

吴起县不同退耕还林地群落恢复特征研究

马少薇¹, 郭建英², 蓝登明¹, 李锦荣², 珊丹², 赵杏花¹

(1. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 水利部 牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020)

摘 要:对陕西省吴起县已退耕还林 10 年的 7 种退耕还林地的物种多样性、生物量及其枯落物进行了系统的调查研究,旨在探明不同退耕还林地类型的恢复情况和效果,为今后退耕还林工作中树种选择及合理配置提供理论依据。结果表明:吴起县退耕还林 10 年后林下植被已趋于稳定;沙棘×山杏混交林是吴起县相对最为适合的混交林,有效的形成林草复合体系;不同退耕还林地群落的生物量具有明显的差异,其中沙棘×山杏混交林的林下草本层生物量最高;除油松和山杏纯林的枯落物生物量较小外,其他林地的枯落物生物量均大于天然草地。

关键词:退耕还林; 植物多样性; 生物量; 群落演替

中图分类号:S718.54⁺2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0204-06

Study on Community Restoration Characteristics of Different Conversions of Croplands to Forestlands in Wuqi County

MA Shaowei¹, GUO Jianying², LAN Dengming¹, LI Jinrong², SHAN Dan², ZHAO Xinghua¹

(1. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China)

Abstract: A systematic study was carried out in different types of lands with conversions of croplands to forestlands from species diversity, biomass and litter in Wuqi County of Shaanxi Province, aiming at discussing the restoration situation and effect of different types of lands. The results show that conversion of cropland to forest project promotes positive vegetation succession for 10 years. *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* × *Armeniaca sibirica* mixed forests is relatively suitable forest in Wuqi County, forming the combining system of forest and grass effectively. Community biomass of different restored lands has significant difference. And herbaceous biomass of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* × *Armeniaca sibirica* mixed forests is the greatest. Except that *Pinus tabulaeformis* and *Armeniaca sibirica* pure forest have smaller litter biomass, litter biomass of other woodland is greater than the natural grassland. The conclusion will provide a theoretical basis for the reasonable selection and allocation of tree species in the project of returning cropland to forestland in the future.

Keywords: conversion of cropland to forestland; plant diversity; biomass; community succession

黄土丘陵区是世界上水土流失最为严重的地区之一,严重的水土流失使土地资源遭到破坏、土壤肥力和质量下降,泥沙淤积河道引发洪水灾害,破坏地表植被,恶化生态环境,加剧土地和小气候的干旱程度以及其他自然灾害的发生^[1-2]。陕西省吴起县从 1998 年开始实施封山禁牧、退耕还林(草),主要造林树种有柠条(*Caragana korshinskii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)、沙棘×山杏(*Armeniaca sibirica*)、山杏、刺槐(*Robinia pseud-oacacia*)×沙棘、刺槐。目前,吴起县的林草覆盖率由

1997 年的 19.2% 提高到 62.9%,土地利用发生变化后,有关黄土丘陵区的研究主要是针对退耕还林工程建设的土壤理化性质、土地利用覆盖变化、生态效益评价及水土流失控制机理等方面的研究^[3-10],而关于退耕还林(草)后群落演替和植被多样性的变化,尚缺乏定量分析和研究。本文以上述 7 个退耕还林地中林龄为 10 a 的不同树种,和其林下植被为研究对象,研究其恢复情况、物种多样性、生物量及其枯落物等,了解该地区群落的演替趋势,从而为当地退耕还林的人工植被配置结构和可持续发展提供参考依据。

收稿日期:2015-12-01

修回日期:2016-01-06

资助项目:国家自然科学基金“放牧强度对典型草原土—草—畜耦合界面水力侵蚀的影响机制”(41301302)

第一作者:马少薇(1992—),女,内蒙古包头人,博士研究生,主要从事植物多样性保护与利用方面的研究。E-mail:mashaowei1992@163.com

通信作者:蓝登明(1961—),男,内蒙古察右后旗人,教授,硕士,主要从事植物多样性保护与利用方面的研究。E-mail:landengming@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

