

DOI: 10.5846/stxb201804270956

王忠禹, 刘国彬, 王兵, 汪建芳, 肖婧, 李兆松. 黄土丘陵区典型植物枯落物凋落动态及其持水性特征. 生态学报, 2019, 39(7): - .

Wang Z Y, Liu G B, Wang B, Wang J F, Xiao J, Li Z S. Litter production and its water holding capability in typical plants communities in the hilly region of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): - .

黄土丘陵区典型植物枯落物凋落动态及其持水性特征

王忠禹¹, 刘国彬^{1,2}, 王 兵^{1,2,*}, 汪建芳¹, 肖 婧², 李兆松¹

¹ 西北农林科技大学水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100

² 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 枯落物具有重要的径流拦蓄功能, 研究枯落物的凋落动态和其持水性对认识枯落物初级生产力及其水土保持功能具有重要意义。通过对黄土丘陵区 6 种典型植物样地[刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、狼牙刺 (*Sophora viciifolia*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)]为期一年的凋落物动态监测及其持水性的测定。结果表明: (1) 6 种植物全年凋落物量为 70.65—455.57 g/m², 落叶占凋落物总量的 48.17%—91.09%; 逐月凋落物量为 1.86—160.21 g/m², 包含了单峰型、双峰型及不规则型的年动态变化。(2) 凋落物持水量与浸水时间呈极显著对数函数关系 ($P < 0.01$), 浸水 5 min、24 h 和 48 h 时的持水量分别是其最大持水量的 48.41%、93.96% 和 97.70%; 逐月凋落物最大持水量变化范围为 1.19—3.95 g/g。(3) 6 种植物全年凋落物拦蓄量为 1.33—13.33 t/hm², 落叶占凋落物拦蓄总量的 57.19%—86.12%。综合可知: 落叶是凋落物最主要成分并提供最多的径流拦蓄; 密度对凋落物持水性有显著影响 ($P < 0.01$), 比表面积和结构特征的差异导致凋落物持水性不同; 植物是通过影响枯落物的凋落继而对该植物样地枯落物的水土保持功能产生影响。本研究结果旨在为评价该地区不同植物恢复模式的枯落物水土保持功能和维持提供科学依据。

关键词: 枯落物; 凋落动态; 器官组成; 持水性; 拦蓄量; 黄土丘陵区

Litter production and its water holding capability in typical plants communities in the hilly region of the Loess Plateau

WANG Zhongyu¹, LIU Guobin^{1,2}, WANG Bing^{1,2,*}, WANG Jianfang¹, XIAO Jing², LI Zhaocong¹

¹ State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resource, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

² University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049, China

Abstract: Litter plays an important role in runoff interception. It is of great significance to investigate the litter production dynamics and water holding capability to understand the primary productivity and its functions in soil and water conservation, several kinds of plants (*Robinia pseudoacacia*, *Pinus tabulaeformis*, *Hippophae rhamnoides*, *Sophora viciifolia*, *Artemisia sacrorum* and *Bothriochloa ischaemum*) were selected to monitor the litter production and water holding capability by month for one year in the loess hilly region. The annual volume of litter production, composition and monthly dynamics of different vegetation types were compared including the water holding capacity of litter and impact factors. Results showed that: (1) The total amount of the litter production of six plant types ranged from 70.65 to 455.57 g/m², defoliation accounted for 48 to 91% of the total litter. The amount of litter production per month was 1.86 to 160.21 g/m² which can be divided into unimodal, bimodal or irregular modes of the annual dynamic. (2) There was an extremely

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41771555); 国家自然科学基金重点项目 (41530858); 国家重点研发计划 (2016YFC0501703); 陕西省创新人才推进计划—青年科技新星项目 (2017KJXX-88)

收稿日期: 2018-04-27; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bwang@ms.iswc.ac.cn

significant logarithmic relationship between the water holding capacity of litter and the soaking time ($P < 0.01$). The water absorption rate of litter reached the maximum in the initial stage of soaking. Maximum water holding capacity of litter organs after being soaked for 72 hours ranged from 1.20 to 4.35 g/g. When the litter organs were being immersed in water for 5 min, 24 h and 48 h, their water holding capacity reached 48.41%, 93.96% and 97.70%. The maximum water holding capacity of the litter by month ranged from 1.19 to 3.95 g/g. (3) The interception of litter fall of six plant species in the whole year ranged from 1.33 to 13.33 t/hm², Defoliation accounted for 57.19% to 86.12% of the interception of the litter in the whole year. In conclusion, we concluded that defoliation accounted for the largest proportion of litter and made the greatest contribution to the interception of litter. Density has a significant effect on the water holding capacity of litter ($P < 0.01$), the differences in specific surface area and void spaces result in different water holding capacity of litter fall. Vegetation affect the soil and water conservation of litter in the plant samples by affecting its litter production. This study will provide the theoretical basis for evaluating the soil and water conservation function of litter in different vegetation restoration models on the Loess Plateau.

