

海南岛尖峰岭热带林生态系统研究(续)

Ⅲ. 热带林水热状况 Ⅳ. 热带林物质循环

联合课题组

(中国林业科学研究院热带林业研究所、林业研究所)

摘 要

热带林的反射率平均占辐射量的17.4%，向大气的有效长波辐射约占13.7%，净辐射约占70%。蒸散值约占年降水量的36—57%，平均为43.6%。水量平衡各分量、土壤CO₂释放量、森林小气候特征都与干湿季节的变化有明显的关系。山地雨林的年凋落物量平均为7.7±1.2t/ha，半落叶季雨林为9.7±2.3t/ha。物质循环的研究表明，热带林的有机物归还量大、分解快，在较少人为干扰下元素的输出较少，多用于系统内的循环利用。

关键词 海南岛尖峰岭；热带林；水热状况；物质循环

三、热带林水热状况

(一) 热量平衡与蒸散

根据对半落叶季雨林的观测推算，热带森林的反射率平均占辐射量的17.4%，森林向大气的有效长波辐射，平均占13.7%，净辐射约占70%。净辐射主要耗于乱流交换和蒸散消耗，植物体和土体贮热量不到10% (表5)，这是由于稠密的树冠阻止了辐射热进入林内，昼夜的吸热和散热差小的缘故。

按热量平衡——波文比法测得的蒸散值，占年降水量的36—57%，平均为43.6% (表6)^[1,7]。

表5 半落叶季雨林热量平衡

时 期	单 位	净 辐 射 RN	乱流热通量 H	汽化潜热 LE	表土热通量 G	植物贮热量 F
早 季	J/cm ² ·d	1047.4	818.0	133.6	70.9	24.8
	%	100.0	78.0	12.8	6.8	2.4
雨 季	J/cm ² ·d	741.2	79.1	608.2	42.5	11.5
	%	100.0	10.7	82.1	5.7	1.5
平 均	J/cm ² ·d	894.3	448.6	370.9	56.7	18.1
	%	100.0	50.2	41.5	6.3	2.0

表6 半落叶季雨林蒸散量(1983—1985年的均值)*

月	降 水 蒸 散 占 降 水			月	降 水 蒸 散 占 降 水		
	(mm)	(mm)	(%)		(mm)	(mm)	(%)
1	12.5	19.4	155.2	7	392.4	87.7	20.0
2	42.7	27.9	63.2	8	349.1	70.2	20.1
3	29.9	32.2	111.4	9	236.7	78.6	33.2
4	62.9	48.0	76.3	10	223.8	83.9	37.5
5	94.2	71.5	75.9	11	30.9	68.2	220.7
6	199.4	68.5	34.4	12	6.9	21.4	305.7
合 计					1590.3	677.1	42.6

* “降水层”系试验地外热林所气象站同期记录。

(二) 降水及其再分配

根据水量平衡方程式： $P = I + E + F_1 + f + L + \Delta W + F_2$ ，计算了尖峰岭热带林各组分所占降水的比率(表7)。半落叶季雨林因林分结构较简单，空气湿度小，而蒸散较大，持水较少，山地雨林结构复杂，所处立地空气湿度大，辐射小，则具有较大的持水、输水及较小的蒸散。

表7 热带林降水再分配估算(尖峰岭)*

项 目	半 落 叶 季 雨 林			山 地 雨 林		
	水 量 (mm)	占林外雨 (%)	占林地雨 (%)	水 量 (mm)	占林外雨 (%)	占林地雨 (%)
P 降水	1692.6	100		2601.9	100	
T 穿透	1266.1	74.8		1923.1	73.91	
S 茎流	51.5	3.04		(118.6)	(4.56)	
林地雨(T + S)	1317.6	77.84	100	2041.7	78.47	100
I 截留(P - T - S)	375.0	22.16	—	560.2	21.53	—
E 蒸散	738.0	43.60	56.01	(807.3)	(31.05)	(39.54)
F ₁ 地表径流	9.2	0.59	0.75	66.4	2.55	3.25
f 100cm土层渗透	72.6	4.29	5.51	355.7	13.67	17.42
L A层饱和持水	1.9	0.06	0.98	2.3	0.09	0.11
ΔW 100cm土层贮水增量	30.3	1.89	2.30	98.2	3.77	4.81
F ₂ 地下径流及差值	465.7	27.50	35.34	711.9	27.36	40.38

