

抚育间伐对白桦天然次生林生长及林下植物多样性的影响

刘忠玲¹, 姚颖¹, 邓贵春², 吕跃东^{1*}

(1. 黑龙江省林业科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江省林口林业局有限公司, 黑龙江 林口 157621)

摘要:采用样地调查的方法,对白桦次生林抚育间伐(F-T:平地,强度间伐;S-T:坡地,弱度间伐)3 a后林分生长、径级结构和林下植物多样性进行研究。结果表明,抚育后乔木群落和白桦种群的平均胸径、平均冠幅有增加趋势,但不显著($P>0.05$),树高无显著变化。对位于平地的林分进行强度间伐后,乔木群落大径组($25\text{ cm}\leq\text{DBH}<37\text{ cm}$)比例提高8%,白桦种群大径组比例提高5%。对位于坡地的林分进行弱度间伐后,乔木群落大径组和白桦种群大径组比例分别提高5%和23%。抚育后,林下灌木层物种丰富度降低,F-T、S-T灌木层物种数分别比各自对照降低了42.9%和52.9%,草本层物种丰富度升高,F-T、S-T分别增加了22.2%和71.4%。珍珠梅、白花碎米荠、猴腿蹄盖蕨、蚊子草和宽叶蔓草的重要值均增加,红松、东北茶藨子、花楷槭、刺玫蔷薇、细叶苔草和羽节蕨的重要值均降低。抚育后灌木层 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均降低,草本层各指数均升高。综上,从短期(3 a)效果看,抚育间伐有促进白桦次生林径向生长和提高大径组比例的趋势,利于林下草本植物的更新和多样性的提高,而灌木层更新受阻,多样性降低。

关键词:抚育间伐;白桦(*Betula platyphylla*);天然次生林;径级结构;植物多样性

中图分类号:S792.153 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2022)04-0216-07

Effects of Thinning on the Growth and Plant Species Diversity in *Betula platyphylla* Natural Secondary Forest Stand

LIU Zhong-ling¹, YAO Ying¹, DENG Gui-chun², LÜ Yue-dong^{1*}

(1. Heilongjiang Forestry Institute, Harbin 150040, Heilongjiang, China;

2. Heilongjiang Linkou Forestry Bureau Limited Company, Linkou 157621, Heilongjiang, China)

Abstract: Natural secondary forests of *Betula platyphylla* occurring in Linkou of Heilongjiang were surveyed after 3 years of thinning with two intensities, i. e., intensive thinning in flat ground (F-T) and low intensity thinning in slope site (S-T). The stand growth, diameter structure characteristics and plant diversity were examined. The results showed that the mean DBH and crown width of arbor community (AC) and *B. platyphylla* population (BP) increased, but not significantly ($P>0.05$), and there was no significant change in tree height growth. The large DBH class ($25\text{ cm}\leq\text{DBH}<37\text{ cm}$) of AC and BP tended to increase in thinned stand. The proportion of large diameter group ($25\text{ cm}\leq\text{DBH}<37\text{ cm}$) of AC increased by 8%, and the proportion of large diameter group of increased by 5% after intensive thinning in F-T, and the figures increased by 5% (AC) and 23% (BP), respectively after low intensity thinning in S-T. The richness of shrub decreased by 42.9% (F-T) and 52.9% (S-T), respectively, while the species number in herb layers increased by 22.2% (F-T) and 71.4% (S-T), respectively. The importance values of *Sorbaria sorbifolia*, *Cardamine leucantha*, *Athyrium brevifrons*, *Filipendula palmate*, *Carex siderosticta* all in-

收稿日期:2021-06-30 修回日期:2021-07-21

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0601103-04);黑龙江省森工总局科技计划(sgzjY2016005)。

第一作者:刘忠玲,博士,副研究员。研究方向:森林培育。E-mail:30083936@qq.com

* 通信作者:吕跃东,硕士,副研究员。研究方向:森林培育。E-mail:67550007@qq.com

creased, while the importance values of *Pinus koraiensis*, *Ribes amdsjuricum*, *Acer ukurunduense*, *Rosa davurica*, *Carex rigescens*, *Gymnocarpium dryopteris* all decreased. After thinning, the Simpson diversity index, Shannon-Wiener index and Pielou evenness index of shrub layer decreased, while those of herb layer increased. Among the short-term effects (3 a), there was a tendency that the thinning treatment could promote the radial growth of *B. platyphylla* secondary forest and increase the proportion of large DBH class, and the thinning was able to promote natural generation and plant diversity of herb layer, while those of shrub layer decreased.

