

贺兰山 4 种典型森林类型凋落物持水性能研究

赵晓春^{1,2}, 刘建军^{1,2}, 任军辉^{1,2}, 刘 斌^{1,2}, 母吉君³

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 宁夏贺兰山森林生态站, 银川 750021;
3. 内蒙古巴彦淖尔市水土保持站, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘 要:采用野外实地观测与室内浸提法,对贺兰山 4 种典型森林类型(油松青海云杉混交林、油松山杨混交林、油松纯林和青海云杉纯林)林地凋落物的储量、持水量、持水率和吸水速率进行了研究。结果表明:4 种类型的林分凋落物储量大小依次为青海云杉纯林>油松云杉混交林>油松纯林>油松山杨混交林;油松纯林、油松云杉混交林、青海云杉纯林和油松山杨混交林的凋落物最大持水量分别为 38.46、40.11、46.78、36.35 t/hm²;最大持水率分别为 152.56%、150.79%、144.43%和 184.14%,各林分凋落物的持水量和持水率都随着浸泡时间的增加按照对方程增加;吸水速率呈现油松山杨混交林>油松云杉混交林>油松纯林>青海云杉纯林,且各林分的凋落物吸水速率随浸泡时间的增长按幂函数方程下降。有效拦蓄量林间变化范围为 10.7~15.73 t/hm²,油松山杨混交林最大,为 15.73 t/hm²,油松纯林(14.05 t/hm²)和油松云杉混交林(11.98 t/hm²)次之,青海云杉纯林最小,仅为 10.7 t/hm²。

关键词:贺兰山;凋落物;持水量;持水率;吸水速率;有效拦蓄量

中图分类号:S715.3 文献标识码:A 文章编号:1005-3409(2011)02-0107-05

Study on Water-holding Capacity of Litter in Four Forest Types of Helan Mountain

ZHAO Xiao-chun^{1,2}, LIU Jian-jun^{1,2}, REN Jun-hui^{1,2}, LIU Bin^{1,2}, MU Ji-jun³

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Helan National Nature Reseve Authority, Yinchuan 750021, China;
3. Inner Mongolian Bayannor Conservation of water and soil station, Bayannaouer, Inner mongolia 015000, China)

Abstract:By the methods of field investigation and soaking extraction, the storage, water-holding capacity, water-holding rate, and water-absorption rate of the litter in the mixture of *Pinus tabulaeformis* and *Picea crassifolia*, the mixture of *Pinus tabulaeformis* and *Populus davidiana*, pure *Picea crassifolia*, and pure *Pinus tabulaeformis* plantations in Helan Mountain were studied. The results showed that the litter storage in the four vegetation types decreased in the order of pure *P. crassifolia* (32.39 t/hm²)>the mixed of *P. tabulaeformis* and *P. crassifolia* (26.6 t/hm²)>pure *P. tabulaeformis* (25.21 t/hm²)>the mixed of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana* (19.74 t/hm²). The total water-holding capacity of pure *P. tabulaeformis*, the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. crassifolia*, pure *P. crassifolia* and the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana* were 38.46, 40.11, 46.78t, 36.35 t/hm², respectively. The proportional water-holding capacity as a percentage of the litter dry weight in pure *P. tabulaeformis*, the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. crassifolia*, pure *P. crassifolia* and the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana* were 152.56%, 150.79%, 144.43% and 184.14%, respectively. The water-holding capacity and water-holding rate of the litter changed logarithmically with soaking time. The order of the water-absorption rate of litter was the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana*>the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. crassifolia*≥pure *P. tabulaeformis*>pure *P. crassifolia*. The water-absorption rate of four plantations decreased according to equation with increasing time immersed in water. The modified interception of the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. davidiana* (15.73 t/hm²) was the largest among the four plantations, followed by pure *P. tabulaeformis* (14.05 t/hm²) and the mixture of *P. tabulaeformis* and *P. crassifolia* (11.98 t/hm²), and the smallest was pure *P. crassifolia* (10.7 t/hm²)

Key words: Helan Mountain; litter; water-holding capacity; water-holding rate; water-absorption rate; modified interception

