

六盘山北侧叠叠沟小流域几种典型植被群落的水文功能研究

刘 千^{1,2}, 王 平¹, 熊 伟², 王彦辉²,
杜阿朋³, 李振华², 王艳兵⁴

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

3. 国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 4. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 在宁夏六盘山北侧的半干旱区, 研究了华北落叶松林、沙棘灌丛、虎榛子灌丛、草地植被类型的冠层截留与再分配、枯落物持水及土壤蓄水等水文功能。结果表明, 不同植被类型的冠层截留能力相差较大, 其中, 沙棘灌丛的截留率最高(24.80%), 华北落叶松林略低(21.40%), 虎榛子灌丛最低(9.25%); 与此相反, 树干茎流率以虎榛子灌丛为最高(33.18%), 超出大多数干旱半干旱区灌木树干茎流范围(2%~10%)。从季节变化上看, 不同植被群落的截留率均为6月份最大, 7—9月份持续下降, 10月份出现回升; 但截留量均为7月份最大。枯落物持水性能以华北落叶松林样地为最高, 其次为虎榛子灌丛、沙棘灌丛和草地, 这与各植被类型枯落物层贮存量的大小排序一致。1 m 土层的土壤容重以虎榛子样地为最小(1.03 g·cm⁻³), 然后依华北落叶松(1.07 g·cm⁻³)、草地(1.08 g·cm⁻³)、沙棘(1.16 g·cm⁻³)的顺序增大。土壤总孔隙度、最大持水量以华北落叶松林样地为最高, 毛管孔隙度、毛管持水量以虎榛子样地为最高, 非毛管孔隙度以草地为最高; 这几项指标均以沙棘样地为最低。综上所述, 从林冠截留、枯落物持水性、土壤物理性质等总体来看, 华北落叶松人工林的土壤存蓄水、调水能力最强, 其次为虎榛子灌丛和草地, 沙棘灌丛最差。

关键词: 华北落叶松; 沙棘; 虎榛子; 草地; 冠层截留; 持水量; 土壤物理性质

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0193-07

Hydrological functions of several vegetations in Diediegou valley in north Liupan Mountain

LIU Qian^{1,2}, WANG Ping¹, XIONG Wei², WANG Yan-hui²,
DU A-peng³, LI Zhen-hua², WANG Yan-bing⁴

(1. College of Resource & Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. The Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF/Key Laboratory of Forest Ecological Environment of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 3. China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang, Guangdong 524022, China; 4. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: The hydrological functions, in terms of canopy interception and water holding capacity of litters and soil layers, were assessed in several vegetations in the semi-arid region in north part of Liupan Mountain, Ningxia, China. The results indicated that the canopy interception differed notably among different vegetations, with the maximal value (24.80%) in the shrubs of *Hippophae rhamnoides*, followed by the plantations of *Larix principis-rupprechtii* (21.40%), and the minimal value (9.25%) in the shrubs of *Ostryopsis davidiana*. Conversely, the maximal stem flow ratio (33.1%) appeared in the shrubs of *Ostryopsis davidiana*, which exceeded the general range (2%~10%) of most shrubs in arid and semi-arid regions. From the aspect of seasonal variation, the maximal interception ratio appeared in

收稿日期: 2012-10-05

基金项目: 林业公益性行业科研专项(200904056, 201104005-02); “十二五”国家科技计划课题(2011BAD38B0503, 2012BAD22B030102); 国家自然科学基金(41071023, 41230852)

作者简介: 刘 千(1985—), 男, 广东清远人, 硕士研究生, 主要从事森林生态、森林水文方面研究。E-mail: qianliu2000@126.com。

