

姚小兰, 郝建锋, 伍炫蓓, 等. 不同密度下川北白云山地区亮叶桦人工林群落结构和物种多样性[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(4): 95-102.

川北白云山地区不同密度下亮叶桦 人工林群落结构和物种多样性

姚小兰¹, 郝建锋^{1,2}, 伍炫蓓¹, 姚俊宇¹, 孙千惠¹, 吴霞¹
(1 四川农业大学 林学院, 四川 成都 611130; 2 水土保持与荒漠化防治重点实验室, 四川 成都 611130)

摘要:【目的】对川北白云山地区 20 年生亮叶桦 *Betula luminifera* 不同密度人工林群落结构及物种多样性进行探究, 以为该区亮叶桦人工林可持续经营提供依据。【方法】采用典型样地法, 分别选择川北白云山地区现存的低密度(1 050 ~ 1 150 株 · hm⁻²)、中密度(1 450 ~ 1 550 株 · hm⁻²)及高密度(2 150 ~ 2 250 株 · hm⁻²)亮叶桦人工林群落作为研究对象, 研究川北白云山地区不同密度下亮叶桦人工林群落结构和物种多样性特征。【结果】共记录到植物 110 种, 隶属于 52 科 91 属。高、中和低密度下群落的物种数依次为 59、42 和 57 种; 从群落结构来看, 中、高密度下群落物种多集中于中径级, 即胸径为[5, 11) cm, 低密度下群落物种多集中于高径级, 即胸径为[11, 17) cm, 3 种密度下群落物种的高度级结构相似, 物种多集中于中高度级, 即高度为[9, 13) m; 不同密度下群落各层次物种丰富度指数(*D*)、Shannon-wiener 指数(*H*)和 Simpson 优势度指数(*H'*)等均表现为乔木层 < 灌木层 < 草本层; 在乔木层中, 群落各物种多样性指数在中密度下最高, 低密度次之, 高密度最低; 草本、灌木层 *D* 和 *H* 均表现为: 低密度 > 中密度 > 高密度。【结论】中等密度(1 450 ~ 1 550 株 · hm⁻²)更利于川北白云山地区亮叶桦人工林多样性的维持及树种的自然更新。

关键词: 林分密度; 亮叶桦人工林; 群落结构; 物种多样性; 重要值
中图分类号: S718.54 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2017)04-0095-08

Community structure and species diversity of *Betula luminifera* plantation under different stand densities in Baiyunshan, north Sichuan

YAO Xiaolan¹, HAO Jianfeng^{1,2}, WU Xuanbei¹, YAO Junyu¹, SUN Qianhui¹, WU Xia¹
(1 College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;
2 Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Control, Chengdu 611130, China)

Abstract:【Objective】In order to provide a scientific basis for sustainable management of *Betula luminifera* plantation, we studied the effects of different stand densities on community structure and species diversity of 20-year-old *B. luminifera* plantation in Baiyunshan, north Sichuan. 【Method】Using the typical sampling method, the community structure and species diversity of *B. luminifera* plantation under low density (1 050 – 1 150 trees · hm⁻²), medium density (1 450 – 1 550 trees · hm⁻²) and high density (2 150 – 2 250 trees · hm⁻²) in Baiyunshan were studied. 【Result】In total, 110 species belonging to 52 families and 91 genera were recorded. There were 59, 42 and 57 species under high, medium and low densities respectively. In terms of community structure, most species in communities of medium and

收稿日期:2016-08-10 优先出版时间:2017-06-22
优先出版网址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170622.1010.008.html>
作者简介:姚小兰(1993—),女,硕士研究生,E-mail: yaoxiaolan44@sina.com;通信作者:郝建锋(1972—),男,副教授,博士,
E-mail: haojf2005@aliyun.com
基金项目:国家自然科学基金(31370628);“十二五”国家科技支撑计划(2011BAC09B05);四川省教育厅一般项目(自然科学)(15ZB0020);四川农业大学双支计划博士专项基金(00370401)

high densities were of medium diameters [5,11) cm, while most species in communities of low density were of large diameters [11,17) cm. Communities of three different densities were composed of species with similar heights, mostly ranged from medium to high height [9,13) m. The species richness indexes (D), Shannon-wiener indexes (H) and Simpson indexes (H') were all in the order of tree layer < shrub layer < herb layer. In the tree layer, different species diversity indexes were in the order of medium density > low density > high density, while in the shrub and herb layers, the indexes of D and H were in the order of low density > medium density > high density. 【Conclusion】Medium density is most conducive to the maintenance of species diversity and the natural regeneration of *B. luminifera* plantation in Baiyunshan, north Sichuan.

