

低效低质人工林优化改造后林下植被多样性研究

魏天兴¹, 陈致富^{2, 1}, 赵健^{3, 1}, 郑江坤^{4, 1}, 朱文德¹

1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 广西柳州市第二中学, 广西 柳州 545001;
3. 辽宁江河水利水电新技术设计研究院, 辽宁 沈阳 110003; 4. 四川农业大学, 四川 雅安 625014

摘要: 采用样地调查法, 对经过人工优化改造的陕西吴起县城周边的低效低质林, 选取了其中的 11 种改造模式 (即人工林林分) 及 1 块天然次生林, 进行了林下植被多样性的研究。结果表明: 12 个样地共调查到 55 种植物, 各样地林下植物种有 11-23 种; 阿尔泰狗娃花 (*altaicus* (Willd.) Novopokr.)、达呼里胡枝子 (*davurica* (Laxm.) Schindl.)、赖草 (*secalinus* (Georgi) Tzvel.)、针茅 (*capillata* Linn.)、毛连蒿 (*vestita* Wall. ex Bess.) 和委陵菜 (*chinensis* Ser.) 是最常见的种, 而赖草、毛连蒿、达呼里胡枝子、华北米蒿 (*giraldui* Pamp.)、茵陈蒿 (*capillaris* Thunb.)、艾蒿 (*lavandulaefolia* DC.) 是改造后人工林林下重要值最大的优势种, 植物偶见种也较多; 不同样地林下植物多样性指数差异显著; 物种多样性指数 Gleason 指数和种间相遇机率 (PIE) 指数变化趋势基本一致, Simpsom 指数、Pielou 均匀度指数变化趋势与前者相反, Shannon-Wiener 指数变化趋势不明显。分析表明: 人工林林下植被多样性较之天然林要差, 其多样性受人工林林分密度、林龄及林分组成等影响。

关键词: 风蚀水蚀交错区; 林分改造; 林下植被; 生物多样性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 05-0800-07

陕北黄土高原风蚀水蚀交错区地处黄土丘陵沟壑区向毛乌素沙地的过渡地带, 自然条件具有明显的过渡性和复杂性。该地区气候变化剧烈, 植被退化比较严重, 加之人为不合理的开垦和放牧, 造成了以水土流失和土地沙化为突出问题的脆弱生态与环境综合景观^[1-3]。吴起县即位于该地区, 属于典型的风蚀水蚀交错区, 该县于 1999 年开始实行退耕还林还草工程。由于该地区自然条件的限制加上当时植树造林、退耕还林在树种选择、配置工作方面的缺陷, 形成了很大一部分低效低质林分, 林分生长状况差, 形成“小老头林”, 密度低, 生产力不高, 不能很好地发挥水土保持功能甚至影响景观。近两年来, 该县在退耕还林工作的基础上对县城周边沟川山岭的低效低质林分进行了优化改造, 科学地选择树种、合理配置, 保证成活率和保有率, 其生态、经济、景观价值有了提高。为此, 我们对优化改造后的林下植被进行了研究。

黄土沟壑区是我国西部的生态脆弱带, 是研究生物多样性的关键地区之一。其不同地貌部位的植物物种分布、植物群落的生物多样性特征、以及水土保持功能与效益评价等方面已有许多研究。群落物种多样性的变化规律以及与环境因子的关系已有一些研究^[4-15]。秦伟等^[13]从植物群落物种多样性变化的角度提出人工修复能加快演替进程, 提高群落的稳定性; 王国梁^[11]等对黄土丘陵沟壑区植被多样性进行了研究, 提出天然灌木林物种多样性最高,

均匀度最大, 人工乔木林和天然草本接近, 人工灌木林的多样性和均匀度最小。邱扬^[14]等对多重尺度上生态退耕的时空格局及其对植被演替时空变异影响做了总结研究。对本区低效林改造后林下植被的多样性研究较少^[15-16]。

本文选取风蚀水蚀交错区相似气候、土壤和立地条件下的经过改造的人工林为研究对象, 并以天然次生林为对照。目的是通过调查林下植物物种组成和结构, 比较不同改造模式下人工林下的植物的物种组成、结构特征及其差异, 为人工林生态功能恢复评价和植被建设提供理论依据。

1 研究区概况

吴起县位于延安市西北部, 东经 107°38'57"—108°32'49", 北纬 36°33'33"—37°24'27", 地处毛乌素沙地南缘农牧过渡地带风蚀水蚀交错区, 属黄土高原梁峁丘陵沟壑区, 县境内有无定河、北洛河两大流域, 白于山、子午岭两大山系。全县面积 3 791.5 km², 海拔高度 1 233~1 809 m。年平均气温 7.8 °C, 无霜期 96~146 d, 年平均降雨量 478.3 mm, 且 64% 以上集中在 7~9 月份, 其它季节多为无效降雨, 旱灾、雹灾、冻灾、风灾等自然灾害频繁, 多年平均年陆面蒸发量为 400~450 mm, 属于典型干旱半干旱地区。几十年的植树造林尤其是全面实施退耕还林 (草) 工程以来, 形成了典型的植被群落类型有人工油松林 (*Pinus tabulaeformis*)、小叶杨林 (*Populus simonii*)、山杏林 (*Prunus*