* 半落叶季雨林观测时间为1979—1985年，山地雨林1961—1966年，其茎流和蒸散值是按前者测值以1.5和0.7(降水与蒸发的比值)的经验系数推算的估值。

(三) 穿透、茎流与截留^[2,4,6]

半落叶季雨林穿透率占降水的0—89%，历次差异很大。在其它因素未预测算的情况下，穿透水与降水量的关系大致呈线性相关：

$$Y = 0.7228 + 0.8133x \quad r = 0.987$$

热带林的多层结构和庞大枝冠交错重叠，因此，穿透水中的冠滴与冠层汇流十分明显，对元素的淋洗具有较大作用。透流量与降水量也呈线性相关： $Y = 0.040 + 0.2153x$ ， $r = 0.955$ 。历次茎流率为0.1—5.1%，降雨量小于4mm，几乎无茎流产生。山地雨林由于空气湿度大，光滑树皮的树种多，冠层重叠汇流多，其茎流量要比半落叶季雨林约大1—2倍。

林冠截留量是根据林外降水与林内降水(穿透水)和茎流的差值计算的,按逐次降水计,截留率为18—100%,全年平均21—23%。随降水量增加,截留率也逐渐增大,至降水30—40 mm时,则明显降低,降水量再增,截留率近恒值。旱季干燥,截留率大,雨季湿度大,又多连雨日,截留率趋小。山地雨林截留率常小于半落叶季雨林。

(四) 地表迳流与土层渗透^[4,8]

山地雨林枯枝落叶层较厚而湿润,土壤孔隙度和湿度大,水分容易饱和,因此具有较大的地表迳流和土层渗透量,迳流与渗透时程也较短。半落叶季雨林的迳流和渗透量相对较低。毁林开荒的游耕地和强度采伐迹地,地表迳流量急剧增加,土层下渗量明显减少(表8)。

表8 不同地类的地表迳流

时期及地类		年降水量 (mm)	年迳流量 (mm)	平均迳流 系数	含沙量 (kg/L)	每公顷年流失量		年限	
						水(m ³)	土(t)		
半落叶季雨林	垦期	林地	1220.7	10.8	0.0088	0.0005	108.03	0.054	1979—1981
		荒地	1615.2	281.1	0.1748	0.0114	2810.99	32.076	1979—1981
	撩荒期	林地	1233.6	5.4	0.0044	0.0013	54.17	0.069	1982—1983
		荒地	1722.1	37.6	0.0218	0.0057	375.80	2.108	1982—1983
山地雨林	原始林地		2310.6	66.4	0.0287	—	664	1*	1965—1966
	择伐迹地		—	151.5	0.066	—	1515	4.3*	1965—1966
	皆伐造林地		2460.9	715.0	0.2905	—	7150	9.7*	1965—1966

• 相对比值

降雨量和降雨强度与地表迳流的关系密切,特别在雨季中期,土层经常湿润的时候,半落叶季雨林地表迳流量与降水量呈显著的线性或指数正相关。

不同地类的土层渗透量,总的趋势是随土层加深而递减。林木根系大量分布的AB层和A₀层,是渗透量大而多波动的活跃层,山地雨林-砖红壤性黄壤具有最大的深层渗透量。以100 cm土层计,各地类的渗透量(mm)如下:山地雨林356>半落叶季雨林73>游耕地48(包括垦期和撩荒期),这与这些土壤剖面中反映的淋溶淀积现象由强至弱的特征相吻合。

渗透量与降水量之间存在一定的线性相关,其相关的程度随土层加深而降低,这是因为土壤水分侧向运动的差异随土层扩大而增加的缘故。

渗透水季节变化的总趋势是,雨季初期土壤湿度小,渗透率高而量小,雨季中期渗透量和渗透率都高,平均年渗透率大致为:半落叶季雨林-褐色砖红壤A₀层61%、15 cm土层15%、30 cm土层28%、100 cm土层2%,山地雨林-砖红壤性黄壤依次为47%、23%、31%、16%。

