

# 华南热带区不同恢复阶段人工林土壤持水能力研究

邹碧<sup>1,2</sup>, 王刚<sup>1</sup>, 杨富权<sup>3</sup>, 黄建星<sup>3</sup>, 吴启堂<sup>2</sup>, 庄萍<sup>1</sup>, 李志安<sup>1</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642;

3. 茂名市小良水土保持试验推广站, 广东 茂名 525029);

**摘要:** 选择华南热带区小良试验站中光裸地、桉树林、阔叶混交林和村边次生林 4 种不同恢复阶段的植被类型, 测定不同层次的土壤容重、持水量、孔隙度等参数。结果表明: 光裸地土质结实, 容重在  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$  以上; 种植桉树后如果长期人为去除地表枯落物, 其地表更为板结, 土壤持水能力极差。桉树林改造为阔叶混交林后, 0~40 cm 土层的容重均低于  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$ , 土壤总孔隙度为 46.1%~51.4%, 非毛管孔隙度 15.0%~22.7%, 土壤持水能力明显优于光裸地和桉树林。混交林土壤 0~40 cm 层次的最大蓄水量达到  $1892 \text{ t hm}^{-2}$ , 比光裸地和桉树林分别多  $269 \text{ t hm}^{-2}$  和  $418 \text{ t hm}^{-2}$ 。村边次生林土壤容重最低, 表层(0~10 cm)仅  $1.07 \text{ g cm}^{-3}$ , 土壤总孔隙度为 58%, 土壤最大持水量可达  $538 \text{ g kg}^{-1}$ , 均明显优于阔叶混交林。光裸地在 26 年间容重下降了 27.7%, 但其容重仍较大, 阔叶混交林土壤由于系统功能的整体改善, 土壤也变得更疏松, 土壤持水能力有较大幅度提高, 而桉树林土壤长期保持板结状态, 土壤持水能力变化不大。建立种类多样、结构复杂的人工林可以显著增强地表水的入渗能力和土壤持水能力。

**关键词:** 热带人工林; 土壤持水量; 水源涵养; 小良生态站

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)04-0343-07

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.04.001

## Soil Water Holding Capacity of Plantations Rehabilitated on Severely Eroded Lands in Tropical China

ZOU Bi<sup>1,2</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>, YANG Fu-quan<sup>3</sup>, HUANG Jian-xing<sup>3</sup>,

WU Qi-tang<sup>2</sup>, ZHUANG Ping<sup>1</sup>, LI Zhi-an<sup>1</sup>

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Xiaoliang Water and Soil Conservation Experimental Station of Maoming City, Maoming 525029, China)

**Abstract:** Soil water holding capacity of plantations established on severely eroded lands was studied in tropical region of South China. Four plantations representing a chronic series of restoration, including barren land, *Eucalyptus* forest, mixed broad-leaved plantation and secondary natural forest, were compared. Soil bulk density, water holding capacity and soil porosity were determined. The results showed that barren land with little vegetation cover had high soil bulk density ( $> 1.5 \text{ g cm}^{-3}$ ), and *Eucalyptus* plantation established on barren land made soil hardened and the water holding capacity became worse partly because of litter removal by villagers. Replacement of *Eucalyptus* plantation with mixed broad-leaved plantation markedly increased the water holding capacity of soil. Soil bulk density (0~40 cm) of the mixed broad-leaved plantation was below  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$ , and the total porosity was 46.1%~51.4%, and their non-capillary porosity were 15.0%~22.7%. The maximum water storage of the soil (0~40 cm) was  $1892 \text{ t hm}^{-2}$ , a level similar to those of many other broad-leaved forests. The secondary natural forest located nearby had a better water-holding capacity than the mixed broad-leaved plantation. The surface soil bulk density was only  $1.07 \text{ g cm}^{-3}$ , and the total porosity was 58%, and the maximum water-holding capacity was

收稿日期: 2009-08-19

接受日期: 2010-01-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421101); 国家自然科学基金项目(30630015, 30870442)资助

作者简介: 邹碧(1978~), 男, 在读硕士生, 研究实习员, email: zoubi@scbg.ac.cn

538 g kg<sup>-1</sup>. Compared to those in 1983, mixed broad-leaved plantations largely improved soil physical properties with lowered soil bulk density and enhanced water-holding capacity. However, soils of barren land and *Eucalyptus* plantation had changed little, with hard surface soil and low water holding capacity. The results indicated that establishment of highly diversified plantation could enhance water infiltration and water holding capacity of soil.