Key words: thinning; *Betula platyphylla*; natural secondary forest; diameter structure; plant species diversity

根据第九次全国森林资源清查结果, 黑龙江省森林面积 1 990 万 hm^2 , 天然林占比 87.78%。但在过去的几十年间, 黑龙江省森林资源被大肆开采, 植被遭受严重破坏。随着国家 2 期“天保工程”的实施, 以及对黑龙江省内重点国有林区全面停止天然林商业性采伐, 黑龙江国有林区由中国最大的木材生产基地转型为森林资源恢复^[1]。抚育间伐作为森林经营的主要措施, 为林木创造良好生长环境, 提高林木质量, 同时也使森林的生物多样性发生变化, 影响森林的生态功能^[2]。

白桦(*Betula platyphylla*)次生林主要是原生针叶林或针阔叶混交林受自然或人为破坏后形成的次生林, 是我国北方森林生态系统的重要组成部分。黑龙江省森工林区 2011 年白桦天然林面积 41.8 万 hm^2 , 处于阔叶树种占地面积的第 2 位, 占白桦森林资源总面积 99.99%, 2005—2015 年白桦林地面积也是增加的, 在平地和山地均有分布, 坡位是影响白桦天然林生长的主要因子, 但多数林分缺乏有针对性的经营管理, 生产力低下^[3-5]。抚育间伐对白桦天然林的生长、植物多样性、水源涵养等的影响均有研究^[6-10], 但在不同立地条件下的不同强度的间伐对林分生长和植物多样性的变化的影响尚不清楚。本研究以黑龙江省林口林业局青山林场不同立地条件下, 间伐 3 a 后的天然白桦中龄林为研究对象, 探讨抚育间伐对白桦天然林生长及植物多样性的影响, 以为白桦天然林经营提供参考。

1 研究地概况

研究地点位于黑龙江省林口林业局青山林场(130°21′—130°27′E, 45°32′—45°33′N), 属长白山系完达山脉, 平均海拔 501 m, 属寒温带大陆性季风气候区, 年均气温 5℃, 年平均湿度 61%, 年降水量 750 mm, 年平均蒸发量 1 200 mm。无霜期 100~140 d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温为 2 100℃。地带性土壤为暗棕色森林土, 土壤平均厚度 40~51 cm, 腐殖质层平均厚度 6 cm。试验天然白桦林平均林龄 40 a, 上层

木主要组成树种有白桦、山杨(*Populus davidiana*)、毛赤杨(*Alnus sibirica*)、色木槭(*Acer mono*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)和黄菠萝(*Phellodendron amurense*)等。灌木主要有珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)、黄花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、柳叶绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、卫矛(*Euonymus bungeanus* Max.)、暴马丁香(*Syringa reticulata* subsp. *amurensis*)、刺五加(*Eleutherococcus senticosus*)、东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)、鸡树条荚蒾(*Viburnum opulus* var. *calvescens*)、刺玫蔷薇(*Rosa davurica*)、瘤枝卫矛(*Euonymus verrucosus*)和茶条槭(*Acer tataricum* subsp. *ginnala*)等。草本植物常见的有蚊子草(*Filipendula palmata*)、小叶芹(*Aegopodium alpestre*)、细叶苔草(*Carex duriuscula rigescens*)、水金凤(*Impatiens noli-tangere*)、白花碎米荠(*Cardamine leucantha*)、猴腿蹄盖蕨(*Athyrium brevifrons*)、繁缕(*Stellaria media*)、二叶舞鹤草(*Maianthemum bifolium*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)、银莲花(*Anemone cathayensis*)和小叶章(*Deyeuxia purpurea*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

试验林分于 2013 年春季进行了不同强度的抚育间伐, 平地采取强度间伐(蓄积强度 35.6%), 坡地采取弱度间伐(蓄积强度 17.2%), 并保留有对照区。下文简称平地强度间伐和坡地弱度间伐。

2016 年春季设置平地对照(F-CK)、平地强度间伐(F-T)、坡地对照(S-CK)、坡地弱度间伐(S-T)标准地各 3 块(20 m×25 m), 林分基本情况见表 1。

2.2 样地调查

对标准地内胸径 ≥ 5 cm 的乔木每木检尺。在各样地四角及中心位置 5 个 2 m×2 m 的样方, 调查灌木层种类、数量、盖度, 树高 ≥ 1.5 m 但胸径 < 5

