

三峡库区三种林下地被物储水特性*

程金花¹ 张洪江^{1*} 史玉虎² 程云¹ 祁生林¹ 何凡¹ 潘磊²

(¹北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; ²湖北省林业科学研究院, 武汉 430075)

【摘要】 通过对三峡库区3种森林类型(松栎混交林、栓皮栎纯林、马尾松纯林)林下地被物调查及其持水试验, 分别得到3种森林类型林下地被物最大储水量、吸水速率等水文特征参数。结果表明, 栓皮栎纯林林下苔藓层储水量最大, 为其风干重的303.1%, 松栎混交林林下的为283.8%, 马尾松纯林林下的为242.3%。松栎混交林林下枯落物最大储水量为其风干重的282.2%, 栓皮栎纯林林下的为262.5%, 马尾松纯林林下的为239.3%。经分析拟合, 得到林下苔藓层、林下枯落物吸水速率与浸泡时间之间关系式为 $S = kt^n$ 。在同为中龄林条件下, 3种森林类型林下苔藓层储水量均高于林下枯落物储水量, 而林下地被物储水量随时间变化过程与森林类型无关。

关键词 三峡库区 地被物 苔藓 枯落物 储水特性

文章编号 1001-9332(2003)11-1825-04 **中图分类号** S715.3 **文献标识码** A

Water storage characteristics of ground covers under three forests in Three Gorges Area. CHENG Jinhua¹, ZHANG Hongjiang¹, SHI Yuhu², CHENG Yun¹, QI Shenglin¹, HE Fan¹, PAN Lei² (¹College of Natural Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ²Forestry Science Institute of Hubei Province, Wuhan 430075, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(11):1825~1828.

Through water holding experiments and the survey of ground covers under three forests (mixed forest of *Quercus variabilis* and *Pinus massoniana*, pure *Quercus variabilis* forest and pure *Pinus massoniana* forest) in Three Gorges Area, the hydrological characteristic parameters, e.g., maximum water holding capacity and water absorption speed, were measured. The results showed that the maximum water holding capacity of moss under pure *Quercus variabilis* forest is the highest (303.1 % of its dry weight), that under mixed forest of *Quercus variabilis* and *Pinus massoniana* was 283.8 %, and that under pure *Pinus massoniana* forest was 242.3 %. The maximum water holding capacity of litter under mixed forest stand of *Quercus variabilis* and *Pinus massoniana* was 282.2 % of its dry weight, that under pure *Quercus variabilis* forest is 262.5 %, that under pure *Pinus massoniana* forest was 239.3 %. The equation between water absorption speed of ground cover and its immersed period could be $S = kt^n$. The results also showed that when the forests were all in mid-age, the water holding ability of the mosses was higher than that of the litters under the same forest. The ground cover's variation with its immersed period had no relation to forest types.

Key words Three Gorges Area, Ground cover, Moss, Litter, Water storage characteristics.

1 引言

林下地被物是指覆盖在林地土壤表面的未分解、半分解植物凋落物及生长在其林地地表的活地表覆盖物。本研究中, 凋落物特指林下未分解和处于半分解状态的枯落物, 活地表覆盖物特指林下的苔藓层。林下地被物在水土保持、水源涵养等方面具有重要作用, 其数量、结构及持水特性与森林水文过程密切相关^[3,4,7]。

国内外许多学者在不同区域对多种森林类型下的地被物水文特性及其对土壤的影响作了很多研究。许多学者主要研究不同森林类型苔藓植物物种多样性、其生物量和生态学作用^[1,18]。美国一些森林水文学家认为, 地被物对降雨的截留量大小取决于地被物的蓄水容量^[2,5,13]。国内学者研究枯落物