通讯作者: 王 平(1966—), 男, 教授, 主要从事农业资源与环境、植物营养学方面的研究。E-mail: wp1826@126.com。

熊 伟(1966—), 男, 副研究员, 主要研究方向为森林生态水文和树木生理生态学。E-mail: xwcaf@163.com。

June, then decreased from July to September, and increased again in October. However, the maximal interception amount appeared in July for all vegetations studied. The highest water holding capacity of litter layers was in the plantations of *Larix principis-rupprechtii*, followed by the shrubs of *Ostryopsis davidiana* and *Hippophae rhamnoides* and the grassland, being the same as the sequence of litter stock. The soil bulk density in 0~100 cm layer was minimal in the shrubs of *Ostryopsis davidiana*, and maximal in the shrubs of *Hippophae rhamnoides*. The total porosity and water-holding capacity were maximal in the plantations of *Larix principis-rupprechtii*, while the capillary porosity and capillary water-holding capacity were maximal in the shrubs of *Ostryopsis davidiana*, and the non-capillary porosity was maximal in the grassland; the worst soil porosities was found in the shrubs of *Hippophae rhamnoides*. Considering comprehensively the canopy interception, water holding capacity of litters and soil physical properties, the best hydrological functions appeared in the plantations of *Larix principis-rupprechtii*, then the shrubs of *Ostryopsis davidiana* and the grassland, and the worst functions appeared in the shrubs of *Hippophae rhamnoides*.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii*; *Hippophae rhamnoides*; *Ostryopsis davidiana*; grassland; canopy interception; water holding capacity; soil physical property

植被的水文功能大小是植被建设与生态恢复工作的重要决策依据。这些水文功能主要表现在冠层的降水截留与再分配^[1-3]、枯落物层及土壤层的水分存蓄及调配上^[4-6]。不同植被类型因其生长及结构特性、地被物厚度及贮量、土壤特性等的差异,呈现高低不同的水文功能^[7-9]。目前对植被水文功能的报道多集中于森林,缺乏灌丛、草地等的研究,尤其对灌木树干茎流产生条件、影响因素及与降水特征的关系等问题还很不明确^[10-12];此外,不同植被类型间水文功能的比较也很少。研究上述问题不仅对深入认识干旱缺水地区的典型植被群落的水文影响具有重要的意义,也能为该区的植被恢复与重建提供理论依据。

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)是宁夏南部六盘山区引入较早、种植较广的生态恢复树种之一,适应性强、生长良好,在当地水源涵养中发挥着重要作用^[13]。沙棘(*Hippophae rhamnoides*)与虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)同为当地主要灌木,对干旱缺水、土薄石多的恶劣条件有较强适应性,具有重要水土保持作用。本研究在六盘山北侧的典型半干旱区,以上述几种植物为对象,从比较其冠层截留、枯落物持水及土壤蓄水能力出发,阐述不同植被的生态水文功能,为干旱缺水地区的林水调控、生态造林及其合理发展提供理论指导及科学依据。

1 研究区概况

叠叠沟小流域(106°4'55"~106°9'15"E, 35°54'12"~35°58'33"N)位于六盘山北侧,行政上隶属宁夏回族自治区固原市原州区。典型半干旱大陆性季风气候,海拔 1 975~2 615 m,年均气温 6℃~7℃,无霜期 130 d 左右,年均降雨量 449 mm。植被水平分布

属于温带草原区南部森林草原地带,在长期人为扰动下,形成了多种土地利用方式镶嵌的景观格局。乔木林主要是人工栽培的华北落叶松林和少量杨树(*Populus* spp.)林,多分布在阴坡或其他坡底部。草地占流域面积的 58.7%^[14],阳坡、半阴坡多以铁杆蒿(*Artemisa vestita*)为优势种,阴坡以本氏针茅(*Stipa bungeana*)、凤毛菊(*Saussurea maximowiczii*)和细叶苔草(*Carex stenophylla*)等禾本科杂草为主。灌丛呈条带或斑块状镶嵌在草地坡面上,主要有沙棘、虎榛子、绣线菊(*Spiraea* sp.)等。土壤类型以灰褐土为主,黄土次之。成土母质为页岩、灰岩风化的残积物和坡积物,土壤中石砾体积含量为 5.96%^[15]。

2 研究方法

2.1 样地设置

选择生长良好的 4 种典型植被,在小流域内设置 4 个观测样地,包括乔木林、灌丛和草地等植被类型,样地特征见表 1。除华北落叶松样地面积为 30×30 m² 外,其余皆为 20×20 m²。