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (BLJD200909); 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2011BAD38B06)

作者简介: 魏天兴 (1969 年生), 副教授, 研究方向为防护林学。E-mail: weitx@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2012-02-18

armeniaca)、沙棘林(*Hippophae reamnoides*)、柠条林(*Caragana korshinskii*)等。近两年在实施“森林公园”建设工程中改造了部分山杏、小叶杨残次林,形成了油松山杏小叶杨混交林。柴沟、政府沟等地通过人工造林、自然封育等生态恢复治理措施形成了河北杨(*Populus hopeiensis Hu et Chow*)天然次生林。

2 研究方法

2.1 样地设置与样方调查

在全面踏查的基础上,选取了12个生境因子基本一致的样地作为调查对象。其中11块样地代表了11种人工低质低效林改造模式,另一块样地为天然次生林,样地基本情况见表1。在每个样地内均匀地设置4个2 m×2 m的样方,共取样方48个。测定样地内的树高、冠幅、胸径,林龄、林分密度,重点调查林下灌草植物种类、密度、多度、高度,采用自主改进的草本植物盖度测量仪测盖度。

2.2 多样性指数计算方法

多样性指数主要采用物种丰富度指数、Simpson指数、种间相遇机率(PIE)指数、Shannon-Wiener指数和Pielou均匀度指数,并计算每

个样地调查到的物种的重要值。计算公式^[8]如下:

(1) 物种丰富度指数——Gleason指数

$$D_1 = S / \ln A$$

式中, A为单位面积, S为群落中的物种数目;

(2) Simpson指数

$$D_2 = 1 - \sum P_i^2$$

式中, P_i 种的个体数占群落中总个体数的比例, $P_i=N_i/N$ 。

(3) 种间相遇机率(PIE)指数

$$P = N / (N - 1) / \sum N_i (N_i - 1)$$

式中, N_i 为种i的个体数, N为所在群落的所有物种的个体数之和。

(4) Shannon-Wiener指数

$$H' = - \sum (P_i \cdot \ln P_i)$$

(5) Pielou均匀度指数

$$J = H' / \ln S$$

(6) 重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度+相对高度)/4

2.3 数据处理

运用EXCEL软件进行计算,用SPSS16.0对计算

表 1 样地调查基本特征
Tabal 1 Basic information of sample plots

样地编号	林分原有树种组成	地貌部位	坡向	林龄	改造方式	改造后树种组成	新栽树种情况				林下物种总数	重要值前 5 的林下植物
							苗龄	树高	胸径	林分密度(株/公顷)		
政府沟 1	刺槐×沙棘	岭顶		5	补植	刺槐×侧柏×沙棘	3	1.10	1.34	2200	11	茵陈蒿 针茅 达呼里胡枝子 委陵菜 阿尔泰狗娃花
政府沟 2	沙棘	岭顶		8	全部伐除; 翻垦、条状整地	刺槐×白杆×沙棘	3	1.55	1.41	1225	15	赖草 达呼里胡枝子 硬质早熟禾 茵陈蒿 细叶隐子草
							3	0.96	2.46			
							1	0.73	0.68			
政府沟 3	沙棘×山杏(幼树)	梁坡 16°	西	8	补植; 水平阶整地	沙棘×山杏×油松	4	1.74	3.87	2625	18	艾蒿 毛莲蒿 针茅 达呼里胡枝子 草木犀状黄耆
政府沟 4	沙棘	8°	西	8	补植; 条带状整地	沙棘×油松	6	2.54	3.76	800	16	毛莲蒿 针茅 达呼里胡枝子 硬质早熟禾 艾蒿
政府沟 8	山杏×小叶杨	岭坡上部 27°	西南	10	补植; 鱼鳞坑整地	山杏×小叶杨×油松	6	2.23	3.60	1500	16	赖草 达呼里胡枝子 硬质早熟禾 茵陈蒿 甘草
政府沟 9	荒草地	岭坡上部 27°	西南	——	新造林; 鱼鳞坑整地	油松	6	2.04	2.56	538	11	达呼里胡枝子 赖草 阿尔泰狗娃花 甘草 硬质早熟禾
胜利山 1	山杏×小叶杨	岭顶		15	补植; 水平阶整地	山杏×小叶杨×油松	15	5.51	5.39	1400	17	赖草 甘草 针茅 地梢瓜 达呼里胡枝子
胜利山 2	杜梨	岭坡 11°	东南	10-15	补植; 鱼鳞坑整地	杜梨×油松	15	4.41	4.07	1250	19	毛莲蒿 忻州漏芦 短齿韭 针茅 阿尔泰狗娃花
胜利山 4	刺槐	梁顶 4°		5	补植; 条状整地	刺槐×油松	15	4.71	4.37	1400	14	华北米蒿 达呼里胡枝子 赖草 针茅 委陵菜
胜利山 6	山杏疏林	岭坡 19°	西北	20	新造林; 水平阶整地	山杏×油松	15	4.87	5.12	600	19	赖草 毛莲蒿 委陵菜 甘草 达呼里胡枝子
胜利山 7	荒草地	岭坡 19°	西北	——	植幼苗新造林; 鱼鳞坑	油松×元宝枫×沙棘	1	0.54	0.95	635	20	赖草 针茅 委陵菜 达呼里胡枝子 短齿韭
柴沟 6 (CK)	河北杨次生林	岭坡中部 20°	东北	15	——	——	15	9.25	16.88	430	23	毛莲蒿 甘草 麻花头 达呼里胡枝子 广布野豌豆