**Key words:** Tropical plantation; Soil water holding capacity; Water conservation; Xiaoliang Ecological Station

热带森林在保护生物多样性、维持全球碳平衡和调节气候方面具有重要作用。但热带森林具有脆弱性特征,一旦受到较高强度的干扰将难于自然恢复。我国南方粤西地区,历史上多次大规模砍伐森林导致土地大面积退化,出现严重水土流失,不少地区土壤流失达 1 m 之厚<sup>[1]</sup>。20 世纪 60 年代起,在广东省茂名市小良镇的海岸台地上开展生态恢复试验,通过工程措施和生物措施,在严重水土流失的光裸地上恢复起各种类型的人工林<sup>[2-3]</sup>。经过几十年的恢复和演替,该地人工林具有了地带性植被——热带季雨林的主要特征,其种类多样性、结构复杂性与系统稳定性均达到较高水平<sup>[3-4]</sup>,小良人工林已成为生态恢复的成功范例。

我国热带区森林破坏后,高温高湿气候使土壤有机质迅速分解,土壤彻底退化,土壤物理条件与养分状况极差,要恢复结构复杂的森林,必须先建立先锋人工林,然后再改造为阔叶混交林,此二步走的技术途径被证实是最为有效可行的<sup>[5]</sup>。这一恢复过程中,系统功能得到较全面恢复,阔叶混交林土壤全氮和有机碳含量接近天然次生林<sup>[6]</sup>,地表径流量逐年减小,地下水井水位显著上升,降雨调蓄作用增强<sup>[7]</sup>。本文通过测定与土壤持水功能密切相关的参数,评估人工林不同恢复阶段的水源涵养能力,为华南热带区人工林建设提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地概况

试验区位于中国科学院小良热带海岸带退化生态系统恢复与重建定位研究站,地处广东省茂名市茂港区小良镇,东经 110°54'18",北纬 21°27'49"。该地属热带北缘,年均温 23℃,最低温 4.7℃,年降水量 1400~1700 mm,分布不均,每年 5~9 月为雨季,降雨量占全年的 75.8%,且多为台风雨,旱季长达半年或更久。

试验区属于滨海台地,相对高差 15~20 m,最高海拔 50 m。地势平坦,坡度小于 5°,土壤为花岗岩风化而来的热带砖红壤。地带性植被为热带季

雨林。由于过度干扰,上世纪 50 年代,近 400 km<sup>2</sup> 形成严重侵蚀的光裸地,自然植被荡然无存,只有村边偶见作风水林保护的次生林,表土层大部分已遭到严重侵蚀,亚土层裸露,地表无植被覆盖,土壤肥力非常低<sup>[5]</sup>。

从 1959 年开始,中国科学院华南植物园与广东茂名小良水保站协作,在光裸地上重建人工植被。最早期种植一些耐旱耐瘠的先锋种类,如窿缘桉 (*Eucalyptus exserta*) 和柠檬桉 (*Eucalyptus citriodora*),生境有一定改善后,将先锋人工林改造为阔叶混交林。经过 40 多年的自然恢复演替,所营造的阔叶混交林林分结构有了很大发展,100 m<sup>2</sup> 内的树种从原来人工栽种的 2~3 种发展到十余种甚至几十种<sup>[6]</sup>。

### 1.2 样地的选择

研究对象为当地植被恢复过程 4 个阶段的植被类型:(1)光裸地。上世纪 60 年代植树造林时留下的未种树的对照区,仅在侵蚀沟和集水区底部生长有少量草本植物,如芒萁 (*Dicranopteris pedata*)、鹧鸪草 (*Eriachne pallescens*)。(2) 42 年林龄的桉树林。林下植物稀少,基本没有灌木生长,草本主要是鹧鸪草。(3) 33 年林龄的阔叶混交林。70 年代桉树皆伐后种植乡土树种,主要优势树种有竹节树 (*Carallia brachiata*)、白车 (*Syzygium levinei*)、黑嘴蒲桃 (*Syzygium bullockii*) 等。(4) 村边次生林。附近村庄中作为风水林保护的次生林。

除村边次生林外,其它 3 个植被类型位于小良生态站内,为 3 个相互毗邻的小集水区,面积约 3~5 hm<sup>2</sup>,村边林则是 3 km 外的风水林。各植被类型土壤理化性质见表 1,取样时间为 2004 年 12 月。光裸地由于土壤长期裸露、植被稀少、水土流失严重,其土壤有机质和养分含量极低,阔叶混交林经过 40 多年的造林恢复,土壤有机质与养分含量均明显大于桉树林和光裸地,但是仍低于村边次生林。各种植被类型的物种组成见表 2,植被调查时间为 2005 年。

