

# 海南岛尖峰岭热带林土壤渗透水的初步研究<sup>\*</sup>

卢俊培

(中国林科院热带林业研究所)

## 摘 要

本文应用开口托盘式集水器收集不同土层的渗透水, 研究尖峰岭热带山地雨林、半落叶季雨林及其游耕地的土壤渗透水状况, 分析了不同植被-土壤类型与利用状况的渗透特点、降水与渗透水的关系、渗透水量与水质的动态变化, 初步揭示了尖峰岭热带林对水分的输导-涵贮性能, 及热带林生态系统中物质迁移的特点, 并据此分析了游耕农业的生态恶果。

**关键词** 海南岛尖峰岭; 热带林; 土壤渗透水

## 前 言

在森林生态系统研究中, 土层渗透是森林水文与土壤生态研究的重要内容。我国川西米亚罗、云南西双版纳及小兴安岭凉水等林区, 先后有此类研究并有不同进展, 但对渗透水量与水质同时动态观测的研究, 尚未见报道。我国台湾省陈信雄等及国外有采用各种下渗仪, 人工控制或模拟降水测量上部浅层下渗水的, 也有用胀力板渗漏计测土层渗透水的<sup>[4,5]</sup>, 还有应用降水及径流强度推算法计算下渗量的主张<sup>[3]</sup>。

本项研究旨在了解山地雨林、半落叶季雨林及其游耕地的土层渗透水特征, 为热带林的生态评估及热带森林和土地资源利用提供科学依据, 同时试图通过土层渗透中物质迁移的分析, 探索热带森林土壤的发生学特点。观测场地分别设在尖峰岭 (N18°23′—52′, E108°46′—109°02′) 热带山地雨林-砖红壤性黄壤 (海拔850m)、半落叶季雨林-褐色砖壤 (海拔200m) 及其游耕地, 场地概况已有报道<sup>[1,2]</sup>, 本文从略。观测时间为1981—1983年。现将观测资料整理如后。

## 研究 方 法

渗透水量的观测, 采用开口托盘式集水器承接观测层的下渗水, 通过排水孔和导管引流入塑料贮水瓶, 视降水过程逐次量记水量, 取500—1000ml作化学分析。

本文于1987年3月收到, 1987年6月收到修改稿。

<sup>\*</sup>原中国科学院科学基金会资助项目内容之一。刘其汉、曾庆波、林月娟等参加部分工作, 化学分析由本所分析室完成, 刘京参加计算, 尖峰岭保护站协助部分观测, 谨致谢意。

在观测剖面分层安放集水器,林地分凋落物层(A<sub>0</sub>)、15cm(A<sub>1</sub>层)、30cm(AB层)、100cm(B层),垦地无A<sub>0</sub>层。每层之间的水平距离50cm。

水质分析项目及方法,按《森林土壤水分分析法》测定<sup>1)</sup>。

## 结果分析

### 一、水量

#### (一)不同植被-土壤类型的土层渗透

土层渗透的发生及渗透量,有赖于上层土壤水分饱和程度与补给状况。不同的植被-土壤类型,在很大程度上控制着这种状况,形成不同的土层渗透(图1)。

山地雨林-砖红壤性黄壤的土层渗透量,远比半落叶季雨林-褐色砖红壤的大,心土层尤为明显。以100cm土层的渗透量计,年平均多渗透325mm,为后者的11倍多。这种优良的森林水文效应,与山地雨林强大的根系网及其死根残留的多孔网脉、山地砖红壤性黄壤较小的容重和较轻的质地完全一致。

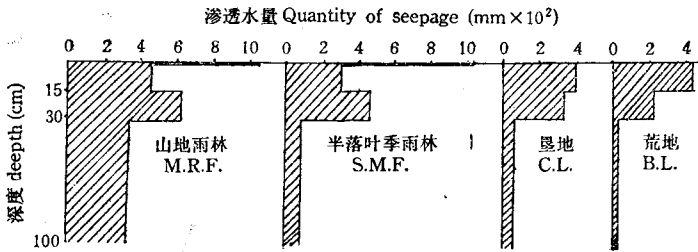


图1 不同土壤剖面中渗透水量的分布  
Fig.1 Distribution of seepage in different profile

褐色砖红壤的土层渗透,在林地与撩荒地上明显不同。撩荒地更新起来的高草灌木幼树群落,由于增加了地表粗糙度和水分滞留效应,使表土15cm以内渗透量显著高于林地,年平均约多167mm,以下土层则小于或等于林地。