储量与降雨关系的较多。有的学者认为油松枯落物截留降雨量与降雨量的关系符合幂函数关系^[8,9], 有的学者曾提出过林地一年内不同时期凋落量及凋落速率的数学模型, 认为降雨、地形因素对枯落物持水有较大影响^[10~12], 一些学者则对油松、山杨、沙棘等的年凋落进程、不同时期的凋落速率及年内枯落物总量的动态变化提出过回归方程^[14~17], 赵鸿雁等^[19]、朱丽晖等^[20]用定位观测的方法研究得到黄土高原人工油松林枯枝落叶的截流量年均均为49.3 mm, 截留率为12.5%。但对长江三峡地区不同森林类型林下枯落物、苔藓层水文特性研究报道较少。本文对长江三峡地区马尾松(*Pinus massoniana*)纯

* 国家自然科学基金资助项目(40171014)。

** 通讯联系人。

2002-08-17 收稿, 2003-06-02 接受。

林、松栎混交林、栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 纯林 3 种森林类型林下枯落物和苔藓的储水特性作了定量研究。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地概况

选择距长江三峡大坝上游 8 km 处右岸的湖北省秭归县境内的曲溪小流域, 作为实验研究基地。该流域位于秭归县茅坪镇境内, 地理坐标为 110°55'15"~110°57'20"E, 30°50'4"~30°51'29"N, 流域总面积 9.8 km², 最高海拔 632.1 m, 最低海拔 133.2 m, 属长江一级支流。该流域基岩主要由花岗岩组成, 经长期风化形成的花岗岩风化层厚度达 10 m 以上。流域内土壤以黄壤为主, 沟底有少量水稻土。其植被类型主要有天然次生马尾松林、松栎混交林、杉木林、竹林等, 其中部

分为人工林。在该流域内选择的马尾松纯林、松栎混交林、栓皮栎纯林 3 种中龄林林地内进行了苔藓和枯落物的调查、采样和分析研究。3 块林地中林下灌木以黄荆 (*Vitex negundo*)、荚蒾 (*Viburnum dilatatum*)、毛黄枹 (*Cotinus coggygria*)、杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 和马桑 (*Coriaria sinica*) 等为主, 草本以兰草 (*Cymbidium faberi*)、白茅 (*Imperata cylindrica* var. *major*)、蕨类 (*Pteridium aquilinum* var. *atiusculum*)、宜昌苔草 (*Carex alliiforme*) 和飞蓬 (*Erigeron*) 等为主。该流域内的栽培树种主要有柑橘 (*Citrus sinensis*)、油桐 (*Aleurites fordii*)、乌桕 (*Sapium sebiferum*)、板栗 (*Castanea mollissima*) 和茶树 (*Camellia sinensis*) 等。

2.2 样品采集地概况

在曲溪小流域 3 种森林类型林地内采集苔藓和枯落物样品, 该 3 种林地内有关环境因子见表 1。

表 1 林地环境因子

Table 1 Basic condition of forest stands

样地号 Plot No.	基岩种类 Matrix type	坡度(°) Slope	坡向 Slope aspect	树种 Tree species	林分起源 Stand origin	郁闭度 Crown	海拔 Altitude (m)	土壤厚度 Soil thickness (cm)		
								坡上 Up-slope	坡中 Mid-slope	坡下 Down-slope
1	花岗岩 Granite	30	W	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i> 马尾松 <i>P. massoniana</i>	人工 Manual	0.82	250~280	20	20	25
2	花岗岩 Granite	10	E	马尾松 <i>P. massoniana</i>	人工 Manual	0.7	310~350	20	25	25
3	花岗岩 Granite	20	S	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	人工 Manual	0.8	310~350	25	30	32

2.3 地被物样品采集

在不同类型林地内分坡面上、中和下 3 部分, 各取面积为 20 cm × 25 cm 地被物样方 3 个, 将苔藓和枯落物分别保

持原状取样装箱, 并现场记录枯落物层和苔藓层厚度、林地状况等相关信息。将采集的样品带回室内进行风干、称重, 并将相同林地不同坡位枯落物和苔藓量分别均化处理, 得到每