森林凋落物是指覆盖在林地矿质土壤表层上的新鲜、半分解的凋落物，它是森林植物地上部分各器官的枯死脱落物的总称。凋落物层作为森林生态系统中独特的结构层次，其生态功能并不单纯依赖于地上活体部分^[1-2]。它不仅在森林生态系统养分循环、维持土壤肥力方面扮演着重要角色，而且在维持森林水量平衡方面起着积极作用^[3-4]。森林凋落物一方面由于其结构疏松，削弱了雨滴对土壤的直接溅击，阻滞和吸收一部分通过林冠而降落到地表的水分；另一方面能增加地表的粗糙度，大大地减少了地表径流的产生，增加了土壤水分下渗，因此，森林凋落物对于保持水土和涵养水源具有重要作用^[5-6]。

贺兰山地处我国温带草原区与荒漠区的过渡地带，是银川平原的天然屏障和水源涵养区，保存着西北干旱区较为罕见的天然森林生态系统，植被类型主要包括荒漠、草原、灌木林、疏林草原、针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林。油松青海云杉混交林(the mixed of *Pinus tabulaeformis* and *Picea crassifolia*)、油松山杨混交林(the mixed of *Pinus tabulaeformis* and *Populus davidiana*)、油松纯林(pure *Picea crassifolia*)和青海云杉纯林(pure *Pinus tabulaeformis*)作为几种最主要的森林类型，在调节气候、固水保土，尤其是涵养水源方面发挥着异常重要的作用。为此，在该区森林凋落物持水特性研究尚鲜见报道的情况下，本文以贺兰山自然保护区苏峪口森林保护生态站主要林型为研究对象，研究森林凋落物层的持水能

力，为准确评价其水源涵养、水土保持功能，制定森林经营管理措施提供理论依据。

1 研究区概况

贺兰山位于东经 105°20′—106°40′、北纬 38°07′—39°30′，处在典型的大陆性气候区域范围内，具有山地气候特征。其年平均气温—0.9℃，极端最高气温 25.2℃，极端最低气温—31.4，≥10℃积温，山下较高，苏峪口为 3 364℃，山顶最少，贺兰山气象站为 625℃，年日照时数 3 100 h，无霜期 124 d，年均降水量自山麓至高带为 200~600 mm，6—8 月最为集中。贺兰山林区植被由于受山形地区的变化以及气候、土壤、海拔、降水量等条件的差异，植被的垂直分布明显，自山麓到山顶有 5 个植被垂直带，分别为：山麓荒漠草原带、疏林草原带、针阔混交林带、针叶林带和亚高山灌丛草甸带。贺兰山林区森林主要分布在海拔 2 000~3 000 m 的范围内，绝大部分在阴坡，处在低温干旱的环境中。

2 研究方法

2.1 标准地选择

2010 年 7—9 月，在实地调查的基础上，在研究区内设临时标准地共 55 块(其中油松青海云杉混交林 21 个，油松山杨混交林 10 个，油松纯林 7 个，青海云杉纯林 17 个)，每块标准地的面积均为 400 m²，研究对象均为天然林(试验地概况见表 1)。

表 1 试验林概况

林分类型盖度	平均树高/m	平均胸径/cm	郁闭度/%	坡度/(°)	主要林下植被	林下植被
油松云杉混交林	10	12	0.6~0.7	30	杜松、荀子等	稀疏
油松山杨混交林	10	11	0.6~0.7	30	虎榛子、栒子等	10%以下
油松纯林	10	11	0.6~0.7	30	小叶忍冬、虎榛子、栒子等	10%以下
青海云杉纯林	9	10	0.7	30	荀子、小檗、小叶忍冬等	10%以下

小叶忍冬(*Lonicera microphylla*)、小檗(*Berberis oritrepha*)、荀子(*Cotoneaster zabelii*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)

2.2 凋落物储量调查

在每块标准地四角及中心位置，机械布设 1 m×1 m 的小样方 5 个。测定凋落物厚度，然后一次性收集小样方内的全部凋落物，调查凋落物鲜质量，带回实验室取部分烘干(80℃)至恒质量，由此可计算凋落物单位面积的储量(又称现存量)和自然含水率。

2.3 凋落物持水性测定

在烘干至恒重的各样方凋落物中分别取部分凋落物称重，然后装入网袋后分别浸入水中 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6, 8, 10, 24 h 后，捞起并静置 5 min 至凋落

物不滴水时称重，每个植被类型重复 3 次，取平均值，以研究其吸水速度及吸水过程。用下列公式计算凋落物持水量、凋落物持水率、凋落物吸水速率^[7]和凋落物有效拦蓄量^[8]。