Key Words: plant litter; litter production; plant origins; water-holding capability; interception; Loess Plateau

枯落物是生态系统的重要组成部分,是由植被地上部分产生并归还到地表的所有有机质的总称^[1],其凋落过程是生态系统中物质循环和能量流动的一个重要环节^[2]。凋落物收集器法^[3]和枯落物蓄积量定期调查法^[4]是常见的枯落物凋落动态研究方法。研究发现枯落物的凋落受到植被类型、生长年限及植被密度等因素显著影响^[5-8],逐月凋落量受到季节变化的影响而呈现明显的节律性^[9],且无论是林地还是草地,凋落物主要成分均为落叶^[4]。

作为典型的地被物,枯落物不仅是连接植物与土壤的重要“纽带”^[10],同时是近地表水文效应的主要活动层^[11]。枯落物在径流拦蓄方面,不仅可以提高土壤持水性,增加地表径流土壤入渗^[12],其自身还可以持有大量的水,起到减少地表径流的作用^[13]。对于枯落物径流拦蓄功能的研究,大多学者通过浸泡法来探究其持水性,使枯落物达到最大持水量时减去自然含水量作为枯落物的降雨拦蓄量^[14]。但是,国内外一些学者认为自然条件下枯落物通常不会出现较长时间的浸水,并利用人工模拟降雨试验提出了枯落物的有效拦蓄理论^[15-16]。总的来说,枯落物降雨拦蓄能力与枯落物蓄积量、枯落物结构特征及器官组成等存在密切联系^[17-19]。

黄土丘陵地区自“退耕还林(草)工程”实施以来,生态环境得到极大改善^[20]。随着植被的逐渐恢复,近地表特征发生了显著变化,原先裸露的地表被植物及其枯落物所覆盖。有关该地区枯落物蓄积量及其水土保持功能的研究已有许多^[21-25],但是对于不同植被群落凋落物总量、组成及其月凋落动态的研究,凋落物的持水能力及其影响因子的分析仍然较少。基于此,本研究通过对黄土丘陵区 6 种典型植被样地进行了为期一年的凋落物动态监测及其持水性的测定,比较不同植被群落凋落物总量、组成及其月变化动态,分析凋落物的持水能力及其影响因子,以期对评价该地区不同植被恢复模式的土壤肥力维持和水土保持能力提供科学依据,为评估黄土高原退耕还林还(草)工程生态成效提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在陕西省延安市安塞区水土保持综合试验站(109°18'N, 36°51'E)及纸坊沟流域(109°14'N, 36°44'E)进行。研究区属于典型的黄土高原丘陵沟壑区,多年平均温度为 8.8℃,年均降雨量 505 mm,6—9 月份的降水量约占全年降水的 70%以上^[26]。主要土壤类型为黄绵土及红胶土,其有机质含量低,土壤结构疏松,极易发生侵蚀。研究区气候属于暖温带半湿润向半干旱过渡区,植物类型为暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原区,常见植物种类以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、柠条(*Caragana*

intermedia)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、狼牙刺 (*Sophora viciifolia*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等为主。该地区 4—10 月份是植物主要生长期,11 月份至来年 3 月份绝大多数植物停止生长或生长缓慢(休眠期)^[27]。

1.2 样地选择

依据研究区域植被种类,选取坡向均为阳坡的刺槐人工林、油松人工林、沙棘人工林、狼牙刺人工林、铁杆蒿群落和白羊草群落 6 种典型植物样地,样地内优势物种为所选植物,生长状况较好,受到人类活动影响较小。所选样地原先均为撂荒耕地^[28]、植被恢复年限均大于 25 年,样地基本情况见表 1。

表 1 植物样地基本情况
Table 1 The basic information of the plant samples

物种 Species	生物量 Biomass/ (g/m ²)	株高 Heigh/m	林木密度 Density/ (株/hm ²)	冠幅 Crown breadth/m	胸径 DBH Diameter at breast height/cm	海拔 Altitude/m
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	—	7.75±1.96	1735	5.15	13.27±6.31	1291
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	—	7.27±1.13	3124	3.12	16.45±5.66	1118
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	—	2.50±0.56	5036	2.40	—	1245
狼牙刺 <i>Sophora viciifolia</i>	—	1.70±0.31	3111	1.80	—	1171
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	310.71±55.25	0.28±0.05	—	—	—	1222
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>	153.16±36.13	0.23±0.08	—	—	—	1186

—未调查

1.3 试验设计

试验开始前对 6 种植物样地基本信息进行调查,每种植物样地划定 3 处基本信息调查样方,乔木样方大小为 20 m×20 m,灌木样地大小为 5 m×5 m,草本样地大小为 3 m×3 m。利用 GPS 测定样方中间位置海拔,以此作为样地标准海拔。常规方法^[24]测定样方内植株株高(乔木、灌木和草本)、林木密度(乔木和灌木)、冠幅(乔木和灌木)、胸径 DBH(乔木)和地上生物量(草本)等。

4 种乔、灌木样地按照线性等间距原则布设凋落物收集器,收集器由孔径为 0.5 mm、大小 1 m×1 m×0.25 m 的方形尼龙网制成^[29],逐月收集框内的凋落物,每种植物样地 10 个重复。2 种草地是按照线性等间距原则在样地内划出 2 m×2 m 凋落物收集样方区域,清扫区域内原有枯落物,将逐月在该区域内收集到的枯落物作为凋落物^[4],每种植物样地 3 个重复。

1.4 试验处理与方法

试验于 2016 年 11 月份至 2017 年 11 月份期间进行,每月中旬对凋落物进行收集,总共收集 12 次。将逐月收集到凋落物装入信封,置烘箱中于 75℃ 烘干 24 h、称重,以单位面积上调落物的干重作为其逐月凋落物量(g/m²),同时按照落叶、落枝、落花和落果进行凋落物器官划分、称重,以 1—12 月份单位面积上调落物量累计值作为年凋落物量(g/m²)。凋落物的密度采用排水体积法测定^[30]。

凋落物持水性测定:针对收集到的凋落物,以室内阴干 3 天后单位质量凋落物所持水量作为自然含水量^[31](g/g)。通过浸泡法^[15]测定凋落物的持水量和吸水速率,具体是将阴干后的凋落物及划分的各植物凋落物器官每份 20 g 放入 30 cm×40 cm 尼龙网袋,浸入水中,分别在 5 min、20 min、1 h、2 h、4 h、8 h、12 h、16 h、24 h、36 h、48 h、60 h 和 72 h 时取出尼龙网袋,称重前悬挂 5 min 至不滴水,每个样品 3 个重复。以相应时间单位质量凋落物所持水量作为凋落物的持水量(g/g)。以浸泡 72 h 时单位质量凋落物的持水量作为凋落物最大持水量(g/g)。

