

DOI: 10.5846/stxb201310182523

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.  
Kou M, Jiao J Y, Yin Q L, Du H D, Wang D L. Water holding capacity and potential nutrient return capacity of main herb species litter in the Hill-Gully Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1337-1349.

## 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

寇 萌<sup>1</sup>, 焦菊英<sup>1,2,\*</sup>, 尹秋龙<sup>3</sup>, 杜华栋<sup>1,4</sup>, 王东丽<sup>5</sup>

1 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100

2 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100

3 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100

4 西安科技大学地质与环境学院, 西安 710054

5 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100

**摘要:**黄土丘陵沟壑区由于土壤侵蚀严重,天然植被恢复缓慢,植被稀疏,枯枝落叶层的生态效应就显得尤为重要。对该区坡沟不同立地条件下草本群落主要物种的枯落物蓄积量、持水与养分潜在归还能力进行了分析,探讨主要物种枯落物对土壤的改善作用。结果表明:1) 坡沟不同立地条件下枯落物蓄积量差异显著( $P<0.05$ ),在 73.74—175.26 g/m<sup>2</sup>之间变化,表现为阴沟坡> 崩顶>阳沟坡>阴梁崩坡>阳梁崩坡;在坡面不同微地形下也差异显著( $P<0.05$ ),在阳坡表现为株丛>浅沟>鱼鳞坑>裸地,在阴坡为浅沟>鱼鳞坑>株丛>裸地,在崩顶为株丛>裸地。2) 主要物种枯落物最大持水量可达自身干重的 1.22—4.34 倍;不同物种枯落物间的持水能力差异极显著( $P<0.01$ ),表现为白羊草叶>铁杆蒿叶>白羊草茎>达乌里胡枝子叶>长芒草>达乌里胡枝子枝>铁杆蒿枝。3) 枯落物 C、N 含量分别在 7.35%—40.33%和 0.61%—1.60%之间,不同物种间差异极显著( $P<0.01$ ),同一物种枯落物 C、N 含量在坡沟不同立地条件下差异不显著。4) 影响枯落物分解的木质素含量(1.00%—8.20%)、纤维素含量(3.16%—14.06%)、木质素/N 值(0.78—12.48)、C/N 值(5.61—57.41)在不同物种间差异极显著( $P<0.01$ );同一物种木质素含量、纤维素含量和木质素/N 值在坡沟不同立地条件下差异显著( $P<0.05$ ),而 C/N 值不显著。5) 铁杆蒿叶的枯落物养分潜在归还能力最大,达乌里胡枝子和白羊草的枯落物次之,长芒草的枯落物养分潜在归还能力最小。

**关键词:**枯落物; 持水能力; 养分归还; 黄土丘陵沟壑区

## Water holding capacity and potential nutrient return capacity of main herb species litter in the Hill-Gully Loess Plateau

KOU Meng<sup>1</sup>, JIAO Juying<sup>1,2,\*</sup>, YIN Qiulong<sup>3</sup>, DU Huadong<sup>1,4</sup>, WANG Dongli<sup>5</sup>

1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

3 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

4 College of Geology & Environment, XI'AN University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

5 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

**Abstract:** Because of the serious soil erosion, the soil moisture and nutrients deficiency, the slowly recovery and scarcity of natural vegetation in the hill-gully Loess Plateau, the ecological effects of litter layer are particularly important for litter layer effective reduction on surface runoff and mitigate soil erosion. Thus, in this study, the litter accumulation of

**基金项目:**国家自然科学基金重点项目(41030532); 国家自然科学基金(41171226); 中国科学院重要方向项目(KZCX2-EW-406)

**收稿日期:**2013-10-18; **网络出版日期:**2014-07-14

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

communities and main herb species in different site conditions was investigated in the hill-gully Loess Plateau, water holding capacity of litter of main herb species was measured by the immersion method, potential nutrient return capacity of litter of main herb species was analyzed by measuring the nutrients content, lignin and cellulose content, then the effects of main species litter on soil fertility improvement was discussed. It's important to understand the mechanism and efficacy of the resistance of plants to soil erosion. The main results were as follows: 1) the accumulation of community litter was between 73.74—175.26 g/m<sup>2</sup>, and was significantly different in slope-gully sites ( $P < 0.05$ ), ordered as shady gully slope > hilltop > sunny gully slope > shady hilly slope > sunny hilly slope. While in micro-sites ordered as under vegetation > ephemeral gully > fish-scale pit > bare land on the sunny slope, ephemeral gully > fish-scale pit > under vegetation > bare land on the shady slope and under vegetation > bare land on the hilltop. 2) The maximal water holding capacity of litter of main species was up to 1.22—4.34 times of its dry mass, and it was extremely significantly different among species ( $P < 0.01$ ), ordered as the defoliation of *Bothriochloa ischaemun* > the defoliation of *Artemisia gmelinii* > the deadwood of *Bothriochloa ischaemun* > the defoliation of *Lespedeza davurica* > the litter of *Stipa bungeanaon* > the deadwood of *Lespedeza davurica* > the deadwood of *Artemisia gmelinii*. 3) The organic carbon content (7.35%—40.33%) and total nitrogen content (0.61%—1.60%) of species were extremely significant different among species ( $P < 0.01$ ), but they were not significantly different in slope-gully sites. 4) Indicators that influenced litter decomposition (such as lignin content, cellulose content, lignin/N ratio, C/N ratio) were extremely significant different among species ( $P < 0.01$ ). The lignin content (1.00%—8.20%) and cellulose content (3.16%—14.06%) and lignin/N ratio (0.78—12.48) were extremely significantly different in slope-gully sites ( $P < 0.05$ ), while C/N ratio (5.61—57.41) was not significantly different. 5) The potential nutrient return capacity of *Artemisia gmelinii* defoliation was the highest, followed by the litter of *Lespedeza davurica* and *Bothriochloa ischaemun*, and the litter of *Stipa bungeanaon* was the lowest. In conclusion, the water holding capacity and the potential nutrient return capacity of *Bothriochloa ischaemun* litter on the sunny slope and the defoliation of *Artemisia gmelinii* and *Lespedeza davurica* on the hilltop and shady slope were the highest among species in slope-gully sites, they could effectively improve the soil fertility. While, the litter of *Stipa bungeanaon* water holding capacity and the potential nutrient return capacity both were the lowest among species in slope-gully sites. The soil fertility effects of different species should be considered when the vegetation was used to control soil erosion. The species should be chosen which not only could control soil erosion but also significantly improve soil fertility, and then the soil quality could be slowly improved. Therefore, *Bothriochloa ischaemun*, *Artemisia gmelinii* and *Lespedeza davurica* were the good choice to control soil erosion on the slopes.

**Key Words:** litter; water holding capacity; nutrient return; hill-gully Loess Plateau

植物枯落物是指群落中生产者——植物的部分器官、组织因死亡而枯落并归还到土壤中,作为分解者和某些消费者的物质和能量来源的有机物质的总称,包括落枝、落叶、落皮、枯落的繁殖器官及枯死的根等,它对维持植被生态系统的物质循环、能量流动、信息传递具重要作用<sup>[1]</sup>。枯落物可有效减少地表径流和减缓土壤侵蚀<sup>[2]</sup>,枯落物层就像一层海绵覆盖在地表,防止土壤溅蚀、拦蓄渗透降水、补充土壤水分等<sup>[3-4]</sup>;其截留降水的能力取决于枯落物的厚度、湿润状况和和持水能力等因素<sup>[5]</sup>。枯落物能以养分归还的形式向土壤及生态系统传递营养和能量,是植物把从土壤中得到的养分归还给土壤的重要途径,并能改善土壤理化性质、维持土壤养分循环等,在整个土壤-植被-大气连续体中起着重要作用<sup>[6-8]</sup>。

