

陕北安塞退耕恢复 15 年刺槐林与自然植被的 物种组成与群落特征

吴多洋¹, 焦菊英^{1,2,3}, 于卫洁²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 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:为探讨陕北黄土丘陵沟壑区退耕恢复 15 年后刺槐人工林及自然植被的恢复特征,对安塞县三个流域“退耕还林”后栽植的 15 年左右刺槐林与林下植被及对应的自然恢复植被进行了调查与分析。结果表明:刺槐林下发现植物 60 种,隶属于 27 个科,49 个属,以禾本科、菊科、豆科、蔷薇科植物居多;自然植被样地发现植物 62 种,隶属于 21 科 49 属,菊科、豆科和禾本科植物最多;无论刺槐林下还是自然植被,生长型多为一年生草本和多年生草本,水分生态型以旱生和旱中生植物为主,生活型方面地面芽植物占据优势地位;刺槐林下以狗尾草、赖草、牻牛儿苗、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花及长芒草等为优势群落,而自然坡面以白羊草、达乌里胡枝子、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花、长芒草及草木犀状黄耆等为优势群落;在阳坡自然恢复植被的群落盖度、地上生物量及物种多样性指数显著高于刺槐人工林($p < 0.05$),而在阴坡二者差异不显著;认为在黄土丘陵沟壑区,阳坡刺槐林的植被恢复应考虑到林木生长对林下层的抑制作用,对现存郁闭度过高的林分应及时进行间伐管理以促进下层植被生长,合理进行乔、灌、草的配置,丰富群落层次结构,提升刺槐林生态功能。

关键词:人工林;自然恢复植被;物种组成;群落特征;黄土丘陵沟壑区

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0012-07

Species Composition and Community Characteristics of 15-Year-Old *Robinia pseudoacacia* Forest and Natural Vegetation in Ansai, Shaanxi Province

WU Duoyang¹, JIAO Juying^{1,2,3}, YU Weijie²

(1. College of Forestry, 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: In order to investigate the effect of *Robinia pseudoacacia* plantation on vegetation restoration in loess hilly and gully region of northern Shaanxi, the 15-year-old locust plantation and the corresponding natural vegetation were studied in the three watersheds in Ansai County. The results of species composition showed that 60 species of plants were found in the *Robinia pseudoacacia* plots, belonging to 27 families and 49 genera. Among them, Gramineae, Compositae, Leguminosae, Rosaceae plants were the most. 62 species were found in the natural vegetation plots, including 21 families and 49 genera, Compositae, Leguminosae and Gramineae plants were the most. No matter under *Robinia pseudoacacia* or natural vegetation, the growth types were mostly annual herbaceous and perennial herbaceous plants, and the water ecotype was mainly composed of xerophytes and drought-types. In addition, ground bud plants occupy the dominant position. The dominant species of the locust understory were *Setaria viridis*, *Leymus chinensis*, *Erodium stephanianum*, *Heteropappus altaicus*, *Heteropappus altaicu*, *Stipa bungeana*, while the dominant species under natural restoration were composed of *Bothriochloa ischaemum*, *Lespedeza davurica*, *Heteropappus altaicus*, *Stipa bungeana*, *Heteropappus altaicu* and *Astragalus melilotoides*. On the sunny slope, the com-

收稿日期:2016-12-05

修回日期:2016-12-30

资助项目:国家自然科学基金面上项目(41371280);水利部公益性行业科研专项经费项目(201501045)

第一作者:吴多洋(1993—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,研究方向:流域生态学。E-mail:979463769@qq.com

通信作者:焦菊英(1965—),女,陕西宝鸡人,研究员,研究方向为流域侵蚀产沙、土壤侵蚀与植被关系及水土保持效益评价。E-mail:jyjiao@ms.iswc.ac.cn

munity coverage, above-ground biomass and species diversity index of were significantly higher than those of *Robinia pseudoacacia* vegetation ($p < 0.05$), while these were no difference between the natural restoration vegetation and *Robinia pseudoacacia* vegetation on the shady slope. The results showed that the inhibitory effect of tree growth on the understory forest should take into account for vegetation restoration on the sunny slope in the loess hilly and gully region, and the existing canopy should be managed in time to promote the growth of understory vegetation by making scientific and rational allocation of trees, shrubs and herbs to rich community level structure and optimize the ecological function of the *Robinia pseudoacacia* community.

