

# 黄土丘陵区典型植被类型草本层生态学特性与环境解释

张海东<sup>1</sup>, 汝海丽<sup>3</sup>, 焦峰<sup>1,2,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学  
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**在野外调查的基础上研究黄土丘陵区 4 种典型植被类型(达乌里胡枝子群落、白羊草群落、人工刺槐林、人工柠条林)草本层生态学特性,通过室内土壤养分和水分含量测定分析群落间环境因子的差异,并对群生态学指标和环境因子进行相关分析。研究结果表明:(1)豆科、禾本科、菊科植物重要值在 4 种群落中均很高,群落间各科物种重要值差异显著。(2)群落物种多样性表现为:人工刺槐林>人工柠条林>达乌里胡枝子群落>白羊草群落;群落盖度表现为人工刺槐林>白羊草群落>达乌里胡枝子群落>人工柠条林;草本群落地上生物量表现为:白羊草群落>人工刺槐林>达乌里胡枝子群落>人工柠条林。(3)土壤有机质、全氮、速效氮和速效钾含量表现为:人工刺槐林>白羊草群落>达乌里胡枝子群落>人工刺槐林,达乌里胡枝子群落和白羊草群落土壤全磷、速效磷含量较高。(4)土壤水分含量表现为:白羊草群落(8.43%)>达乌里胡枝子群落(7.60%)>人工柠条林(6.43%)>人工刺槐林(5.85%)。(5)群落盖度、草本群落地上生物量与土壤养分指标正相关,物种多样性与土壤养分的关系相对复杂;群落盖度及物种多样性均与土壤水分含量负相关,草本群落地上生物量与土壤水分含量相关性不显著。

**关键词:**黄土丘陵区;典型植被;物种多样性;土壤养分;土壤水分

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0100-06

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2015.05.019

## Biological Characteristic and Its Environmental Interpretation of Herbosa Under the Typical Vegetation Types in Loess Hilly Region

ZHANG Haidong<sup>1</sup>, RU Haili<sup>3</sup>, JIAO Feng<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:**Community biological characteristics of herbosa under four typical vegetation types (*Lespedeza daurica* community, LDC; *Bothriochloa ischaemum* community, BIC; planted locust forest, ALF; planted caragana stand, ACS) were studied based on field investigation, environmental factors of each community were analyzed by measuring soil nutrient and moisture content, and analysis on correlation between biological indexes and environmental factors was carried out. The results were shown as the followings. (1) Important values of Leguminosae, Gramineae and Compositae plants are quite high in four communities, and significant differences existed in each family between four communities. (2) Species diversity showed the sequence: ALF>ACS>LDC>BIC; community coverage showed the order: ALF>BIC>LDC>ACS; above-ground biomass of herb showed the order: BIC>ALF>ACS>LDC. (3) Contents of soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen and available potassium showed the order: ALF>BIC>LDC>ACS, higher contents of soil total phosphorus, available phosphorus were observed under BIC and LDC. (4) Soil moisture content showed the order: BIC(8.43%)>LDC(7.60%)>ACS(6.43%)>ALF(5.85%). (5) Positive correlation between community coverage, above-ground biomass and soil nutrient was found, relationship between species diversity and soil nutrient was complicated. Both community coverage and species diversity were negatively correlated with soil moisture content. Correlation between above-ground biomass and soil moisture was not significant.

