

退化砂石山地人工林林下植物群落特征与物种多样性

邵水仙¹, 李红丽^{2,3}, 董智^{2,3}, 王合云¹, 张晓晓¹

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 国家林业局泰山森林生态站,
山东 泰安 271018; 3. 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘 要:合适的造林树种能够提高生态系统恢复功能。为研究何种造林树种对退化砂石山地地区植被恢复较好,以山东省退化山地生态造林区为研究区,调查分析了生态造林对草本层植物多样性的影响。结果表明:(1) 5 种造林树种林分下共有草本植物 64 种,刺槐林下草本植物最少,且优势种明显;(2) 5 种人工林下物种多样性指数和生物量的变化趋势均为:坡下部>坡中部>坡上部,经济林高于用材林,混交林高于纯林,针叶林高于阔叶林;(3) 5 种人工林下物种丰富度、多样性指数以及均匀度指数均随海拔的升高而减小;(4) 群落多样性与草本植物地上生物量具有明显的相关关系,且随着多样性的增加,生物量的增幅呈现先增加后减小的趋势。

关键词:人工林; 植物多样性; 丰富度; 生物量

中图分类号:S718.5; X176

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0146-06

Community Characteristics and Species Diversities of Understory of Plantation Forests on Degraded Sandstone Mountainous Regions

SHAO Shuixian¹, LI Hongli^{2,3}, DONG Zhi^{2,3}, WANG Heyun¹, ZHANG Xiaoxiao¹

(1. College of Forestry, Shandong Agriculture University, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. Taishan Forestry Ecological Station, State Forestry Administration, Tai'an, Shandong 271018, China;

3. Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration in Shandong Province, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: Appropriate afforestation tree species could improve the restoration functions of the ecosystem. In order to figure out which tree species would do better to the vegetation restoration in degradation sandstone mountainous region, we took the ecological afforestation area that was located in the central south of Shandong as study area, investigated and analyzed the impact of ecological afforestation on the diversities of herbaceous vegetation. Results showed that: (1) the number of herbaceous kinds under five afforestation tree species were 64, the locust forest had the minimum kinds and the dominant species had significant advantage; (2) the trend of diversity indexes and biomass of species under five plantation showed that: lower slope>middle slope>upper slope, diversity indexes and biomass of species in economic forest were higher than timber forest, higher in mixed forest than pure forest, and higher in coniferous forest than broadleaf forest; (3) the species abundance, diversity indexes and homogeneity indexes decreased with the increase of altitude; (4) the correlation between community diversities and above-ground biomass of herbaceous vegetation was significant, and the increase amplitude showed a trend that increased first and then decreased with the increase of biomass.

Keywords: plantation; plant diversity; richness; biomass

森林是最大的陆地生态系统,在全球环境保护方面有着特殊的地位,发挥着不可替代的作用^[1-2],但受过度垦殖、樵采、放牧及开发建设等因素的影响,造成山丘区植被退化、生物多样性丧失和水土流失加剧等问题,形成大量的退化生态系统^[3-4]。恢复和重建退化森林生态

系统是改善生态环境问题的根本所在^[5]。近年来,随着社会的发展与进步,人们越来越重视退化山地的植被恢复工作,对林木栽植及其适宜性研究显得更为重要。目前,人工林建设是退化生态系统植被恢复采取的主要方式,也是生态系统恢复的首要环节。已有的研究表明,

收稿日期:2014-09-16

修回日期:2014-11-03

资助项目:世界银行贷款山东生态造林项目“山东生态造林项目生态效益监测与评估”[SEAP-JC-(2)]

