doi:10.3969/j.issn.1006-8023.2024.03.005

华北落叶松混交林林下植物群落特征对间伐的响应

祝顺万[1], 刘利霞[1], 胡雪凡[2*],代伟[3],王月容[2],李芳[2]
(1.北京市京西林场管理处,北京 102300;2.北京市园林绿化科学研究院 绿化植物育种北京市重点实验室,北京 100102;3.北京市密云区五座楼林场,北京 101500)

摘　要:为探究提高华北落叶松混交林生物多样性的抚育措施,通过对北京市京西林场对照区(Ⅰ)、弱度间伐(Ⅱ)、中度间伐(Ⅲ)和强度间伐(Ⅳ)4 种间伐强度下的华北落叶松混交林林下植物群落调查和监测,分析其林下植被变化特征。结果表明,4 种间伐强度下,林下灌木种类分别为 5、7、7、6 种,草本种类分别为 11、11、10、12 种,共有物种包括山楂叶悬钩子、榛、绣线菊、溲疏、野青茅、苔草和假还阳参;随着林分郁闭度减小,灌木和草本数量增加,中度抚育强度样地(Ⅲ)中灌木数量最多,强度间伐样地(Ⅳ)中草本数量最多;随着间伐强度增加,喜光灌木如六道木、接骨木、连翘增多,凸显阳光对植被影响;不同抚育强度下灌木和草本植被重要值排序不同;灌木层中,绣线菊、牛叠肚在 4 种间伐强度样地中重要值均排前三,荆条仅在对照区(Ⅰ)中重要值排前三,连翘仅在强度间伐样地(Ⅳ)中重要值排前三,草本层中,野青茅在弱度、中度间伐强度均重要值排前三,尤其在强度间伐样地(Ⅳ)中,重要值达到 37.16;物种多样性、群落相似性和林下物种多样性评估表明,不同抚育强度影响物种组成和多样性,高强度间伐有助于提高多样性,尤其是在草本层。研究结果为优化华北落叶松混交林抚育策略以提升生物多样性的保护效果提供重要参考。

关键词:华北落叶松;间伐强度;林下植被;物种多样性;森林群落
中图分类号:S753.7; S718.5　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1006-8023(2024)03-0047-09

The Effects of Different Thinning Intensities on the Understory Vegetation Characteristics of Mixed Forests of *Larix principis-rupprechtii*

ZHU Shunwan[1], Liu Lixia[1], HU Xuefan[2*], DAI Wei[3], WANG Yuerong[2], LI Fang[2]
(1. Beijing Jingxi Forest Farm Administrative Office, Beijing 102300, China; 2. Beijing Key Laboratory of Greening Plants Breeding, Beijing Academy of Forestry and Landscape Architecture, Beijing 100102, China; 3. Wuzuolou Forest Farm of Miyun District, Beijing 101500, China)

Abstract: In order to explore the management measures to improve the biodiversity of mixed forest of *Larix principis-rupprechtii*, through investigations and monitoring of understory plant communities in mixed forests of *Larix principis-rupprechtii* subjected to four different thinning intensities - control group (Ⅰ), light (Ⅱ), moderate (Ⅲ) and heavy (Ⅳ) - within the Beijing Forest Farm, this study analyzed variations in understory vegetation. Results revealed that under the four thinning intensities, the number of understory shrub species were 5, 7, 7, 6 respectively, while herbaceous species were 11, 11, 10, 12, respectively. Shared species encompass species included *Rubus crataegifolius*, *Corylus heterophylla*, *Spiraea salicifolia*, *Deutzia scabra*, *Deyeuxia pyramidalis*, *Carex tristachya* Thunb., and *Crepidiastrum lanceolatum*. As the forest canopy closure decreased, the number of shrubs and herbaceous plants increased. In the moderate thinning intensity plots (Ⅲ), the number of shrubs was the highest, while in the heavy thinning intensity plots (Ⅳ), the number of herbaceous plants was the highest. Increased thinning intensity prompted a rise in light-loving shrubs such as *Zabelia biflora*, *Sambucus williamsii*, and *Forsythia suspensa*, underscoring the sunlight's impact on vegetation. Significant variations were observed in the ranking of importance values of shrubs and herbs across different thinning intensities. Notably, species like

