

## 黄土丘陵区不同草本群落生物量与土壤水分的特征分析

李冬梅<sup>1</sup>, 焦峰<sup>1,2†</sup>, 雷波<sup>1</sup>, 张哲<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 712100 陕西杨凌; 2. 西北农林科技大学资源与环境学院 712100 陕西杨凌)

**摘要:** 为阐明黄土丘陵区不同草本群落生物量与土壤水分的相关特征, 通过野外调查与定点观测, 对延河流域内不同演替阶段的5种草本植被(长芒草、铁杆蒿、芨芨草、白羊草、大针茅)群落地上生物量、土壤水分特征及其相关关系进行研究与分析。结果表明: 在0~500 cm土层内, 各演替阶段草本群落土壤含水量的垂直分布规律明显, 均表现为浅层(0~50 cm)减少、中层(50~200 cm)增加、深层(200~500 cm)基本稳定的趋势; 植物群落地上生物量均随着演替年限呈先增加后减小趋势, 在白羊草群落阶段(退耕演替25 a左右)达到最大值; 草本群落地上生物量与土壤含水量整体呈正相关关系, 相关程度以0~200 cm土层较高; 植被群落利用土壤水分土层深度随群落演替阶段逐渐加深, 表现出对环境更强的适应性。

**关键词:** 演替阶段; 草本群落; 生物量; 土壤含水量; 延河流域

**中图分类号:** Q949.71<sup>+</sup>4.2; Q948.114 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3007(2014)01-0033-05

## Aboveground biomass production and soil moisture characteristics of different herb communities in the Loess Hilly-gully Region

Li Dongmei<sup>1</sup>, Jiao Feng<sup>1,2</sup>, Lei Bo<sup>1</sup>, Zhang Zhe<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi, China;  
2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi, China)

**Abstract:** The objective of this study is to elucidate the biomass production and soil moisture characteristics of different herb communities at different succession stages in the Loess Hilly-gully Region on the Loess Plateau. After field investigation and *in situ* observation, the aboveground biomass, soil moisture and their relationships of five different herbaceous communities (*Stipa bungeana*, *Artemisia sacrorum*, *A. giraldii*, *Bothriochloa ischaemum*, *S. grandis*) in Yanhe Watershed were analyzed. Results showed that: soil moisture contents of the five plant communities at different succession stages had obvious vertical distribution characteristics in 0–500 cm soil profile, which decreased in 0–50 cm layer, then increased in 50–200 cm layer, and maintained stable in 200–500 cm layer; aboveground biomass of plant communities showed an increase at early succession stages, reaching the peak at *B. ischaemum* stage (about 25 years after returning farmland), and decreased thereafter; there existed positive correlations between aboveground biomass and soil moisture, especially for that in 0–200 cm soil layer;

收稿日期: 2013-03-12 修回日期: 2013-11-18

项目名称: 国家自然科学基金“黄土丘陵区环境因子对土壤水分影响的贡献率及其尺度效应”(41271043); 中科院知识创新重要方向项目“黄土丘陵区抗侵蚀植物群落的结构特征与功能性状及甄选研究”(KZCX2-EW-406); 中国科学院重点部署项目“近百年黄土高原侵蚀环境与水沙变化”(KZZD-EW-04-03); 西北农林科技大学科技创新重点项目“黄土高原土壤水分影响因子贡献率及其尺度效应研究”(QN2011073)

第一作者简介: 李冬梅(1987—), 女, 硕士研究生。主要研究方向: 遥感与GIS应用及资源环境信息技术。E-mail: ldmrose@163.com

† 通信作者简介: 焦峰(1967—), 男, 博士, 副研究员。主要研究方向: GIS应用、水土保持与环境效应监测评价。E-mail: Jiaof11@126.com

plant communities can make use of soil moisture in deeper layers over succession, showing a strong adaptation to environment.

