

# 晋西黄土丘陵沟壑区刺槐人工林枯落物水文特性

赵陟峰<sup>1,2</sup>, 赵廷宁<sup>1</sup>, 叶海英<sup>1</sup>, 杨小梅<sup>1</sup>

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

2. 甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 通过对山西省方山县土桥沟流域不同密度、不同林龄刺槐人工林枯落物蓄积量及其持水性能的研究, 得出了不同林分枯落物的蓄积量、持水量、吸水速率等特性参数。结果表明, 各林分枯落物总蓄积量在 1.89~9.30 t/hm<sup>2</sup> 之间, 其中 9 a 刺槐林蓄积量 > 15 a 刺槐林 > 20 a 刺槐林。枯落物最大持水量及最大持水率均为 20 a > 15 a > 9 a, 密度为 3 333 株/hm<sup>2</sup> 时持水量最大, 密度为 1 111 株/hm<sup>2</sup> 时持水量最小。枯落物未分解层和半分解层在前 0.25 h 吸水速率最大, 在前 2 h 内降低幅度最大, 以后逐渐减弱, 浸水 24 h 时吸水速率趋近于零。从人工林水文生态功能的角度分析, 晋西半干旱黄土丘陵沟壑区刺槐人工林的适宜密度为 1 667 株/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 黄土丘陵沟壑区; 刺槐人工林; 枯落物; 水文特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0069-05

中图分类号: S152.4<sup>+</sup>81

## Hydrologic Characteristics of Litter Under Artificial Black Locust Forest in the Hilly and Gully Area of Western Shanxi Province

ZHAO Zhi-feng, ZHAO Ting-ning, YE Hai-ying, YANG Xiao-mei

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the

Ministry of Education, College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Litter storage and its water capacity are studied in the artificial black locust (*Robinia Pseudoacacia*) forest of different densities and ages in Tuqiaogou watershed of Fangshan County, Western Shanxi Province. Litter storage and characteristic parameters, such as water holding capacity and water absorption speed, are determined. Results show that by the litter amount, the artificial black locust forests of different ages are in the order of 9 years old forest > 15 years old forest > 20 years old forest. The quantity ranges from 1.89 to 9.30 t/hm<sup>2</sup>. By the maximum water holding capacity and the maximum rate of retention, the artificial black locust forests of different ages are in the order of 20 years old forest > 15 years old forest > 9 years old forest. Water holding capacity for the density of 3 333 stands/hm<sup>2</sup> is the greatest and for the density of 1 111 stands/hm<sup>2</sup>, the least. Undecomposed and half-decomposed litters absorb water very fast in the beginning 0.25 h; between 0 and 2 h, water absorption speed drops quickly; and the speed slows down gradually and approaches to 0 after immersed for 24 h. In the hilly and gully area of the loess plateau of Western Shanxi Province, the suitable stand density of artificial black locust forest is 1 667 stands/hm<sup>2</sup>.

**Keywords:** loess hilly and gully area; artificial black locust forest; litter; hydrologic characteristics

刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 林是黄土高原半干旱区植被恢复的主要人工林种之一, 对改善这一地区的生态环境, 防治水土流失, 调节水文状况等方面, 均发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。刺槐是土桥沟流域的主要抗旱造林树种, 随着抗旱造林与径流林业技术的推广和应用, 刺槐林的面积还在快速增加。森林枯落物层是森

林水文生态作用的主要作用层<sup>[2]</sup>, 森林枯落物涵养水源、水土保持的作用主要取决于它的数量、持水特性及其在林地分布状况。这 3 个性状取决于不同的林分类型与所在环境条件的相互作用以及包括自然和人为活动在内的林分发育历史<sup>[3]</sup>。国内外许多学者<sup>[4-11]</sup>在不同区域对多种森林类型下的枯落物特性

收稿日期: 2009-03-20

修回日期: 2009-05-21

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划专题“黄土高原丘陵沟壑半干旱区水土保持抗旱造林及径流林业技术试验示范”(2006BAD03A1201)