表 1 白桦天然次生林样地基本特征

Table 1 Basic features of pots of *Betula platyphylla* natural secondary forest

样地	树种组成 (胸径≥5 cm)	坡度/(°)	坡向	坡位	乔木密度 /(株·hm ⁻²)	主林层密度 /(株·hm ⁻²)	主林层 平均胸径/cm	主林层 平均树高/m	郁闭度
F-CK	7 白 1 水 1 椴 1 槭+杨+毛	0	—	下	900~1 020	520~640	16.6~20.7	19.1	0.7
F-T	7 白 1 水 1 杨 1 毛—椴—黄	0	—	下	700~740	400~440	21.0~21.8	20.3	0.5
S-CK	4 白 4 杨 1 槭 1 椴—黄—枫 —冷—云	16	东	中	1 480~2 300	580~780	18.6~21.6	17.6	0.8
S-T	7 白 1 椴+2 其他(杨、枫、 红、黄、槭)	15	东	中	1 160~1 520	460~480	19.8~23.0	14.3	0.6

注:F-CK、F-T、S-CK、S-T 分别表示平地对照,平地间伐(蓄积强度 35.6%),缓坡对照,缓坡间伐(蓄积强度 17.2%)。下同。白、水、椴、槭、杨、毛、黄、枫、冷、云、红分别指白桦、水曲柳、紫椴、色木槭和青楷槭、山杨、毛赤杨、黄菠萝、枫桦、冷杉、云杉、红松。

cm 的乔木幼树、树高<1.5 m 的乔木幼苗记录在灌木样方内。在每个灌木样方一角位置设置 1 个 1 m×1 m 草本样方,调查草本层植物种名、株数(丛数)和盖度^[11]。

2.3 数据分析

以 2 cm 为径阶距,采用上限排外法,统计不同密度林分内各径阶株数。按 GB/T 26424—2010《森林资源规划设计调查技术规程》的规定,径阶 6~12 cm 为小径组,14~24 cm 为中径组,26~36 cm 为大径组,>38 cm 为特大径组。物种多样性采用物种丰富度指数(S)、多样性指数(Simpson index,Shannon-Wiener index)和均匀度指数(Peilou index)计算^[12-14],其中

乔木重要值=(相对频度+相对胸高断面积+相对密度)/3

灌木及草本重要值=(相对频度+相对盖度+相对密度)/3

采用 Excel 进行数据整理,采用 Spss 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),显著性水平设为 $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 对白桦天然林生长的影响

不同立地的林分间伐 3 a 后,乔木群落、白桦林木平均树高、胸径、冠幅均与对照差异均不显著($P>0.05$)。

表 2 抚育间伐对白桦天然林生长的影响

Table 2 Effects of thinning on the growth of *B. platyphylla* natural secondary forest

样地	乔木群落			白桦种群		
	平均树高/m	平均胸径/cm	平均冠幅/m	平均树高/m	平均胸径/cm	平均冠幅/m
F-CK	14.27±0.22a	14.95±0.43a	2.31±0.18a	17.50±0.89a	17.70±1.69a	2.40±0.25a
F-T	14.67±0.84a	16.40±0.75a	2.45±0.38a	18.57±0.27a	20.89±0.91a	2.45±0.27a
S-CK	11.53±0.86a	13.09±0.97a	2.24±0.35a	16.90±0.40a	21.36±0.45a	2.50±0.18a
S-T	10.17±0.41a	13.13±0.68a	2.28±0.19a	15.17±0.86a	24.03±2.66a	2.60±0.32a

注:表中数据为 3 个标准地的平均值±标准误差。同列间不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

3.2 对白桦天然林乔木群落和白桦种群径级结构的影响

由表 3 可见,位于平地的林分,乔木群落和白桦种群均以中径组个体数量最多,间伐没有改变径组的分布。F-CK 乔木群落小径组、中径组、大径组、特大径组依次占林分乔木总株数的 42%、51%、6%和 1%,F-T 各径组比例分别为 40%、45%、14%和 1%,乔木群落大径组比例提高 8%。F-CK 白桦林木各径组依次占白桦总株数的 18%、71%、9%和 1%,F-T 各径组比例分别为 5%、75%和 20%,缺乏特大径组,白桦种群大径组比例提高 11%。乔木群落中径组个体数量显著低于对照 32%($P<0.05$),白桦林木小径组株数显著减少 86%($P<0.05$)。

位于坡地的林分,S-CK 和 S-T 乔木个体数量

分布均呈反“J”形分布,间伐没有改变乔木径组分布,改变了白桦种群径阶分布。S-CK 乔木群落小径组、中径组、大径组比例依次为 61%、32%和 7%,S-T 各径组比例分别为 59%、28%和 12%,乔木群落大径组比例提高 5%。S-CK 白桦林木各径组依次占白桦总株数的 10%、65%、和 26%,S-T 各径组比例分别为 10%、41%和 49%,白桦种群大径组比例提高 23%。

