

北亚热带次生毛竹林冠生态水文效应及其影响因素分析

黄进¹, 张家洋², 张金池¹, 胡海波¹

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 新乡学院, 河南 新乡 453000)

摘要: 对长江三角洲森林生态定位站北亚热带次生毛竹林(*Phyllostachys edulis*)林冠水文作用进行了观测研究。结果表明:(1)毛竹林林冠截留量、透流量、树干茎流量变化范围分别为 0.21~4.55 mm, 0~105.88 mm, 0~2.8 mm;截留率、透流率、树干茎流率变化范围分别为 1.3%~100%, 0~96.3%, 0~11.8%;年截留量、透流量、干流量分别为 171.7, 864.78, 74.3 mm;年截留率、透流率、树干茎流率分别为 15.5%, 77.9%, 6.7%。(2)毛竹林林冠截留量(率)、透流量(率)、树干茎流量(率)均与降雨量、降雨强度存在着不同程度的相关性,降雨特征对毛竹林林冠分配降雨的各环环节影响最大。(3)不同雨量级、雨强条件下,毛竹林分配降雨效果差异显著。

关键词: 毛竹林; 林冠截留; 树干茎流; 透流雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0023-05

中图分类号: S715

Eco-hydrological Effects of Secondary Bamboo Forest (*Phyllostachys edulis*) Canopy and Its Influence Factors in North Subtropics

HUANG Jing¹, ZHANG Jia-yang², ZHANG Jin-chi¹, HU Haibo¹

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 2. Xinxiang College, Xinxiang, Henan 453000, China)

Abstract: The eco-hydrological effects of north subtropical secondary bamboo forests (*Phyllostachys edulis*) were observed and studied in the forest ecosystem station of the Yangtze River delta. Results showed that (1) the ranges of canopy interception, stemfall, and throughfall were 0.21~4.55, 0~105.88, and 0~2.8 mm, respectively; the ranges of canopy interception ratio, stemfall ratio, and throughfall ratio was 1.3%~100%, 0~96.3%, and 0~11.8%, respectively; annual canopy interception, annual stemfall, and annual throughfall were 171.7, 864.78, and 74.3 mm, respectively; annual canopy interception ratio, annual stemfall ratio, and annual throughfall ratio were 15.5%, 77.9%, and 6.7%, respectively. (2) The canopy interception (ratio), stemfall (ratio), and throughfall (ratio) all had correlation with rainfall amount and rainfall intensity to different degrees and rainfall characteristics had the greatest influence on each link of rainfall redistribution. (3) The differences among rainfall redistribution effects of bamboo forest were significant in the different levels of rainfall amount and rainfall intensity.

Keywords: bamboo forest (*Phyllostachys edulis*); canopy interception; stemflow; throughfall

森林水文循环是构成森林生态系统良性运作的一个重要环节,其对水文的调理作用首先体现在森林冠层以透流、干流、截留、蒸散等形式对天然降雨的多重分配和吸纳。因此研究林冠层的水文调理功能对探究发掘森林的水文效应及其功能有着十分重要的意义。毛竹林(*Phyllostachys edulis*)是我国南方地

区林地中常见的一种林分类型,由于其生态价值、经济价值以及人文景观价值俱佳,因此在南方山地丘陵地区分布极为广泛,是我国南方地区很有代表性的森林类型之一。目前对毛竹林林生态文功能的研究还不是很多,本研究对毛竹林在降雨过程中对降雨的分配作用、特征及其影响因素做了一定的阐述和分析。

收稿日期: 2008-05-22

修回日期: 2008-09-29

资助项目: 国家“十一五”林业科技支撑项目(2006BAD03A16); 国家林业局长江三角洲城市森林生态系统研究课题

作者简介: 黄进(1983-),男(汉族),江苏省镇江市人,博士研究生,研究方向为森林水文学。E-mail: hjtyforlove@yahoo.com.cn.

通信作者: 张金池(1962-),男(汉族),山东省潍坊市人,教授,博士生导师,研究方向为水土保持、森林水文学和林业生态工程。E-mail: njfujzhang@sina.com.

