-2}$ — 10^{-1}	—
圓叶刺欖木 (枝叶)	10^{-2} — $3 \cdot 10^{-2}$	10^{-2} — 10^{-1}	$< 10^{-3}$	10^{-2}	10^{-4}	$\sim 10^{-2}$	$< 3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	1	$5 \cdot 10^{-1}$ —1	—
有刺灌丛 (混合成分)	10^{-2}	10^{-1}	×	10^{-3} — 10^{-2}	10^{-2} — $5 \cdot 10^{-2}$	—	—	×	1—5	1—5	—
枯枝落叶	10^{-1} — $3 \cdot 10^{-1}$	10^{-1}	×	10^{-3} — 10^{-2}	10^{-2} — $5 \cdot 10^{-2}$	—	—	10^{-3} — 10^{-2}	1—5	10^{-1} —1	—
紅褐土表层	10^{-1}	10^{-1} — $5 \cdot 10^{-1}$	×	10^{-3} — 10^{-2}	10^{-2} — $5 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	—	10^{-1} —1	—
青梅(枝叶) (砖紅壤性土上)	10^{-1} — $5 \cdot 10^{-1}$	10^{-1}	—	10^{-3} — 10^{-2}	10^{-4} — 10^{-3}	10^{-3} — 10^{-2}	×	10^{-3}	—	$3 \cdot 10^{-1}$ —1	10^{-3}

*灰分制备与实验参加者: 蔡宗夏、沈璧鴻、庄永年

表 4 广东沿海某些植物灰分的光谱分析* (分析者: 谢永泉、廖荣基)

植物	元素	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	Ti	Mn	B
红茄苳	叶	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$5 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	$<10^{-3}$	>10	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$>10 \cdot 0$	10^{-1}	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	枝	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$<10^{-3}$	>10	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$>10 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
角果木	叶	$3 \cdot 10^{-2}-1 \cdot 0$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	果	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$	$<10^{-3}$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
桐花树	叶	3	$1-5$	$5 \cdot 10^{-3}$	>10	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	茎	$5 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$<10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
江主	茎	$5 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$<10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$	$1-3$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$5 \cdot 1 \cdot 0$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	根	$3-5$	$3 \cdot 10^{-1}-5 \cdot 10^{-1}$	$1-3$	$3 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$1-3$	$5 \cdot 10^{-1}-1$	$10^{-1}-3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
藤	花	$5-10$	$10^{-1}-5 \cdot 10^{-1}$	$10^{-1}-1$	$5 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}-1$	$5 \cdot 1$	$5 \cdot 10^{-1}-1$	$3 \cdot 10^{-1}-5 \cdot 10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	茎	$5-10$	$3 \cdot 10^{-2}-5 \cdot 10^{-2}$	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$1-3$	$5 \cdot 10^{-1}-1$	$10^{-1}-3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
薯	根	$5-10$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$3-5$	$3 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$1-3$	$1-3$	$<10^{-1}$	10^{-1}	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
	茎	$5-10$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$3-5$	$3 \cdot 10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}-1$	$1-3$	$1-3$	$<10^{-1}$	10^{-1}	$10^{-2}-10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-2}$
红茄苳	叶	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	枝	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
角果木	叶	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	果	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
桐花树	叶	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	茎	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
红茄苳	叶	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	茎	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
江主	叶	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	茎	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
藤	花	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	茎	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
薯	根	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—
	茎	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	$10^{-3}-10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	—

*光谱分析采用立式 НОП-25 型光谱仪, $10-12 \mu$ 波段, 电流 $12-16 \text{ A}$ 摄谱。分析波长选择 $2300-4900 \text{ \AA}$, 分析线采用 В. С. АСАТИЯНИ. ВХОДНИЧЕБНАЯ ФОТОМЕТРИЯ。红茄苳重复分析二次, 角果木分析一次, 桐花树、老茄苳分析三次, 江主、藤薯也进行了三次以上分析, 由于重复误差不太大, 未进行平均值计算。