Key words: stand density; *Betula luminifera* plantation; community structure; species diversity; important value

林分密度是制约林木群体生长发育过程的关键性因素,也是目前营造人工林工作中的可控因子之一,对人工林生态系统的稳定性及生物生产力的维持产生重要影响^[1-3]。不同的林分密度会导致林地土壤肥力、林下生物量、物种多样性及树种的更新等的不同^[3-5]。林分密度的调整是实现人工纯林向天然林恢复的有效手段之一,同时也关系着人工林的可持续发展,在人工林生产中具有极大的实践指导意义^[6-8]。我国现有的人工林面积居于世界首位,但长期大面积人工林种植也伴随着灾害性病虫害频发、地力衰退、木材材质差、经济及生态效益低下等问题,严重威胁着林业的可持续经营^[7-8]。物种多样性是维持生态系统生物多样性的基础,能促进整个生态系统结构与功能的恢复与重建,因此提高生物多样性是森林特别是人工林可持续经营的一个重要目标^[9-11]。近些年来,为提高人工林物种多样性及群落稳定性,实现人工林的可持续发展,国内外研究者均进行了大量研究及实践,如物种多样性的维持^[12]、近自然森林经营等^[13-14]。抚育间伐等森林经营措施能有效改善人工林的群落结构和物种多样性,引导人工林向次生林乃至天然林方向发展,进而实现人工林的可持续发展^[7-8,15]。

亮叶桦 *Betula luminifera* 是南方地区常用的造林树种,由于其木材优良、树皮可制桦焦油供药用,在川北白云山地区广泛栽植,为当地居民创造了巨大的经济及生态效益^[16]。但亮叶桦人工林在经营过程中,片面追求速生丰产、纯林密植,使其经济效益和生态效应都不尽如人意,经营面临着巨大挑战。目前,关于林分密度与人工林群落结构和物种多样性的研究较多,其中,针叶人工林研究较多,如:张艳杰等^[17]认为马尾松 *Pinus massoniana* 人工林的根系生

物量与林分密度有较强的相关性;侯磊等^[3]通过对黄土高原区油松 *P. tabulaeformis* 人工林的研究表明,油松人工林林下植物的物种多样性随林分密度的增大而减小。对阔叶人工林的研究相对较少,如:王春香等^[18]对晋西黄土区刺槐 *Robinia pseudoacacia* 林的研究,并得出林分密度为 750 株·hm⁻²时,林下灌草层物种多样性较高等结论;罗素梅等^[19]研究尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* × *E. camaldulensis* 人工林认为,密度对其径级结构有极显著影响,使林下灌草层呈现分异现象。本文以川北白云山地区的亮叶桦人工林为例,研究林分密度对人工林群落结构和物种多样性的影响,以期当地亮叶桦人工林的合理经营提供科学依据,同时为我国阔叶树种人工林物种多样性的提高、群落稳定性的维持及林业可持续发展提供好的借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于川北绵竹白云山地区(31°23'07"~31°26'19"N,104°03'35"~104°09'11"E),该地区属龙门山系边缘,为中亚热带湿润气候区,气候温和,降雨充沛,四季分明,大陆季风性气候特点显著,夏无酷暑,冬无严寒,无霜期长。年平均气温 15.7℃,最冷月平均气温 4.0~10.0℃;年平均降水量 1 053.2 mm;积温 2 232~5 567℃,无霜期 250~350 d。土壤以山地黄壤为主,森林覆盖率达到 49.5%。该区多以 20 年生亮叶桦、喜树 *Camptotheca acuminata* 人工林为主,面积 50 hm² 左右,群落物种组成单一。从造林至今经人为采伐及自然枯死,现存林分密度存在差异。按照实际踏查数据,将该研究区区分为低密度(1 050~1 150 株·hm⁻²)、中密度(1 450~

1 550 株 · hm⁻²) 及高密度 (2 150 ~ 2 250 株 · hm⁻²) 3 种林分密度, 其乔木层主要物种为亮叶桦、喜树、柳杉 *Cryptomeria fortunei*, 灌木层以宜昌悬钩子 *Rubus ichangensis*、云南山蚂蝗 *Desmodium yunnanense* 等植物为主, 草本层以水竹叶 *Murdannia triquetra*、蕨类等植物为主。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 在全面踏查的基础上, 采用典型取样法, 在白云山亮叶桦人工林群落内设置 12 个 20 m × 20 m 林相整齐、林层丰富、具有代表性的样地, 高密度、中密度与低密度各 4 个 (林分密度均为实际林分密度), 样地面积总计 4 800 m²。采用相邻网格法在每个样地中设置 4 个 10 m × 10 m 乔

木样方; 沿对角线随机设置 6 个 5 m × 5 m 灌木样方, 12 个 1 m × 1 m 草本样方, 共计乔木样方 48 个, 灌木样方 72 个, 草本样方 144 个, 调查样方总计 264 个, 各样地基本情况见表 1。在样方内测定和统计的内容有: (1) 乔木层: 测定高度 ≥ 3 m 的所有植株, 所测指标有树种种类、胸高直径、树高、冠幅; (2) 灌木层: 测定所有高度 < 3 m 的木本个体, 包括乔木幼苗和幼树, 记录每个样方内的植物种名、高度、冠幅、株数; (3) 草本层: 统计包括草质藤本和蕨类植物, 但大型木质藤本按胸径大小分别计入乔木层、灌木层, 记录其种类、株数 (丛数)、高度和盖度。所有外业工作于 2014 年 7—8 月份进行。

