

文章编号: 1000-5692(2007)02-0135-05

## 云南尖山河流域不同植被类型的蓄水能力

龙 午<sup>1</sup>, 杨云华<sup>2</sup>, 王克勤<sup>1</sup>, 李建增<sup>2</sup>, 李宝荣<sup>2</sup>, 李云蛟<sup>3</sup>

(1. 西南林学院 环境科学与工程系, 云南 昆明 650224; 2. 云南省玉溪市水利局,  
云南 玉溪 653100; 3. 云南省澄江县水利局, 云南 澄江 652500)

**摘要:** 为了得出云南省尖山河流域内蓄水功能较强的优势林分, 合理调整该流域内的森林结构, 充分发挥森林涵养水源的功能, 2004 年, 对该流域几种不同植被类型的植被持水量、枯落物持水量和土壤的储水量分别进行了研究。植被和枯落物的持水量采用浸泡法测定; 土壤的蓄水量通过挖土壤剖面测定土壤孔隙度和土层厚度的方法测定, 进而将土壤蓄水量转换为土壤孔隙度与土壤平均厚度之积。结果表明, 不同植被类型的植被持水量、枯落物持水量和土壤蓄水量都存在极显著差异 ( $P=0.00<0.01$ )。该实验条件下, 梯田的蓄水能力最好, 其次是云南松 *Pinus yunnanensis* 次生林和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 次生林也具有较好的蓄水能力。6 种土地利用类型的最大蓄水量的大小依次为: 梯田( $5\ 473.10\ t\cdot hm^{-2}$ )> 云南松次生林( $5\ 464.22\ t\cdot hm^{-2}$ )> 杉木次生林( $5\ 433.03\ t\cdot hm^{-2}$ )> 荒草地( $5\ 203.23\ t\cdot hm^{-2}$ )> 坡耕地( $5\ 039.10\ t\cdot hm^{-2}$ )> 灌木林( $4\ 610.45\ t\cdot hm^{-2}$ )。表 4 参 12

**关键词:** 森林生态学; 植被类型; 蓄水能力; 尖山河流域

**中图分类号:** S718.5      **文献标志码:** A

20 世纪 50 年代以来, 森林生态系统的多功能性作用越来越受到国际社会的关注, 成为生态学研究的热点。探索森林涵养水源功能及其价值评价体系, 正确计量与评价方法, 是经营管理与开发利用森林资源, 实现最佳经营和最优利用的前提<sup>[1-3]</sup>。不同森林类型的水源涵养效应存在一定的差异。林分地上部分的持水量通常仅占林分水源涵养能力的 15% 以下, 而林地枯落物和森林土壤则是涵养水源的主体<sup>[4]</sup>。20 世纪 80 年代以来, 已经有许多学者对森林涵养水源效益做出了评价, 也有一些学者经过长期研究, 得出了有目的定向改造天然次生林的良好经验<sup>[5-7]</sup>。土壤最大蓄水量是毛管孔隙与非毛管孔隙蓄水量的总和, 反映了土壤最大蓄水和调节水分的潜在能力。其中, 毛管水供植物根系吸收和林地蒸发, 只做垂直运动; 非毛管水就是涵养水源量, 可以通过重力作用做垂直运动, 也可横向渗透, 沿不透水层供应湖泊和河流, 起着调节流量, 稳定水位的功能。但是, 森林的涵养水源量与最大蓄水量基本是保持一致的<sup>[8-9]</sup>。因此, 通过对不同植被类型的蓄水能力的比较, 可以得出涵养水源能力较好的植被类型, 对水土保持和生态修复具有一定的指导意义。2003 年在国家发展和改革委员会和水利部的支持下, 珠江上游南北盘江石灰岩地区水土保持综合治理试点工程(简称“珠治试点工程”)正式实施。该项目区是“珠治试点工程”中 85 条小流域的其中一条。

---

收稿日期: 2006-05-08; 修回日期: 2006-11-19

基金项目: 国家珠江上游小流域综合治理试点工程项目(XH007019)

