

砒砂岩区主要造林树种枯落物及林下土壤持水特性

杨振奇, 秦富仓, 李晓琴, 刘力川, 牛晓乐

(内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010019)

摘要: 为了探究砒砂岩区不同造林树种水文特征, 以该地区油松、侧柏、青杨、山杏、沙棘、柠条为研究对象, 通过浸泡法和环刀法, 对比分析了不同树种枯落物层和土壤层的持水特性。结果表明: 砒砂岩区主要造林树种枯落物蓄积量变动范围为 1.55~7.89 t/hm², 青杨林下枯落物最大持水率最高为 281.26%, 其他树种枯落物最大持水率依次为油松(217.14%)、侧柏(201.05%)、山杏(202.79%)、沙棘(170.96%)、柠条(158.08%)、撂荒地(143.88%)。油松林下土壤层容重最小为 1.46 g/cm³, 总孔隙度和毛管孔隙度最大分别为 43.55% 和 36.99%, 毛管持水量最大为 14.50 mm; 山杏林下土壤非毛管孔隙度最大为 13.12%, 非毛管持水量最大为 6.86 mm。油松枯落物及其林下土壤层持水能力良好, 更适宜作为砒砂岩地区植被建设树种。

关键词: 砒砂岩区; 枯落物; 林下土壤; 持水特性

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0118-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.021

Water-Holding Characteristics of Litters and Soil Under Major Afforestation Tree Species in the Feldspathic Sandstone Region

YANG Zhenqi, QIN Fucang, LI Xiaoqin, LIU Lichuan, NIU Xiaole

(Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018)

Abstract: To investigate the hydrological function of different afforestation tree species in the feldspathic sandstone region, we selected *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Populus cathayana*, *Prunus armeniaca*, *Hippophae rhamnoides* and *Caragana korshinskii* from the area to analyze and compare the water-holding capacity in the litter layer and soil layer of different tree species by the soaking method and ring sampling method. Our results demonstrated that the litter accumulation variation range of the major afforestation tree species in the feldspathic sandstone region was 1.55—7.89 t/hm², and *Populus cathayana* forest litter exhibited the highest maximum water holding capacity, i. e. 281.26%, followed by *Pinus tabulaeformis* (217.14%), *Platycladus orientalis* (201.05%), *Prunus armeniaca* (202.79%), *Hippophae rhamnoides* (170.96%), *Caragana korshinskii* (158.08%), and abandoned land (143.88%). For the soil layer under the *Pinus tabulaeformis* forest, the smallest bulk density was 1.46 g/cm³, the maximum porosity and capillary porosity was 43.55% and 36.99%, respectively, with the maximum capillary moisture capacity being 14.50 mm. For the soil under *Prunus armeniaca* forest, the maximum non-capillary porosity was 13.12%, and the maximum non-capillary moisture capacity was 6.86 mm. The water-holding capacity of both the litter layer of *Pinus tabulaeformis* and the under-forest soil layer was great. Therefore, *Pinus tabulaeformis* is more suitable for vegetation construction in the feldspathic sandstone region.

Keywords: feldspathic sandstone region; litter; soil; water-holding characteristics

枯落物层是森林生态系统水循环的重要环节, 枯落物独特的蓬松透气结构能有效调节地表径流, 减少土壤侵蚀^[1]。同时枯落物层腐化和分解能促进林

下土壤营养元素的循环, 并显著改良土壤理化性质^[2]。枯落物下的土壤层是森林的主要蓄水承载体, 土壤层通过毛管孔隙和非毛管孔隙实现地表径流和

收稿日期: 2016-11-29

资助项目: 内蒙古自治区水利厅项目“砒砂岩区典型小流域植被对位配置研究”

第一作者: 杨振奇(1993—), 男, 汉族, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: 843296578@qq.com

通信作者: 秦富仓(1966—), 男, 汉族, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治、林业、土地资源管理教学和科研。E-mail: qinfu@126.com