表1 小良4种植被类型土壤基本化学性质(0~20 cm)

Table 1 Soil chemical properties of 4 plantations in Xiaoliang Ecological Station (0~20 cm)

类型 Type	有机质 Soil organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	pH
光裸地 Barren land	4.80	0.108	0.094	4.39
桉树林 <i>Eucalyptus</i> plantation	10.55	0.253	0.084	4.48
阔叶混交林 Mixed broad-leaved plantation	22.99	1.028	0.168	4.49
村边次生林 Secondary natural forest	37.46	1.979	0.426	4.28

表2 小良4种植被类型优势种类、林龄与密度<sup>[6]</sup>Table 2 Age, density and dominant species of 4 plantations in Xiaoliang Ecological Station<sup>[6]</sup>

类型 Type	林龄 Age (a)	种密度 Species number in 900 m <sup>2</sup>	优势种 Dominant species
光裸地 Barren land	/	3	芒萁( <i>Dicranopteris pedata</i> ); 鹧鸪草( <i>Eriachne pallescens</i> )
桉树林 <i>Eucalyptus</i> plantation	42	2	隆缘桉( <i>Eucalyptus exserta</i> ); 鹧鸪草( <i>Eriachne pallescens</i> )
阔叶混交林 Mixed broad-leaved plantation	33	48	竹节树( <i>Carallia brachiata</i> ); 白车( <i>Syzygium levinei</i> ); 黑嘴 蒲桃( <i>Syzygium bullockii</i> ); 潺槁木姜子( <i>Litsea glutinosa</i> )
村边次生林 Secondary natural forest	>100	34	假萍婆( <i>Sterculia lanceolata</i> ); 米兰( <i>Aglaia odorata</i> ); 九节 ( <i>Psychotria rubra</i> ); 谷木( <i>Memecylon ligustrifolium</i> ); 紫玉 盘( <i>Uvaria microcarpa</i> )

### 1.3 方法

每个植被类型内随机选取6个点,各挖一个深度为40 cm的剖面,作为6个重复,将土壤剖面划分为0~10、10~20和20~40 cm共3个层次,每层用环刀(体积为100 cm<sup>3</sup>)取中间的原状土,取3个重复样,用小刀切平后盖上盖子运回实验室。由于地势平坦,没有明显的坡向差异,采样点的选择主要以植被的典型性为考量,而光裸地采样点避开了侵蚀沟。

用比重瓶法测定土粒密度(LY/T 1224-1999),环刀法测定容重,通过土粒密度和土壤容重来计算土壤总孔隙度<sup>[8]</sup>:总孔隙度=(1-土壤容重/土粒密度)×100。

用国家林业行业标准方法(LY-T 1215-1999)测定土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量,并计算毛管孔隙度。非毛管孔隙度等于总孔隙度减去毛管孔隙度。

采用SPSS统计软件包对数据进行处理,采用LSD多重比较植被类型间的差异,显著水平为 $P=0.05$ 。

## 2 结果和分析

### 2.1 土壤容重

光裸地的土壤容重高,土质结实,10 cm以下容重大于1.5 g cm<sup>-3</sup>(表3)。种植桉树后,土壤容重

没有改善,甚至更结实,据野外观察,该桉树林受村民干扰较大,经常收走地表枯落物,导致地表更板结,土壤物理性质变差,3个层次的土壤容重均大于1.5 g cm<sup>-3</sup>,20~40 cm土层更达1.59 g cm<sup>-3</sup>。阔叶混交林的土壤容重下降、土质明显疏松,0~10 cm和10~20 cm土层的容重均低于1.3 g cm<sup>-3</sup>,显著小于光裸地与桉树林。村边次生林表土极为疏松,容重最低,只有1.07 g cm<sup>-3</sup>。阔叶混交林植物种类丰富,表层根系多,土壤生物类群复杂,这些因素是其土壤结构得到改善的主要原因。土壤容重随土层加深而上升,这在阔叶混交林与村边次生林尤为明显,最表层通常较大幅度低于下层土壤,这是结构复杂森林的一个特征,光裸地与桉树林由于表层板结,容重随深度上升的趋势不明显。阔叶混交林与村边次生林较深层土壤容重仍大大低于光裸地与桉树林。

### 2.2 土壤持水量

3个土壤持水量指标(最大持水量、毛管持水量和最小持水量)均为村边次生林>阔叶混交林>光裸地>桉树林,各林型表层差异大,深层土壤差异较小(表3)。村边次生林最表层的最大持水量达538 g kg<sup>-1</sup>,大幅高于阔叶混交林(409 g kg<sup>-1</sup>),是桉树林的2倍以上。最大持水量随深度增加而显著下降,村边次生林在20~40 cm时只有358 g kg<sup>-1</sup>,