1 试验区概况

该研究地位于江苏省句容市下蜀镇境内,地理位置东经 $119^{\circ}14'$, 北纬 $31^{\circ}59'$, 海拔 $70\sim 338\text{ m}$, 土壤以黄棕壤和山地黄棕壤为主; 地形多为丘陵山地, 起伏较平缓; 年平均气温 $15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 $39.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 $-16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; 年平均降雨量 $1\ 055.6\text{ mm}$, 年际变化较大; 年平均相对湿度 79% ; 无霜期 233 d 。试验样地选择下蜀林场生态定位站的次生毛竹林。观测期为 2006 年 1—12 月。

2 试验方法

(1) 透流雨测定。在样地旁的空地上布设口径为 200 mm 的自记雨量计, 每隔 5 min 测定林外降雨量 (mm), 进而计算降雨强度 (mm/min)。用 $25\text{ cm}\times 100\text{ cm}$ 的“V”型量雨槽在样方的 4 个角和中心布设。每次降雨结束后, 立即观测一场降雨的林内透流雨量 (mm), 取样方内 5 个测点的林内透流雨的平均值, 作为此样方内的林内透流雨量 (mm)。

(2) 树干茎流测定。在标准样地上, 选取 12 株样木, 尽量使它们各自平均胸径和冠幅与林分一致, 用橡胶管在树干 1.2 m 处作蛇行缠绕至树干基部, 树干茎流水通过橡胶管导入量水器内, 记录并求平均得出样地每场降雨事件下树干茎流量 (mm), 并由样木平均冠幅计算干流量 (mm)。

(3) 林冠截留量。采用水量平衡法, 林外降雨量 (mm) 减去林内透流雨量 (mm) 和干流量, 即为某降雨段内的林冠截留量 (mm)。

(4) 叶面积指数。用美国产 CT-110 型冠层分析仪, 于每月中旬测定。

(5) 数据分析。使用 SPSS 11.0 科学统计软件对试验获取的数据进行分析。

3 结果与分析

毛竹林对次降雨的分配作用, 主要体现在通过自身吸纳截滞将单场降雨过程划分为林内透流雨、竹干茎流、林冠截留 3 个主要环节。

3.1 降雨特征

该地域降雨量的季节分配不均匀, 降雨主要集中在 6—7 月, 其降雨量达到了 416.9 mm , 占年降雨量的 40% 。根据该地降雨特征, 依据降雨量的大小, 将降雨划分为 1 级 ($0\sim 5\text{ mm}$), 2 级 ($5\sim 10\text{ mm}$), 3 级 ($10\sim 15\text{ mm}$), 4 级 ($15\sim 20\text{ mm}$), 5 级 ($20\sim 25\text{ mm}$), 6 级 ($25\sim 30\text{ mm}$), 7 级 ($30\sim 35\text{ mm}$), 8 级 ($35\sim 40\text{ mm}$), 9 级 ($> 40\text{ mm}$)。从雨量分级来看 (图

1), 2 级 ($5\sim 10\text{ mm}$) 的降雨出现频率为 46.1% , 降雨量为 358 mm , 占总降雨量的 32.2% ; 尽管 9 级 ($> 40\text{ mm}$) 的降雨出现的频率仅为 2% , 但是其降雨量占总降雨量的 14.4% 。

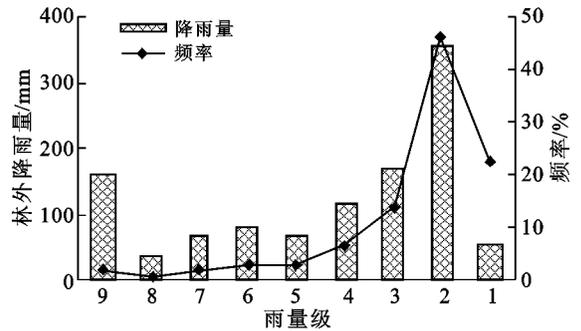


图1 不同雨量级下降雨量及频率

根据该地区降雨特征, 依据降雨强度的大小, 将降雨划分为 1 级 ($0\sim 1\text{ mm/h}$), 2 级 ($1\sim 5\text{ mm/h}$), 3 级 ($5\sim 10\text{ mm/h}$), 4 级 ($10\sim 15\text{ mm/h}$), 5 级 ($15\sim 20\text{ mm/h}$), 6 级 ($20\sim 25\text{ mm/h}$), 7 级 ($> 25\text{ mm/h}$)。从降雨强度的分级可以看出 (图 2), 低雨强的降雨次数多, 雨量多, 而高降雨强度的降雨次数少, 雨量相对较少。1 级 ($0\sim 1\text{ mm/h}$) 的降雨最多, 降雨量为 398.8 mm , 占总降雨量的 35.9% ; 其次为 2 级 ($< 5\text{ mm/h}$) 降雨量为 357.6 mm , 占总降雨量的 32.2% 。