2.2 冠层截留观测

采用 Weatherhawk-232 自动气象站观测生长季内大气降水(P , mm)。林下穿透雨(T , mm)采用机械布设的 12~16 个集雨筒测定,其直径在乔木样地为 20 cm,在灌木样地为 9 cm。树干茎流(S , mm)通过选取不同径级的样木,采用剖开的塑料软管(用于华北落叶松和沙棘)或瓶盖^[10](用于虎榛子)作槽用于集水,收集于塑料桶中,华北落叶松林地按照下式计算林分的树干茎流量算出样地茎流深。草地截留在林分截持中所占比例太少,所以在林冠截持上忽略。

表1 叠叠沟小流域不同植被的样地特征

Table 1 Characteristics of sampling plots of different vegetationst in Diedieogou valley

编号 Plot	植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude /m	坡向 Aspect	坡度 Slope/°	坡位 Slope location	土壤厚度 Soil thickness /cm	郁闭度 Canopy density	林龄 Forest age /a	密度 /(株·hm ⁻²) Density /(plant·hm ⁻²)	平均胸径 /地径 Mean DBH /cm	平均树高 Mean tree height /m	枯落物 盖度 Litter coverage
1	华北落叶松人工林 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	2041	NW	11	中下 Mid-lower	> 200	0.75	28	1600	9.25	8.84	0.95
2	沙棘天然灌丛 <i>Hippophae rhamnoides</i>	2011	SE	25	下坡 Lower	> 100	0.95	19	2600	6.94	2.71	0.95
3	虎榛子天然灌丛 <i>Ostryopsis davidiana</i>	2076	NW	34	坡中 Middle	100	0.98	15	9.1 × 10 ⁵	0.84	1.1	0.98
4	天然草地 Grassland	2010	E	33	中下坡 Mid-lower	> 100	0.95					0.95

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{S_N \cdot M_N}{A \cdot 10^3}$$

其中, S 为树干茎流深(mm); N 为样地内林木的树干径级数; S_N 为每一径级的单株树干茎流体积(ml); M_N 为每个径级的树木株数; A 为样地面积(m²)。

冠层截留量(I , mm) 计算采用水量平衡公式, 即 $I = P - T - S$ 。

$$\text{林冠截留率} = \frac{I(\text{mm})}{P(\text{mm})} \times 100\%$$

2.3 枯落物持水量测定

在各样地机械布置 3~6 个 50 × 50 cm² 样方, 收获枯落物(包括未分解层和半分解层), 风干后浸水, 在第 0.5、1、1.5、2...13.5、14、18、24 小时取出, 静置 5~10 min, 在不滴水时迅速称重, 获得枯落物吸水过程, 并将浸水 24 h 后的持水率视为最大持水率(%), 后在 75℃ 下烘干至恒重, 计算枯落物贮存量(t·hm⁻²)及其最大持水量(t·hm⁻²)、最大持水深(mm)。

2.4 土壤物理性质测定

采用环刀法在各样地分层采取土样, 每层 3 次重复, 取至 1 m(不足 1 m 则取至岩层), 带回室内采用浸水法测定容重(g·cm⁻³)、孔隙度(%)、持水量(mm)^[16]等土壤水文物理性质。

3 结果与分析

3.1 植被冠层的降水截留分配

研究区 2011 年生长季(5—10 月)共降水 473 mm, 其中 75.48% 分布在 7—9 月份。整理生长季共 29 场降雨资料(表 2)发现, 沙棘灌丛的降水截留量最大(117.3 mm), 截留率达 24.80%, 其次为华北落

叶松林地(21.40%), 二者远高于株型细矮、叶量少、茎干光滑的虎榛子灌丛(9.25%)。从样地特征可以看出, 沙棘灌丛林分密度和郁闭度均远大于华北落叶松林地, 因此出现沙棘灌丛截留量高于华北落叶松。从月动态上看, 截留率均为 6 月份最大, 7—9 月份持续下降, 10 月份出现回升; 但截留量均为 7 月份最大。这是由于 6 月份雨量小、蒸发强, 且降水间隔时间长, 枝叶、树皮较为干燥, 因此截留率大; 伴随雨季到来, 降水连续且量大, 空气湿度大, 树木湿润, 不利于截留降水; 雨季结束后, 降水情况恢复至生长季初期水平, 虽然树叶已部分凋落, 但截留率仍有所提高。