表 2 样品基本情况

Table 2 Basic situation of samples

森林类型 Forest type	苔藓 Moss			枯落物 Litter		
	苔藓种类 Moss type	厚度 Thickness (cm)	样品风干重(g) Dry weight	种类 Type	厚度 Thickness (cm)	样品风干重(g) Dry weight
混交林 Mixed forest	葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i>	2	47.3	针阔混合 Conifer and broadleaf mixture	3.6	50.8
马尾松 <i>P. massoniana</i>	葫芦藓 <i>Funaria hygrometrica</i>	3	64.6	针叶 Conifer	1.5	28.9
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	丛藓 <i>Anoetangium aestivum</i>	2	47.3	阔叶 Broadleaf	3.7	53.8

个样方的苔藓量和枯落物量(表 2)。

2.4 地被物储水量及其吸水速率测定

用室内浸泡法测定林下地被物(包括林下枯落物和苔藓)的储水量及其吸水速率。首先, 对所采集的地被物进行风干并称其重量 W_0 (以 kg 计), 然后将称重后的地被物原状放入土壤筛, 再将装有地被物的土壤筛置入盛有清水的容器中, 水面略高于土壤筛的上沿。将被物浸入水中后, 开始时每隔 30 min 将被物连同土壤筛一并取出, 静置 5 min 左右, 直至地被物不滴水为止, 迅速称地被物的湿重, 记为 W_{ij} 。待浸泡 2h 后, 每隔 2 h 将被物连同土壤筛一并取出称重, 称重方法如上。待浸泡 10h 后, 即一直到浸泡 20h 时再取出地被物称重。每次从浸泡容器中取出称重所得的地被物湿重差值 ΔW_{ij} 即为第 i 种地被物 j 浸泡时段的储水量, 如式(1)所示。

$$\Delta W_{ij} = W_{i(j+1)} - W_{ij} \quad (1)$$

式中, ΔW_{ij} 为第 i 种地被物 j 浸泡时段的储水量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$); $W_{i(j+1)}$ 为第 i 种地被物 $j+1$ 浸泡时段的湿重 (g); W_{ij} 为第 i 种地被物 j 浸泡时段的湿重 (g)。

ΔW_{ij} 再除以第 i 种地被物相应时段的浸泡时间 Δt_{ij} , 即为该种地被物此时段的吸水速率 ΔS_{ij} , 如式(2)所示。

$$\Delta S_{ij} = \Delta W_{ij} / \Delta t_{ij} \quad (2)$$

式(2)中, ΔS_{ij} 为第 i 种地被物 j 浸泡时段的吸水速率 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); Δt_{ij} 为第 i 种地被物 j 浸泡时段的时间 (h)。将每种森林类型林下苔藓、枯落物的 9 个样品分别按以上方法进行处理, 取其平均值, 即得到该种森林类型林下苔藓或枯落物的储水量及其吸水速率。

3 结果与分析

3.1 林下地被物储水量测定

依地被物储水量及其吸水速率测定和其计算方

法,得到3种森林类型林下苔藓、枯落物储水量及其吸水速率(表3和表4)。

表3 不同林下地被物储水量

Table 3 Water capacity of the ground covers on the forest stands ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

样品类型 Samples type	浸泡时间 Immersed time(h)									
	0	0.5	1	1.5	2	4	6	8	10	20
A	0	1540	1841	1947	2074	2469	2698	2801	2835	2838
B	0	1439	1560	1701	1845	2013	2161	2381	2423	2423
C	0	1605	1928	2192	2491	2770	2890	3004	3014	3031
D	0	1556	1830	2005	2169	2428	2674	2734	2813	2822
E	0	1445	1632	1801	1902	2169	2286	2356	2388	2393
F	0	1540	1780	1893	2011	2192	2385	2582	2609	2625

A: 混交林苔藓 Moss on mixed forest, B: 马尾松苔藓 Moss on *P. massoniana*, C: 栓皮栎苔藓 Moss on *Quercus variabilis*, D: 混交林枯落物 Litter on mixed forest, E: 马尾松枯落物 Litter on *P. massoniana*, F: 栓皮栎枯落物 Litter on *Quercus variabilis*. 下同 The same below.