对枯落物的研究最早始于森林枯落物的研究,包括枯落物的产生和化学组成<sup>[9]</sup>,枯落物在森林生态系统中的重要作用<sup>[10]</sup>,枯落物蓄积量的测定方法<sup>[11]</sup>等。从 20 世纪 80 年代开始,更多的学者开始关注草地枯落物的研究,国内学者对东北松嫩羊草草地<sup>[12]</sup>和内蒙古温带典型草原草地<sup>[13]</sup>的枯落物进行了相关研究。在黄土丘陵沟壑区,由于地貌破碎,土壤侵蚀严重,土壤水分养分亏缺,天然植被恢复缓慢,植被稀疏,枯枝落叶层

的生态效应就显得尤为重要,尤其是在减少土壤侵蚀方面的作用非常巨大<sup>[14]</sup>,许多学者对黄土高原人工林枯落物的凋落量、截持降水、抑制土壤水分蒸发、增强土壤入渗、影响地表径流、持水特性等方面的研究都取得了一定成果<sup>[15-17]</sup>。但对黄土丘陵沟壑区自然恢复的草本群落及主要物种枯落物的研究少见报道。基于此,本研究通过野外调查黄土丘陵沟壑区不同立地条件下群落及主要物种的枯落物蓄积量,采用室内浸泡法对主要物种枯落物持水性进行分析,并测定主要物种枯落物养分含量、木质素和纤维素含量来分析枯落物的养分潜在归还能力,探讨草本群落及主要物种枯落物对土壤环境的改善作用,对了解植物抵抗土壤侵蚀的机理与功效有重要的理论意义。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在地处陕北黄土丘陵沟壑区的安塞县(105°51'44"—109°26'18" E, 36°22'40"—36°32'16" N),海拔 997—1731 m。气候属暖温带半干旱气候区,年均降水量 500 mm 左右,分布不均,降雨集中,且多暴雨,7—9 月降雨量占全年 60%左右,年均蒸发量 1000 mm,无霜期 160—180 d,年日照时数 2352—2573 h,年均气温 8.9 ℃。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95%左右,其中粉粒占 64%—73%,黏粒占 17%—20%,土质疏松,抗蚀性差,水土流失严重。植被划分属于暖温带森林草原区,主要以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)等人工乔木为主,灌丛主要是柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等人工灌丛及封禁后形成的黄刺玫(*Rosa xanthina*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、狼牙刺(*Sophora viciifolia*)等天然灌丛,草本植物主要是铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、大针茅(*Stipa grandis*)和披针叶苔草(*Carex lanceolata*)等<sup>[18]</sup>。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样地选择与调查

在安塞县的纸坊沟和宋家沟流域,选取 3 对阴阳坡沟作为研究对象。坡沟系统作为黄土丘陵沟壑区小流域侵蚀产沙的基本单元,由于长期的侵蚀,其地貌形态、坡度及土壤侵蚀程度存在垂直变化,这种侵蚀垂直分带性影响到环境水、热和养分的分布,从而使植被在垂直分布上发生变化。因此,依据黄土丘陵沟壑区大的地貌单元(沟间地和沟谷地)及坡沟侵蚀类型的不同,将研究区坡沟系统划分为 5 种不同立地条件:阳沟坡、阳梁崩坡、崩顶、阴梁崩坡、阴沟坡,分别在 5 种不同立地条件下选取样地,共调查样地 15 个(每种立地条件 3 个重复),选取的样地均为草本群落,在 2012 年 8 月初进行植被调查,植被调查按对角线方向布设样方,样方 2 m × 2 m(每个样地 3 个重复),主要物种有铁杆蒿、达乌里胡枝子、长芒草、白羊草等。样地基本情况见表 1。

于 2011 年 11 月至 2012 年 11 月动态观测枯落物情况:在样地株丛周围、裸露地及有浅沟和鱼鳞坑的地方布设固定样方,样方 50 cm × 50 cm,做 3 个重复,收集样方内枯落物(每月调查 1 次),测定其蓄积量,研究枯落物持水与养分潜在归还能力。

#### 1.2.2 枯落物蓄积量测定

收集样方内的枯落物,带回室内烘干(65 ℃, 24 h)后测干重,然后分拣群落主要物种枯落物,按枯枝、落叶分装称干重,以平均干物质重计算群落和主要物种枯落物蓄积量。烘干后样品保留备用。

#### 1.2.3 枯落物持水能力测定

枯落物的持水能力多用烘干后枯落物干物质的最大持水率表示,其值大小与枯落物组成和累积状况等有关。一般枯落物最大持水率越大,表示枯落物的持水能力越强。因此,本研究通过室内浸泡法测定枯落物的最大持水率,以此来表示枯落物的持水能力。

将烘干的全年枯落物混匀,取部分放入已称重尼龙网袋中,每个物种的枯落物共装 12 袋,将其放入盛有清水的烧杯中,水面要略高于尼龙网袋上沿。将枯落物浸入水中后,样品在浸泡 5、10、15、30 min 和 1、2、4、6、

8、10、12 h 后依次取出一袋,称其湿重;待浸泡 24 h 后,称湿重计算枯落物的最大持水率<sup>[19]</sup>:

$$\text{枯落物自然含水率} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

$$\text{枯落物最大持水率} = \frac{W_3 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

式中,  $W_1$  为自然状态下枯落物重量,  $W_2$  为烘干后枯落物干重,  $W_3$  为浸泡 24 h 后枯落物重量。

表 1 样地基本情况

Table 1 The basic information of the sample plots

样地 Sample	海拔/m Elevation	坡向 Aspect	坡位 Slope position	坡度/(°) Slope	主要物种 Dominant species	植被盖度/% Coverage	侵蚀程度 Erosion degree
1	1161	南	沟坡	36	铁杆蒿、达乌里胡枝子	40	强度
2	1161	南	沟坡	36	铁杆蒿、芨蒿	15	强度
3	1147	南	沟坡	46	白羊草、芨蒿、达乌里胡枝子	35	强度
4	1246	南	梁崩坡	37	长芒草、白羊草	15	强度
5	1206	南	梁崩坡	25	白羊草、菊叶委陵菜	17	强度
6	1173	南	梁崩坡	26	白羊草、长芒草、达乌里胡枝子	50	中度
7	1161		崩顶	3	铁杆蒿、长芒草	30	轻度
8	1240		崩顶	3	长芒草、铁杆蒿、甘草、达乌里胡枝子	32	轻度
9	1195		崩顶	3	长芒草、达胡、猪毛蒿	52	轻度
10	1165	北	梁崩坡	25	铁杆蒿、长芒草	30	中度
11	1186	北	梁崩坡	26	大针茅、长芒草、铁杆蒿	30	中度
12	1186	北	梁崩坡	26	铁杆蒿、长芒草、糙隐子草	27	中度
13	1126	北	沟坡	37	中华卷柏、野菊花、铁杆蒿、长芒草	70	中度
14	1116	北	沟坡	32	披针叶苔草、野菊花、铁杆蒿	70	中度
15	1101	北	沟坡	23	芨蒿、铁杆蒿、达乌里胡枝子	60	中度

土壤侵蚀程度依据土壤侵蚀分类分级标准 SL 190—2007 以及实地调查结果分为轻度、中度、强度;菊叶委陵菜 *Potentilla tanacetifolia*, 甘草 *Glycyrrhiza uralensis*, 猪毛蒿 *Artemisia scoparia*, 糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*, 中华卷柏 *Selaginella sanguinolenta*, 野菊花 *Dendranthema indicum*, 异叶败酱 *Patrinia heterophylla*

#### 1.2.4 枯落物养分含量测定

将上述剩余的烘干枯落物粉碎,称取 0.015 g 左右样品(精确到 0.0001 g),采用  $\text{KCr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$  氧化法测定 C 含量;称取 0.4 g 左右样品(精确到 0.0001 g)用于 N 测定,测定方法为  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消煮,用凯氏定氮法测定 N 含量<sup>[20]</sup>;称取 0.05—0.10 g 样品,用 72% 浓硫酸水解法测定纤维素含量,用浓硫酸法测定木质素含量<sup>[21]</sup>。