第一作者:邵水仙(1989—),女,山东禹城人,硕士研究生,研究方向为林业生态工程。E-mail:Shao_shuixian@163.com

通信作者:李红丽(1972—),女,内蒙古巴林左旗人,博士,副教授,主要从事荒漠化防治与植被恢复研究。E-mail:hlh@sdau.edu.cn

人工植被在增加生态系统稳定性方面具有明显作用^[6-7],人工林营造能够有效促进自然植被恢复,改善生态环境,增加林下植被的物种多样性^[8-11]。

山东省退化砂石山地生态脆弱,水土流失严重。历史上由于长期过度开发(农业种植、放牧和采樵),导致原始植被破坏殆尽,表层土壤侵蚀严重,土层浅薄,土壤肥力和保水保肥能力低下。退化砂石山地不仅植被覆盖率低,而且林木生长缓慢,植物种类稀少,植被或森林健康状况较差,植物群落结构单一,生态系统脆弱,水土流失严重,严重地制约了山区经济和社会的协调发展。开展山东省退化砂石山地的生态治理工作迫在眉睫。为恢复与重建区域植被与生态系统,缓减区域生态问题,“世界银行贷款山东生态造林项目(SEAP)”在该区进行了人工防护林的营造。目前项目已实施 4 a,为了评价人工造林后植被的恢复效果,开展植被恢复后的物种多样性研究显得尤为重要。鉴于此,本文以干旱瘠薄的退化砂石山地为研究对象,对不同造林模式下林下草本植物的多样性、生物量等进行调查,对深入了解群落的组成、演替动态和群落的稳定性具有重要意义,也可为造林项目的中期评价及后期评价提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于鲁中南低山丘陵区的新泰市龙廷镇(117°52′14.3″E, 35°56′21.5″N),海拔 60~526 m。研究区属暖温带亚湿润大陆性季风气候区,多年平均气温 13.2℃,≥10℃ 积温 4 275℃;年平均日照时数 2 327.3 h,无霜期 195 d;多年平均降水量 715.2 mm。研究区为砂石山低山丘陵区,土壤为棕土,土层厚度 10—20 cm,砂壤质。造林前为裸露荒坡,植被盖度在 20%~30%,在该区营造了 4 种造林模型:黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)纯林、黑松与臭椿[*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle]、刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)、麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.)等针阔混交林;麻栎与刺槐、黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)、五角枫(*Acer mono* Maxim.)等阔阔混交林;核桃(*Juglans regia* Linn.)、板栗(*Castanea mollissima* Bl.)等经济树种;刺槐纯林。样地编号如表 1 所示。各人工林均于 2010 年春季营造,苗木均为 2 年生 I 级苗,2013 年调查时各植物种的平均高度为 1.3~2.1 m。研究区人工造林后采取了封育措施,加强了人工管护,人为干扰较少,2011 年进行了人工松土、修剪等抚育管理。

表 1 研究区样地概况

林分类型	样地编号	坡位	林龄/a	平均树高/m	坡度/(°)	郁闭度	海拔/m
黑松+臭椿	1—1	上部	3.5	2.3	22	0.80	380~520
	1—2	中部	3.5	2.3	21	0.80	240~380
	1—3	下部	3.5	2.3	21	0.83	110~240
黑松	2—1	上部	3.5	2.5	22	0.65	360~480
	2—2	中部	3.5	2.5	22	0.70	240~380
	2—3	下部	3.5	2.5	22	0.72	110~240
刺槐	3—1	上部	3.5	2.9	22	0.75	360~480
	3—2	中部	3.5	3	22	0.80	210~360
	3—3	下部	3.5	3	20	0.80	80~210
板栗+黑松	4—1	上部	3.5	2.2	21	0.72	360~480
	4—2	中部	3.5	2.2	20	0.75	210~360
	4—3	下部	3.5	2.2	20	0.80	80~210
核桃	5—1	上部	3.5	2	20	0.62	260~380
	5—2	中部	3.5	2	20	0.65	150~260
	5—3	下部	3.5	2	19	0.70	60~150

2 研究方法

2.1 样地调查

考虑到人工造林前原地表为裸露荒山,山上没有乔木树种,仅有草本和零星的灌木树种存在,人工造林后乔灌木树种的种类增长与物种多样性变化均是人工造林所致,因而本研究仅对林下草本植物的多样性进行调查。

样地的设置采用典型取样法,即自海拔 60 m (近于试验区人工林分布的下限)至山顶 500 m,每个造林树种下分坡上部(X₁)、坡中部(X₂)、坡下部(X₃)3 层取样,每

层设置 20 m×20 m 的固定样地 3 个,在样地内沿两条对角线分别设置 1 m×1 m 的草本调查小样方 10 个,每类造林模型共调查草本小样方 90 个。记录项目主要包括:样方中每个植物种的数量、高度、盖度及每个样方的总盖度;每个样方的地上生物量(鲜重);生境因子如海拔、坡向、坡度、坡位、土壤类型等。

2.2 计算方法

计算出每一样方各物种的重要值,通过样方合并分别统计出各物种重要值的平均值,计算公式如下:

IV=RD+RF+RP (1)

RD=D/∑D×100% (2)

$$RF=F/\sum F\times 100\% \tag{3}$$

$$RP=P/\sum P\times 100\% \tag{4}$$

式中:IV——草本植物的物种重要值;RD——相对密度; D ——某个种的密度; $\sum D$ ——样方内所有种的密度之和;RF——相对盖度; F ——某个种的盖度; $\sum F$ ——样方内所有种的盖度之和;RP——相对高度; P ——某个种的平均高度; $\sum P$ ——样方内所有种的平均高度之和。