表4 不同林下地被物吸水速率

Table 4 Water absorption rate of the ground covers on the forest stands ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

样品类型 Samples type	浸泡时间 Immersed time (h)									
	0	0.5	1	1.5	2	4	6	8	10	20
A	0	3080	602	212	254	197	115	52	17	0.3
B	0	2878	242	282	288	84	74	110	21	0
C	0	3210	646	528	598	139	60	57	5	1.7
D	0	3112	548	350	328	130	123	30	40	0.9
E	0	2890	374	338	202	134	59	35	16	0.5
F	0	3080	480	226	236	91	97	99	14	1.6

3.2 林下地被物储水特性

3.2.1 林下地被物储水量 由表3可见,3种林下苔藓储水量进行比较,可明显看出栓皮栎纯林林下苔藓储水量最大,为 $3031 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的303.1%;松栎混交林林下苔藓储水量次之,为 $2838 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的283.8%;马尾松纯林林下苔藓储水量最小,为 $2423 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的242.3%。松栎混交林林下枯落物储水量最大,为

$2822 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的282.2%;其次是栓皮栎纯林林下枯落物储水量,为 $2625 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的262.5%;马尾松纯林林下枯落物储水量最小,为 $2393 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,是其风干重的239.3%。林下地被物储水量及其与浸泡时间之间的相关关系如图1所示。

由图1可看出,林下苔藓储水量在浸水前2h内增长最快,随浸泡时间增加,苔藓储水量增长速度变缓。当苔藓在水中浸泡8h后,其储水量基本上达到最大值,如再增加浸泡时间,其储水量增加速度明显减小或不再发生变化。林下枯落物储水量随时间的变化过程与林下苔藓表现出惊人的相似性。对3种森林类型林下苔藓储水量与林下枯落物储水量进行比较,均是苔藓的储水量大于枯落物的储水量。3种不同林下枯落物储水量相对比,松栎混交林林下枯落物储水量最大,栓皮栎纯林其次,马尾松纯林最小,说明在同为老龄林条件下,三峡库区针阔混交林林下枯落物的持水能力大于阔叶树纯林或针叶树纯林林下枯落物的持水能力。

分别对比3种森林类型林下苔藓与枯落物储水量随浸泡时间变化趋势,发现枯落物储水量在浸泡6h之后的增长趋势明显缓于苔藓浸泡6h之后的增长趋势。不同林下枯落物最大储水量与林下苔藓最大储水量相比,均是枯落物的储水量小于苔藓的储水量。可见,三峡库区3种林型林下苔藓单位重量持水能力均强于枯落物持水能力。

3.2.2 地被物吸水速率 林下苔藓、林下枯落物吸水速率与浸泡时间之间存在明显的相关关系(图2)。对所研究的3种森林类型林下苔藓、枯落物吸水速率与其浸泡时间之间关系分析并进行拟合,发现林下苔藓、枯落物吸水速率与浸泡时间之间存在如

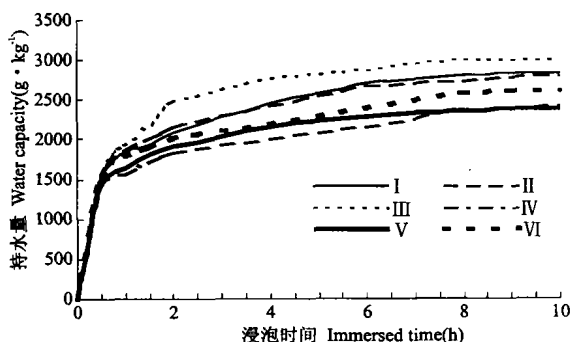


图1 不同林下地被物储水量与其浸泡时间关系

Fig. 1 Relationship between the water capacity of ground covers and their immersed time.

I. 混交林苔藓 Moss under mixed forest, II. 马尾松苔藓 Moss under *P. massoniana*, III. 栓皮栎苔藓 Moss under *Quercus variabilis*, IV. 混交林枯落物 Litter under mixed forest, V. 马尾松枯落物 Litter under *P. massoniana*, VI. 栓皮栎枯落物 Litter under *Quercus variabilis*. 下同 The same below.

