

# 兰州市北山不同人工林枯落物和土壤的水文特征

赵锦梅, 马瑞, 马维伟, 张富

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** [目的] 探讨兰州市北山 3 种人工林地枯落物的储量和持水能力及土壤的水文特征, 为揭示干旱地区人工林水土保持和水源涵养能力提供理论依据。[方法] 采用野外调查、室内浸水法和环刀法等研究方法对林地的枯落物蓄积量、持水量和土壤的渗透性、持水能力等进行了研究。[结果] 3 种林地枯落物的总蓄积量表现为: 新疆杨(36.74 t/hm<sup>2</sup>) > 侧柏(34.15 t/hm<sup>2</sup>) > 刺槐(16.01 t/hm<sup>2</sup>)。新疆杨林地枯落物最大持水量最大, 为 7.36 t/hm<sup>2</sup>; 而刺槐林地最大持水量最小, 仅为 4.91 t/hm<sup>2</sup>。3 种林地中土壤容重表现为: 新疆杨(1.466 g/cm<sup>3</sup>) > 刺槐(1.403 g/cm<sup>3</sup>) > 侧柏(1.27 g/cm<sup>3</sup>); 而土壤总孔隙度、毛管孔隙和非毛管孔隙均表现为侧柏 > 刺槐 > 新疆杨。土壤最大持水量为: 侧柏(0.731 g/cm<sup>3</sup>) > 刺槐(0.642 g/cm<sup>3</sup>) > 新疆杨(0.633 g/cm<sup>3</sup>)。侧柏的初渗率和平均渗透速率均显著高于新疆杨和刺槐林地 ( $p < 0.05$ ), 且侧柏林地在整个渗透时间内其渗透性均高于新疆杨和刺槐林地。[结论] 在 3 种人工林地中侧柏林地的土壤保持和水源涵养能力最强。

**关键词:** 枯落物; 土壤; 持水性能; 土壤渗透性; 林地

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)01-0057-05

**中图分类号:** S715.3, S714.7

**文献参数:** 赵锦梅, 马瑞, 马维伟, 等. 兰州市北山不同人工林枯落物和土壤的水文特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 057-061. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.010; Zhao Jinmei, Ma Rui, Ma Weiwei, et al. Hydrological characteristics of planted forest litters and soil in northern mountains of Lanzhou City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 057-061. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.010

## Hydrological Characteristics of Planted Forest Litters and Soil in Northern Mountains of Lanzhou City

ZHAO Jinmei, MA Rui, MA Weiwei, ZHANG Fu

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** [Objective] The aim of the study is to investigate the accumulation and water-holding capacity of litters and soil hydrological characteristics in three different artificial forests in northern mountains of Lanzhou City and to provide theoretical support for the capacity of soil and water conservation of artificial forests in arid regions. [Methods] We carried out field investigation, and used indoor immersion method and cutting ring method to determine the litter volumes and water holding capacity as well as soil permeability and water holding capacity. [Results] The litter of *Populus alba* var. *pyramidalis* (36.74 t/hm<sup>2</sup>) > *Platycladus orientalis* (34.15 t/hm<sup>2</sup>) > *Robinia pseudoacacia* (16.01 t/hm<sup>2</sup>). The *P. alba* var. *pyramidalis* had the highest of maximum water-holding capacity (7.36 t/hm<sup>2</sup>) while *R. pseudoacacia* has the smallest (4.91 t/hm<sup>2</sup>). The bulk density was *P. alba* var. *pyramidalis* (1.466 g/cm<sup>3</sup>) > *R. pseudoacacia* (1.403 g/cm<sup>3</sup>) > *Platycladus orientalis* (1.27 g/cm<sup>3</sup>). The total soil porosity, non-capillary porosity and capillary porosity were *P. orientalis* > *R. pseudoacacia* > *P. alba* var. *pyramidalis*. The biggest soil water holding capacity was *P. orientalis* (0.731 g/cm<sup>3</sup>) > *R. pseudoacacia* (0.642 g/cm<sup>3</sup>) > *P. alba* var. *pyramidalis* (0.633 g/cm<sup>3</sup>). The soil infiltration rate of *P. orientalis* was significantly higher than other forest lands ( $p < 0.05$ ). [Conclusion] Among the three kinds of forest lands, *P. orientalis* forest land can promote the regional soil and water con-

收稿日期: 2016-06-16

修回日期: 2016-07-06

资助项目: 甘肃省高等学校科研项目“兰州市南北两山人工生态林枯落物特征及其水文效应的异质性研究”(2014A-057); 甘肃省自然科学基金项目“植被退化对尕斯库勒湿地凋落物积累与分解的影响及机理”(1506RJZA015)

第一作者: 赵锦梅(1978—), 女(汉族), 甘肃省天水市人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持与荒漠化研究。E-mail: zhaojm@gsau.edu.cn.

