

川南退耕丛生竹林枯落物持水特性研究

张大鹏, 范少辉, 蔡春菊, 刘广路, 刘亚迪

(国际竹藤中心, 国家林业局竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要:以四川省长宁县退耕梁山慈竹、撑绿杂交竹 3 号(以下简称撑绿竹)和硬头黄竹 3 种丛生竹林为对象,对其枯落物蓄积量及持水特性进行了研究。结果表明:不同种类丛生竹枯落物厚度为 33~51 mm,蓄积量为 6.88~9.46 t/hm²,其大小顺序为:梁山慈竹>硬头黄竹>撑绿竹;浸泡持水实验表明,不同枯落物持水量、吸水速率与浸水时间的动态变化具有相似的规律性:0~2 h 变化最快,2~8 h 逐渐减缓,8 h 以后基本饱和,并分别得出其相关关系;不同枯落物最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量变化规律一致,最高为梁山慈竹,分别达到了 36.52,32.53,27.05 t/hm²,其次为硬头黄竹,分别为 30.33,28.33,23.83 t/hm²,最低的为撑绿竹,仅为 28.35,25.89,21.63 t/hm²。

关键词:丛生竹; 枯落物; 持水特性; 梁山慈竹; 撑绿竹; 硬头黄竹

中图分类号:S715.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0181-04

Study on Water-holding Capacity of Litter Layers in Returning Farmland to Sympodial Bamboo Forests in Southern of Sichuan Province

ZHANG Da-peng, FAN Shao-hui, CAI Chun-ju, LIU Guang-lu, LIU Ya-di

(International Center for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Science and Technology of Bamboo and Rattan, State Forestry Administration, Beijing 100102, China)

Abstract: To investigate the litter amount and water-holding capacity under de-farming bamboo forests, *Dendrocalamus* (D) *farinosus*, *Bambusa* (B) *pervariabilis* × *Dendrocalamopsis* (D) *daii* 3 and *Bambusa* (B) *rigida*, taking from Changning County of Sichuan Province, were determined in this paper. It could be concluded that thickness variation was from 33 mm to 51 mm and the litter amount changed from 6.88 t/hm² to 9.46 t/hm² under three different types of bamboo plantations. Litter amount of *D. farinosus* was the most and that of *B. pervariabilis* × *D. daii* was the least. Results also showed that dynamic changes of water-holding capacity, water absorption rate and immersion time of different litter was similar. The rapid changes were observed within 0~2 h, and then it slowly changed in the following six hours. The change stabilized after 8 h. Water-holding capacity, interception rate and the effective interception rate of *D. farinosus* were the best and the values were 36.52, 32.53, 27.05 t/hm², respectively. The next was *B. rigida* (30.33, 28.33, 23.83 t/hm²) and the last was *B. pervariabilis* × *D. daii* (28.35, 25.89, 21.63 t/hm²).

Key words: sympodial bamboo; litter; water-holding capacity; *D. farinosus*; *B. pervariabilis* × *D. daii*; *B. rigida*

森林的涵养水源功能是森林生态服务的重要组成部分,一直以来都是社会及科学研究的热点问题^[1]。森林枯落物层作为森林生态系统 3 个垂直结构上的主要功能层之一,在截持降水、防止土壤溅蚀、阻延地表径流、抑制土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性等方面都起着至关重要的作用^[2],因此,研究枯落物层的蓄积量和持水特性对森林生态系统中水分循环

和水量平衡等具有重要意义。目前,国内外许多学者对不同区域的多种森林类型下的枯落物特性进行了研究,在枯落物组成、凋落量、分解速率、阻滞径流等方面取得了丰硕的成果。如 Kawaadiaz 等^[3]研究发现枯落物对降水的截留能力受林分组成、枯落物种类和分解程度的影响。杨继松等^[4]认为湿地枯落物的分解速率受淹水时间及深度的影响明显。薛立等^[5]

收稿日期:2011-12-14

修回日期:2012-03-31

资助项目:林业公益性行业科研专项项目“退耕竹林水土保持功能高效经营技术研究”(201104021)