林下透雨率以华北落叶松林地最高(77.14%), 沙棘灌丛次之(74.62%), 虎榛子灌丛最低(57.57%), 这与植被的空间结构, 如密度、郁闭度/盖度有直接关系; 同时也与降水特性有关, 如 3 种植被的透雨量最大值均出现在降水较多且暴雨多发的 9 月份。

树干茎流率表现为华北落叶松林地(1.46%) > 沙棘灌丛(0.58%), 但二者远低于虎榛子灌丛(33.18%)。这可能是因虎榛子灌丛冠层覆盖度极大, 同时冠型紧凑、分枝少且枝干光滑, 利于产生茎流有关。而沙棘灌丛的树干茎流低于华北落叶松林地, 因沙棘主干倾斜生长且枝干粗糙, 然后枝往上生长一定程度后往下生长, 而叶片大部分均在往下生长的枝干上, 不利产生茎流, 导致沙棘灌丛茎流偏少。

草本截持在冠层截持研究中常常被人们所忽视, 目前研究较少。在一场多达 51.6 mm 的降雨之后(此时草本截持容量已基本饱和), 利用滤纸吸附草本植物上的截持水分, 迅速称重, 之后测定草本取样的叶面积和滤纸的干重。草本植物持水重量即为

干湿滤纸重量之差。

刘建立在同一半阴坡底部测得的天然草地总生物量为 $1\ 968.3\ \text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 地上地下生物量比值为 19.15%, 由此推得此样地地上生物量为 316.4

$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ [17]。本试验测得各草本植物单位叶面积截持降水率平均为 $0.02\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$, 通过样地地上生物量换算成持水水深为 $0.85\ \text{mm}$, 占到此次降雨总量的 1.64%。

表 2 叠叠沟小流域生长季(5—10月)几种植被对降雨的分配

Table 2 Redistribution of rainfall during growing season (May – Oct.) of several vegetations in Diedieogou valley

植被类型 Vegetation type	月份 Month	降雨量/mm Precipitation	透雨量 Rainfall penetration		茎流量 Stem flow		截留量 Interception	
			/mm	/%	/mm	/%	/mm	/%
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	5	47	39.2	83.50	0.5	0.99	7.3	15.51
	6	31	19.8	63.82	0.1	0.40	11.1	35.78
	7	123	95.7	77.79	1.3	1.05	26.0	21.16
	8	105	84.5	80.52	2.2	2.12	18.2	17.36
	9	129	100.6	77.95	2.5	1.94	25.9	20.11
	10	38	25.0	65.89	0.3	0.85	12.6	33.27
	5—10	473	364.8	77.14	6.9	1.46	101.2	21.40
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	5	47	32.5	69.06	0.3	0.63	14.2	30.31
	6	31	19.9	64.07	0.1	0.46	11.0	35.47
	7	123	86.0	69.94	1.0	0.83	36.0	29.23
	8	105	81.7	77.79	0.4	0.37	22.9	21.84
	9	129	104.1	80.68	0.7	0.57	24.2	18.75
	10	38	28.9	75.97	0.2	0.41	9.0	23.61
	5—10	473	353.0	74.62	2.7	0.58	117.3	24.80
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	5	47	28.1	59.75	14.8	31.47	4.1	8.78
	6	31	16.0	51.60	10.8	34.70	4.2	13.70
	7	123	65.4	53.17	44.2	35.94	13.4	10.88
	8	105	59.1	56.28	40.0	38.09	5.9	5.63
	9	129	82.1	63.62	35.6	27.62	11.3	8.76
	10	38	21.7	57.02	11.6	30.41	4.8	12.56
	5—10	473	272.3	57.57	156.9	33.18	43.7	9.25