**Keywords:** succession stage; herbaceous plant community; biomass; soil moisture content; Yanhe Watershed

在黄土丘陵沟壑区植被群落演替的动力主要来源于植物群落与土壤之间彼此影响相互促进的作用,且各演替阶段的植被群落具有不同的生物量、土壤水分等特征<sup>[1-2]</sup>。黄土丘陵沟壑区的生态环境比较脆弱,长期以来由于自然和人为因素,导致该区的植被遭到严重破坏,水土流失严重,对人民的生活与生产建设造成了严重的影响<sup>[3]</sup>;所以,该区的植被恢复与重建问题变得尤为迫切。生物量作为生态系统中积累的植物有机物总量,是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源<sup>[4]</sup>。李绍良<sup>[5]</sup>的研究认为可以根据土壤水分的变化来预测植被的产量,且更为合理;因此,研究植被地上生物量与土壤水分之间的响应关系,可以促进黄土高原植被群落的恢复与重建。目前针对植被地上生物量与土壤水分关系的相关研究主要有土壤水分特征<sup>[6]</sup>、土壤水分与生产力或承载力<sup>[7-9]</sup>、生物量与土壤含水量相关关系<sup>[10-13]</sup>等,然而对于黄土丘陵沟壑区,从植被群落演替的角度去研究其植被群落的生物量与土壤水分之间关系的文章还鲜有报道;所以,笔者选取典型草本植被群落,从植被群落演替的角度,研究不同演替阶段植被生物量与土壤水分的变化特征及其响应关系,以期为黄土丘陵区恢复重建更为稳定的植被群落提供理论依据。

## 1 研究区概况

延河流域( E108°45′ ~ 110°28′ ,N36°23′ ~ 37°

17′) 位于陕西省中部,是黄河中游区河口镇至龙门段的一级支流,属典型的黄土丘陵沟壑区,流域总面积 7 687 km<sup>2</sup>。该流域属半干旱大陆性气候,多年平均降水量为 520 mm,且降雨主要集中在 7—9 月,年均气温 9 ℃<sup>[14]</sup>。流域植被区划由南至北依次为森林带、森林草原带和草原带 3 个不同的植被带。草本植被主要是包含以长芒草(*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、大针茅(*Stipa grandis*)等为优势物种的草本群落。

## 2 材料与方法

焦菊英等<sup>[15]</sup>、白文娟等<sup>[16]</sup>和 Wang Guohong<sup>[17]</sup>对黄土高原退耕地自然恢复植被进行分类,大致可分为代表不同演替阶段的 4 个植被群落,依此研究采用植被空间序列代替时间序列的方法<sup>[18-20]</sup>,在研究区内按不同的时间序列选取具有代表性的 5 种自然草本群落(即长芒草群落、铁杆蒿群落、芨蒿群落、白羊草群落、大针茅群落)为研究对象,每种群落选择立地条件相近的 6~8 个样地,每个样地内按对角线等距离设置调查样方(样方大小 1 m × 1 m)进行草本层调查,共设置调查样方 36 个,采样时间为 2008 年 8 月。调查内容包括样地所处位置的海拔、坡度、坡位、坡向及样地内的植被种类、植被盖度等。样地植被群落特征见表 1。

表 1 样地植被群落特征

Tab. 1 Characteristics of the plant communities

群落类型 Community types	优势物种 Dominant species	退耕演替年限 Succession years/a	样方数 Number of samples
长芒草 <i>S. bungeana</i>	长芒草 + 达乌里胡枝子、长芒草 <i>S. bungeana</i> + <i>L. daurica</i> , <i>S. bungeana</i>	5	8
铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i>	铁杆蒿、铁杆蒿 + 芨蒿 <i>A. sacrorum</i> , <i>A. sacrorum</i> + <i>A. giraldii</i>	10	8
芨蒿 <i>A. giraldii</i>	芨蒿、芨蒿 + 铁杆蒿、芨蒿 + 白羊草 <i>A. giraldii</i> , <i>A. giraldii</i> + <i>A. sacrorum</i> , <i>A. giraldii</i> + <i>Bothriochloa ischaemum</i>	15	6
白羊草 <i>B. ischaemum</i>	白羊草、白羊草 + 芨蒿 <i>B. ischaemum</i> , <i>B. ischaemum</i> + <i>A. giraldii</i>	25	8
大针茅 <i>S. grandis</i>	大针茅、大针茅 + 铁杆蒿 <i>S. grandis</i> , <i>S. grandis</i> + <i>A. sacrorum</i>	30	6