吴起县位于延安市西北部,地跨 107°38′57″—108°32′49″E,36°33′33″—37°24′27″N,总土地面积 3 791 km²。该地区属典型的中温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,春季干旱多风,夏季早涝相间,秋季温凉湿润。年平均气温 7.8℃,平均最低气温-7.7℃,平均最高气温 21.5℃;极端最高气温 37.1℃,极端最低气温-28.5℃。多年平均降水量 478.3 mm,约 62.4%的降水量集中在 7—9 月。年蒸发量 891.23 mm,干燥度 1.86。无霜期短,平均 147 d;光照充足,多年平均日照时数 2 370.7 h。干

早、霜冻、冰雹、大风、暴雨等自然灾害频繁发生,极易出现一年数灾并发现象^[6]。该县地处温带草原地带,地带性植被以草本为主,主要的建群种为长芒草(*Stipa bungeana*)和碱菀(*Tripolium vulgare*)。

1.2 试验方法

1.2.1 植被组成特征调查 选取具有代表性的地段设立标准试验样地:选择不同林种的退耕还林地作为固定试验样地,农耕地和天然草地作为对照样地;选取具有代表性的林种;选择立地类型基本相同,林龄为 10 a 的不同林种。每个样地均调查 3 个样方,样方大小:乔木 20 m×20 m,灌木 5 m×5 m,草本植物 1 m×1 m。野外植被调查项目主要包括植物物种名称、物种数量、植被盖度、高度、密度、频度等。选取的样地群落特征见表 1。

表 1 群落基本特征

造林树种	平均高度/m	平均胸/地径/cm	郁闭度	株行距/(m×m)	林下主要植被
柠条	1.6	6.5	0.6	1.5×2	阿尔泰狗娃花、赖草、糙隐子草、胡枝子、长芒草
油松	1.1	3.2	0.1	2×5	长芒草、红柴胡、碱菀、早熟禾、牻牛儿苗
沙棘	1.8	7.4	0.7	1.5×2	早熟禾、胡枝子、糙隐子草、阿尔泰狗娃花、长芒草
沙棘×山杏	1.8/1.7	6.8/6.1	0.6	1×5/2×5	长芒草、早熟禾、阿尔泰狗娃花、胡枝子、牻牛儿苗
山杏	1.6	5.9	0.2	2×5	赖草、柴胡、长芒草、早熟禾、碱菀
刺槐×沙棘	3.8/1.7	7.7/6.5	0.8	1.5×2	赖草、早熟禾、长芒草、糙隐子草、阿尔泰狗娃花
刺槐	4.2	8.1	0.7	2×3	胡枝子、糙隐子草、阿尔泰狗娃花、长芒草、远志

注:沙棘×山杏混交为隔行混交,刺槐×沙棘混交的乔冠比例为 1:2,阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、赖草(*Leymus secalinus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、红柴胡(*Bupleurum scorzoneri folium*)、牻牛儿苗(*Erodium stephanianum*)、早熟禾(*Poa annua*)、远志(*Polygala tenuifolia*)。

1.2.2 生物量调查 乔木层地上部分生物量的测定采用解析木法,灌木层和草本层的地上部分生物量测定采用全部收获法^[11]。分别称其鲜重,计算 1 hm² 的鲜生物量,并带回实验室将其置于 80℃ 的烘箱 24 h,称重,求干鲜重比率,进而推算 1 hm² 的干生物量。

乔木层、灌木层和草本层的地下部分生物量测量:分层挖取 0—20,20—40,40—60 cm 的土层,挑出各土层中的根系,称重,计算 1 hm² 乔木根系的生物量,并求出干鲜重比率,进而推算 1 hm² 的干生物量(方法同上)。

枯枝落叶层现存量测量:收集每个样方的枯枝落叶,分别称其重量,计算 1 hm² 枯枝落叶现存量,同时求干鲜重比率,进而推算 1 hm² 枯枝落叶现存量干重(方法同上)。