#### (二)游耕下的渗透特点

表1 不同游耕期的渗透情况

Tab.1 Seepage of different shifting cultivation period(forest/cultivation)

深度 Depth(cm)	耕垦期 Cultivation(1981)	撩荒地 Fallow period(1982-1983)
15	0.85	0.62
30	1.17	2.15
100	2.40	1.05

1) 张万儒等,森林土壤分析方法标准。

半落叶季雨林刀耕火种以后, 表层15cm的年渗透量增加56mm, 而100cm土层则减少94mm, 30cm土层也减少46mm, 这说明表层耕垦, 土壤孔隙度增加, 提高了渗透能力, 心底土的通透性能恶化, 加之垦地径流多, 底土的上层补给水相应减少, 深层渗透量下降。这个变化反映了森林的水分涵养功能和遊耕的生态恶果。

停耕撩荒后, 土层渗透量的变化如表 1。为消除不同年份降水不同所造成的差异, 以林地/垦地比值来度量同地异年不同措施的土层渗透水状况。表列数据说明撩荒期的渗透状况有改善, 根系大量分布的亚表层不稳定。

图 2 所示渗透率的变化, 遊耕地的不同时期, 渗透率随土层加深而递减, 变幅在2.5—1.7%, 各层率值之和 < 100%。林地的渗透率则随土层加深而呈波浪式下降, 出现A<sub>0</sub>及30cm两个富渗层, 各层率值之和 ≥ 100%。可见, 枯枝落叶层和根系聚集层是水分运动最活跃的层次, 山地雨林-砖红壤性黄壤更为明显。以100cm土层的渗透率计, 山地雨林-砖红壤性黄壤约为16%, 半落叶季雨林-褐色砖红壤及遊耕地不及2%, 前者显示了优良的水分输导功能。

降水量与渗透量大致呈线性正相关, 不同地类不同层次, 其回归系数和相关的程度各异(表 2)。山地雨林-砖红壤性黄壤回归系数大, 随降水量而增加渗透量的弹性范围大, 具有较强的深层渗透能力。半落叶季雨林-褐色砖红壤的深层渗透量与降水的相关不显著, 遊耕地相似, 反映了更缓而低的渗透性。

### (三) 土层渗透的季节变化

尖峰岭降水的季节分配很不均匀, 致使土层渗透也有较大的季节差异(表 3)。

表 3 资料表明, 雨季初期土壤湿度小, 降水量也较少, 渗透量小, 且多为上层渗透, 半落叶季雨林尤为显著。雨季末期深层渗透的强度和持续性则以山地雨林更明显。降水集中的 7—10 月, 各层的渗透量都急剧增加, 30cm 土层和 A<sub>0</sub> 层更为突出。在 1、2 月仅有 14—17mm 降水的情况下, 山地雨林 A<sub>0</sub> 层及 15cm 土层仍有 5—9 mm 渗透水, 这是山地降水增值与该植被-土壤类型优良水文性能的综合效应, 延长了渗水期。