土壤水分采用土钻法分层采样(每个样地设 3 个重复), 采样深 500 cm, 间隔 20 cm, 并利用烘干法测定土样土壤含水量。即将土样带回实验室称湿质量, 然后在 105 °C 恒温下烘干 8~10 h 并称干质量, 计算其土壤含水量(%)。

地上生物量采用收获法把样方内同一群落的各植被地上部分收割后带回实验室称量, 在 80 °C 恒温下烘干至恒质量, 测得其干质量并相加获得群落的地上生物量。

采用 Excel 软件进行土壤水分及生物量数据的均值、最值、标准差等的相关统计分析, 并作图分析各群落土壤水分在土壤剖面上的分布规律。利用 SPSS17.0 软件进行各群落生物量与土壤平均含水量在不同演替阶段及土壤垂直剖面上的 Pearson 相关性分析, 显著水平为  $P < 0.05$ 。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土壤水分特征

各植被群落在 0~500 cm 土层剖面上的平均土壤含水量在 6.58%~9.28% 之间(图 1), 具体表现为白羊草群落(9.28%) > 长芒草群落(8.32%) > 铁杆蒿(8.10%) > 芨蒿群落(7.46%) > 大针茅群落(6.58%), 且各群落内土壤平均含水量变化趋势基本一致。即: 在 0~50 cm 土层内, 土壤含水量呈明显下降的趋势; 在 50 cm 土层深处土壤水分含量最低; 在 50~200 cm 土层内, 随着土层深度的增加, 土壤含水量开始增加, 并在 200 cm 处达到最大值; 在 200~500 cm 土层内, 5 种植被群落土壤含水量不同且有不同程度的波动现象(其中白羊草群落的含水量明显高于其他群落, 而大针茅群落土壤含水量最低)。由于采样是在雨季(8 月份)进行的, 植被的覆盖度较大, 加之该区土壤质地是壤质土, 降雨容易入渗, 使其浅层土壤水分得到补给; 而随植被群落生物量的积累, 对土壤水分的消耗加大导致土壤含水量明显减少, 并在 50 cm 土层深处达到最小值; 草本植物根系相对较短, 对 200~500 cm 土层内的土壤水分影响相应减少。

各群落在 0~200 cm 土层内的土壤水分相对比较活跃, 这主要是由于浅层土壤受地表蒸发、植物损耗、下层土壤水分补给等影响<sup>[13, 15, 21]</sup>。

#### 3.2 地上生物量特征

生物量是一个有机体或群落在一定时间内积累的干物质量, 是表征其结构及功能的重要参数<sup>[22]</sup>。不同演替阶段植物群落具有不同的地上生物量(表

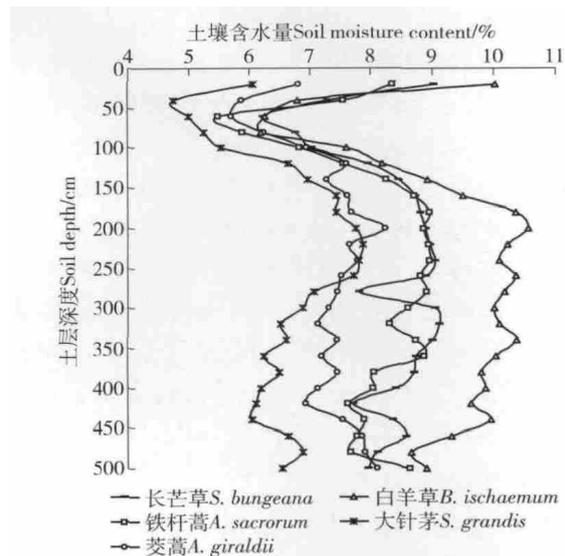


图 1 各群落土壤水分在土壤剖面上的分布规律

Fig. 1 Distribution pattern of the various communities of soil moisture in the soil profile