出的a多样性指数进行相关分析、方差分析。

3 结果分析

3.1 林分改造后林下植物物种组成特征

3.1.1 各样地物种组成分析

经过调查统计，12个样地共有植物种55种，43属，20科，林下植物组成及各物种在各样地的重要值如表2。按照出现的样地数的多少的排序为：阿尔泰狗娃花、达呼里胡枝子、赖草、针茅、毛莲蒿、委陵菜、艾蒿、甘草、细弱隐子草、茵陈蒿、草木犀状黄耆和硬质早熟禾，均在超过半数以上（7个）调查样地出现。

3.1.2 优势种分布分析与区域的差别

从研究样地的林下植物种类多少来看，差别较大。各林分林下植物种有11-23种（见表1），种数最多是河北杨天然次生林群落样地，人工林林下及荒草地的植物种都比天然林少，说明营造人工林对

物种多样性有一定的影响。刺槐×沙棘混交林经过补植侧柏改造后的林分和政府沟荒草地新造油松林是林下植物种最少的群落，只有11种，前者是因为经过改造后林分密度明显增加，对林下植物的生长产生了一定的影响；后者是因为将荒草地变为林地，造林过程中的整地、移植大株苗木等措施对原来稳定草本群落带来了破坏，降低了其物种多样性。与此相反的是胜利山7号样地在荒草地造林过程中，由于移栽的是幼苗，整地开挖对原来草本群落破坏不大，所以其物种数达到了20种。

从表2可以看出，只有少数的植物种（阿尔泰狗娃花和达呼里胡枝子）在所有12个样地中都有出现，除此之外赖草、针茅、毛连蒿和委陵菜出现的样地数目较多，说明上述6种植物是该地区林下植物常见种。而白羊草、刺儿菜、大车前、拂子茅、广布野豌豆等20种草本植物在12个样地中未重复

表 2 各样地林下植物统计及其重要值
Tabal 2 Plant species and their importance value in 12 sample plots

种名	种的拉丁名	属	科	政府沟 1	政府沟 2	政府沟 3	政府沟 4	政府沟 8	政府沟 9	胜利山 1	胜利山 2	胜利山 4	胜利山 6	胜利山 7	柴沟 2-6	物种出现 的样地数
阿尔泰狗娃花	<i>altaicus</i> (Willd.) <i>Novopokr.</i>	狗娃花属	菊科	13.64	5.54	10.00	8.60	5.83	16.34	8.21	8.90	4.80	4.97	5.84	8.34	12
达呼里胡枝子	<i>davurica</i> (Laxm.) <i>Schindl.</i>	胡枝子属	豆科	15.82	20.30	13.12	19.55	23.79	21.00	13.22	4.46	14.24	12.44	10.44	14.42	12
赖草	<i>secalinus</i> (Georgi) <i>Tzvel.</i>	赖草属	禾本科	7.43	21.05	5.97	—	29.49	17.26	16.94	5.76	13.33	16.28	14.01	3.25	11
针茅	<i>capillata</i> Linn.	针茅属	禾本科	16.44	4.89	14.45	19.69	—	6.96	14.18	10.30	12.72	10.21	13.57	7.27	11
毛莲蒿	<i>vestita</i> Wall. ex Bess.	蒿属	菊科	11.79	6.64	15.38	20.84	—	3.73	4.47	27.97	—	13.78	7.56	19.01	10
委陵菜	<i>chinensis</i> Ser.	委陵菜属	蔷薇科	13.86	3.27	4.05	4.50	—	—	5.40	2.54	9.77	12.93	13.18	2.25	10
艾蒿	<i>lavandula</i> <i>efolia</i> DC.	蒿属	菊科	—	5.75	16.56	12.72	—	5.82	—	6.08	—	2.06	3.28	5.43	8
甘草	<i>uralensis</i> Fisch.	甘草属	豆科	—	—	11.76	—	7.77	14.17	16.71	—	3.43	12.47	2.63	17.30	8
细弱隐子草	<i>gracilis</i> Keng	隐子草属	禾本科	5.14	12.69	3.96	4.09	1.94	—	—	2.44	9.64	—	6.52	—	8
茵陈蒿	<i>capillaris</i> Thunb.	蒿属	菊科	18.88	13.10	2.25	4.21	10.94	6.04	—	—	5.34	5.53	—	—	8
草木犀状黄耆	<i>Astragalus</i> <i>melilotoid</i> <i>es</i> Pall.	黄耆属	豆科	—	4.08	12.54	6.52	5.12	—	—	2.57	7.56	—	5.53	—	7
硬质早熟禾	<i>sphondylo</i> <i>des</i> Trin.	早熟禾属	禾本科	10.11	16.59	—	13.58	13.18	12.14	5.27	6.96	—	—	—	—	7
短齿韭	<i>dentigeru</i> <i>m</i> Prokh.	葱属	百合科	—	—	6.22	—	—	—	2.80	10.58	—	4.73	9.17	6.55	6
百里香	<i>mongolicu</i> <i>s</i> Ronn.	百里香属	唇形科	—	—	4.29	1.97	—	—	5.32	—	—	10.13	9.06	—	5