表 5 广东白藤草甸沼泽化重盐土和草甸脱沼泽化轻盐土化学分析结果 (分析者: 廖荣基, 邓尚桐)

土 壤	深度 (厘米)	有机 质%	C/N	PH	Eh (毫伏)	全盐 量 %		阴 离 子 %		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻	阳 离 子 %			Na ⁺ K ⁺ / Ca ⁺⁺	Cl ⁻ 和 SO ₄ ²⁻ 季 节 变 化						
						Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺			Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻ (毫克当量/立升)	SO ₄ ²⁻ (毫克当量/立升)		Cl ⁻ 和 SO ₄ ²⁻ 季 节 变 化		雨 季	旱 季			
										雨 季	旱 季											
草甸 沼 泽 土	0—10	2.3	12.9	7.8	60	0.81	81.0	16.6	2.4	4.9	22.4	17.6	69.0	2.63	2.89	24.79	1:8.6	0.65	3.10	1:4.76	4.5	8.0
草甸 沼 泽 土	10—30	2.0	10.17	7.8	40	0.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草甸 沼 泽 土	30—50	2.2	12.21	7.8	40	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草甸 沼 泽 土	0—10	2.4	10.7	6.5	120	0.77	—	—	—	—	—	—	—	—	1.97	3.10	1:1.57	1.94	1.03	1:0.53	1.0	3.0
草甸 沼 泽 土	10—30	2.3	11.9	7.4	80	0.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
草甸 沼 泽 土	30—50	2.1	12.9	7.3	60	0.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 6 芒草和其下土壤的灰分组成 (%) (光谱分析) 及其生物吸收系列

注 生	大 量 元 素	微 量 元 素
(地上部分)	$\text{Fe} > 10 > \text{Al} > \text{Si} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Mn}, \text{Ti}, \text{Ca} > \text{Cu}, \text{Zn}, \text{Li}, \text{Y}$ $\text{Na} > 10 > 5.0 \text{ }_{3-5} \text{Ca} > 1-3 \text{ }_1 \text{ }_{3-5} \text{Fe} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 3 \cdot 10^{-2} > 3 \cdot 10^{-2}$	$\text{Pb}, \text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Ga} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2}$ $\text{V} > \text{Ni}, \text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ga} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-2}$
注 生 (根)	$\text{Fe} > 10 > \text{Si} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Sn} > \text{Mn} > \text{Ti}, \text{V}, \text{Zn}, \text{Y}, \text{Li}$ $\text{Na} > 10 > 3 \cdot 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-1} > 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-2} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 10^{-2} > 10^{-2}$ $\text{K} > 10 > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1}$	$\text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Ga} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3}$ $\text{Pb} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3}$
草甸沼泽化重盐土 (0-20厘米)	$\text{Si} > 10 > \text{Fe} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Al} > \text{Mn} > \text{Ti}, \text{V}, \text{Li}, \text{Y}, \text{Zn}$ $\text{Na} > 10 > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-1} > 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-2} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 10^{-2}$ $\text{Mg} > 10 > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-1} > 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-2} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 10^{-2}$	$\text{Cu}, \text{Pb}, \text{Sn}, \text{Ni}, \text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ga} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 10^{-3} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3}$ $\text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Ga} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3}$
生物吸收系列 (注)	$\text{Ca} > \text{Al} > \text{Ti} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{Fe}, \text{Na}, \text{K}, \text{Ce}, \text{Li}, \text{Y}, \text{Zn} > \text{V} > \text{Si}$ $\text{Sr} > 10 > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-1} > 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-2} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 10^{-2}$ $\text{K} > 10 > 1 > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-1} > 10^{-1} > 5 \cdot 10^{-2} > 10^{-1} > 3 \cdot 10^{-2} > 10^{-2}$	$\text{Cu} > \text{Sn} > \text{Pb} > \text{Ni}, \text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ga} > 30 > 5 > 10 > 1 > 10^{-1} > 1 > 10^{-1} > 1 > 10^{-1} > 1 > 10^{-1}$ $\text{Sr}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Ga} > 5 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3} > 10^{-3} > 3 \cdot 10^{-3}$