约为表层的 67%，阔叶混交林也相似，下层约为最表层的 77%。光裸地及桉树林的持水特征明显不同，不同层次的持水量均低，随深度变化不大，下层约为最表层的 93%。村边次生林最表层土壤毛管持水量为  $325 \text{ g kg}^{-1}$ ，为桉树林的 2.6 倍。毛管持水量随深度变化的特征与最大持水量明显不同，成熟的村边次生林土壤毛管持水量随着深度的增加而下降，而阔叶混交林不同深度极为相似，光裸地与桉树林则随深度增加而上升，桉树林最表层土壤的毛管持水量为  $126 \text{ g kg}^{-1}$ ，20 ~ 40 cm 则上升至  $153 \text{ g kg}^{-1}$ ，这可能是最表层土质板结所致。最小持水量随深度的变化特征与毛管持水量相似，即次生林与阔叶混交林随深度有下降，光裸地与桉树林则相反。

周国逸等<sup>[9]</sup>的水文学研究表明，阔叶混交林地在没有蓄满以前产流很小或基本不产生地表流，由

于其土壤通透性好，径流量不大。桉树林由于地表凋落物不断人为移走，导致林地地表光滑板结，土壤通透性极差，系统几乎不存在缓冲作用，地表径流随降水强度和降水量的增加急剧增加。光裸地的情况介于两者之间，裸地地表虽然没有植被，充足的太阳辐射使得裸地土壤表层相对桉树林要疏松得多。本研究的土壤持水量特征与此结论相符，即使人工林有显著演替现象，并形成结构复杂的群落，但其持水功能仍不及村边次生林。这与王景燕等<sup>[10]</sup>对川南地区的研究结果一致，人工林与天然常绿阔叶林相比，土壤有机质较低，容重较高，持水量降低。王勤等<sup>[11]</sup>对安徽大别山库区 7 种不同林分的研究表明，相同立地条件下，天然次生林和阔叶混交林具有更好的维持地力作用和更高的水源涵养功能。

表 3 不同植被类型土壤容重、持水量及孔隙度

Table 3 Soil bulk density, water holding capacity and porosity of different plantations

类型 Type	深度 Depth (cm)	容重 Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	最大持水量 Max. water holding capacity ( $\text{g kg}^{-1}$ )	毛管持水量 Capillary water holding capacity ( $\text{g kg}^{-1}$ )	最小持水量 Min. water holding capacity ( $\text{g kg}^{-1}$ )	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	非毛管 孔隙度 Non-capillary porosity (%)
光裸地 Barren land	0 ~ 10	$1.43 \pm 0.07\text{b}$	$287 \pm 24\text{c}$	$179 \pm 35\text{c}$	$133 \pm 30\text{c}$	$45.3 \pm 2.6\text{c}$	$25.6 \pm 4.8\text{b}$	$19.7 \pm 5.3\text{a}$
	10 ~ 20	$1.54 \pm 0.13\text{a}$	$266 \pm 41\text{c}$	$185 \pm 33\text{c}$	$152 \pm 37\text{c}$	$40.6 \pm 5.1\text{c}$	$28.3 \pm 4.2\text{b}$	$12.2 \pm 6.5\text{c}$
	20 ~ 40	$1.52 \pm 0.08\text{ab}$	$266 \pm 29\text{bc}$	$196 \pm 38\text{b}$	$163 \pm 41\text{c}$	$41.2 \pm 3.2\text{b}$	$29.6 \pm 5.1\text{b}$	$11.6 \pm 5.0$
桉树林 <i>Eucalyptus</i> plantation	0 ~ 10	$1.52 \pm 0.05\text{a}$	$241 \pm 19\text{d}$	$126 \pm 15\text{d}$	$90 \pm 13\text{d}$	$40.4 \pm 2.0\text{d}$	$19.3 \pm 2.6\text{c}$	$21.1 \pm 4.1\text{a}$
	10 ~ 20	$1.53 \pm 0.06\text{a}$	$261 \pm 34\text{c}$	$143 \pm 10\text{d}$	$109 \pm 7.9\text{d}$	$41.2 \pm 2.2\text{c}$	$21.8 \pm 1.3\text{c}$	$19.3 \pm 2.7\text{ab}$
	20 ~ 40	$1.59 \pm 0.04\text{a}$	$223 \pm 27\text{c}$	$153 \pm 15\text{c}$	$119 \pm 4.7\text{c}$	$38.5 \pm 1.7\text{b}$	$24.2 \pm 2.2\text{c}$	$14.2 \pm 2.6\text{a}$
阔叶混交林 Mixed broad- leaved plantation	0 ~ 10	$1.26 \pm 0.06\text{c}$	$409 \pm 32\text{b}$	$228 \pm 37\text{b}$	$201 \pm 32\text{b}$	$51.4 \pm 2.3\text{b}$	$28.7 \pm 3.3\text{b}$	$22.7 \pm 1.4\text{a}$
	10 ~ 20	$1.29 \pm 0.07\text{b}$	$381 \pm 33\text{b}$	$220 \pm 12\text{b}$	$192 \pm 13\text{b}$	$50.0 \pm 2.8\text{b}$	$28.4 \pm 2.2\text{b}$	$21.6 \pm 4.7\text{a}$
	20 ~ 40	$1.44 \pm 0.14\text{bc}$	$313 \pm 64\text{ab}$	$217 \pm 18\text{b}$	$197 \pm 14\text{b}$	$46.1 \pm 5.2\text{a}$	$31.1 \pm 1.3\text{b}$	$15.0 \pm 6.2\text{a}$
村边次生林 Secondary natural forest	0 ~ 10	$1.07 \pm 0.04\text{d}$	$538 \pm 34\text{a}$	$325 \pm 8\text{a}$	$287 \pm 6.9\text{a}$	$58.0 \pm 1.5\text{a}$	$34.9 \pm 1.1\text{a}$	$23.0 \pm 2.5\text{a}$
	10 ~ 20	$1.22 \pm 0.05\text{b}$	$432 \pm 32\text{a}$	$302 \pm 13\text{a}$	$270 \pm 15\text{a}$	$52.6 \pm 1.9\text{a}$	$36.6 \pm 0.7\text{a}$	$15.9 \pm 2.0\text{bc}$
	20 ~ 40	$1.34 \pm 0.06\text{c}$	$358 \pm 37\text{a}$	$269 \pm 24\text{a}$	$242 \pm 24\text{a}$	$48.2 \pm 2.3\text{a}$	$35.8 \pm 1.8\text{a}$	$12.4 \pm 1.5\text{a}$