收稿日期:2023-10-08
基金项目:绿化植物育种北京市重点实验室项目(YZQN202302);北京市园林绿化科学研究院技术服务项目(STXF20220811)。
第一作者简介:祝顺万,高级工程师。研究方向为森林培育。E-mail: 53925437@qq.com
*通信作者:胡雪凡,博士,高级工程师。研究方向为森林可持续经营。E-mail:hufanzi@163.com
引文格式:祝顺万,刘利霞,胡雪凡,等. 华北落叶松混交林林下植物群落特征对间伐的响应[J]. 森林工程,2024,40(3):47-55.

ZHU S W, LIU L X, HU X F, et al. The effects of different thinning intensities on the understory vegetation characteristics of mixed forests of *Larix principis-rupprechtii*[J]. Forest Engineering, 2024, 40 (3):47-55.

Spiraea salicifolia and *Rubus crataegifolius* consistently ranked among the top three in all intensities. However, *Corylus heterophylla* only appeared in the top three at control group (Ⅰ), while *Forsythia suspensa* was exclusive to heavy thinning (Ⅳ). In the herbaceous layer, *Deyeuxia pyramidalis* ranked among the top three in light and moderate intensities, with a particularly high value of 37.16 in the heavy intensity (Ⅳ). Analysis of species diversity, community similarity, and understory diversity suggested that different thinning intensities influence species composition and diversity, increased thinning intensity positively impacted diversity, especially in the herbaceous layer. The results of this study provide an important reference for optimizing the management strategy of mixed larch forest of *Larix principis-rupprechtii* to improve the conservation effect of biodiversity.

Keywords: *Larix principis-rupprechtii*; thinning intensity; understory vegetation; species diversity; forest community

0 引言

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)是我国华北地区高山针叶林带中的主要树种之一,生长迅速,具有优良的材质、强大的抗逆性能和维持生态系统功能的重要作用[1]。作为华北山地半湿润地区针叶林的主要建群树种,华北落叶松林被广泛用于水源涵养、土壤保持、风沙防治和生态旅游等方面[2],是区域生态系统中不可替代的一部分。

华北落叶松林林下植被是林区生态系统中的重要组成部分,林下植被的物种组成、生长特性、群落结构和物种多样性等特征是衡量林区生态系统健康状态的重要指标[2-4]。影响华北落叶松林林下植物群落特征的主要因素是抚育间伐、人工修枝等人工抚育措施[5],适度抚育可以促进林下植被的生长和发展,提高物种多样性和群落稳定性。原因在于适度抚育可以提高华北落叶松林林下植被的光照、水分、养分和生长空间等,并可以控制林下杂草和灌木的生长,从而减少植物间的竞争,为植物的生长和发展创造良好的环境条件。但是,过度抚育会破坏林下生态环境平衡,导致林下植被的物种多样性下降[6]。因此,在进行森林抚育时,应该遵循适度抚育的原则,根据华北落叶松林林下植被的生长状态和环境条件,制定科学合理的抚育措施,以促进植被的生长和发展。

因此,本研究通过实地调查和监测北京市京西林场不同间伐强度下的华北落叶松混交林林下植被的物种组成和数量等指标,探究抚育措施对林下植物群落特征的影响,以期揭示不同抚育措施对华北落叶松林林下植物群落特征的影响规律,为制定科学合理的抚育措施提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于北京市京西林场,地理坐标为115°40′~116°38′E, 39°40′~40°10′N。林区山体属太行山系小五台山余脉,海拔1 100~1 610 m。属温带大陆性季风气候,四季分明,春季短暂多风,夏季较凉爽,冬季寒冷干燥,无霜期150~180 d,平均气温7~10 ℃,年平均降雨量500~600 mm。北京市京西林场是落叶阔叶林和温性针叶林适生区,经过漫长的演替发展,形成了针、阔人工林与天然次生灌丛相结合的植被类型。