采用 R 语言中计算生物多样性的 spaa 和 vegan 程序包,计算群落多样性的测度选用 Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 多样性指数(D)、Margalef 均匀度指数(J_{si})和 Pilou 均匀度指数(J_{sw}) 4 类多样性指数,计算公式如下:

$$H=-\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \tag{5}$$

$$D=1-\sum_{i=1}^n P_i^2 \tag{6}$$

$$J_{si}=(S-1)/\ln(N) \tag{7}$$

$$J_{sw}=(-\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i)/\ln S \tag{8}$$

式中: P_i ——第 i 个物种的相对重要值, $P_i=N_i/N$; N ——所有种的个体总数; N_i ——第 i 个种的个体数; S ——群落中的总物种数。

单因素方差分析均通过 SPSS 17.0 软件实现,图形采用 Origin,Excel 软件制作。

3 结果与分析

3.1 5 种人工林下草本植物的重要值

重要值是衡量不同物种在群落中优势地位的指标,是确定群落中优势种的重要依据。分别对试验区 5 种人工林下的物种重要值加以统计,结果如表 2 所示。

表 2 5 种人工林下主要草本植物的重要值

造林树种	序号	植物种	坡下部	坡中部	坡上部
黑松 臭椿 混交林	1	黄背草[<i>Themeda japonica</i> (Willd.) Tanaka]	0.67±0.11	0.61±0.06	0.27±0.00
	2	狗尾草[<i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.]	—	0.21±0.00	1.31±0.39
	3	百里香(<i>Thymus mongolicus</i> Ronn.)	0.45±0.01	0.28±0.00	0.36±0.03
	4	鬼针草(<i>Bidens pilosa</i> L.)	0.58±0.23	0.06±0.02	0.19±0.02
	5	结缕草(<i>Zoysia japonica</i> Steud.)	0.22±0.00	0.49±0.16	—
	6	石竹(<i>Dianthus chinensis</i> L.)	0.12±0.01	0.12±0.07	0.06±0.00
	7	瓦松[<i>Orostachy fimbriatus</i> (Turcz.) Berger]	0.21±0.17	0.07±0	—
	8	长蕊石头花(<i>Gypsophila oldhamiana</i> Miq.)	0.15±0.04	0.11±0	—
黑松林	1	狼尾草[<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng]	0.73±0.14	1.03±0.40	1.02±0.36
	2	羊胡子草(<i>Carex duriuscula</i> C. A. May.)	0.29±0.20	0.55±0.23	0.59±0.47
	3	艾蒿(<i>Artemisia argyi</i> Levl. et Van.)	0.16±0.10	0.21±0.07	0.35±0.08
	4	地丁(<i>Corydalis bungeana</i> Turcz.)	0.34±0.06	0.07±0.00	0.31±0.12
	5	唐松草(<i>Thalictrum aquilegifolium</i> Linn. var. <i>sibiricum</i> Regel et Tiling)	0.12±0.05	0.20±0.06	0.28±0.21
	6	青蒿(<i>Artemisia carvifolia</i> Buch.)	0.13±0.04	0.34±0.21	—
	7	雀麦(<i>Bromus japonicus</i> Thunb. ex Murr.)	0.36±0.26	—	0.06±0.00
	8	苣荬菜(<i>Sonchus arvensis</i> L.)	0.24±0.03	—	—
刺槐 纯林	1	结缕草	1.02±0.26	1.56±0.30	1.07±0.53
	2	黄背草	0.58±0.25	0.15±0.00	0.31±0.35
	3	米蒿(<i>Artemisia dalai-lamae</i> Krasch.)	0.12±0.02	0.20±0.20	0.34±0.06
	4	艾蒿	0.31±0.04	0.22±0.02	0.12±0.02
	5	百里香	0.12±0.01	0.25±0.10	—
	6	羊胡子草	0.07±0.08	—	0.31±0.00
	7	石竹	0.09±0.02	0.06±0.00	0.06±0.00
板栗 黑松 混交林	1	结缕草	0.53±0.11	0.60±0.17	0.82±0.22
	2	羊胡子草	0.18±0.00	0.59±0.20	0.38±0.13
	3	狗尾草	0.27±0.20	0.42±0.03	—
	4	地丁	0.24±0.17	0.20±0.02	0.15±0.11
	5	艾蒿	0.11±0.00	0.09±0.00	0.18±0.10
	6	瓦松	0.06±0.03	—	0.28±0.07
	7	苣荬菜	0.05±0.03	—	0.28±0.12
	8	藜(<i>Chenopodium album</i> L.)	0.09±0.01	0.21±0.17	—
核桃 纯林	9	小白酒[<i>Conyza Canadensis</i> (L.) Cronq.]	0.16±0.20	0.17±0.17	—
	1	黄背草	0.71±0.31	0.81±0.24	0.70±0.34
	2	卷柏[<i>Selaginella tamariscina</i> (P. Beauv.) Spring]	0.18±0.04	0.76±0.03	0.63±0.06
	3	荩草[<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino]	0.44±0.08	0.32±0.04	0.44±0.20
	4	中华葎草[<i>Humulus scandens</i> (Lour.) Merr.]	—	0.44±0.17	0.54±0.18
	5	狗尾草	0.37±0.21	0.17±0.02	0.10±0.00
	6	百里香	0.20±0.00	0.14±0.05	0.06±0.03
	7	艾蒿	0.10±0.00	0.09±0.00	0.07±0.06
	8	小白酒	0.16±0.00	—	0.04±0.01