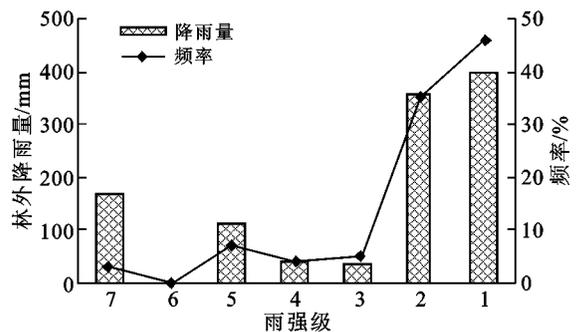


图2 不同雨强级下降雨量及频率

3.2 毛竹林透流雨

由试验数据分析可知, 毛竹林透流雨量 (率) 的大小主要受林外降雨量影响: 毛竹林的透流雨量 Y (mm) 与降雨量 X (mm) 之间存在明显的线性关系, 拟合方程为 $Y = 0.8831X$ ($R^2 = 0.976$, $n = 102$); 毛竹林的透流率 W 随着林外降雨量 X (mm) 的增加而增加, 在降雨量小于 20 mm 范围内增加趋势显著, 两者间可以用对数曲线加以描述, 拟合方程为 $W = 0.225\ln X + 0.192$ ($R^2 = 0.702$, $n = 102$)。而林外降雨强度 Z (mm/min) 与透流雨量 Y (mm)、透流率 W 之间存在着一定正相关性, 透流雨量 Y (mm)、透流率

W 随林外降雨强度 Z (mm/min) 增加而增加, 在显著水平下 ($P < 0.005$) 相关系数分别为 0.546, 0.534, 但线性及曲线拟合效果均不理想。

从图 3 可见, 毛竹林透流雨量季节差异显著, 在观测期内以 6—7 月透流雨量较大, 达到总透流雨量的

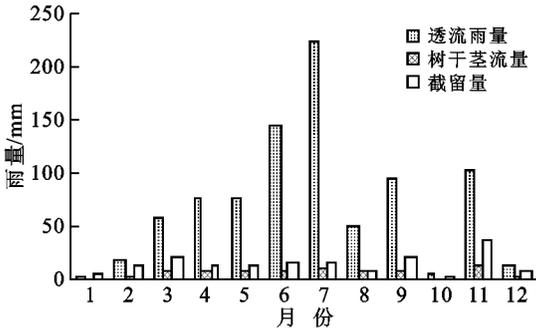


图 3 透流雨量、树干茎流量及截留量的月变化

3.3 毛竹林树干茎流

毛竹林树干茎流量的大小主要受林外降雨量影响, 毛竹林树干茎流量 S (mm) 随林外降雨量 X (mm) 增加而增加, 两者间可以用对数曲线加以描述, 方程拟合为 $S = 0.552 \ln X - 0.373$ ($R^2 = 0.702, n = 102$); 而树干茎流率 T 与林外降雨量 X (mm) 的关系则难以拟合, 且相关性不显著。林外降雨强度 Z (mm/min) 在显著水平下 ($P < 0.005$) 与树干茎流率 T 呈负相关性 (相关系数为 -0.257), 但线性及曲线拟合效果很差; 而降雨强度 Z (mm/min) 与树干茎流量 S (mm) 之间相关性很不显著。

从图 5 可见, 在相同降雨条件下, 不同胸径毛竹的树干茎流量存在着一定的差异。在同一降雨事件下胸径越大的毛竹, 其树干茎流量越大。原因可能是因为胸径较大的毛竹具有更为茂密的冠层结构, 从而可以使更多的雨水被吸附于冠层的枝叶上并在重力作用下产生较大的树干茎流。