#### 1.2.5 枯落物养分潜在归还能力分析

枯落物养分只有通过分解途径,将复杂的有机物分解为简单的化合物才能归还给土壤。枯落物本身的理化性质是制约其分解的内因<sup>[22]</sup>,木质素、纤维素含量及 C/N 值和木质素/N 与枯落物的养分释放呈负相关关系<sup>[23-24]</sup>。因此,本研究通过测定木质素含量、纤维素含量、C/N 值、木质素/N 值等指标来衡量枯落物的相对可分解性。

通过 C 含量、N 含量与枯落物蓄积量的乘积可估算出枯落物的年养分归还量,这个结果只是反映了枯落物潜在的 C、N 最大归还量<sup>[25]</sup>。同时,木质素含量、纤维素含量、C/N 值、木质素/N 值等指标也会对枯落物的养分归还量有影响,这些指标共同影响枯落物的分解,因此,本研究通过模糊数学隶属函数法,计算物种的综合隶属函数值,以此来表明枯落物的养分潜在归还能力。

由于测定指标与枯落物分解呈负相关,因此采用反隶属函数计算。把枯落物各项指标隶属函数值( $X_u$ )累加取平均值,平均隶属函数值越大,表示该物种枯落物越易分解:

$$X_u = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中, $X_u$ 为枯落物的各指标隶属值, $X$ 为各物种枯落物的某一指标测定值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为所有枯落物中此指标的最大值和最小值<sup>[26]</sup>。

### 1.2.6 数据处理

采用 Excel 进行公式计算及图表数据的处理,SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析和差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 枯落物的蓄积量及月动态变化

#### 2.1.1 不同立地条件及微地形的枯落物变化特征

枯落物的蓄积量表现为阴沟坡>峁顶>阳沟坡>阴梁峁坡>阳梁峁坡,阴沟坡的枯落物蓄积量最大,为 175.3 g/m<sup>2</sup>,与其它立地条件的群落枯落物蓄积量差异显著( $P<0.05$ ) (图 1)。不同立地条件下的枯落量月变化表现为:越冬后 4 月份枯落物的现存量最高,后随植被生长,枯落物持续下降,到 6、7 月份,植被生长旺盛时期,枯落量最低,之后又持续上升,在 10、11 月,大多数植被枯萎时期,枯落量又达到高峰期(图 2)。

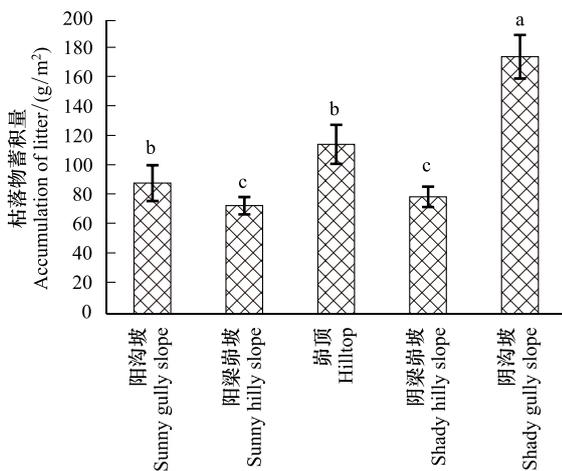


图 1 坡沟 5 种立地条件下的枯落物蓄积量

Fig.1 Litter accumulation of communities in five site conditions of hilly and gully slope

不同字母表示差异显著, $P<0.05$ ,相同字母表示不显著

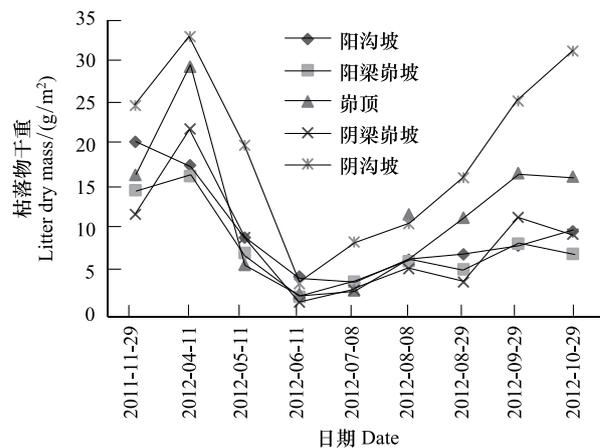


图 2 群落水平上枯落物的月动态变化

Fig.2 The dynamic change of litter dry mass among different months

微地形对枯落物蓄积量的影响差异显著( $P<0.05$ ),在阳坡表现为株丛>浅沟>鱼鳞坑>裸地,在阴坡为浅沟>鱼鳞坑>株丛>裸地,在峁顶为株丛>裸地;不同立地条件下的株丛拦蓄量差异显著( $P<0.05$ ),鱼鳞坑和浅沟的拦蓄量都是阴坡>阳坡。株丛拦蓄枯落物的能力是裸地的 4.5 倍,在阳坡,株丛的拦蓄能力是浅沟和鱼鳞坑的 1.5 倍,而在阴坡浅沟的拦蓄能力是株丛的 1.8 倍,鱼鳞坑的拦蓄能力是株丛的 1.2 倍(图 3)。

#### 2.1.2 主要物种的枯落物变化特征

不同立地条件下的主要物种枯落物蓄积量差异显著( $P<0.05$ ) (表 2),这与所处群落类型有关。阳坡多为白羊草-铁杆蒿和白羊草-达乌里胡枝子群落,白羊草、铁杆蒿、达乌里胡枝子枯落量较高,占总量的 42.43%,长芒草枯落量最低;峁顶多为长芒草-铁杆蒿,长芒草-达乌里胡枝子群落,铁杆蒿、长芒草、达乌里胡枝子枯落量较高,占总量的 31.73%,白羊草含量最低;阴梁峁坡为铁杆蒿-长芒草群落,铁杆蒿、长芒草枯落量较高,占总量的 31.68%;阴沟坡多为野菊花-铁杆蒿-长芒草,茭蒿-野菊花群落,铁杆蒿、长芒草优势度相对较大,但由

于阴沟坡水分条件较好,相应的枯落量较多,其枯落量占总量的 20.50%。

达乌里胡枝子叶、铁杆蒿叶枯落量随自身生长节律变化(图 4),生长期枯落量很少,多为往年的落叶,最低量出现在生长旺盛时期,等开花结种后,落叶量迅速增加。达乌里胡枝子叶在 2011 年 12 月份枯落量最大,越冬后 4—6 月枯落量持续下降,在 6 月份最低,因为其花期在 6—8 月,果期在 9—10 月,叶子在其开花后即慢慢枯萎凋落,在结种后叶子基本凋落,故从 6 月后达乌里胡枝子叶枯落量持续上升,在 10 月份达到峰值;铁杆蒿叶在越冬后 4 月枯落量最大,后持续下降,在 6 月最低,在果期 11 月达到高峰期。

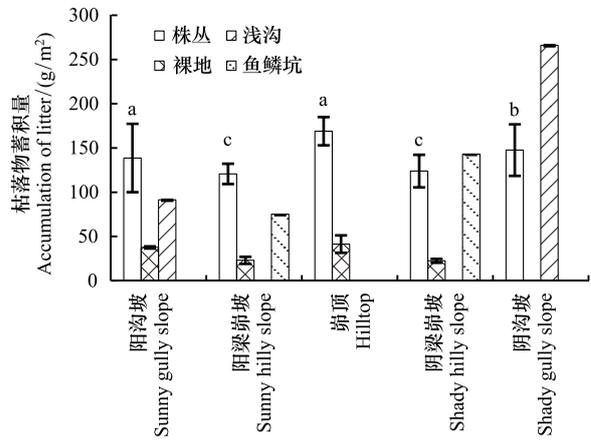


图 3 坡沟 5 种立地条件下微地形枯落物蓄积量  
Fig.3 Litter accumulation of micro-sites in five site conditions of hilly and gully slope

表 2 坡沟 5 种立地条件下的主要物种枯落物蓄积量 (g/m²)

Table 2 Litter accumulations of main species in five site conditions of hilly and gully slope