(五) 土壤水分与CO₂

半落叶季雨林下的褐色砖红壤,属于较干热条件下发育的土壤类型,其水分含量与季节变化一致,7—9月丰水,土壤水分含量大于25%,3—4月贫水,小于10%。山地雨林下的砖红壤性黄壤属湿润类型,也有明显的季节变化,在雨季和干季土壤含水率的变动范围分别为25—37%和22—26%,均高于半落叶季雨林,旱季尤为显著。如以相邻两月水分贮量差值

之和作为土壤绝对贮水增量,则100 cm土层中,不同地类的贮水增量(mm)大约为:山地雨林93.2>半落叶季雨林30.2>撩荒地21.4>垦地17.9,反映了林地土壤较好的涵水能力。但如从土层绝对含水量比较,森林砍伐、耕垦后的土壤水分,则往往高于林地,旱季尤为明显。

土壤CO₂释放量是土壤生物学特性和物质循环速度的一种度量,它反映了土壤微生物及林木根系生命活动的强度,也反映土壤与外界空间气体交换的特点。半落叶季雨林褐色砖红壤的CO₂释放量,平均为0.82(旱季)—1.57(雨季)kg/ha·h,即每公顷每年有2.81(有A₀层)—2.86t(去掉A₀层)碳素进入大气,大约占凋落物年归还量的40—43%,尚有60—57%的碳素积累。CO₂的释放规律是:雨季约为旱季的2倍,雨季中有A₀层的大于除去A₀层的,旱季则相反。这一点与土壤微生物的活动节律及降水的季节变化完全一致,与凋落物的凋落规律也吻合。从土层深度看,CO₂释放量有随土层加深而增加的趋势,大约表土10 cm的CO₂含量(mg/l)是1.33,25 cm是1.67,60 cm是2.82。可见除微生物活动外,心底土通透性降低,使气体交换减弱而有利于CO₂积累,与林木根系较强的生物化学过程也有关。

(六) 小气候特征^[3]

在半落叶季雨林内4、7月气温最高为32—34℃,12—1月为低温,最早的3、4月有涡流增温减湿效应,林内比林外高0—0.6℃,其余月份则有降温增湿效应,林内比林外低0.3—2℃。气温的日变化随季节不同而异,雨季高温出现在11时,旱季延至13时。空气湿度的变化,雨季为80—95%,林内比林外高10—20%,旱季50—70%,林内反比林外低1—5%。土温的变化趋势与气温相似,表土层温度20—27℃,比林外低5—12℃,高温季节差值大,低温季节差值小,随土层深度增加而缩小,林内的变幅更趋稳定。

山地雨林对太阳辐射的再分配效应更明显,又由于它没有集中的落叶期,尚未观测到上述半落叶季雨林旱季出现的逆温效应。各月平均气温林内比林外低0.2—1.2℃,高温季节差值较大,极端高温的差异更明显。气温的梯度变化主要在日间,随高度的增高而升高,夜间几乎呈等温。土壤温度的月变化,林内外高温月是随土层加深而降低,低温月相反;同深度的土壤,高温月林外比林内高4—6℃,低温月仅比林内高2—3℃,更好的反映了森林调节小气候的功能。

四、热带林物质循环

(一) 凋落物及其分解

1. 凋落物数量与组成 山地雨林年凋落物干重平均7.7±1.2 t/ha,低海拔的半落叶季雨林9.7±2.3 t/ha。

山地雨林的凋落量少于半落叶季雨林,而凋落物层的贮量却相反,反映了凋落物不同的生物学特性及物质归还与积累的差异。

2. 凋落物的季节变化 两类型的凋落物的季节分配相近,大约有50—52%的枝叶是在5—10月凋落,26—27%在3—4月凋落,其余在11—2月凋落,按月凋落量计,3—4月是凋落高峰,半落叶季雨林尤其明显,12—1月最少。

3. 凋落物的化学成分 两类热带林凋落物的化学元素,有以下特点:(1)除C元素是山地雨林含量(47.8%)大于半落叶季雨林(45.7%)外,所有元素的相对含量和绝对贮量都是半

落叶季雨林多于山地雨林, 叶的元素含量大于花果杂物和枝的含量; (2) 在矿质元素中, Ca、Mg、Si、Na多贮于叶片, 而P、K、Fe、Al则多在花果中积累, 枝中的含量均较少; (3) 两类型的矿质元素含量序列完全相同(Ca>Si>K>Mg>Al>P>Fe>Na), 反映了阔叶树种的若干共性; (4) 凋落物中的C/N及灰分总量和N素总量与凋落物量的比值随植被类型而异, 山地雨林分别为75, 1:27.5和1:159.5, 半落叶季雨林依次为50, 1:15.4和1:105.9, 灰分/N素比值分别为5.8和6.9, 这与前者A₀层的积累多、分解慢, 后者分解快、积累少的现象是完全一致的。