1.2.3 数据处理

(1) 物种重要值。根据所调查群落的特征数据,以相对密度(D_i)、相对盖度(C_i)和相对高度(H_i)计算其重要值(IV)^[12]。具体公式:

$$IV=\frac{(D_i+C_i+H_i)}{300} \tag{1}$$

式中:种 i 的相对密度 D_i =种 i 的个体数目/全部植物的个体数目×100;相对盖度 C_i =种 i 的盖度/全部

种的盖度之和×100;相对高度 H_i =种 i 的平均高度/全部种的平均高度之和×100;

(2) 植物群落物种多样性指数。根据马克平和白永飞等^[13-14]对物种多样性的研究成果,选取群落物种多样性、均匀度、丰富度的 3 个多样性指数对样地群落的物种多样性进行分析,选取的指数有 Shannon-Wiener 物种多样性指数;Pielou 均匀度指数;Margalef 丰富度指数。各指数计算公式:

Margalef 丰富度指数:

$$o=\frac{(S-1)}{\ln N} \tag{2}$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H=-\sum (n_i/N)\ln(n_i/N) \tag{3}$$

Pielou 均匀度指数

$$J_h=\frac{H}{\ln(S)} \tag{4}$$

式中: S 为群落中的总种数; n_i 为第 i 种的个体总数; N 为观察到的总个体数。

所有数据均采用 Microsoft Excel 2010, SPSS 17.0 软件处理分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)分析不同退耕林

地多样性、人工林(灌)生物量、林下草本层生物量及枯落物的差异显著性($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同退耕还林地群落物种组成与重要值分析

由于退耕还林地主要以单优树种为主,除草本层外,灌木层和乔木层都是单层结构,因此只针对林下植被进行对比研究。林下植被对于促进整个系统的物种多样性,特别是人工林系统的多样性显得尤为重要。林下植被的优势种组成差异在一定程度上反映着群落的结构多样性特征^[15]。采用重要值作为种群优势度

指标可以比较全面地反映植被不同的发育时期种群在群落中的功能地位和种群在群落中的分布格局^[16]。

从表 2 中可以看出林地中草本植物种类相对较丰富,有 32 个种,其中优势种有:长芒草、糙隐子草、阿尔泰狗娃花、早熟禾、赖草。偶见种为:南牡蒿、鸦葱、火绒草。长芒草、糙隐子草在不同的林地类型中均有分布,且与天然草地的重要值相近,说明在退耕还林 10 a 左右,林下植被已趋于稳定。早熟禾也是林下常见的植物,在沙棘林、刺槐×沙棘林、刺槐林、油松林下都有分布。天然草地中,不是以单优种为建群种,而是由长芒草和星毛委陵菜共同组成建群种,重要值分别为 0.156 和 0.157。

表 2 不同退耕还林地林下物种及其重要值

植物名	柠条林	山杏林	沙棘× 山杏林	沙棘林	刺槐× 沙棘林	刺槐林	油松林	天然 草地
赖草	0.118	0.260	0.316		0.393			0.077
糙隐子草	0.109	0.118	0.079	0.162	0.068	0.128		0.105
长芒草	0.191	0.153	0.152	0.208	0.175	0.161	0.109	0.156
胡枝子	0.212		0.109	0.218	0.064	0.130	0.107	0.087
阿尔泰狗娃花	0.140		0.105	0.127	0.062	0.161		0.103
二裂委陵菜	0.087		0.098	0.074				
菊叶委陵菜	0.028				0.030			
冰草	0.062							
远志	0.033				0.053	0.106		0.048
蒲公英	0.019							
红柴胡		0.068					0.068	
碱菀		0.209					0.248	0.097
冷蒿		0.095					0.068	
星毛委陵菜		0.098						0.157
草木樨状黄耆			0.039					
香青兰			0.025					
牻牛儿苗			0.019	0.056				
碱蒿			0.046				0.077	
龙胆			0.011					
早熟禾				0.122	0.064	0.091	0.225	
麻花头							0.043	
米口袋							0.014	
糙叶黄耆				0.032			0.042	0.093
多裂委陵菜					0.034			
地梢瓜					0.024			
中华小苦荬					0.032	0.056		
火绒草						0.052		
紫花地丁						0.048		
披碱草						0.066		
刺儿菜								0.013
鸦葱								0.023
南牡蒿								0.041