续表 2

种名	种的拉丁名	属	科	政府沟 1	政府沟 2	政府沟 3	政府沟 4	政府沟 8	政府沟 9	胜利山 1	胜利山 2	胜利山 4	胜利山 6	胜利山 7	柴沟 2-6	物种出现的样地数
糙叶黄耆	<i>Astragalus scaberrimus</i> Bunge	黄耆属	豆科	1.90	1.91	—	4.26	—	—	—	—	—	3.81	—	—	4
华北米蒿	<i>giraldii</i> Pamp.	蒿属	菊科	—	—	—	—	—	—	—	—	22.99	2.81	2.37	3.59	4
冷蒿	<i>frigida</i> Willd.	蒿属	菊科	—	—	—	1.79	—	—	—	5.09	—	11.51	5.96	—	4
糙隐子草	<i>squarrosa</i> (Trin.) Keng	隐子草属	禾本科	—	—	—	—	2.64	—	4.17	—	—	8.60	—	—	3
垂果亚麻	<i>Linum nutans</i> Maxim.	亚麻属	亚麻科	—	—	—	—	4.57	—	—	—	—	2.05	—	4.74	3
二裂委陵菜	<i>bifurca</i> Linn.	委陵菜属	蔷薇科	—	1.87	—	—	—	—	—	—	6.66	—	5.86	—	3
芦苇	<i>communis</i> Trin.	芦苇属	禾本科	—	—	8.29	—	—	—	—	—	3.94	—	2.57	—	3
麻花头	<i>centauroides</i> Linn.	麻花头属	菊科	—	—	4.21	—	2.85	—	—	—	—	—	—	14.83	3
蒙山莴苣	<i>tatarica</i> (L.) C. A. Mey.	山莴苣属	菊科	—	—	1.94	—	—	—	2.92	7.93	—	—	—	—	3
沙棘	<i>rhamnoides</i> Linn.	沙棘属	胡颓子科	—	9.09	—	2.72	—	—	—	2.37	—	—	—	—	3
线叶柴胡	<i>angustissimum</i> (Franch.) Kitag.	柴胡属	伞形科	—	—	4.45	—	—	—	2.85	—	—	—	—	4.94	3
大针茅	<i>grandis</i> P. Smirn.	针茅属	禾本科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.16	2.78	2
地梢瓜	<i>Thesiodides</i> (Freyn) K. Schum.	鹅绒藤属	萝藦科	—	—	—	—	2.43	—	13.96	—	—	—	—	—	2
黄花铁线莲	<i>intricata</i> Bunge	铁线莲属	毛茛科	—	—	—	—	2.40	5.21	—	—	—	—	—	—	2
火绒草	<i>leontopodioides</i> (Willd.) Beauv.	火绒草属	菊科	—	—	—	—	—	—	2.65	—	—	—	—	1.77	2
苦苣菜	<i>oleraceus</i> L.	苦苣菜属	菊科	—	—	—	2.24	2.20	—	—	—	—	—	—	—	2
披针叶黄华	<i>lanceolata</i> R. Br.	黄华属	豆科	—	—	—	—	2.42	10.08	—	—	—	—	—	—	2
柘州漏芦	<i>uniflora</i> (Linn.) Dittrich	漏芦属	菊科	—	—	—	—	—	—	7.53	12.18	—	—	—	—	2
细柄茅	<i>Mongholica</i> (Turcz. ex Trin.) Griseb.	细柄茅属	禾本科	—	—	—	2.90	—	—	—	5.13	—	—	—	—	2
星毛委陵菜	<i>acaulis</i> Linn.	委陵菜属	蔷薇科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.41	8.37	—	2
远志	<i>tenuifolia</i> Willd.	远志属	远志科	—	—	—	—	—	—	—	—	5.17	6.19	—	—	2
白羊草	<i>ischcemum</i> (Linn.) Keng	孔颖草属	禾本科	—	—	—	—	—	—	—	—	3.16	—	—	—	1
刺儿菜	<i>setosum</i> (Willd.) MB.	蓟属	菊科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.51	1
大车前	<i>major</i> Linn.	车前属	车前科	—	—	—	—	2.40	—	—	—	—	—	—	—	1
拂子茅	<i>epigeios</i> (Linn.) Roth	拂子茅属	禾本科	4.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
广布野豌豆	<i>cracca</i> Linn.	野豌豆属	豆科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.53	1
黄花草木犀	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Desr.	草木犀属	禾本科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.41	1
棘豆	<i>glabra</i> DC.	棘豆属	豆科	—	—	1.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
角蒿	<i>sinensis</i> Lam.	角蒿属	紫葳科	—	—	—	—	—	—	—	3.40	—	—	—	—	1
牻牛儿苗	<i>erodium stephanianum</i> Willd	牻牛儿苗属	牻牛儿苗科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.95	1
猫眼草	<i>lunulata</i> Bunge	大戟属	大戟科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.55	—	—	1
毛叶鹅观草	<i>amurensis</i> (Drob.) Nevski	鹅观草属	禾本科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.89	1
柠条锦鸡儿	<i>korshinskii</i> kom.	锦鸡儿属	豆科	—	—	—	—	—	—	—	6.91	—	—	—	—	1
茜草	<i>cordifolia</i> Linn.	茜草属	茜草科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.40	1
球序韭	<i>thunbergii</i> G. Don	葱属	百合科	—	—	—	—	—	—	—	2.80	—	—	—	—	1
山杏	<i>sibirica</i> (Linn.) Lam.	杏属	蔷薇科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.97	1
蛴菊	<i>T.lomonossowii</i> (Trautv.) kitag. Et Kitam.	蛴菊属	菊科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.95	1
异叶败酱	<i>Patrinia heterophylla</i> Bunge	败酱属	败酱科	—	—	—	—	—	—	12.83	—	—	—	—	—	1
长芒草	<i>bungeana</i> Trin.	针茅属	禾本科	—	3.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
长柱沙参	<i>stenanthina</i> (Ledeb.) Kitagawa	沙参属	桔梗科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.37	1
猪毛菜	<i>collina</i> Pall.	猪毛菜属	藜科	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.07	—	1