Keywords: planted forest; natural restoration of vegetation; species composition; community characteristics; loess hilly and gully region

黄土高原是我国水土流失最严重的地区之一,也是国家退耕还林还草工程建设的重点区域^[1-2]。在特殊的侵蚀环境下,植被恢复是治理水土流失的关键措施,也是“退耕还林(草)”工程的关键所在,其不仅能够有效遏制水土流失,同时也能有效遏制生态环境恶化,改善并修复脆弱生态系统和退化生态系统^[3]。刺槐(*Robinia pseudoacacia*)人工林作为人工恢复方式的一种,在黄土高原地区被广泛栽植营造。自退耕还林(草)工程实施以来,刺槐已成为黄土高原地区的主要退耕造林树种,有研究表明,不同人工恢复方式下,随着恢复年限增加,群落多样性得到改善,刺槐人工林群落的物种多样性明显优于其他人工林^[4]。但在很多地区的恢复实践中,刺槐通常由于林分密度过高、林龄过大或是未能做到适地适树等原因,导致林分整体衰败低产,形成大面积“小老头”树,因其生长消耗大量水分,致使深层土壤干燥化严重,形成不同深度土壤干层^[5-6],一定程度上也存在着制约当地生态植被恢复的风险^[7]。而对于自然恢复而言,随着退耕年限的增加,植被的多样性指数和均匀度指数呈增加趋势,当恢复到一定时期,植被总盖度可达85%以上,能够有效地防止水土流失^[8],且天然群落物种丰富度指数与多样性指数相对均高于人工群落^[9]。

林下植被作为人工林植被生态系统的重要组成部分,在促进养分循环、提高林地水土保持能力、促进上层林木更新、增强人工林生态系统稳定性等方面具有十分重要作用^[10]。因此,研究人工林恢复进程中如何科学制定林下植被的管理措施,使得林下植被与上层林木协同发展,具有十分重要意义。以往对陕北黄土高原地区植被恢复的研究多集中在不同演替阶段群落组成、群落生物量、物种多样性的变化方面^[11-13],而就相同背景下刺槐林与自然恢复植被群落特征系统的比较研究相对不多,且在不同坡向植被恢复如何同样相对较少。为此,本研究在对陕北丘陵沟壑区安塞县2000年左右退耕后栽植的刺槐林(15 a左右)林下植被及对应年限的自然恢复植被的物种组成特征及群落特征进行对比

研究的基础上,探究刺槐对林下植被物种组成、物种多样性、群落盖度及生物量等特征的影响,以及不同坡向刺槐林植被恢复状况,以期为该区刺槐林植被恢复的人工干预与调控提供参考依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

本研究在陕北黄土丘陵沟壑区的安塞县进行。安塞县属于典型的森林草原带,地形复杂,沟壑纵横,海拔在997~1 731 m,为典型的梁峁状沟壑区。该地区主要受暖温带半干旱大陆性气候的影响,年均气温8.8℃,年降雨量500 mm,其中6—9月雨季降水占全年降水量的72.9%^[14]。该县自然植被几已全遭破坏,人工林以刺槐、小叶杨(*Populus simonii*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主,撂荒坡主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等处于不同演替阶段的草本植物群落。土壤类型属于黄绵土,其中粉粒占到64%以上,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重^[15]。

1.2 样地选择与植被调查

在安塞县由北向南选取张家河、三王沟、纸坊沟三个小流域,以这三个流域内2000年左右退耕的刺槐林和自然恢复植被为研究对象进行调查,每个流域各选5组阳坡和5组阴坡,调查样地共计60个。在每个刺槐林样地内,设置大小为10 m×10 m的样方,调查刺槐林分的密度、树高、胸径、冠幅、郁闭度等。同时,每个样地设置3个大小为2 m×2 m的小样方进行植被调查,包括植物的种类、盖度、数量、高度、频度、生物量等。物种盖度采用目测法;物种频度是在样地内选择10个1 m×1 m的小样方,通过调查不同物种出现的数量来计算;生物量调查采用收割法获得地上植物生物量干重(80℃,24 h),并调查记录每个样地坡度、坡向等,样地基本情况见表1。

1.3 植被生态学组成划分

在对刺槐林地林下物种与对应自然植被进行调查与鉴定的基础上,进行植物生长型、生活型、及水分生态型的划分。植物的生长型根据 Whittaker 生长型系统进行界定,将植物划分为乔木、灌木、草本、藤本 4 类^[16];生活型的划分采用 Raunkier 生活型分类系统,即以植物休眠芽或复苏芽所处位置的高低为依据,将植物划分为高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、地下芽植物和 1 a 生植物 5 大类群^[17-18];植物水分生态型是根据《中国植被》与《陕西植被》中的描述进行统计分析^[19-20]。

1.4 群落划分及数据处理

根据样地调查得到的物种盖度、多度和频度计算物种的重要值,据此进行优势群落的划分,将重要值超过 5% 的物种视作优势物种,将重要值在 1%~5% 间的认为是伴随物种^[21-22]。根据样地调查数据计算每个样方物种的 α 多样性指数,包括 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数。采用单因素方差分析研究不同恢复方式下植被盖度、生物量及物种多样性的差异性。

具体公式如下:

重要值=(相对盖度+相对多度+相对频度)/3

$$\text{Margalef 指数}(D') = \frac{S-1}{\ln N}$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数}(H) = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielow 指数}(J) = H/\ln S$$

$$\text{Simpson 指数}(D) = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中:S 为观测到的物种总数(丰富度);N 为样方内所有物种个体数目; P_i 为第 i 个物种的个体数在全部个体中的比例(N_i/N)。

2 结果与分析

2.1 物种组成特征

2.1.1 物种科、属组成 在调查的 30 个刺槐样地中,除刺槐外,其林下共发现植物 60 种,隶属于 27 个科,49 个属。以禾本科、菊科、豆科、蔷薇科植物居多,属于这 4 个科的属和物种分别占到总数的 57.2% 和 51.7% (表 2)。出现的植物种当中,灌木有 8 种,隶属 5 科 7 属,分属于蔷薇科扁合木属、蔷薇科悬钩子属、萝藦科杠柳属、萝藦科鹅绒藤属、豆科胡枝子属、菊科蒿属、毛茛科铁线莲属;草本植物 48 种,隶属 20 科 40 属,主要以菊科、禾本科、豆科、堇菜科为主;此外,林下发现 3 种乔木小苗和 1 种藤本,分别为豆科刺槐、苦木

科臭椿、榆科榆树及葡萄科蛇葡萄。不同坡向林下植被组成存在差异。阳坡刺槐林下共有植物 42 种,隶属于 18 科 35 属,其中灌木类共 6 种,草本植物 33 种,乔木 3 种;阴坡刺槐林下共出现植物 54 种,隶属于 20 科 46 属,其中灌木类共 6 种,草本植物 46 种,乔木和藤本各有 1 种。

30 个自然植被样地共出现植物 62 种,隶属于 21 科 49 属。菊科、豆科和禾本科植物最多,属于这三科的属和物种分别占总数的 57.1% 和 59.6% (表 2)。出现的物种当中,灌木类 7 种,隶属 5 科 7 属;草本有 53 种,隶属 18 科 42 属;乔木 2 种。阳坡自然植被样地共发现植物种 42 个,隶属 15 科 34 属;阴坡共出现植物种 60 个,隶属 20 科 47 属。

表 1 调查样方基本情况

样地 地点	组号	坡向	林分密度/ (株·hm ⁻²)	林地 郁闭 度/%	林下植被/ 自然植被 盖度/%	林下物种数 量/自然植被 物种数量/个
纸坊沟	1	阳	1200	70	32/29	16/17
	2	阳	3200	75	2/40	10/13
	3	阳	900	40	18/40	15/16
	4	阳	1600	50	10/35	12/11
	5	阳	1100	50	7/28	11/13
	6	阴	1800	40	11/35	19/21
	7	阴	2200	35	22/48	14/20
	8	阴	1300	15	50/40	22/11
	9	阴	2300	25	18/35	20/18
	10	阴	1900	35	53/18	17/18
	11	阳	1500	55	28/40	6/20
	12	阳	1500	35	31/21	19/17
	13	阳	1300	50	12/21	14/14
	14	阳	1500	50	6/38	7/12
三王沟	15	阳	900	50	5/20	7/11
	16	阴	1200	40	40/25	15/27
	17	阴	1600	30	48/36	19/29
	18	阴	1300	65	2/30	13/17
	19	阴	1500	40	3/39	15/19
	20	阴	1600	55	31/37	17/25
张家河	21	阳	2300	50	3/40	10/11
	22	阳	2300	40	10/53	19/13
	23	阳	3300	40	7/50	18/14
	24	阳	3500	50	3.5/38	18/17
	25	阳	3000	60	3/40	11/15
	26	阴	2600	30	28/28	23/19
	27	阴	2400	50	20/25	16/21
	28	阴	2400	45	20/30	21/18
	29	阴	1700	50	43/38	17/22
	30	阴	2000	40	40/40	17/24

可见,无论刺槐林下植被还是自然植被,位于阴坡的植物科、属、种的数量均要高于阳坡。

表 2 刺槐林下/自然植被各科的属、种组成统计

科	属		物种	
	属数/ 个	占总属数 百分比/%	物种数/ 个	占总物种数 百分比/%
禾本科 Gramineae	10/9	20.4/18.4	11/12	18.3/19.4
菊科 Compositae	9/11	18.3/22.4	12/14	15/22.6
豆科 Leguminosae	5/8	12.4/16.3	7/11	11.7/17.7
蔷薇科 Rosaceae	3/1	6.1/2.1	4/3	6.7/4.8
毛茛科 Ranunculaceae	2/3	4.1/6.1	2/3	3.3/4.8
百合科 Liliaceae	2/1	4.1/2.1	2/1	3.3/1.6
唇形科 Labiatae	2/1	4.1/2.1	2/1	3.3/1.6
萝藦科 Asclepiadaceae	2/2	4.1/4.1	3/2	5/3.2
堇菜科 Violaceae	1/1	2.1/2.1	3/3	5/4.8