$n = 6$ ，不同字母表示 LSD 多重比较差异显著 ( $P < 0.05$ )。Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level by LSD test.

桉树林土壤的持水性能最差，甚至比极少植被覆盖的光裸地还低。桉树纯林由于种树单一且受强烈人为干扰(凋落物被人为清除)，群落结构简单，林下植被稀疏，导致林下环境恶化，土壤板结，持水能力差。华南地区大面积栽种桉树人工林，取得良好经济效益的同时，其土壤的水源涵养功能受到影响。廖观荣等<sup>[12]</sup>的研究表明，雷州半岛种植桉树人工林导致地力退化，沙土流失严重，土壤物理

性质变差，表层容重增加，土壤板结。韩艺师等<sup>[13]</sup>研究了 4 代连栽的桉树人工林下的土壤持水特征，结果表明随连栽代次增加，土壤容重提高，而孔隙度、渗透速率以及持水量明显降低。而本研究的小良站桉树林种植年限更长，土壤物理性质恶化更严重。因此在营造桉树经济林时，不可轻视由此带来的土壤物理性质恶化和水源涵养能力下降的问题，桉树与其它树种轮作或混交种植可以有效缓解这

一问题。

### 2.3 土壤孔隙度

土壤孔隙度是衡量土壤蓄水能力的重要指标,结构良好的土壤孔隙度为55%~70%<sup>[14]</sup>。从表3可看出,村边次生林最表层土壤总孔隙度为58%,各土层总孔隙度显著高于其它类型,是结构良好的类型。阔叶混交林经过40年的发展,土壤总孔隙度恢复到了较高的水平,各层次土壤孔隙度为46.1%~51.4%,大大高于光裸地与桉树林,其中最表层(0~10 cm)的总孔隙度比光裸地高13.5%,比桉树林高27.2%,但仍比次生林低11.4%。

土壤非毛管孔隙为土壤水分的暂时贮存提供了空间,这部分贮存水有利于植物的生长和森林阻延洪水,在防治山洪中有极为重要的作用。因此在森林土壤涵养水源能力的研究中,非毛管孔隙度是一个重要的评价因子<sup>[15]</sup>。研究表明,土壤非毛管孔隙度为20%~40%时对植被生长较有利;当非毛管孔隙度小于10%时,土壤便不能保证通气良好<sup>[16]</sup>。本研究4种植被类型土壤的非毛管孔隙度变化较大,各层次的平均值在11.6%~23.0%,阔叶混交林0~10 cm和10~20 cm的土壤平均非毛管孔隙度