作者简介: 龙午, 硕士研究生, 从事恢复生态学研究。E-mail: Dragon20068888@163.com。通信作者: 王克勤, 教授, 从事退化环境水土保持和生态修复的理论与实践研究。E-mail: kqwang@swfc.edu.cn

## 1 研究区概况

尖山河小流域地处云南省玉溪市澄江县西南部，是珠江上游南北盘江石灰岩地区水土保持综合治理试点工程中的一个典型小流域。研究区总面积为 $35.42\text{ km}^2$ ， $24^{\circ}32'00''\sim24^{\circ}37'38''\text{N}$ ， $102^{\circ}47'21''\sim102^{\circ}52'02''\text{E}$ ；海拔高度为 $1722\sim2347.4\text{ m}$ ，地面坡度为 $5\sim35^{\circ}$ 。属冬无严寒、夏无酷暑的低纬度高原气候，多年平均降水量 $1050\text{ mm}$ ，降水主要集中在雨季(5月下旬至10月下旬)，占年平均降水量的75%。土壤主要是红紫泥土和红壤。流域内森林覆盖率为21.4%，主要乔木树种有云南松 *Pinus yunnanensis*，华山松 *Pinus armandi*，桉树 *Eucalyptus*，辽东桤木 *Alnus sibirica*，杉木 *Cunninghamia lanceolata* 等。灌木有马桑 *Coriaria nepalensis*，野荔枝 *Cornus kousa* var. *angustata*，羊踯躅 *Rhododendron molle* 等。草本有紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum*，旱茅 *Eremopogon delavayi*，黄茅 *Heteropogon contortus* 等。果树有板栗 *Castanea mollissima*，桃 *Amygdalus persica*，油柿 *Diospyros kaki*，李 *Prunus salicina* 等。

## 2 研究方法

2004年11月，在试验区完成了植被调查及土壤孔隙度和土壤厚度的测定，并将数据整理分类。

### 2.1 不同群落标准地选择

云南松天然次生林群落位于海拔 $1810\text{ m}$ ，坡向为 $\text{NW}45^{\circ}$ ，坡度为 $22^{\circ}$ 的流域下游，其郁闭度为0.5，植被生长状况良好；杉木天然次生林群落位于海拔 $1850\text{ m}$ ，坡向为 $\text{NW}40^{\circ}$ ，坡度为 $22^{\circ}$ 的流域上游，郁闭度为0.7，植被生长状况良好；车桑子 *Dodonaea viscosa* 灌木林群落位于海拔 $1860\text{ m}$ ，坡向为 $\text{NW}60^{\circ}$ ，坡度为 $28^{\circ}$ 的流域上游，植被生长状况良好；荒草地位于海拔 $1840\text{ m}$ ，坡向为 $\text{NW}35^{\circ}$ ，坡度为 $22^{\circ}$ 的流域中游的上坡位，草被覆盖度在90%以上；梯田位于海拔 $1825\text{ m}$ 的流域中下游的下坡位；坡耕地位于海拔 $1840\text{ m}$ ，坡度为 $12^{\circ}$ 的流域中下游的上坡位。

### 2.2 不同群落植被的持水量和持水率测定

乔木持水量的测定采用标准枝法，即：在野外选取标准木取其标准枝称其鲜质量，然后将标准枝浸入水中 $30\text{ min}$ ，取出滤水 $5\sim10\text{ min}$ 后称量(浸湿质量)，再取标准枝的 $1/10$ 带回实验室在烘箱烘干( $80^{\circ}\text{C}$ 恒温 $6\sim8\text{ h}$ )并称其质量(干质量)，最后换算成每公顷的生物量，并根据所获得的数值用公式算出其持水量和持水率。灌木采用完全收割法测定持水量，即：在标准地内分别设置3个 $2\text{ m}\times3\text{ m}$ 小样方，完全收割并在野外称其质量，将其浸入水中 $30\text{ min}$ ，取出滤水 $5\sim10\text{ min}$ 后称量(浸湿质量)，再带回实验室烘箱烘干( $80^{\circ}\text{C}$ 恒温 $6\sim8\text{ h}$ )称其质量(干质量)，根据所获得的数值用公式算出其持水量和持水率。草本采用完全收割法测定持水量，即：在标准地内分别设置3个 $1\text{ m}\times1\text{ m}$ 小样方，完全收割装袋并在野外称其鲜质量，带回实验室在烘箱内烘干( $80^{\circ}\text{C}$ 恒温 $6\sim8\text{ h}$ )，称其质量(即干质量)。再把该样品放入水中浸泡 $8\sim10\text{ h}$ 后取出，滤水 $5\sim10\text{ min}$ 后称量，并根据所获得的数值用公式算出其持水量和持水率。