注:二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、菊叶委陵菜(*Potentilla tanacetifolia*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、草木樨状黄耆(*Astragalus melilotoides*)、香青兰(*Dracocephalum moldavica*)、碱蒿(*Artemisia anethi folia*)、龙胆(*Gentiana scabra*)、麻花头(*Serratula centauroides*)、米口袋(*Gueldenstaedtia verna* subsp. *multiflora*)、糙叶黄耆(*Astragalus scaberri-mus*)、多裂委陵菜(*Potentilla multifida*)、地梢瓜(*Cynanchum thesioides*)、中华小苦荬(*Ixeridium chinense*)、火绒草(*Leontopodium leontopodioides*)、紫花地丁(*Viola philippica*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、鸦葱(*Scorzonera austriaca*)、南牡蒿(*Artemisia eriopoda*)。

2.2 不同退耕还林地林下物种的 α 多样性分析

物种多样性是群落生态组织水平独特的可测定的特征之一,是度量一个群落结构和功能复杂性的指标,对物种多样性的研究可以更好地认识群落的组

成、变化和发展^[17-19]。林下植被对于促进整个系统的物种多样性,特别是人工林系统的多样性显得尤为重要^[20]。研究区 7 个林地林下草本植物群落的 α 多样性变化情况见表 3。

表 3 不同退耕还林地林下物种多样性指数

类别	Margalef 指数(<i>o</i>)	Shannon-Wiener 指数(<i>H</i>)	Pielou 指数 (<i>J_h</i>)
刺槐×沙棘	2.11a	1.18a	0.49a
山杏林	1.24b	1.61b	0.83bd
油松林	2.17a	1.62b	0.70c
刺槐	2.15a	1.70bc	0.71c
沙棘	1.75c	1.81bc	0.87d
柠条林	2.01a	1.86c	0.79bcd
沙棘×山杏	2.04a	1.98d	0.77bc
天然草地	2.42d	2.06d	0.83bd

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

从表 3 可以看出,不同退耕还林类型地林下草本植物群落中,Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数的变化趋势基本一致,即天然草地>沙棘×山杏混交林>柠条林>沙棘林>刺槐林>油松林>山杏林>刺槐×沙棘混交林。方差分析表明,7 种林地的 Margalef 指数均与天然草地均有显著性差异,沙棘×山杏混交林的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数与天然草地均无显著性差异。可见在吴起县沙棘×山杏混交林是最适合的混交林,可以使生态效益与经济效益兼顾,其林下植被特征与天然草地相接近,有效的形

成林草复合体系,对促进植被的恢复效果佳;柠条是当地的先锋植物,适应性强,并且林下植被稳定;沙棘虽然适应性强,但其属于一种克隆性植物,且克隆生长较快,导致林分结构较差,比较适用于混交,但与刺槐混交效果较差,林下植被较为单一,且以赖草为主,其促进林下植被的恢复效果较差。

2.3 不同退耕还林地生物量研究

2.3.1 退耕还林地不同林种生物量对比 由表 4 和图 1 可以看出,由于受林种本身的生物学特性的影响,不同植物群落生物量的积累具有明显的差异,即柠条>刺槐>沙棘>刺槐×沙棘>沙棘×山杏>山杏>油松,方差分析结果表明,柠条的总生物量显著高于其他林种类型,而油松的总生物量显著低于其他林种类型。柠条生长旺盛,根系特别发达,深可达十几米深,根系生物量可达 11 403.5 kg/hm²,约为地上部分的 1.6 倍,其他树种的生物量均为地上部分大于地下部分。可见柠条具有极强的抗旱性,同时发达的根系对改善土壤环境,减少水土流失具有重要作用。油松生长缓慢,林龄 10 a 的油松生物量仅为 1 985.1 kg/hm²,因此应该与生长较快的灌木树种混交,可解决因前期生长缓慢而使地表裸露造成的水土流失。