分别为22.7%和21.6%,对植物生长比较有利,而且较大的土壤非毛管孔隙度也直接导致了土壤容重减小和持水量增加。

### 2.4 土壤剖面最大蓄水量

根据土壤容重和土壤最大持水量,我们估算了单位面积土壤的最大蓄水量(表4),它反映了各林分土壤理论最大储水能力。

从表4可见,单位面积最大蓄水量总体表现为村边次生林>阔叶混交林>光裸地>桉树林,阔叶混交林土壤的最大蓄水量达到1892 t hm<sup>-2</sup>,分别比光裸地和桉树林多269 t hm<sup>-2</sup>和418 t hm<sup>-2</sup>,桉树纯林由于其土壤容重大、孔隙少而最大蓄水量最小,甚至小于植被稀少的光裸地。

王雪梅等<sup>[17]</sup>对安徽肖坑亚热带常绿阔叶林的研究表明,18年和36年林龄的0~40 cm土层最大蓄水量分别为1862 t hm<sup>-2</sup>和1977 t hm<sup>-2</sup>,与本研究的阔叶混交林同层次的最大蓄水量(1892 t hm<sup>-2</sup>)相当,稍低于福建樟湖35年生楠木(*Phoebe nees*)人工林40 cm土层的最大贮水量(2052.61 t hm<sup>-2</sup>)<sup>[18]</sup>。总体上,小良沿海台地上恢复起来的阔叶混交林,其土壤持水性能已基本与同林龄的人工林相似。

表4 小良生态站各植被类型土壤蓄水量(0~40 cm)

Table 4 Soil water storage capacity of different plantations in Xiaoliang Ecological Station (0~40 cm)

类型 Type	最大蓄水量 Max. water storage capacity (t hm <sup>-2</sup> )	与村边次生林之比 Percentage of secondary natural forest
光裸地 Barren land	1623 ± 92c	79.0
桉树林 <i>Eucalyptus</i> plantation	1474 ± 86d	71.7
阔叶混交林 Mixed broad-leaved plantation	1892 ± 117b	92.1
村边次生林 Secondary natural forest	2055 ± 53a	100

表4还可看出,不同植被类型间的最大蓄水量差别不大,阔叶混交林是成熟村边次生林的92%,即使光裸地也接近80%,这说明森林对径流的调蓄作用主要体现在地表水的入渗特征。余作岳等<sup>[19]</sup>10年的观测表明,小良站光裸地、桉树林和混交林的平均地表径流系数分别为18.6%、43%和1.65%。桉树林的径流量最大,原因在于地表板结,雨水难于入渗。而阔叶混交林地表疏松,一般强度降雨基本不产生径流。

### 2.5 土壤持水特征的长期变化

与屠梦照等<sup>[1]</sup>的研究比较表明(图1),26年后各植被类型的土壤容重明显减小,其中光裸地下降幅度较大,平均下降27.7%,但其容重仍较大;桉树

林下降的幅度最小,平均仅下降7.4%,阔叶混交林下降也明显。1983年,3种植被类型的土壤平均容重为桉树林<阔叶混交林<光裸地,到2009年桉树林土壤的容重最大,稍高于光裸地(图1)。花岗岩发育的土壤在完全没有植被覆盖和有机质粘合作用下,受热带高温气候影响变得松散,而长期人为去除桉树林下凋落物则导致地面板结,土壤物理性状无法得到改善。

图1看出,2009年光裸地土壤最大持水量比1983年大幅增加,这与容重减少的结果是一致的,主要是由于土壤受到侵蚀变得疏松。桉树林土壤最大持水量较26年前有所降低。阔叶混交林土壤0~10 cm和10~20 cm最大持水量较1983年有