凋落物的径流拦蓄量计算:单位面积上调落物拦蓄量采用 Lee Richard^[16]对北美地区原始森林枯落物持水能力的研究结果,当降雨量达到 20—30 mm 时,拦蓄量大约为最大持水量的 85%。具体换算公式如下:

$$W = (0.85 \times R_m - R_0) \times M \quad (1)$$

式中, W 为拦蓄量 (t/hm^2); R_m 为最大持水量 (%); R_0 为自然含水率 (%); M 为凋落物量 (t/hm^2)。

1.5 数据处理与分析

本试验中植物全年凋落物量差异性比较采用单因素 ANOVA 方差分析中 Duncan 多重比较法。相关性检验是运用 Pearson 双侧检验。数据计算和图表制作采用 Excel.2016、SPSS.19.0 和 Origin pro 2016 等软件。

2 研究结果

2.1 不同植物年凋落物量及动态变化特征

6 种植物年凋落物量为 $70.65—455.57\text{ g/m}^2$ (图 1)。草本植物年凋落物包含落叶和落枝(茎),而乔、灌木植物还包括落花和落果。落叶是植物年凋落物的主要部分,年凋落量为 $42.39—346.96\text{ g/m}^2$,占年凋落物总量的 $48.17\%—91.09\%$ 。油松、铁杆蒿、白羊草在一年中都有落叶,而刺槐、沙棘、狼牙刺的落叶仅出现在 6—11 月份(沙棘包含 5 月份)。植物其他器官的年凋落量为 $27.84—112.15\text{ g/m}^2$,多数占年凋落物量的不足 10%。落枝和落果在一年中都有出现,而落花具有明显的节律性,一般出现在 4—6 月份。

全年逐月凋落物量为 $1.86—160.21\text{ g/m}^2$,刺槐、狼牙刺、铁杆蒿和白羊草年凋落物动态变化是单峰型,其中刺槐、狼牙刺、铁杆蒿的凋落峰值月份为 11 月份,白羊草为 12 月份,沙棘呈双峰型,峰值月份分别为 7 月份和 11 月份,相比其他植物,油松逐月凋落物量年动态变化特征不明显(图 2)。乔、灌木植物(油松除外)的休眠期有落枝和落果,凋落物量较低,而在生长期有大量的落叶、落花,致使生长期有较大凋落物量 ($176.34—407.35\text{ g/m}^2$),占到年凋落物量的 $81.50\%—89.74\%$ 。

对于草本植物,凋落物量在生长期和休眠期差异不明显,休眠期同样有较大的凋落物比重 ($44.10\%—59.05\%$)。

2.2 不同植物凋落物持水量特征

2.2.1 凋落物器官持水量

凋落物器官持水量随浸水时间的延长而逐步增大,最后趋于稳定达到最大持水量 ($1.20—4.35\text{ g/g}$),持水量与浸水时间呈极显著对数函数关系 ($P < 0.01, n = 12$; 图 3)。凋落物器官以狼牙刺落花最大持水量最大,是其他凋落物器官的 $1.02—3.62$ 倍。凋落物自然持水状态 ($0.06\%—0.10\%$) 下遇水瞬间吸水速率最大,浸泡 5 min 持水量达到最大持水量的 48.41% ,随后,凋落物器官持水量随着时间延长增长速率变慢,达到最大持水量的 60% 、 70% 和 80% 分别需要 1 h、4 h 和 8 h,当浸泡 24 h 和 48 h 时,持水量是最大持水量 93.96% 和 97.70% 。各凋落物器官达到最大持水量时所需时间存在差异,铁杆蒿落叶达到最大持水量用时最短 (8 h),而刺槐落枝和油松落叶浸泡 48 h 的持水量为最大持水量的 90% 。总的来看,从 5 min 到 72 h,凋落物器官持水量增长了 $0.60—2.47\text{ g/g}$,以狼牙刺落花最大,是其他凋落物器官的 $1.06—4.01$ 倍。

不同凋落物器官的密度存在差异,各凋落物器官的密度以沙棘落叶最小为 0.30 g/cm^3 ,为其他凋落物器官的 $43.76\%—86.20\%$ 。研究发现枯落物的密度与枯落物的最大持水量存在极显著的线性函数关系 ($R^2 = 0.62, P < 0.01$; 图 4),即枯落物密度平均每增大 0.1 g/cm^3 ,其最大持水量平均减少 0.76 g/g 。除此以外,凋落

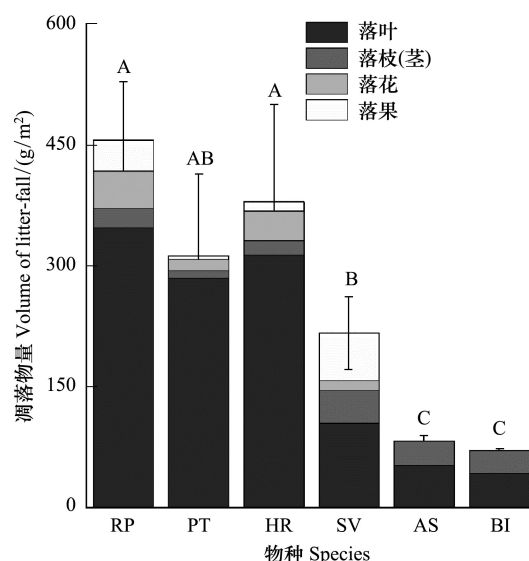


图 1 6 种植物样地凋落物量

Fig.1 The volume of litter-fall of six plant samples

相同字母表示枯落物蓄积量不存在显著差异 ($P > 0.05, n = 10$);