注:败酱科(Valerianaceae),车前科(Plantaginaceae),大戟科(Euphorbiaceae),苦木科(Sinaroubaceae),藜科(Chenopodiaceae),牻牛儿苗科(Geraniaceae),葡萄科(Vitaceae),茜草科(Rubiaceae),玄参科(Scrophulariaceae),亚麻科(Linaceae),榆科(Ulmaceae),远志科(Polygalaceae),罂粟科(Papaveraceae),紫葳科(Bignoniaceae)均只出现一个属,一个物种。

2.1.2 物种生态学组成 刺槐本身为高位芽、早生、落叶乔木;刺槐林下植被生长型主要由一年生草本和多年生草本构成,两类生长型的植物占到总数的 73.3%,其中多年生草本占到 60%,一年生草本占到 13.3%,其次是半灌木、一二年生草本、灌木、乔木、小灌木和藤本,占比分别为 6.7%,6.7%,5%,5%,1.7%,1.7%(表 3)。水分生态型以早生、早中生、中生植物为主,三种生态型植物共占总数的 96.7%,其中,早生植物最多(45%),早中生植物次之(35%),中生植物较多(16.7%),湿生和湿中生植物各只有一种(1.7%)。植被生活型包括地面芽植物、地下芽植物、高位芽植

物、地上芽植物和一年生植物,其中,地面芽植物数量最多,占到总数的 48.3%,一年生植物(16.7%)、高位芽植物(15%)、地下芽植物(13.3%)数量相差不大,地上芽植物数量最少(6.7%)。不同坡向林下物种生长型组成类似,阳坡和阴坡刺槐林下均以多年生草本为主,分别占到物种总数的 61.9%和 64.8%,其次为一年生草本,占比分别为 14.3%和 13.0%。两种坡向林下物种水分生态型组成类似,均以旱生(52.4%和40.91%)、旱中生(31.0%和 36.36%)、中生(14.3%和 19.7%)植物为主。阳坡林下物种生活型以地面芽植物(52.4%)、一年生植物(16.7%)、高位芽植物(14.3%)为主,阴坡以地面芽植物(45%)、一年生植物(15%)、地下芽植物(13.3%)居多。

自然植被生长型主要由多年生草本和一年生草本组成,两类生长型分别占总数的 69.4%和 13.3%(表 3);水分生态型以旱生(51.6%)、旱中生(30.6%)、中生(14.5%)植物为主;生活型主要由地面芽植物(53.2%)、地下芽植物(16.1%)、一年生植物构成(14.5%)。两种坡向植被均以多年生草本和一年生草本居多;水分生态型均以旱生和旱中生植物为主,生活型同样均以地面芽植物居多,地下芽和一年生植物次之。

可以看出,研究区经过 15 a 左右的恢复演替,无论在刺槐林下还是自然恢复坡面,乔、灌木相对稀少,仅零星分布在部分调查样地,而一年生和多年生草本分布最为广泛,是最重要的生长型;此外,植被水分生态型以旱生型和旱中生型为主,生活型以地面芽植物最多。

表 3 刺槐林下/自然植被物种生态学组成统计

生长型	数量/个	比例/%	水分生态型	数量/个	比例/%	生活型	数量/个	比例/%
乔木	3/2	5/3.2	旱生	27/32	45/51.6	地面芽植物	29/33	48.3/53.2
灌木	3/2	5/3.2	中生	10/9	16.7/14.5	高位芽植物	9/6	15/9.7
半灌木	4/4	6.7/6.5	旱中生	21/19	35/30.6	地下芽植物	8/10	13.3/16.1
小灌木	1/1	1.7/1.6	湿中生	1/1	1.7/1.6	地上芽植物	4/4	6.7/6.5
一年生	8/8	13.3/12.9	湿生	1/1	1.7/1.6	一年生植物	10/9	16.7/14.5
二年生	4/2	6.7/3.2						
多年生	36/43	60/69.3						
藤本	1	1.7						

2.2 植被的群落特征

2.2.1 物种的重要值 在阳坡,刺槐林下重要值超过 5%的物种有狗尾草、赖草、牻牛儿苗及长芒草 4 种,其中,狗尾草和赖草均超过 15%,重要值为 1%~5%物种有阿尔泰狗娃花、猪毛菜等 12 种,重要值为 0%~1%的物种有铁杆蒿等 26 种;在阴坡,林下重要值超过 5%的物种有赖草、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花、长芒草、狗尾草及糙隐子草 6 种,重要值为 1%~5%物种有抱茎苦苣菜、败酱等 13 种,重要值在 0~1%的