在 5 种人工林中共记录了林下草本植物种类 64 种。板栗黑松混交林和黑松臭椿混交林的林下植物种类较丰富,分别为 27,24 种;刺槐林的林下植物种类最少,仅 19 种;黑松纯林和核桃纯林分别为 22,21 种。5 种人工林下均具有明显的优势种和次优势种,黄背草、狗尾草在 3 种以上的人工林中有较高的重要值,结缕草、羊胡子草等在两种人工林中有较高的重要值。呈现多年生草本与一年生草本伴生,且多年生草本优势较明显。从草本植物生长习性来看,主要有 3 大类群:蕨类植物、禾草和莎草类植物,其中禾本科植物和蕨类植物的比例稍高。同一造林树种的不同坡位优势种基本相同。刺槐纯林的优势种比其他 4 种优势更加明显,这是由于种植的刺槐容易造成土壤干层,对当地的土壤水分以及草本植物生长都有一定的影响,阻碍了其他伴生植物种的生长。

3.2 5 种人工林下植物的多样性

(1) 不同坡位对人工林下植物多样性的影响。除黑松臭椿混交林和核桃纯林外,每个造林树种的多样性指数的变化趋势均为:坡下部>坡中部>坡上部。

(2) 每个坡位的多样性指数变化趋势。坡上部为:板栗黑松混交林>核桃纯林>黑松臭椿混交林>黑松纯林>刺槐纯林;坡中部为:板栗黑松混交林>黑松臭椿混交林>黑松纯林>刺槐纯林>核桃纯林;坡下部为:板栗黑松混交林>核桃纯林>黑松纯林>黑松臭椿混交林>刺槐纯林。

(3) 均匀度和物种多样性呈现基本相同的变化趋势(表 3)。在低海拔地区,由于土壤和水分条件较好,种类组成丰富,多样性和均匀度指数均较高;而在海拔较高的坡上部,生境比较严酷,致使群落的多样性指数较低。每个造林树种的多样性指数和均匀度指数基本呈现出经济林高于用材林,混交林高于纯林,针叶林高于阔叶林。可能是因为在营造经济林时立地条件较好,处于低海拔和土壤肥力较好地区,同时也有较好的水肥管理。另外,针叶林在营造初期因透光性好等原因可能较阔叶林种多样性高,但是随着郁闭度增加和更加不易腐解的针叶枯落物的增加,草本层更新会较为困难,其物种多样性会下降。用材林一般水分消耗较大,对林下草本层生长不利。

表 3 退化砂石山区 5 种人工林下植被物种多样性和均匀度

林分类型	坡位	Shannon-Wiener (H')	Simpson (D)	J_{si}	J_{sw}
黑松+臭椿	1—1	1.988fg	0.767cd	0.826e	0.753i
	1—2	2.347bcd	0.876b	0.935ab	0.846cde
	1—3	2.330bcde	0.871b	0.929abc	0.840de
黑松	2—1	1.957fg	0.809bc	0.882d	0.788fgh
	2—2	2.053efg	0.818bc	0.887cd	0.800fg
	2—3	2.464bc	0.886b	0.942ab	0.870bcd
	3—1	1.828g	0.705d	0.759f	0.693j
刺槐	3—2	2.030fg	0.816bc	0.890cd	0.817ef
	3—3	2.160cdef	0.821bc	0.873d	0.762hi
	4—1	2.372bcd	0.873b	0.936ab	0.876bc
板栗+黑松	4—2	2.400bcd	0.883b	0.946a	0.886b
	4—3	2.747a	0.922a	0.974a	0.933a
	5—1	2.131defg	0.842bc	0.902bcd	0.787fgh
核桃	5—2	2.002fg	0.822bc	0.891cd	0.781ghi
	5—3	2.466b	0.885b	0.937ab	0.853cde