作者简介: 赵陟峰(1982—), 男(汉族), 山西省宁武县人, 硕士生, 主要研究方向为生态环境工程。E-mail: 115631919@163.com。

通信作者: 赵廷宁(1962—), 男(汉族), 河北省阳原县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为工程绿化。E-mail: zhtning@bjfu.edu.cn。

作了研究,在枯落物的凋落量、凋落动态、分解速率、截持降水、影响地表径流等方面都取得了一定成果,但对黄土半干旱丘陵沟壑区刺槐人工林枯落物水文生态功能的研究较少。本文首次对黄土半干旱丘陵沟壑区径流林业示范区不同密度,不同林龄刺槐林下枯落物的蓄积量及持水特性进行定量研究,阐述了密度和林龄对枯落物的蓄积量及持水特性的影响,对于造林规划设计和森林经营有重要意义。

## 1 研究区概况

试验地位于山西省吕梁山西麓的方山县峪口镇土桥沟流域(北纬 37°36'58",东经 110°02'55")的北京林业大学径流林业试验场。流域内最高海拔 1 446 m,试区平均海拔 1 200 m 左右。该地区属暖温带大陆性季风气候,年平均气温为 7.3℃,年平均 10℃ 的活动积温为 2 223.5℃,干燥度 1.3。冬春寒冷干燥,秋季凉爽少雨,夏季降雨集中,无霜期 140 d。多年平均降水量 416 mm,但年内分配非常不均,6—9 月份降水占全年的 70% 以上;多年平均水面蒸发量高达 1 857.7 mm,最大蒸发出现在 4—6 月,表现出典型的北方严重春旱的特征。试验区属典型黄土丘陵沟壑地貌,地表大部分为新生代第四纪马兰黄土所

覆盖,土壤为黄绵土,由黄土母质直接发育形成,层次过渡不明显。该区土层深厚,质地均匀,为中壤土,pH 值为 8.0~8.4。试验地平均土壤容重 1.22 g/cm<sup>3</sup>,田间持水量 21.0% 左右。刺槐人工林下主要野生灌木有杠柳(*Periploca sepium*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、大果榆(*Ulmus macrocarpa*)等;草本植物以菊科和禾本科为主,菊科蒿属居多,有铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、猪毛蒿(*A. scoparia*)、阿尔泰紫苑(*Heteropaspus altaicus*)、山野豌豆(*Vicia amoena*)等。

## 2 研究内容与方法

选择代表性刺槐人工林,根据不同立地条件在各林分中设置 20 m × 20 m 的标准样地,调查样地的基本特征见表 1。在各标准样地内随机选 5 个 50 cm × 50 cm 的样方,用钢板尺对枯落物的总厚度、未分解层厚度、半分解层厚度进行测量并记录;按照分解程度,分别收集未分解层和半分解层的枯落物,尽量保持原样装箱,将采集的样品带回室内,称其自然湿重、风干重,计算枯落物蓄积量。采用室内浸泡法测定林下枯落物的持水量和在 0.25,0.5,1,2,4,8,8,10,24 h 的重量变化,研究其吸水速度和吸水过程。

表 1 调查样地基本特征

样地编号	株行距/m	林龄/a	海拔/m	坡向	坡位	坡度/(°)	土壤类型
刺槐 08	1.5 × 2	20	1 291	SW	上	21.0	黄绵土
刺槐 15	1.5 × 4	20	1 270	SE	上	13.5	黄绵土
刺槐 17	1.5 × 3	20	1 264	SW	上	34.5	黄绵土
刺槐 19	1.5 × 6	20	1 230	SW	上	10.0	黄绵土
刺槐 21	1.5 × 5	20	1 220	SW	中	9.0	黄绵土
刺槐 22	1.5 × 5	20	1 230	SW	上	35.0	黄绵土
刺槐 23	1.5 × 5	20	1 210	SW	下	32.5	黄绵土
刺槐 27	1.5 × 5	15	1 183	SW	上	17.0	黄绵土
刺槐 32	1.5 × 3	9	1 169	SW	上	12.0	黄绵土

## 3 结果与分析

### 3.1 枯落物蓄积量

森林枯落物层持水能力的大小,取决于其本身的数量和性质<sup>[3]</sup>,人工林枯落物蓄积量的多少受林龄、林分密度、气候和物候因子影响,并与人类经营活动的强弱有关。