3.2 枯落物层的持水能力

植被枯落物层的水文功能主要表现为拦蓄降水、阻延地表径流形成和降低雨滴动能等,从而减少水土流失,增加土壤入渗,其功能强弱取决于贮存量 and 持水率大小。表 3 表明,不同植被的枯落物贮存量差别很大,这与叶片分解难易程度及植被总生物量大小有关,表现为:华北落叶松林($6.49\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)

> 虎榛子($5.78\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 沙棘($3.13\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 草地($2.53\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。以持水量或持水深评价时,为华北落叶松($21.55\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, $2.2\ \text{mm}$ 水深)最大,其次为虎榛子($12.75\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, $1.3\ \text{mm}$)、沙棘($9.02\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, $0.9\ \text{mm}$)和草地($5.55\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, $0.6\ \text{mm}$)。尽管沙棘枯落物持水率大于虎榛子,但其厚度和贮存量远远小于后者,因此持水量也较低。

表 3 叠叠沟小流域几种植被的枯落物贮存量及持水能力

Table 3 Storage and water-holding capacity of litter layer of several vegetations in Diedieogou valley

植被类型 Vegetation type	厚度/cm Thickness	贮存量/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Litter storage	最大持水率/% Maximum water-holding rate	最大持水量/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Maximum water-holding amount	最大持水深/mm Maximum water-holding depth
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	4.4	6.49	332.2	21.55	2.2
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	3.2	3.13	288.6	9.02	0.9
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	4.4	5.78	220.6	12.75	1.3
草地 Grassland	3.2	2.53	219.5	5.55	0.6

对风干枯落物进行浸水过程(见图1)实验后发现,随浸水时间的延长,不同植被的枯落物持水率变化依次经历快速增大期(浸水0~2 h)、慢速增大期(2~5 h)、趋于稳定期(5~10 h)及稳定期。其中,0.5 h增幅均为最大,不同植被表现为沙棘>华北落叶松>虎榛子>草地;5 h内,沙棘枯落物持水率保持最高,其次为华北落叶松、虎榛子和草地;5 h后,

华北落叶松持水率逐渐超过沙棘,而草地持水率逐渐与虎榛子持平;10 h后枯落物持水率不再变化。采用对数函数对4种植被枯落物吸水过程进行拟合,所得回归方程见图1。其中, y 为枯落物持水率, x 为浸水时间(h),方程确定系数 R^2 均大于0.90($P < 0.001$)。

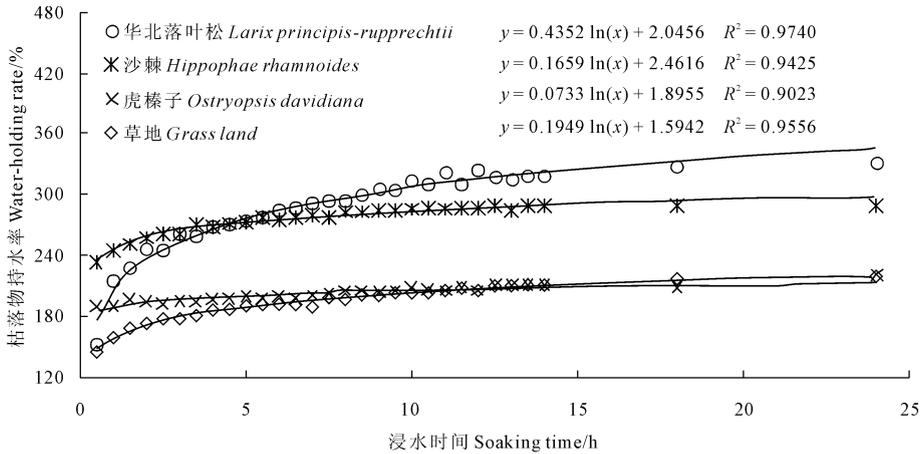


图1 不同植被的枯落物持水率与浸水时间的关系

Fig.1 The relation between water-holding rate of litters of different vegetations and soaking time