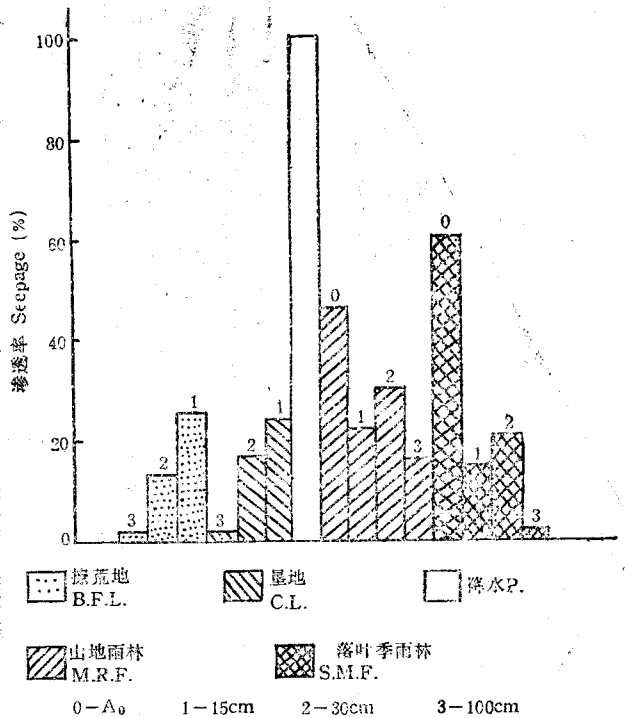


图 2 渗透率比较

Fig. 2 The comparison of seepage percentage

表2 降水与渗透水的关系  
Tab. 2 Correlation of seepage to precipitation

地类 Site	深度 Depth (cm)	次数 Times	r	F	$Y = a + bx$	$F_{0.01}$	$F_{0.05}$
山地雨林 Mountain rain forest	A <sub>0</sub>	76	0.7864	119.93**	$71.9454 + 0.3114x$	6.96	
	15	72	0.6889	63.23**	$5.4327 + 0.1749x$	6.96	
	30	69	0.6399	46.45**	$16.8588 + 0.1550x$	6.96	
	100	53	0.5240	19.30**	$7.7328 + 0.1192x$	7.08	
半落叶季雨林 Semi-deciduous monsoon forest	A <sub>0</sub>	160	0.9668	2261.68**	$-2.8343 + 0.6716x$	6.76	
	15	79	0.8501	200.45**	$-3.0925 + 0.2252x$	6.76	
	30	67	0.9558	1343.45**	$-6.1893 + 0.4228x$	6.76	
	100	15	0.3821	2.22	$3.7076 + 0.0163x$		4.54
撩荒地 fallow land	15	35	0.9589	376.89**	$-7.1331 + 0.3585x$	7.44	
	30	24	0.8100	41.97**	$3.8268 + 0.1266x$	7.82	
	100	8	0.2322	0.34	$4.9363 + 0.0027x$		5.32
耕垦地 Cultivated land	15	34	0.8361	74.23**	$-4.7515 + 0.3513x$	7.44	
	30	23	0.7576	28.29**	$-3.0451 + 0.3346x$	7.95	
	100	5	0.6065	1.75	$0.5076 + 0.0546x$		6.61

表3 渗透水月变化 (mm, 1982—1983)  
Tab. 3 Monthly changes of seepage

		月 份 Month										合计 Total	占降水的% Rate %
		3 1)	4 1)	5 1)	6	7	8	9	10	11	12		
山地雨林 Mountain rain forest	降水量 Rainfall	117.9	36.2	122.9	114.1	613.1	360.3	344.2	469.4	39.4	19.0	2236.5	
	深度 Depth (cm)	88.59	20.24	75.42	70.96	195.75	156.62	163.99	253.11	22.98	16.66	1064.35	47.6
		35.34	7.57	44.03	30.81	98.07	130.19	54.63	91.35	5.98	4.96	502.93	22.5
		41.85	14.24	62.59	32.28	96.23	150.29	128.91	148.77	15.08	5.08	695.30	31.1
	/	6.25	34.73	19.67	71.64	62.11	50.62	98.92	9.54	2.18	355.66	15.9	
半落叶季雨林 Semi-deciduous monsoon forest	降水量 Rainfall	36.6	39.1	48.0	96.2	528.3	268.0	303.3	332.9	14.1	/	1666.5	
	深度 Depth (cm)	16.42	17.32	64.76	61.04	369.82	126.79	190.50	174.15	3.13	/	1023.93	61.4
		/	1.33	3.75	5.83	119.03	39.15	34.61	40.89	/	/	244.59	14.7
		/	/	/	10.86	200.10	102.19	70.73	85.02	/	/	468.90	28.1
	/	/	/	/	8.00	2.25	9.34	10.56	/	/	30.15	1.8	

1) 一年的资料。 The data was recorded in a year.