**Keywords:** loess hilly region; typical vegetation; species diversity; soil nutrient; soil moisture

收稿日期:2015-06-10

修回日期:2015-06-25

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41271043,31370455);中国科学院“百人计划”项目

第一作者:张海东(1991—),男,陕西咸阳市人,在读硕士,主要研究植物生态学。E-mail:632383942@qq.com

通信作者:焦峰(1967—),男,陕西三原县人,副研究员,博士,主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。E-mail:jiaof@nw-suaaf.edu.cn

植被是生态环境的主要生态因子之一,在改善土壤理化状况、保持水土等方面具有重要作用。在黄土丘陵区,植被恢复与重建是生态系统修复的关键,对生态系统的稳定和可持续发展具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。黄土丘陵区土壤理化性质较差,水土流失严重,植被草本层良好的生态学特性,是群落减少水土流失的重要条件<sup>[3-5]</sup>。在黄土丘陵区,生态环境治理和植被恢复是一项长期而艰巨的任务,目前,该区植被恢复的主要手段是自然恢复和人工恢复,自退耕还林还草实施以来,植被恢复程度因恢复方式以及环境因子的差异而有所不同,其生态学特性也各有差异。植被恢复过程中群落的主要优势种会构成不同植被类型<sup>[6]</sup>,不同植被类型的科属组成、生物量、物种多样性有很大差异<sup>[7-8]</sup>,而群落科属组成是研究群落结构的重要内容,对认识植物的起源、分布、结构等具有重要的参考价值<sup>[9]</sup>,生物量是生态系统生产力的集中表现,也是生态系统结构和功能的重要方面<sup>[10]</sup>,物种多样性表征了群落的结构、演替阶段及生境差异,在生态系统恢复中占有重要地位<sup>[11-12]</sup>。

群落演替过程与环境因子密切相关<sup>[13]</sup>,植被与环境因子的关系也是生态学研究的热点和重要内容,土壤理化性质、水分含量、肥力等环境因素的差异以及恢复模式的不同影响着物种多样性、生物量等生态学特性的变化<sup>[14-15]</sup>。在黄土丘陵区大范围退耕至今,退耕年限为 20~30 a 的退耕地居多,自然演替植被群落以草本植物为主,而人工林中极少出现其他乔木、灌木种,草本层物种多样性很大程度上决定了群落的物种多样性。因此,黄土丘陵区的典型植被群落草本层是其生态学特性的主要方面。本文以黄土丘陵区延河流域为研究区域,以不同退耕年限和恢复方式的四个典型植被群落(退耕 20 a 的达乌里胡枝子群落、退耕 30 a 的白羊草群落以及 30 a 人工柠条林和刺槐林)草本层为对象,分别对其群落物种组成、生

物量、物种多样性进行调查,并结合土壤养分含量及水分状况进行分析,旨在对黄土丘陵区植被修复和生态重建提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区在延河流域(36°23′—37°17′N,108°45′—110°28′E),位于黄土高原腹地,流域全长 286.9 km,总面积 7 686 km<sup>2</sup>,研究区属半干旱气候区,平均海拔高度为 1 218 m,年平均气温为 9.0℃,年平均蒸发量为 1 000 mm,流域多年平均降水量为 506 mm,降雨年内分配不均,多集中发生在 7—9 月份,且多暴雨。延河流域属于黄土丘陵沟壑区第二副区,地形破碎,主要土壤类型为黄土母质上发育而来的黄绵土,土质疏松,抗蚀抗冲性差,土壤侵蚀剧烈,水土流失严重,生态环境脆弱。开始生态恢复后,形成不同演替阶段的植物群落,多以禾本科、菊科以及豆科植物为主,其中猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit)、长芒草(*Stipa bungeana* Trin)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb)、芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* Laxm. Schindl)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum* L. Keng)等典型物种分布较为广泛。

### 1.2 样地设置与野外调查

在对延河流域植被类型进行基本考察的基础上,选取 4 种典型群落(退耕后自然恢复 20 a 达乌里胡枝子群落、30 a 白羊草群落,生长 30 a 的柠条林和刺槐林)为研究对象,对其草本层及土壤环境进行研究。为控制地形因子的影响,每种典型植被类型均选择坡度为 20°左右、半阳坡、中上部坡位,相对高差 <200 m 的共计 3 个重复样地进行调查采样(2013 年 8 月)。样地共计 12 个,分布在 109°14′—109°31′E, 36°44′—36°52′N,基本情况如表 1 所示。