由表 1—2 可知,土桥沟流域刺槐人工林枯落物蓄积量在 1.89~9.30 t/hm<sup>2</sup> 之间,总蓄积量排序为:9 a 刺槐林 > 15 a 刺槐林 > 20 a 刺槐林,这是因为随着林龄的增加,林分郁闭度增加,林下植被逐渐由中

生植物向旱生植物过渡,生物重量有所减少;同时随着林龄的增加,生态恢复促进了枯枝落叶层的发育,已分解层所占比例相应增加,因此随着林龄的增长刺槐人工林枯落物蓄积量呈减少趋势。对林龄均为 20 a,株行距分别为 1.5 m × 2 m,1.5 m × 3 m,1.5 m × 4 m,1.5 m × 5 m,1.5 m × 6 m,即密度分别为 3 333,2 222,1 667,1 333,1 111 株/hm<sup>2</sup> 的 5 种刺槐林下的枯落物蓄积量比较发现,随着林分密度增加,刺槐中龄林林下枯落物的蓄积量减少。据分析这可能是由于林分密度增加使林木耗水量增加,导致林下光热减弱,土壤含水量降低,不利于林下植被生存所致。调

查中还发现,株行距为 1.5 m × 2 m, 1.5 m × 3 m 的林下植被种类的数量较少,而株行距为 1.5 m × 5 m, 1.5 m × 6 m 的林下在造林时经压实拍光处理过的微型集水区,已被灌草覆盖,生物总量较多。

其它条件相同而坡位不同时,从坡上到坡下蓄积量逐渐增加。在阳坡,坡上位置相对于坡中和坡下温度较高,微生物活动频繁,加速了枯落物的分解,因而蓄积量较少。

不同林分结构枯落物未分解层和半分解层的厚度、蓄积量及其所占比例各不相同。由表 1—2 可知,林分结构与枯落物各层蓄积量具相关性,随着林分密度的增加,林下枯落物未分解层蓄积量所占的百分比相应地增加,其变化范围为 20.69%~43.77%,而半分解层所占百分比减少,变化范围为 79.31%~56.23%。这是因郁闭度加大,林内光热减弱,不利于土壤微生物的活动,使枯枝落叶层分解速率降低所致。

表 2 不同林下枯落物蓄积量

样地编号	枯落物厚度/mm			枯落物蓄积量/(t·hm <sup>-2</sup> )					
	总厚度	未分解层	半分解层	总蓄积量	未分解层		半分解层		
					蓄积量	占总蓄积量/%	蓄积量	占总蓄积量/%	
刺槐 08	15	10	5	2.35	0.84	35.54	1.52	64.46	
刺槐 15	18	9	9	4.50	1.97	43.77	2.53	56.23	
刺槐 17	31	14	17	4.19	1.51	35.99	2.68	64.01	
刺槐 19	27	11	16	5.58	1.76	31.55	3.82	68.45	
刺槐 21	19	11	8	4.84	1.44	29.75	3.40	70.25	
刺槐 22	18	9	9	3.32	1.15	34.68	2.17	65.32	
刺槐 23	20	12	8	5.22	1.08	20.69	4.14	79.31	
刺槐 27	32	12	20	8.09	2.29	28.35	5.79	71.65	
刺槐 32	16	7	9	9.30	1.99	21.38	7.31	78.62	

3.2 不同林分枯落物的吸水速率

吸水速率即单位时间的持水量。研究枯落物的吸水速率对于评价森林对不同强度降雨的调蓄能力及持水过程有重要意义。不同林分类型枯落物未分解层和半分解层的吸水速率随时间的变化趋势是一致的。从图 1—2 可以看出,不同林下枯落物吸水速率的变化过程为:在浸水前期,吸水速率较大,其中在 0~0.25 h 达到最大值,之后吸水速率迅速降低,0~0.5 h 比 0~0.25 h 枯落物平均吸水速率小 1 倍左右,此后随着时间的推移,吸水速率趋向于零。这是