林场华北落叶松混交林面积506.7 hm^2,多分布在中山地带,土壤为山地棕壤、山地淋溶褐土、碳酸盐褐土[9],起源全部为人工造林,栽植于20世纪50年代,“二类”调查数据显示共计58个小班,地类全部是针叶林地,林龄70 a。因长期未得到及时抚育和有效经营管理,林分密度过大,森林生长量、蓄积量受到明显的限制。

1.2 研究方法

2020年,在京西林场曹家铺分场以生物多样性恢复为主导功能的华北落叶松混交林中,以“模拟天然林窗”为主要的恢复手段,配合近自然森林经营等技术,选取了26.67 hm^2 森林植物群落特征相似的样地进行4种强度的间伐作业,对照区(Ⅰ),间伐强度0,间伐后林分郁闭度为0.8;弱度间伐(Ⅱ),间伐强度50.86%,间伐后林分郁闭度降至0.6;中度间伐(Ⅲ),间伐强度为72.53%,间伐后林分郁闭度降至0.4;强度间伐(Ⅳ),间伐强度86.39%,间伐后林分郁闭度降至0.2。

2022年9月在4种间伐强度的样地中分别设置3块30 m×30 m的样地,共12块样地,样地概况见表1。对样地内所有的木本植物进行记录种名、胸径、树高、枝下高和冠幅。在每块样地的东北、东南、中心、西北和西南5个方位分别设置5 m×5 m灌木样方和1 m×1 m草本样方,记录样方内植物种名、数量、高度和盖度。

表 1　样地概况

Tab. 1 Overview of plots

样地 Plots	间伐强度(%) Thinning intensity	间伐后平均胸径/cm Post-thinning mean DBH height	间伐后平均树高/m Post-thinning mean tree height	海拔/m Elevation	地貌 Landform	坡位 Slope position	坡度(°) Slope gradient	坡向 Aspect	间伐后树种组成 Post-thinning tree species composition	间伐后林分密度/(株·hm^{-2}) Post-thinning forest stand density	间伐后郁闭度 Post-thinning canopy closure
Ⅰ	0	16.0	14.3	1 003	中山	中坡	11	东北	8 落叶松 2 油松	1 224	0.8
Ⅱ	50.86	17.4	15.2	1 008	中山	中坡	15	东北	9 落叶松 1 油松	641	0.6
Ⅲ	72.53	18.4	15.5	1 001	中山	中坡	12	北	9 落叶松 1 油松	332	0.4
Ⅳ	86.39	19.6	17.1	1 017	中山	中坡	11	北	8 落叶松 2 油松	224	0.2

注:"间伐强度"为间伐树木株数占总株数的百分比。

Note: The 'thinning intensity' is the percentage of thinned trees relative to the total number of trees.

1.3　数据处理

1.3.1　植物种类组成查询

翻阅《中国植物志》查询植物的科属分类、生活型及常见生长环境等。

1.3.2　林下植被物种数量评价指标

1)相对多度=某一物种的株数/所有物种总株数×100。

2)频度=某一物种出现的样方数/总样方数×100。

相对频度=某一物种出现的样地数/总样地数×100。

3)相对盖度=某一物种的盖度/所有物种的盖度×100。

4)重要值=(相对多度+相对频度+相对盖度)/3。

1.3.3　物种多样性评价指标

物种多样性是指群落的物种数、个体数及种群个体分配均匀度三者的综合,能有效地表征生物群落和生态系统结构的复杂性,见表 2 和表 3。本研究所计算的物种多样性包括 Margalef 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 指数(H')、基于 Shannon 指数的 Pielou 均匀度指数(J)[10]、Jaccard 群落相似系数(C)[11]和多样性阈值(D)[12]。