表 1 样地概况
Tab. 1 General information of sample plot

样地编号	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	平均胸径/cm	平均树高/m	密度/(株 · hm ⁻²)	郁闭度	密度等级
1	940.6	22	SE39	11.6	12.0	115 0	0.7	低
2	940.4	23	SE39	11.3	12.1	110 0	0.7	低
3	902.3	26	SE44	11.7	11.5	110 0	0.6	低
4	935.6	25	SE41	11.4	11.6	115 0	0.7	低
5	938.5	27	SE57	9.4	10.8	150 0	0.8	中
6	901.1	22	SE33	9.2	10.7	145 0	0.8	中
7	977.1	20	SE5	9.3	9.9	145 0	0.7	中
8	950.2	18	SE30	9.4	10.6	150 0	0.7	中
9	907.8	21	SE32	7.8	9.6	220 0	0.9	高
10	910.5	23	SE54	8.1	10.2	225 0	0.9	高
11	910.8	26	SE51	8.0	11.4	215 0	0.8	高
12	910.2	24	SE34	7.9	10.1	220 0	0.8	高

1.2.2 群落结构划分 依据郝建锋等^[20]对乔木树种胸径的划分方法, 测定亮叶桦人工林群落中高度不小于 3 m 乔木个体的胸径和高度。将其乔木个体的胸径分为 9 个径级, 每 2 cm 为一个径级, 分别为径级 I: 胸径 3 cm 以下; II: [3, 5) cm; III: [5, 7) cm; IV: [7, 9) cm; V: [9, 11) cm; VI: [11, 13) cm; VII: [13, 15) cm; VIII: [15, 17) cm; IX: 胸径 17 cm 及以上。; 将乔木个体的高度分为 9 个高度级, 每 2 m 为一个高度级, 分别为高度级 I: [3, 5) m; II: [5, 7) m; III: [7, 9) m; IV: [9, 11) m; V: [11, 13) m; VI: [13, 15) m; VII: [15, 17) m; VIII: [17, 19) m; IX: 高度 19 m 及以上。统计不同密度下乔木层中各径级和高度级的个体数。

1.2.3 数据整理 本文采用重要值 (IV)、物种丰富度指数 (D)、Shannon-wiennner 多样性指数 (H)、Simpson 优势度指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 来综

合评价亮叶桦人工林群落的物种多样性。公式如下:

$$IV_{\text{乔}} =$$

(相对密度 + 相对频度 + 相对优势度)/3, (1)

$$IV_{\text{灌, 草}} =$$

(相对密度 + 相对频度 + 相对盖度)/3, (2)

式中, 相对密度 = 某个种的株数/所有种的总株数, 相对频度 = 某个种在样方中出现的次数/所有种出现的总次数, 相对优势度 = 某个种的胸高断面积/所有种的胸高断面积之和, 相对盖度 = 某个种的盖度/所有种的盖度之和。

$$D = S,$$

(3)

$$H = - \sum_{i=a}^s P_i \ln P_i,$$

(4)

$$H' = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2,$$

(5)

$$J_{sw} = \frac{- \sum P_i \ln P_i}{\ln S},$$

(6)