物种有茺蒿等 35 种(表 4)。这表明刺槐林经过 15 a 生长发育,阳坡形成以狗尾草、赖草、牻牛儿苗及长芒草为建群种的林下群落,主要伴生物种有阿尔泰狗娃花、猪毛菜等,阴坡林下建群种有赖草、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花、长芒草、狗尾草等,主要伴生有糙隐子草、抱茎苦苣菜、败酱等。可以看出,在不同坡向下,赖草、长芒草、狗尾草及阿尔泰狗娃花等物种在林下均占据较高的重要值,是刺槐林下的主要建群种。

对于自然恢复植被,在阳坡重要值超过 5%的物种

有白羊草、达乌里胡枝子、铁杆蒿、长芒草 4 种,重要值为 1%~5%物种有阿尔泰狗娃花、猪毛蒿等 12 种,重要值为 0%~1%的物种有 26 种;在阴坡重要值超过 5%的物种有铁杆蒿、长芒草、阿尔泰狗娃花、达乌里胡枝子、草木犀状黄耆 5 种,重要值为 1%~5%物种有 16 种,重要值为 0%~1%的物种有 39 种(表 4)。这表明,自然植被在经过 15 a 恢复后,阳坡的建群种有白羊草、达乌里胡枝子、铁杆蒿及长芒草,伴生物种有阿尔泰狗娃花、猪毛蒿、茭蒿、中华隐子草等,阴坡的建群种有铁杆蒿、长芒草、阿尔泰狗娃花、达乌里胡枝子、草木犀状黄耆,主要伴生有菊叶委陵菜、猪毛蒿等。可以看出,就不同

坡向的自然植被而言,达乌里胡枝子、铁杆蒿、长芒草、阿尔泰狗娃花等物种均具有较高重要值,可视作自然植被群落的重要建群物种。

2.2.2 群落的盖度与生物量 刺槐林郁闭度与林下植被盖度普遍存在负相关关系,阳坡刺槐林郁闭度为 51%,阴坡为 39.7%,就林下而言,植被整体平均盖度为 20.5%,其中,阳坡 11.9%,阴坡 27.1%;就自然植被而言,群落盖度相对较高,整体平均盖度达到 33.9%,阳坡为 34.6%,阴坡为 33.1%。在阳坡,自然植被群落的盖度要显著高于林下植被群落的盖度($p<0.05$);而在阴坡,两种植被恢复方式下群落盖度相差无几($p>0.05$)。

表 4 刺槐林下/自然植被物种重要值 %

植物种名	林下植被		自然植被	
	阳坡	阴坡	阳坡	阴坡
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	21.84	5.28	0.75	1.02
赖草 <i>Leymus secalinus</i>	15.01	9.93	—	1.65
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	6.34	3.17	0.51	0.49
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	6.12	7.07	8.08	12.52
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicu</i>	4.89	7.16	4.90	6.06
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	4.46	3.51	0.22	0.51
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	3.62	3.54	12.3	5.96
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	3.14	1.83	4.58	3.65
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	2.93	5.02	2.72	2.77
牛皮消 <i>Cynanchum auriculatum</i>	2.31	—	—	0.20
抱茎苦蕒菜 <i>Ixeridium sonchifolium</i>	1.78	4.76	0.03	0.38
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	1.71	4.50	0.52	0.59
茭蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	1.65	0.95	3.98	1.87
中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i>	1.57	0.24	3.38	0.77
蒙古蒿 <i>Artemisia mongolica</i>	1.38	3.05	2.32	1.68
风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	1.34	0.91	0.20	1.17
铁杆蒿 <i>Heteropappus altaicus</i>	0.88	9.28	10.82	23.04
山苦蕒 <i>Ixeris denticulata</i>	0.88	1.77	0.10	1.46
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	0.84	1.19	0.30	0.07
地稍瓜 <i>Cynanchum thesiodes</i>	0.80	0.46	—	—
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>	0.66	0.58	21.77	0.33
小蓟 <i>Cirsium setosum</i>	0.66	0.08	1.69	0.57
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	0.61	1.42	0.81	1.70
早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.56	4.61	0.84	2.11
芥菜 <i>Brassica juncea</i>	0.51	0.07	0.17	0.80
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	0.42	0.46	0.10	0.07
杠柳 <i>Periploca sepium</i>	0.38	1.13	0.47	0.44
败酱 <i>Patrinia scabiosifolia</i>	0.34	4.74	—	2.14
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	0.19	0.41	2.09	1.03
灌木铁线莲 <i>Clematis hexapetala</i>	0.17	0.16	0.17	0.09
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	0.15	0.01	—	0.03
地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	0.14	0.04	—	0.03
香青兰 <i>Dracocephalum moldavica</i>	0.13	0.26	0.17	1.10
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	0.11	0.17	—	—
裂叶堇菜 <i>Viola dissecta</i>	0.07	0.83	—	0.13