通讯作者: 张富(1962—), 男(汉族), 甘肃省定西市人, 博士, 研究员, 主要从事水土保持与荒漠化研究。E-mail: fuzhang001@163.com.

servation capacity.

**Keywords:** litters; soil; water holding capacity; soil infiltration; forest land

枯落物和土壤是林地生态系统的基本组成部分<sup>[1]</sup>,在截留降雨、拦蓄地表径流、减少土壤水分蒸发、增加土壤水分入渗和防止水土流失等方面具有重要的作用<sup>[2-3]</sup>。对林地生态系统枯落物和土壤持水特征的研究,将有助于对林地生态系统保持水土和涵养水源机理的深入认识<sup>[4]</sup>,也可以为区域水土流失综合治理提供科学依据。

兰州市地处西北内陆,年降水量少,干旱严重,森林覆被率低,立地条件差。在兰州北山大面积进行人工林建设,对改善兰州市的生态环境有着重要的作用。但目前对该区域人工林地枯落物和土壤的水文特征的研究还显薄弱。因此,本研究拟以兰州市北山 3 种主要造林树种新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)为对象,系统分析兰州市北山主要人工林枯落物和土壤水文特征及其差异,以期为兰州市北山区域的水源涵养、水土保持和人工林建设提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验地区位于兰州市北山九州台造林区,地理位置 36°11'20"—36°13'43"N,103°12'47"—103°15'09"E,海拔 1 500~1 950 m,属北温带半干旱大陆性季风气候,年均温度 5~9℃,≥10℃的积温 3 385.4℃,年平均降水量在 250~360 mm,主要集中在 6—9 月,年蒸发量 1 468 mm,年日照时数为 2 607.6 h,无霜期 185~200 d。土壤为黄土母质上发育起来的灰钙土,植被群落以侧柏、刺槐和新疆杨等人工林为主。

### 1.2 样地设置与调查

于 2015 年 7 月在兰州市北山选择海拔、坡向、坡度和坡位相对一致的区域,选取新疆杨、侧柏、刺槐 3 种人工林,每种林地设置 20 m×20 m 的标准样地,并对标准地内的林木特征因子进行调查,郁闭度采用树冠投影法测定,结果见表 1。

表 1 3 种人工林基本调查情况

林地类型	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	郁闭度	胸径/ cm	树高/ m	造林年份
新疆杨	1 720	15°	阳坡	0.24	20.67	7.82	2001
侧柏	1 616	22°	阳坡	0.67	15.45	1.92	1998
刺槐	1 663	28°	阳坡	0.41	10.19	1.16	2001

### 1.3 枯落物采集及枯落物蓄积量与持水能力测定

在每个样方内随机选取 3 个 50 cm×50 cm 枯落物采集小样方,收集地表枯落物,并现场对采集的枯落物分别称鲜质量后用自封袋密封带回实验室。将所采集的枯落物分别在 65℃下烘干并称干质量,换算成单位面积枯落物的蓄积量。然后分别将枯落物装入 100 目的尼龙网并完全浸没于水中,分别浸泡 0.5,1,1.5,2,4,6,8,10,12,24 h 后,捞起后静置枯落物不滴水时称量。湿质量与浸水前干质量的差值为枯落物的不同时间的持水量,吸水量与浸水时间的比值为枯落物的持水速率<sup>[5]</sup>。

枯落物最大持水率=(浸泡后的枯落物质量-干质量)/干质量×100%

### 1.4 土壤样品采集与测定

根据研究区林地根系主要分布在 20—50 cm 土层范围内的特征<sup>[6]</sup>,本研究土壤采样深度为 0—80 cm。取样时随机在每块样地未被扰动地挖土壤剖面 3 个,用容积为 100 cm<sup>3</sup>的环刀分别采集 0—10,10—20,20—40,40—60,60—80 cm 土层土样,每个剖面每层重复取样 3 次,每种高寒灌丛样地共采集土壤样品 45 个,共计采集土样 135 个。采用环刀法测定土壤容重和孔隙度。