主要物种 Main species	阳沟坡 Sunny gully slope	阳梁崮坡 Sunny hilly slope	崮顶 Hilltop	阴梁崮坡 Shady hilly slope	阴沟坡 Shady gully slope
达乌里胡枝子叶 <i>Lespedeza davurica</i> defoliation	8.40±1.32b	4.25±1.18b	6.32±2.41c	5.81±1.47b	3.32±0.95c
铁杆蒿叶 <i>Artemisia gmelinii</i> defoliation	5.48±2.35c	5.50±3.08a	17.39±4.53a	9.67±4.26a	3.91±0.24c
铁杆蒿枝 <i>Artemisia gmelinii</i> deadwood	13.85±3.21a	5.96±0.80a	10.11±1.67b	11.54±0.35a	25.00±4.73a
白羊草叶 <i>Bothriochloa ischaemum</i> defoliation	4.56±2.31c	4.15±0.35b	0.51±0.13e		
白羊草茎 <i>Bothriochloa ischaemum</i> deadwood	7.43±3.71b	7.88±1.01a	0.15±0.03e		
长芒草 the litter of <i>Stipa bungeana</i>	0.76±0.18d	3.70±2.19b	2.20±0.30d	4.07±1.17b	7.03±0.19b

同列不同字母表示差异显著,  $P < 0.05$ , 相同字母表示不显著

铁杆蒿枝、白羊草和长芒草枯落量不随自身生长物候期变化,因为它们枯萎后,并不立即全部落到地面,枯落物层只包含有部分当年死亡组织部分,大部分仍以立枯体的形式存在,随风吹雨淋作用立枯体逐渐凋落伏倒在地面,因此每月都能收集到一定量的枯落物。

2.2 主要物种枯落物的持水能力

枯落物持水率与浸泡时间的变化如图 5 所示。不同立地条件下主要物种的变化趋势一致,表现为铁杆蒿叶在 1 h 内持水率有一个明显的增幅,之后持水率增加趋势渐缓;其他物种在刚开始的 0.5 h 之内持水率增幅较大,之后持水率增加趋势渐缓;刚开始的 0.25 h 铁杆蒿叶持水率小于达乌里胡枝子叶的持水率,但是之后达乌里胡枝子叶持水率增幅较缓而铁杆蒿叶持水率增幅较快,故 0.25 h 之后,铁杆蒿叶的持水率大于达乌里胡枝子叶的持水率。

枯落物最大持水量可达自身干重的 1.22—4.34 倍(表 3),最小的是阳沟坡铁杆蒿枯枝最大持水量为自身干重的 1.22 倍,最大的是阴沟坡铁杆蒿落叶的最大持水量是自身干重的 4.34 倍。各物种枯落物间的最大持水率差异极显著 ( $P < 0.01$ )。枯落物最大持水率即持水能力均表现为白羊草叶 > 铁杆蒿叶 > 白羊草茎 > 达乌里胡枝子叶 > 长芒草 > 达乌里胡枝子枝 > 铁杆蒿枝。

2.3 主要物种枯落物的养分潜在归还能力

2.3.1 枯落物养分含量

不同物种 C 含量在 7.35%—40.33% 之间, N 含量在 0.61%—1.60% 之间(表 4),主要物种间 C、N 含量差异极显著 ( $P < 0.01$ ),铁杆蒿枝、叶和达乌里胡枝子枝的 C 含量较高,其次为白羊草和长芒草,达乌里胡枝子叶的 C 含量最低; N 含量则为达乌里胡枝子叶 > 铁杆蒿叶 > 达乌里胡枝子枝 > 铁杆蒿枝 > 白羊草、长芒草。

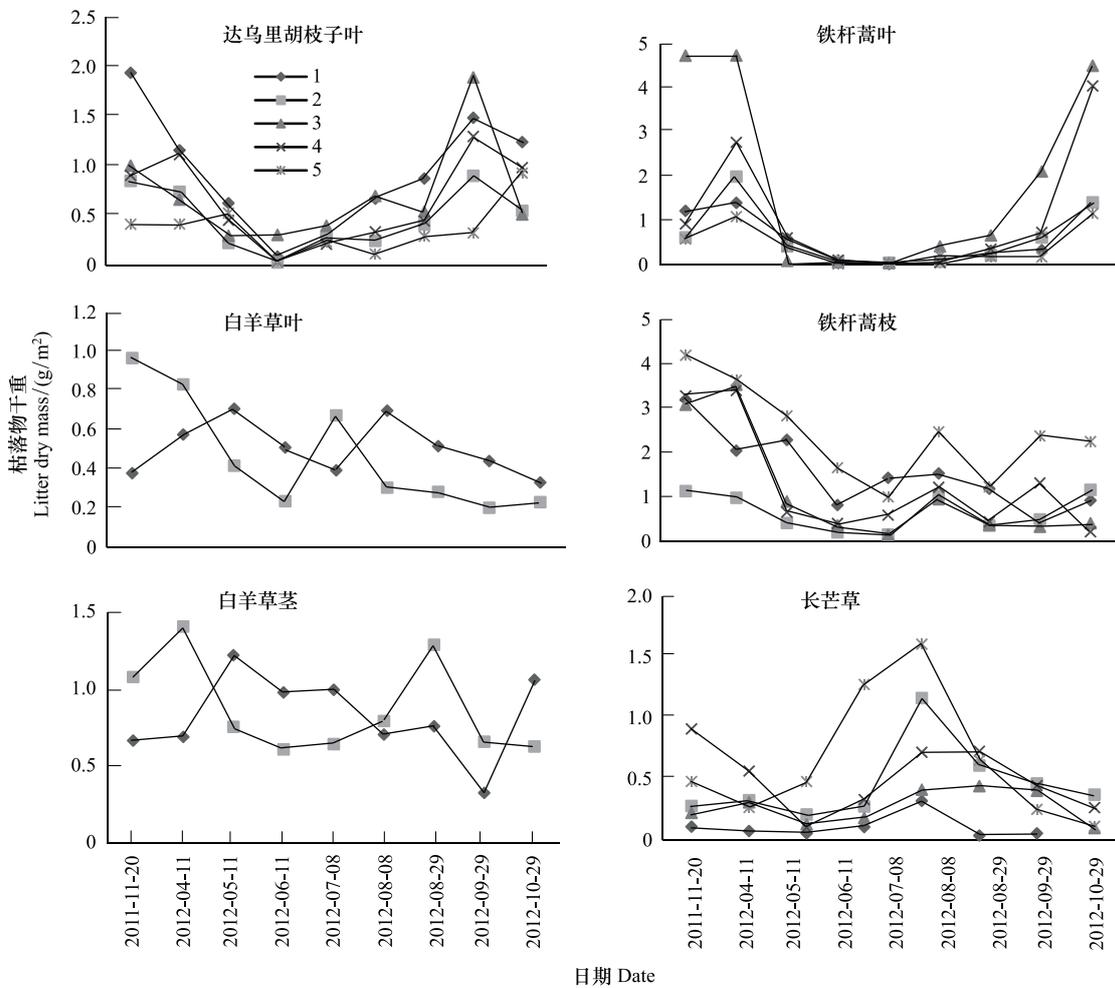


图 4 主要物种枯落物的月动态变化

Fig.4 The dynamic change of litter dry mass among different months

1: 阳沟坡 Sunny gully slope; 2: 阳梁崩坡 Sunny hilly slope; 3: 崩顶 Hilltop; 4: 阴梁崩坡 Shady hilly slope; 5: 阴沟坡 Shady gully slope

表 3 坡沟 5 种立地条件下的主要物种枯落物最大持水率

Table 3 The maximal water holding rate of main species litter in five site conditions of hilly and gully slope