凋落物持水量(t/hm²)=[凋落物湿重(kg/m²)—凋落物干重(kg/m²)]×10

凋落物持水率(%)=(凋落物持水量/凋落物干质量)×100
凋落物吸水速率[(g/kg·h)]=凋落物持水量(g/kg)/吸水时间(h)

凋落物有效拦蓄量(t/hm²)=[0.85×最大持水率(%)

—平均自然含水率(%)×凋落物现存量(t/hm²)

当凋落物含水量达到饱和时称最大持水量。一般情况下,凋落物浸水 24 h 后的持水量可视为该凋落物的最大持水量^[9],此时的持水率称为最大持水率。

2.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 和 Excel 2003 软件对数据进行相关性分析和回归方程的显著性检验。

3 结果与分析

3.1 凋落物储量

一般情况下,凋落物的现存量越多,其水源涵养功能越好^[10]。不同树种组成、森林类型、生长状况

林下的凋落物的储量也不同。由表 2 可以看出,研究区 4 种林分凋落物总储量大小顺序为:青海云杉纯林(32.39 t/hm²)>油松云杉混交林(26.6 t/hm²)>油松纯林(25.21 t/hm²)>油松山杨混交林(19.74 t/hm²)。

3.2 凋落物持水量

凋落物持水量有随时间不断增长的趋势(图 1)。在浸泡 4 h 后,其持水量开始缓慢增长,浸泡 8 h 后,其持水量随浸泡时间的变化幅度很小,说明此时凋落物的持水量已基本达饱和。4 种林分的最大持水量排序为:青海云杉纯林(46.78 t/hm²)>油松云杉混交林(40.11 t/hm²)>油松纯林(38.46 t/hm²)>油松山杨混交林(36.35 t/hm²)。

表 2 不同林分类型凋落物层储量和持水特性

林分类型	凋落物层厚/ cm	储量/ (t·hm ⁻²)	最大持水率/ %	最大持水量/ (t·hm ⁻²)	平均自然 含水率/%	有效拦蓄/ (t·hm ⁻²)	有效持水深/ mm
油松云杉混交林	5.3	26.6±1.33	150.79	40.11	83.15	11.98	1.20
油松山杨混交林	4.7	19.74±2.06	184.14	36.35	76.84	15.73	1.57
油松纯林	4.9	25.21±1.52	152.56	38.46	73.95	14.05	1.40
青海云杉纯林	5.6	32.39±2.27	144.43	46.78	89.72	10.70	1.07

注:凋落物储量的值为平均值±标准差。

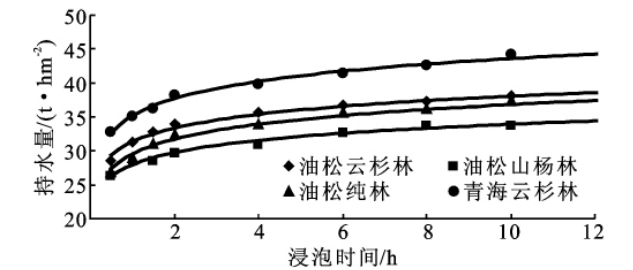


图 1 凋落物持水量与浸泡时间的关系

由表 3 可以看出,研究区 4 种林分各层凋落物的持水量 W_H 与浸泡时间 t (0.5~24 h) 之间均呈极显著的对数函数关系($P<0.001$),其相关系数(R)均大于 0.976 1。

表 3 凋落物持水量与浸泡时间的回归方程

森林类型	方程	R
油松云杉混交林	$W_H=31.324+2.9233\ln t$	0.9874**
油松山杨混交林	$W_H=27.977+2.5851\ln t$	0.9875**
油松纯林	$W_H=29.551+3.1572\ln t$	0.9761**
青海云杉纯林	$W_H=35.164+3.6622\ln t$	0.9933**

注: W_H ——凋落物持水量; t ——浸没时间。** $P<0.001$,下同。

3.3 凋落物持水率

凋落物的持水能力可通过其持水率来反映^[11-12]。凋落物的持水率用凋落物吸收的水分与凋落物干质量的比值表示,该比值越大,凋落物的持水能力就越强。研究区不同林分的凋落物在浸泡 1.5 h 后的持水率大小依次为:油松山杨混交林>油松云杉混交林