Margalef 指数为

$$R = (S - 1)/\mathrm{Ln}N \text{。} \quad (1)$$

式中:S 为物种总数;N 为物种总个体数。

Shannon-Wiener 指数为

$$H' = -\Sigma P_i \mathrm{Ln}P_i \text{。} \quad (2)$$

式中:i 为物种个数,$i = 1, 2, \cdots, S$;P_i 为物种 i 的重要值。

Pielou 均匀度指数为

$$J = H'/\mathrm{Ln}S \text{。} \quad (3)$$

式中:H'为 Shannon 指数;S 为物种总数。

Jaccard 相似系数为

$$C_j = j/(a + b - j) \text{。} \quad (4)$$

式中:j 为 2 个群落共有的物种数;a 和 b 分别为 2 个群落各自含有的全部物种数。

多样性阈值为

$$D = H'/J \text{。} \quad (5)$$

表 2　群落相似性等级表[13]

Tab. 2 Table of community similarity levels

评价等级 Evaluation grade	极不相似 Extremely dissimilar	中等不相似 Moderately dissimilar	中等相似 Moderately similar	极相似 Extremely similar
Jaccard 相似系数 Jaccard similarity coefficient	0~0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	0.75~1.00

表 3　物种多样性阈值等级表[14]

Tab. 3 Table of species diversity threshold levels

评价等级 Evaluation grade	非常丰富 Extremely rich	丰富 Rich	较好 Quite good	一般 Ordinary	差 Inferior
阈值 Threshold	>3.5	3.5~2.6	2.6~1.6	1.6~0.6	<0.6

2 结果与分析

2.1 抚育间伐强度对华北落叶松混交林林下植被组成的影响

由表4调查结果显示,4种间伐强度的华北落叶松混交林林下灌木种类分别有5、7、7、6种。间伐强度最低(Ⅰ)的样地灌木种类最少,其他3种间伐强度的样地灌木种类数量接近。4种间伐强度的华北落叶松混交林林下草本种类分别有11、11、10、12种,数量接近。4种间伐强度的林分中所共有的植物种类有灌木层的山楂叶悬钩子(*Rubus crataegifolius*)、榛(*Corylus heterophylla*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)和溲疏(*Deutzia scabra*),草本层的野青茅(*Deyeuxia pyramidalis*)、苔草(*Carex tristachya*)和假还阳参(*Crepidiastrum lanceolatum*)。

表4 4种间伐强度的华北落叶松混交林林下植被种类比较

Tab. 4 Comparison of understory vegetation species in mixed forest of *Larix principis-rupprechtii* after four thinning intensities

层次 Layer	植物名称 Plant name	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
灌木层 Shrub layerlayer	牛叠肚 *Rubus crataegifolius*	√	√	√	√
	榛 *Corylus heterophylla*	√	√	√	√
	六道木 *Zabelia biflora*		√	√	√
	短尾铁线莲 *Clematis brevicaudata*		√		
	绣线菊 *Spiraea salicifolia*	√	√	√	√
	荆条 *Vitex negundo var. heterophylla*	√		√	
	连翘 *Forsythia suspensa*				√
	溲疏 *Deutzia scabra*	√	√	√	√
	接骨木 *Sambucus williamsii*		√	√	
草本层 Herb layer	野青茅 *Deyeuxia pyramidalis*	√	√	√	√
	唐松草 *Thalictrum aquilegiifolium*L.			√	√
	牛扁 *Aconitum barbatum* var. *puberulum*		√		
	茜草 *Rubia cordifolia*	√	√	√	√