## 二、水质

### (一) 元素的化学迁移

渗透水中元素的含量及其动态变化比较复杂, 需另文探讨。现仅据粗略统计, 分析不同植被-土壤类型渗透水中主要元素的迁移特点, 按单位面积上一定土层内的绝对含

量 (kg/ha·a)<sup>1)</sup>计, 元素迁移序列如下:

山地雨林-砖红壤性黄壤。

A<sub>0</sub> K (73) > N (30) > Mg (18) > Si (12) > Ca (8) > Al (2) > P (1.9) > Fe (1.0)  
 15cm Mg (4.6) > Si (4.5) > K (3.2) > N (1.3) > Al (0.8) > Fe(0.5) > P(0.4) > Ca(0.3)  
 30cm Si (6.6) > K (4.4) > Mg (3.2) > N (2.4) > Al (1.3) > P(0.6) > Fe(0.4) > Ca(0.2)  
 100cm Si (3.8) > Mg (2.3) > K (1.1) > Ca (1.0) > N (0.8) > Al(0.5) > P(0.4) > Fe(0. )

半落叶季雨林-褐色砖红壤

A<sub>0</sub> K (82) > N (31) > Si (24) > Ca (21) > Mg (17) > P (5) > Al (2) > Fe (1.3)  
 15cm Si (6) > K (1.7) > Mg (1.4) > N (1.2) > Al (0.7) > P(0.3) > Fe(0.25) > Ca (0.2)  
 30cm Si (12.4) > K (3.4) > Mg (2.3) > N (1.7) > Al (1.5) > P(1.1) > Ca(0.7) > Fe(0.4)  
 100cm Si (2) > N (0.9) > K (0.6) > Mg (0.3) > Ca (0.2) > P (0.08) > Al, Fe (0.02)

从迁移序列可见, 山地雨林-砖红壤性黄壤的N、K、Si、P、Al等元素, 自表土到底土呈跳跃式减少, 30cm的含量高于15cm的, Mg、Fe、Ca的含量则随土层加深而逐渐减少。这是砖红壤性黄壤微弱的脱硅和AB层明显淋溶的结果。15—100cm中, Si、Mg、K为各层的主要成份, AB层中Mg可居首位, A<sub>0</sub>层中除K、N最富集外, Mg占有重要地位。半落叶季雨林-褐色砖红壤渗透水中所有元素的含量都表现为随土层加深而跳跃式减少; 30cm土层的含量略高, 这与根系大量分布而利于元素的溶提和迁移有关。A<sub>0</sub>层的元素组成仍以K、N最多, Mg退居第五位, Si、Ca增加, 与山地雨林-砖红壤性黄壤有所不同。

再就渗透水中元素迁移的数量而言, 山地雨林-砖红壤性黄壤100cm土层的迁移程度强于半落叶季雨林-褐色砖红壤, 其它层次的多数元素含量, 两类型大致相近, 或后者略高, 唯有Mg相反, 反映了前者富Mg的迁移特点。

## (二) 颗粒的机械搬运

在水分的渗流过程中, 有机和无机胶粒也随水流产生物理性位移 (表4)。

表4 渗透水的颗粒搬运量 (kg/ha.a)

Tab. 4 Granule transportation in seepage

深度 Depth (cm)	山地雨林 Mountain rain forest		半落叶季雨林 Semi-deciduous monsoon forest	
	有机质 Organic matter	干残渣 Dry residue	有机质 Organic matter	干残渣 Dry residue
A <sub>0</sub>	1059.3	3389.1	822.2	3342.3
15	146.2	761.6	78.1	577.9
30	163.1	1245.1	116.0	1501.4
100	63.6	535.8	16.1	93.9

从表4可见, 两个类型中的两类颗粒, 总的趋势是随土层加深而减少, 30cm土层明显多于其它土层, 烘干残渣的差异尤为明显。另外, 山地雨林-砖红壤性黄壤的搬运量多于半落叶季雨林-褐色砖红壤, 这与渗透水量及颗粒浓度有关 (表5), 反映了不同的搬运能力和土质的易移性差异。