3.3 土壤层的蓄水能力

蓄水能力是土壤层生态水文功能的主要特征之一,与土壤容重、孔隙度等物理特性有关。表4显示,不同植被间土壤(0~100 cm)容重相差较大,变动在 $1.03 \sim 1.16 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,最小为虎榛子灌丛,其次为华北落叶松林地和草地,沙棘灌丛最大。除华北落叶松人工林样地外,天然的灌丛和草地均表现出随土层加深而容重逐渐增大的趋势,最大增幅均超过30%;不同土层间容重变异系数(C.V.)表现为虎榛子灌丛(13.44%)>草地(11.09%)>沙棘灌丛(9.78%)>华北落叶松林地(2.53%)。整体而言,华北落叶松林1 m土层的土壤容重较低且随深度变化不明显,灌丛、草地的土壤容重在表层(0~20 cm)很低,越深处越高。这可能与不同植被的根系分布特性有关。

与容重相反,土壤孔隙度及持水量均以沙棘灌丛为最小;以总孔隙度评价时,华北落叶松林地最高(58.86%),毛管孔隙度以虎榛子灌丛最高(51.33%),非毛管孔隙度则草地最高(7.91%);1 m土层的最大持水量表现为:华北落叶松林地(545.64 mm)>虎榛子灌丛(545.03 mm)>草地(517.66 mm)>沙棘灌丛(455.63 mm)。综上可知,华北落叶松林地土壤存蓄水分、调节水分的能力最强,其次为虎榛

子灌丛和草地,最差的是沙棘灌丛。

4 结果与讨论

通过对叠叠沟小流域几种植被“冠层—枯落物层—土壤层”生态水文功能的研究,发现:

1) 不同植被类型的冠层截留能力相差较大,其中沙棘灌丛截留率最高,达到24.80%,超过了华北落叶松林地(21.40%),远高于虎榛子灌丛(9.25%),与科尔沁沙地小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)灌丛(25.1%)^[10]、毛乌素沙地沙柳(*Salix psammophila*)灌丛(24.9%)的截留率^[11]较相似,这主要与同处半干旱区,降雨特性类似有关。沙棘灌丛截留率高于华北落叶松林地是因为从林分密度和郁闭度均高于华北落叶松林地,虎榛子截留率低是因为其株型低矮、叶量少、茎干细且光滑。但正因如此,虎榛子灌丛的树干茎流率高达33.18%,远高于华北落叶松林地(1.46%)和沙棘灌丛(0.58%),也超出大多数干旱半干旱地区灌木树干茎流的范围(2%~10%)^[12]。从月动态上看,不同植被的截留率均为6月份最大,7—9月份持续下降,10月份出现回升;但截留量均为7月份最大。

2) 枯落物层的持水能力在很大程度上取决于其贮存量的大小。本研究区华北落叶松林地枯落物

表 4 叠叠沟小流域几种植被的土壤水文物理性质
Table 4 Soil hydro-physical characteristics of several vegetations in Diedieogou valley

样地 Plot	深度 Soil depth /cm	容重 Bulk density /(g·cm ⁻³)	总孔隙度 Total porosity /%	毛管孔隙度 Capillary porosity /%	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity /%	最大持水量 Maximum water storage /mm	毛管持水量 Capillary water storage /mm
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	0~10	1.08	56.88	52.28	4.60	52.71	48.44
	10~20	1.02	66.71	61.31	5.40	65.45	60.05
	20~40	1.10	56.95	51.15	5.81	103.90	93.33
	40~60	1.08	57.06	49.00	8.05	106.68	91.34
	60~80	1.05	58.95	46.58	12.37	112.64	88.90
	80~100	1.09	56.60	46.25	10.34	104.26	85.04
	0~100	1.07	58.86	51.09	7.76	545.64	467.10
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	0~10	0.98	60.91	51.87	9.04	61.97	52.75
	10~20	1.17	52.20	47.74	4.46	44.46	40.67
	20~40	1.13	55.37	49.47	5.90	97.74	87.32
	40~60	1.10	55.39	50.23	5.16	100.74	91.34
	60~80	1.25	50.25	46.56	3.69	80.72	74.84
	80~100	1.34	47.03	44.65	2.38	70.00	66.44
	0~100	1.16	53.52	48.42	5.10	455.63	413.36
虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	0~10	0.80	63.30	56.95	6.35	79.14	71.24
	10~20	0.90	62.92	54.02	8.91	70.03	60.14
	20~40	1.07	55.14	50.51	4.64	103.42	94.67
	40~60	1.06	57.59	47.33	10.26	108.84	89.46
	60~80	1.13	54.60	49.84	4.76	97.08	88.60
	80~100	1.21	52.16	49.32	2.84	86.52	81.82
	0~100	1.03	57.62	51.33	6.29	545.03	485.93
草地 Grassland	0~10	0.85	63.04	54.01	9.03	74.49	63.76
	10~20	1.05	57.97	52.06	5.91	55.38	49.65
	20~40	1.06	57.61	49.96	7.65	109.29	94.76
	40~60	1.16	53.06	43.85	9.21	91.98	75.96
	60~80	1.16	56.34	50.08	6.26	97.30	86.52
	80~100	1.22	54.41	45.00	9.41	89.22	73.64
	0~100	1.08	57.07	49.16	7.91	517.66	444.29