因为把枯枝落叶从风干状态浸入静水中后,枯枝落叶的死细胞间或者枝叶表面,水势差较大,吸水速率高;加之枯枝落叶中半分解的枯枝落叶碎屑,表面积比未分解枯枝落叶的表面积大得多,吸水量也很大;此外,这种枯枝落叶的细胞间连接物质为细胞间水分存贮提供了场所,使枯枝落叶在浸入水中的初期持水量剧增<sup>[13]</sup>。随着水势差的减小,吸水速率降低,到浸水 24 h 时吸水速率已趋近于零。对林龄为 20 a,不同密度刺槐林枯落物浸水开始时的吸水速率比较可见,密度为 1 667 株/hm<sup>2</sup> 刺槐林枯落物的吸水速率最大。

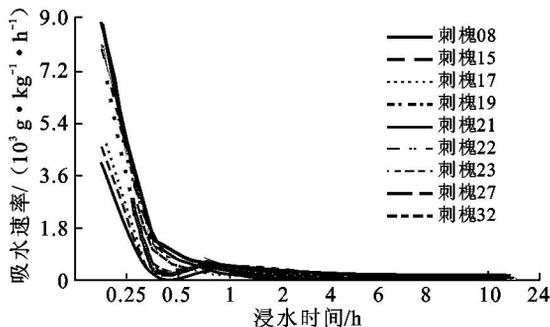


图 1 不同林下枯落物未分解层吸水速率与其浸水时间关系

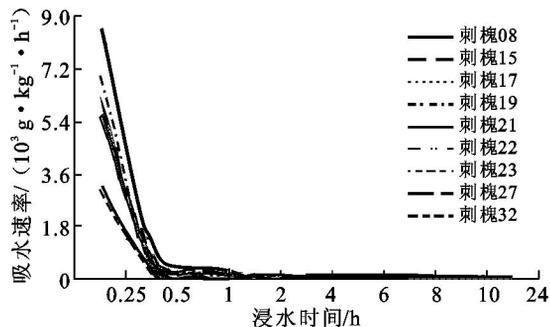


图 2 不同林下枯落物半分解层吸水速率与其浸水时间关系

从总体上看,不论未分解层还是半分解层,刺槐人工林枯落物吸水速率的动态过程,对于短历时,强

降水后的产流有显著的影响,这正是枯落物层保持水土,调节水文的巨大功能所在。不论未分解层还是半

分解层,浸水开始时 20 a 刺槐林的吸水速率均较 15 a 和 9 a 刺槐林的大。

### 3.3 枯落物持水能力

枯落物的持水量、持水率与其本身的组成结构、分解状况等有关<sup>[4]</sup>。不同林龄林下枯落物未分解层持水量:20 a > 9 a > 15 a,主要是不同林龄林下植被种类不同,因而枯落物的组成结构不同。半分解层持水量 20 a > 15 a > 9 a,随着林龄的增加,生态恢复促进了枯枝落叶层的发育,半分解层发育良好,利于微生物形成海绵状的吸水层。

林下枯落物未分解层持水量与半分解层持水量相比,均是未分解层枯落物大于半分解层枯落物的持水量(表 3—4)。

不同林分枯落物受林龄、枯落物分解状况、累积状况、前期水分状况和降水特点等多种因素的影响,最大持水率与最大持水量各不相同。枯落物层最大持水量及最大持水率均为 20 a > 15 a > 9 a。各林分枯落物最大持水率 20 a 刺槐林为 256.78%,15 a 刺槐林 121.58%,9 a 刺槐林 111.07%。林龄为 20 a,不同密

度刺槐林枯落物最大持水量比较 1 667 株/hm<sup>2</sup> 时略小于 3 333 株/hm<sup>2</sup> 但大于 2 222 株/hm<sup>2</sup>,和 1 333 株/hm<sup>2</sup>,密度为 1 111 株/hm<sup>2</sup> 时持水量最小。