自然持水量是指植被在自然状况下的含水量，即：自然持水量=鲜质量—干质量；最大持水量是指植被在水中浸泡后的含水量，即：最大持水量=浸水质量—干质量。自然持水率=自然持水量/鲜质量，最大持水率=最大持水量/鲜质量。

### 2.3 不同群落枯落物的持水量和持水率的测定

枯落物层在山地森林水文作用中具有极其重要的作用，是保障森林充分发挥涵养水源功能的一个极其重要的水文层次，具有明显的蓄水保水作用。枯落物持水性能因林分类型、枯落物构成以及蓄积量大小不同而变化，而林分类型、枯落物构成以及蓄积量又是人为可调控因子<sup>[10]</sup>。

在不同群落的标准地里各取3个 $50\text{ cm}\times50\text{ cm}$ 的枯落物样方，将所有枯落物保持原状收集、装袋并就地称量(鲜质量)。标明该样品的样地号带回实验室，放入烘箱内烘干( $80^{\circ}\text{C}$ 恒温 $6\sim8\text{ h}$ )，称其质量(即干质量)，换算出每公顷林地上枯落物的质量。然后将烘干后的枯落物用室内浸泡法<sup>[11]</sup>测定其持水量和持水率，即：将称过的枯落物(用塑料袋装好)放入水中浸泡，经过 $6\sim8\text{ h}$ 后取出塑料袋称其质量(即浸湿质量)，根据所获得的数值用公式算出其持水量和持水率。

## 2.4 不同群落下土壤蓄水能力的测定

在不同群落的各标准地内分上、中、下3个部位各挖1个土壤剖面, 分0~20, 20~40, 40~60 cm采土样, 并测出每个土壤剖面的土壤深度, 计算得出该流域的平均土壤深度为1.1 m, 用下式测定土壤蓄水量<sup>[12]</sup>。最大蓄水量( $t \cdot hm^{-2}$ ) = 土壤总孔隙度  $\times$  10 000  $m^2$   $\times$  土壤深度(m); 涵养水源量 = 土壤非毛管孔隙度  $\times$  10 000  $m^2$   $\times$  土壤深度(m), 土壤深度按1.1 m(土壤平均深度)计算, 而60 cm以下的土壤与40~60 cm的土层一样, 受外界的干扰非常少, 所以其土壤孔隙度按40~60 cm土层的土壤孔隙度计算。土壤的容重、非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度采用环刀法测定。即: 将待测原土样放在水槽中, 使水槽的水面刚好与环刀的下盖相平浸泡4 h, 取出称其质量, 之后再使水面和环刀顶部持平再浸泡8 h, 取出称其质量。计算公式如下: 容重 = 样品土干质量 / 环刀体积; 土壤总孔隙度 = [(浸水8 h带土环刀质量 - 环刀质量 - 干土质量) / 环刀体积]  $\times$  100; 土壤毛管孔隙度 = [(浸水4 h带土环刀质量 - 环刀质量 - 干土质量) / 环刀体积]  $\times$  100; 土壤非毛管孔隙度 = 土壤总孔隙度 - 土壤毛管孔隙度。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同群落植被持水量和持水能力比较