地下水的联通和吐纳,土壤层的蓄水能力和透水能力是森林涵养水源功能的具体体现^[3]。位于晋陕蒙交界段的砒砂岩区,侵蚀类型以水蚀、风蚀为主,生境脆弱,天然植被恢复困难^[4]。上世纪 90 年代该区域大面积营造人工林,生态环境得到一定改善,但造林树种种类目繁多,不同树种在砒砂岩区涵养水源和水土保持的能力尚不明确。枯落物及其下土壤层的持水能力作为描述森林水文生态效益、水土保持功能的重要指标,一直是研究的热点^[5-7]。国内外众多专家学者在森林枯落物层蓄积量、持水性能以及森林土壤物理性质和蓄水能力等方面进行了大量的研究^[8-10],但针对砒砂岩区造林树种水文功能的研究较为薄弱。为此,本文选取砒砂岩区常见的造林树种油松、侧柏、青杨、山杏、沙棘、柠条为研究对象,对其枯落物层及林下土壤层持水特性进行研究,为探明砒砂岩区不同造林树种水文功能差异建立基础,并为砒砂岩区植被建设提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于鄂尔多斯市准格尔旗鲍家沟流域,地

理坐标为 110°31′—110°35′ E,39°46′—39°48′ N,海拔 1 110~1 300 m。流域地形北高南低,属温带大陆性气候,冬季漫长干燥,夏季短暂温热,年均气温 7.2℃,年降雨量 400 mm,土壤类型以黄绵土、风沙土为主。乔木主要有青杨(*Populus cathayana*)、旱柳(*Salix matsudana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等;灌木主要有柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山杏(*Prunus armeniaca*)等;草本主要有羊草(*Leymus chinensis*)、猪毛菜(*Salsola nitrraria*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)等。

1.2 采样方法

经实地调查,依据流域地形和人工林分布特点,选取典型地段长势良好的同林龄油松、侧柏、青杨、山杏、沙棘、柠条(均为纯林)为研究对象,以撂荒地作为对照,于 2016 年 7 月分别在 6 种人工林设 30 m×30 m 标准样地。标准样地内四角及中心设 5 个 1 m×1 m 样方,将枯落物分为未分解层和半分解层,分层记录厚度后按原结构装入密封袋中。样地内开挖土壤剖面,按 0—20,20—40,40—60 cm 用 100 cm³ 环刀分层取样。样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

林分类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	平均高度/m	平均胸径(基径)/cm	郁闭度(覆盖度)/%	土层厚度/cm	土壤类型
沙棘	1165.6	20	东南	2.20	1.7	95	30	黄绵土
柠条	1185.7	20	东	1.70	1.3	86	40	黄绵土
山杏	1195.7	15	西南	2.50	7.4	75	>100	风沙土
青杨	1147.9	5	西北	8.00	10.6	80	>100	风沙土
油松	1214.3	10	北	2.70	8.6	65	20	风沙土
侧柏	1306.1	10	东北	2.40	6.2	60	50	黄绵土
撂荒地	1154.9	5	南	0.15	—	50	>100	栗钙土

1.3 测定方法

枯落物蓄积量采用烘干法测定;持水量采用浸泡法测定^[11]测定;最大持水量、有效拦蓄量计算公式为:

$$W=(0.85R_m-R_0)\times M \tag{1}$$

式中:W 为有效拦蓄量(t/hm²);R₀ 为自然含水率(%);R_m 为最大持水率(%);M 为枯落物层蓄积量(t/hm²)。

土壤容重、土壤总孔隙度、毛管孔隙度等指标均采用环刀法^[11]测定;土壤含水量采用烘干法测定;土壤持水量计算公式为:

$$S_m=10000hP_i \tag{2}$$

$$S=10000hP \tag{3}$$

式中:S_m 为土壤最大持水量(t/hm²);S 为土壤非毛管持水量(t/hm²);h 为土层厚度(m);P_i 为土壤总孔隙度(%);P 为土壤非毛管孔隙度(%)。