表 4 退耕还林地不同林种的生物量对比

林种类型	器官	鲜生物量/ (kg·hm ⁻²)	样品 鲜重/g	样品 干重/g	植物 含水量/%	干生物量/ (kg·hm ⁻²)
山杏	枝叶	2126.7	102.5	70.1	31.6	1454.5
	杆	1227.4	107.1	85.4	20.3	978.7
	根	2215.1	100.5	72.0	28.4	1586.9
刺槐	枝叶	4630.7	86.9	55.1	36.5	2940.5
	杆	3428.6	161.6	107.8	33.3	2287.1
	根	6845.1	94.0	53.5	43.1	3895.9
沙棘	枝叶	6305.1	79.4	42.9	46.0	3406.6
	杆	2219.8	107.4	80.8	24.8	1670.0
	根	2370.9	72.9	40.5	44.4	1317.2
油松	枝叶	2052.0	120.7	72.8	39.7	1452.8
	杆	490.8	83.6	58.1	31.6	335.6
	根	348.9	109.1	61.5	43.6	196.7
柠条	枝叶	9613.6	133.7	101.1	24.4	7269.5
	根	17098.5	127.3	84.9	33.3	11403.5
山杏×沙棘(山杏)	枝叶	1064.8	95.3	66.5	30.2	742.8
	杆	725.1	99.6	81.0	18.7	589.8
	根	1042.5	93.5	68.3	26.9	761.8
山杏×沙棘(沙棘)	枝叶	6928.7	132.2	70.2	46.9	3679.2
	杆	2439.3	76.8	54.5	29.0	1731.0
	根	2605.4	110.9	41.7	62.4	979.7
刺槐×沙棘(刺槐)	枝叶	3748.2	176.1	111.6	36.6	2376.4
	杆	2777.1	94.7	66.1	30.2	1938.4
	根	5432.8	102.5	55.4	45.9	2937.5
刺槐×沙棘(沙棘)	枝叶	3421.7	116.3	62.5	46.3	1837.6
	杆	1205.6	67.6	48.5	28.2	865.2
	根	2320.7	97.6	37.1	62.0	882.5

注:不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

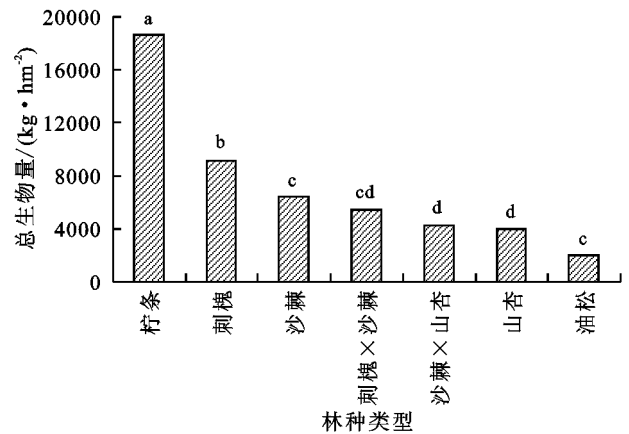


图 1 不同退耕还林地林种的总生物量

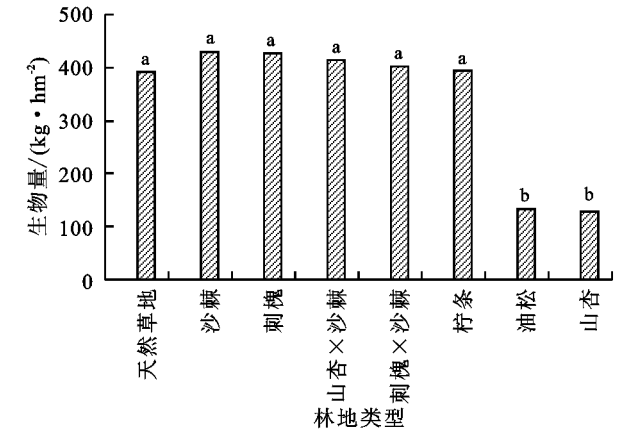
2.3.2 林带间草本层生物量对比 草本层是土壤表层的草本植物,它是阻止雨水引起的溅蚀、板结的最后屏障,它能有效消除经乔木截留后雨滴最后的能量,并能阻留径流的产生,防止径流侵蚀。由表 1 可见,不同林地林带间的草本群落差异较大,导致带间草本层的生物量也变化较大。由表 5 可见,实施退耕还林 10 a 来,改善了当地的生态环境,林下草本植物得到有效的恢复,沙棘×山杏混交林的林下草本层生物量最高,为 1 178.0 kg/hm²,较接近于天然草地;而山杏纯林的林带间草本生物量最低,仅 849.9 kg/hm²,约为天然草地的一半,显著低于其他林地的草本生物量。