作者简介:张大鹏(1982—),男,博士研究生,主要从事竹林水土保持功能研究。E-mail:jdlyzdp@163.com

通信作者:范少辉(1962—),男,福建永泰人,博士,博士生导师,主要从事森林培育和森林生态研究。E-mail:fansh@icbr.ac.cn

通过对有、无枯落物覆盖对加勒比松林地地表径流对比研究,发现前者能有效抑制地表径流,且得出钾元素的流失量由径流量决定。季冬^[6]等认为枯落物的截留作用及截留量大小,除与枯枝落叶层的数量和质量相关外,也与枯落物的湿润程度相关。然而,以往对枯落物特性的研究主要针对针、阔叶林等树种,对竹林的研究则相对较少,且大多集中于毛竹林^[7-9],对丛生竹林尤其是退耕地上丛生竹林枯落物研究却鲜有报道。

自 1999 年我国实施退耕还林政策以来,林种选择和林地水源涵养效果的问题倍受社会关注,至今仍在争论不休。川南地处长江上游,雨量充沛,但多年来对陡坡地不合理的开垦和种植,使得该地区的土壤退化和水土流失现象十分严重^[10]。梁山慈竹(*D. farinosus*),硬头黄竹(*B. rigida*)以及撑绿竹(*B. pervariabilis*×*D. daii*)为地下茎合轴丛生型竹种,是该地主要的退耕竹种,不仅在鞭根系统、生长速度和生长量等生长指标上较毛竹、苦竹等散生竹种占优,属于水土保持优良竹种,而且在造纸、编织和纤维利用等领域优势也较明显,为我国竹产业的发展发挥着不可替代的作用^[11-12]。因此,本研究以这三类丛生竹为对象,探寻其枯落物蓄积量及持水能力,旨在为川南地区退耕还林(竹)树种选择和水土流失防治提供现实依据。

1 研究地概况

长宁县属四川盆地中亚热带湿润性季风气候,是四川省热量最丰富的地区之一。县内年均气温 18.3℃,年最高极端气温 40.7℃,最低气温-4.2℃,年均降雨量 1 108.3 mm,多集中在 6—9 月,以 8 月最多,12 月最少。年均日照时间 1 148 h,年均空气

湿度 83%,无霜期多达 360 d。该县森林面积 4.71 万 hm²,其中竹林面积 3.17 万 hm²,森林覆盖率达 50.2%。常见的竹种有毛(楠)竹(*Phyllostachys edulis*),苦竹(*Pleibolastus amarus*),梁山慈竹,硬头黄竹以及撑绿竹等,此外,还夹杂有极少量的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、润楠(*Machilus pingii*)等^[11]。林下植被中灌木主要有杜茎山(*Maesa japonica*)、毛桐(*Mallotus barbatus*)等,草本有臭牡丹(*Clerodendrum bungei*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)、车前草(*Plantago asiatica*)、棕叶狗尾草(*Setaria palmifolia*)等,同时还有少量鳞毛蕨(*Dryopteris woodsii*)、亮毛蕨(*Acystopteris japonica*)等蕨类。

2 试验材料与研究方法

2.1 样地设置及枯落物收集

于 2011 年生长季前(3 月),在研究区内选择立地条件相似的梁山慈竹(LC),硬头黄竹(YH)和撑绿竹(ZC)林地,并设置 20 m×20 m 标准样地,林分特征见表 1。在每个样地内沿对角线“S”型布设 6 个 0.5 m×0.5 m 的枯落物收集样方。在样方内测定枯落物未分解层、半分解层厚度和总厚度,并将未分解层和半分解层分别保持原状装入密封袋中,称其鲜重后带回实验室进行风干处理,测定其自然含水量。风干称重后在 85℃ 条件下烘干至恒重,以对其浸泡持水能力进行测定。计算公式为:

$$W_0 = M - M_0$$

$$R_0 = (M - M_0) / M_0 \times 100\%$$

式中: W_0 ——自然含水量(g); R_0 ——自然含水率(%); M ——鲜重(g); M_0 ——风干重(g)。

表 1 试验地基本特征

林分	坡度/ (°)	坡向	海拔/ m	林龄/ a	林分密度/ (丛·hm ⁻²)	经营状况	土层厚度/ cm	郁闭度
LC	18	SW	480	8	231	粗放经营	54	0.75
YH	21	S	520	8	206	粗放经营	47	0.84
ZC	16	SW	490	7	218	粗放经营	45	0.64