4. 凋落物的分解特征 根据自然条件下两种方法(纱袋法及纱罩法)的研究结果说明, 半落叶季雨林凋落物第一年的失重率分别为 $76 \pm 2.4\%$ (纱袋法)和 $92 \pm 4.0\%$ (纱罩法), 第二年增为 $94 \pm 4.1\%$ 和 $99 \pm 1\%$, 日平均失重 0.25% 和 0.29% ; 山地雨林的分解速度较缓慢, 第一年失重率依次为 $48 \pm 7.6\%$ 和 $76 \pm 5.9\%$, 第二年升为 $78 \pm 8.3\%$ 和 $95 \pm 1.9\%$, 日平均失重 0.15% 和 0.22% 。按凋落物分解的数学模式(Olson, 1963) $X_t/X_0 = e^{-K \cdot t}$ 推算, 半落叶季雨林的腐解率值K大约为1.578—2.172, 完全分解的理论时间t为2—2.7a; 山地雨林依次为0.836—1.597a和2.9—5.2a; 两类型凋落物分解过程中的残留量与时间均呈极显著负相关。如按年凋落物量与凋落物现存(逐月观测的平均值)之比值作为循环速度, 则半落叶季雨林的循环速度为1.906—2.514a, 与上述理论计算值接近。综上所述, 半落叶季雨林凋落物的腐解率相当于山地雨林的1.36—1.88倍, 而其矿化时间仅为山地雨林的0.52—0.68倍, 其周转之高速度, 与其组成质软和高温适湿的水热条件有关, 与前述两类型C/N比值的差异互为因果。

半落叶季雨林凋落物的矿化及元素迁移速度比山地雨林快, 如以纱罩法放置2a后各元素的含量所占其分解前的原始含量的比例作为残留率来度量元素的迁移速度, 则半落叶季雨林凋落物中多数元素的残留率小于1%, 元素含量与凋落物失重率多呈线性负相关, 只有Si、Fe、Al、P>1%, 元素含量与凋落物失重率多呈线性正相关, 而山地雨林则小于10—30%, 相差约10倍, 相关性质相似。分解过程中, 元素的迁移序列两类型相似, 大致如下:



(二) 冠层淋溶^[5,6]

1. 降水的化学元素输入 尖峰岭地区大气降水的化学成分, 据海拔200m的观测分析结果, 年平均含量序列大约为: Mg>Ca>K>N>Si>P>Al>Fe, 以年平均降雨量1692.6mm计, 每公顷的年输入量依次为(kg): 15.57, 13.03, 12.02, 5.59, 3.39, 1.69, 0.85, 0.34。

穿透水的元素含量比旷地降水的含量高, 不同植被类型又有着明显的差异, 突出的反映在半落叶季雨林穿透水中的Ca、Mg的含量远高于山地雨林的含量。如将海拔高度变化引起降水的化学元素差异忽略不计(山地雨林的旷地降水未作化学分析), 降水化学成分的变化见表9。

按山地雨林的年平均穿透水量1923.1mm, 半落叶季雨林的穿透水量1266.1mm计, 冠层净淋溶输入林地的元素量(kg/ha·a)分别为: N(18.46、8.74)、P(1.15、0.89)、K(57.89、18.74)、Ca(3.65、9.24)、Mg(0.190、2.53)、Si(22.88、2.53)、Al(1.35、0.63)、Fe(0.38、0.25)、干残渣(1313.28、878.93)。除Mg以外, 山地雨林的冠层淋溶输入量及多数元素的淋

表9 降水及穿透水中化学成分的比较(mg/l)