RP:刺槐, *Robinia pseudoacacia*; PT:油松, *Pinus tabulaeformis*; HR:沙棘, *Hippophae rhamnoides*; SV:狼牙刺, *Sophora viciifolia*; AS:铁杆蒿, *Artemisia sacrorum*; BI:白羊草, *Bothriochloa ischaemum*

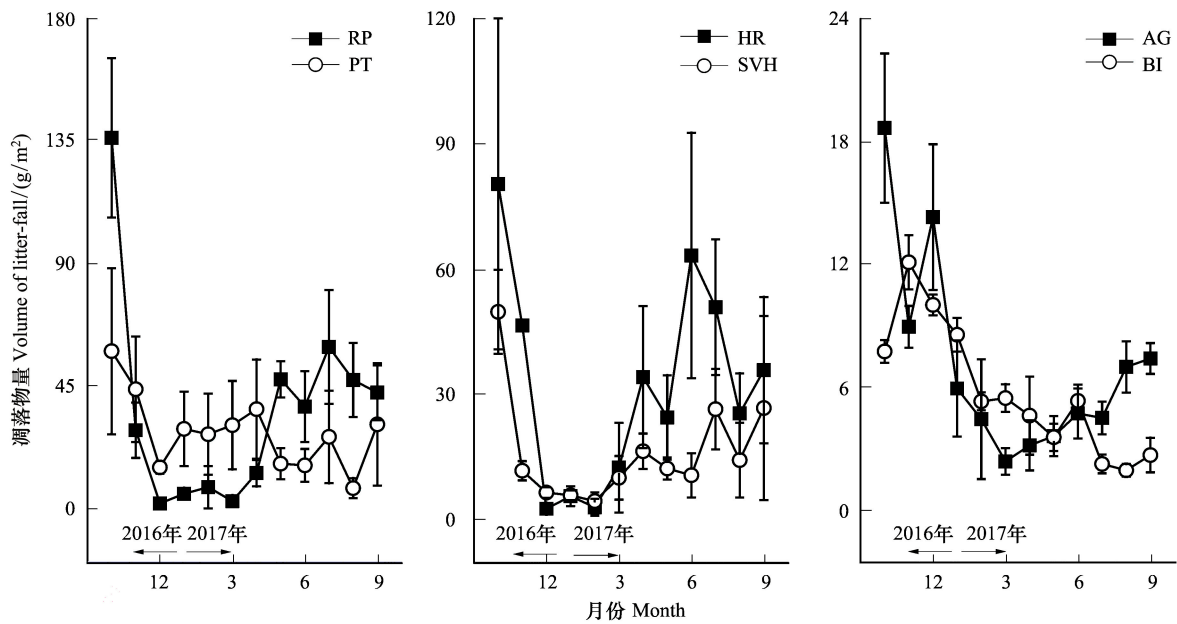


图2 6种植物样地逐月凋落物量

Fig.2 The volume of litter-fall by month of six plant samples

物在浸水 5min 持水量接近凋落物最大持水量 50%, 其在一定程度上决定了凋落物最大持水量的多少, 两者之间存在极显著的对数函数关系 ($R^2=0.81, P<0.01$; 图 4)。

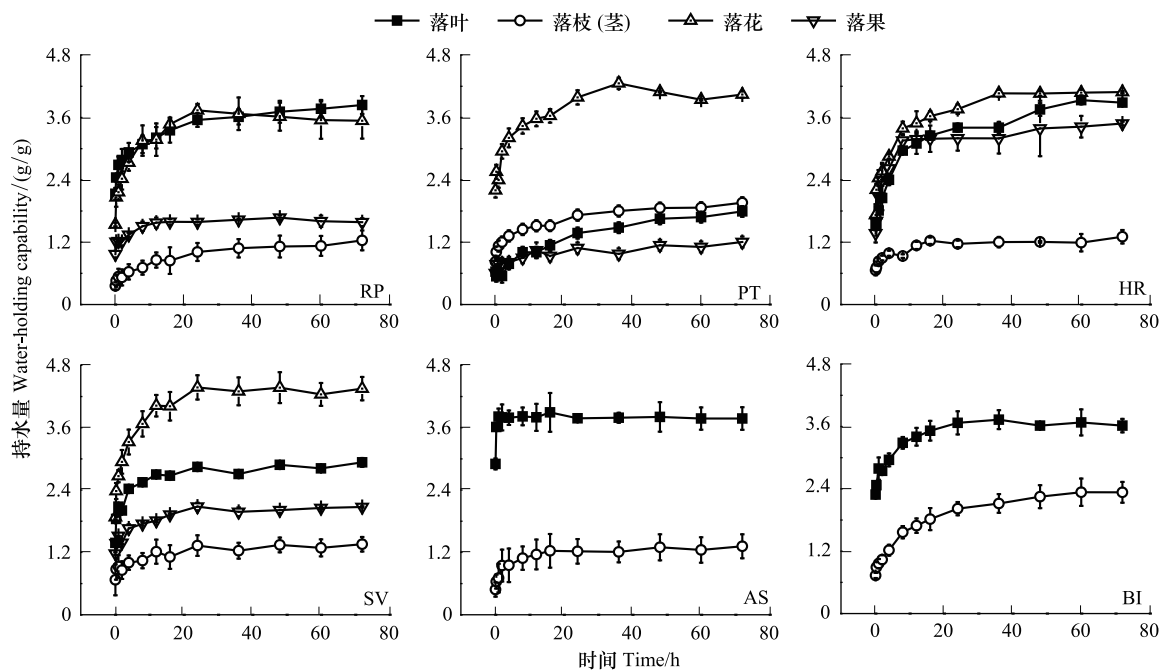


图3 6种植物样地凋落物器官持水性

Fig.3 The water-holding capability of litter-fall organs of six plant samples

2.2.2 逐月凋落物最大持水量动态变化特征

逐月凋落物最大持水量为 1.19—3.95 g/g (图 5)。与植物逐月凋落物动态变化类似, 植物逐月凋落物最大持水量全年也存在动态变化, 其中刺槐、油松、沙棘和狼牙刺逐月凋落物最大持水量全年变化呈“单峰型”, 最大持水量峰值为 5 月份, 分别为 3.89 g/g、2.53 g/g、3.95 g/g 和 3.62 g/g, 比同一植物其他月份高了 8.13%—