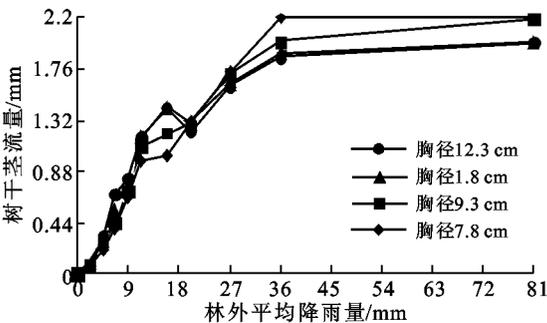


图 5 不同胸径毛竹的树干茎流量比较

从图 3 可见, 毛竹林树干茎流量季节差异显著, 在观测期内以 11 月树干茎流量最大。树干茎流量的月变化与降雨量的变化趋势并不同步; 从图 4 可见,

44.4%。透流雨量的月变化与降雨量的变化趋势一致, 二者相关性达到了极显著水平 ($P < 0.001$); 从图 4 可以看出, 不同叶面积指数特征下的毛竹林透流雨量差异不是很大, 但是叶面积指数较高的毛竹林透流雨量相对较少。

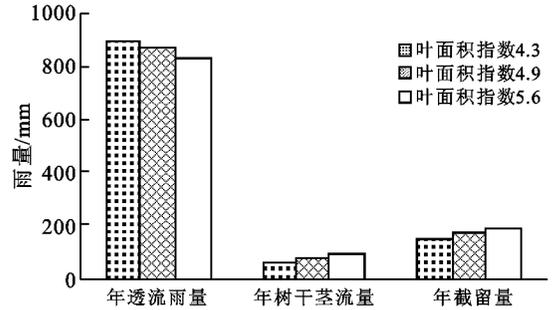


图 4 年透流雨量、年树干茎流量、年截留量与叶面积指数关系

不同叶面积指数特征下的毛竹林树干茎流量差异明显, 叶面积指数较高的毛竹树干茎流量较大, 因为叶面积指数较高的毛竹具有更为茂密的枝叶, 在相同降雨事件下可以吸附更多的雨水从而在重力作用下更容易产生树干茎流。

3.4 毛竹林林冠截留

通过分析表明, 在林外降雨小于 14 mm 时, 毛竹林林冠截留量 J (mm) 随降水量 X (mm) 增加的趋势十分明显, 当林外降雨大于 14 mm 时, 在拟合过程中却出现与这一趋势不太吻合的散点, 这说明此时在小雨量下林外降雨量对林冠截留量影响显著, 而当雨量较大后, 雨强以及气候条件等诸多因素都有作用, 对两者线性及曲线拟合效果均不理想; 随着林外降雨量 X (mm) 的增大, 林冠截留率 H 变小的这一趋势明显, 截留率 H 与林外降雨量 X (mm) 存在较好的对数关系: $H = -0.224 \ln X + 0.78$ ($R^2 = 0.747, n = 102$)

毛竹林林冠截留量 J (mm) 和截留率 H 都随着平均雨强 Z (mm/min) 的增加而减小, 其拟合方程分别为: $J = -0.505 \ln Z - 0.243$ ($R^2 = 0.668, n = 102$), $H = e^{0.324 - 8.357Z}$ ($R^2 = 0.672, n = 102$), 平均雨强与它们存在显著的负相关性, 这是因为雨强越大, 雨滴对竹叶打击冲刷作用越大, 不仅会削减叶片与雨滴充分接触, 同时会击落已附着在表面的雨滴; 同时在林外雨量接近的情况下, 雨强较大则降雨历时较短从而削弱枝叶充分附着降雨。

从图 3 可见, 毛竹林林冠截留量季节差异较为显著, 在观测期内以 11 月林冠截留量最大, 而降雨最为丰富的 6—7 月份的截留量并不突出, 林冠截留量的月变化与降雨量的变化趋势并不同步; 从图 4 可见,

不同叶面积指数特征下的毛竹林冠截留量差异明显, 叶面积指数较高的毛竹截留流量较大, 因为叶面积指数较高的毛竹具有更为茂密的枝叶, 也就有更大的降雨吸附容量, 从而在相同降雨事件下可以吸纳更多的雨水。

3.5 毛竹林对降雨的再分配

从毛竹林对降雨的再分配状况可以看出(表 1—2)。在观测期内, 不同雨量级中: > 40 mm 的雨量级, 透流雨量(151.5 mm)最大; 40~ 35 mm 雨量级,

透流率(96.2%)最大; 10~ 5 mm 雨量级, 树干茎流量(27.7 mm)最大; 15~ 10 mm 雨量级, 茎流率(10%)最大; 10~ 5 mm 雨量级, 林冠截留量(82.7 mm)最大; 5~ 0 mm 雨量级, 林冠截留率(52.9%)最大。在观测期内, 不同雨强级: > 25 mm/h 雨强级的透流率(95.8%)最大; 1~ 0 mm/h 雨强级的透流雨量(256.1 mm)、树干茎流量(36.4 mm)、树干茎流率(9.1%)、林冠截留量(106.3 mm)、林冠截留率(26.6%)均达到最大。