1) 一律取1982.6—1983.10.的观测值

表5 渗透水的颗粒含量(mg/L)

Tab.5 Granule content of seepage

深度 Depth (cm)	山地雨林 Mountain rain forest		半落叶季雨林 Semi-deciduous monsoon forest	
	有机质 Organic matter	干残渣 Dry residue	有机质 Organic matter	干残渣 Dry residue
A0	100.7	330.9	84.4	342.9
15	31.8	165.8	32.2	238.1
30	25.6	195.8	24.7	320.2
100	19.0	159.9	53.4	311.3

**(三) 渗透水的酸碱度**

总酸度与总碱度，在一定程度上可以说明土壤的淋溶类型和特点，从表6资料分析归纳如下：

表6 渗透水的总酸碱度比较

Tab.6 Total acidity and alkalinity of seepage

深度 Depth (cm)	总酸度 Total acidity			总碱度 Total alkalinity				酸/碱 Ratio of acidity to alkalinity		bH				
	mol/l, ha.a		mg/l	mol/l, ha.a			mg/l		A	B	A	B		
	A	B	A/B	A	B	A/B	A	B	A	B	A	B		
A0	2300.6	2166.8	1.062	0.234	0.222	3275.8	3781.2	0.866	0.334	0.388	0.702	0.573	6-6.2	6.2-6.4
15	1028.2	454.4	2.263	0.224	0.187	721.8	254.2	2.839	0.157	0.105	1.424	1.788	5.8-6.2	5.8-6.0
30	987.5	785.2	1.258	0.155	0.167	785.4	796.0	0.987	0.123	0.170	1.257	0.986	5.0-6.0	5.2-6.0
100	635.7	66.5	9.559	0.190	0.220	719.6	61.8	11.644	0.215	0.205	0.883	1.076	5.6-6.2	6

A——山地雨林 Mountain rain forest B——半落叶季雨林 Semi-deciduous monsoon forest

1. 两类型的A<sub>0</sub>层均具有较大的总酸度和总碱度、较小的酸碱比，与pH相吻合，属微酸性—近中性淋溶。半落叶季雨林—褐色砖红壤的渗透水更近中性。

2. 各层次的总酸度和总碱度，都是山地雨林—砖红壤性黄壤大于半落叶季雨林—褐色砖红壤，唯A<sub>0</sub>层及30cm的总碱度相反，说明后者的这两层中碱土金属、碱金属的碳酸和重碳酸盐或其它酸式碱性盐类较多，对比前述元素迁移序列中Si的含量较高推论，碱性硅酸盐富集的可能性是存在的。

3. 总酸度与总碱度的高低，不仅与渗透水量有密切关系，而且受渗透水浓度所制约。

**(四) 游耕下的水质变化**

半落叶季雨林刀耕火种后，渗透水水质随之改变，以相同时期单位面积上的元素迁移量比值（林地/垦地）作为度量，按比值大小自左至右排列如表7，可窥见水质变化的某些趋势。

表中不规则折线视作平衡值线，线左侧比值>1，右侧<1。由此可见，游耕期表土层的多数元素迁移量增加，只有N、K减少，这与作物的消耗和地表流失有关。随土层加深，更多元素的迁移量减少，使平衡值线呈阶状延伸，尤以Al、P、Si、Fe等元素的变化最明显。撩荒期表土层的变化与垦期近似，随土层加深，元素迁移的平衡值线呈

不对称的双折线, 30cm土层大多数元素迁移量大减, 尤以Ca、Mg等变化最大。

表7 游耕地渗透水元素序列  
Tab.7 The elements ratio order in seepage of shifting cultivated land

深度 Depth (cm)	耕 垦 期 Cultivated period								比 值 Ratio
	N	K	Al	Mg	P	Si	Ca	Fe	
15	N	K	Al	Mg	P	Si	Ca	Fe	1.4—0.05
30	Al	P	Si	Mg	Ca	K	N	Fe	1.5—0.50
100	Al	P	Fe	Si	Mg	N	Ca	K	10—0.04
	撩 荒 期 Fallow period								
15	K	N	P	Al	Ca	Mg	Si	Fe	1.2—0.02
30	Ca	Mg	P	Fe	K	Si	Al	N	1.7—0.6
100	N	P	Si	Ca	Mg	K	Fe	Al	2.1—0.3