土壤持水能力测定是将装有原状土壤的环刀在水中浸泡 12 h,用滤纸吸干环刀上的水分后称重( $W_1$ );然后将环刀放于干砂上 2 h,当环刀中土壤的非毛管水已全部流出后称重( $W_2$ );再将环刀放于干砂上 24 h 后称重( $W_3$ );最后对环刀中心取土壤 15~25 g,放入铝盒中称重后烘干直到恒重( $W_4$ ),计算干土重,根据以上测定的  $W_1$ , $W_2$ , $W_3$  和  $W_4$  并采用土壤自然含水量的计算办法分别计算土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量<sup>[7]</sup>。

土壤渗透性用室内环刀法测定<sup>[6]</sup>。土壤渗透性的常用指标有最初入渗率、稳渗率和平均渗透速率<sup>[8]</sup>。各项指标的计算方法为:初渗率为最初入渗时段内的渗透量与最初入渗时间的比值,本研究取最初入渗时间为 2 min;平均渗透速率为达稳渗时的渗透总量与达稳渗时间的比值;稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率。

### 1.5 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 13.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素多样本的方差检验,用 Duncan 进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 枯落物蓄积量及持水量变化

枯落物蓄积量与植被的种类、生长状况等自身的生物学和生态学特征及气候、水热等外部环境条件有关<sup>[9]</sup>。从表 2 可知,在兰州北山 3 种类型林地中,新疆杨枯落物总蓄积量最高(36.74 t/hm<sup>2</sup>),其次是侧柏(34.15 t/hm<sup>2</sup>),刺槐最小(16.01 t/hm<sup>2</sup>)。半分解枯落物蓄积量:新疆杨>侧柏>刺槐;未分解枯落物蓄积量:侧柏>刺槐>新疆杨。从枯落物蓄积量和分解比例来看,新疆杨的分解比例最高达到了 81.1%,而侧柏最小仅有 54.42%。

表 2 不同林地枯落物蓄积量

林地类型	总蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	半分解层		未分解层	
		蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%	蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	比例/%
新疆杨	36.74	29.80	81.10	6.95	18.90
侧柏	34.15	18.58	54.42	15.57	45.58
刺槐	16.01	9.69	60.51	6.32	39.49

表 4 不同林地枯落物持水量与浸水时间之间的关系

林地类型	枯落物层	不同浸水时间枯落物持水量									
		0.5 h	1 h	1.5 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h
新疆杨	未分解	2 009.27	2 191.33	2 342.60	2 448.73	2 504.19	2 539.76	2 601.64	2 712.41	2 775.49	2 854.11
	半分解	2 318.09	2 642.15	2 697.01	2 849.48	3 032.88	3 108.67	3 247.09	3 300.90	3 388.04	3 562.63
侧柏	未分解	1 082.36	1 251.57	1 363.68	1 488.34	1 541.26	1 638.27	1 658.00	1 729.30	1 797.76	1 851.57
	半分解	1 889.69	2 178.48	2 232.59	2 246.79	2 316.59	2 364.57	2 433.63	2 487.29	2 578.03	2 628.10
刺槐	未分解	939.16	1 049.33	1 196.71	1 265.47	1 318.68	1 409.72	1 464.13	1 511.96	1 571.15	1 625.56
	半分解	1 596.56	1 721.23	1 821.97	1 960.09	2 046.34	2 172.94	2 270.25	2 324.81	2 391.78	2 442.90

### 2.2 土壤特征变化

从表 5 看出,不同林地的土壤容重在 1.27~1.466 g/cm<sup>3</sup>,其中新疆杨最大(1.466 g/cm<sup>3</sup>)刺槐次之(1.403 g/cm<sup>3</sup>),侧柏最小(1.27 g/cm<sup>3</sup>)。不同林地的土壤总孔隙度、毛管孔隙和非毛管孔隙均表现