表 5 不同退耕还林地林带间草本生物量					
退耕类型	鲜生物量/ (kg·hm ⁻²)	样品 鲜重/g	样品 干重/g	植物 含水率/%	干生物量/ (kg·hm ⁻²)
山杏×沙棘	1898.8a	52.1	32	38.6	1178.0a
沙棘	1743.4a	50.3	33.1	34.2	1158.8a
山杏	1189.0b	43.1	30.5	29.2	849.9b
油松	1787.0a	53.2	29.8	44.0	1011.1c
刺槐	1718.6a	58.1	36.4	37.3	1087.6ac
刺槐×沙棘	1276.1b	45.7	30.6	33.0	863.1b
天然草地	2594.8c	67.5	41.8	38.1	1623.1d
柠条	1718.6a	42.9	26.7	37.8	1080.4ac

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

2.3.3 枯落物生物量测定 由于枯枝落叶层覆盖地表,可以减少林地表层土壤水分的蒸发,并且枯枝落叶层的分解物增加了土壤养分,从而改善了土壤结构,增加了林地土壤贮水保水作用。从图 2 可以看出,不同林种的退耕还林地内,枯落物的积累不同,油松和山杏纯林的枯落物生物量显著低于其他林地的枯落物,其他均无显著性差异。从趋势来看,除油松和山杏纯林外其他林地的枯落物生物量均大于天然

草地,而山杏林地和油松林地的枯落物生物量不到天然草地的三分之一。很明显通过合理的造林,可以提高林下的枯落物量和草本层的生物量,形成乔木—草本—枯落物、灌木—草本—枯落物的复合截留体系,使其截留量随着林地年限的增加而逐渐增大。且枯落物增多,可有效地促进雨水的下渗,减少地表径流的产生,阻留和减缓了地表径流的流速。并且枯枝落叶层的分解物增加了土壤养分,从而改善了土壤结构,增加了林地土壤贮水保水作用。



注:不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

图 2 不同退耕还林地林内枯落物生物量

3 结论与讨论

吴起县退耕还林地的林龄为 10 a,从林下草本植物的重要值变化情况来看,长芒草、糙隐子草在不同的林地类型中均有分布,且与天然草地的重要值相近,说明在退耕还林 10 a 左右,林下植被已趋于稳定。不同造林类型地林下的草本植物群落中,沙棘×山杏混交林的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数与天然草地均无显著性差异,可见沙棘×山杏混交林是吴起县相对最为适合的混交林,可以使生态效益与经济效益兼顾,其林下植被特征与天然草地相接近,有效的形成林草复合体系,对促进植被的恢复效果佳。林种之间的生物量由大到小的顺序为:柠条>刺槐>沙棘>刺槐×沙棘>沙棘×山杏>山杏>油松。其中柠条生长旺盛,根系生物量约为地上部分的 1.6 倍,其他树种的生物量均为地上部分大于地下部分;林下草本植物得到有效的恢复,沙棘×山杏混交林的林下草本层生物量最高,较接近于天然草地;而山杏纯林的林带间草本生物量最低,约为天然草地的一半。不同林种的退耕还林地内枯落物的积累不同,且除油松和山杏纯林的枯落物生物量较小外,其他林地的枯落物生物量均大于天然草地,其中沙棘林的枯落物生物量最大,而山杏林地不到天然草