类别	N	P	K	Ca	Mg	Si	Al	Fe	干残渣	pH
山地雨林(A)	1.29	0.16	3.72	0.96	0.86	1.40	0.99	0.04	213.06	5.93
半落叶季雨林(B)	1.02	0.17	2.19	1.50	1.07	0.41	0.07	0.04	214.20	6.06
旷地(C)	0.33	0.10	0.71	0.77	0.92	0.20	0.05	0.02	144.78	6.08
(A)-(B)	0.27	-0.01	1.53	-0.54	-0.21	0.99	0.02	0	-1.14	
净淋溶(A-C)	0.96	0.06	3.01	0.19	-0.06	1.20	0.04	0.02	68.28	
净淋溶(B-C)	0.69	0.07	1.48	0.73	0.15	0.21	0.02	0.02	69.42	
淋溶%(A)	74.4	37.5	80.9	19.8	-7.0	85.7	44.4	50.0	32.1	
淋溶%(B)	67.6	41.2	67.6	48.7	14.0	51.2	28.6	50.0	32.4	

溶强度都大于半落叶季雨林，这与凋落物的化学归还量恰好相反。从穿透水的pH分析，前者具有稍强的弱酸性淋溶性质，反映了不同的生物地球化学特征。与国内外的某些研究结果相比，随元素不同，降水的化学元素迁移量各有异同，但K、N等元素的易移性和P、Fe等元素的滞留性的趋势则是相似的。

2. 穿透水元素含量的季节变化 穿透水的元素含量与降雨和林木生长期的关系密切，总的趋势是：中、小雨和雨季始、末期，穿透水的元素浓度高，大雨、暴雨和雨季中期，元素浓度低；元素之间的变化各异，以K的含量和波动性最大，Ca次之，Mg、N、Si变动较小，P最稳定；变幅最大时期主要出现在雨季初期和中期。雨季初、末期一般多中、小雨，林木抽梢展叶，树液中养分转移活跃，均有利于溶提，尤其初期，林冠上附着的干沉降物较多，淋洗量大，而台风雨频繁的季节，也是树木稳定生长的季节，元素含量常与降水量呈负相关，K等易溶性元素最敏感。

(三) 土层迁移

土层渗透水的化学元素及其含量，可以反映土壤的理化性质和淋溶特征，是土壤圈中生物地球化学过程的一种度量，也是物质循环的一个活跃组分，在热带湿润地区尤其如此。试验观测区两种植被—土壤体系的土层渗透水中各元素的含量，在各层次中的变化是很复杂的，以100cm土层计，都属于Si质弱酸性软水，平均pH 5.9 ± 0.05 ，但其元素含量顺序及含量不同，山地雨林—砖红壤性黄壤为Si>Mg>K(Ca)>N>P，浓度较低，酸度较高；半落叶季雨林—褐色砖红壤为Si>Ca>N>Mg>K>P，浓度较高，酸度较低。水溶性硅位居序列之首，说明两类土壤存在现代脱硅过程，后者更为明显。Fe、Al元素随水的迁移量最少，也就是滞留在土体中，这正是砖红壤类土壤富Fe、Al化过程的重要反映。由于不同植被—土壤类型渗透水量的差异，单位面积上元素的绝对迁移量恰好相反，半落叶季雨林—褐色砖红壤的土层迁移量少于山地雨林—砖红壤性黄壤约1—5倍。

渗透水的元素浓度在土壤剖面中总的变化趋势是随土层加深而降低，由于水分下渗的同时伴随有对元素的土壤吸附、植物选择吸收及根际生物生化过程，不同元素含量的纵向变化差异较大。A₀层的迁移量最大，根系密集的30cm土层的多数元素有回升现象，反映了根际物质循环的添加作用，也证实了林地培肥的基本原理。

渗透水的化学元素迁移强度与渗水量的关系，个别元素表现了显著的负相关，多数元素均无明显的相关，也无有规律的季节变化。

渗透水的总酸度与总碱度,在一定程度上可以说明土壤的淋溶类型与淋溶特点,如以总酸度/总碱度比值为度量,山地雨林—砖红壤性黄壤更具有弱酸性淋溶的特点,其酸碱比值较大且层深,与两类型 pH 的差异是一致的。

除化学元素迁移外,还有不少有机无机胶粒,随渗水势而产生机械移运,淋洗与淀积同时交错进行,侧向渗流与垂直下移交错进行,颗粒含量的层间差异无一定规律。山地雨林—砖红壤性黄壤具有较强的过滤功能和较大的渗水量,因而颗粒的迁移度低而绝对总迁移量大,迁移深度也大。半落叶季雨林—褐色砖红壤与之相反,在颗粒组成中,有机胶粒约占10—30%。