表 1 不同雨量级降雨在竹林内的分配

雨量级/ mm	雨量/ mm	降雨 次数	透流雨		树干茎流		林冠截留	
			透流量/mm	比率/%	茎流量/mm	比率/%	截留量/mm	比率/%
> 40	159.6	2	151.5	94.9	4.3	2.7	3.8	2.4
40~ 35	37.8	1	36.3	96.2	1.0	2.5	0.5	1.3
35~ 30	66.8	2	56.4	84.4	5.1	7.6	5.3	7.9
30~ 25	81.1	3	70.4	86.9	5.0	6.2	5.6	6.9
25~ 20	65.6	3	54.3	82.8	4.3	6.5	7.0	10.8
20~ 15	116.2	7	97.7	84.0	7.8	6.7	10.8	9.3
15~ 10	170.2	14	126.4	74.2	17.2	10.0	26.7	15.7
10~ 5	358.0	47	247.7	69.2	27.7	7.7	82.7	23.1
5~ 0	55.6	23	24.2	43.5	27.0	3.6	29.4	52.9

表 2 不同雨强级降雨在竹内的分配

雨强级/ (mm · h ⁻¹)	雨量/ mm	降雨 次数	透流雨		树干茎流		林冠截留	
			透流量/mm	比率/%	茎流量/mm	比率/%	截留量/mm	比率/%
> 25	167.8	3	160.7	95.8	4.1	2.5	2.9	1.8
25~ 20	—	—	—	—	—	—	—	—
20~ 15	108.7	7	100.6	92.6	5.6	5.2	2.4	2.2
15~ 10	40.7	4	36.7	90.0	2.3	5.6	1.8	4.4
10~ 5	37.4	5	31.8	85.2	2.3	6.0	3.3	8.8
5~ 1	357.6	36	279.0	78.0	23.6	6.6	55.0	15.4
1~ 0	398.8	47	256.1	64.2	36.4	9.1	106.3	26.6

4 结论

(1) 试验期内(2006年1—12月), 共测定降雨102场, 降雨量达1 072.1 mm。北亚热带次生毛竹林林冠截留量、透流雨量和树干茎流量变化范围分别为0.21~ 4.55 mm, 0~ 105.88 mm和0~ 2.8 mm, 林冠截留率、透流率和树干茎流率变化范围分别为1.3%~ 100%, 0~ 96.3%和0~ 11.8%; 全年林冠截留量、透流雨量和树干茎流量分别为171.7, 864.78和74.3 mm, 林冠截留率、透流率和树干茎流率分别为15.5%, 77.9%和6.7%。

(2) 透流雨主要取决于降雨特征。毛竹林透流雨量与降雨量呈极明显的线性关系, 随着其增加而增加; 透流率与降雨量呈明显的对数曲线性关系, 随其增加而增加; 毛竹林透流雨量、透流率均与降雨强度存在较为显著的正相关性, 随着降雨强度的增加而增加; 叶面积指数对毛竹林透流雨量影响不大。

(3) 树干茎流主要取决于降雨特征和林分特征。毛竹林树干茎流量与降雨量呈明显的对数曲线关系, 随着降雨量的增加而增加; 而树干茎流率与降雨量相关性不显著。毛竹林树干茎流率与降雨强度存在较为显著的负相关性, 随着降雨强度的增加而减少; 而

树干茎流量与降雨强度则无明显相关性。叶面积指数以及胸径对毛竹林树干茎流量有一定影响, 在同一降雨事件下: 叶面积指数越大, 茎流量越大; 胸径越大, 茎流量越大。

(4) 林冠截留受降雨特征、林分类型、林冠特征、等多种因素的影响, 但是对于某一指定林分, 林冠截留量主要决定于降雨量。与多数研究结果相似, 本研究中毛竹林林冠截留量与降雨量具较强的相关性, 随着降雨量的增加, 林冠截留量增加; 同时毛竹林林冠截留量还受到降雨强度的影响, 降雨强度与截留量呈负相关性, 随着降雨强度的增加, 毛竹林截留量逐渐减小。而毛竹林林冠截留率与降雨量、降雨强度均呈显著的负相关性, 均随其增大而减小。表征林冠特征的叶面积指数对毛竹林林冠截留量有一定影响, 在同一降雨事件下, 较高的叶面积指数其截留量较高。

[参 考 文 献]

[1] 马雪华. 四川米亚罗地区高山冷杉林水文作用的研究 [J]. 林业科学, 1987, 23(3): 356-369.