续表 4

植物种名	林下植被		自然植被	
	阳坡	阴坡	阳坡	阴坡
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	0.07	—	—	—
山丹 <i>Lilium pumilum</i>	0.07	0.11	—	—
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	0.06	—	—	—
野豌豆 <i>Vicia sepium</i>	0.06	—	0.03	0.12
尖叶胡枝子 <i>Lespedeza hedysaroides</i>	0.02	—	0.08	0.52
远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	0.02	0.10	0.79	0.72
糙叶黄耆 <i>Astragalus scaberrimus</i>	0.01	—	1.12	0.93
扁核木 <i>Prinsepia utilis</i>	—	0.44	—	—
草木犀状黄耆 <i>Astragalus melilotoides</i>	—	0.05	2.74	5.80
车前草 <i>Plantago depressa</i>	—	0.02	—	—
臭草 <i>Melica scabrosa</i>	—	0.17	—	—
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	—	0.24	0.24	2.49
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	—	0.03	—	0.09
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	—	0.49	1.97	0.77
角蒿 <i>Incarvillea sinensi</i>	—	0.03	—	0.38
菊叶委陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	—	0.89	1.55	3.27
披针叶黄华 <i>Thermopsis lanceolata</i>	—	0.08	—	0.08
蛇葡萄 <i>Ampelopsis sinica</i>	—	0.51	—	—
唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>	—	0.18	—	—
悬钩子 <i>Rubus corchorifolius</i>	—	0.21	—	—
亚麻 <i>Linum usitatissimum</i>	—	0.05	0.51	0.17
野葱 <i>Allium chrysanthum</i>	—	0.06	0.01	0.02
野菊 <i>Dendranthema indicum</i>	—	0.03	—	0.03
益母草 <i>Leonurus artemisia</i>	—	0.04	—	—
掌叶堇菜 <i>Viola dactyloides</i>	—	0.05	—	0.01
白头翁 <i>Pulsatilla chinensis</i>	—	—	—	0.02
北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i>	—	—	—	1.08
柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>	—	—	0.12	0.34
丁香 <i>Eugenia caryophyllata</i>	—	—	—	0.04
二色棘豆 <i>Subsect. Bicolores</i>	—	—	—	0.07
拂子茅 <i>Calamagrostis epigaeios</i>	—	—	—	0.54
拐轴鸭葱 <i>Scorzonera divaricata</i>	—	—	0.11	0.98
狼牙刺 <i>Sophora viciifolia</i>	—	—	0.14	0
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	—	—	—	0.03
砂珍棘豆 <i>Oxytropis psamocharis</i>	—	—	0.54	0.50
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	—	—	—	0.17
野棉花 <i>Anemone vitiifolia</i>	—	—	0.20	—
羽叶委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>	—	—	—	0.15

在阳坡,刺槐林下植被平均地上生物量为 18.6 g/m²,自然恢复下植被平均地上生物量为 31.2 g/m²,显著高于林下植被地上生物量($p<0.05$);在阴坡,林下植被地上生物量为 25.8 g/m²,自然植被平均为 37.1 g/m²,二者差异不显著($p>0.05$)(表 5)。

表 5 刺槐林下及自然植被群落盖度和地上生物量

样地类型	盖度/%		生物量/(g·m ⁻²)	
	阳坡	阴坡	阳坡	阴坡
刺槐林下植被	11.9±10.4b	27.1±16a	16.6±5.8b	25.8±6.4a
自然植被	34.6±10.7a	33.1±7.6a	37.1±7.8a	31.2±6.6a

2.2.3 植被物种多样性 对于刺槐林而言,阴坡林下植被的 Margalef 指数与 Shannon-Wiener 指数、

Pielow 指数和 Simpson 指数均高于阳坡,两种坡向的 Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数差异极显著($p<0.01$),Pielow 指数差异显著($p<0.05$),而 Simpson 指数差异不显著($p>0.05$);对于自然植被,除了 Margalef 指数在不同坡向间差异极显著外,其余各指数差异均不显著(表 6)。

表 6 刺槐林下及自然植被物种 α 多样性指数

样地类型	坡向	D'	H	J	D
刺槐林	阳坡	2.31±0.76B	1.70±0.52B	0.65±0.18b	0.75±0.14a
	阴坡	3.04±0.59A	2.17±0.32A	0.77±0.09a	0.82±0.07a
自然植被	阳坡	2.56±0.41B	2.06±0.27a	0.78±0.09a	0.82±0.07a
	阴坡	3.42±0.74A	2.23±0.33a	0.74±0.09a	0.83±0.07a

在阳坡,林下植被与自然植被除了 Margalef 指数无显著差异外,其余指数在两种恢复方式下均有显著差异($p < 0.05$),自然恢复下植被的 Shannon-Wiener 指数、Pielow 指数和 Simpson 指数均高于刺槐林;而在阴坡,两种恢复方式下植被的 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielow 指数及 Simpson 指数均无显著差异($p > 0.05$)。