植被持水量主要取决于不同群落的生物量和持水性能, 而这又与林龄、林分结构及发育程度等有关。对不同群落的植被持水量和持水性能的研究表明(表1): 杉木次生林的生物量( $202.41 t \cdot hm^{-2}$ )  $>$  云南松次生林的生物量( $62.33 t \cdot hm^{-2}$ )  $>$  荒草地( $43.31 t \cdot hm^{-2}$ )  $>$  灌木林( $18.11 t \cdot hm^{-2}$ )。表1显示, 杉木次生林的自然持水量( $173.35 t \cdot hm^{-2}$ ), 最大持水量( $217.75 t \cdot hm^{-2}$ ), 自然持水率(46.1%), 最大持水率(59.7%)都是最大的; 其次是云南松次生林, 分别为 $26.93 t \cdot hm^{-2}$ ,  $34.44 t \cdot hm^{-2}$ , 30.2%, 38.6%; 灌木林和荒草地的自然持水量和最大持水量基本相等, 但是, 灌木林的自然持水率(13.0%)和最大持水率(24.6%)远大于荒草地的6.4%和11.3%。经方差分析可知, 灌木林与荒草丛的最大持水量的差异不明显( $P=0.93>0.05$ ), 其余的群落两两之间都存在极显著差异( $P=0.00<0.01$ )。

### 3.2 不同群落枯落物的持水量和持水能力比较

对不同群落类型枯落物储存量及持水性能的研究表明: 云南松次生林的枯落物储存量最大, 为 $13.83 t \cdot hm^{-2}$ ; 其次是杉木次生林, 为 $11.18 t \cdot hm^{-2}$ ; 灌木林为 $7.76 t \cdot hm^{-2}$ ; 储存量最少的是荒草地, 仅有 $1.07 t \cdot hm^{-2}$ (表2)。经方差分析可知, 乔木林、灌木林与荒草丛的枯落物蓄积量都存在极显著差异( $P=0.00<$

表1 不同群落植被的持水量

Table 1 Moisture-holding capacity of vegetation for different community types

群落 类型	总生物量/ $(t \cdot hm^{-2})$	自然持水量/ $(t \cdot hm^{-2})$	最大持水量/ $(t \cdot hm^{-2})$	自然持 水率/%	最大持 水率/%
云南松林	62.33	26.93	34.44	30.2	38.6
杉木林	202.41	173.35	217.75	46.1	59.7
灌木林	18.11	2.71	5.13	13.0	24.6
荒草地	43.31	2.97	5.23	6.4	11.3

说明: 持水量测定期间试验区10 d无任何降水, 气温为22 °C左右。

表2 不同群落类型枯落物持水量

Table 2 Moisture-holding capacity of litter for different community types

群落 类型	蓄存量/ $(t \cdot hm^{-2})$	自然持水 率/%	自然持水量/ $(t \cdot hm^{-2})$	最大持水 率/%	最大持水量/ $(t \cdot hm^{-2})$
云南松林	13.83	43.2	5.98	136.5	18.88
杉木林	11.18	46.7	5.22	157.6	17.62
灌木林	7.76	59.1	4.59	119.8	11.72
荒草地	1.07	18.2	0.19	253.1	2.70

说明: 持水量测定期间试验区10 d无任何降水, 气温为22 °C左右。

0.01)。由于枯落物的持水量主要取决于其蓄积量, 所以其持水量也存在显著差异。表2显示, 不同群落枯落物自然持水率分别为: 灌木林(59.1%)  $>$  杉木次生林(46.7%)  $>$  云南松次生林(43.2%)  $>$  荒草地(18.2%)。这是因为针叶树的枯落物较难分解, 而灌木林大多为阔叶灌木, 且叶片少, 分解又

快，荒草地的自然持水率非常低可能是因为草本较乔、灌更耐旱的缘故；最大持水率分别为：荒草地(253.1%)>杉木次生林(157.6%)>云南松次生林(136.5%)>灌木林(119.8%)。

从表2中还可以看出：虽然云南松次生林枯落物的持水率稍低于杉木次生林，但是，其持水量还是最大，为 $18.88\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其次是杉木次生林的 $17.62\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，灌木林的 $11.72\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，最小的是荒草地的 $2.70\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