式中: S 为物种数; P_i 为第 i 种的个体数(n_i) 占所有种个体总数(n) 的比例, $i=1,2,3,\cdots,S$ 。

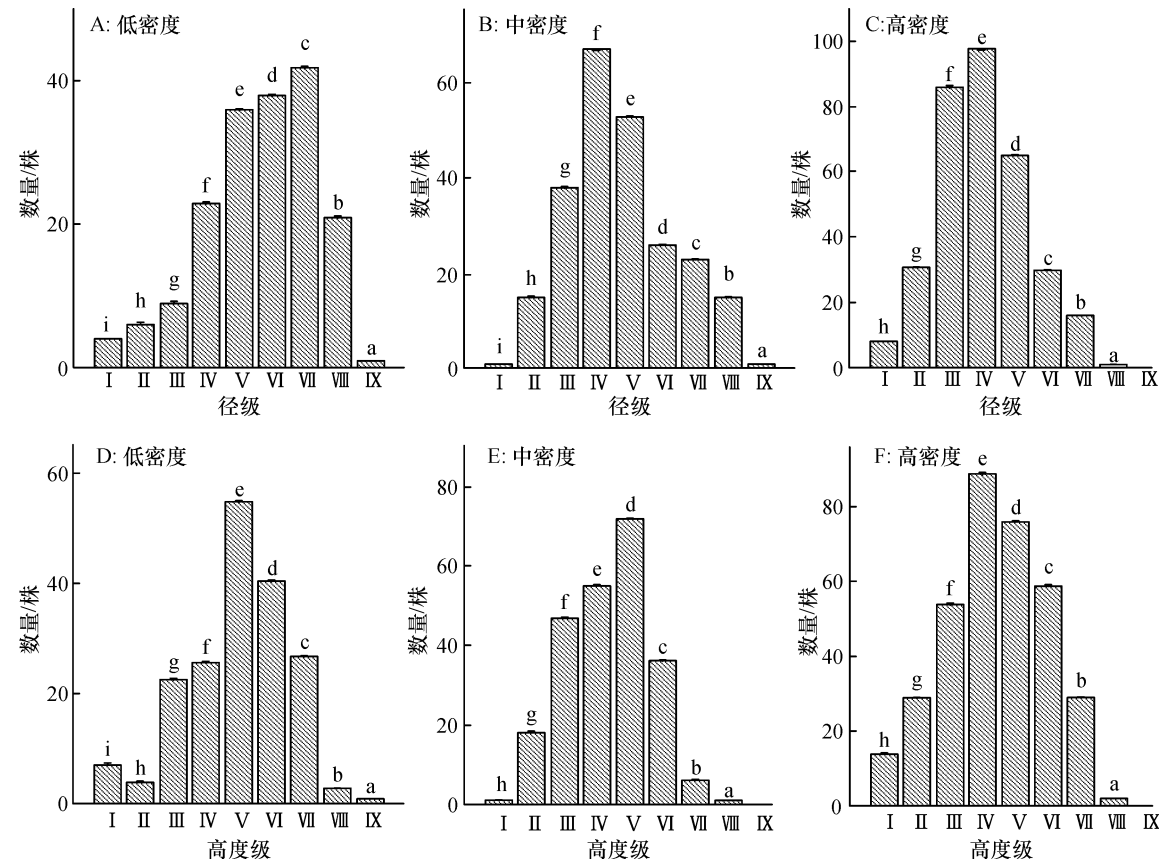
文中所有数据采用 SPSS17.0 统计软件、Origin8.0 软件和 Excel 进行统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)检验群落高度级和径级以及各层次多样性指数的显著性差异($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同密度对亮叶桦人工林群落结构的影响

由图 1 可知,各群落乔木个体在不同径级间、不

同高度级间的数量存在显著性差异。中、高密度的群落内乔木层呈现出近正态分布的径级结构,均在径级Ⅳ,即胸径[7,9) cm 出现峰值,分别为 67 株、98 株,且乔木立木数量多集中于中径级,即胸径[5,11) cm;低密度群落内径级呈偏峰型结构,在径级Ⅶ,即胸径[13,15) cm 出现峰值,为 42 株,乔木立木数量多集中于中高径级,即胸径[9,17) cm。图 1 同时表明,不同密度下,各群落乔木个体的高度级呈现出相似的结构,且乔木立木数量多集中于中高度级,即高度[9,15) m,但高密度群落存在更多高度级个体。



柱子上方凡具有一个相同小写字母者,表示不同径级或不同高度级间的数量差异不显著($P>0.05$,LSD 法);径级:Ⅰ:DBH<3 cm;Ⅱ:[3,5) cm;Ⅲ:[5,7) cm;Ⅳ:[7,9) cm;Ⅴ:[9,11) cm;Ⅵ:[11,13) cm;Ⅶ:[13,15) cm;Ⅷ:[15,17) cm;Ⅸ:DBH≥17 cm。高度级:Ⅰ:[3,5) m;Ⅱ:[5,7) m;Ⅲ:[7,9) m;Ⅳ:[9,11) m;Ⅴ:[11,13) m;Ⅵ:[13,15) m;Ⅶ:[15,17) m;Ⅷ:[17,19) m;Ⅸ:H≥19 m。

图 1 不同密度亮叶桦人工林乔木层的径级和高度级结构

Fig.1 The diameter class and height class for the tree layer of *Betule luminifera* plantaion under different densities

2.2 不同密度对亮叶桦人工林群落物种组成的影响

在总面积为 4 800 m² 的 12 个样地 264 个不同层次样方中,共记录到植物 110 种,隶属 52 科 91 属,以菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)、蔷薇科(Rosaceae)为主。不同群落各层次物种数量不同,其

中乔木层植物 17 种,灌木层植物 38 种,草本层植物 64 种。由图 2 可知,中、低密度下,群落中乔木层物种的科、属、种数高于高密度群落,而低密度及高密度群落中灌木层及草本层物种的科、属、种数量高于中密度群落。