贮存量(6.49 t·hm⁻²)及最大持水量(21.55 t·hm⁻²,相当于 2.2 mm 水深)均为最高,其次为虎榛子灌丛、沙棘灌丛和草地,三者最大持水量依次为 12.75、9.02 t·hm⁻²和 5.55 t·hm⁻²。与其它林分枯落物相比,华北落叶松 2.2 mm 水深明显低于武夷山甜槠林(5.2 mm)和滇中常绿阔叶林(5.4 mm)的最大持水量,但高于海南岛山地雨林和热带次生林(0.7~1.1 mm),这主要与华北落叶松人工林凋落物层分解较慢,蓄积量较大有关。

浸水试验表明,枯落物吸水速率均在起初的 0.5 h 内最大,不同植被表现为沙棘灌丛 > 华北落叶松林地 > 虎榛子灌丛 > 草地;5 h 后,华北落叶松持水率逐渐超过沙棘;10 h 后枯落物持水率不再变化。

采用对数函数对枯落物吸水过程进行了拟合, R^2 均大于 0.90($P < 0.001$),表明在充分供水条件下枯落物吸持水速率与时间的关系达到极显著水平。

3) 1 m 土层的土壤容重以沙棘灌丛为最大,其次为草地和华北落叶松林地,虎榛子灌丛最小;除华北落叶松人工林外,天然的灌丛、草地其容重均随土层加深而逐渐增大。总孔隙度以华北落叶松林地为最高,毛管孔隙度虎榛子灌丛最高,非毛管孔隙度则草地最高;沙棘灌丛的各项孔隙度指标均为最低。土壤持水量表现为华北落叶松林地最高,虎榛子灌丛和草地次之,沙棘灌丛最低。综上可知,华北落叶松林地土壤存蓄水分、调节水分的能力最强,虎榛子灌丛和草地次之,沙棘灌丛最差。

参考文献:

- [1] 王彦辉.几个树种的树冠降雨特征[J].林业科学,2001,37(4):2-9.
- [2] 徐丽宏,时忠杰,王彦辉,等.六盘山主要植被类型冠层截留特征[J].应用生态学报,2010,21(10):2487-2493.
- [3] 吕瑜良,刘世荣,孙鹏森,等.川西亚高山不同暗针叶林群落类型的冠层降水截留特征[J].应用生态学报,2007,18(11):2398-2405.
- [4] 朱金兆,刘建军,朱清科,等.森林凋落物层水文生态功能研究[J].北京林业大学学报,2002,24(5/6):30-34.
- [5] 时忠杰,王彦辉,徐丽宏,等.六盘山主要森林类型枯落物水文生态功能[J].北京林业大学学报,2009,31(1):91-99.
- [6] 李德生,张萍,张水龙,等.黄前库区森林土壤蓄水能力研究[J].南京林业大学学报,2004,28(1):25-28.
- [7] 刘世荣,温远光,王兵,等.中国森林生态系统水文生态功能规律[M].北京:中国林业出版社,1996:12-30.
- [8] 时忠杰,王彦辉,于涛涛,等.宁夏六盘山林区几种主要森林植被生态水文功能研究[J].水土保持学报,2005,19(3):134-138.
- [9] 崔鸿侠,张卓文,陈玉生,等.三峡库区莲峡河小流域马尾松水文生态效应[J].中南林学院学报,2005,25(2):46-49.
- [10] 李衍青,张铜会,赵学勇,等.科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌丛降雨截留特征研究[J].草业学报,2010,19(5):267-272.
- [11] 杨志鹏,李小雁,孙永亮,等.毛乌素沙地沙柳灌丛降雨截留与树干茎流特征[J].水科学进展,2008,19(5):693-698.
- [12] 杨志鹏,李小雁,刘连友,等.毛乌素沙地固沙灌木树干茎流特征[J].科学通报,2008,53(8):939-945.
- [13] 李怀珠.论宁夏六盘山地区针阔混交林水源涵养林工程建设现状及发展规划[J].宁夏农林科技,1999,(3):22-24.
- [14] 郭明春.六盘山叠叠沟小流域森林植被坡面水文影响的研究[M].北京:中国林业科学研究院,2005:47
- [15] 杜阿朋,王彦辉,管伟,等.六盘山叠叠沟小流域的土壤石砾含量坡面分布特征[J].水土保持学报,2009,23(5):77-80.
- [16] 林业部科技司.森林生态系统定位研究方法[M].北京:中国科学技术出版社,1994.
- [17] 刘建立.六盘山叠叠沟坡面生态水文过程与植被承载力研究[D].北京:中国林业科学研究院,2008.

(上接第 192 页)

参考文献:

- [1] Dehaan R L, Taylor G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization[J]. Remote Sens. Envir., 2002,80:406-417.
- [2] Csillag F, Pasztor L, Bieh L. Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils[J]. Remote Sensing of Environment, 1993,(43):231-242.
- [3] Yousef Y. Aldakheel. Assessing NDVI spatial pattern as related to irrigation and soil salinity management in Al-hassa Oasis, Saudi Arabia[J]. J Indian Soc Remote Sens, 2011,39(2):171-180.
- [4] 扶卿华,倪绍祥,王世新,等.土壤盐分含量的遥感反演研究[J].农业工程学报,2007,23(1):48-54.
- [5] 马诺,杨辽,李均力.焉耆盆地土壤盐渍化的光谱特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):114-117.
- [6] 孙红,李民赞,赵勇,等.露天煤矿排土场地表的光谱特征和土壤参数分析[J].光谱学与光谱分析,2009,29(12):3365-3368.
- [7] 刘焕军,张柏,刘殿伟,等.松嫩平原典型土壤高光谱定量遥感研究[J].遥感学报,2008,12(4):647-654.
- [8] Sudduth K A, Kitchen N R, Sadler E J, et al. VNIR spectroscopy estimates of within-field variability in soil properties[J]. Progress in Soil Science, 2010,1(3):153-163.
- [9] Zhang F, Tiyip T, Ding J L, et al. Spectral reflectance properties of major objects in desert oasis: a case study of the Weigan-Kuqa river delta oasis in Xinjiang, China[J]. Environ Monit Assess, 2012,184(8):5105-5119.
- [10] 殷允相.龟裂碱土的形成、性质及改良途径[J].土壤通报,1985,5:206-208.
- [11] 黄振华.宁夏白疆土的改良[J].土壤,1961,6:11-14.
- [12] 何挺,王静,程焱,等.土壤氧化铁光谱特征研究[J].地理与地理信息科学,2006,3(2):30-34.
- [13] 黄燕,吴平.SAS统计分析及应用[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [14] 戴昌达.中国主要土壤光谱反射特性分类与数据处理的初步研究[C]//遥感文献.北京:科学出版社,1981.
- [15] 张芳,熊黑钢,丁建丽,等.碱化土壤的野外及实验室波谱响应特征及其转换[J].农业工程学报,2012,28(5):101-107.