综上所述,本区两种热带植被—土壤类型,土壤圈内部的物质迁移过程是十分强烈的。这种土层迁移量大部分将继续深层迁移吸滤而保存在土层或为植物吸收,部分将随地下迳流而输出系统外。如将整个系统视作一个暗箱,忽略内部各组分的迁移转化不计,仅从水的输入与输出来估计系统的养分平衡(表10)。

表10 不同地类的养分平衡(mg/l)

类	项 目	pH	N	P	K	Ca	Mg	Si	DM
山地 雨林 区	穿 透 水	5.93	1.10	0.17	3.92	0.29	0.85	0.68	169.54
	溪 水	6.24	0.04	0.03	0.22	0.12	0.53	4.72	130.64
	输 出 率(%)	—	3.64	17.65	5.61	41.38	62.35	694.12	77.06
	内 存 率(%)	—	96.36	82.35	94.39	58.62	37.65	-594.12	22.94
季 雨 林 区	穿 透 水	6.06	1.14	0.15	2.49	1.42	0.95	0.56	183.61
	溪 水	6.18	0.26	0.06	1.08	2.08	1.11	14.43	283.93
	输 出 率(%)	—	22.81	40.00	43.37	146.48	116.84	2576.79	154.64
	内 存 率(%)	—	77.19	60.00	56.63	-46.48	-16.84	-2476.79	-54.64

表10所列养分平衡相对值的比较可见,山地雨林—砖红壤性黄壤体系的多数元素是在系统内部积存为主,只有少量输出,尤以N最明显,少数元素如Si、Mg是输出大于内存,烘干残渣也多输出,在输入—输出过程中,水质酸度明显降低。半落叶季雨林—褐色砖红壤体系的元素输出率由于人为干扰较大并泛行游耕方式而普遍大于山地雨林区,除N、P、K是内存率大于输出率外,其余物质都呈负内存态,表现了明显的侵蚀性。 (待续)

参 考 文 献

- [1] 徐德应等, 1985, 用能量平衡——波文比法测定海南岛热带季雨林蒸散初试, 热带亚热带森林生态系统研究, 第3集, 183—194。
- [2] 曾庆波等, 1982, 尖峰岭热带山地雨林及其采伐迹地水热状况的比较研究, 植物生态学与地植物学丛刊, 6(1): 62—73。
- [3] 曾庆波等, 1981, 海南岛尖峰岭半落叶季雨林及毁林垦荒地小气候变化的初步研究, 热带林业科技, (4): 13—25。
- [4] 卢俊培等, 1982, 海南岛森林水文效应的初步探讨, 热带林业科技, (1): 13—20。
- [5] 卢俊培等, 1986, 海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效应研究, I. 冠层淋溶, 热带林业科技, (1)。
- [6] 卢俊培等, 1984, 海南岛尖峰岭半落叶季雨林生态效应研究, II. 迳流水化学特征, 热带林业科技, (3)。
- [7] Xu Deying et al., 1986, Bowen ratios above a tropical forest on Hainan Island, China. Intecol Bulletin, (13): 85—88.

THE SUMMARY REPORT FOR STUDIES
ON THE TROPICAL FOREST ECOSYSTEM
IN JIANFENGLING REGION, HAINAN ISLAND

Ⅲ. Water and Heat Regime, Ⅳ. Material Circulation

The Research Group

*(The Research Institute of Tropical Forestry and, the Research
Institute of Forestry C.A.F.)*

Abstract

The average reflectivity of tropical forest in Jianfengling, Hainan Island, is about 17.4% of the radiation, the effective longwave reflected radiation from tree crowns is about 13.7%, and the net radiation is about 70%. The evapotranspiration is about 36—57% of annual precipitation with an average value of 43.6%. The components of water balance, CO₂ released from soil, and the property of forest microclimate obviously change with dry and wet seasons. The annual average of total litters of mountain rain forest and semi-deciduous monsoon forest are 7.7 ± 1.2 t/ha and 9.7 ± 2.3 t/ha respectively. The material circulation study shows that the tropical forests have large return and higher decomposition of organic matters, less output of nutrient from ecosystem for maintaining the recycle utilization inside ecosystem under the condition of less disturbance.

Key words: Jianfengling, Hainan Island, tropical forest, water and heat regime, material circulation

(Continued)