2 结果与分析

2.1 不同树种林下枯落物蓄积量

林分类型、林龄直接影响着枯落物输入量,而林地所处立地条件制约着枯落物的分解速率,研究不同树种枯落物蓄积能力,对于进一步分析不同树种枯落物持水能力有重要意义。由表 2 可知,枯落物层总厚度差异主要与林分类型有关,油松林下枯落物层最厚为 2.65 cm,其他树种依次为侧柏>青杨>山杏>柠条>沙棘>撂荒地;砒砂岩区主要造林树种蓄积量变动范围为 1.55~7.89 t/hm²,蓄积量大小顺序与厚度一致;通过对枯落物厚度与蓄积量进行回归分析,发现枯落物厚度与蓄积量呈简单线性关系,关系式为 y=3.61x-0.761,R² 达到 0.921 7,表现出良好相关性;比较各树种枯落物的 2 个层次可以发现,枯落物

未分解层厚度、蓄积量均高于半分解层。

2.2 不同树种枯落物持水能力

枯落物层的水土保持功能主要体现在对径流的拦蓄作用上,枯落物能有效降低径流速度,从而减少挟沙量^[12],本文采用饱和持水量来模拟连续长期降雨条件下的枯落物最大持水量。由表 3 可知,不同树种枯落物持水能力均高于对照撂荒地,最大持水率顺序为青杨>油松>山杏>侧柏>柠条>沙棘>撂荒地,其中青杨林下枯落物最大持水率为 281.26%,吸收了相当于其自身蓄积量 2.8 倍重量的降雨。经方差分析得知,各树种枯落物持水量差异达极显著水平($p<0.01$);经多重比较(LSD)后得知,青杨枯落物层

最大持水量与其余树种枯落物层最大持水量差异达到显著水平,表明青杨枯落物层持水能力高于其他树种。对比未分解层与半分解层最大持水量、有效拦蓄量可以看出,枯落物未分解层持水、蓄水能力均高于半分解层;枯落物持水过程表现为初始阶段吸水速率最大,随浸泡时间延长,吸水速率下降,持水量达到饱和。对枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间进行回归分析,发现其分别呈 $Q=a\ln t+b$ 的对数关系和 $V=kt^n$ 的幂函数关系, R^2 均在 0.85 以上。式中: Q 为枯落物持水量(mm); V 为枯落物吸水速率(mm/h); t 为浸泡时间; a 、 k 为方程系数; b 为方程常数项; n 为指数(表 4)。

表 2 不同树种枯落物蓄积量

林分 类型	厚度/cm		总厚度/ cm	蓄积量/(t·hm ⁻²)				总蓄积量/ (t·hm ⁻²)
	未分解层	半分解层		未分解层	百分比/%	半分解层	百分比/%	
沙棘	0.75	0.57	1.32	1.95	54.03	1.66	45.97	3.61
柠条	0.87	0.68	1.55	2.71	56.00	2.13	44.00	4.84
山杏	0.96	0.89	1.74	3.24	52.01	2.99	47.99	6.24
油松	1.59	1.06	2.65	4.83	61.23	3.06	38.77	7.89
侧柏	1.18	1.04	2.22	3.98	53.01	3.53	46.99	7.51
青杨	0.92	0.82	1.85	3.57	53.00	3.16	47.00	6.73
撂荒地	0.39	0.38	0.77	0.79	51.02	0.76	48.98	1.55

表 3 不同树种枯落物持水能力

林分 类型	最大持水量/(t·hm ⁻²)		总最大持水量/ (t·hm ⁻²)	总最大 持水率/%	有效拦蓄量/(t·hm ⁻²)		总有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
	未分解层	半分解层			未分解层	半分解层	
沙棘	3.63	2.54	6.17e	170.96	2.85	2.04	4.89
柠条	4.49	3.16	7.65e	158.08	3.52	2.49	6.01
山杏	7.38	5.26	12.64d	202.79	5.60	3.96	9.56
青杨	11.59	7.34	18.93b	281.26	8.98	5.38	14.36
油松	10.07	7.05	17.13c	217.14	7.57	5.43	13.00
侧柏	8.11	6.98	15.09a	201.05	6.11	5.40	11.51
撂荒地	1.26	0.97	2.22f	143.88	0.96	0.73	1.70

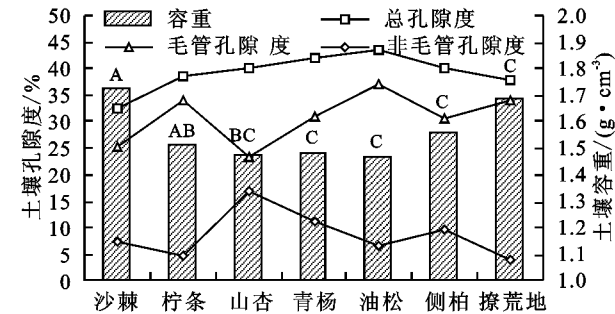
注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。