从表 3—4 还可看出,不同密度,不同林龄枯落物的未分解层和半分解层的持水过程基本相似,即持水量均随浸水时间的延长而增加,浸水 24 h 时达到最大;枯落物在前 0.25 h 吸水能力最强,以后逐渐减弱,这与王云琦<sup>[12]</sup> 等对重庆缙云山 4 种典型植被枯落物水文特性研究的结果一致;对比枯落物半分解层与未分解层持水量随浸泡时间变化,发现半分解层持水量均比未分解层持水量变化趋势缓和。半分解层在浸水 4~6 h 后持水量基本达到饱和,未分解层在浸水 6~8 h 后持水量才渐趋饱和,这个时间差有利于枯落物对降水的截留和调蓄,使其水文生态效应充分发挥。

黄土高原大多数降雨过程不能使枯落物层达到饱和,枯枝落叶层不仅能促进降水就地入渗,增加林地水分收入,而且对林木充分利用降水,提高生产力十分有利。

表 3 不同林下枯落物未分解层持水量

g/kg

林分类型	浸水时间/h								
	0.25	0.50	1	2	4	6	8	10	24
刺槐 08	2 204	2 601	2 788	2 945	3 099	3 146	3 271	3 419	3 462
刺槐 15	2 117	2 462	2 785	2 892	2 905	2 947	3 024	3 049	3 061
刺槐 17	2 127	2 183	2 279	2 462	2 472	2 536	2 777	2 836	2 867
刺槐 19	1 968	2 275	2 588	2 704	2 800	3 052	3 263	3 315	3 367
刺槐 21	1 991	2 396	2 749	2 857	2 904	2 979	3 096	3 135	3 182
刺槐 22	1 173	1 295	1 517	1 910	2 279	2 359	2 425	2 734	2 825
刺槐 23	1 949	2 064	2 309	2 535	2 716	2 946	3 024	3 094	3 165
刺槐 27	1 005	1 044	1 255	1 288	1 305	1 365	1 394	1 482	1 497
刺槐 32	1 058	1 197	1 388	1 416	1 459	1 565	1 744	1 893	2 012

表 4 不同林下枯落物半分解层持水量

g/kg

林分类型	浸水时间/h								
	0.25	0.5	1	2	4	6	8	10	24
刺槐 08	1 861	2 141	2 183	2 320	2 463	2 692	2 845	2 898	3 022
刺槐 15	2 114	2 218	2 344	2 392	2 403	2 466	2 517	2 529	2 551
刺槐 17	2 015	2 212	2 259	2 325	2 438	2 525	2 592	2 658	2 729
刺槐 19	1 735	1 778	1 829	1 866	1 914	1 995	2 056	2 084	2 142
刺槐 21	1 480	1 543	1 575	1 637	1 722	1 774	1 820	1 852	1 911
刺槐 22	1 338	1 502	1 657	1 723	1 755	1 814	1 871	1 915	2 028
刺槐 23	1 366	1 504	1 591	1 643	1 693	1 775	1 797	1 832	1 848
刺槐 27	778	834	859	932	984	1 002	1 048	1 071	1 104
刺槐 32	728	751	801	832	853	858	860	865	866

## 4 结论

晋西黄土丘陵沟壑区刺槐人工林枯落物的蓄积量在  $1.89 \sim 9.30 \text{ t/hm}^2$  之间,总蓄积量:9 a 刺槐林  $> 15 \text{ a}$  刺槐林  $> 20 \text{ a}$  刺槐林。刺槐中龄林林下枯落物的蓄积量随着林分密度增加而减少。随着林分密度的增加,林下枯落物未分解层蓄积量所占的百分比相应地增加,半分解层所占百分比则减少。枯落物层最大持水量及最大持水率均为  $20 \text{ a} > 15 \text{ a} > 9 \text{ a}$ , 比较不同密度刺槐林枯落物最大持水量,密度为  $1\ 667 \text{ 株/hm}^2$  时略小于  $3\ 333 \text{ 株/hm}^2$  但大于  $2\ 222 \text{ 株/hm}^2$  和  $1\ 333 \text{ 株/hm}^2$ , 密度为  $1\ 111 \text{ 株/hm}^2$  时持水量最小。