3.3 对白桦天然林林下灌木层和草本层更新数量和重要值的影响

2 种立地条件的林分间伐 3 a 后,灌木层物种丰富度有不同程度的减少,F-T、S-T 样地分别比各自对照减少 3 种和 8 种,分别降低了 42.9%和 47.1%,草本层物种丰富度有不同程度的增加,F-

T、S-T 分别比各自对照增加 2 种和 4 种,分别增加了 22.2%和 71.4%(表 4)。平地强度间伐后灌木层密度增大 50.0%,坡地弱度间伐后灌木层密度降低 16.7%(表 5)。平地和坡地林分间伐后草本层密度分别增加 9.4%和 191.3%,盖度分别降低 22.5%和 10.3%。

表 3 白桦天然次生林乔木群落和白桦种群径级结构

Table 3 Diameter structure of Arbor community and *B. platyphylla* population in *B. platyphylla* natural secondary forest

样地	乔木群落				白桦种群			
	小径组	中径组	大径组	特大径组	小径组	中径组	大径组	特大径组
F-CK	393.3±37.1a	480.0±11.5a	60.0±20.0a	13.3±6.7a	93.3±24.0a	366.7±46.7a	46.7±26.7a	6.7±6.7
F-T	293.3±48.1a	326.7±37.1b	100.0±20.0a	6.7±6.7a	13.3±23.1b	220.0±91.7a	60.0±40.0a	—
S-CK	1193.3±231.0a	633.3±74.2a	140.0±11.5a	—	40.0±20.0a	266.7±80.8a	106.7±30.6a	—
S-T	826.7±75.1a	393.3±98.2a	173.3±33.3a	—	33.3±41.6a	133.3±98.7a	160.0±52.9a	—

注:小径组 5 cm≤DBH<13 cm;中径组 13 cm≤DBH<25 cm;大径组 25 cm≤DBH<37 cm;特大径组 DBH≥37 cm。

表 4 白桦天然次生林林下主要植物丰富度和生长状况

Table 4 Richness and growth of understory plants in *B. platyphylla* natural forest

样地	灌木层			草本层		
	物种 丰富度/(株·m ⁻²)	密度 (%)	盖度 (%)	物种 丰富度/(株·m ⁻²)	密度 (%)	盖度 (%)
F-CK	7	2	11.9	9	85	24.9
F-T	4	3	11.3	11	93	19.3
S-CK	17	6	10	7	23	8.7
S-T	9	5	20.7	12	67	7.8

F-CK 和 F-T 样地灌木层共有种仅有 1 种珍珠梅,占 F-T 灌木层植物种的 25%,新增加了稠李(*Padus avium*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)、柳叶绣线菊的更新幼苗,消失的植物种为黄花忍冬、红松、东北茶藨子和花楷槭(*Acer ukurunduense*)(表 5)。S-CK 和 S-T 样地灌木层共有种有珍珠梅、瘤枝卫矛、刺五加、色木槭、春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)5 种,占间伐后 S-T 植物种的 55.6%,消失的植物种为花楷槭,红松,东北茶藨子、接骨木(*Sambucus williamsii*)等,新增加了风箱果(*Phytosarpus amurensis*)、光萼溲疏(*Deutzia glabrata*)、茶条槭、喜光的悬钩子(*Rosa rubus*)。2 种立地条件的林分间伐后,珍珠梅的重要值均增加,红松、东北茶藨子,花楷槭,刺玫蔷薇的重要值均降低。F-T 稠李、鼠李、柳叶绣线菊为新增物种,其重要值也增加,黄花忍冬重要值降低。S-T 新增种风箱果、光萼溲疏、悬钩子、茶条槭,重要值增加,原有种刺五加、瘤枝卫矛、喜光的春榆重要值增加,色木槭、平榛(*Corylus heterophylla*)、接骨木、东北山梅花、卫矛、暴马丁香等物种重要值降低。

F-CK 和 F-T 样地草本层共有种有 6 种,占间伐后 F-T 草本层植物种的 55%,新增加了水金凤、白花碎米荠、小叶章等 5 种(表 5)。S-CK 和 S-T 样地草本层共有种有 3 种,占间伐后 S-T 植物种的