[2] 马雪华, 杨茂瑞, 胡星弼. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究 [J]. 林业科学, 1993, 29(3): 199-206.

[3] 王景升, 任青山, 兰小中. 急尖长苞冷杉原始森林降水分配格局 [J]. 林业科技, 2002, 27(6): 8-10.

[4] 谢春华, 关文彬, 吴建安. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 68-71.

[5] 杨茂瑞. 亚热带杉木、马尾松人工林的林内降雨、林冠截留和树干茎流 [J]. 林业科学研究, 1992, 5(2): 158-162.

[6] 谢锦忠, 傅懋毅, 马占兴, 等. 丛生竹林生态系统的水文效应研究 ①: 麻竹林林冠对降水的截持作用 [J]. 竹子研究汇刊, 2003, 22(1): 13-22.

[7] 傅懋毅, 方敏瑜, 谢锦忠. 竹林养分循环规律研究 ②: 毛竹林内降水的养分输入及其林地茎流的养分输出 [J]. 林业科学研究, 1992(5): 497-505.

[8] Navar J, Bryan B. Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semiarid vegetation in northeastern Mexico [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1994, 68: 133-143.

[9] Aston A R. Rainfall interception by eight small trees [J]. J. HydroL., 1979, 42: 383-396.

[10] Pearce A J. Nighttime, wet canopy evaporation rates and the water balance of an evergreen mixed forest [J]. Water Resour Res, 1980, 16: 955-959.

[11] 崔启武, 边履刚, 史继德, 等. 林冠对降水的截留作用 [J]. 林业科学, 1980, 16(1): 40-47.

[12] 崔启武, 边履刚. 林冠对降水的截留作用 [J]. 林业科学, 1980, 5(2): 141-146.

(上接第 22 页)

[7] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵小流域土地利用变化对生态环境的影响 [J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241-245.

[8] 张北赢, 徐学选, 李贵玉. 土壤水分基础理论及其应用研究进展 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 122-129.

[9] 徐学选, 刘文兆, 高鹏, 等. 黄土丘陵区土壤水分空间差异性探讨 [J]. 生态环境, 2003, 12(1): 52-55.

[10] 张勃, 张华, 张凯, 等. 黑河中游绿洲及绿洲—荒漠生态脆弱带土壤含水量空间分异研究 [J]. 地理研究, 2007, 26(2): 322.

[11] 杨海军, 孙立达, 余新晓. 晋西黄土区水土保持林水量平衡的研究 [J]. 北京林业大学学报, 1993, 15(3): 42-50.

[12] 袁建平, 蒋定生. 黄土丘陵沟壑区小流域降雨入渗产流点面转化 [J]. 地理科学, 2001, 21(3): 262-266.

[13] 王力, 邵明安, 侯庆春. 黄土高原土壤干层初步研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 34-38.

[14] 王力, 邵明安, 侯庆春, 等. 延安试区人工刺槐林地的土壤干层分析 [J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 101-106.

[15] 杜娟, 赵景波. 西安高陵人工林土壤干层与含水量季节变化研究 [J]. 地理科学, 2007, 27(1): 98-101.

[16] 延军平. 秦岭南北环境响应程度比较 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[17] 伍光和, 王文瑞. 地域分异规律与北方农牧交错带的退耕还林还草 [J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 441-442.

[18] 祁凤鹏. 半干旱黄土丘陵地区退耕还林还草初探 [J]. 中国水土保持, 2000(12): 30-33.

[19] 胡良军, 邵明安, 杨文治. 黄土高原土壤水分的空间分异及其与林草布局的关系 [J]. 草业学报, 2004, 13(6): 14-18.

[20] 王力, 邵明安, 侯庆春. 土壤干层量化指标初探 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 87-90.

[21] Singh J S, Milchunas D G, Lauenroth W K. Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland [J]. Plant Ecology, 1998, 134: 77-89.

[22] 马祥华, 白文娟, 焦菊英, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中的土壤水分变化研究 [J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 19-23.