出现，且其中有12种出现在不同人工林林下，占到了60%；有8种出现在河北杨天然次生林林下，占到了40%，占河北杨天然次生林林下所有物种的34.78%。说明该地区低效低质人工林改造后，林下植物偶见种数目多，平均每一种人工林改造模式下有一种偶见种；天然林物种多样性要比人工林更为丰富。不同类型人工林林下植物优势种存在一定差异，赖草、毛连蒿、达呼里胡枝子、华北米蒿、茵

陈蒿、艾蒿是改造后人工林林下第一优势种，其重要值高于同一人工林下其它物种，为陕北风蚀水蚀交错区生态位适宜度最广的草本植物。

3.2 林下植物多样性指数分析

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^[9]。整个研究区域吴起县所调

查的12个样地,林下植物群落在不同的样地的多样性指数变化见图1,图2。在11个人工林样地及1个天然林样地内,物种丰富度指数和种间相遇机率(PIE)指数变化趋势较为一致,波动比较大,其变化趋势和样地内的物种组成是相对应的,物种更多,物种丰富度指数固然就大,种间相遇机率(PIE)指数也大,天然林>人工林。

除去人工整地等对林下植物多样性破坏性行为,对林分因子(林分密度和林龄)与林下植被多样性相关分析,表明林分密度与物种丰富度指数和种间相遇机率(PIE)相关性极显著($P < 0.01$),样地林龄与物种丰富度指数显著相关($P < 0.05$)。一般情况下,密度较小的林分,水分、光照条件较充足,植物发育较好,物种丰富度指数高。密度较高的林分,由于树木较强的蒸腾作用消耗了大量的水

分,使林下水分严重不足,同时较高的郁闭度又使林下光照严重缺乏,从而使草本植物的生长发育受到严重影响,形成了盖度、频度较低的林下植物层^[7]。从图1中可以看出,Shanon-Wiener指数变化趋势不明显,12个样地该指数在1.8163~2.5982之间。

对比图1和图2,物种丰富度指数、PIE指数、Shannon—Wiener指数的变化趋势和Simpson指数、Pielou均匀度指数变化趋势相反,这是因为前三者与后二者的呈负相关造成的。