表 4 不同树种枯落物持水量(吸水速率)与浸泡时间关系

林分 类型	枯落 物层	持水量与浸泡时间关系		吸水速率与浸泡时间关系	
		关系式	相关系数	关系式	相关系数
沙棘	未分解层	$Q=0.0071\ln t+0.3451$	0.9494	$V=0.3451t^{-0.980}$	0.9238
	半分解层	$Q=0.0051\ln t+0.2401$	0.9306	$V=0.2410t^{-0.979}$	0.9593
柠条	未分解层	$Q=0.0116\ln t+0.4174$	0.8870	$V=0.4173t^{-0.973}$	0.9225
	半分解层	$Q=0.0086\ln t+0.2917$	0.8997	$V=0.2917t^{-0.971}$	0.9210
山杏	未分解层	$Q=0.0230\ln t+0.6711$	0.9494	$V=0.6708t^{-0.967}$	0.9815
	半分解层	$Q=0.0197\ln t+0.4672$	0.8869	$V=0.4671t^{-0.959}$	0.9848
青杨	未分解层	$Q=0.0171\ln t+1.1138$	0.9276	$V=1.1141t^{-0.895}$	0.9004
	半分解层	$Q=0.0096\ln t+0.7091$	0.8633	$V=0.7092t^{-0.987}$	0.9177
油松	未分解层	$Q=0.0361\ln t+0.9126$	0.8960	$V=0.9121t^{-0.962}$	0.9984
	半分解层	$Q=0.0318\ln t+0.6216$	0.8529	$V=0.6206t^{-0.950}$	0.9033
侧柏	未分解层	$Q=0.0204\ln t+0.7571$	0.9468	$V=0.7571t^{-0.974}$	0.9338
	半分解层	$Q=0.0018\ln t+0.6508$	0.9407	$V=0.6508t^{-0.973}$	0.9383
撂荒地	未分解层	$Q=0.0041\ln t+0.1149$	0.8523	$V=0.1148t^{-0.980}$	0.9105
	半分解层	$Q=0.0039\ln t+0.0866$	0.8807	$V=0.0865t^{-0.957}$	0.9100

2.3 不同树种林下土壤层物理性质及持水能力

土壤容重和土壤孔隙度反映了土壤结构的优劣以及土壤的通透程度,同时也是衡量土壤层水源涵养能力的重要指标^[13]。本文在野外调查和室内试验过程中发现,各造林树种林下土层厚度不同(部分地区土层厚度<20 cm),这与砒砂岩区独特的地质条件有关,表层覆土或覆沙而下层多为泥质砂岩或砂质砂岩,造成了土壤各层物理性质的不确定变化,因此以下分析中各树种土壤层物理性质均采用均值。由图 1 可知,经方差分析各树种林下土壤容重差异达极显著水平($p<0.01$),土壤层孔隙度、持水量无显著性



注:不同大写字母表示不同处理间差异性极显著($p<0.01$)。

图 1 不同树种林下土壤物理性质及持水量

2.4 不同树种综合蓄水能力

枯落物层是林地蓄水功能的关键层,在整个蓄水过程中率先吸收地表水,延缓径流产生时间。而土壤层作为林地蓄水功能的主体层,大量接纳了超出枯落物层蓄水能力以外的地表径流。由表 5 可知,各树种枯落物蓄积量与其林下土壤容重存在负相关关系,与土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度存在正相关关系,随枯落物蓄积量增加土壤容重呈减小趋势,而总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度呈增大趋势。以上结果也说明了尽管枯落物层蓄水量远小于土壤层蓄水量,但枯落物层作为土壤养分的补给库,枯落物的腐化和分解影响着土壤理化性质的改变,也间接制约着土壤层的蓄水能力^[2]。因此在评价林地蓄水能力时必须将枯落物层和土壤层的持水能力作为整体,探讨林地综合蓄水能力。由表 6 可知,不同树种综合蓄水能力最强的树种为油松,是对照撂荒地的 2.21 倍,其他树种综合蓄水能力依次为侧柏、青杨、山杏、柠条、沙棘、撂荒地。