除水溶性元素外, 游耕地总酸度与总碱度的变化也是明显的。撩荒期表土层的迁移比值小于1, 其余各层大于1。

从有机和无机胶粒的搬运量分析, 15—30cm土层中有机质的迁移量比林地稍增, 其余各层都是游耕地远低于林地, 差异的主要原因应归之于林地的深层渗透量大于游耕地, 尤以100cm土层为著, 迁移比值达19.6。

## 结 语

根据阶段对比观测的结果, 尖峰岭热带林的土壤渗透水量与降水量呈线性正相关, 相关的程度随土层加深而递减。热带山地雨林-砖红壤性黄壤、半落叶季雨林-褐色砖红壤、褐色砖红壤游耕地的垦期及撩荒期, 以100cm土层计, 年平均渗透量依次为355、73、66、20mm。渗水量的季节变化规律是, 雨季初期水量少而土层浅, 中期大而深, 山地雨林-砖红壤性黄壤的渗流期可延续1—2个月。热带森林-土壤系统优良的水文功能之一, 是具有最好的深层输水涵贮能力, 而游耕地的生态恶果之一恰恰是深层涵贮作用明显降低。

观测区渗透水中各种物质的迁移量, 随地类、层次不同而异。以A<sub>0</sub>层及根系分布最多的30cm土层的迁移量为多, Si、K、Mg是各层的主要组分, 山地雨林-砖红壤性黄壤更富Mg, 半落叶季雨林-褐色砖红壤富Si, 颗粒迁移明显。两类型较弱的脱硅富铁铝过程和山地雨林-砖红壤性黄壤较明显的淋溶过程, 均从渗透水的理化特征得到证实。游耕地表层渗透水中的N、K含量高于林地, 30cm以下土层显著减少。

用渗透水研究森林土壤, 对水文土壤学及土壤发生学, 在热带多雨地区尤有意义。采用开放式托盘集水器可得到自然状态下的渗透水, 较之封闭式土柱法或水分平衡场筒简便易行, 对水量计算可能有某些干扰, 作为相对比较的研究, 仍可用以评价森林生态系统的森林水文效应。

## 参 考 文 献

- [1] 卢俊培等, 1981; 海南岛尖峰岭半落叶季雨林刀耕火种生态后果的初步观测, 植物生态学与地植物学丛刊, 5(4)271—280。
- [2] 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。
- [3] 李云森译, 1983; 森林水文学(日), 中国林业出版社, 79—101。
- [4] 陈信雄等, 1986; 森林对水资源涵养效益评估之研究, 中华林学季刊, 19(4)11—26。
- [5] B.Ulrich, 1972; Isotopes and Radlation soil-plant Relationships including forestry, 329—339。

## SEEPAGE WATER OF SOIL IN TROPICAL FOREST ON JIANFENGLING PEAK, HAINAN ISLAND, CHINA

Lu Jun-pei

(*Institute of Tropical Forestry Research, Chinese Academy of Forestry*)

### Abstract

The characteristics of percolation of different vegetation-soil types and land uses were studied at Jianfengling in Hainan Island, China. Seepage water was collected by a number of open dish collectors from different layers of soil. The relationship between rainfall and seepage water in the area, and characteristics of substance movement in tropical forest ecosystem were analysed.

According to two-year observation, it was shown that the annual percolation within 100cm depth of the lateritic yellow soil under the mountain rain forest was 355mm, equal to 15.9% of the annual rainfall, while in the cinnamon latosol under the semideciduous monsoon forest it had only 30mm which was 1.8% of the annual rainfall. The litter cover and the upper 30cm of surface soil hold the maximum seepage water. The forest has an excellent function of soil and water conservation. The seepage capacity is positively correlated with rainfall, but the deeper the soil, the less the significant correlation is.

**Key words** Jianfengling; Hainan Island; Tropical forest; Seepage water