>油松纯林>青海云杉纯林,浸泡浸泡 4 h 后,凋落物持水率的增幅开始变小,浸泡 8 h 左右时,凋落物持水率趋于饱和,其最大持水率依次为:油松山杨混交林(184.14%)>油松纯林(152.56%)>油松云杉混交林(150.79%)>青海云杉纯林(144.43%)。油松山杨混交林的凋落物显示了较强的持水能力。

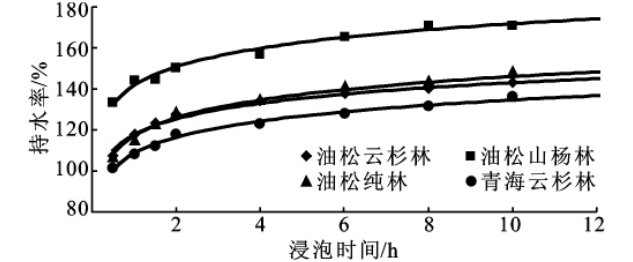


图 2 凋落物持水率与浸泡时间的关系

研究区 4 种主要林分凋落物的持水率 W_R 与浸泡时间 t (0.5~24 h) 为极显著的对数函数关系($P<0.001$),其相关系数(R)均大于 0.9761 (表 4)。说明 3 种林分各层凋落物持水率随着浸泡时间的增加而增加。

表 4 凋落物持水率与浸泡时间的回归方程

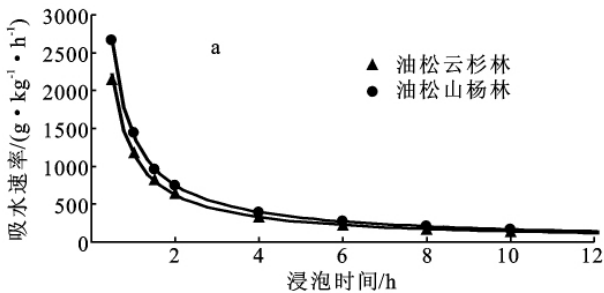
森林类型	方程	R
油松云杉混交林	$W_R=117.76+10.99\ln t$	0.9874**
油松山杨混交林	$W_R=141.73+13.096\ln t$	0.9875**
油松纯林	$W_R=117.22+12.523\ln t$	0.9761**
青海云杉纯林	$W_R=108.57+11.307\ln t$	0.9933**

注: W_R ——凋落物持水率; t ——浸泡时间。

3.4 凋落物吸水速率

凋落物吸水速率是衡量凋落物截留降水的一个指标。森林凋落物的吸水速率与持水能力紧密相关。吸水速率越大, 林内降水涵蓄的速度就越快, 从而可以更好地减少地表径流的^[12]。

由图 3 可知, 研究区各林分凋落物在刚浸入水中的吸水速率均较高, 0.5 h 后凋落物的吸水速率均明显降低, 此后, 随着时间的推移, 吸水速率缓慢变小, 8 h 后吸水基本停止, 表明此时的凋落物吸水趋于



饱和。虽然研究区不同林分凋落物吸水速率过程线的整体变化趋势基本一致, 但不同林分的吸水速率过程线间还是有所偏离。在刚浸入水中时, 研究区油松云杉混交林、油松山杨混交林、油松纯林和青海云杉纯林凋落物的吸水速率(即最大吸水速率)分别为 2 147.37, 2 669.71, 2 133.28, 2 027.1 g/(kg·h)。浸泡 12 h 后, 各林地半分解层凋落物的吸水速率(即饱和吸水速率)分别为 62.83, 76.73, 63.57, 60.18 g/(kg·h)。

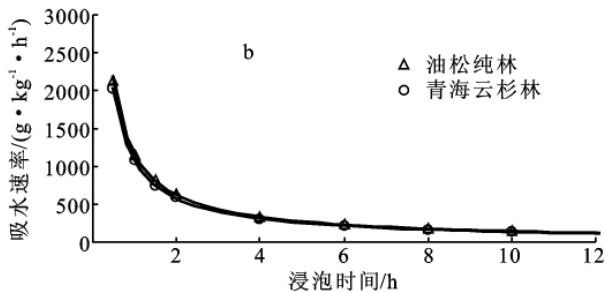


图 3 凋落物吸水速率与浸泡时间的关系

研究区 4 种林分凋落物的吸水速率 W_A 与浸泡时间 t (0.5~24 h) 呈极显著的幂函数关系 ($P < 0.001$), 其相关系数 (R) 均大于 0.99 (表 5)。