注:同列内不同字母分别表示数据差异性显著($p<0.05$)。

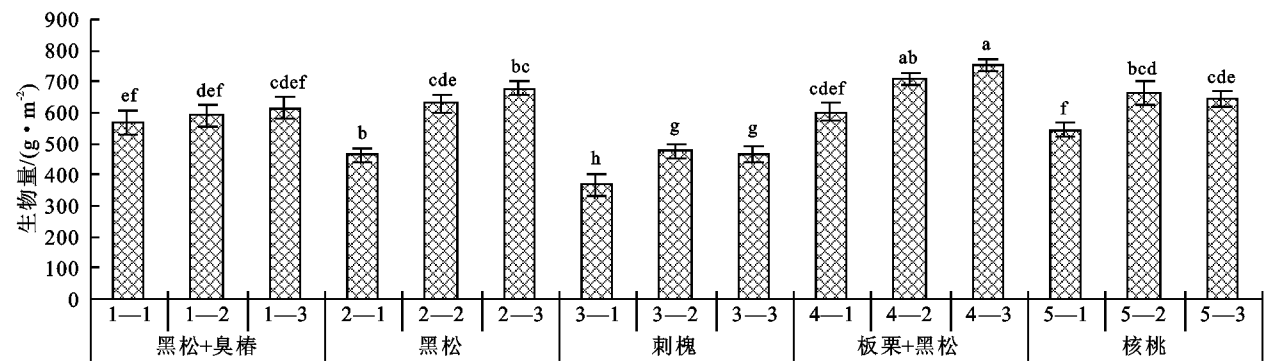
3.3 五种人工林下植物的生物量

板栗黑松混交林坡下部林下地被物总生物量最高(图 1),其次为板栗黑松混交林坡中部,两者没有显著差异,但与其他 13 个群落均有显著差异。

就每个造林树种而言,黑松臭椿混交林的生物量变化趋势为:坡上部<坡中部<坡下部,黑松纯林和板栗黑松混交林也呈现相同的趋势,即随海拔的升高,生物量减小;刺槐纯林和核桃林的生物量变化趋势为:坡上部<坡下部<坡中部,且坡上部与坡下部和中部均有显著差异,坡中部和坡下部差异不明显,从林分调查结果(表 1)可以看出,刺槐林和核桃纯林

坡中下部郁闭度较高,林下植被特别是阳性植物的生长受到阻碍,造成坡中部林下地被物生物量小于坡上部。而坡下部较坡中上部具有更好的水热条件,有利于草本植物的生长发育,生物量较大。

5 种人工林林下地被物生物量的变化规律为:板栗黑松混交林>核桃纯林>黑松臭椿混交林>黑松林>刺槐纯林,呈现出经济林高于用材林,混交林高于纯林,针叶林高于阔叶林。表明经济林比用材林更有利于草本层植物的生长和发育,针叶林比阔叶林更有利于草本层植物的生长和发育。林下地被物生物量各组分的分布中,经济用材混交林的生物量最大。



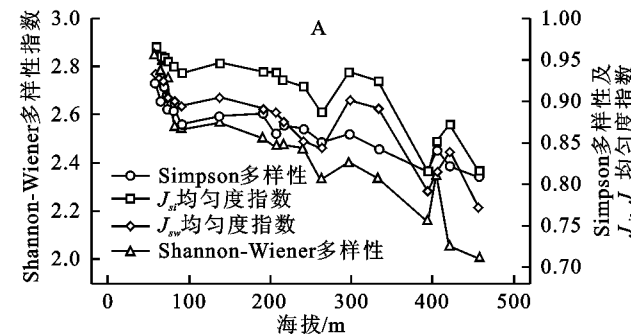
注:不同字母分别代表数据差异性显著($p<0.05$)。

图 1 5 种人工林下植被生物量

3.4 群落多样性、生物量与海拔的相关关系

海拔的变化是决定研究区群落差异的主导因子,从而制约着本区植被群落的空间分布格局。本文以板栗黑松混交林为例,探讨草本植物群落多样性与生物量、海拔之间的相关关系。

研究区人工林海拔从 60 m 左右一直到山顶 500 m 呈连续分布。其物种多样性指数、物种丰富度和均匀度指数沿着海拔梯度的变化如图 2 所示。物种丰富



度、生物量、Simpson 指数和 Shannon-Weiner 指数以及 J_{si} 和 J_{sw} 均匀度指数几乎呈相同的变化趋势,即自低海拔至高海拔物种丰富度和物种多样性近于单调下降。

物种丰富度由 17 降至 9。同时,由表 4 可知, Simpson 指数和 Shannon-Weiner 指数的相关性均大于 0.93,而 J_{si} 、 J_{sw} 均匀度指数与海拔的相关性均在 0.86 左右。