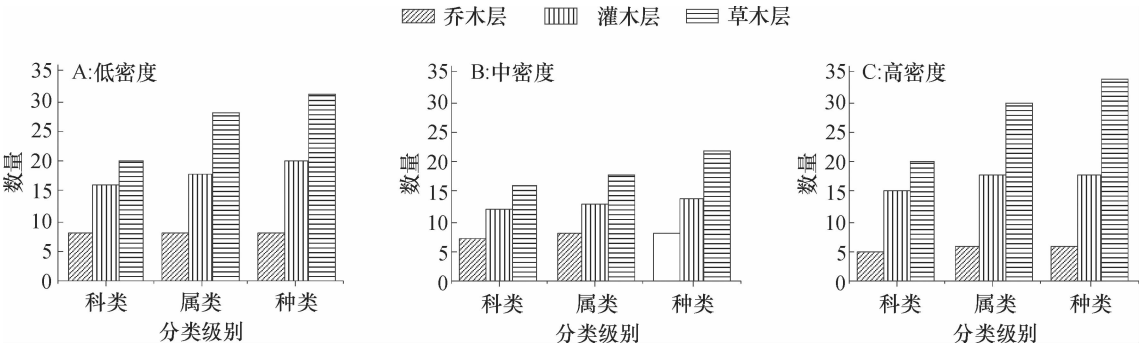


图2 不同密度亮叶桦人工林群落物种组成

Fig. 2 Species composition of *Betule luminifera* plantation community under different densities

2.3 不同密度对亮叶桦人工林群落重要值的影响

重要值是反映群落中不同种植物重要性的指标,对重要值的分析可找出群落中的主要优势树种,了解群落的物种组成。不同林分密度下亮叶桦人工林群落各层次的物种组成和优势种不同。

表2 数据表明,在乔木层中,亮叶桦在低、中和高密度人工林中重要值分别为0.766 5、0.728 1和0.726 2,在乔木层中均占有绝对主导地位,为群落绝对优势树种。在低密度下的群落伴生种有八角枫 *Alangium chinense*、毛脉南酸枣 *Choerospondias axillaris*、刺楸 *Kalopanax septemlobus* 等7种;中密度下乔木层有胡桃 *Juglans regia*、臭椿 *Ailanthus altissima*、柳杉、喜树等7种伴生种;高密度下乔木层伴生种有胡桃、喜树、柳杉等5种。表明亮叶桦大面积人工种植,3种密度下群落乔木层物种组成均略显单一。

表2 不同密度亮叶桦人工林群落乔木层物种重要值
Tab. 2 The species important value (IV) for the tree layer of *Betule luminifera* plantation community under different densities

物种	低密度	中密度	高密度
亮叶桦 <i>Betula luminifera</i>	0.766 5	0.728 1	0.726 2
八角枫 <i>Alangium chinense</i>	0.070 4	0	0
毛脉南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	0.043 9	0	0
刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	0.043 6	0.020 8	0
栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	0.020 0	0	0
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	0.019 2	0.043 7	0
粗糠树 <i>Ehretia macrophylla</i>	0.018 4	0	0
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	0.018 0	0.039 4	0.045 8
胡桃 <i>Juglans regia</i>	0	0.102 2	0.093 7
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>	0	0.031 6	0.093 2
楝 <i>Melia azedarach</i>	0	0.017 5	0
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0	0.016 7	0.027 4
川梨 <i>Pyrus pashia</i>	0	0	0.013 7
合计	1.000 0	1.000 0	1.000 0

表3 表明,不同密度下群落灌木层优势种不同。在低密度下,群落灌木层的优势物种有喜树、桤木

Aralia chinensis、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 等20种。其中喜树重要值为0.234 8,杉木重要值为0.070 9;中密度下灌木层有喜树、云南山蚂蝗、八角枫等14种物种,喜树重要值达0.202 5;高密度下灌木层优势种有喜树、宜昌悬钩子、高粱泡 *Rubus lambertianus* 等18种,喜树重要值0.024 4。各密度林下灌木层均没有发现亮叶桦幼苗,说明亮叶桦几乎无自然更新能力,但在低密度群落中出现了大量喜树、柳杉、杉木等乡土树种的幼苗,这些树种具有潜在更新能力,但随着密度的增加,高密度下群落喜树重要值降为0.024 4,柳杉、杉木等乡土树种消失,说明高密度条件不利于柳杉、杉木等乡土树种的更新。

表3 不同密度亮叶桦人工林群落灌木层物种重要值
Tab. 3 The species important value (IV) for the shrub layer of *Betule luminifera* plantation community under different densities

物种	低密度	中密度	高密度
喜树 <i>Camptotheca acuminata</i>	0.234 8	0.202 5	0.024 4
桤木 <i>Aralia chinensis</i>	0.236 6	0.054 9	0
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.070 9	0	0
云南山蚂蝗 <i>Desmodium yunnanense</i>	0.065 3	0.232 0	0
粗糠树 <i>Ehretia macrophylla</i>	0.064 1	0	0
牛奶子 <i>Elaeagnus umbellata</i>	0.043 5	0	0
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	0.035 4	0	0
高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	0.035 2	0	0
十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	0.029 9	0	0
宜昌悬钩子 <i>Rubus ichangensis</i>	0	0.144 3	0.374 8
八角枫 <i>Alangium chinense</i>	0	0.126 4	0.043 1
刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	0	0.065 0	0
刺莓 <i>Rubus taiwanianus</i>	0	0.042 0	0
高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	0	0	0.245 7
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	0	0	0.055 8
插田泡 <i>Rubus coreanus</i>	0	0	0.048 7
山桐子 <i>Idesia polycarpa</i>	0	0	0.030 8
白箭 <i>Acanthopanax trifoliatius</i>	0	0	0.020 8
其余种	0.184 3	0.133 0	0.155 9
合计	1.000 0	1.000 0	1.000 0