对12个样地,48个样方进行方差分析(One-Way ANOVA)^[10]得到表3。

各变量(即各多样性指数)输出的 p 值为0~0.004之间,无论临界值为0.05还是0.01, p 均小于临界值,说明样地之间的多样性指数差异是显著的。这是因为在所有样方调查到55种林下植物,其中有

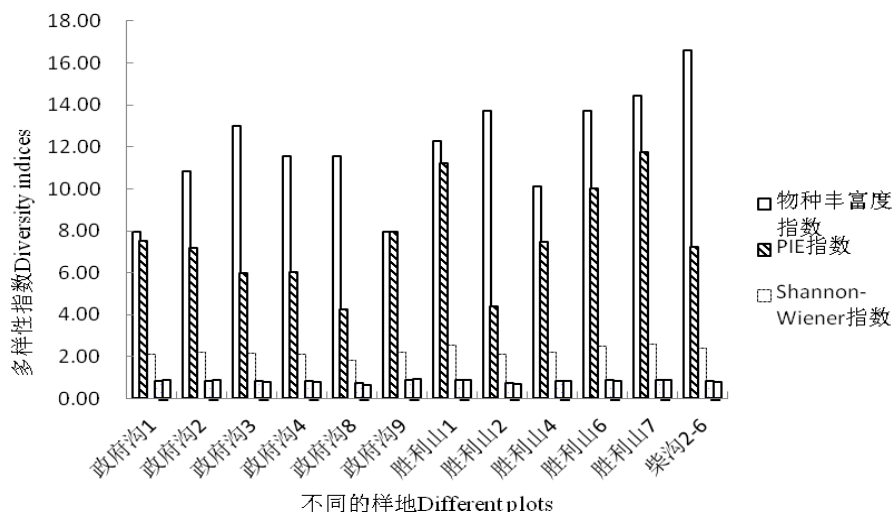


图1 调查样地林下植物部分多样性指数变化趋势

Fig.1 The variation tendency of the some diversity indices

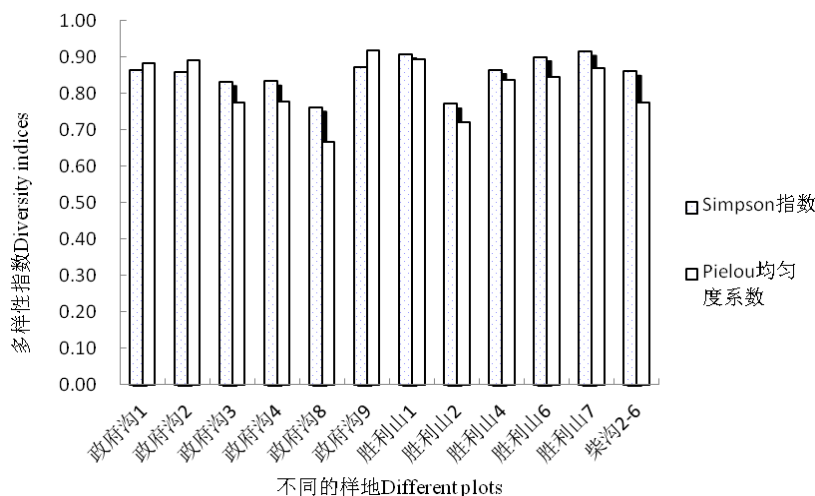


图2 调查样地林下植物部分多样性指数变化趋势

Fig.2 The variation tendency of the some diversity indices

表 3 样方的 5 个多样性指数方差分析
Tabel 3 ANOVA of 5 diversity indecs of 12 plots

变量	组别	平方和	自由度	均方	<i>F</i>	<i>p</i> .
<i>D</i> ₁	组间	300.942	11	27.358	354.334	0.000
	组内	2.780	36	0.077		
	总和	303.722	47			
<i>D</i> ₂	组间	0.102	11	0.009	10.306	0.000
	组内	0.033	36	0.001		
	总和	0.135	47			
<i>P</i>	组间	250.286	11	22.753	383.921	0.000
	组内	2.134	36	0.059		
	总和	252.420	47			
<i>H'</i>	组间	2.102	11	0.191	11.301	0.000
	组内	0.609	36	0.017		
	总和	2.710	47			
<i>J</i>	组间	0.334	11	0.030	3.214	0.004
	组内	0.340	36	0.009		
	总和	0.673	47			

20 种在 12 个样地中的不重复出现，各样地间的差异性

是显而易见的。
研究区人工林林分和天然林林分林下植物多样性指数中物种多样性指数差异极显著($p < 0.01$)，进一步说明天然林林分的物种多样性比人工林物种多样性丰富。但是并不能因此放弃建造人工林，要根据立地条件，选择最佳的人工林建造及现有人工林林分优化改造模式，造林树种密度合理、从而增加物种多样性，保存基因库的多样性，合理营林，实现可持续发展。