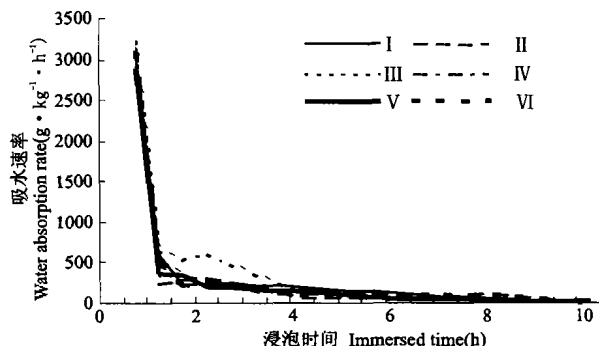


图2 不同林下地被物吸水速率与其浸泡时间关系

Fig. 2 Relationship between ground covers' water absorption and their immersed time.

式(3)所示的关系。

$$S = kt^n \quad (3)$$

式中, S 为吸水速率($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$); t 为浸泡时间(h); k 为方程系数; n 为指数。由分析拟合, 得到不同林下苔藓和枯落物吸水速率 S 与浸泡时间 t 之间的关系式(表 5)。

表 5 林下地被物吸水速率与浸泡时间关系式

Table 5 Equation between water absorption speed of ground covers and their immersed time

森林类型 Forest type	苔藓 Moss	枯落物 Litter
混交林 Mixed forest	$S = 5152.3 t^{-1.6235}$	$S = 5472.3 t^{-1.6544}$
马尾松 <i>P. massoniana</i>	$S = 2318.2 t^{-1.3012}$	$S = 5150.9 t^{-1.772}$
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	$S = 13906 t^{-2.078}$	$S = 3006.8 t^{-1.417}$

从图 2 可看出, 无论是林下苔藓, 还是林下枯落物都是在前 2h 内吸水速度最大, 之后急剧下降, 8h 左右时下降速度明显减缓。浸入水中刚开始时其吸水速度相差较大, 但随浸泡时间延长, 3 种林下苔藓和枯落物的吸水速率基本上均趋向一致。这主要是因为随着浸泡时间增加, 苔藓和枯落物都接近其最大储水量, 也就是说它们趋于饱和, 其储水量增长速度随之减缓。

4 结 论

4.1 三峡库区 3 种森林类型林下苔藓和枯落物单位重量最大储水量及其吸水速率均存在一定的差异, 在同为中年林条件下, 三峡库区 3 种森林类型林下苔藓储水量均大于相同类型森林林下枯落物储水量。这主要是由于苔藓和枯落物的外表形态存在着较大区别所致。由于生长在该地区林下地表的苔藓为丛生的丛本藓(*Anoetangium aestivum*)和葫芦藓(*Funaria hygrometrica*), 其枝叶及根系相互交错连接, 故苔藓具有较高的储水量, 而地表的枯落物相对于苔藓来说较为松散, 导致了其储水量相对较小。

4.2 3 种森林类型林下无论是苔藓层还是枯落物的储水量, 随时间变化过程均是在前 2 h 内储水量增加最快, 之后增加趋势变缓, 6~8 h 时基本达到饱和。10 h 后基本完全达到饱和状态, 表明三峡库区林下苔藓层及枯落物储水量随时间变化过程与森林类型无关。

参考文献

- Bai X-L(白学良), Zhao L-M(赵连梅). 1998. A preliminary study on the species diversity, phytomass and ecological effect of bryophytes in Helan Mountain, China. *Acta Sci Natur Univ Nei Mongol* (内蒙古大学学报(自然科学版)), 29(1): 90~98 (in Chinese)