表 1 样地基本情况

群落类型	样地数	恢复年限/a	海拔范围/m	坡度/(°)	主要伴生物种
达乌里胡枝子	3	20	1237~1379	24~31	长芒草、铁杆蒿
白羊草	3	30	1267~1340	20~33	达乌里胡枝子、铁杆蒿
柠条林	3	30	1212~1387	20~25	长芒草、达乌里胡枝子
刺槐林	3	30	1204~1369	18~26	铁杆蒿、达乌里胡枝子

在每个样地设置 10 个 2 m×2 m 样方进行草本层调查,调查内容包括植物种类、盖度、数量、高度、频度和草本群落地上生物量等。草本群落地上生物量采用“收获法”把样方内植物地上部分收割后带回实验室称重,在 80℃恒温下烘干至恒重,测得其干重并相加获得群落的地上生物量。土壤养分采取 S 形随机采样,样品分三层采集(0—20 cm,20—40 cm,40—

60 cm),四分法取样,将采集的土壤样品风干、研磨、过筛等。土壤水分采用土钻(内径 3 cm)法采样,取样深度 5 m,取样间隔 20 cm,烘干法(105℃)测定。

### 1.3 室内计算、测定与分析

1.3.1 物种重要值与多样性指标计算 重要值是一个实用的综合指标,用于植物群落的数量分类或优势种集中程度的分析等,本文采用的物种重要值公式

为:  $V = \text{相对盖度}(Cr) + \text{相对频度}(Fr) + \text{相对密度}(Dr)$  [16]。物种多样性采用物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数来进行评价。分别选取 Margalef 丰富度指数  $M_a$ , Gleason 丰富度指数  $D$ , Simpson 多样性指数  $P$ , Shannon-wiener 多样性指数  $H'$  以及 Pielou 均匀度指数  $E$  来计算群落的物种丰富度、多样性及均匀度, 各项指标的计算公式参考前人研究 [17]。

1.3.2 土壤养分测定 采用重铬酸钾—外加加热法测定土壤有机质、半微量开氏法 ( $K_2SO_4-CuSO_4-Se$  蒸馏法) 测定土壤全 N、钼锑抗比色法 ( $HClO_4-H_2SO_4$  法) 测定土壤全 P、碱解扩散法测定土壤有效 N、钼锑抗比色法 (0.5 mol/L 的  $NaHCO_3$  浸提法) 测定土壤速效 P、原子吸收光谱法 ( $NH_4OAC$  浸提法) 测定土壤速效 K。

1.3.3 数据处理与分析 用 Microsoft Excel 2010 进行数据录入与整理, 采用 SPSS 18.0 软件进行数据

分析, 包括通过单因素方差分析检验不同群落各项指标的差异, 并用 LSD 法进行多重比较, 以及对群落生态学指标、土壤养分指标及土壤水分含量的相关分析等。采用 SigmaPlot 制作各群落 0—500 cm 土层深度土壤含水量图。

## 2 结果与分析

### 2.1 典型植被类型草本层生态学特性

2.1.1 典型植被类型植物科属组成 通过对 12 个样地共计 120 个样方的调查, 共记录植物 49 种, 隶属 37 个属, 16 个科。主要物种为达乌里胡枝子、长芒草、白羊草、铁杆蒿等。其中禾本科植物最多, 为 7 属 11 种, 菊科 5 属 10 种、豆科 6 属 7 种、蔷薇科 5 属 6 种, 四科共计 22 属 33 种。此外, 还有其他科 (包括鼠李科、毛茛科、藜科、萝藦科、马钱科、茜草科、瑞香科、伞形科、亚麻科、远志科百合科以及唇形科植物共计 14 属 15 种。