25%,消失了繁缕、小叶章、山尖子(*Parasenecio hastatus*)等物种,新增加了二叶舞鹤草、银莲花、茜草、问荆(*Equisetum arvense*)等物种。2 种立地条件的林分间伐后,细叶苔草、羽节蕨(*Gymnocarpium jessoense*)的重要值均降低,白花碎米荠、猴腿蹄盖蕨、蚊子草、宽叶薹草(*Carex siderosticta*)的重要值均增加,这与白花碎米荠适应性广,猴腿蹄盖蕨喜适度强光、株型高大,蚊子草喜光有关^[14-16]。F-T 小叶芹、繁缕、小叶章、水金凤、山尖子以及喜温植物狭叶荨麻(*Urtica angustifolia*)重要值增加,乌苏里苔草(*Carex ussuriensis* Kom)重要值降低。S-T 繁缕、小叶章、山尖子重要值降低、银莲花、问荆、二叶舞鹤草和毛茛等物种重要值增加。繁缕、小叶章、山尖子在不同立地间伐后重要值的变化不同,主要是由于这 3 种植物均为中、湿生植物。

3.4 对白桦天然林林下植物多样性的影响

不同立地条件的林分间伐后灌木层 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数均降低;草本层 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数均升高(表 6)。

4 结论与讨论

4.1 抚育间伐对白桦天然林生长和径级结构的影响

本研究结果表明,位于不同立地的白桦天然林间伐 3 a 后,乔木群落、白桦林木平均树高、胸径、冠幅均与对照差异均不显著($P>0.05$),可能是间伐时间较短的原因。马双娇等^[14]的研究表明,水曲柳天然林间伐 5 a 后,水曲柳林木胸径变化不显著,乔木群落胸径显著增加,孙勇等^[17]的研究表明,水曲柳抚育间伐 10 a 后,胸径生长量显著高于对照。董莉莉等^[18]的研究表明,蒙古栎阔叶混交林不同强度间伐 23 a 后,林分胸径的生长高于对照。尤文忠等^[19]的研究表明,蒙古栎中龄林强度间伐 26 a 后,平均胸径显著提高。因此应对样地进行复测,获得

更多的长期观测数据,为科学合理地制定间伐强度和采伐周期提供更多依据。

对位于平地的林分进行强度间伐后,乔木群落中径组个体数量显著低于对照 32% ($P < 0.05$),白桦林木小径组株数显著减少 86% ($P < 0.05$)。乔木群落大径组比例提高 8%,白桦种群大径组比例提高 5%。可能是在间伐时强度较大,对小径级的白

桦以及其他树种中径级伐除较多导致的,这将对林分的更新将产生影响,需进一步研究合适的间伐强度。对位于坡地的林分进行弱度间伐后,改变了白桦种群阶分布,对对照样地中径组个体数量最多,间伐样地大径组数量最多(表 3),主要是由于坡地样地内白桦以外的树种,如色木槭、青楷槭等径级较小。