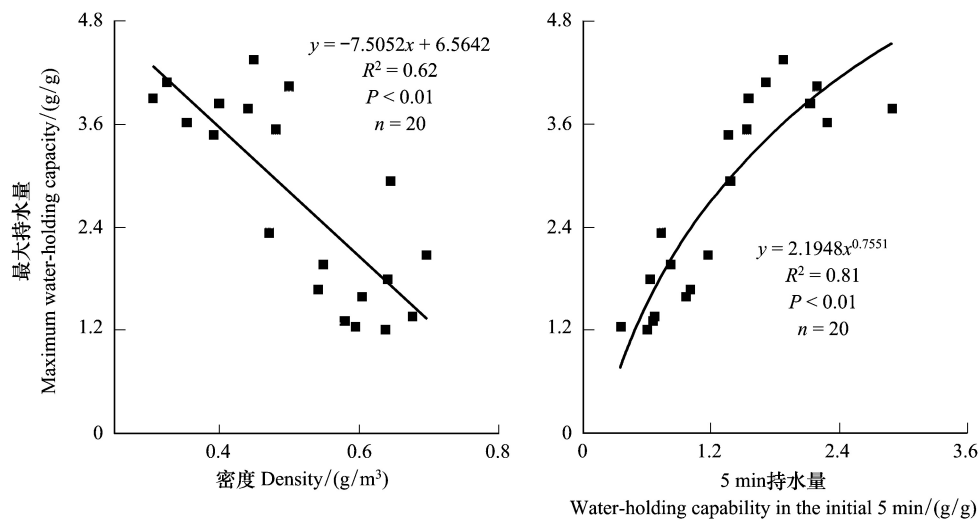


图4 6种植物样地凋落物5min持水量与最大持水量的关系、密度与最大持水量的关系

Fig.4 The relationship between water-holding capacity in the initial five min and maximum water-holding capacity as well as the relationship between density and maximum water-holding capacity for the litter-fall of six plant samples

59.48%、11.83%—41.56%、1.80%—38.55 和 20.67%—65.95%。铁杆蒿逐月凋落物最大持水量全年变化呈“阶梯状”，7—11月份凋落物(叶子所占比重较大)最大持水量较大为 2.07—2.57 g/g，平均高 12—5 月份(2016 年 12 月份至 2017 年 5 月份)凋落物最大持水量 26.06%。白羊草逐月凋落物最大持水量全年变异($C.V=9.57\%$)较小，是其他植物的 32.49—56.63%，这是由于一方面白羊草逐月凋落物器官凋落均匀，另一方面落枝与落叶持水性相差较小所致。

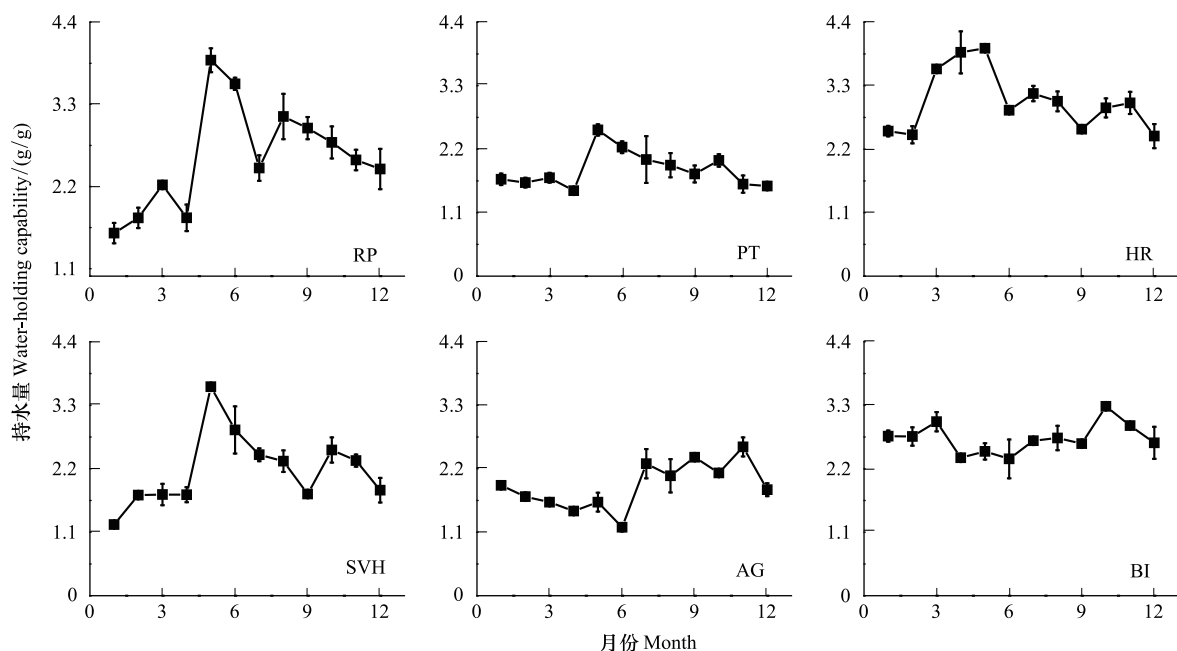


图5 6种植物样地逐月凋落物最大持水量

Fig.5 The maximum water-holding capacity of litter-fall by month of six plant samples