表 2 四种群落各科物种重要值多重比较

群落类型	禾本科	菊科	豆科	蔷薇科	其他
达乌里胡枝子群落	72.22±33.54b	38.49±23.07b	135.11±40.63a	13.92±24.10a	40.25±35.77a
白羊草群落	139.68±47.75a	46.42±56.15b	85.85±30.75ab	28.05±40.68a	0.00±0.00b
人工柠条林	95.47±34.14ab	43.85±7.62b	136.13±18.58a	2.78±2.50a	21.78±11.04ab
人工刺槐林	86.33±21.81ab	129.32±21.86a	43.19±4.95b	19.50±15.78a	21.67±11.25ab

注: 小写字母不同代表在 0.05 水平上差异显著。

4 种群落优势种分别为豆科—禾本科、禾本科—豆科、豆科—禾本科、菊科—禾本科植物, 分别占各自总体的 69%, 75%, 77%, 72%。与 20 a 达乌里胡枝子群落相比, 30 a 白羊草群落豆科植物物种重要值较低, 而禾本科植物物种重要值高, 且差异显著 ( $p < 0.05$ ), 其他科植物物种重要值为 0 (无其他科植物出现), 显著低于达乌里胡枝子群落 (表 2)。与白羊草群落相比, 人工柠条林禾本科和蔷薇科植物重要值较低, 而豆科和其他科植物重要值较高, 优势种集中程度比白羊草群落低。人工柠条林与达乌里胡枝子群落物种在科属组成上相近, 但物种组成不同。人工刺槐林禾本科、豆科和蔷薇科物种重要值低与白羊草群落, 而菊科物种重要值显著高于其他 3 种群落 ( $p < 0.05$ ), 优势种集中程度低于白羊草群落和人工柠条林。

2.1.2 典型植被类型草本层生态学指标特征 对 4 种群落草本层的 7 个生态学指标进行多重比较分析, 发现除盖度外, 群落间其他 7 项指标差异性均表现出显著水平 ( $p < 0.05$ )。  $P, H', M_a, D, E$  均表现为: 人工刺槐林 > 人工柠条林 > 达乌里胡枝子群落 > 白羊草群落, 其中人工柠条林  $H'$  及  $E$  与白羊草群落差异性显著 ( $p < 0.05$ ), 人工刺槐林  $P, H', M_a, D, E$  均与白羊

草群落差异性均达到显著水平 ( $p < 0.05$ )。群落盖度表现为人工刺槐林 > 白羊草群落 > 达乌里胡枝子群落 > 人工柠条林。草本群落地上生物量大小表现为: 白羊草群落 > 人工刺槐林 > 达乌里胡枝子群落 > 人工柠条林, 并且人工柠条林草本群落地上生物量显著低于人工刺槐林和白羊草群落 ( $p < 0.05$ ) (表 3)。对 4 种典型植被群落间各项生态学指标进行相关分析发现, 评价群落多样性的各项指标间存在显著或极显著的正相关关系。群落盖度与草本群落地上生物量、群落多样性呈正相关, 草本群落地上生物量与群落多样性存在一定的负相关关系, 但相关性不强。

### 2.2 典型植被类型土壤和养分与水分特征

2.2.1 典型植被类型土壤养分特征 对本研究 0—20, 20—40, 40—60 cm 土层各土壤养分指标进行初步分析, 发现各群落土壤养分均具有不同程度的表聚性。各群落在 0—60 cm 土层内土壤有机质、全氮、速效氮及速效钾含量平均值表现为: 人工刺槐林 > 白羊草群落 > 达乌里胡枝子群落 > 人工柠条林; 土壤全磷含量表现为: 白羊草群落 > 人工刺槐林 > 达乌里胡枝子群落 > 人工柠条林; 速效磷含量表现为: 达乌里胡枝子群落 > 人工刺槐林 > 白羊草群落 > 人工柠条林 (表 4)。