表 5 不同树种枯落物蓄积量与土壤物理性质的相关系数

林分类型	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度
沙棘	-0.371	0.465	0.695*	0.489
柠条	-0.597*	0.652*	0.618*	0.733*
山杏	-0.658*	0.801**	0.819**	0.501*
青杨	-0.461	0.578*	0.647*	0.472
油松	-0.812**	0.657*	0.347	0.787**
侧柏	-0.768**	0.585*	0.736**	0.592*
荒地	-0.781**	0.810**	0.407	0.642*

注: * 表示显著相关($p<0.05$); ** 表示极显著相关($p<0.01$)。

差异;经多重比较(LSD)后得知,沙棘土壤层容重与撂荒地容重接近,与其他树种差异显著。而油松、青杨、山杏、柠条林下土壤层容重差异不显著,油松林下土壤层容重最小为 1.73 g/cm³,总孔隙度、毛管孔隙度最大分别为 43.55%,36.99%,最大持水量为 17.16 mm,毛管持水量为 14.50 mm,最小的容重和最大的孔隙度也说明油松林下土壤结构更为疏松,能容纳较多降雨并保持更多毛管水,有利于植被生长;山杏林下土壤非毛管孔隙度最大为 13.12%,非毛管持水量为 6.86 mm,表明山杏林下土壤层能快速拦蓄地表径流,蓄洪作用更为明显。

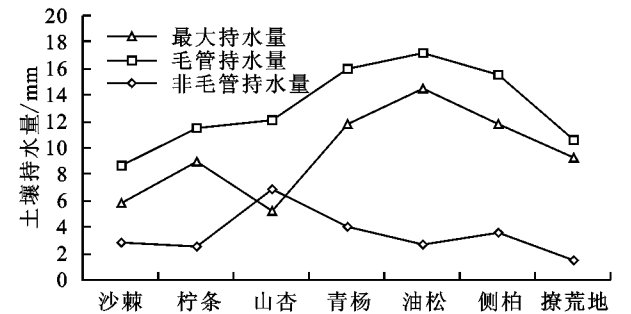


表 6 不同树种枯落物和土壤层持水量

林分类型	枯落物层		土壤层		综合持水量/mm
	最大持水量/mm	百分比/%	最大持水量/mm	百分比/%	
沙棘	0.06	0.24	26.10	99.76	26.16
柠条	0.08	0.27	28.40	99.73	28.48
山杏	0.13	0.35	36.15	99.65	36.28
青杨	0.19	0.50	38.04	99.50	38.23
油松	0.17	0.33	51.49	99.67	51.66
侧柏	0.15	0.32	46.43	99.68	46.58
撂荒地	0.02	0.10	23.35	99.90	23.37

3 讨论

枯落物的输入量受不同树种生长发育周期控制,枯落物的分解速率受枯落物结构和物质组成的制约,因此对于不同树种枯落物蓄积能力有所差异^[14]。本研究得出,针叶林枯落物蓄积量高于阔叶林和灌木林蓄积量,这与针叶树种枯落物本身物质组成和砒砂岩区地理条件有关,张峰等^[8]的研究也得出类似结果。与其他地区的研究结果有所不同^[15],本研究中油松林虽然有较高的枯落物蓄积量,但是其持水能力却低于青杨林枯落物,枯落物蓄积量与持水量不存在简单正相关关系,枯落物的持水能力不仅受蓄积量的影响,还受枯落物内部结构和组成物质的影响^[16],同时也说明在砒砂岩区地区栽植针叶树种有利于枯落物的积累,栽植阔叶树种有利于有效吸收降雨,沙棘等

灌木作为砒砂岩区生态建设的基本树种,虽然能有效控制沟床下切,但就枯落物持水性能而言,其枯落物蓄积能力和持水能力要远低于油松、青杨等乔木树种。从枯落物持水过程来看,枯落物持水量、吸水速率与浸泡时间呈良好的对数关系和幂函数关系,这与前人^[6-11]研究结果一致。