2.3 植物全年凋落物拦蓄量

6种植物全年凋落物器官拦蓄量预测值为 1.79—13.13 t/hm²(图 6)。总的来看,植物全年凋落物拦蓄量

可以分为 3 个等级,刺槐和沙棘全年凋落物拦蓄量处于较高水平,油松和狼牙刺处于中游水平,铁杆蒿和白羊草在一个较低水平。由于占全年凋落物量比重较大且持水量通常较高(油松除外),落叶贡献了全年凋落物径流拦蓄量的最高比重(57.19%—86.12%),而落枝、落花、落果分别占植物全年凋落枯落物拦蓄量的1.53%—29.71%、9.91%—10.63%、0.88%—22.74%。进一步分析表明,凋落物拦蓄量与组成器官间存在极显著幂函数关系($R^2=0.95,P<0.01$),可以利用植物落叶与其他器官(落枝、落花和落果)进行凋落物拦蓄量预测,具体方程(2)

$$y = 10^{-3.612} x_1^{0.695} x_2^{0.44} R^2 = 0.95 P < 0.01 \tag{2}$$

式中, y 为全年凋落物拦蓄量(t/hm^2); x_1 为全年落叶量(g/m^2); x_2 为全年落枝量、落花量和落果量之和(g/m^2)。

6 种植物逐月凋落物全年累计拦蓄量为 1.33—10.90 t/hm^2 (图 7)。与全年凋落物器官累积拦蓄量相同,植物逐月凋落物全年累计拦蓄量也分为 3 个等级,刺槐和沙棘全年凋落物拦蓄量处于较高水平,其次为油松和狼牙刺,最后是铁杆蒿和白羊草。总体来看,刺槐、沙棘和狼牙刺在生长期凋落物贡献了全年凋落物拦蓄量的 82.88%—92.11%,而油松、铁杆蒿和白羊草为 39.97%—58.21%,这是由于刺槐、沙棘、狼牙刺的凋落物主要集中在其生长期,而油松、白羊草和铁杆蒿分布在全年时间段。各植物逐月凋落物拦蓄量最高月份和其凋落物峰值月份是相同的,凋落物峰值月份分别贡献全年凋落物拦蓄量的 34.02%(刺槐)、13.11%(油松)、20.24%(沙棘)、34.58%(狼牙刺)、24.42%(铁杆蒿)和 18.22%(白羊草)。进一步分析表明,年凋落物拦蓄量与随月份变化存在极显著幂函数关系(表 2; R^2 变化范围为 0.91—0.99, $P<0.01$),可利用表 2 方程对植物全年凋落物拦蓄量随月份变化的增长进行拟合。

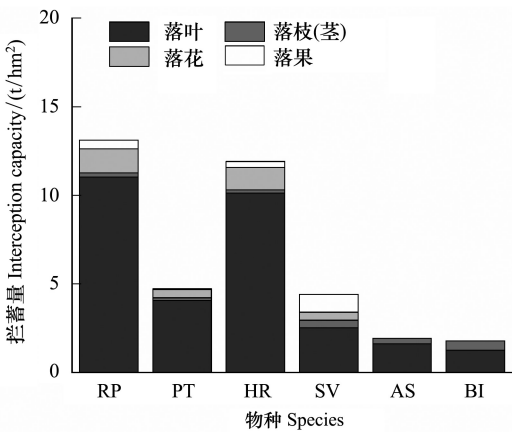


图 6 6 种植物样地凋落物器官径流拦蓄量
Fig.6 The runoff interception rates of litter fall organs of six plant samples

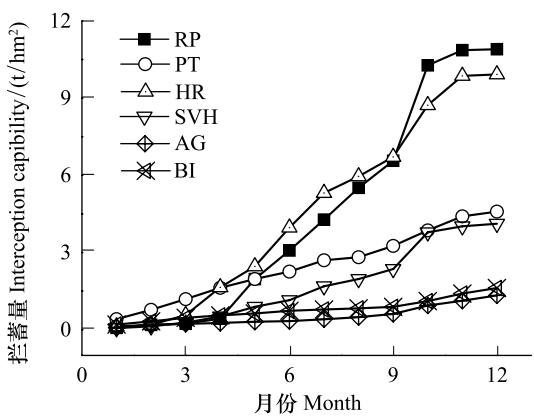


图 7 6 种植物样地凋落物径流拦蓄量随月份变化
Fig.7 The interception of litter fall increases by month of six plant samples

表 2 6 种植物样地凋落物拦蓄量随月份变化的增长拟合方程

物种 Species	关系式 Equation	R^2	P
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	$y = 0.0391x^{2.3113}$	0.95	0.00
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	$y = 0.4053x^{0.9708}$	0.99	0.00
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	$y = 0.0877x^{1.9917}$	0.97	0.00
狼牙刺 <i>Sophora viciifolia</i>	$y = 0.0456x^{1.8252}$	0.99	0.00
铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>	$y = 0.0755x^{1.0027}$	0.91	0.00
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>	$y = 0.1896x^{0.7742}$	0.97	0.00

y 为凋落物拦蓄量(t/hm^2); x 为累计凋落月份(0—12)