由表 4 可知,不同密度下群落草本层的优势种的数量排序为:高密度 > 低密度 > 中密度。低密度下,草本层优势种有水竹叶、藜 *Chenopodium album*、黑鳞远轴鳞毛蕨 *Dryopteris namegatae* 等 31 种;中密度下,群落草本层优势种有圆齿狗娃花 *Heteropappus crenatifolius*、水竹叶等 22 种;在高密度下,群落草本层优势种为鸢尾 *Iris tectorum*、序叶苎麻 *Boehmeria clidemioides* 等 34 种。在中、低密度下草本层群落中,水竹叶均处于优势地位,说明该植物能适应于这 2 种密度下的环境。

2.4 不同密度对亮叶桦人工林群落物种多样性的影响

对不同密度群落乔木层、灌木层和草本层物种多样性的分析表明(表 5),不同密度各群落乔、灌、草各层次间的物种多样性不存在显著性差异($p > 0.05$)。在不同密度的群落内,物种丰富度指数(D)、Shannon-wiener 指数(H)和 Simpson 优势度指数(H')等各指数基本均为乔木层 < 灌木层 < 草本层。在乔木层中, D 、 H 和 J_{sw} 均表现为中密度最高,这说明中等密度条件下,乔木层的多样性水平更高,物种分布更为均匀;在灌木层和草本层中, D 和 H 基本表现为低密度 > 中密度 > 高密度,这是因为高密度下乔木层林木株数较多,林地资源有限,产生种间竞争,对下层灌木、草本层物种产生一定的抑制作用,经过长时间的自然选择,一些物种被淘汰,因此高密度下群落灌草层物种丰富度及多样性指数最低,而低密度下,乔木层各指数最低,对林下抑制作用较小,林地资源充足,林下光照更为充足,更利于林下喜光树种的萌发,因此低密度下灌草层多样性水平更高。

表 4 不同密度亮叶桦人工林群落草本层物种重要值
Tab.4 The species important value(IV) for the herb layer of *Betule luminifera* plantation community under different densities

物种	低密度	中密度	高密度
水竹叶 <i>Murdannia triquetra</i>	0.327 0	0.195 8	0.063 4
藜 <i>Chenopodium album</i>	0.173 4	0.033 5	0
黑鳞远轴鳞毛蕨 <i>Dryopteris namegatae</i>	0.091 6	0.029 0	0
龙茅草 <i>Agrimonia pilosa</i>	0.073 6	0.024 0	0
小窃衣 <i>Torilis japonica</i>	0.057 0	0.079 5	0
圆齿狗娃花 <i>Heteropappus crenatifolius</i>	0.051 8	0.290 6	0
乌荑莓 <i>Cayratia japonica</i>	0.029 1	0	0.076 8
狭叶拉拉藤 <i>Galium elegans</i>	0.027 7	0	0.024 7
节节菜 <i>Rotala indica</i>	0.020 7	0.096 6	0
山野豌豆 <i>Vicia amoena</i>	0.018 9	0	0
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	0	0.028 5	0
山冷水花 <i>Pilea japonica</i>	0	0.081 5	0
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	0	0	0.232 7
序叶苎麻 <i>Boehmeria clidemioides</i>	0	0	0.100 2
疣草 <i>Murdannia keisak</i>	0	0	0.080 5
皱果蛇莓 <i>Duchesnea chrysantha</i>	0	0	0.046 7
卷柏 <i>Selaginella tamariscina</i>	0	0	0.036 0
土牛膝 <i>Achyranthes aspera</i>	0	0	0.034 5
蝴蝶花 <i>Iris japonica</i>	0	0	0.028 7
假豪猪刺 <i>Berberis soulieana</i>	0	0	0.023 4
夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i>	0	0	0.022 4
紫菀 <i>Aster tataricus</i>	0	0	0.018 8
变异鳞毛蕨 <i>Dryopteris varia</i>	0	0	0.018 6
亮毛蕨 <i>Acystopteris japonica</i>	0	0	0.018 0
聚合草 <i>Symphytum officinale</i>	0	0	0.017 2
高羊茅 <i>Festuca elata</i>	0	0	0.016 5
鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	0	0	0.016 1
其余种	0.129 2	0.141 0	0.124 8
合计	1.000 0	1.000 0	1.000 0

表 5 不同密度亮叶桦人工林群落各层次物种多样性指数¹⁾
Tab.5 Species diversity indexes for different layers of *Betule luminifera* plantation community under different densities