2) 其中生物量最大的白羊草群落是生物量最小的大针茅群落的 1.7 倍。各群落生物量变异系数  $C_v$  的大小表现为: 芨蒿群落 > 铁杆蒿群落 > 长芒草群落 > 白羊草群落 > 大针茅群落。这表明随着演替的不断进行, 生物量呈先增加后减小的趋势, 转折点在白羊草群落阶段(退耕演替 25 a 左右), 其生物量达到最大值, 之后减小。其生物量的变异系数先增大后逐渐减小, 总体上处于中等变异程度( $0.1 < C_v < 1.0$ ), 表明各群落生物量的差异性较大<sup>[23-24]</sup>。生物量先增加后减小主要是由于演替初期土壤水分充裕, 生物量不断积累, 而后期生物量积累受到了土壤水分的限制, 进而反作用于土壤水分, 使其相互影响, 生物量减小<sup>[20]</sup>。各群落生物量的差异性可能是由于其生理特性或生长环境不同造成的。

表 2 各群落生物量及其标准差、变异系数

Tab. 2 Biomass of each community and its standard deviation, coefficient of variation

群落类型 Community types	生物量 Biomass/ ( $g \cdot m^{-2}$ )	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
长芒草 <i>S. bungeana</i>	126.38	46.46	0.37
铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i>	178.93	77.28	0.43
芨蒿 <i>A. giraldii</i>	172.68	103.10	0.60
白羊草 <i>B. ischaemum</i>	197.28	46.65	0.24
大针茅 <i>S. grandis</i>	116.55	23.28	0.20

#### 3.3 地上生物量与土壤水分的相关性分析

随着植物群落不断演替, 各植被群落的生物量

与其土壤含水量呈正相关关系 ( $R^2 = 0.664$ ,  $P < 0.05$ )。群落生物量呈先减少后增加又减少的波动式变化趋势,与土壤含水量的变化趋势基本一致。这是由于植被群落生物累积量还会受其他复杂因素的影响。张义科等<sup>[25]</sup>的研究也表明总生物量除了与土壤含水量相关外,还与光照强度和气温等主要生态因子呈正相关。

总体上各群落的生物量与 0~200 cm 土壤含水量的相关程度要大于其与 200~500 cm 土层内土壤含水量的相关程度。原因在于草本植被的耗水层主要分布于 0~200 cm 的土层内。

由表 3 可知,在土壤表层 0~20 cm 内:长芒草群落、芨芨群落及白羊草群落的地上生物量与土壤含水量均呈负相关关系,但相关性不显著 ( $P \geq 0.05$ );铁杆蒿与大针茅群落的地上生物量与土壤含水量虽呈正相关关系,但相关性也不显著。不显

著负相关或正相关主要是由于土壤表层变异性大,影响因素复杂,还可能与群落不同生长期有关<sup>[13]</sup>。

在土壤垂直剖面层次上,长芒草群落地上生物量与土壤含水量的最大相关程度主要分布在 20~80 cm 土层内,芨芨群落主要分布在 20~60 cm 土层内,白羊草群落主要分布在 60~120 cm 土层内,大针茅群落主要分布在 80~260 cm 土层内,而铁杆蒿群落的地上生物量与土壤含水量主要呈负相关关系(0~40 cm 土层上呈正相关关系)。这可能是由于土壤水分对生物量的影响表现为累积效应,在水分亏缺严重地区,植物生长耗水不能够被降雨及时补充,长势越好的区域其耗水也越大,从而表现出累积生物量与土壤水分的负相关关系<sup>[2,13]</sup>。总体而言,随着植被群落演替阶段的深入,植被群落所能利用的土壤水分的土层深度逐渐加深,表现出对环境更强的适应能力。