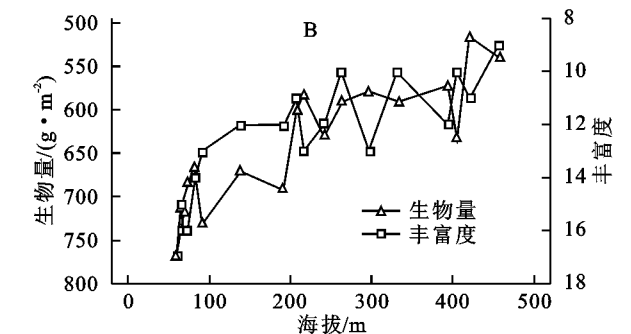


图 2 板栗黑松混交林林下植被多样性随海拔的变化

3.5 群落多样性与生物量的关系

群落多样性与生态系统生产力之间的关系是当今生物多样性研究领域的重点之一。国内外学者的研究表明,物种多样性与生产力关系有多种模式。本文以 Shannon-wiener 多样性指数和物种丰富度为例,研究板栗黑松混交林林下植被多样性与生物量的关系。

表 4 板栗黑松混交林林下植被多样性随海拔的变化的回归方程

指数	回归方程	R
Shannon-Wiener 指数	$y=-0.0002x+0.9163$	0.9352
Simpson 指数	$y=-0.0017x+2.834$	0.9340
J_{si} 指数	$y=0.9828e^{-3E-04x}$	0.8612
J_{sw} 指数	$y=-0.0003x+0.9406$	0.8635
生物量	$y=-0.4461x+736.53$	0.8637
丰富度	$y=-0.0138x+15.614$	0.8179

种多样性指数和丰富度指数的增加,群落生物量在初期缓慢增加,之后迅速增加,当物种多样性上升到一定程度时,生物量的增加明显减少。以物种丰富度为例,当物种为 10 种时,群落的总生物量为 590 g/m²;当物种为 12 种时,群落的总生物量为 630 g/m²,增幅为 40 g/m²;当物种为 14 种时,群落的总生物量为 665 g/m²,增幅只有 35 g/m²,增幅下降。本研究结果说明,板栗黑松混交人工林的林下物种多样性适度发育,对群落总生物量的增加有着十分重要的意义,同时也支持了物种多样性对系统生物量存在正效应的假说。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 刺槐林下草本植物优势种最为集中,其次为黑松臭椿混交林>核桃纯林>板栗黑松混交林>黑松纯林。相同造林树种的不同坡位,草本植物的优势种基本相同。

从图 3 可以看出,板栗黑松混交人工林随着多样性指数和物种丰富度的提高,群落生物量均呈对数型曲线增长。由此可知,随着板栗黑松混交人工林物

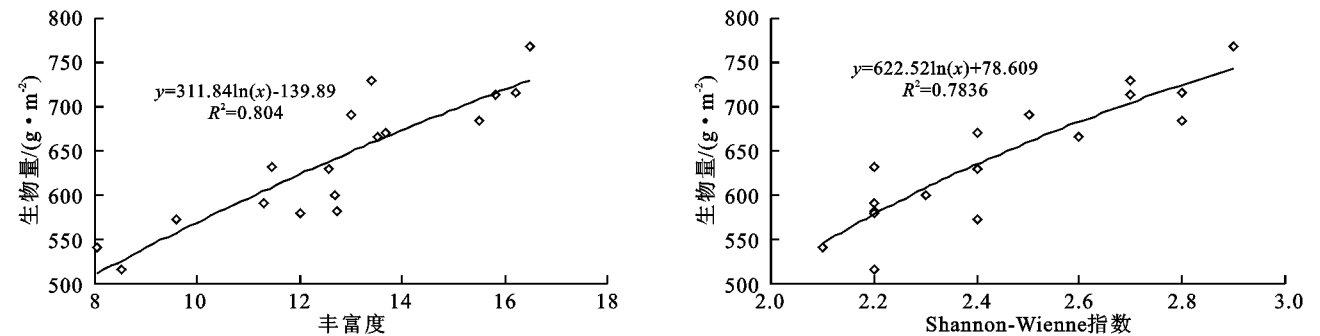


图 3 丰富度和植物多样与生物量的关系

(2) 无论是物种丰富度,多样性指数(Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数),还是用均匀度指数测度退化砂石山地人工林草本层植物群落的多样性,都反映出基本一致的趋势。其多样性顺序为:坡下部>坡中部>坡上部。