层次	密度	D	H'	H	J_{sw}
乔木层	低	4.000 0 ± 0.000 0a	0.179 7 ± 0.014 5a	0.413 4 ± 0.024 4a	0.298 2 ± 0.017 6a
	中	4.333 3 ± 0.333 3a	0.239 0 ± 0.055 9a	0.526 1 ± 0.094 4a	0.367 9 ± 0.079 1a
	高	3.666 7 ± 0.666 7a	0.214 2 ± 0.028 1a	0.462 4 ± 0.071 3a	0.363 2 ± 0.019 1a
灌木层	低	11.666 7 ± 0.881 9a	0.716 3 ± 0.093 2a	1.746 9 ± 0.201 6a	0.717 1 ± 0.094 4a
	中	7.666 7 ± 1.333 3a	0.594 0 ± 0.140 5a	1.328 5 ± 0.333 8ab	0.641 4 ± 0.115 3a
	高	8.666 7 ± 2.333 3a	0.551 9 ± 0.048 7a	1.226 5 ± 0.155 7ab	0.589 6 ± 0.026 3a
草本层	低	17.000 0 ± 0.000 0a	0.798 4 ± 0.014 2a	1.983 9 ± 0.038 6a	0.700 2 ± 0.013 6a
	中	14.000 0 ± 3.000 0ab	0.806 5 ± 0.053 9a	1.969 4 ± 0.233 8a	0.754 7 ± 0.044 1a
	高	12.000 0 ± 1.000 0ab	0.637 7 ± 0.110 4a	1.892 0 ± 0.329 5a	0.725 3 ± 0.105 0a

1) 相同层次的同列数据后,凡是有一个相同小写字母者,表示不同密度间的数据差异不显著($P > 0.05$,LSD 法); D :物种丰富度指数; H' :Simpson 优势度指数; H :Shannon-wiener 多样性指数; J_{sw} :Pielou 均匀度指数。

3 讨论与结论

3.1 林分密度对亮叶桦人工林群落结构和自然更新的影响

林分密度直接影响培育目标能否实现及经营者的经济效益、生态效益^[9]。何友均等^[5]及李婷婷等^[7]研究表明,低密度对林木的胸径及树高增长更有利,利于乡土树种的逐渐侵入,本研究中,随着高度级与径级的不断增加,物种数均表现出先增后降的趋势,且低密度下,物种多集中于高径级中,在中低密度下,出现了大量柳杉、喜树等乡土树种的幼苗,这与以上学者研究结果相一致。但在3种不同密度下,亮叶桦人工林物种高度级分布呈现出相似的结构,并无明显差异,这与以上学者的研究结果有所不同,原因是亮叶桦为阔叶树种,其高度级结构对林分密度的响应可能与针叶树种不同。3种不同密度下,乔木层亮叶桦均占据主导地位,为乔木层明显优势物种,位于乔木层下的灌草层,经过激烈竞争,适应力更强的物种得以保留,劣势物种则遭到淘汰。但在3种不同密度的林分下,群落内均少见亮叶桦幼苗,而出现了喜树等的幼苗,说明该地区亮叶桦人工林中的亮叶桦树种可能无法进行自然更新,随着群落自然演替的进行,如适当种植柳杉,该人工林可能会演替成为以喜树、柳杉、杉木等为主的针阔混交林群落。

3.2 林分密度对亮叶桦人工林群落物种多样性的影响

本研究中,物种丰富度指数(D)、Shannon-wiener 指数(H)和 Simpson 优势度指数(H')等各指数均表现为乔木层<灌木层<草本层,乔木层的 D 、 H 和 J_{sw} 值均表现为中密度>高密度>低密度,灌草层则表现为低密度>中密度>高密度,这说明随着乔木层密度增加,灌草层群落的多样性水平会降低。研究表明,乔木层物种的丰富度和多样性会对林下植被产生重要的影响^[21],本研究与上述研究结果相一致。综上所述,笔者认为不同密度会对群落物种多样性水平产生影响,中等密度(1 450~1 550 株·hm⁻²)下更利于亮叶桦人工林的发展,当林分密度过高时,乔木层林木株数过多,竞争作用会增强,小径材林木过多,群落多样性程度较低,不利于人工林的培育,而当林分密度过低时,虽群落多样性水平较高,但由于亮叶桦人工林为用材林,密度较小,木材产出量相对较少,会影响到该人工林经济效益。