3 讨论

3.1 植物凋落物的凋落

植物种类对植物枯落物的凋落有重要影响。凋落物是植物新陈代谢的重要产物,不同的植物,植物生长发育存在差异,导致凋落物量、凋落物器官组成及凋落动态不同^[32]。有研究^[24]指出枯落物凋落量总体是表现为乔木>灌木>草地,本研究结果是沙棘的单株植物年凋落物量显著低于刺槐($P<0.01$),但是年凋落物量和刺槐不存在显著差异($P>0.05$),这可能是由于该地区沙棘林地林木密度较大(表1)。生长期作为植物一年中生命活动的主要时间^[33],伴随着植物的生长、发育、衰老和凋亡等过程,不同的植物生长期是存在差异,本研究中刺槐、沙棘和狼牙刺的凋落物主要都集中生长期,但是油松、铁杆蒿和白羊草的枯落物的凋落物在生长期和休眠期不存在差异性。作为常绿针叶的油松,观察发现其针叶衰老后多数并没有即刻落到地表,而是被滞留在针叶间,随后外力作用下逐步凋落到地面。对于草本植物,部分器官在生长期枯死后并没有凋落到地表,而是成为枯立物^[34],随着微生物分解及外力作用在休眠期凋落到地面。

3.2 植物凋落物持水量分析

密度对凋落物持水性显著影响($P<0.01$)。凋落物的密度反映出凋落物的紧实程度,凋落物的密度越大,凋落物比表面积^[35]和结构空隙就会越小,而凋落物的持水性包含了凋落物表面对水分子的吸附和凋落物内部空隙对水分的存储,因此凋落物最大持水量会随其密度的增大而降低。同时,刺槐落叶和落花、沙棘落叶和落花、狼牙刺落叶和落花、铁杆蒿落叶和白羊草落叶最大持水量都相对较高(2.93—4.35 g/g),这是由于相比落枝和落果,落叶和落花具有较大的比表面积^[35-36],较大的比表面积能帮助凋落物吸附较多的水分子。而油松落果和沙棘的落果最大持水量也较高(4.04—4.08 g/g),这是由于毛球状结构一方面增大了凋落物比表面积增加对水分吸附,另一方面毛球状体的褶皱同样具有存储水分的作用,从而使持水量得到增大。

不同凋落物的混合会造成凋落物自身持水量发生改变。一方面两种比表面积较大器官混合相互填充彼此空间,间接降低了混合体的比表面积和结构空隙,造成凋落物持水量的降低,例如6月份沙棘凋落物(落叶82.14%和落花17.86%)最大持水量为2.87 g/g,但是分别比沙棘落叶和落花的最大持水量低了16%和10%。另一方面比表面积大的凋落物和比表面积小的落枝的混合,落枝除了能持有少量的水分,还起到混合态的骨架作用,使落花占据的空间增大,间接增大混合体比表面积和结构空隙,从而提高了其持水量,例如刺槐落花和落枝的最大持水量为3.54 g/g和1.23 g/g,5月份凋落物(落花94.52%与落枝5.48%组成)最大持水量比落花高出9.00%。

3.3 植物凋落物拦蓄能力分析

枯落物具有重要的径流拦蓄功能,植物凋落物拦蓄量一定程度上反映出该植物样地枯落物径流拦蓄能力及其水土保持功能的可持续性。刺槐和沙棘全年凋落物量较大,比油松和狼牙刺全年凋落物量高31.45%—52.50%,但是刺槐和沙棘全年凋落物拦蓄量比油松和狼牙刺高60.31%—64.25%,这是由于凋落物径流拦蓄量一方面受到本身凋落物量的影响,同时还受到凋落物器官持水性的影响。由于刺槐和沙棘凋落物持水量高的器官在所占比重大,造成刺槐和沙棘凋落物拦蓄量远远高于油松和狼牙刺。白羊草落叶和落枝的持水性较好,但是较低的年凋落物量致使其和铁杆蒿的凋落物拦蓄量较低。全年凋落器官累积拦蓄量和逐月凋落物累计拦蓄量存在差异,前者比后者高2.90%—30.77%,这进一步印证了不同凋落物混合会影响凋落物的持水性的结论(见3.2)。总的来说,不同植物其年凋落物量、凋落物组成和凋落物器官持水性存在一定差异的,植物年凋落物的径流蓄积量受到三者的影响,间接表明了植物本身差异对样地枯落物水土保持功能有深远的影响。

4 结论

对黄土丘陵区6种植物样地为期1年的凋落物动态监测及其持水性的测定,具体得到以下结论:(1)6种

典型植物全年凋落物量为 70.65—455.57 g/m²,落叶是全年凋落物的最主要成分,占年凋落物总量的 48.17%—91.09%。植物的差异导致植物凋落物量、凋落物组成及凋落动态不同,6 种植物逐月凋落物量包含了单峰型、双峰型及不规则型的年变化动态。(2)各凋落物器官持水量与浸水时间呈极显著对数函数关系($P < 0.01$),吸水速率在浸水初始阶段最大。密度对凋落物持水性有显著影响($P < 0.01$),比表面积和结构特征差异导致凋落物持水性不同。(3)6 种植物年凋落物拦蓄量为 1.33—13.33 t/m²,叶子对全年凋落物拦蓄量的贡献最大,占全年凋落物拦蓄量的 57.19%—86.12%。本研究结果侧面揭示了植物是通过影响枯落物的凋落继而对该植物样地枯落物的水土保持功能产生影响。

参考文献(References):