物种 Species	阳沟坡 Sunny gully slope	阳梁崩坡 Sunny hilly slope	崩顶 Hilltop	阴梁崩坡 Shady hilly slope	阴沟坡 Shady gully slope
达乌里胡枝子叶	2.45±0.09C	2.34±0.04C	2.99±0.11B	3.42±0.10B	3.56±0.16B
达乌里胡枝子枝	1.25±0.07D	1.87±0.04D	1.59±0.03D	1.74±0.09D	1.90±0.12D
铁杆蒿叶	3.06±0.09B	3.29±0.03B	3.64±0.17A	4.27±0.08A	4.34±0.18A
铁杆蒿枝	1.21±0.03D	1.61±0.08E	1.45±0.00D	2.11±0.19D	1.84±0.04D
白羊草叶	3.83±0.23A	3.99±0.07A			
白羊草茎	2.89±0.12B	2.98±0.14B			
长芒草	2.18±0.09C	2.63±0.07C	2.47±0.13C	2.21±0.12C	2.67±0.05C

同列不同字母表示差异极显著,  $P < 0.01$ , 相同字母表示不显著

同一物种在不同立地条件下的 C、N 含量表现也有所不同, 达乌里胡枝子在阴坡 C 含量较高, 其落叶 C 含量在不同立地条件下差异显著 ( $P < 0.05$ ); 铁杆蒿和长芒草 C 含量在崩顶最高, 但在不同立地条件下差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 白羊草叶 C 含量在阳沟坡较大, 阳沟坡与阳梁崩坡差异显著 ( $P < 0.05$ ); 白羊草茎 C 含量在阳梁崩坡较大, 阳梁崩坡与阳沟坡差异显著 ( $P < 0.05$ )。达乌里胡枝子表现 N 含量为崩顶 > 阴坡 > 阳坡, 沟坡 > 梁崩坡; 长芒草 N 含量为阳坡 > 崩顶 > 阴坡, 沟坡 > 梁崩坡; 铁杆蒿 N 含量为阳坡 > 阴坡 > 崩顶, 沟坡 > 梁崩坡; 白羊草

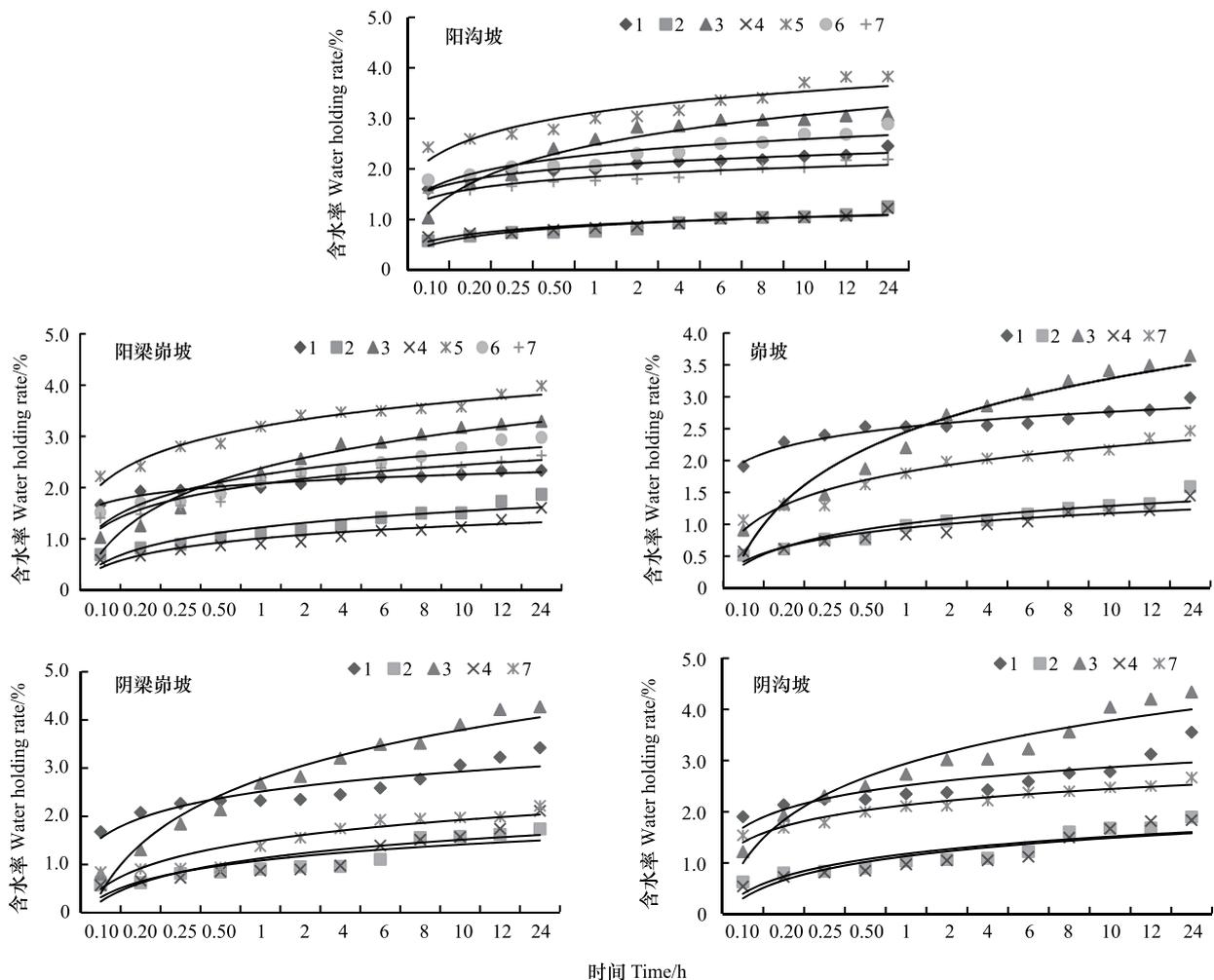


图5 枯落物持水率随时间变化

Fig.5 The relationship between water holding rate of litter and soaking time

1: 达乌里胡枝子叶, the defoliation of *Lespedeza davurica*; 2: 达乌里胡枝子枝, the deadwood of *Lespedeza davurica*; 3: 铁杆蒿叶, the defoliation of *Artemisia gmelinii*; 4: 铁杆蒿枝, the deadwood of *Artemisia gmelinii*; 5: 白羊草叶, the defoliation of *Bothriochloa ischaemum*; 6: 白羊草茎, the deadwood of *Bothriochloa ischaemum*; 7: 长芒草, *Stipa bungeana*

N 含量阳沟坡>阳梁崩坡;除达乌里胡枝子枝和白羊草茎外,其他物种组分在不同立地条件条件下差异显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.3.2 枯落物养分潜在归还量

主要物种 C 的潜在归还量在 0.19—9.15 g/m<sup>2</sup> 之间, N 的潜在归还量在 0.01—0.22 g/m<sup>2</sup> 之间, 最小值均出现在阳沟坡, 而最大值出现在阴沟坡。C 归还量表现为铁杆蒿>白羊草>达乌里胡枝子、长芒草, N 归还量表现为铁杆蒿>达乌里胡枝子>白羊草>长芒草(表 4)。

### 2.3.3 主要物种枯落物的养分潜在归还能力

影响枯落物分解的木质素含量在 1.00%—8.20% 之间, 纤维素含量在 3.16%—14.06% 之间, 木质素/N 值在 0.78—12.48 之间, C/N 值在 5.61—57.41 之间, 不同物种间的差异极显著 ( $P<0.01$ ) (表 5), 在不同立地条件下, 同一物种木质素与纤维素含量、木质素/N 值差异显著 ( $P<0.05$ ), C/N 值差异不显著 ( $P>0.05$ )。采用反隶属函数法对主要物种枯落物的养分潜在归还能力进行综合评价, 表现为铁杆蒿叶>达乌里胡枝子>白羊草>铁杆蒿枝>长芒草(表 6)。

表 4 坡沟 5 种立地条件下的主要物种枯落物 C、N 含量及其归还量

Table 4 The amounts and return amounts of carbon, nitrogen of main species litter in five site conditions of hilly and gully slope