3 结论与讨论

(1) 15 a 左右刺槐林下植被与自然植被在物种组成特征上基本类似。科属组成上均以菊科、豆科、禾本科植物居多,这同前人相关研究结论基本一致^[8,23];生长型多为一年生草本和多年生草本;水分生态型主要以旱生和旱中生植物为主,这也反映出研究区土壤水分条件偏旱,适宜旱中生及早生植物生长,尽管刺槐生长消耗大量水分,但林下旱生物种所占比例相对低于自然植被,旱中性物种数量高于自然植被,说明林下植被相对自然植被旱化趋势较弱,有向中生型转变的趋势;生活型方面地面芽植物是林下和自然植被的重要组成部分,高位芽植物和地下芽植物在群落中处于次要地位,而地上芽植物稀少,这反映出植被具有典型的暖温带地面芽气候特征^[24]。此外,无论林下还是自然恢复坡面,坡向对植被的科、属组成影响较大,位于阴坡的植物科、属、种的数量均明显高于阳坡,但对物种生态学组成影响不大。

(2) 林下植被与自然植被在群落建群种组成上存在一定差异。这是由于在没有外界干扰的条件下,植被恢复是一个自行向该区地带被植被演替的过程,而刺槐作为绝对优势种的出现对林地的光照、水分等资源进行重新分配,进而影响林下植被的发育^[25-26]。刺槐林经过 15 a 生长发育,林木平均高达到 8 m,平均胸径 7.4 cm,林下形成以狗尾草、赖草、牻牛儿苗、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花及长芒草等为建群种的优势群落;自然坡面经过 15 a 恢复,形成以白羊草、达乌里胡枝子、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花、长芒草及草木犀状黄耆等为主的优势群落。可以看出,无论林下还是自然恢复坡面,优势群落基本以一年或多年生草本为主,演替后期的乔灌类物种如狼牙刺、丁香等虽在样方时有出现,且各自具有一定盖度,但分布稀少,相对零散,不是目前主要的植被类型。此外,重要值作为一种综合性指标,在衡量某种植物于群落中相对重要性的同时,也指出这种植物分布的最适生境^[27]。就林下而言,铁杆蒿、早熟禾、败酱等更适分布于阴坡,而牛皮消仅分布于阳坡;就自然恢复坡面而言,中华隐子草、白羊草更多分布于阳坡,败酱、大针茅等更适分

布于阴坡。此外,研究还发现,与自然恢复坡面相比,调查区域内刺槐林下出现白羊草个体的样方数极少,白羊草的数量也很少,这可能是由于白羊草属阳生性植物,自然状态下多分布于阳坡、半阳坡,刺槐林冠的遮阴使林下生境不适于白羊草的生长。

(3) 刺槐林经过 15 a 左右生长发育,平均郁闭度达到 45%,但林下植被盖度普遍不高,平均为 20.5%,刺槐郁闭度与林下植被盖度一定程度上呈负相关关系。自然坡面经过相同时间演替恢复,整体平均盖度明显较高,平均为 33.9%。在阳坡,林下与自然植被平均盖度差距较大,而在阴坡,二者大致相当,这是由于阳坡刺槐郁闭度高,一定程度上限制了林下植被的生长,而阴坡刺槐郁闭度较低且水分条件较好,相对促进了林下层的发育。地上生物量与物种多样性表现出类似的规律,在阳坡自然植被均优于林下植被,而在阴坡相差无几。这表明,经过 15 a 左右时间,阳坡刺槐林下生态修复的自然条件相对更差,与自然植被相比恢复速率缓慢,而阴坡林下植被与自然植被恢复大致处于同一水平,植被群落下层的生态条件和土壤状况相对趋于一致^[28]。本研究认为,在黄土丘陵沟壑区,阳坡刺槐林的植被恢复应考虑到林木生长对林下层的抑制作用,对现存郁闭度过高的林分应及时进行间伐管理以促进下层植被生长,科学合理地进行乔、灌、草的配置,丰富群落层次结构,优化群落生态功能,进而改善植被恢复整体状况。

参考文献:

- [1] 张小燕,杨改河.中国西部地区退耕还林还草研究[M].北京:科学技术出版社,2005.
- [2] 吴钦孝,杨文治.黄土高原植被建设与持续发展[M].北京:科学出版社,1998.
- [3] 张健,刘国彬.黄土丘陵区不同植被恢复模式对沟谷地植物群落生物量和物种多样性的影响[J].自然资源学报,2010,25(2):207-217.
- [4] 张笑培,杨改河,王和洲,等.黄土沟壑区不同植被恢复群落特征及多样性研究[J].西北林学院学报,2011,26(2):22-25.
- [5] 陈洪松,王克林,邵明安.黄土区人工林草植被深层土壤干燥化研究进展[J].林业科学,2005,41(4):155-161.
- [6] 李玉山.黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J].自然资源学报,2001,16(5):427-432.
- [7] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰.黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J].中国水土保持,1999,3(5):11-14.
- [8] 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.