表 3 群落间生态学指标多重比较分析

群落类型	<i>P</i>	<i>H'</i>	<i>D</i>	<i>M<sub>s</sub></i>	<i>E</i>	盖度/%	生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )
达乌里胡枝子	0.68±0.14ab	1.46±0.09bc	2.98±0.47bc	1.78±0.32bc	0.32±0.02bc	71.67±10.41a	37.69±6.34ab
白羊草	0.63±0.08b	1.26±0.02b	2.26±1.10bc	1.50±0.67bc	0.28±0.01b	73.33±5.77a	51.14±5.50a
人工柠条林	0.72±0.15ab	1.74±0.41ac	4.25±0.95ac	2.45±0.56ac	0.39±0.09ac	70.00±13.23a	28.19±3.31bc
人工刺槐林	0.82±0.04a	2.07±0.09a	4.88±0.94a	2.92±0.62a	0.46±0.02a	83.33±20.21a	41.98±9.17a

注:小写字母不同代表在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 4 群落间土壤养分指标多重比较分析

群落类型	有机质/ (mg · g <sup>-1</sup> )	全氮/ (mg · g <sup>-1</sup> )	全磷/ (mg · g <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
达乌里胡枝子	5.21±0.43a	0.30±0.06a	0.54±0.01ab	17.70±3.03b	0.69±0.09a	59.60±10.49a
白羊草	6.50±0.49a	0.38±0.06a	0.56±0.01a	26.24±3.37a	0.58±0.12a	61.14±8.63a
人工柠条林	4.27±1.54a	0.29±0.11a	0.51±0.05b	19.22±5.64ab	0.34±0.08b	37.29±6.58b
人工刺槐林	6.96±2.33a	0.38±0.13a	0.54±0.03ab	26.70±4.88a	0.59±0.08a	71.21±8.22a

注:小写字母不同代表在 0.05 水平上差异显著。

与退耕 20 a 的达乌里胡枝子群落相比,30 a 白羊草群落土壤有机质及全氮、速效氮、速效钾含量均较高,速效 P 含量略低,其中仅速效氮含量差异显著 ( $p < 0.05$ )。人工刺槐林各项指标均不同程度高于人工柠条林,其中速效磷和速效钾的差异性达显著水平 ( $p < 0.05$ )。人工刺槐林土壤养分多项指标以微弱的优势高于白羊草群落,土壤养分总体状况接近,而人工柠条林各项指标均处于最低水平,其中土壤全磷、速效磷和速效钾含量与白羊草群落差异显著 ( $p < 0.05$ )。

2.2.3 典型植被类型土壤水分特征 4 种群落在 0—500 cm 土层的平均土壤含水量为 5.85%~8.43%,具体表现为白羊草群落(8.43%)>达乌里胡枝子群落(7.60%)>人工柠条林(6.43%)>人工刺槐林(5.85%)。变异系数以人工刺槐林最大,白羊草群落最小,其差异不显著,总体均处于中等变异程度 ( $0.1 < C_v < 1.0$ )(表 5)。

表 5 各群落土壤含水量及其标准差、变异系数

群落类型	极小值	极大值	含水量/ %	标准差	变异系数
达乌里胡枝子群落	5.85	9.15	7.60	1.66	0.22
白羊草群落	7.54	9.71	8.43	1.14	0.14
人工柠条林	4.74	7.49	6.43	1.48	0.23
人工刺槐林	4.01	7.27	5.85	1.67	0.29

在 0—200 cm 土层内,4 种群落土壤水分含量变化趋势基本一致,即:在 0—40 cm 土层内,土壤水分含量随土层深度增加而下降;在 40—200 cm 土层内,土壤水分随土层深度增加而上升。而在 200—400 cm 土层内,土壤水分含量相对稳定。在 400—500 cm 土层内,人工刺槐林与人工柠条林土壤水分含量