表 5 白桦天然次生林林下主要植物种类和重要值

Table 5 Importance value of species in *B. platyphylla* natural secondary forest

%

植物层次	植物种类	样地			
		F-CK	F-T	S-CK	S-T
灌木层	珍珠梅(<i>Sorbaria sorbifolia</i>)	38.79	42.42	2.35	4.46
	黄花忍冬(<i>Lonicera chrysantha</i>)	20.02	—	—	—
	红松(<i>Pinus koraiensis</i>)	11.79	—	1.91	—
	东北茶藨子(<i>Ribes amdsjuricum</i>)	11.71	—	6.89	—
	花楷槭(<i>Acer ukurunduense</i>)	8.22	—	1.91	—
	山杨(<i>Populus davidiana</i>)	4.73	—	—	—
	刺玫(<i>Rosa davurica</i>)	4.73	—	1.91	—
	柳叶绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)	—	36.21	18.60	—
	稠李(<i>Padus avium</i>)	—	15.61	—	—
	鼠李(<i>Rhamnus davurica</i>)	—	5.76	—	—
	刺五加(<i>Acanthopanax senticosus</i>)	—	—	7.48	14.29
	色木槭(<i>Acer mono</i>)	—	—	6.60	6.25
	瘤枝卫矛(<i>Euonymus verrucosus</i>)	—	—	2.79	4.46
	春榆(<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>)	—	—	1.91	5.36
	暴马丁香(<i>Syringa amurensis</i>)	—	—	13.34	—
	平榛(<i>Corylus heterophylla</i>)	—	—	15.97	—
	接骨木(<i>Sambucus williamsii</i>)	—	—	6.60	—
	东北山梅花(<i>Philadelphus schrenkii</i>)	—	—	4.26	—
	卫矛(<i>Euonymus bungeanus</i>)	—	—	3.66	—
	青楷槭(<i>Acer tegmentosum</i>)	—	—	1.91	—
	鸡树条荚蒾(<i>Viburnum opulus</i> var. <i>calvescens</i>)	—	—	1.91	—
	风箱果(<i>Physocarpus amurensis</i>)	—	—	—	35.71
	光萼溲疏(<i>Deutzia glabrata</i>)	—	—	—	18.75
	茶条槭(<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i>)	—	—	—	6.25
	悬钩子(<i>Rosa rubus</i>)	—	—	—	4.46
草本层	细叶苔草(<i>Carex duriuscula rigescens</i>)	38.56	14.33	38.55	4.15
	小叶芹(<i>Aegopodium alpestre</i>)	18.67	20.38	—	—
	蚊子草(<i>Filipendula palmata</i>)	17.43	26.42	—	4.35
	繁缕(<i>Stellaria media</i>)	8.67	12.62	9.18	—
	猴腿蹄盖蕨(<i>Athyrium brevifrons</i>)	5.39	9.78	—	11.23
	羽节蕨(<i>Gymnocarpium jessoense</i>)	3.87	—	16.60	—
	乌苏里苔草(<i>Carex ussuriensis</i>)	2.89	—	—	—
	狭叶荨麻(<i>Urtica angustifolia</i>)	1.55	2.68	—	—
	白花碎米荠(<i>Cardamine leucantha</i>)	—	5.80	24.91	27.83
	小叶章(<i>Deyeuxia purpurea</i>)	—	3.09	2.77	—
	水金凤(<i>Impatiens noli-tangere</i>)	—	1.84	—	—
	山尖子(<i>Parasenecio hastatus</i>)	—	1.56	5.23	—
	宽叶苔草(<i>Carex siderosticta</i>)	—	1.49	2.77	14.89
	银莲花(<i>Anemone cathayensis</i>)	—	—	—	11.00
	问荆(<i>Equisetum arvense</i>)	—	—	—	10.47
	二叶舞鹤草(<i>Maianthemum bifolium</i>)	—	—	—	10.20
	毛茛(<i>Ranunculus japonicus</i>)	—	—	—	2.74
	老鹳草(<i>Geranium wilfordii</i>)	—	—	—	2.36
	茜草(<i>Rubia cordifolia</i>)	—	—	—	2.03
	附地菜(<i>Trigonotis peduncularis</i>)	—	—	—	2.65

表 6 白桦天然次生林林下植物多样性指数

Table 6 Species diversity of understory plants in *B. platyphylla* natural forest

样地	灌木层			草本层		
	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J_{sw}</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J_{sw}</i>
F-CK	0.79	1.73	0.89	0.77	1.75	0.80
F-T	0.66	1.19	0.86	0.84	2.01	0.84
S-CK	0.90	2.51	0.89	0.80	1.77	0.85
S-T	0.80	1.88	0.86	0.85	2.23	0.90

注:*D* 为 Simpson 多样性指数;*H'* 为 Shannon-Wiener 多样性指数;*J_{sw}* 为 Pielou 均匀度指数。

4.2 抚育间伐对林下灌木层和草本层更新数量和重要值的影响

间伐后林下灌木层丰富度降低,F-T、S-T 样地分别比各自对照减少 3 种和 8 种,草本层丰富度指数升高,F-T、S-T 分别增加 2 种和 5 种。这与柏广新等^[12]研究结果一致,主要原因是间伐作业时对个体较大的灌木干扰较大,导致其数量减少甚至消失,间伐后林分密度降低,光照增加,耐荫种如接骨木因林下光照的增强而衰退;有些喜光种如山杨、暴马丁香尚未完全定居,导致定居新种数目少于消失的原有物种数目。而间伐对个体较小的草本植物影响较小,有些草本植物如狭叶荨麻等种子产量大,扩散能力较强,短时间内可以大量繁殖,迅速萌发生长,所以此时草本植物丰富度增加。但森林抚育后效果具有长期性,在一定时期林下植物多样性具有动态变化过程,必须进行连续复查和分析,有研究表明抚育较长时间以后,木本植物生长覆盖草本,抑制草本植物发育^[9]。小兴安岭天然白桦林下灌草层的物种多样性与林分所处的坡向有关^[20],本研究也发现有这种趋势,缓坡林下植物丰富度高于平地林下植物丰富度。

一般地,林下木本植物多样性指数随采伐强度增强而增加,对草本植物的影响因研究对象而异^[12]。本研究抚育间伐后灌木层 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数均降低,草本层 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数均升高。平地强度间伐后灌木由 7 种降低为 4 种,虽数量由 43 株增加为 66 株而密度变大,但全部物种出现在样方中的次数由 14 次降为 10 次,频度降低,导致植物多样性降低。坡地弱度间伐后不仅个体数由 114 株降低至 56 株,全部物种出现在样方中次数也由 34 次降低至 14 次,因此多样性也降低,这与汤美霞等^[7]的研究结果一致。草本层多样性指数升高,与间伐后物种数增加、个体数增加、出现次数增加有关,与汤美霞等^[7]、柏广新等^[12]、杨爱芳等^[21]的研究结果一致。

参考文献:

[1] 马玉秋. 黑龙江国有林区森林资源-环境-经济复合系统可持续发展研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2015.