立地条件 Site condition	物种 Species	蓄积量/(g/m <sup>2</sup> ) Accumulation	C 含量/% Carbon content	N 含量/% Nitrogen content	C 归还量/(g/m <sup>2</sup> ) Carbon return	N 归还量/(g/m <sup>2</sup> ) Nitrogen return
阳沟坡 Sunny gully slope	达乌里胡枝子叶	8.40±1.32a	12.59±2.16D	1.48±0.04A	1.06	0.12
	达乌里胡枝子枝		36.52±0.32A	0.91±0.04D		
	铁杆蒿叶	5.48±2.35b	33.67±2.55A	1.33±0.03B	1.85	0.07
	铁杆蒿枝	13.85±3.21a	34.40±0.85A	0.89±0.02DE	4.77	0.12
	白羊草叶	4.56±2.31b	27.28±1.74B	0.81±0.02E	1.24	0.04
	白羊草茎	7.43±3.71b	20.42±2.14C	0.64±0.03F	1.52	0.05
	长芒草	0.76±0.18b	25.24±2.96BC	0.71±0.03F	0.19	0.01
阳梁崩坡 Sunny hilly slope	达乌里胡枝子叶	4.25±1.18	7.35±2.15C	1.31±0.05A	0.31	0.06
	达乌里胡枝子枝		34.91±0.97A	0.90±0.03C		
	铁杆蒿叶	5.50±3.08	35.62±1.44A	1.26±0.01A	1.96	0.07
	铁杆蒿枝	5.96±0.80	34.55±1.70A	0.87±0.04B	2.06	0.05
	白羊草叶	4.15±0.35	23.20±0.66B	0.73±0.02C	0.96	0.03
	白羊草茎	7.88±1.01	24.63±0.69B	0.61±0.05D	1.94	0.05
	长芒草	3.70±2.19	21.38±1.34B	0.62±0.02D	0.79	0.02
崩顶 Hilltop	达乌里胡枝子叶	6.32±2.41b	14.62±1.77E	1.60±0.03A	0.91	0.10
	达乌里胡枝子枝		33.98±1.68B	0.99±0.02D		
	铁杆蒿叶	17.39±4.53a	37.97±2.88A	1.19±0.02C	6.60	0.21
	铁杆蒿枝	10.11±1.67b	40.33±1.15A	0.70±0.02E	4.08	0.07
	长芒草	2.20±0.30c	30.34±0.93C	0.67±0.02E	0.67	0.01
阴梁崩坡 Shady hilly slope	达乌里胡枝子叶	5.81±1.47b	16.59±1.45C	1.38±0.02A	0.96	0.08
	达乌里胡枝子枝		37.31±1.72A	0.94±0.03D		
	铁杆蒿叶	9.67±4.26a	32.15±2.40A	1.14±0.02C	3.11	0.11
	铁杆蒿枝	11.54±0.35	36.37±1.86A	0.77±0.03E	4.20	0.09
	长芒草	4.07±1.17b	25.37±2.03B	0.61±0.02F	1.03	0.02
阴沟坡 Shady gully slope	达乌里胡枝子叶	3.32±0.95b	8.47±1.59C	1.51±0.03A	0.28	0.05
	达乌里胡枝子枝		38.33±1.88A	0.99±0.02CD		
	铁杆蒿叶	3.91±0.24b	29.73±4.31B	1.30±0.02B	1.16	0.05
	铁杆蒿枝	25.00±4.73a	36.61±1.46A	0.89±0.04D	9.15	0.22
	长芒草	7.03±0.19b	25.55±2.61B	0.64±0.01E	1.80	0.05

同列不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ , 不同大写字母表示差异极显著,  $P < 0.01$ , 相同字母表示不显著

表 5 枯落物在坡沟 5 种立地条件影响分解速率的指标

Table 5 Decomposition rate indexes of main species litter in five site conditions of hilly and gully slope

立地条件 Site condition	物种 Species	木质素/% Lignin	纤维素/% Cellulose	C/N Carbon/Nitrogen ratio	木质素/N Lignin/Nitrogen ratio
阳沟坡 Sunny gully slope	达乌里胡枝子叶	6.24±0.05C	14.06±0.16E	8.52F	4.22D
	达乌里胡枝子枝	4.90±0.23E	9.50±0.13A	40.30A	5.41C
	铁杆蒿叶	3.56±0.05F	13.19±0.36B	25.33D	2.67E
	铁杆蒿枝	2.80±0.36G	12.92±0.31C	38.84B	3.16E
	白羊草叶	4.43±0.04E	6.91±0.36F	33.47D	8.47C
	白羊草茎	7.97±0.09B	3.74±0.14G	31.95E	12.48A
	长芒草	8.20±0.09A	11.56±0.04D	35.52C	11.54B
阳梁崩坡 Sunny hilly slope	达乌里胡枝子叶	7.02±0.05C	13.78±0.03A	5.61E	5.36B
	达乌里胡枝子枝	3.78±0.03E	3.16±0.13F	38.63AB	4.19C
	铁杆蒿叶	1.28±0.27G	9.72±0.23C	28.27D	1.02D

续表

立地条件 Site condition	物种 Species	木质素/% Lignin	纤维素/% Cellulose	C/N Carbon/Nitrogen ratio	木质素/N Lignin/Nitrogen ratio
山顶 Hilltop	铁杆蒿枝	4.99±0.00H	5.65±0.05E	39.77A	5.74B
	白羊草叶	3.95±0.18F	9.15±0.18C	31.84CD	5.42B
	白羊草茎	2.31±0.09B	3.99±0.00G	40.53A	3.80C
	长芒草	6.02±0.09A	8.64±0.09D	34.42BC	9.69A
	达乌里胡枝子叶	2.80±0.21D	13.82±0.16A	9.13D	1.75F
	达乌里胡枝子枝	4.80±0.21B	7.03±0.08C	34.19C	4.83C
	铁杆蒿叶	4.51±0.18B	10.30±0.13D	32.03C	3.81D
	铁杆蒿枝	5.39±0.27A	10.56±0.05C	57.41A	7.68B
	长芒草	6.81±0.32A	10.22±0.00D	45.40B	10.19A
阴梁崩坡 Shady hilly slope	达乌里胡枝子叶	7.33±0.11A	13.89±0.03A	11.98C	5.29C
	达乌里胡枝子枝	3.98±0.03D	7.89±0.03E	39.76A	4.24D
	铁杆蒿叶	3.78±0.05D	12.51±0.18C	28.18B	3.31E
	铁杆蒿枝	5.96±0.13C	7.75±0.09E	47.21A	7.74B
阴沟坡 Shady gully slope	长芒草	6.08±0.36B	10.38±0.22D	41.86A	10.04A
	达乌里胡枝子叶	5.68±0.05A	12.36±0.08A	5.61C	3.76C
	达乌里胡枝子枝	5.28±0.27A	3.39±0.27D	38.65A	5.32A
	铁杆蒿叶	1.00±0.14C	12.74±0.13A	22.93B	0.78F
	铁杆蒿枝	1.09±0.41C	10.34±0.05B	41.18A	1.22E
	长芒草	3.23±0.04B	8.16±0.22C	39.84A	5.04B

同列不同字母表示差异极显著,  $P < 0.01$ , 相同字母表示不显著

表 6 主要物种枯落物 4 个指标的隶属函数值及养分潜在归还能力排序

Table 6 Membership function values of 4 indexes of main species litter and their potential return capacity order

物种 Species	隶属函数值 Membership function values				平均值 Average of membership function	养分潜在归还能力排序 Order of potential return capacity
	木质素 Lignin	纤维素 Cellulose	C/N Carbon/ Nitrogen ratio	木质素/N Lignin/ Nitrogen ratio		
铁杆蒿叶	1.0000	0.1942	0.4776	1.0000	0.6684	1
达乌里胡枝子枝	0.4695	0.7596	0.1791	0.6450	0.5133	2
达乌里胡枝子叶	0.0788	0.0000	1.0000	0.7482	0.4568	3
白羊草叶	0.5812	0.5713	0.3330	0.3373	0.4557	4
白羊草茎	0.2868	1.0000	0.2353	0.1663	0.4221	5
铁杆蒿枝	0.6253	0.4258	0.0000	0.6008	0.4129	6
长芒草	0.0005	0.3895	0.1491	0.0000	0.1348	7