(3) 不同海拔高度形成了不同的生境,继而发育着不同的植物群落。群落多样性指数也表现出随海拔高度变化而分异的现象。人工林下植物多样性随海拔的变化规律是:物种丰富度、物种多样性指数和均匀度指数均随海拔升高而下降。

(4) 群落多样性与草本植物地上生物量具有明显的相关关系,且随着多样性的增加,生物量的增幅呈现先增加后减小的趋势。

4.2 讨论

4.2.1 营造人工林是森林植被恢复的重要手段 如果没有人为干扰,退化山地从草坡,经灌丛自然演替到比较稳定的次生林,大约需要 30~40 a 时间,但在植被和土壤退化比较严重的地区,自然恢复森林所需要的时间会更长。利用人工造林的手段,在草坡或灌丛上直接栽种速生树种,大约 10~15 a 的时间就可成林。因此,在土地严重退化的地区,人工造林是一种积极和必要的手段。

人工林可以通过两种途径促进自然演替:一是通过改善退化土地的自然条件,如人工林的林冠可减低光照强度、减少水分蒸发和降低温差,为其他本土植物提供适宜的竞争条件;二是人工林的林冠可招引其他野生动物的栖息,通过野生动物的活动,传播野生植物种子,从而加速自然演替。

4.2.2 影响退化砂石山地人工林植物多样性的原因 物种多样性是多个生态过程的结果,它除了受海拔、土壤、坡位、坡向、坡度、地形等环境因子影响外,也与立地条件、林分郁闭度、林龄和群落结构等密切相关^[12-13]。

由本研究选取的 5 种造林树种多样性指数的变化趋势可知,在退化砂石山地,人工栽植黑松等针叶林比栽植刺槐等阔叶树种对植被恢复效果更好,主要原因有

以下两个方面:一方面是这些针叶林对退化砂石山区干燥的气候环境和贫瘠的土壤条件都要有更强的适应性;另一方面是本研究区种植的刺槐容易造成土壤干层,对当地的土壤水分以及草本植物生长都有一定的影响,并不是本研究区最佳的造林树种。这与谷长磊等^[14]的研究结果相同。本文通过对混交林和纯林的研究发现,针阔混交林下的草本植物多样性大于针叶纯林,这是由于阔叶林的良好吸水保肥性与针叶林较强的土壤改良作用相结合,从而更好地保持了水土,促进了林下草本植物的生长,这与李清湖等^[8]的结果相似。

通过研究发现,板栗黑松混交林林下植被丰富度、多样性以及地上生物量均大于黑松臭椿混交林,调查发现,人工造林板栗的成活率要高于臭椿,这是由臭椿不耐严寒的生活习性决定的。板栗作为壳斗科植物的代表,具有很好的环境适应性和水土保持功能,近年来壳斗科植物资源的研究也较多,而同样作为经济树种的核桃,对退化砂石山地的恢复效果不如板栗,这是因为核桃苗木生长较缓慢,种实通常大而富含淀粉,在自然生境中具有种子寿命短、易受啮齿动物掠食和自然传播困难等缺点,导致种源难以收集,目前仍缺乏足够的优良种源和栽培研究技术。

总之,为了加速人工林的形成,改良退化砂石山地,我们可以采用经济树种和针叶树种混交套种的方式进行人工林栽植,从而提高人工林生态系统的生态效益和经济效益,实现生态和经济的双赢。

参考文献:

[1] 张建国.论现代林业[J].世界林业研究,1997,10(4):1-9.
[2] 刘艳,耿养会.重庆市优良乡土树种综合评价与选择研究[J].四川林业科技,2012,33(5):17-23.
[3] 董智,刘霞,姚孝友,等.不同生态退化类型的水土保持生态修复对策[J].中国水土保持科学,2008,6(5):84-88.
[4] 彭少麟.热带亚热带恢复生态学研究与实践[M].北京:科学出版社,2003.
[5] 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等.中国生态退化的主要类型、特征及分布[J].生态学报,2000,20(1):13-19.

大,而且各市在这两个方面的水平差距较大。而土地面积、工业规模与技术水平以及经济增长方式又是影响这两方面的主要因素。面积大对提高城市绿色水平贡献大,相反,工业规模大,尤其是能源工业比重高的城市,其绿色水平一般明显受到影响,只有西安受此影响小,虽然西安工业规模很大,面积中等,但在节能减排和污染物处理方面做得好,所以绿色发展水平表现为较低而不是很低。环境健康与基础设施绿色水平、环境治理绿色水平这两个指标权重小,各市得分差距也小,所以对综合水平影响小。