2.2 枯落物持水能力测定

将不同类型枯落物烘干后放入尼龙网兜(孔径为 0.149 mm)中称重后,浸入盛有清水的容器中,分别测定其在 5 min,10 min,15 min,30 min,1 h,1.5 h,2 h,4 h,6 h,9 h,12 h 和 24 h 时段内的湿重。以静置 5 min 左右,枯落物不滴水为基准,用精度为 0.1 g 的电子天平称枯落物连网兜的湿重,最后取出枯落物,洗净尼龙网兜并称其湿重,重复 3 次。各项指标计算公式为:

$$W_{\max} = (R_{\max} - R_1) M_1$$

$$W_0 = (0.85 R_{\max} - R_1) M_1$$

式中: W_{\max} ——最大拦蓄量(t/hm²); W_0 ——有效拦蓄量(t/hm²); R_{\max} ——最大持水率(%); R_1 ——平均雨前自然含水率(%); M_1 ——枯落物蓄积量(t/hm²)^[13]。

3 结果与分析

3.1 枯落物蓄积量

从表 2 中可以看出,不同竹林间枯落物储量、各

层所占比例及厚度存在差异。枯落物储量最高的为梁山慈竹,为 9.46 t/hm²;硬头黄竹次之,为 9.38 t/hm²;撑绿竹储量最低,仅为 6.88 t/hm²。不同层次中未分解层储量最高的为硬头黄竹,达到 6.93 t/hm²,显著高于撑绿竹(4.27 t/hm²)和梁山慈竹(4.41 t/hm²),而半分解层则以梁山慈竹最高(5.05 t/hm²)。储量比例分析表明,除梁山慈竹外,未分解层所占比例显著高于半分解层,以硬头黄竹比例最高,占 73.9%,最低为梁山慈竹,仅占 46.6%。这主要

是由于枯落物的组成和林内温、湿度的差异,影响了枯落物的分解速率,进而造成未分解层和半分解层所占比例不同。各竹林枯落物总体厚度介于 33~51 mm,不同林分间差异较大,表现为 LC(51 mm)>YH(46 mm)>ZC(33 mm)。未分解层厚度最高的为硬头黄竹(26 mm),占其总体厚度的 56.52%,而半分解层最高的为梁山慈竹(34 mm),占 66.67%。从林内总储量和总厚度的关系中不难看出二者之间存在显著的正相关关系。

表 2 不同枯落物的储量及厚度组成

林分类型	储量/(t·hm ⁻²)			储量比例/%		厚度/mm		
	未分解层	半分解层	合计	未分解层	半分解层	未分解层	半分解层	合计
LC	4.41a	5.05a	9.46a	46.6a	53.4a	17a	34a	51a
ZC	4.27a	2.61b	6.88b	62.1b	37.9b	20a	13b	33b
YH	6.93b	2.45b	9.38a	73.9c	26.1c	26b	20c	46c

注:同列不同字母表示差异性达显著水平($P<0.05$)(LSD)。

3.2 枯落物持水过程与持水速率的关系

不同竹种枯落物持水量与浸泡时间的关系见图 1a。从图中可以看出,不同枯落物持水量与浸泡时间之间均表现出较好的相关性,即各种类枯落物持水量随着时间的延长而增加,且逐渐趋于缓和。在浸泡初始的 30 min(5,10,15,30 min),枯落物快速吸水,分别占整个持水阶段(24 h)的 87.6%(LC)、84.2%(ZC)和 82.7%(YH),随着浸水时间的延长,各枯落

物持水量的增幅逐渐减小,至 2 h 时下降速度明显减缓,3 种枯落物持水量均超过了最大值的 85%;2~8 h 为稳定期,枯落物持水量基本趋于最大值,并逐渐达到动态平衡;8~12 h 枯落物持水量基本不再增加,持水量数值基本趋于恒定。不同竹林中,撑绿竹和梁山慈竹在浸泡 6 h 后基本达到饱和,而硬头黄竹则在 9 h 左右才基本饱和,说明其对水浸具有较好的忍耐能力。