### 3 讨论

#### 3.1 枯落物的蓄积量及月变化动态分析

黄土丘陵沟壑区不同立地条件下的草本群落枯落物枯落节律从 6 月开始按一定的波动逐步上升, 至 10—11 月份达到峰值, 这与荒漠草原<sup>[27]</sup>和东北羊草草地<sup>[28]</sup>枯落物枯落节律相似。枯落物的枯落节律依赖于植物本身的生物学特性及外部环境。由于冬季封山, 在越冬后 4 月份收集到的枯落物较多, 4—5 月是植物的返青期, 植被生长迅速, 几乎没有枯死组织; 6—8 月是植物生长旺盛时期, 但由于干旱高温, 植物为了减少蒸腾作用, 部分老叶水分代谢减弱, 开始脱落; 进入 9 月, 由于受自身发育节律影响, 植物进入生长末期, 枯死速率加快, 枯落物量急剧增加; 到了 10—11 月, 草本植被基本枯落, 枯落量达到最大值<sup>[27]</sup>。

不同立地条件下的草本群落枯落物蓄积量在 73.74—175.26 g/m<sup>2</sup> 之间, 这与固原半干旱区封禁草地群落

枯落物蓄积量(83—132 g/m<sup>2</sup>)大体一致<sup>[29]</sup>。枯落物蓄积量与不同立地条件的群落类型有关,群落光合效率越高,固定的有机物就越多,相应形成的枯落物也越多,阴坡相对于阳坡,环境条件较好,更适宜于植被生长,因此枯落量较多;另外,由于不同立地条件下形成的径流对枯落物产生冲推作用不同,会影响枯落物量的分布,沟坡的枯落量较多,而崩坡的枯落量较少,崩顶坡度平缓,枯落物不易被冲走,枯落量较高;同时,局部微地形地貌可直接影响枯落物的流动堆积<sup>[30]</sup>,植被株丛对径流有一定的拦截作用,在株丛下随风吹走、径流冲走的枯落物较少,大部分都会被株丛拦截下来,株丛下枯落物蓄积量较高,不同立地条件株丛下的枯落物蓄积量不同主要与植被盖度有关;裸地由于没有植被拦截作用,周围也无遮挡物,枯落物易被风、径流带走,因此,裸地蓄积量很少;浅沟是由于侵蚀冲成的沟断面,呈弧形,无明显沟缘,深不超过0.5 m的小沟,形成一个相对狭窄的凹面,鱼鳞坑是在梁崩坡面挖的具有一定蓄水容量的土坑,一般规格为高0.4 m、长0.8 m、宽0.6 m,因此,浅沟和鱼鳞坑内的枯落物不易随风、径流等外力作用带走,阴坡浅沟和鱼鳞坑株丛较多,阳坡浅沟和鱼鳞坑内基本没有株丛,故浅沟和鱼鳞坑内蓄积量在阴坡较大,且大于株丛拦蓄量,在阳坡较小,且小于株丛。

### 3.2 枯落物的持水性分析

主要物种的枯落物持水率差异极显著,主要与物种本身的形态结构有关,白羊草叶上下表皮全为泡状细胞覆盖,当遇到水分时,能迅速吸水,与外切面角质层配合也可迅速吸水,白羊草茎秆中空,可大量储存水分;达乌里胡枝子叶的海绵组织中分布一层粘液细胞,有保水能力;铁杆蒿叶肉为全栅型,靠近上、下表皮都存在栅栏组织,有利于保水;长芒草靠近下表皮的纤维组织连成一片,形成纤维“帐幕”,不利于枯落物吸水<sup>[31]</sup>。同一物种在不同立地条件下其持水率差异显著,主要是由于不同立地条件光照、水分等影响植物生长发育的生态因子不同,植物在长期的适应过程中,为减少不同立地条件下的强光或干旱等对自身生长的胁迫,其形态结构变化较为明显<sup>[32]</sup>,不同立地条件物种的形态结构变化存在差异,其持水能力也存在差异。

一定量的枯落物可以保护表土免受降水侵蚀,增加土壤水分<sup>[33]</sup>,一是由于增加了地表的粗糙程度,延缓径流,增加入渗时间;二是可以改良土壤结构,增大土壤持水能力<sup>[34]</sup>;三是枯落物本身的持水能力,枯落物可以缓冲降水对于土壤的直接破坏作用,并通过枯落物储水而缓慢的渗入土壤中,增加土壤入渗量。主要物种枯落物最大持水量可达自身干重的1.22—4.34倍,而森林枯枝落叶层的最大持水量可达自身干重的1.78—3.34倍<sup>[35]</sup>,表明草本植物和乔灌木的枯落物持水能力基本一致,在覆盖地表后,可改善地表状况。

本研究中,枯落物在浸泡30 min之内持水率增幅较大,表明枯落物在30 min内较大的持水能力对历时短的暴雨有一定的拦蓄作用。白羊草叶和茎的枯落物持水率一直最高,由于白羊草是典型喜暖的中旱生物种,多分布在阳坡,阳坡白羊草枯落物蓄积量占群落总蓄积量的13.45%左右,而崩顶枯落物蓄积量只占0.74%,因此,阳坡白羊草的枯落物截持降水的能力较强。铁杆蒿叶的枯落物在1 h内持水率增幅最快,阴坡和崩顶的增幅大于阳坡,铁杆蒿叶的枯落物蓄积量占群落总蓄积量的4.39%—19.51%,崩顶的蓄积量最多,对历时短的大暴雨的拦蓄作用最为明显;铁杆蒿的枯枝持水率一直很低,阴坡的持水率高于崩顶和阳坡,但枯枝蓄积量相对较高,占群落总蓄积量的6.69%—28.06%之间,阴沟坡最多,因此铁杆蒿的枯枝对降水有一定的拦蓄作用。达乌里胡枝子叶的枯落物持水率相对较高,阴坡和崩顶的持水率高于阳坡,蓄积量占群落总蓄积量的3.72%—9.43%,阳沟坡最高,对降水有一定的拦蓄作用。长芒草的枯落物持水率一直较低,在不同立地条件下长芒草的枯落物蓄积量只占群落总蓄积量的0.85%—7.89%,对降水的拦蓄作用相对很小。然而由于群落枯落物蓄积较少(0.15—25 g/m<sup>2</sup>),且主要物种枯落物的蓄积量不到总蓄积量的一半,枯落物对降水的拦蓄作用可能并不明显。但枯落物的持水能力也会影响枯落物的分解,持水能力较强的物种,其分解速率较快,分解过程相对较快<sup>[29]</sup>,枯落物持水能力表现为白羊草叶>铁杆蒿叶>白羊草茎>达乌里胡枝子叶>长芒草>达乌里胡枝子枝>铁杆蒿枝,则说明白羊草、铁杆蒿和达乌里胡枝子落叶的分解速率较快,可以加快枯落物养分向土壤的归还。

### 3.3 枯落物的养分归还分析

枯落物分解是土壤有机质的主要来源,也是维持土壤肥力的基础。枯落物在分解过程中,养分元素不断

被释放归还到土壤中,被植物再利用,是维持植被生长所需营养物质的重要来源,同时也是植物体将营养物质归还的主要途径<sup>[36-37]</sup>。枯落物本身的理化性质是制约枯落物分解的内因<sup>[20]</sup>,木质素和纤维素含量与分解速率呈负相关关系<sup>[21]</sup>,C/N 值与枯落物的养分释放也是负相关性<sup>[22]</sup>。枯落物归还养分的多少也与枯落物蓄积量及养分含量有关,群落结构从简单到复杂,生物量也逐渐增大,枯落物量呈上升趋势,枯落物养分归还量相应的呈上升趋势,并因此而改善土壤营养状况。