- Beasley RS, Alfredo B. 1985. Soil protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas. *J Soil Water Conser*, 40(4): 379~382
- Chen Q-B(陈奇伯), Xie M-S(解明曙), Zhang H-J(张洪江). 1994. The study trend of litter's influence on surface runoff and soil erosion. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), 16(supp.): 88~97 (in Chinese)
- Cheng J-H(程金花), Zhang H-J(张洪江), Zhang D-S(张东升). 2002. The water capacity characteristic of the ground cover and soil under pure *Abies fabri* forest on the Gongga Mountain. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), 24(3): 45~49 (in Chinese)
- Dabney SM. 1998. Cover crop impacts on watershed hydrology. *J Soil Water Conser*, 53(3): 207~213
- Hao Z-Q(郝占庆), Wang L-H(王力华). 1998. Water conservation capacities of soils with major forest types in mountainous regions of east Liaoning Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(3): 237~241 (in Chinese)
- Huang Z-L(黄忠良), Kong G-H(孔国辉), Yu Q-F(余清发). 2000. Hydrological function and nutrient dynamics in lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest. *Acta Phytocool Sin* (植物生态学报), 24(2): 157~161 (in Chinese)
- Liu S-R(刘世荣), Sun P-S(孙鹏森), Wang J-X(王金锡). 2001. Hydrological function of forest vegetation in upper reaches of the Yangtze River. *Natur Resour* (自然资源学报), 16(5): 451~456 (in Chinese)
- Liu X-D(刘向东), Wu Q-X(吴钦孝). 1991. A study on hydrological and ecological function of litter under *Pinus tabulae formis* forest on Loess Plateau. *Soil Water Conser* (水土保持学报), 5(4): 87~91 (in Chinese)
- Su N-H(苏宁虎). 1989. The mathematic model of litter variation under different forest. *Sci Silvae Sin* (林业科学), 25(2): 162~165 (in Chinese)
- Wang Y-M(王佑民). 2000. Summary of researches on water and soil conservative function of litter in forestland in China. *Soil Water Conser* (水土保持学报), 14(4): 110~115 (in Chinese)
- Wang Y-M(王佑民), Liu B-Z(刘秉正). 1994. Ecological Characteristic of Shelter-Forest on Loess Plateau. Beijing: China Forestry Press. 232~236 (in Chinese)
- Wiersum KF. 1983. Effect of various vegetation layers in an *Acacia auriculiformis* forest plantation on surface erosion in Javi, Indonesia. In: Soil Erosion and Conservation. New York: The International Conference. 79~89
- Wu Q-X(吴钦孝), Liu X-D(刘向东). 1993. The litter amount and its dynamic variation under *Pinus tabulae formis* forest in the loess hilly region of Shanbei. *Sci Silvae Sin* (林业科学), 29(1): 63~66 (in Chinese)
- Wu Q-X(吴钦孝), Zhao H-Y(赵鸿雁), Liu X-D(刘向东). 1998. Evaluation on role of forest litter to water source conservation and soil and water conservation. *Soil Eros Soil Water Conser* (土壤侵蚀与水土保持学报), 4(2): 23~28 (in Chinese)
- Zhang G-C(张光灿), Liu X(刘霞). 1999. The study on hydrological benefit of litter and soil under several kinds of forest on Taisan Mountain. *For Sci Technol* (林业科技通讯), (2): 28~29 (in Chinese)
- Zhang H-J(张洪江), Cheng Y(程云), Shi Y-H(史玉虎). 2001. Property of pipeflow production on Granite slope in Three-Gorge of Yangtze River. *Soil Water Conser* (水土保持学报), 15(1): 5~8 (in Chinese)
- Zhang Y-M(张元明), Guo S-L(郭水良), Cao T(曹同). 2001. On the methods of quantitative analysis for ecological research of bryophyte. *Arid Zone Res* (干旱区研究), 18(1): 72~76 (in Chinese)
- Zhao H-Y(赵鸿雁), Wu Q-X(吴钦孝). 2001. A study on interception processes of artificial Chinese pine forest litter on the Loess Plateau. *Natur Resour* (自然资源学报), 16(4): 45~52 (in Chinese)
- Zhu L-H(朱丽晖), Li D(李冬). 2001. The hydrological and ecological function of litter under natural secondary forest in Liaodong mountainous areas. *Liaoning For Sci Technol* (辽宁林业科技), (1): 77~82 (in Chinese)

作者简介 程金花, 女, 1979 年生, 博士生. 主要从事土壤侵蚀和流域治理研究. Tel: 010-62390697. E-mail: jinhua-cheng@yahoo.com.cn.