表 5 凋落物吸水速率浸泡时间的回归方程

森林类型	方程	R
油松云杉混交林	$W_A = 1176.2 t^{-0.9147}$	0.9998**
油松山杨混交林	$W_A = 1418.1 t^{-0.9168}$	0.9999**
油松纯林	$W_A = 1170.1 t^{-0.9034}$	0.9996**
青海云杉纯林	$W_A = 1086 t^{-0.907}$	0.9999**

注: W_A ——凋落吸水速率; t ——浸泡时间。

3.5 凋落物有效拦蓄量

因为最大持水率(量)的测定是将凋落物试样浸水 24 h 后量测得的结果。而实际上, 山地森林的坡面一般不会出现较长时间的浸水条件, 因此, 最大持水率(量)一般不能反映对实际降水的拦蓄能力, 一般用有效拦蓄量来估算凋落物层对降雨的实际滞纳能力^[13]。由表 1 看出, 不同植物群落凋落物层对降雨的有效拦蓄量: 油松山杨混交林 $> (15.73 \text{ t/hm}^2)$ 油松纯林 $(14.05 \text{ t/hm}^2) > \text{油松云杉混交林} (11.98 \text{ t/hm}^2) > \text{青海云杉纯林} (10.7 \text{ t/hm}^2)$ 。有效拦蓄降雨最大的油松山杨林凋落物层可截留 1.57 mm 林内降雨; 最小的青海云杉纯林凋落物层只能截留 10.7 mm 降雨。

4 结论

研究区 4 种林分凋落物储量的大小依次为: 青海云杉纯林 $(32.39 \text{ t/hm}^2) > \text{油松云杉混交林} (26.6 \text{ t/hm}^2) > \text{油松纯林} (25.21 \text{ t/hm}^2) > \text{油松山杨混交林} (19.74 \text{ t/hm}^2)$; 即在平均树高、平均胸径和郁闭度

都相近的条件下, 青海云杉纯林的凋落物储量明显大于油松纯林和油松山杨混交林, 这是由于青海云杉为暗针叶林, 生长在高海拔地区, 生境冷湿更不利于微生物的活动, 凋落物的分解速率更低, 所以凋落物层的现存积累量最高。再加上云杉林凋落叶质地较硬木质素类难分解物质含量较高, 从而导致其分解较慢、储量较多。而油松山杨混交林的储量最小应该与凋落物的初始化学成分有关, 大量研究表明, 凋落物的初始化学成分对凋落物层的性质和分解状况有较大影响^[14-16]。

研究区不同林分的凋落物在浸泡不同时间后, 其持水量大小依次为青海云杉纯林 $> \text{油松云杉混交林} > \text{油松纯林} > \text{油松山杨混交林}$; 凋落物的最大持水率大小依次为: 油松山杨混交林 $> \text{油松纯林} > \text{油松云杉混交林} > \text{青海云杉纯林}$; 浸泡不同时间段后的吸水速率依次为: 油松山杨混交林 $> \text{油松云杉混交林} \geq \text{油松纯林} > \text{青海云杉纯林}$, 说明研究区 4 种林分中油松山杨林的凋落物的持水能力较强。这个结果表明凋落物层最大持水量与林分类型、组成结构和储量有关。

研究区 4 种林分的凋落物持水量和持水率与浸泡时间皆呈对数关系, 而吸水速率与浸泡时间则呈幂函数关系, 这种变化趋势与森林类型无关。该结论与任向荣^[17]、李倩茹^[18]等的研究结果一致。

凋落物对降雨的有效拦蓄能力与凋落物蓄积量、最大持水率有密切的关系。不同植物群落凋落物层对降雨的有效拦蓄为油松山杨混交林 $(15.73 \text{ t/hm}^2) > \text{油松纯林} (14.05 \text{ t/hm}^2) > \text{油松云杉混交林} (11.98 \text{ t/hm}^2) > \text{青海云杉纯林} (10.7 \text{ t/hm}^2)$ 。

致谢:对宁夏贺兰山自然保护区管理局的工作人员和宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建研究中心的璩向宁和刘秉儒老师在野外工作中的帮助表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 苏志尧,陈北光,古炎坤,等. 广州白云山风景名胜区几种森林群落枯枝落叶层的持水能力[J]. 华南农业大学学报,2002,23(2):84-85.