### 3.3 不同土地利用类型的土壤蓄水能力比较

林地土壤是储存降水的主要场所，森林植被直接影响到森林土壤的发育，因此，由于立地类型的不同，所造成的林地表层的枯落物构成、地下根系的分布和生长发育的不同，也会间接影响到森林土壤蓄水能力的不同<sup>[12]</sup>。表3显示，除了坡耕地的土壤容重( $1.56\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )稍大一些之外，其余立地类型的土壤容重是基本一致的，这主要是因为坡耕地的顺坡耕种造成表层土壤的严重流失所致。持水率方面：梯田的自然持水率是20.97%，不仅大于坡耕地的18.32%，而且比云南松次生林(19.81%)和杉木次生林(19.63%)也大，这是因为梯田经过耕作和施农家肥，使土壤比较疏松，含有较多的毛管孔隙和有机质；梯田的最大持水率是38.17%，远远大于坡耕地的29.60%，只比云南松次生林(38.42%)和杉木次生林(39.13%)稍小。以上2个方面都说明：梯田较坡耕地更有利于改善土壤物理性质。

表3 不同土地利用类型的土壤蓄水能力

Table 3 Moisture-holding capacity of soil in different soil managements

群落类型	容重/ ( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ )	自然持水率/ %	最大持水率/ %	非毛管孔隙度/ %	总孔隙度/ %	最大蓄水量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
云南松林	1.40	19.81	38.42	4.69	49.19	5 410.9
杉木林	1.33	19.63	39.13	4.34	47.19	5 197.9
灌木林	1.38	9.90	31.83	3.79	41.76	4 593.6
荒草地	1.43	12.34	28.50	3.68	47.23	5 195.3
梯田	1.41	20.97	38.17	3.95	49.75	5 473.1
坡耕地	1.56	18.32	29.60	3.90	45.81	5 039.1

说明：持水量测定期间试验区10 d无任何降水，气温为22℃左右。

从表3也可以看出，土壤最大蓄水量大小依次是：梯田( $5 473.1\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>云南松次生林( $5 410.9\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>杉木次生林( $5 197.9\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>荒草地( $5 195.3\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>坡耕地( $5 039.1\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )>灌木林( $4 593.6\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。经方差分析可以得出，乔木林群落与灌草丛群落的林地土壤的蓄水能力存在极显著差异( $P=0.00<0.01$ )，梯田与坡耕地的蓄水能力也存在极显著差异( $P=0.00<0.01$ )。梯田的蓄水量最大，主要是因为经过“坡改梯”和耕作等大量的人为干扰，虽然破坏了原有的土壤孔隙结构，但也使土壤较森林土壤疏松，含有更多的孔隙。其次是云南松次生林和杉木次生林蓄水量较大，主要是因为结构相对复杂的森林有效地改善了土壤的孔隙状况。

综合上述3个方面，可以得出不同土地利用类型的蓄水能力大小(表4)。

## 4 结论与讨论

不同群落之间由于树种组成不同，植被的生物量及其持水性能差异极显著。垂直结构比较复杂的乔、灌、草群落的枯落物储量及其持水量都远远高于结构简单的灌木群落和草本群落。不同

群落之间由于树种组成不同，其林地的枯落物储存量及其持水性能差异极显著。垂直结构比较复杂的乔、灌、草群落的枯落物储量及其持水量都远远高于结构简单的灌木群落和草本群落。不同土地利用类型的土壤蓄水能力存在极显著差异。与结构单一的灌木林和荒草地相比，结构相对复杂的云南松和杉木次生林的林地有更好的蓄水功能；而梯田也较坡耕地有更好的蓄水功能。由此可见，在林业用地中，结构相对复杂云南松次生林和杉木次生林的蓄水量最大，具有较好的蓄水功能；在农业用地中，

表4 不同土地利用类型的总蓄水量

Table 4 Water storage of soil in different soil managements

群落类型	蓄水量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	群落类型	蓄水量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
云南松林	5 464.22	荒草地	5 203.23
杉木林	5 433.03	梯田	5 473.10
灌木林	4 610.45	坡耕地	5 039.10