从表 3 看出,不同林地枯落物的最大持水率平均在 312.62%~175.02%,最大持水量在 4.91~7.36 t/hm<sup>2</sup>,其中新疆杨分解和未分解枯落物的持水率和最大持水量在 3 类林地中均最大,侧柏次之,刺槐最小。

表 3 不同林地枯落物最大持水率和最大持水量

林地类型	最大持水率/%			最大持水量/(t·hm <sup>-2</sup> )		
	未分解	半分解	平均	未分解	半分解	总和
新疆杨	254.02	371.21	312.62	3.16	4.20	7.36
侧柏	165.43	246.37	205.90	2.37	3.09	5.46
刺槐	132.66	217.38	175.02	2.08	2.83	4.91

从不同林地枯落物持水量与浸水时间的关系看出(表 4),研究区 3 类林地的未分解和半分解枯落物的持水量随着浸水时间的增加而增加,在 24 h 后均达到最大的持水量。但不同林地不同浸水时间内枯落物持水量存在差异,新疆杨分解和未分解枯落物在不同浸水时间内枯落物持水量均高于侧柏和刺槐林地,而刺槐林地最小。

为:侧柏>刺槐>新疆杨。方差分析表明,侧柏与新疆杨和刺槐土壤的容重、总孔隙度和毛管孔隙度特征之间有显著性差异( $p<0.05$ ),而新疆杨和侧柏显著差异( $p<0.05$ );非毛管孔隙 3 种林地之间均无显著性差异( $p<0.05$ )。

表 5 不同林地的土壤基本特征

林地类型	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	毛管孔隙/%	非毛管孔隙/%
新疆杨	1.466±0.022 <sup>b</sup>	46.258±0.599 <sup>b</sup>	39.880±0.753 <sup>b</sup>	6.378±0.996 <sup>a</sup>
侧柏	1.270±0.019 <sup>a</sup>	55.966±1.144 <sup>a</sup>	47.859±1.679 <sup>a</sup>	8.107±0.752 <sup>a</sup>
刺槐	1.403±0.024 <sup>b</sup>	47.644±0.778 <sup>b</sup>	40.901±0.845 <sup>b</sup>	6.743±0.833 <sup>a</sup>

注:各林地类型同列不同小写字母代表差异显著( $p<0.05$ )。

### 2.3 土壤持水能力变化

土壤持水能力是表征林地水源涵养能力的重要指标之一<sup>[10]</sup>。从图 1 可知,研究区不同林地土壤的持水能力不同。土壤最大持水量为:侧柏(0.731 g/cm<sup>3</sup>)

>刺槐(0.642 g/cm<sup>3</sup>)>新疆杨(0.633 g/cm<sup>3</sup>);土壤毛管持水量为:侧柏(0.641 g/cm<sup>3</sup>)>新疆杨(0.591 g/cm<sup>3</sup>)>刺槐(0.567 g/cm<sup>3</sup>);土壤最小持水量为:侧柏(0.351 g/cm<sup>3</sup>)>刺槐(0.314 g/cm<sup>3</sup>)>新

疆杨( $0.303 \text{ g/cm}^3$ )。统计分析表明,侧柏林地土壤最大持水量和土壤最小持水量与新疆杨和刺槐林地之间具有显著差异( $p < 0.05$ ),而新疆杨和刺槐林地差异不显著( $p < 0.05$ );土壤毛管持水量仅表现为侧柏林地与刺槐林地有显著差异,其余林地之间没有差异( $p < 0.05$ )。