接近,达乌里胡枝子群落与白羊草群落土壤水分含量接近,且两种人工林土壤水分含量接近明显低于达乌里胡枝子群落和白羊草群落(图 1)。

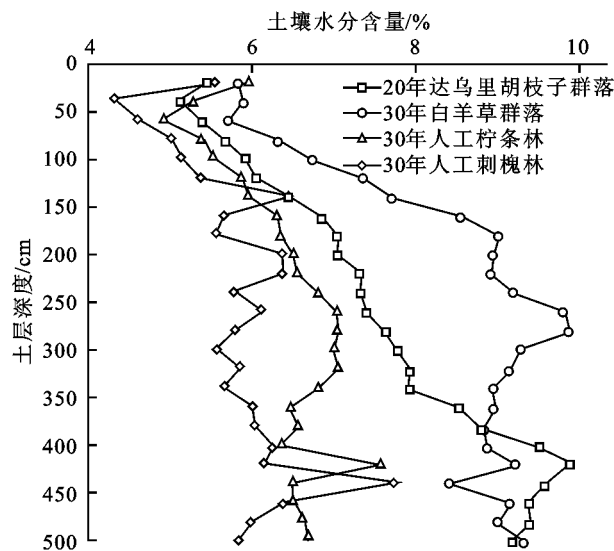


图 1 各群落土壤水分在土壤剖面上的分布规律

### 3 讨论

#### 3.1 典型植被类型草本群落生态学特性

群落的物种组成是了解群落性质的基础,从科属组成角度来看,本研究 4 种典型群落物种主要集中在禾本科、菊科、豆科、蔷薇科,其他科物种少且分散,以白羊草、铁杆蒿、达乌里胡枝子等典型物种为代表的禾本科、菊科及豆科植物对黄土丘陵区的环境适应性较强,物种重要值相对较高,且分布广泛,对植被恢复重建过程中物种的选择与搭配具有一定的指导作用。本研究中各群落物种生活型以草本植物为主,且结构简单,与研究区干旱少雨且土壤相对贫瘠密切相关,

随着群落自然演替这一现象更加明显。自然恢复 30 a 白羊草群落与 20 a 达乌里胡枝子群落相比,群落物种组成较为单一,物种多样性较差,而草本层地上生物量较高,虽然在生产力上有所进步,但不利于物种多样性的保护。于自然恢复 30 a 的白羊草群落相比,30 a 的人工柠条林与人工刺槐林的物种科属组成均比白羊草群落丰富,其物种多样性更好,可见两种人工林在群落物种组成及物种多样性方面产生了积极效应,其中人工刺槐林作用更为明显。因此,从物种多样性保护的角度来看,植被恢复过程中人工造林确有其效,以刺槐为代表的乔木树种和以柠条为代表

的灌木树种间效应也有所差异。

3.2 典型植被类型草本群落生态学特性与土壤养分  
土壤有机质与全氮、全氮与速效氮含量显著正相关( $p < 0.05$ ),表现出较好的耦合性。群落盖度与土壤各项养分指标间存在不同程度的正相关关系,说明良好的土壤养分状况能促进群落盖度的增加,因此 4 种群落盖度大小与养分总体状况表现一致,即:人工刺槐林 > 白羊草群落 > 达乌里胡枝子群落 > 人工柠条林。草本群落地上生物量与土壤各项养分指标均存在不同程度的正相关关系,其中,与土壤全磷含量的相关性显著( $p < 0.05$ )(表 6)。

表 6 群落生态学指标与土壤养分之间的 Pearson 相关性

指标	盖度	生物量	多样性	有机质	全氮	全磷	速效氮	速效磷	速效钾
盖度	1								
生物量	0.373	1							
多样性	0.756	-0.324	1						
有机质	0.816	0.841	0.24	1					
全氮	0.728	0.856	0.146	0.960*	1				
全磷	0.303	0.975*	-0.384	0.782	0.747	1			
速效氮	0.725	0.747	0.226	0.893	0.976*	0.598	1		
速效磷	0.327	0.605	-0.115	0.560	0.351	0.751	0.143	1	
速效钾	0.824	0.756	0.299	0.949	0.824	0.761	0.711	0.753	1