- 模型插值算法及其特点[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3):36-41.
- [15] 杨勤科, 师维娟. 水文地貌关系正确 DEM 的建立方法[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4):1-6.
- [16] Reuter H I, Hengl T, Gessler P, et al. Chapter 4 Preparation of DEMs for Geomorphometric Analysis[J]. Developments in Soil Science, 2009, 33(8):87-120.
- [17] Evans I S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. final report (report 6) on grant da-ero-591-73-g0040[J]. Physica B: condensed Matter, 1979, 210(1):59-66.
- [18] Zevenbergen L W, Thorne C R. Quantitative analysis of land surface topography[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1987, 12(1):47-56.
- [19] Horn B K P. Hill shading and the reflectance map[J]. Proceedings of the IEEE, 1981, 69(1):14-47.
- [20] Jones K H. A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM[J]. Computers and Geosciences, 1998, 24(4):315-323.
- [21] Young M, Evans I S. Statistical Characterization of Altitude Matrices by Computer. Report5. Terrain Analysis; Program Documentation[R]. Durham Univ. (United Kingdom) Dept. of Geography, 1978.
- [22] Pennock D J, Zebarth B J, De Jong E. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada[J]. Geoderma, 1987, 40(3/4):297-315.
- [23] Sharpnack D A, Akin G. An algorithm for computing slope and aspect from elevations[J]. Photogrammetric Engineering, 1969, 35(3):247-248.
- [24] Shary P A, Sharaya L S, Mitusov A V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis[J]. Geoderma, 2002, 107(1):1-32.
- [25] Sobel I, Feldman G. A 3×3 isotropic gradient operator for image processing[R]. Stanford Artificial Project, 1968:271-272.
- [26] Unwin D J. Introductory Spatial Analysis[M]. Taylor & Francis, 1981.
- [27] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Acm Sigmoble Mobile Computing And Communications Review, 2001, 5(1):3-55.
- [28] Woodcock C E, Strahler A H. The factor of scale in remote sensing[J]. Remote sensing of Environment, 1987, 21(3):311-332.
- [29] Webster R, Oliver M A. Geostatistics for environmental scientists[M]. USA: John Wiley & Sons, 2007.
- [30] 牛亮, 杨勤科. DEM 尺度变换中直方图相似度计算与应用[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3):120-125.

~~~~~  
(上接第 18 页)

- [9] 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, 12(1):4-6.
- [10] 何艺玲, 傅懋毅. 人工林林下植被的研究现状[J]. 林业科学研究, 2002, 15(6):727-733.
- [11] 程积民, 万惠娥, 胡相明. 黄土丘陵区植被恢复重建模式与演替过程研究[J]. 草地学报, 2005, 13(4):324-328.
- [12] 王国梁, 刘国彬, 刘芳, 等. 黄土沟壑区植被发育过程中植物群落组成及结构变化[J]. 生态学报, 2003, 23(12):2551-2557.
- [13] 师阳阳, 陈云明, 张光辉, 等. 不同退耕年限撂荒地植物多样性及生物量分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6):36-44.
- [14] 吴旭, 陈云明, 唐亚坤. 黄土丘陵区刺槐和侧柏人工林树干液流特征及其对降水的响应[J]. 植物生态学报, 2015, 39(12):1176-1187.
- [15] 王军, 付博杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8):1173-1178.
- [16] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [17] 温远光, 赖家业, 梁宏温, 等. 大明山退化生态系统群落的外貌特征研究[J]. 广西农业大学学报, 1998, 17(2):154-159.
- [18] Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography[M]. New York: Oxford University Press, 1932.
- [19] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [20] 雷明德. 陕西植被[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [21] 贺山峰, 蒋德明, 李晓兰, 等. 小叶锦鸡儿固沙群落草本种群重要值与生态位的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(10):150-155.
- [22] 谢春平, 王华辰, 陈林, 等. 木林子自然保护区河谷樱花群落特征分析[J]. 南京林业大学学报, 2014(S):81-88.
- [23] 曲红, 王百田, 王棣, 等. 黄土区不同配置人工林物质多样性研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4):843-848.
- [24] 焦菊英, 张振国, 贾燕峰, 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.
- [25] 王军, 付博杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8):1173-1178.
- [26] 李裕元, 邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J]. 生态学报, 2004, 24(2):252-260.
- [27] 邵彬, 邓坤枚. 长白山北坡亚高山云冷杉林的植物种类组成及重要值[J]. 自然资源学报, 2000, 15(1):66-73.
- [28] 裴娟, 艾应伟, 刘浩, 等. 坡面和坡向对遂渝铁路岩石边坡创面人工土壤植被恢复的影响[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2):197-201.