4 结论

(1) 研究区经过树种配置模式优化改造后低效低质人工林和天然次生林中，12 块研究样地共调查到林下植物 55 种，各林分有 11—23 种，最多的是天然次生林，各种人工林林下植物种类都比天然次生林少，一定程度说明人工林营造对林下植物多样性有影响。在建造人工林过程中，移植大苗木所需的整地措施带来的原状地表破坏对林下植物多样性有影响。

(2) 阿尔泰狗娃花、达呼里胡枝子赖草、针茅、毛连蒿和委陵菜是陕北风蚀水蚀交错区人工林下最常见的植物种，而赖草、毛连蒿、达呼里胡枝子、华北米蒿、茵陈蒿、艾蒿是改造后人工林林下重要值最大的优势种，植物偶见种也较多，不同林分有 1—3 种草本植物是“特有的”。林下植物多样性与林分郁闭度有关，在根据立地条件改造过程中，补植、新造林木密度越大，林下植物种数越少。也表明在该区营林过程中，定期进行疏伐、修理等措施，保

持较佳的林分密度，能够促进人工林林下植物多样性恢复和植被结构的改善，从而促进人工林生态系统功能的恢复。

(3) 林下植物多样性指数差异中，物种多样性指数 Gleason 指数和种间相遇机率 (PIE) 指数变化趋势基本一致，天然林 > 人工林，研究区 11 种人工林林分中是：荒草地新造 (幼苗) 林地 > 杜梨 × 油松 > 油松 (林分密度中) > 沙棘 × 山杏 × 油松 > 油松 (林分密度大) > 沙棘 × 油松 > 山杏 × 小叶杨 × 油松 > 刺槐 × 白杆 × 沙棘 > 刺槐 × 油松 > 刺槐 × 侧柏 × 沙棘 > 油松 (林分密度小)。Simpom 指数、Pielou 均匀度指数变化趋势与前两者相反，这是因为与前两者负相关。Shannon-Wiener 指数变化趋势不明显。因此，低效低质人工林改造后在营林过程中，要采取定期疏伐、修理等措施，保持较佳的林分密度，能够促进人工林林下植物多样性恢复和植被结构的改善，从而促进人工林生态系统功能的恢复

致谢：承蒙林秦文、大林直、孙慧和盛巧玲等同学在外业调查中相助！

参考文献：

[1] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错区治理的重要性与紧迫性[J]. 中国水土保持, 2000, 11: 11-17.
TANG Ke li, Institute of Soil and Water Conservation Research[J]. The Academy of Chinese Science, 2000, 11: 11-17.

[2] [2]肖波, 赵允格, 邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和导水率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23 (12) 35-39.
Xiao Bo, Zhao Yunge, Shao Ming'an. Effects Of Biological Soil Crust On Saturated Hydraulic Conductivity In Water-Wind Erosion Crisscross Region[J]. Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering, 2007, 23 (12) : 35-39.

[3] 张丽萍, 倪汉斌, 吴希媛. 黄土高原水蚀风蚀交错区不同下垫面土壤水蚀特征实验研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12 (5) 126-127.
ZHANG Liping, NI Hanbin, WU Xiyuan. Soil Water Erosion Processes on Sloping Land with Different Material in the Wind-Water Interaction Zone in the Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12 (5) : 126-127.

[4] 褚建民, 卢琦, 崔向慧, 等. 人工林林下植被多样性研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20 (3) : 9-12.
Chu Jianmin, Lu Qi, Cui Xianghui, et al. Review on Species Diversity of Undergrowth Vegetation In Plantation Ecosystem[J]. WORLD FORESTRY RESEARCH, 2007, 20 (3) : 9-12.

[5] 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.
HE Yiling, FU Maoyi. Review of Studies on Understorey of Plantations[J]. Forest Research, 2002, 15 (6) : 727-733.

[6] 陈民生, 赵京岚, 刘杰, 等. 人工林林下植被研究进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2008, 39(2): 321-325.
CHEN Minsheng, ZHAO Jinglan, LIU Jie, et al. Review on Research of Understorey of Plantation[J]. Journal of Shandong Agricultural