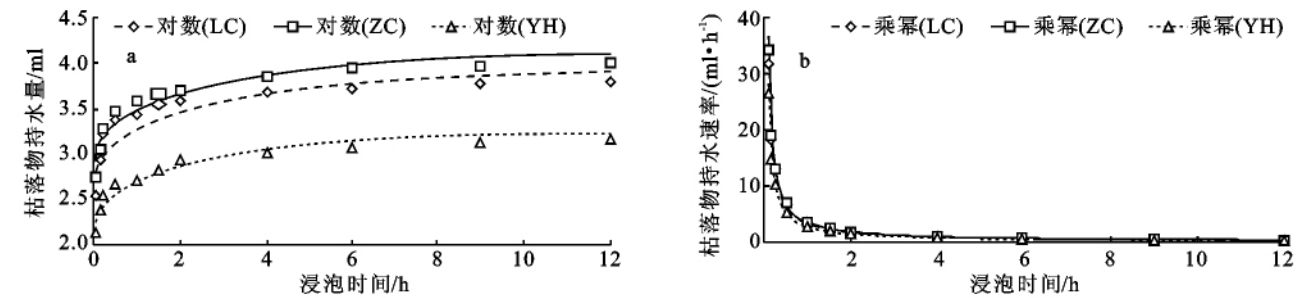


图 1 枯落物持水与浸泡时间的关系

利用浸泡试验测定不同枯落物持水率变化过程,计算持水量(mm)与浸泡时间(h)的关系(图 1),并用 SPSS 软件对其进行拟合,发现如下方程效果较好:

$$S=k\ln t+p$$

式中: S ——单位重量枯落物持水量(mm); t ——浸泡时间(h); k ——方程系数; p ——方程常数项。经拟合后,得到枯落物持水量关系式,见表 3。

表 3 不同枯落物浸泡时间与持水量、吸水速率的关系

林地类型	浸泡时间与持水量关系		浸泡时间与吸水速率的关系	
	回归方程	R^2	回归方程	R^2
LC	$S=0.219\ln t+3.371$	0.891	$V=3.347t^{-0.93}$	0.984
ZC	$S=0.233\ln t+3.516$	0.954	$V=3.493t^{-0.93}$	0.997
YH	$S=0.194\ln t+2.739$	0.968	$V=2.719t^{-0.92}$	0.991

不同竹种枯落物持水速率与浸泡时间的关系见图 1b。从图中可以看出,0~2 h 内不同竹种枯落物持水速率均表现出随浸泡时间延长急剧下降;随着浸泡时间的延长,枯落物持水量增加,持水速率降低,到 24 h 时吸水基本停止,持水量达到最大。各竹林枯落物平均持水速度依次为:ZC(0.17 mm/h)>LC(0.16 mm/h)>YH(0.14 mm/h),可以看出,梁山慈竹和撑绿竹平均持水速度相近,高于硬头黄竹。同样用 SPSS 对持水速率进行拟合,发现吸水速率和时间存在以下关系式:

$$V=kt^n$$

式中: V ——单位重量枯落物持水速率(mm/h); t ——浸泡时间(h); k ——方程系数; n ——指数。经

拟合后,得到枯落物持水量关系式(表 3)。从表中可以看出,模型的拟合优度(R^2)在 0.984 以上,拟合效果较为理想。

3.3 枯落物最大持水量与拦蓄能力

从表 4 中可以看出,未分解层自然含水率为 11.3%~27.4%之间,显著低于半分解层的 49.6%~55.0%,且未分解层和半分解层的自然含水率变化规

律相同,均为梁山慈竹最高,撑绿竹次之,硬头黄竹最低,故得到其平均自然含水率依次为:LC(42.2%)>ZC(35.8%)>YH(21.3%)。不同枯落物平均持水深为 ZC(4.12 mm)>LC(3.86 mm)>YH(3.24 mm),对其持水量进行方差分析,发现 $F(2, 45) > F_{0.05}(2, 22)$,说明不同枯落物持水能力的差异性达到显著水平。

表 4 不同竹林枯落物拦蓄能力指标

林分类型	枯落物组成	自然含水量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	自然含水率/%	平均自然含水率/%	平均持水深/mm	最大持水量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	最大拦蓄量/ ($t \cdot hm^{-2}$)	有效拦蓄量/ ($t \cdot hm^{-2}$)
LC	未分解层	1.21	27.4	42.2	3.86	36.52	32.53	27.05
	半分解层	2.78	55.0					
ZC	未分解层	1.08	25.2	35.8	4.12	28.35	25.89	21.63
	半分解层	1.38	52.8					
YH	未分解层	0.78	11.3	21.3	3.24	30.33	28.33	23.83
	半分解层	1.22	49.6					