(3) 陕西省各市绿色发展综合水平与经济社会发展水平之间存在一定的背离现象。整体上看,陕南地区城市绿色发展综合水平高,而陕南地区的经济社会水平在陕西省却最落后;陕北地区南部的延安绿色发展综合水平高,北部的榆林绿色发展综合水平低,但这两市的经济社会水平却正好与此相反;关中地区绿色发展综合水平表现为从西向东,水平由高到中等再到低逐渐降低的特点,但从整体上看,关中地区城市绿色发展综合水平低,而关中地区经济社会水平却在全省最高。这种绿色水平与经济社会水平的背离,说明陕西省各市在追求经济增长速度时对环境保护重视不够,揭示出陕西省经济增长模式依然存在着一定的落后性。

(4) 根据陕西省各市绿色发展综合水平差异特点,今后要从空间上合理规划和调整陕西的工业分布格局,要加大对落后地区的经济投入,在自然环境条件较差的地区要重点发展绿色产业,要从优化产业结构、提高企业技术水平、提高资源和能源的利用效率、减少污染物排放量、加强环境治理和环境执法等方面促进陕西省绿色发展水平的提升。

参考文献:

[1] 胡鞍钢,周绍杰. 绿色发展:功能界定、机制分析与发展

战略[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20.
[2] 王玲玲,张艳国.“绿色发展”内涵探微[J]. 社会主义研究,2012,30(5):143-146.
[3] 马洪波. 绿色发展的基本内涵及重大意义[J]. 攀登,2011,30(2):67-70.
[4] United Nations Environment Programme. Towards a Green Economy[R]. 2011.
[5] 石敏俊,刘艳艳. 城市绿色发展:国际比较与问题透视[J]. 城市发展研究,2013,20(5):140-145.
[6] 王永芹. 中国城市绿色发展的路径选择[J]. 河北经贸大学学报,2014,35(3):51-53.
[7] 郑德凤,臧正,孙才志. 绿色经济、绿色发展及绿色转型研究综述[J]. 生态经济,2015,31(2):64-68.
[8] 北京师范大学科学发展观与经济可持续发展研究基地,西南财经大学绿色经济与经济可持续发展研究基地,国家统计局中国经济景气监测中心. 2012 中国绿色发展指数报告[M]. 北京:北京师范大学出版社,2012.
[9] 耿天召,朱余,王欢. 城市绿色发展竞争力评价研究[J]. 环境监控与预警,2014,6(1):60-62.
[10] 王婉晶,赵荣钦,揣小伟,等. 绿色南京城市建设评价指标体系研究[J]. 地域研究与开发,2012,31(2):62-65.
[11] 汪娜,韩永刚,黄义雄,等. 福州市建成区生态系统健康评价研究[J]. 水土保持研究,2014,21(2):200-204.
[12] 官冬杰,苏印,何政春. 基于模糊数学模型的城市生态系统健康动态变化评价[J]. 水土保持研究,2014,21(5):150-156.
[13] Rainer W. Competences for green development and leap-frogging in newly industrializing countries[J]. International Economics and Economic Policy,2010,7(2):245-265.
[14] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京:高等教育出版社,2006:226-232.
[15] 曾建权. 层次分析法在确定企业家评价指标权重中的应用[J]. 南京理工大学学报,2004,28(1):99-104.
[16] 朱茵,孟志勇,阙树恩. 用层次分析法计算权重[J]. 北方交通大学学报,1999,23(5):119-122.



(上接第 151 页)

[6] 周择福,王延平,张光灿. 五台山林区典型人工林群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报,2005,25(2):321-327.
[7] 林开敏,黄宝龙. 杉木人工林林下植物物种 β 多样性的研究[J]. 生物多样性,2001,9(2):157-161.
[8] 李清湖,庄雪影. 广东山区 3 种不同人工林林下植物多样性初步研究[J]. 广东林业科技,2012,28(2):37-45.
[9] 杨承栋,焦如珍,屠星南,等. 发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径[J]. 林业科学,1995,31(3):275-283.
[10] 阎海平,谭笑,孙向阳,等. 北京西山人工林群落物种多

样性的研究[J]. 北京林业大学学报,2001,23(2):16-19.
[11] 苏平,牟长城,张彩虹. 哈尔滨城市人工林木本植物的多样性[J]. 东北林业大学学报,2007,35(5):32-35.
[12] 罗德光. 不同强度人为干扰对马尾松林分结构及物种多样性的影响[J]. 福建林业科技,2005,32(4):90-94.
[13] 黄登银. 不同密度马尾松林下植被和土壤性质[J]. 防护林科技,2009(2):21-23.
[14] 谷长磊,刘琳,邱扬,等. 黄土丘陵区生态退耕对草本层植物多样性的影响[J]. 水土保持研究,2013,20(5):99-103.