[2] 李春义,马履一,徐昕. 抚育间伐对森林生物多样性影响研究进展[J]. 世界林业研究,2006,19(6):27-32.

[3] 吴福田. 黑龙江省森工林区白桦资源的现状与培育途径的探讨[J]. 林业勘察设计,2013,42(2):45-48.

[4] 蒙宽宏. 黑龙江森工国有林区森林资源与生态功能总量研究[J]. 林业科技,2016,41(4):6-11.

[5] 王鹏,李国江,王石磊,等. 帽儿山实验林场白桦人工幼林适宜微立地研究[J]. 森林工程,2010,26(3):11-13,17.

[6] 孙志虎,王庆成,梁淑娟. 间伐和修枝对白桦天然林林木生长的影响[J]. 东北林业大学学报,2004,32(6):11-12,18.

SUN Z H, WANG Q C, LIANG S J. Effects of thinning and pruning on the growth of white birch in natural forests[J]. Journal of Northeast Forestry University,2004,32(6):11-12,18. (in Chinese)

[7] 汤美霞,马雷. 抚育间伐对白桦林物种多样性的影响[J]. 防护林科技,2018,18(12):13-15.

[8] 黄团冲,贺康宁,王先棒. 青海大通白桦林冠层降雨再分配与冠层结构关系研究[J]. 西北林学院学报,2018,33(3):1-6,20.

HUANG T C, HE K N, WANG X B. Relationship between rainfall redistribution and canopy structure of *Betula platyphylla* canopy in Datong Qinghai[J]. Journal of Northwest Forest University,2018,33(3):1-6,20. (in Chinese)

[9] 崔佳佳,铁牛. 大兴安岭北部森林群落结构及植物多样性特征研究[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):24-30.

CUI J J, TIE N. Forest community structure and plant diversity characteristics in Northern Greater Khingan Mountains[J]. Journal of Northwest Forest University,2021,36(2):24-30(in Chinese)

[10] 胡静杉,铁牛. 兴安落叶松与白桦混交林合理经营密度研究[J]. 西北林学院学报,2021,36(2):180-185.

HU J S, TIE N. Rational operating density of mixed forest of *Larix gemlinii* and *Betula platyphlla*[J]. Journal of Northwest Forest University,2021,36(2):180-185(in Chinese)

[11] 张象君,王庆成,郝龙飞,等. 长白落叶松人工林林隙间伐对林下更新及植物多样性的影响[J]. 林业科学,2011,47(8):7-13.

ZHANG X J, WANG Q C, HAO L F, et al. Effect of gap thinning on the regeneration and plant species diversity in *Larix olgensis* plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(8):7-13. (in Chinese)

[12] 柏广新,张命军. 不同抚育间伐强度对长白山硬阔叶林林下植物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报,2011,39(12):27-29,73.

BAI G X, ZHANF M J. Effect of thinning intensity on diversity of undergrowth plants in a hardwood forest in Changbai Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011,39(12):27-29,73. (in Chinese)

[13] 陈俊华,文吉富,王国良,等. Excel 在计算群落生物多样性指数中的应用[J]. 四川林业科技,2009,30(3):88-90,60.

[14] 马双娇,王庆成,崔东海,等. 抚育间伐对水曲柳天然林群落结构及植物多样性的影响[J]. 东北林业大学学报,2019,47(2):1-7.