枯落物间最大持水量差异明显,表现为 LC($36.52 t/hm^2$)>YH($30.33 t/hm^2$)>ZC($28.35 t/hm^2$),这与枯落物的总储量及其持水深密切相关。最大拦蓄量反映的是扣除枯落物层自身含水量占据的持水容量以外的枯落物层持水能力大小,代表最大可能的降雨截留量^[14]。结果表明:不同竹林类型枯落物最大拦蓄量变化规律与最大持水量基本一致,最大的为梁山慈竹($32.53 t/hm^2$),其次为硬头黄竹($28.33 t/hm^2$),最低的为撑绿竹($25.89 t/hm^2$)。考虑到林内温度、光照、通风等自然因素的影响,枯落物拦蓄量在野外采用最大拦蓄量这一指标来估算,其结果往往被高估,因此在实际应用中多以有效拦蓄量来估算枯落物对降雨的实际拦蓄效果和能力。由表 4 中可知,各枯落物层有效拦蓄量变化范围为 21.63~27.05 t/hm^2 ,变化规律与最大拦蓄量相同。

4 结论与讨论

(1) 川南不同种类丛生竹枯落物在蓄积量、各层比例及蓄积厚度上均存在差异。3 种竹林枯落物蓄积量范围介于 6.88~9.46 t/hm^2 ,大小依次为梁山慈竹>硬头黄竹>撑绿竹;未分解层中所占比例最高的为硬头黄竹,其次为撑绿竹,梁山慈竹最低,除梁山慈竹外,其余林分未分解层均高于半分解层;各枯落物层厚度在 33~51 mm 之间,其大小顺序为梁山慈竹>硬头黄竹>撑绿竹。

(2) 各林分枯落物持水量和吸水速率不尽相同,大小依次为撑绿竹>梁山慈竹>硬头黄竹;在浸水的 0~0.5 h 内为快速持水阶段,梁山慈竹、撑绿竹和硬头黄竹枯落物的持水量分别达到整个持水过程的 87.6%,84.2%和 82.7%;不同竹林枯落物吸水速率

差别不大,梁山慈竹和撑绿竹在吸水 6 h 后基本达到稳定,而硬头黄竹则在吸水 9 h 后达到稳定阶段。

(3) 研究发现不同枯落物持水量与浸泡时间存在 $S=\ln t+p$ 关系,这与绝大多数学者研究结果相似;吸水速率与浸泡时间的相关关系为: $V=kt^n$,该拟合方程与张振明^[15]、莫菲^[16]等相似,与张昌顺^[7]、时忠杰^[14]等的方程: $V=at^{-1}+b$ 不同;各竹林枯落物平均持水速度大小顺序为:ZC(0.17 mm/h)>LC(0.16 mm/h)>YH(0.14 mm/h)。

(4) 综合分析各枯落物的储量、最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量,可以得出 3 中竹林枯落物水文作用大小顺序为:梁山慈竹>硬头黄竹>撑绿竹,说明梁山慈竹枯落物储量大,拦蓄效果好,保持水土的能力最高。

上述研究结果表明川南 3 种退耕竹种中,梁山慈竹枯落物储量及持水能力最高,因此在涵养水源、保持水土及阻滞地表径流方面优于其他 2 种竹林。本研究在浸泡时将未分解层和半分解层进行混合处理,主要是考虑两方面的原因:一是自然条件下二者本为一体,混合处理更接近自然状况;二是由于半分解层破碎程度高,单独浸泡碎屑易被冲刷,从而影响实验结果。此外,对于有效拦截系数,大多数学者选用雷瑞德^[17]的研究成果,即 0.85。但是也有学者通过野外截留^[14]及模拟降雨^[16]等研究,发现不同种类的枯落物之间有效拦截系数有较大的差异。因此,在随后的实验中,除了开展将未分解层和半分解层分开浸泡的验证工作外,还要对该区域竹林枯落物的有效拦截系数进行校正,以期得到更加准确的数据为指导生产实践提供理论支撑。

(下转第 189 页)

的影响很难量化,本文进行影响因素定量分析时,未将其纳入其中,在这方面存在的不足,需要在今后工作中不断予以完善。吉林省应控制城镇住宅投资速度,优化产业结构,避免扭曲的经济发展带来的农村土地流转利用率的低下;鼓励和帮助高投入低产出的农户积极寻求土地利益比较高的产业,提高土地利用率,从而推动农村土地流转,促进农民增收和农村发展。

参考文献:

- [1] 范德种. 对城乡统筹过程中农地问题的思考[J]. 资源与产业, 2007, 9(4): 101-104.
- [2] 向前. 统筹城乡发展中的农村土地流转模式探析: 以重庆市为例[J]. 农业经济, 2009(5): 58-61.
- [3] 宁爱凤, 刘友兆. 城乡统筹视野下农村土地流转问题与对策分析[J]. 生产力研究, 2010(9): 32-33, 40.
- [4] 马梁. 浅析统筹城乡背景下的农地流转: 以成都市为例[J]. 经营管理者, 2011(22): 157-159.
- [5] 唐贵发, 田俊甫, 范开来, 等. 重庆市城乡统筹背景下农村土地流转问题研究[J]. 科技创新导报, 2011(4): 2-4.
- [6] 赵艳霞. 农村土地流转与城乡统筹发展[J]. 农村考古, 2009(3): 280-282.

(上接第 184 页)

参考文献:

- [1] 于水强, 关庆伟. 南京城市森林枯落物及土壤持水能力研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(34): 17177-17179, 17206.
- [2] 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]. 水土保持学报, 1998, 12(2): 23-28.
- [3] Kawaadias V A, Alifragis D, Tsiontsis A, et al. Litter-fall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece[J]. Forest Ecology Management, 2001, 144(1/3): 113-127.
- [4] 杨继松, 刘景双, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地枯落物分解及其营养动态[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1297-130.
- [5] 薛立, 傅静丹, 郑卫国, 等. 有无枯落物覆盖对加勒比松林地表径流及其 K 流失的影响[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 510-514.
- [6] 季冬, 关文彬, 谢春华. 贡嘎山暗针叶林枯落物截留特征研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 86-90.
- [7] 张昌顺, 范少辉, 谢高地. 闽北毛竹林枯落物层持水功能研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2): 259-265.
- [8] 高志勤, 傅懋毅. 毛竹林, 等. 不同森林类型枯落物水文

- [7] 孙红. 规范推进土地流转与促进城乡统筹发展: 来自成都市温江区的报告[J]. 农村经济, 2011(7): 40-41.
- [8] 吴波. 安徽城镇化下“倒逼”农地流转机制探析[J]. 科技经济市场, 2011(8): 80-83.
- [9] 周建, 施国庆. 城乡统筹发展的三种农村土地流转模式及其比较研究[J]. 农业经济, 2011(8): 45-48.
- [10] 周志旺. 土地流转中保护农民利益的调查和思考[J]. 中国集体经济, 2010(2): 10-11.
- [11] 李启宇. 基于城乡统筹的农地流转利益主体博弈分析[J]. 农业经济, 2011(12): 69-71.
- [12] 代长珍. 城乡统筹背景下西部农村土地流转的影响因素调查分析: 以重庆市潼南县古溪镇为例[J]. 中国经贸导刊 2009(23): 43.
- [13] 陈彦光. 地理数学方法: 基础和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [14] 朱德海. 土地管理信息系统[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000.
- [15] 刘贤赵, 张安定, 李嘉竹. 地理学数学方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [16] 王印传, 许喲, 杨杰. 县域土地利用变化及影响因素分析[J]. 资源开发与市场, 2006, 22(1): 27-29.

- 特性的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 274-279.
- [9] 王彦辉, 刘永敏. 江西省大岗山毛竹林水文效应研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 373-379.
- [10] 王景燕, 胡庭兴, 龚伟, 等. 川南坡地不同退耕模式对土壤团粒结构分形特征的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1410-1416.
- [11] 张峰, 彭祚登, 安永兴, 等. 北京西山主要造林树种林下枯落物的持水特性[J]. 林业科学, 2010, 46(10): 6-14.
- [12] 宫渊波, 陈林武, 罗承德, 等. 嘉陵江上游严重退化地 5 种森林植被类型枯落物的持水功能比较[J]. 林业科学, 2007, 43(sp. 1): 12-16.
- [13] 何亚平, 费世民, 蒋俊明, 等. 四川长宁竹林凋落物的蓄水功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(5): 35-41.
- [14] 时忠杰, 王彦辉, 徐丽宏, 等. 六盘山主要森林类型枯落物的水文功能[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 91-99.
- [15] 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.
- [16] 莫菲, 于澎湃, 王彦辉, 等. 六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2868-2876.
- [17] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报, 1984, 1(1): 19-33.