- [1] Huff-Lonergan E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 2005, 71(1): 194-204.
- [2] 冷海楠, 张玉, 崔福星, 徐明怡, 王丽媛. 森林凋落物研究进展. *国土与自然资源研究*, 2016, (6): 87-89.
- [3] 郭婧, 喻林华, 方晰, 项文化, 邓湘雯, 路翔. 中亚热带 4 种森林凋落物量、组成、动态及其周转期. *生态学报*, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [4] 李学斌, 陈林, 张硕新, 谢应忠. 围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态. *生态学报*, 2012, 32(20): 6575-6583.
- [5] 万春红, 陶楚, 杨小波, 龙文兴, 冯丹丹, 周文嵩, 杨琦. 森林群落物种组成对凋落物组成的影响. *生态学报*, 2015, 35(22): 7435-7443.
- [6] Zhang H C, Yuan W P, Dong W J, Liu S G. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 2014, 20: 240-247.
- [7] Mata D I, Moreno-Casasola P, Madero-Vega C. Litterfall of tropical forested wetlands of Veracruz in the coastal floodplains of the Gulf of Mexico. *Aquatic Botany*, 2012, 98(1): 1-11.
- [8] Celentano D, Zahawi R A, Finegan B, Ostertag R, Cole R J, Holl K D. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. *Biotropica*, 2011, 43(3): 279-287.
- [9] 徐文铎, 陈玮, 何兴元, 徐胜, 张粤, 闻华. 沈阳城市森林凋落物数量及动态. *应用生态学报*, 2012, 23(11): 2931-2939.
- [10] 喻林华, 方晰, 项文化, 石俊, 刘兆丹, 李雷达. 亚热带 4 种林分类型枯落物层和土壤层的碳氮磷化学计量特征. *林业科学*, 2016, 52(10): 10-21.
- [11] Putuhena W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology*, 1996, 180(1/4): 283-299.
- [12] 赵锦梅, 徐长林, 马亚萍, 李瑞. 祁连山东段高寒灌丛地被物与土壤的水文特征. *林业科学*, 2014, 50(10): 146-151.
- [13] 栾莉莉, 张光辉, 孙龙, 耿韧, 王浩. 黄土丘陵区典型植被枯落物持水性能空间变化特征. *水土保持学报*, 2015, 29(3): 225-230.
- [14] 刘玉国, 刘长成, 李国庆, 魏雅芬, 刘永刚, 郭柯. 贵州喀斯特山地 5 种森林群落的枯落物储量及水文作用. *林业科学*, 2011, 47(3): 82-88.
- [15] 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. *农业工程学报*, 2015, 31(8): 183-189.
- [16] Lee R. *Forest Hydrology*. New York: Columbia University Press, 1980.
- [17] 闫俊华, 周国逸, 唐旭利, 张德强. 鼎湖山 3 种演替群落凋落物及其水分特征对比研究. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 509-512.
- [18] 邱治军, 牛强, 周光益, 朱宁华. 广州市流溪河小流域典型林分枯落物的持水特性. *中南林业科技大学学报*, 2016, 36(4): 64-67, 79-79.
- [19] 王橧橧, 吴勇, 陈盟. 贡嘎山枯落物降雨截留试验及其水文效应. *人民黄河*, 2017, 39(5): 88-92.
- [20] Wang B, Zhang G H, Shi Y Y, Li Z W, Shan Z J. Effects of near soil surface characteristics on the soil detachment process in a chronological series of vegetation restoration. *Soil Science Society of America Journal*, 2015, 79(4): 1213-1222.
- [21] 申家朋, 张文辉, 李彦华, 何景峰, 张辉. 陇东黄土高原沟壑区刺槐和油松人工林的生物量和碳密度及其分配规律. *林业科学*, 2015, 51(4): 1-7.
- [22] 李彦华, 张文辉, 申家朋, 周建云, 郭有燕. 甘肃黄土丘陵区侧柏人工幼林的碳密度及分配特征. *林业科学*, 2015, 51(6): 1-8.
- [23] 寇萌, 焦菊英, 尹秋龙, 杜华栋, 王东丽. 黄土丘陵沟壑区主要草种枯落物的持水能力与养分潜在归还能力. *生态学报*, 2015, 35(5): 1337-1349.
- [24] 栾莉莉, 张光辉, 孙龙, 刘法, 王浩. 黄土高原区典型植被枯落物蓄积量空间变化特征. *中国水土保持科学*, 2015, 13(6): 48-53.
- [25] 赵鸣飞, 薛峰, 吕烨, 左婉怡, 王国义, 邢开雄, 王宇航, 康慕谊. 黄土高原森林枯落物储量、厚度分布规律及其影响因素. *生态学报*,

- 2016, 36(22): 7364-7373.
- [26] 朱良君, 张光辉, 胡国芳, 王兵. 坡面流超声波水深测量系统研究. 水土保持学报, 2013, 27(1): 235-239.
- [27] 王毅荣. 黄土高原植被生长期旱涝对全球气候变化响应. 干旱区地理, 2005, 28(2): 161-166.
- [28] Wang B, Zhang G H, Shi Y Y, Zhang X C, Ren Z P, Zhu L J. Effect of natural restoration time of abandoned farmland on soil detachment by overland flow in the Loess Plateau of China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, 38(14): 1725-1734.
- [29] 徐旺明, 闫文德, 李洁冰, 赵晶, 王光军. 亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征. 生态学报, 2013, 33(23): 7570-7575.
- [30] 王宝瑞, 李建国, 纪原, 孙远军, 韩蓉. 纤维密度测定的研究. 纤维复合材料, 2009, 26(3): 43-46.
- [31] 周祥, 赵一鹤, 张洪江, 王雄宾. 云南高原典型林分林下枯落物持水特征研究. 生态环境学报, 2011, 20(2): 248-252.
- [32] 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. 生态学报, 2014, 34(14): 3807-3819.
- [33] 梁莉, 郭玉明. 不同生长期小麦茎秆力学性质与形态特性的相关性. 农业工程学报, 2008, 24(8): 131-134.
- [34] 庞建光, 李连芳, 刘海丰, 王运静. 枯立物对红松洼草地植物幼苗建立的影响. 生态环境, 2005, 14(5): 742-745.
- [35] 尹婧, 邱国玉, 何凡, 贺康宁, 田晶会, 张卫强, 熊育久, 赵少华, 刘建新. 半干旱黄土丘陵区人工林叶面积特征. 植物生态学报, 2008, 32(2): 440-447.
- [36] 樊巍, 赵东, 杨喜田, 王齐瑞, 杨海青. 杨树农田防护林带单木枝面积的变化. 林业科学, 2011, 47(10): 184-188.