- University, 2008, 39(2): 321-325.
- [7] 胡相明, 程积民, 万惠娥. 黄土丘陵区人工林林下草本层植物的结构特征[J]. 水土保持通报, 2006, 20(5): 41-45.
HU Xiangming, CHENG Jimin, WAN Huie. Structure Characteristics of Herbage Under Five Types of Artificial Forest Plantations in Loess Hilly Region[J]. Bulletin of soil and water conservation, 2006, 20(5): 41-45.
- [8] 叶万辉, 桑卫国, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究Ⅹ. 不同尺度下群落样带的 β 多样性及分形分析[J]. 生态学报, 1997, 17(6): 626-634.
YE Wanhui, SANG Weiguo. STUDY ON PLANT COMMUNITY DIVERSITY IN DON LINGSHAN MOUNTAIN, BEIJING CHINA X. B DIVERSITY AND FRACTAL ANALYSIS ON TRANSECT ON DIFFERENT SCALES[J]. ACTA ECOLOGICA SINICA, 1997, 17(6): 626-634.
- [9] 邢永亮, 余伟莅, 田秀民, 等. 华北落叶松和兴安杨人工林林下植被多样性的研究[J]. 内蒙古林业科技, 2008, 34(1): 8-12.
XING Yon-liang, YU Weili, TIAN Xiu-min, et al. Diversity of Understory Vegetation of *Larix principis-rupprechtii* Mayr and *Populus hsinganica* C.Wang et Tung Plantations[J]. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2008, 34(1): 8-12.
- [10] 赵勇, 樊巍, 叶永忠, 等. 太行山低山丘陵区不同植物群落物种多样性研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 64-71.
Zhao Yong, Fan Wei, Ye Yongzhong, et al. Analysis of species diversity of difference plant communities in hilly region of Taihang mountain[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2007, 5(3): 64-71.
- [11] 王国梁, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J]. 山地学报, 2002, 20(2): 182-187.
WANG Guoliang, LIU Guobin, HOU Xilu. The Research of Species Diversity after the Vegetation Restoration in Loess Hilly Region[J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(2): 182-187.
- [12] 王利兵, 李钢铁, 邢利军, 等. 沙地人工模拟飞播对植物多样性的影响: 以正蓝旗科技支撑项目区为例植被恢复后对草地植物物种多样性的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(2): 1-4.
WANG Libing, LI Gangtie, XING Lijun, YAN Xibin. Influence on Aerial Seed Simulation on Plant Species Diversity: take Zhenglan county science and technology support projects as an example. 2007, 33(2): 1-4.
- [13] 秦伟, 朱清科, 张宇清, 等. 陕北黄土区生态修复过程中植物群落物种多样性变化[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 403-409.
QIN Wei, ZHU Qingke, ZHANG Yuqing, et al. Dynamics of plant community species diversity in the process of ecological rehabilitation in north Shaanxi loess area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(2): 403-409.
- [14] 邱扬, 张英, 韩静, 等. 生态退耕与植被演替的时空格局[J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 2002-2009.
QIU Yang, ZHANG Ying, HAN Jing, et al. Spatiotemporal pattern of ecological cropland conversion and vegetation succession[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(11): 2002-2009.
- [15] 郑江坤, 魏天兴, 朱金兆等. 坡面尺度上地貌对 α 生物多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, (6) 2254-2259.
ZHENG Jiangkun, WEI Tianxing, ZHENG Lukun, et al. Effects of landforms on α biodiversity in slope scale[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, (6) 2254-2259.
- [16] 郑江坤, 魏天兴, 朱金兆, 赵健, 陈致富, 朱文德, 大林直. 黄土丘陵区自然恢复与人工修复流域生态效益对比分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6), 990-1000.
ZHENG Jiangkun, WEI Tianxing, ZHU Jinzhao, et al. Contrast Analysis of Ecological Benefit between Artificial Restoration Areas and Natural Restoration Areas in Loess Hilly Region[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(6), 990-1000.

Understory biodiversity of managed plantation stands from the inefficient and inferior forests

WEI Tianxing¹, CHEN Zhifu^{2,1}, ZHAO Jian^{3,1}, ZHENG Jiangkun^{4,1}, ZHU Wende¹

1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. The Second Middle School of Liuzhou City, Liuzhou 545001, China;

3. New Technology Institute for River and Water Conservancy and Hydropower Design of Liaoning Province, Shenyang 110003, China

4. Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

Abstract: The understory biodiversity was studied using ground plot investigation for eleven managed plantation stands from inefficient and inferior forest and one natural secondary stand (control). As a result, there were 55 species on all 12 plots, ranging from 11 to 23 species. The most commonly happened species were *Altaicus* (Willd.) *Novopokr.*, *Davurica* (Laxm.) *Schindl.*, *Capillata* Linn., *Vestita* Wall. ex Bess., *Chinensis* Ser. The dominant species were *Secalinus* (Georgi) Tzvel., *Vestita* Wall. ex Bess., *Davurica* (Laxm.) *Schindl.*, *Giraldii* Pamp., *Capillaris* Thunb., *Lavandulaefolia* DC. There were significant difference in biodiversity between plots. The variation tendency of Gleason index was consistent with that of PIE index. Simpson index and Pielou evenness index was opposite to Gleason and PIE. There was no apparent variation in Shannon—Wiener Index. It was suggested that the biodiversity of plantation stands was influenced by stand age, density, and composition. The biodiversity of plantation stand was poorer than natural forest.

Key words: biodiversity; plantation stand; understory; water-wind erosion region