[2] 薛立,何跃君,屈明,等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报,2005,29(3):415-421.

[3] 申卫军,彭少麟,周国逸,等. 马占相思与湿地松人工林枯落物层的水文生态功能[J]. 生态学报,2001,12(5):846-850.

[4] 庞学勇,包维楷,张咏梅. 岷江上游中山区低效林改造对枯落物水文作用的影响[J]. 水土保持学报,2005,20(4):119-122,155.

[5] 程金花,张洪江,史玉虎,等. 三峡库区几种林下枯落物的水文作用[J]. 北京林业大学学报,2003,25(2):8-13.

[6] 王佑民. 中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J]. 水土保持学报,2000,15(4):108-113.

[7] 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,2006,26(5):35-40.

[8] 高人,周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型枯落物层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报,2002,33(2):115-118.

[9] 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.

[10] 常雅军,曹靖,马建伟,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J]. 应用生态学报,2008(11):2346-2351.

[11] 曹鹤,薛立,梁丽丽,等. 3 种生态公益林凋落物的持水特性[J]. 土壤通报,2009,40(1):54-57.

[12] 赵鸿杰,谭家得,张学平,等. 南亚热带 3 种人工松林的凋落物水文效应研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):54-57,139.

[13] 刘尚华,冯朝阳,吕世海,等. 京西百花山区 6 种植物群落凋落物持水性能研究[J]. 水土保持学报,2007,22(6):179-182.

[14] Valachovic Y S, Caldwell B A, Cromack K, et al. Leaf litter chemistry controls on decomposition of Pacific Northwest trees and woody shrubs[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004,34:2131-2147.

[15] Moore T R, Trofymow J A, Prescott C E, et al. Patterns of carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing foliar litter in Canadian forests[J]. Ecosystems, 2006,8:1-18.

[16] Parton W, Silver W L, Burke I C, et al. Global-scale similarities in N release patterns during long-term decomposition[J]. Science, 2007,315:361-364.

[17] 任向荣,薛立,曹鹤,等. 3 种人工林凋落物的持水特性[J]. 华南农业大学学报,2008,29(3):47-51.

[18] 李倩茹,许中旗,许晴,等. 燕山西部山地灌木群落凋落物积累量及其持水性能研究[J]. 水土保持学报,2009,24(2):75-78.

(上接第 106 页)

[6] 黄志刚,欧阳志云,李锋瑞,等. 南方丘陵区不同坡地利用方式土壤水分动态[J]. 生态学报,2009,29(6):3136-3146.

[7] 万素梅,贾志宽,韩清芳,等. 黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干层形成及水分恢复[J]. 生态学报,2008,28(3):1045-1051.

[8] Famiglietti J S, Rudnicki J W, Rodell M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattle-snake Hill Texas[J]. Journal of Hydrology, 1998, 210:259-281.

[9] DO dorico P, Ridolfi L, Porporato A,et al. Preferential states of seasonal soilmoisture: The impactof climate fluc-tuations[J]. Water Resource Research, 2000, 36: 2209-2219.

[10] Entin J K, Robock A, Vinnikov K Y, et al. Temporal and spatial scales of observed soilmoisture variations in the ex-tratropics[J]. Journal of Geophysical Research,2000, 105:11865-11877.

[11] 邱扬,傅伯杰,王军,等. 土壤水分时空变异及其与环境

因子的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(1):101-107.

[12] 马祥华,白文娟,焦菊英,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中的土壤水分变化研究[J]. 水土保持通报, 2004,24(5):19-23.

[13] 郭忠升,邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报,2003,23(8):1640-1647.

[14] 王力,卫三平,吴发启,等. 黄土丘陵沟壑区土壤水分环境及植被生长响应[J]. 生态学报,2009,29(3):1543-1553.

[15] 张扬,赵世伟,梁向锋,等. 黄土高原土壤水库及其影响因素研究评述[J]. 水土保持研究,2009,19(2):147-151.

[16] 程积民,万惠娥,王静,等. 黄土丘陵区沙打旺草地土壤水分过耗与恢复[J]. 生态学报,2004,24(12):2979-2983.

[17] 易亮,李凯荣,张冠华,等. 黄土高原人工林地土壤水分亏缺研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):5-9.

[18] 马非,张亚红,谢应忠. 半干旱黄土高原丘陵区不同植被条件下土壤水分研究进展[J]. 农业科学研究,2007, 28(1):76-79.