3.3 关于亮叶桦人工林可持续经营的思考

人工林生态系统的稳定性相对较差,而林分密度是影响森林特别是人工林生态系统结构与功能的主要因素,可以通过调整林分密度来间接调控人工林生长,实现人工林的可持续经营^[22-24]。在人工林经营过程中,应根据用材不同,采取合理的经营措施,调整经营密度^[2]。就本研究而言,现存的中等密度(1 450~1 550 株·hm⁻²)更适合群落发展,在进行亮叶桦大径材培育时,应采取中等密度的长轮伐期作业,这样既有利于亮叶桦人工林经济效益的发挥,同时也有利于亮叶桦人工林群落生物多样性的提高及林分结构的改善,以实现人工林的可持续发展。对于细径木、生产经济效益低的亮叶桦人工林,应结合近自然理论,及早进行人工抚育间伐,保留干形良好,林冠均匀的树种。林分密度的调整仅仅是人工林近自然森林经营的第1步,随着林下透光条件的改善,应考虑对亮叶桦人工林林下自然更新的喜树等乡土树种加以保护,同时适当种植柳杉、杉木等乡土树种,促进其混交比例,从而增加林分的混交程度和层次结构,以实现该人工林的自然更新以及人工林的可持续发展。

参考文献:

[1] 田新辉,孙荣喜,李军,等. 107 杨人工林密度对林木生长的影响[J]. 林业科学,2011,3(47):184-188.

[2] 侯磊,张硕新,陈云明,等. 林分密度对人工油松林下植物的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):46-52

[3] 李民义,张建军,郭宝妮,等. 晋西黄土区不同密度油松人工林林下植物多样性及水文效应[J]. 生态学杂志,2013,32(5):1083-1090.

[4] 蔡小英,洪伟,吴承祯,等. 武夷山国家自然保护区黄山松天然林自然稀疏规律研究[J]. 热带亚热带植物学报,2008,16(5):414-418.

[5] 何友均,梁星云,覃林,等. 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响[J]. 生态学报,2013,33(8):2484-2495.

[6] BALDWIN JR V C,PETERSON K D,CLARK III A,et al. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old lobolly pine [J]. Forest Ecol Manag,2000,137(1/2/3):91-102.

[7] 李婷婷,陆元昌,庞雨峰,等. 杉木人工林近自然经营的初步效果[J]. 林业科学,2014,50(5):90-100.

[8] 罗应华,孙冬婧,林建勇,等. 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响[J]. 生态学报,2013,33(19):6154-6162.

[9] 雷相东,唐守正,李冬兰,等. 影响天然林下层植物物种多样性的林分因子的研究[J]. 生态学杂志,2003,22(3):18-22.

[10] 喻武,万丹,汪书丽,等. 藏东南泥石流沉积区植物群落结构和物种[J]. 山地学报,2013,31(1):120-126.

[11] 梁海荣,董小刚,王永胜,等. 敦煌西湖湿地草本植物组成及其物种多样性[J]. 人民黄河,2012,11(34):91-94.

[12] 王登富,张朝晖. 赤水河上游主要森林植被中苔藓物种多样性研究[J]. 植物研究,2013,33(5):558-563.

[13] 陆元昌,张守攻,雷相东,等. 人工林近自然化改造的理论基础和实施技术[J]. 世界林业研究,2009,22(1):20-27.

[14] MÖLDER A, STREIT M, SCHMIDT W. When beech strikes back: How strict nature conservation reduces herb-layer diversity and productivity in Central European deciduous forest[J]. Forest Ecol Manag,2014,319:51-61.

[15] 杨育林,李贤伟,王海明,等. 抚育间伐对川中丘陵区柏木人工林生长和植物多样性的影响[J]. 山地学报,2015,33(2):199-207.

[16] 陈坤浩,袁伟,蔡波,等. 毕节试验区亮叶桦群落特征研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(11):4512-4513.

[17] 张艳杰,温佐吾. 不同造林密度马尾松人工林的根系生物量[J]. 林业科学,2011,47(3):75-81.

[18] 王春香,张建军,茹豪,等. 晋西黄土区刺槐林下植被物种组成及多样性影响因素[J]. 东北林业大学学报,2014,42(1):31-36.

[19] 罗素梅,何东进,谢益林,等. 林分密度对尾赤桉人工林群落结构与生态效应的影响研究[J]. 热带亚热带植物学报,2010,18(4):357-363.

[20] 郝建锋,王德艺,李艳,等. 人为干扰对川西金凤山楠木次生林群落结构和物种多样性的影响[J]. 生态学报,2014,34(23):6930-6942.

[21] CHEN Y M, CAO Y. Response of tree regeneration and understory plant species diversity to stand density in mature *Pinus tabulaeformis* plantations in the hilly area of the Loess Plateau, China[J]. Ecol Eng,2014,73:238-245.

[22] 段劼,马履一,贾黎明,等. 北京地区侧柏人工林密度效应[J]. 生态学报,2010,30(12):3206-3214.

[23] 张姗,蔺菲,原作强,等. 长白山阔叶红松林草本层物种多度分布格局及其季节动态[J]. 生物多样性,2015,23(5):641-648.

[24] 刘相兵,刘亚茜,李兵兵,等. 生态疏伐对林分密度及直径结构的影响[J]. 西北林学院学报,2012,27(3):145-149.

【责任编辑 李晓卉】