续表4

层次 Layer	植物名称 Plant name	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
草本层 Herb layer	小红菊 *Chrysanthemum chanetii*	√	√	√	
	紫花地丁 *Viola philippica*	√	√	√	
	苔草 *Carex tristachya*	√	√	√	√
	香茶菜 *Isodon amethystoides*	√			
	透骨草 *Phryma leptostachya*	√			
	白首乌 *Cynanchum bungei*	√	√		√
	大丁草 *Leibnitzia anandria*	√			
	星宿菜 *Lysimachia fortunei*				√
	艾 *Artemisia argyi*				√
	阴地蒿 *Artemisia sylvatica*				√
	委陵菜 *Potentilla chinensis*		√	√	√
	穿龙薯蓣 *Dioscorea nipponica*	√	√	√	
	玉竹 *Polygonatum odoratum*		√		
	狼尾草 *Pennisetum alopecuroides*			√	
	抱茎苦荬菜 *Crepidiastrum sonchifolium*				√
	假还阳参 *Crepidiastrum lanceolatum*	√	√	√	√
	三脉紫菀 *Aster ageratoides*				√

注:"√"表示样地中存在此种物种。

Note: "√" indicates the presence of this species in the plot.

由图1可知,林下植被灌木数量由大到小为:Ⅱ(132株)、Ⅳ(123株)、Ⅰ(110株)、Ⅲ(104株)、林下植被草本数量Ⅲ(222株)、Ⅳ(178株)、Ⅱ(144株)、Ⅰ(125株),其中,间伐强度为Ⅱ时,灌木植被数量最大;间伐强度为Ⅲ时,草本植被数量最大。说明随着林分郁闭度的下降,导致林下获得了更多阳光,更多的灌木植物和草本植物可以得到充分的生长,故而种类和株丛数增多。随着间伐强度的持续增大,林分中逐渐出现了六道木(*Zabelia biflora*)、接骨木(*Sambucus williamsii*)和连翘(*Forsythia suspensa*)等喜光灌木。

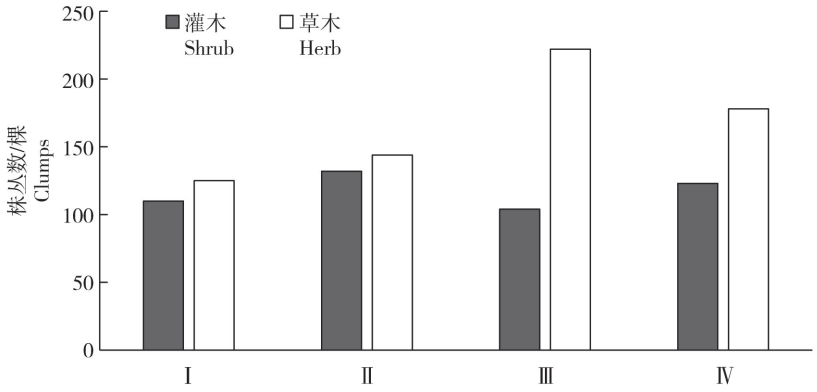


图 1　不同间伐强度华北落叶松混交林林下植被数量对比

Fig. 1 Comparison of understory vegetation quantity in mixed forest of *Larix principis-rupprechtii* after different thinning intensities

2.2　重要值分析

由表 5 可以看出,在间伐强度Ⅰ样地中,重要值由大到小排序前三的灌木植被为绣线菊(33.01)、荆条(28.12)和牛叠肚(23.72);在间伐强度Ⅱ样地中,重要值由大到小排序前三的灌木植被为绣线菊(40.83)、溲疏(17.36)和牛叠肚(13.63);在间伐强度Ⅲ样地中,重要值由大到小排序前三的灌木植被为绣线菊(33.57)、牛叠肚(24.05)和溲疏(16.85);在间伐强度Ⅳ样地中,重要值由大到小排序前三的灌木植被为牛叠肚(42.08)、绣线菊(26.33)和连翘(9.70)。绣线菊和牛叠肚在 4 种间伐强度样地中都是重要值排序前三的灌木植被;荆条只出现在间伐强度最小的Ⅰ样地重要值排序前三的灌木植被中;连翘只出现在间伐强度最大的Ⅳ样地重要值排序前三的灌木植被中。