表 3 各群落生物量与土壤平均含水量在土壤垂直剖面上的 Pearson 相关性

Tab. 3 Various communities in biomass and average soil moisture content in the soil on the vertical profile of the Pearson correlation

土层深度 Soil depth/cm	$R^2$ (P)				
	长芒草 <i>S. bungeana</i>	铁杆蒿 <i>A. sacrorum</i>	芨芨 <i>A. giraldii</i>	白羊草 <i>B. ischaemum</i>	大针茅 <i>S. grandis</i>
0~20	-0.30(0.48)	0.47(0.24)	-0.15(0.73)	-0.15(0.73)	0.18(0.66)
20~40	0.77(0.04)	0.25(0.54)	0.58(0.13)	-0.39(0.34)	0.18(0.67)
40~60	0.64(0.11)	-0.04(0.94)	0.71(0.05)	0.31(0.49)	0.17(0.69)
60~80	0.74(0.09)	-0.09(0.83)	0.12(0.76)	0.59(0.15)	0.25(0.55)
80~100	0.43(0.28)	-0.18(0.67)	0.17(0.69)	0.75(0.06)	0.69(0.06)
100~120	0.37(0.37)	-0.12(0.77)	0.17(0.68)	0.68(0.11)	0.48(0.23)
120~140	0.23(0.59)	-0.18(0.67)	0.16(0.71)	0.21(0.61)	0.55(0.16)
140~180	0.30(0.47)	-0.19(0.68)	0.31(0.46)	0.21(0.61)	0.78(0.04)
180~220	0.39(0.34)	-0.09(0.81)	0.41(0.31)	0.28(0.49)	0.72(0.05)
220~260	0.37(0.37)	-0.11(0.79)	0.56(0.15)	0.38(0.34)	0.85(0.01)
260~300	0.42(0.24)	-0.24(0.57)	0.52(0.19)	0.40(0.33)	0.57(0.15)
300~400	0.51(0.17)	-0.15(0.74)	0.24(0.47)	0.45(0.28)	0.31(0.48)
400~500	0.47(0.27)	-0.17(0.69)	0.43(0.27)	0.38(0.34)	0.36(0.41)

注:  $P < 0.05$  为显著  $P < 0.01$  为极显著。Note:  $P < 0.05$  means significant and  $P < 0.01$  means very significant.

#### 4 结论与讨论

1) 在 0~500 cm 土壤垂直剖面上,各群落在 0~200 cm 土层内的土壤水分相对较活跃些,而不同演替阶段植被的土壤含水量沿土壤垂直剖面的变化趋势相对较复杂,由当地复杂时空条件决定。王延平<sup>[26]</sup>的研究也表明:在植物的生长季节,根系对深层土壤水分的强烈吸收会形成土壤水分含量上高下低的情况;在雨季连续降雨的情况下,土壤含水量变化则有可能出现降低型,旱季则一般表现为增长型;此外,特殊的地形条件也可能造成特殊的土壤水分

分布格局。

2) 不同演替阶段草本植物群落地上生物量存在差异,整体上表现为先增加后减小的趋势,并在白羊草群落阶段达到最大。各群落生物量的变异系数先增大后逐渐变小,说明群落随着时间的迁移,其演替具有一定的复杂性;但最终还是趋于稳定的方向发展,符合自然选择的规律。这与张义科等<sup>[25]</sup>对太行山草地植物生物量的研究结论一致。

3) 各草本植被群落的生物量与土壤含水量密切相关。随着演替的进行,各群落生物量与土壤含水量的变化趋势基本一致,都是先减少后增加又减

少的趋势,且二者都在白羊草群落达到最大值,说明白羊草群落对土壤水分有较好的反馈作用。方楷等<sup>[13]</sup>在荒漠草原不同地形条件下土壤水分和地上生物量时空分异的研究中同样得出土壤水分与地上生物量变化趋势相近的结论。