注: \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

焦峰等<sup>[18]</sup>研究发现,随着植被恢复和群落演替的继续,土壤养分呈增长趋势,本研究中白羊草群落土壤速效氮含量显著高于达乌里胡枝子群落,其他多项养分指标也较高,而群落盖度及生物量与土壤养分呈正相关,因此白羊草群落较高的地上生物量和盖度与其土壤养分含量,特别是速效氮含量密切相关。丁广文等<sup>[19]</sup>在对西北干旱区植被恢复的土壤养分效应研究中发现,植被恢复能明显改善土壤肥力状况,但不同恢复方式各有差异,许明祥等<sup>[20]</sup>研究发现,黄土丘陵区人工林肥力处于低水平,且各土壤养分指标需 30~50 a 才能达到中上等水平。在本研究中,人工柠条林各项指标均较低,30 a 人工刺槐林各项土壤养分指标均较高,可见,人工柠条林土壤养分恢复和积累较慢,经过 30 a 的恢复仍处于较低水平,而 30 a 人工刺槐林土壤养分指标已经达到中上等水平。因此,人工刺槐林在土壤肥力状况的改善方面能发挥重要作用。人工刺槐林与人工柠条林相比,其更高的草本群落地上生物量与盖度也是源于其更好的土壤养分状况。

### 3.3 典型植被类型草本群落生态学特性与土壤水分

4 种群落在 0—200 cm 土层土壤水分含量变化趋势一致,浅层土壤水分因地表蒸发、植物生长需要和蒸腾作用耗损等而消耗,靠降雨和下层土壤水分上

渗补给<sup>[21]</sup>,因此 4 种群落在 0—200 cm 土层内土壤水分最为活跃。由于采样时间正值雨季,降雨的补给是 4 种群落表层土壤水分含量较高的主要原因。由于草本植物细根分布较浅,植物生长需要和蒸腾作用耗损以及地表蒸发大量消耗浅层土壤水分,因而土壤水分含量减少,在 40 cm 土层处土壤含水量最少。而灌木和乔木根系分布较深,随着土层加深,人工刺槐林和人工柠条林土壤水分仍然被植物生长和蒸腾作用消耗,因此其土壤水分含量明显低于达乌里胡枝子群落和白羊草群落。由于刺槐属于强耗水乔木树种,而乔木根系比灌木扎入土层更深,所消耗的水分也就更大,因此其土壤水分含量更低。

相关分析表明,草本群落地上生物量和盖度均与土壤水分含量相关性不明显,物种多样性与 0—500 cm 土层土壤水分含量显著负相关( $p < 0.05$ )。在黄土丘陵区,8 月份降雨集中,水热条件对植物生长发育极为有利,虽然人工刺槐林土壤水分含量低于其他群落,但足够植物正常的生长发育,因而在此条件下土壤水分含量没有成为植物生长的制约因素,土壤水分含量与群落盖度的相关性也因此并不显著。相比之下,此时土壤养分的作用显得尤为突出。表 8 中土壤水分含量与物种多样性表现出显著负相关关系也

并不是偶然。较好的土壤水分条件更利于群落优势种的生长发育,从而更加充分地占用群落有限的资源,在群落演替过程中,一些劣势种便被淘汰,从而群落物种多样性下降,这与群落的演替阶段密切相关。