大幅度增加,显示出阔叶混交林经过 26 年,在植被凋落物和土壤动物及微生物的多重作用下,土壤孔

隙增加,持水量增加,土壤物理性质变好,持水能力增强。

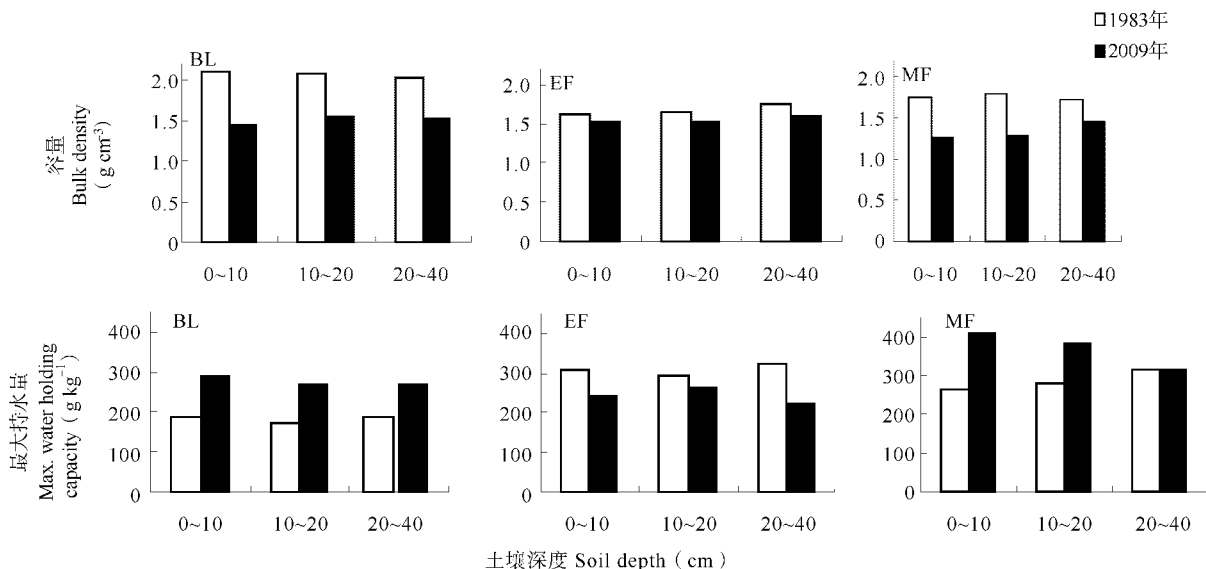


图 1 1983 年和 2009 年小良站不同植被土壤容重与最大持水量比较

Fig. 1 Soil bulk density and Max. water holding capacity of different plantations in Xiaoliang Station in 1983 and 2009

BL: 光裸地 Barren land; EF: 桉树林 *Eucalyptus* plantation; MF: 阔叶混交林 Mixed broad-leaved forest

### 3 结论

没有植被覆盖的光裸地土质结实,容重一般在  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$  以上,种植桉树后受到长期人为去除地表枯落物的影响,其地表更为板结。桉树林改造为阔叶混交林后,0~40 cm 土层的容重均低于  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$ ,但仍显著高于村边次生林。

土壤持水能力为村边次生林 > 阔叶混交林 > 光裸地 > 桉树林。村边次生林最大持水量可达  $538 \text{ g kg}^{-1}$ ,大大高于阔叶混交林( $409 \text{ g kg}^{-1}$ ),是桉树林的 2 倍以上。村边次生林最表层土壤毛管持水量为  $325 \text{ g kg}^{-1}$ ,为桉树林的 2.6 倍。桉树人工林持水能力低于光裸地,是该地桉树林长期受到人为干扰的特殊现象。

村边次生林最表层总孔隙度为 58%,各土层总孔隙度显著高于其它植被类型,土壤结构良好。阔叶混交林各层次土壤总孔隙度为 46.1%~51.4%,高于光裸地与桉树林。4 种植被类型土壤的平均非毛管孔隙度为 11.6%~23.0%,其中阔叶混交林表层为 21.6%~22.7%,对植物生长比较有利。

土壤最大蓄水量为村边次生林 > 阔叶混交林 > 光裸地 > 桉树林,阔叶混交林土壤的最大蓄水量达到  $1892 \text{ t hm}^{-2}$ ,分别比光裸地和桉树林多  $269 \text{ t hm}^{-2}$  和  $418 \text{ t hm}^{-2}$ 。森林对径流的调蓄作用主

要体现在地表水的入渗特征,而非土壤对降水的直接储量。

光裸地土壤容重在过去的 26 年间下降 27.7%,仍较大,阔叶混交林土壤由于系统功能的整体改善,土壤也变得更疏松,桉树林土壤则长期保持板结状态。土壤持水能力也出现相应的变化,阔叶混交林与光裸地土壤的持水量有较大幅度增加。