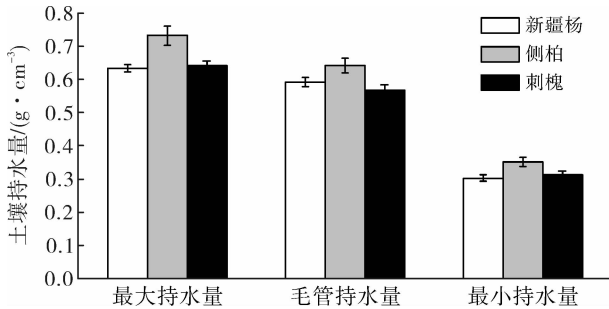


图 1 不同林地的土壤持水量

#### 2.4 土壤渗透性变化

从图 2 可知,研究区不同林地土壤初渗率为  $3.544 \sim 2.111 \text{ mm/min}$ ,侧柏初渗率最大,新疆杨次之,刺槐最小;稳渗率为  $0.646 \sim 0.421 \text{ mm/min}$ ,侧柏最大,新疆杨次之,刺槐最小;土壤平均渗透速率在  $3.038 \sim 2.007 \text{ mm/min}$ ,侧柏最大,新疆杨次之,刺槐最小。统计分析表明,侧柏的初渗率和平均渗透速率均显著高于新疆杨和刺槐林地( $p < 0.05$ ),新疆杨和刺槐林地二者的初渗率和平均渗透速率无显著性差异( $p < 0.05$ );刺槐林地稳渗率显著低于侧柏和新疆杨林地。

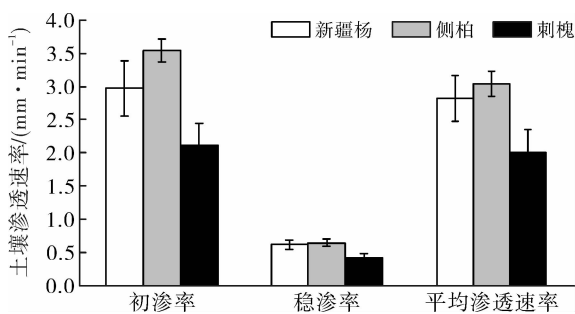


图 2 不同林地土壤渗透特性

从图 3 可以看出,不同林地土壤入渗速率变化趋势基本一致,均随入渗时间的逐渐推移入渗速率逐渐减小,并在 65 min 后均达到了稳定,各林地 65 min 后平均渗透速率比渗透开始 2 min 内的平均渗透速率平均下降了  $14.802\%$ 。比较不同林地在不同时间内的渗透性可知,侧柏林地在整个渗透时间内其渗透性均高于新疆杨和刺槐林地,而刺槐林地的渗透性则显著的低于前二者。

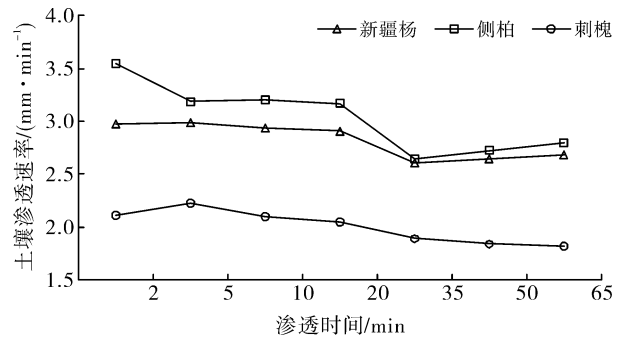


图 3 不同林地土壤入渗过程

### 3 讨论与结论

枯落物的蓄积量与林地的树种组成、立地条件和植被的生长状况等因素有关<sup>[11]</sup>。通过研究发现,研究区 3 种林地枯落物蓄积量表现为:新疆杨>侧柏>刺槐,新疆杨林地的枯落物蓄积量与侧柏和刺槐林地差异显著( $p < 0.05$ )。分析认为,新疆杨是速生树种,每年的生长量大,叶片面积也较大,其能够在短时间内形成大量的枯落物,这是造成其枯落物蓄积量显著高于其他林地的主要原因,这一特征与魏雅丽等人的研究结果一致<sup>[12]</sup>。侧柏林地郁闭度在 3 种林地中最高,种植时间也最早,但侧柏的叶片为鳞形叶,短小,每年叶片的更新速度和生长量也远小于新疆杨,这是导致侧柏林地枯落物蓄积量显著小于新疆杨的主要因素。在 3 种林地中刺槐林地枯落物蓄积量最小,分析认为这与刺槐的自身生物学特性密切相关,同时刺槐林造林时间虽与新疆杨同期,但其树高、胸径和郁闭度等特征均小于新疆杨和侧柏林地,因此综合以上因素导致了刺槐林地的枯落物蓄积量在 3 种林地中最小。

从枯落物的持水量变化来看,枯落物持水量最高的是新疆杨林地,侧柏林地次之,刺槐林地最小,这一变化规律与 3 种林地的枯落物蓄积量变化规律相一致,表现为枯落物蓄积量越大,枯落物持水量也较大,这与周志立等<sup>[13]</sup>的研究结果相似。