在演替初期,植被群落主要依靠相对充裕的土壤水分积累越来越大的生物量,其相关性较大;到演替后期,植被群落的土壤水分明显减少,但其对环境的适应性增强,能够充分利用更深层次的土壤水分,使植被群落越来越稳定。这与焦峰等<sup>[20]</sup>的研究一致。

## 5 参考文献

- [1] 朱志诚. 陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(3): 280-286
- [2] 王玉辉, 周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1140-1145
- [3] 梁超, 郝文芳, 袁丁. 黄土丘陵区不同植被群落土壤水分研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 103-111
- [4] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 137
- [5] 李绍良. 草原土壤水分状况与植物生物量关系的初步研究[C]//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究: 第一集. 北京: 科学出版社, 1985
- [6] 张北赢, 徐学选, 刘文兆. 黄土丘陵沟壑区不同水土保持措施条件下土壤水分状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 54-58
- [7] 郭忠升, 邵明安. 土壤水分植被承载力初步研究[J]. 科技导报, 2006, 2(24): 56-59
- [8] 张雷明, 上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 59-63
- [9] 田有亮, 何炎红, 郭连生. 乌兰布和沙漠东北部土壤水分植被承载力[J]. 林业科学, 2008, 44(9): 13-19
- [10] 张春梅, 焦峰, 温仲明, 等. 延河流域自然与人工植被地上生物量差异及其土壤水分效应的比较[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(4): 132-138
- [11] 靳淑静, 韩蕊莲, 梁宗锁. 黄土丘陵区不同立地达乌里胡枝子群落水分特征及生物量研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 542-547
- [12] 陈有君, 李立民, 李绍良, 等. 大针茅草原生物量动态与土壤贮水量关系模型的研究[J]. 内蒙古农牧业学报, 1993, 14(4): 1-6
- [13] 方楷, 宋乃平, 魏乐, 等. 荒漠草原不同地形条件下土壤水分和地上生物量的时空分异[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4): 641-647
- [14] 汪邦稳, 杨勤科, 刘志红, 等. 延河流域退耕前后土壤侵蚀强度的变化[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 27-33
- [15] 焦菊英, 张振国, 贾燕锋, 等. 陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被的组成结构与数量分类[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 2981-2997
- [16] 白文娟, 焦菊英, 马祥华, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植物群落的分类与排序[J]. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1317-1322
- [17] Wang Guohong. Plant traits and soil chemical variables during a secondary vegetation succession in abandoned fields on the Loess Plateau [J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 990-998
- [18] 温仲明, 焦峰, 刘宝元, 等. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(17): 2025-2029
- [19] 安慧, 上官周平. 黄土高原植被不同演替阶段优势种的光合生理特性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1175-1180
- [20] 焦峰, 温仲明, 焦菊英, 等. 黄丘区退耕地植被与土壤水分养分的互动效应[J]. 草业学报, 2006, 15(2): 79-84
- [21] 唐杨, 吉力力·阿不都外力, 刘东伟, 等. 基于微地形和土地覆被的土壤水分空间变异性: 以玛纳斯河流域绿洲为例[J]. 干旱区研究, 2011, 28(2): 222-228
- [22] Cui Yali, Shao Jingli. The role of ground water in arid semiarid ecosystems, Northwest China [J]. Ground Water, 2005, 43(4): 471-477
- [23] 漆良华, 彭镇华, 张旭东, 等. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1697-1702
- [24] Yonker C M, Schimel D S, Paroussis E, et al. Patterns of organic carbon accumulation in a semiarid shortgrass steppe, Colorado [J]. Soil Science Society of America Journal, 1988, 52: 478-483
- [25] 张义科, 田玉梅, 张洪达. 太行山草地植物生物量的研究[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 1993, 1(13): 48-51
- [26] 王延平. 陕北黄土区陡坡地土壤水分植被承载力研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2009

(责任编辑:程云)