退耕恢复 30 a 的白羊草群落土壤水分含量高于 20 a 的达乌里胡枝子群落,说明在退耕地植被恢复和群落演替 20~30 a 这一阶段,土壤水分含量有所增加。有研究认为,随着退耕时间的延长,土壤水分含量有所下降并逐渐趋于稳定,特别是在干旱地区的深层土壤<sup>[22]</sup>,这一点与有关土层干化效应的研究相吻合,但与本文存在差异。本研究采样时间正值雨季和近年来降雨有所增加是导致这一差异的主要原因,足见黄土丘陵区生态研究的长期性和复杂性。两种人工林土壤含水量在 0—500 cm 内均显著低于自然恢复植被群落,说明人工林可能会加剧土壤水分消耗,特别是对深层土壤水分消耗更为显著。杨磊等在研究半干旱黄土丘陵区人工植被恢复土壤水分时发现各人工植被均存在不同程度的土壤水分亏缺<sup>[23]</sup>,郭军权等发现自然恢复的土壤含水量>自然+人工恢复的土壤含水量>人工恢复的土壤含水量<sup>[24]</sup>。黄土高原半干旱丘陵区植被重建与生态修复受水分因素的制约,而植被群落也会影响到土壤水分含量的变化<sup>[25]</sup>。从黄土丘陵区土壤水分角度来看,人工林不利于区域内深层地下水分的保持,且人工乔木林这一劣势更为明显。

#### 参考文献:

- [1] 李鹏,李占斌,郑良勇. 植被保持水土有效性研究进展[J]. 水土保持研究,2002,19(1):76-80.
- [2] 徐宪立,马克明,傅伯杰,等. 植被与水土流失关系研究进展[J]. 生态学报,2006,26(9):3137-3143.
- [3] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究,1994,1(3):8-13.
- [4] 李勉,姚文艺,李占斌. 黄土高原草本植被水土保持作用研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):74-80.
- [5] 马琦,王琦. 几种草被植物的水土保持效应研究[J]. 草业科学,2005,22(10):72-74.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘振学,任广鑫,王得祥,等. 通天河国家森林公园锐齿栎群落物种组成及群落结构研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):86-89.
- [9] 李建东,杨允菲. 松嫩平原羊草草甸植物的生态及分布区型结构分析[J]. 草业学报,2002,11(4):10-20.
- [10] 刘艾,刘德福. 我国草地生物量研究概述[J]. 内蒙古草业,2005,17(1):7-11,52.
- [11] 卜耀军,温仲明,焦峰,等. 黄土丘陵区人工与自然植物群落物种多样性研究:以安塞县为例[J]. 水土保持研究,2005,22(1):4-6.
- [12] 王世雄,王孝安,李国庆,等. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释[J]. 生态学报,2010,30(6):1638-1647.
- [13] 刘尧让,于法展,李淑芬,等. 苏北山丘区森林群落次生演替中土壤物理性质及其持水性能研究[J]. 水土保持研究,2010,20(3):135-139.
- [14] 苏娜,焦菊英,马祥华. 黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量季节变化及其与土壤水分的关系[J]. 水土保持研究,2012,19(6):7-12.
- [15] 王兵,刘国彬,薛蕙. 纸坊沟流域撂荒地环境因子对植被变化的典范对应分析[J]. 草地学报,2010,18(4):496-502.
- [16] 何兴东,高玉葆,刘惠芬. 重要值的改进及其在羊草群落分类中的应用[J]. 植物研究,2004,24(4):466-472.
- [17] 刘灿然,马克平,吕延华,等. 生物群落多样性的测度方法VI:与多样性测度有关的统计问题[J]. 生物多样性,1998,6(3):69-79.
- [18] 焦峰,温仲明,焦菊英,等. 黄土丘陵区退耕地土壤养分变异特征[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(6):18-24.
- [19] 丁文广,魏银丽,牛贺文. 西北干旱区植被恢复的土壤养分效应[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2568-2573.
- [20] 许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1):40-46.
- [21] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 生态学报,2005,25(10):2491-2498.
- [22] 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,2004,34(5):19-23.
- [23] 杨磊,卫伟,莫保儒,等. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J]. 生态学报,2011,31(11):3060-3068.
- [24] 郭军权,卜耀军,张广军. 黄土丘陵区植被恢复过程中土壤水分研究:以吴旗县为例[J]. 西北林学院学报,2005,20(4):1-4.
- [25] 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):103-106.