不同物种的枯落物由于蓄积量及养分含量不同,其养分潜在归还量存在差异,影响枯落物分解的木质素和纤维素含量、C/N、木质素/N 值等指标存在极显著差异,因此,物种间的养分潜在归还能力存在差异。由于不同立地条件的光照、水分、土壤养分等存在差异,影响植物的光合作用及植物对养分元素的吸收<sup>[38]</sup>,进而影响植物枯落物的蓄积量及养分含量,影响枯落物分解的指标也存在显著差异。但枯落物的养分潜在归还量和影响枯落物分解的指标在不同立地条件下的变化趋势各不相同,如不同立地条件下铁杆蒿的枯落物 C、N 潜在的归还量较大,阴沟坡影响铁杆蒿枯落物分解的各指标值较低,其潜在的养分潜在归还量最大,阳坡白羊草的枯落物 C、N 潜在归还量次之,但枯落物木质素含量、C/N 值、木质素/N 值较大,枯落物分解慢,且阳坡的环境不利于枯落物分解,其潜在的养分潜在归还能力较小;不同立地条件下达乌里胡枝子和长芒草的枯落物 C、N 潜在的归还量较小,在阴沟坡长芒草枯落物养分含量较大,但长芒草枯落物的木质素含量、C/N 值、木质素/N 值较大,相对于达乌里胡枝子难分解,其养分潜在归还能力较小。枯落物的养分归还是各种指标共同作用的结果,并不能仅用单一的指标来评价枯落物的养分潜在归还能力。因此,本研究采用隶属函数法对枯落物的养分潜在归还能力进行综合评价,表现为铁杆蒿叶>达乌里胡枝子>白羊草>铁杆蒿枝>长芒草(表 6)。可以看出,铁杆蒿叶的枯落物养分潜在归还量及归还能力最大;达乌里胡枝子枯落物的 C 归还量小于白羊草,但其归还能力又大于白羊草;达乌里胡枝子枯落物的 N 归还量及归还能力大于白羊草;长芒草的养分潜在归还量及归还能力最小。

总之,阳坡白羊草的枯落物持水能力较强,分解速率快,且枯落物的养分潜在归还能力较强;阴坡和崩顶的铁杆蒿和达乌里胡枝子的落叶持水能力强,分解速率较快,铁杆蒿叶的枯落物养分潜在归还能力最大,达乌里胡枝子的落叶次之;长芒草的持水能力及养分潜在归还能力均较小。因此,在阳坡,白羊草的枯落物可有效改善土壤状况,在崩顶和阴坡,铁杆蒿和达乌里胡枝子的落叶可有效改善土壤状况。在以植被措施治理水土流失时应考虑不同植被的土壤肥力效应,应选择既能治理水土流失又能显著改善土壤肥力的植物种,才能迅速改善土壤质量<sup>[39]</sup>。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 刘强,彭少麟.植物凋落物生态学.北京:科学出版社,2010.
- [ 2 ] 吴钦孝,赵鸿雁,韩冰.黄土高原森林枯枝落叶层保持水土的有效性.西北农林科技大学学报:自然科学版,2001,29(5):95-98.
- [ 3 ] 魏强,凌雷,张广忠,闫沛斌,陶继新,柴春山,薛睿.甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性.应用生态学报,2011,22(10):2589-2598.
- [ 4 ] 常雅军,曹靖,马建伟,陈琦,赵琳.秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性.应用生态学报,2008,19(11):2346-2351.
- [ 5 ] Richard L, Granillo A B. Soil protection by natural vegetation on clear cut forest land in Arkansas. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40(4):379-382.
- [ 6 ] 逯军峰.不同林龄油松人工林凋落物及其对土壤理化性质的影响研究[D].兰州:甘肃农业大学,2007.
- [ 7 ] Putuhena W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forests floor. Journal of Hydrology, 1996, 180:283-299.
- [ 8 ] 孙立达,朱金兆.水土保持林体系综合效益研究与评价.北京:中国科学技术出版社,1995.
- [ 9 ] Ebermayer E. Die Gesamte Lehre Der Waldstreu Mit Rücksicht Auf Die Chemische Statik Des Waldbaues. Berlin: Springer, 1876.
- [ 10 ] Bray J R, Gorham E. Litter production in forest of the world. Advance Ecology Research, 1964, 2:101-158.
- [ 11 ] Wiegert R Y, Evans F C. Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in southeastern Michigan. Ecology, 1964, 45(1):49-63.
- [ 12 ] 施爽,郭继勋.松嫩草原三种主要植物群落枯落物层生态水文功能.应用生态学报,2007,18(8):1722-1726.
- [ 13 ] 刘忠宽,汪诗平,韩建国,陈佐忠.内蒙古温带典型草原植物凋落物和根系的分解及养分动态的研究.草业学报,2005,14(1):24-30.

- [14] 吴钦孝, 刘向东, 赵鸿雁. 陕北黄土丘陵区油松林枯枝落叶层蓄积量及其动态变化. 林业科学, 1993, 29(1): 63-66.
- [15] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原人工油松林水文生态效应. 生态学报, 2003, 23(2): 376-379.
- [16] 吴钦孝. 森林保持水土机理及功能调控技术. 北京: 科学出版社, 2005.
- [17] 叶海英, 赵廷宁, 赵陟峰. 半干旱黄土丘陵沟壑区几种不同人工水土保持林枯落物储量及持水特性研究. 水土保持研究, 2009, 16(1): 121-125, 130.
- [18] 高旺盛, 董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价: 以安塞县为例. 自然资源学报, 2003, 18(2): 182-188.
- [19] 曹成有, 朱丽晖, 韩春声, 张少强. 辽宁东部山区森林枯落物层的水文作用. 沈阳农业大学学报, 1997, 28(1): 44-46.
- [20] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983.
- [21] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素的测定. 粮食与饲料工业, 2005, 8: 40-41.
- [22] 孙志高, 刘静双. 湿地枯落物分解及其对全球变化的响应. 生态学报, 2007, 27(4): 1606-1618.
- [23] Thevenot M, Dignac M F, Rumpel C. Fate of lignins in soils: a review. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(8): 1200-1211.
- [24] Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. Forest Ecology and Management, 2000, 133(1/2): 13-22.
- [25] 曹建华, 陶忠良, 赵春梅, 蒋菊生, 谢贵水. 不同树龄橡胶树枯落物养分归还比较. 热带作物学报, 2011, 32(1): 1-6.
- [26] 孙群, 胡景江. 植物生理学研究技术. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006.
- [27] 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.
- [28] 郭继勋. 羊草草原分解者亚系统. 长春: 吉林大学出版社, 1994.
- [29] 程积民, 万惠娥, 胡相明, 赵艳云. 半干旱区封禁草地凋落物的积累与分解. 生态学报, 2006, 26(4): 1207-1212.
- [30] 刘中奇, 朱清科, 邝高明, 王晶, 李萍, 赵荟, 赵磊磊. 半干旱黄土丘陵沟壑区封禁流域植被枯落物分布规律研究. 草业科学, 2010, 27(4): 20-24.
- [31] 杜华栋. 陕北黄土高原优势物种叶片结构与生理特性不同立地环境的生态响应 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [32] 马骥, 王勋陵, 王燕春. 骆驼蓬属营养器官的旱生结构. 西北植物学报, 1997, 17(4): 478-482.
- [33] Xiong S, Nilsson C. Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation: a review. The Botanical Review, 1997, 63(3): 240-264.
- [34] 施爽. 松嫩草原主要植物群落枯落物层水文生态功能 [D]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- [35] 朱金兆, 刘建军, 朱清科, 吴钦孝. 森林凋落物层水文生态功能研究. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 30-34.
- [36] Whittaker R H. Classification of natural communities. The Botanical Review, 1962, 28(1): 1-239.
- [37] 张建利, 张文, 高玲苹, 毕玉芬. 云南马龙县山地风雨草地凋落物分解与氮释放的研究. 草业科学, 2008, 25(7): 77-82.
- [38] 朱岩, 张岩, 朱清科, 卢路. 半干旱黄土区沟间天然草地植被空间分异特征. 生态学杂志, 2011, 30(6): 1063-1069.
- [39] 傅伯杰, 马克明, 周华峰, 陈利. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响. 科学通报, 1998, 43(22): 2444-2448.