梯田较坡耕地的蓄水量要大, 也可以说明梯田的蓄水功能要比坡耕地好。

基于以上研究结果, 建议在尖山河小流域的林业生态工程建设中, 应该在加强对现有次生林保护的同时, 大力改造结构单一的灌木林和荒草地, 使其成为人工-天然复合型乔、灌、草混交林, 从而更好地发挥森林涵养水源和水土保持的功能。

## 参考文献:

- [1] 慕长龙, 龚固堂. 长江中上游防护林体系综合效益的计量与评价[J]. 四川林业科技, 2001, 22(1): 15—23.
- [2] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607—613.
- [3] 王国良. 福建龙栖山甜槠林恢复生态学研究(I)[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(4): 363—366.
- [4] 陈卓梅, 郑郁善, 黄先华, 等. 秃杉混交林水源涵养功能的研究[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(3): 266—269.
- [5] 姜培坤, 钱新标, 余树全, 等. 千岛湖地区天然次生林地枯落物与土壤状况的调查分析[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(3): 260—264.
- [6] 许绍远, 童修耀, 赖云. 龙川林场次生林混交类型的研究[J]. 浙江林学院学报, 1989, 6(2): 170—175.
- [7] 叶仲节. 千岛湖地区封山育林水源涵养效益[J]. 浙江林学院学报, 1989, 6(2): 131—142.
- [8] 彭明俊, 郎兰军, 温绍龙, 等. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报, 2005, 12(6): 106—109.
- [9] 王金建, 崔培学, 刘霞, 等. 小流域水土保持生态修复区森林枯落物的持水性能[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 48—52.
- [10] 张洪江, 程金花, 史玉虎, 等. 三峡库区3种林下凋落物储量及其持水特性[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 55—58.
- [11] 任梅. 小良热带人工混交林的凋落物及其生态效益研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 458—462.
- [12] 张志永, 张卓文, 陈玉生, 等. 5种主要森林类型涵养水源能力比较研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 171—175.

## Moisture-holding capacity of different plant cover types in the Jianshan River drainage area

LONG Wu<sup>1</sup>, YANG Yun-hua<sup>2</sup>, WANG Ke-qin<sup>1</sup>, LI Jian-zeng<sup>2</sup>, LI Bao-rong<sup>2</sup>, LI Yun-jiao<sup>3</sup>

(1. Environmental Science and Technology Department, Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Water Conservancy Bureau of Yuxi City, Yuxi 653100, Yunnan, China; 3. Water Conservancy Bureau of Chengjiang County, Chengjiang 652500, Yunnan, China)

**Abstract:** In order to find forest types with better moisture-holding capacity, to logically adjust the forest structure, and to maximize forest use in the Jianshan River drainage area, moisture-holding capacity of vegetation, litter, and soils from six different land cover types, namely, a *Pinus yunnanensis* secondary forest, a *Cunninghamia lanceolata* secondary forest, a shrub forest, terraced field, farmland on slopes, and moor, were compared. Moisture-holding capacity of the vegetation and litter were determined with immersion mensuration, while the soil moisture-holding capacity was established as the product of soil porosity and soil thickness of the land. Results showed that there were significant differences ( $P < 0.01$ ) in moisture-holding capacities for vegetation, litter, and soils of different land cover types. Moisture-holding capacities were in the following order: terraced field ( $5\ 473.1\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ )  $>$  *Pinus yunnanensis* secondary forest ( $5\ 464.2\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ )  $>$  *Cunninghamia lanceolata* secondary forest ( $5\ 433.0\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ )  $>$  moor ( $5\ 203.2\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ )  $>$  farmland on slopes ( $5\ 039.1\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ )  $>$  shrub forest ( $4\ 610.5\ t^{\circ}\text{hm}^{-2}$ ). [Ch, 4 tab. 12 ref.]

**Key words:** forest ecology; vegetation types; moisture-holding capacity; the Jianshan River drainage area  
© 1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>