地的三分之一。

吴起县退耕还林 10 a 后林下植被已趋于稳定,但植被是否呈现正向演替趋势,最终形成乔草或灌草结合的稳定群落结构,还有待于进一步的观测;从林下草本植物的重要值变化情况来看,赖草在沙棘×山杏混交林、刺槐×沙棘混交林的重要值都较大,且均大于 0.8,是由林分结构还是种间竞争造成的,也有待于进一步观察研究。沙棘虽然适应性强,但其属于一种克隆性植物,且克隆生长较快,导致林分结构较差,比较适用于混交。经科研人员对黄土高原地区的研究,沙棘与针叶树种油松混交的效果较佳,也符合该地区地带性植被的演替规律^[21-23]。实施退耕还林过程中,树种的选择及其如何合理配置树种至关重要,对当地脆弱生态系统的恢复效果及恢复时间有较大的影响。

参考文献:

- [1] 于国强,李占斌,裴亮,等.不同植被类型下坡面径流侵蚀产沙差异性[J].水土保持学报,2012,26(1):1-6.
- [2] 王晓慧,陈永富,陈尔学.基于遥感和GIS的黄土高原中阳县土壤侵蚀评价[J].山地学报,2011,29(4):442-448.
- [3] 王冬,杨政,郝红敏,等.黄土区退耕草地凋落物—土壤界面水分过程特征研究[J].水土保持研究,2015,22(1):80-84.
- [4] 张翼.黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究[J].水土保持研究,2000,7(2):39-47.
- [5] 李登科.陕北吴起县退耕还林(草)成效的遥感监测分析[J].中国沙漠,2009,29(1):125-130.
- [6] 郭建英,李锦荣,刘铁军,等.退耕还林工程建设对吴起县土地利用/覆被变化及其土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2013,20(5):1-6.
- [7] 赵健,魏天兴,陈致富,等.陕西吴起县退耕还林地不同植被水土保持效益分析[J].水土保持学报,2010,24(3):31-34,49.
- [8] 杨光,孙保平,赵廷宁,等.黄土丘陵沟壑区退耕还林工程植被恢复效益初步研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(2):165-170.
- [9] 秦伟,朱清科,赖亚飞.退耕还林工程生态价值评估与补偿:以陕西省吴起县为例[J].北京林业大学学报,2008,30(5):159-164.
- [10] 王丹丹,吴普特,赵西宁.黄土高原退耕还林(草)效益评价研究进展[J].西北林学院学报,2010,25(3):223-228.
- [11] 冯宗炜,王效科,吴刚.中国森林生态系统的生物量 and 生产力[M].北京:科学出版社,1999.
- [12] 姜恕,等.草地生态研究方法[M].北京:农业出版社,1988,15-21.
- [13] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下)[J].生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [14] 白永飞,许志信,李德新.内蒙古高原针茅草原群落 α 多样性研究[J].生物多样性,2000,8(4):353-360.
- [15] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏,等.深圳南山区天然森林群落多样性及演替现状[J].生态学报,2003,23(7):1415-1422.
- [16] 曹成有,朱德华,耿莉,等.小叶锦鸡儿放牧场沙漠化过程中植物多样性的变化[J].水土保持学报,2005,19(5):166-169.
- [17] 王君厚,周士威,任培政.乌兰布和沙漠东北边缘植物群落物种多样性及其生态环境[J].中国沙漠,1996,(3):259-266.
- [18] 于立忠,于水强,史建伟.不同类型人工阔叶红松林高,等植物物种多样性[J].生态学杂志,2005,24(11):1253-1255.
- [19] 杨元武,李希来,祁盛仓.江河源地区不同荒漠化草地物种多样性研究[J].青海大学学报,2005,23(3):42-45.
- [20] 牟长城,张娜,倪志英.不同恢复途径对大兴安岭森林沼泽群落植物多样性影响[J].中国林副特产,2007,88(3):1-6.
- [21] 韩恩贤,韩刚.黄土高原沟壑区沙棘人工混交林改土效应研究[J].自然资源学报,2005,20(6):879-884.
- [22] 张占山,白岗栓,侯喜录,等.黄土丘陵沟壑区油松与沙棘混交油松成林过程研究[J].水土保持通报,2006,26(2):40-44.
- [23] 王世忠,李树民.半干旱地区油松纯林改造成混交林效益分析[J].林业科技通讯,1999,(6):21-24.