不同枯落物的未分解层和半分解层的持水过程基本相似,即持水量均随浸水时间的延长而增加,浸水  $24 \text{ h}$  时达到最大。枯落物在前  $0.25 \text{ h}$  吸水能力最强,吸水速率最大,以后逐渐减弱。半分解层在浸水  $4 \sim 6 \text{ h}$  后持水量基本达到饱和,未分解层在浸水  $6 \sim 8 \text{ h}$  后持水量渐趋饱和。不论未分解层还是半分解层,浸水开始时  $20 \text{ a}$  刺槐林的吸水速率均较  $15 \text{ a}$  和  $9 \text{ a}$  刺槐林的大;不同密度刺槐林枯落物浸水开始时的吸水速率以密度  $1\ 667 \text{ 株/hm}^2$  时为最大。

在半干旱区,满足水量平衡的造林密度和后期适宜的林分密度调控,是保持林分稳定生长的关键<sup>[1]</sup>。李世荣<sup>[10,13]</sup>等的研究认为,不同密度的刺槐植树带随着林分密度的增大,渐渐隐现出干旱、半干旱地区成林的土壤干化现象。在水分为主要限定因子的半干旱黄土丘陵沟壑区进行造林规划及森林经营,不容忽视枯落物的水文生态功能。它不仅能够截留降雨,具有较好的蓄水特性,增加水分的入渗,提高土壤含水量;而且在覆盖地表后,改变了地表状况,抑制了土壤蒸发。张卫强<sup>[14]</sup>等对黄土半干旱区刺槐林内土壤蒸发状况的试验研究表明,枯落物覆盖减少  $20.15\% \sim 52.46\%$  的土壤蒸发,且枯枝落叶层越厚,土壤蒸发量越小。可见,枯落物层是森林中影响土壤水分变化的最为活跃的因素,它可以增加林地土壤贮水,使有限的降雨更有效地被林木吸收利用。

本文对枯落物蓄积量和持水特性以及其与林分密度和林龄关系的试验研究,为黄土半干旱区造林密度和后期适宜林分的选择提供了依据。实验结果表明,从人工林水文生态功能的角度考虑,在晋西黄土

丘陵沟壑区,密度为  $1\ 667 \text{ 株/hm}^2$  刺槐人工林枯落物的水文生态功能相对较好,可以认为是该区刺槐人工林的适宜造林密度。当然,影响林分健康生长的因素很多,且不同地区的主要限定因子各不相同,有待于今后进一步探讨和研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘晨峰,尹婧,贺康宁. 林下植被对半干旱区不同密度刺槐林地土壤水分环境的指示作用[J]. 中国水土保持科学,2004,6(2):62-67.
- [2] Leer. Forest Hydrology[M]. New York:Columbia University Press,1980.
- [3] 杨洪学,蒙宽宏,孟祥楠,等. 阿什河流域不同林分类型枯落物持水能力研究[J]. 防护林科技,2005,9(5):14-17.
- [4] 张洪江,程金花,史玉虎,等. 三峡库区3种林下枯落物储量及其持水特性[J]. 水土保持学报,2003,17(3):55-58.
- [5] Richard lee, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas [J]. Journal of Soil and Water Conservation,1985,40(4):379-382.
- [6] 刘培娟,杨吉华,李申安. 三里庄水库上游水源涵养林不同林分枯落物水容量研究[J]. 水土保持研究,2002,14(1):239-241.
- [7] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报,2005,19(3):139-143.
- [8] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [9] 侯振宏,贺康宁,张小全. 晋西黄土高原半干旱区刺槐林分需水量的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):180-183.
- [10] 李世荣,张卫强,贺康宁. 黄土半干旱区不同密度刺槐林地的土壤水分动态[J]. 中国水土保持科学,2003,1(2):28-32.
- [11] 赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬. 黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J]. 林业科学,2003,39(1):168-172.
- [12] 王云琦,王玉杰,张洪江,等. 重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J]. 水土保持学报,2004,18(3):41-44.
- [13] 赵鸿雁,吴钦孝. 黄土高原几种枯枝落叶吸水机理研究[J]. 防护林科技,1996(4):15-18.
- [14] 张卫强,贺康宁,周毅,等. 黄土半干旱区刺槐林地土壤蒸发特性研究[J]. 水土保持研究,2004,14(6):396-399.