不同树种林下枯落物的分解腐化以及根系活动影响着土壤层的发育和改良。不同树种林下土壤物理性质存在明显差异,油松林下土壤较其他几种林分土壤相比容重更小,总孔隙度更大,这也表明了油松改良土壤的能力优于其他几种树种,其土壤结构更为疏松且容纳毛管水更多,有利于植被生长发育,这与赵赫然等^[17]的研究结果一致。根据高岗等^[18]研究认为,非毛管孔隙与林地蓄洪能力有关,本研究中山杏林下土壤非毛管孔隙度最大为 13.12%,表明山杏林下土壤蓄洪能力更强。与其他地区研究结果不同^[19],在实地调查中发现砒砂岩区人工林覆土层厚度不一致,部分地区土层<20 cm,受砒砂岩层影响,不同土壤深度的物理性质变化没有明显规律。

4 结论

(1)砒砂岩区主要造林树种枯落物及其林下土壤持水特性的研究表明,油松积累枯落物能力高于其他树种,其蓄积量最高为 7.89 t/hm²,同时该树种对于土壤物理性质的改良作用突出,其林下土壤结构更有利于持水,持水量最高为 51.49 mm,油松枯落物及其林下土壤层持水能力良好。

(2)结合砒砂岩区特有立地条件,在地形允许和土壤、水分条件适宜的地带,油松更适宜作为植被建设树种。该树种的栽植有助于积累大量枯落物,以减少地表径流,并有效改良林下土壤结构,增强土壤持水能力,有利于植被生长,高效发挥森林涵养水源和水土保持功能。

参考文献:

- [1] 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等.低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响[J].生态学报,2013,33(3):934-943.
- [2] 米彩红,刘增文,李茜.黄土丘陵区 3 种典型人工阔叶林枯落物分解对土壤性质极化的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(7):120-126.
- [3] 丁绍兰,杨乔媚,赵串串,等.黄土丘陵区不同林分类型枯落物层及其林下土壤持水能力研究[J].水土保持学报,2009,23(5):104-108.
- [4] 肖培青,姚文艺,刘慧砒.砂岩地区水土流失研究进展与治理途径[J].人民黄河,2014,36(10):92-109.
- [5] 时忠杰,张宁南,何常清,等.桉树人工林冠层、凋落物及土壤水文生态效应[J].生态学报,2010,30(7):1932-1939.
- [6] 饶良懿,朱金兆,毕华兴.重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J].北京林业大学学报,2005,27(1):33-37.
- [7] 陈倩,周志立,史琛媛,等.河北太行山丘陵区不同林分类型枯落物与土壤持水效益[J].水土保持学报,2015,29(5):206-211.
- [8] 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.
- [9] 樊登星,余新晓,岳永杰,等.北京西山不同林分枯落物层持水特性研究[J].北京林业大学学报,2008,30(增刊2):177-181.
- [10] 张海涛,宫渊波,付万权,等.川南马尾松低效人工林不同改造模式后枯落物持水特性分析[J].水土保持学报,2016,30(4):136-141.
- [12] 秦富仓,余新晓,张满良,等.流域林草植被控制土壤侵蚀机理研究[J].应用生态学报,2005,16(9):1618-1622.
- [13] 邵水仙,董智,李红丽,等.不同造林模式对退化石灰岩山地土壤理化性质及水文效应的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):263-267.
- [14] 李强,周道玮,陈笑莹.地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J].生态学报,2014,34(14):3807-3819.
- [15] 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.
- [16] Wieder W R, Cleceland C C, Townsend A R. Tropical tree composition affects the oxidation of dissolved organic matter from litter[J]. Biogeochemistry, 2008, 88(2): 127-138.
- [17] 赵赫然,王辉,黄蓉.王家岭防护林带土壤理化特性研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(11):139-144.
- [18] 高岗,秦富仓,姚云峰,等.东北农牧交错带小流域不同林草植被类型水源涵养功能综合评价[J].干旱区资源与环境,2009,23(6):132-135.
- [19] 刘鑫,满秀玲.毛乌素沙地小叶杨人工林土壤水分物理特性研究[J].土壤学报,2009,46(2):348-351.