- MA S J, WANG Q C, CUI D H, *et al.* Effect of thinning on stand structure and plant species diversity in natural *Fraxinus mandschurica* forest stands[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2019, 47(2): 1-7. (in Chinese)
- [15] 夏富才, 赵秀海, 张春雨, 等. 长白山红松阔叶林及其次生林早春植物群落特征研究[J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(2): 166-171.
- XIA F C, ZHAO X H, ZHANG C Y, *et al.* Community characteristics of early-spring herbs in Korean Pine broad-leaved forest and relative secondary forest of Changbai Mountain [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(2): 166-171. (in Chinese)
- [16] 张屹岩, 杨利民. 不同生境中猴腿蹄盖蕨种群调查[J]. 中国野生植物资源, 2011, 30(2): 5-8, 50.
- [17] 孙勇, 吕伟伟, 陈小波. 不同间伐强度对水曲柳次生林胸径生长的影响[J]. 防护林科技, 2015, 15(11): 39-40, 43.
- [18] 董莉莉, 赵济川, 汪成成, 等. 抚育间伐后蒙古栎阔叶混交林径级结构及生长动态研究[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2019, 39(6): 98-104.
- DONG L L, ZHAO J C, WANG C C, *et al.* Study on diameter structure and growth dynamics of mixed *Quercus mongolica* broad-leaved natural stands after tending thinning[J]. Journal of Southwest Forestry University: Natral Science, 2019, 39(6): 98-104. (in Chinese)
- [19] 尤文忠, 赵刚, 张慧东, 等. 抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 56-64.
- YOU W Z, ZHAO G, ZHANG H D, *et al.* Effects of thinning on growth of Mongolian oak (*Quercus mongolica*) Secondary forests [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 56-64. (in Chinese)
- [20] 赵丽娜, 孙广玉, 尹鹏达, 等. 小兴安岭天然白桦林植物物种多样性的多尺度分析[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(6): 46-48.
- ZHAO L N, SUN G Y, YIN P D, *et al.* Multi-scale analysis of plant species diversity of Natural *Betula platyphylla* forests in Xiaoxing'an Mountain [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(6): 46-48. (in Chinese)
- [21] 杨爱芳, 韩有志, 杨秀清, 等. 不同密度云杉林下草本植物多样性[J]. 浙江农林大学学报, 2014, (31)5: 676-682.
- YANG A F, HAN Y Z, YANG X Q, *et al.* Diversity of under-story herbs in *Picea* forests with different stand densities [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2014, (31)5: 676-682. (in Chinese)

(上接第 202 页)

- [23] LARKIN M A, BLACKSHIELDS G, BROWN N P, *et al.* Clustal W and Clustal X version 2. 0 [J]. Bioinformatics, 2007, 23(21): 2947-2948.
- [24] RONQUIST F, HUELSENBECK J P. MrBayes3: bayesian phylogenetic inference under mixed models [J]. Bioinformatics, 2003, 19: 1572-1574.
- [25] 贺宏伟, 陈彬, 韩立荣, 等. 番茄枯萎病菌拮抗放线菌的筛选及其抑菌活性研究[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(4): 29-33.
- HE H W, CHEN B, HAN L R, *et al.* Screening of antagonistic actinomycetes against *Fusarium oxysporum* and its antimicrobial activity [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2018, 41(4): 29-33. (in Chinese)
- [26] 徐丽华, 李文均, 刘志恒, 等. 2007. 放线菌系统学—原理、方法及实践[M]. 北京: 科学出版社: 24-27.
- [27] 杨宁, 董悦生, 刘文财, 等. 固态培养法提高放线菌次级代谢产物的多样性[J]. 中国抗生素杂志, 2013, 38(10): 736-740.
- YANG N, DONG Y S, LIU W C, *et al.* Improving the diversity of secondary metabolites of actinomycetes by solid-state culture [J]. Chinese Journal of Antibiotics, 2013, 38(10): 736-740. (in Chinese)
- [28] LIU C, LI Y, YE L, *et al.* *Actinocorallia lasiacapitis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from the head of an ant (*Lasius fuliginosus* L) [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2017, 67(6): 1529-1534.
- [29] LI Y, YE L, WANG X, *et al.* *Streptomyces camponoticapitis* sp. nov., a novel actinomycete isolated from the head of an ant (*Camponotus japonicus* Mayr) [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2016, 66(10): 3855-3859.
- [30] 张贝贝, 刘文洪, 李俊峰, 等. 海洋放线菌 NZ1203 菌种鉴定及活性产物研究[J]. 中华中医药学刊, 2014, 32(11): 2657-2660.
- ZHANG B B, LIU W H, LI J F, *et al.* Identification of marine actinomycetes NZ1203 and study on its active products [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2014, 32(11): 2657-2660. (in Chinese)
- [31] 陈丹, 叶波, 刘燕娟, 等. 水稻纹枯病菌拮抗菌 CZB40 的筛选、鉴定及其发酵条件优化[J]. 植物保护, 2015, 41(5): 46-53.
- CHEN D, YE B, LIU Y J, *et al.* Screening and identification of antagonistic strain CZB40 from rice sheath blight and optimization of fermentation conditions [J]. Plant Protection, 2015, 41(5): 46-53. (in Chinese)