(注) 无括号的数值为芒草地上部分和土壤的灰分元素含量比值; 括号内数值为芒草根和土壤的灰分元素含量的比值。

表(一) 厚皮香族 Ternstroemiaceae 各属比較表*

特征	厚皮香属 Ternstroemia	安納士属 Annelssea	卫士納属 Visnea	楊桐属 Adinandra	梅尔喜属 Melchiora	Archboldia dendron	省 杧 Cleyera	猪血木属 Euryodendron	杧 Eurya	美洲杧属 Fraziera	帕塔士科雅 Patascaya
芽 体	短, 无毛	短, 无毛	短, 有毛	較短, 多数有毛	无, 毛	—	长筒形, 无毛	短小, 有毛	短小, 有或无毛	短小, 有毛	短, 有毛
叶	多列, 厚	多列, 厚	多列, 薄	2列, 厚	多列, 薄	—	2列, 厚	多列, 薄	2列, 薄	2列?	2列
脉 紋	不 明 显	不 明 显	网脉不明显	密而平行	密而平行	—	密而平行	网脉明显	网脉明显	网脉明显	网脉明显
叶 緣	全 緣	全 緣	有鋸齿	全緣或有小齿	有細齿	—	多为全緣	有鋸齿	有鋸齿	有鋸齿	有鋸齿
花 梗	粗长, 向下弯	粗长, 向下弯	粗长, 向下弯	长而向下弯	粗 长	粗 长	长, 有时向下弯	短, 直立	短, 直立	短小, 直立	短小, 直立
苞 片	2, 宿存	2, 宿存	2, 宿存	2, 宿存或脱落	2, 宿存	2, 脱落	痕 迹	2, 宿存	2, 宿存	2, 宿存	2, 宿存
花	♂, ♀, ♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♂, ♀	♂, ♀	♀
萼 片	宿 存	宿 存	宿 存	宿 存	宿 存	? 宿 存	宿 存	宿 存	宿 存	宿 存	宿 存
花 瓣	> 1 Cm	> 1 Cm	> 1 Cm	> 1 Cm	> 1 Cm	> 1 Cm	= 1 Cm	< 5 mm	< 5 mm	< 5 mm	< 5 mm
雄 蕊	30-45, 1-2列, 分离	30-40, 1-2列, 分离	10-21, 1列, 分离	25-60, 1-2列, 联合或分离	15-25, 1列, 分离	50-60	25-30, 1列, 分离	25, 1列, 分离	5-25, 1列, 分离	5, 1列, 分离	10-12, 1列, 分离
花 药	花药比花丝长, 无毛	花药比花丝长, 有毛	花药比花丝短, 无毛	花药比花丝长, 有毛	花药比花丝短, 无毛	—	花药比花丝短, 有毛	花药比花丝短, 有毛	花药比花丝短, 无毛	花药比花丝短, 无毛	花药比花丝长
子 房	上位, 1-5室	半下位, 2-3室	半下位, 3室	上位, 3-5室	上位, 5室	上位, 5室	上位, 2-3室	上位, 3室	上位, 3-5室	上位, 3-5室	上位, 2-3室
胚 珠	2, 3, 6	3-10	4	20-100	∞	∞	8-16	12	10-20	10-20	2
胎 座	垂 生	垂 生	中 軸	垂 生	2 裂	2 裂	中 軸	中 軸	垂 生	中 軸	垂 生
花 柱	联 合	联 合	3	联 合	联 合	5 (6-7)	联 合	联 合	1-5	联 合	联 合
柱 头	2-3	2, 3, 5	3	1-3	5	5 (6-7)	2-3	联 合	3-5	2-5	2

* 山矾果属 *Sympliocarpus* 及叉序茶属 *Stadenia* 未列入