### 参考文献

- [1] Tu M Z(屠梦照), Yao W H(姚文华). Soil properties in relation to changing of forest vegetation on coastal hilly land in Guangdong Province [C]// Acta Botanica Austro Sinica No. 1. Beijing: Science Press, 1983: 95-101.(in Chinese)
- [2] Yu Z Y(余作岳), Pi Y F(皮永丰). The path and its effects to rehabilitating vegetation on the tropical littoral eroded land in Guangdong Province [C]// Tropical and Subtropical Forest Ecosystem No. 3. Hainan: Hainan People's Press, 1985: 97-108.(in Chinese)
- [3] Cao H L(曹洪麟), Yu Z Y(余作岳). Comparative study on the community structure of four different forests in Xiaoliang Experimental Station, Dianbai County, South Guangdong [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 1998, 4(4): 315-319.(in Chinese)
- [4] Ren H(任海), Li Z A(李志安), Shen W J(申卫军), et al. Changes in biodiversity and ecosystem function during the restoration of a tropical forest in south China [J]. Sci Chin Ser C-Life Sci(中国科学 C 辑: 生命科学), 2006, 36(6): 563-569.(in Chinese)
- [5] Yu Z Y(余作岳), Peng S L(彭少麟). Ecological Study of

- Vegetation Restoration of Degraded Ecosystem in Tropical and Subtropical Area [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1996: 97-99.(in Chinese)
- [6] Gu W(顾伟), Li Z A(李志安), Zou B(邹碧), et al. Carbon sequestration in soils of rehabilitated plantations on severely eroded lands in tropical China [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2007, 15(5): 369-376.(in Chinese)
- [7] Zhou G Y(周国逸), Yu Z Y(余作岳), Peng S L(彭少麟). A black box model of rainfall-surface flow relationship in Xiaoliang Experimental Station, Guangdong Province [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 1995, 14(4): 67-72.(in Chinese)
- [8] Liu G S(刘光崧), Jiang N H(蒋能慧), Zhang L D(张连第), et al. Soil Physical and Chemical Analysis & Description of Soil Profiles [M]. Beijing: Standards Press of China, 1996: 5-19.(in Chinese)
- [9] Zhou G Y(周国逸), Yu Z Y(余作岳), Peng S L(彭少麟). Comparative study of surface flow for three types of vegetation in Xiaoliang Experimental Station [J]. Trop Geog(热带地理), 1995, 15(4): 306-312.(in Chinese)
- [10] Wang J Y(王景燕), Gong W(龚伟), Hu T X(胡庭兴), et al. Water conservation in a natural evergreen broadleaf forest and three plantations in southern Sichuan Province [J]. J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报), 2007, 24(5): 569-574.(in Chinese)
- [11] Wang Q(王勤), Zhang Z Y(张宗应), Xu X N(徐小牛). Soil properties and water conservation function of different forest types in Dabieshan district, Anhui [J]. J Soil Water Conserv(水土保持学报), 2003, 17(3): 59-62.(in Chinese)
- [12] Liao G R(廖观荣), Lin S R(林书蓉), Li S Y(李淑仪), et al. The current status and characteristics of land capacity degeneration of *Eucalyptus* plantation in Leizhou Peninsula [J]. Soil Environ Sci(土壤与环境), 2001, 11(1): 25-28.(in Chinese)
- [13] Han Y S(韩艺师), Wei Y C(魏彦昌), Ouyang Z Y(欧阳志云), et al. Effects of continuous planting rotation on forest structural characteristics and water holding capacity of *Eucalyptus* plantations [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2008, 28(9): 4609-4617.(in Chinese)
- [14] Shao M A(邵明安), Wang Q J(王全九), Huang M B(黄明斌). Soil Physics [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 38-39.(in Chinese)
- [15] Zeng S Q(曾思齐), She J Y(余济云), Xiao Y T(肖玉檀), et al. Metrological studies of hydrological functions of *Pinus massoniana* forest for water and soil conservation. I. Crown interception and water-holding capacity of the soil [J]. J CS For Univ(中南林学院学报), 1996, 16(3): 1-8.(in Chinese)
- [16] Wu C W(吴长文), Wang L X(王礼先). The analysis on the water storage properties of soil pore in forested land [J]. Res Soil Water Conserv(水土保持研究), 1995, 2(1): 77-79.(in Chinese)
- [17] Wang X M(王雪梅), Wang Q(王勤), Ding Z F(丁增发), et al. Water conservation function of subtropical evergreen broad-leaved forest in Xiaokeng, Anhui Province [J]. J Anhui Agri Univ(安徽农业大学学报), 2008, 35(3): 362-367.(in Chinese)
- [18] Yang L L(杨柳林). Study of water conservation function of 35-year-old *Phoebe nees* plantation in Zhanghu, Fujian [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 2005, 32(3): 51-54.(in Chinese)
- [19] Yu Z Y(余作岳), Zhou G Y(周国逸), Peng S L(彭少麟). Comparative study on surface runoff for three types of vegetation in Xiaoliang Experimental Station [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 1996, 20(4): 355-362.(in Chinese)