受到不同生态系统之间土壤理化特性等差异影响,不同生态系统中的土壤持水能力亦表现出不同的变化特征<sup>[14]</sup>。从研究区不同林地的土壤性状来看,侧柏的土壤容重最小,土壤孔隙状况最佳,因此侧柏林地土壤最大持水量、毛管持水量和最小持水量均显著高于其它林地;相反在 3 种林地中刺槐林地土壤性状最差,土壤持水能力也表现为最差。

土壤容重和土壤非毛管孔隙度对土壤的渗透性影响显著<sup>[15-16]</sup>。研究区侧柏林地土壤容重最小,孔

隙度最高,因此侧柏林地的土壤渗透性特征显著优于其他林地。刺槐林地与新疆杨林地的土壤容重和孔隙度无显著差异,因此二者的土壤渗透性特征差异亦不显著。从不同时间段的各林地入渗过程来看,研究区 3 种林地的土壤渗透性具有一致性变化趋势,即随着渗透时间的推移土壤渗透速率逐渐降低。

通过对兰州北山 3 种人工林地枯落物和土壤水文特征的研究表明,新疆杨的枯落物蓄积量和其持水能力较强,但其土壤持水和透水性特征相对较差。刺槐林地的枯落物蓄积量和持水能力及土壤性状和土壤水文特征在 3 种林地中均较差。侧柏的枯落物蓄积量和枯落物持水能力仅次于新疆杨,且其土壤持水和透水能力均显著优于其他 2 类林地。可见,侧柏林地可提升兰州北山区域的水土保持和涵养水源功能,有助于促进区域生态环境的改善与恢复。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 熊莉,徐振锋,杨万勤,等. 川西亚高山粗枝云杉人工林地上凋落物对土壤呼吸的贡献[J]. 生态学报,2015,35(4):4678-4686.
- [2] 刘宇,张洪江,张友焱,等. 晋西黄土丘陵区不同人工林枯落物持水特性研究[J]. 水土保持通报,2013,33(6):69-74.
- [3] Yuan Jiyong, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al. Effect of different grassland restoration approaches on soil properties in the southeastern Horqin sandy land, Northern China[J]. Applied Soil Ecology, 2012,61:34-39.
- [4] 魏强,凌雷,张广忠,等. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2589-2598.
- [5] 刘效东,乔玉娜,周国逸,等. 鼎湖山 3 种不同演替阶段森林凋落物的持水特征[J]. 林业科学,2013,49(9):8-15.
- [6] 钟芳,王红赤,李俊年,等. 兰州市南北两山水热条件对侧柏根系分布的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(4):559-563.
- [7] 赵锦梅,徐长林,马亚萍,等. 祁连山东段高寒灌丛地被物与土壤的水文特征[J]. 林业科学,2014,50(10):146-151.
- [8] 张昌顺,范少辉,官凤英,等. 翁玉榛. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. 林业科学,2009,45(1):36-42.
- [9] 刘芝芹,黄新会,涂璟,等. 云南高原不同林分类型枯落物储量及持水特性[J]. 生态环境学报,2015,24(6):919-924.
- [10] Mriti J M, Kironchi G, Esilaba A O, et al. The effects of tillage systems on soil physical and water conservation in a sandy loam soil in Eastern Kenya[J]. Journal of Soil Science and Environmental Management, 2013,4(7):146-154.
- [11] 牛勇,刘洪禄,张志强. 北京地区典型树种及非生物因子对枯落物水文效应的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(8):183-189.
- [12] 魏雅丽,贺玉晓,金杰,等. 元谋干热河谷典型植被枯落物持水能力研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):181-186.
- [13] 周志立,张丽玮,陈倩,等. 木兰围场 3 种典型林分枯落物及土壤持水能力[J]. 水土保持学报,2015,29(1):207-213.
- [14] 刘贤德,李效雄,张学龙,等. 干旱半干旱区山地森林类型的土壤水文特征[J]. 干旱区地理,2009,32(5):691-697.
- [15] Qi Shi, Wang Yunqi, Sun Ge, et al. Effect of forest composition and spatial on storm flows of a small watershed[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2009,45(5):1142-1154.
- [16] Sharrow S H. Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties[J]. Agroforestry Systems, 2007,71(3):215-223.