在间伐强度Ⅰ中,重要值由大到小排序前三的草本植被为紫花地丁(28.35)、假还阳参(23.03)和苔草(10.70);在间伐强度Ⅱ样地中,重要值由大到小排序前三的草本植被为野青茅(26.87)、委陵菜(20.79)和小红菊(9.26);在间伐强度Ⅲ样地中,重要值由大到小排序前三的草本植被为野青茅(24.98)、小红菊(17.13)和苔草(16.92);在间伐强度Ⅳ样地中,重要值由大到小排序前三的草本植被为野青茅(37.16)、委陵菜(16.79)和艾(6.97)。野青茅在间伐强度Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ样地中的重要值均为排序前三的草本植被,而且在间伐强度最大的Ⅳ样地中,野青茅重要值远大于排名第二的委陵菜,说明野青茅在这些样地中具有重要的生态作用,而其他草本植被种类在不同样地中的表现则有所不同。

表 5　不同强度抚育后华北落叶松混交林林下植被物种重要值比较

Tab. 5 Comparison of importance values of understory vegetation species in mixed forest of *Larix principis-rupprechtii* after different thinning intensities

间伐强度 Thinning intensity	层次 Layer	植物名称 Plant name	重要值 Importance value	排序 Sorting
Ⅰ	灌木层	绣线菊	33.01	1
		荆条	28.12	2
		牛叠肚	23.72	3
	草本层	紫花地丁	28.35	1
		假还阳参	23.03	2
		苔草	10.70	3
Ⅱ	灌木层	绣线菊	40.83	1
		溲疏	17.36	2
		牛叠肚	13.63	3
	草本层	野青茅	26.87	1
		委陵菜	20.79	2
		小红菊	9.26	3
Ⅲ	灌木层	绣线菊	33.57	1
		牛叠肚	24.05	2
		溲疏	16.85	3
	草本层	野青茅	24.98	1
		小红菊	17.13	2
		苔草	16.92	3
Ⅳ	灌木层	牛叠肚	42.08	1
		绣线菊	26.33	2
		连翘	9.70	3
	草本层	野青茅	37.16	1
		委陵菜	16.79	2
		艾	6.97	3

2.3 物种多样性分析

由表6可知,在4种间伐强度的样地灌木层中,丰富度指数均表现为草本层大于灌木层,说明林下植被中草本层的植物丰富度程度均大于灌木层。Shannon-Wiener 指数(H')在4种间伐强度的样地中均差异不显著。Pielou 均匀度(J)在林下灌木层和草本层变化规律一致,均随着间伐强度的增大先上升后下降,样地Ⅲ显著大于其他样地。在林下灌木层中,样地Ⅲ的灌木层植物丰富度指数最高,植物物种分布最平均;样地Ⅰ丰富度指数最低,而且植物物种分布不够平均。在林下草本层中,样地Ⅳ的丰富度指数最高,物种分布相对平均;样地Ⅲ丰富度指数最低,物种分布均匀度最好。

表6 不同强度间伐后华北落叶松混交林林下植被物种多样性指数

Tab. 6 Species diversity index of understory vegetation in mixed forests of *Larix principis-rupprechtii* after different thinning intensities

间伐强度 Thinning intensity	灌木层 Shrub layer			草本层 Herb layer		
	丰富度指数(R) Richness index	Shannon-Wiener 指数(H') Shannon-Wiener index	Pielou 均匀度(J) Pielou evenness	丰富度指数(R) Richness index	Shannon-Wiener 指数(H') Shannon-Wiener index	Pielou 均匀度(J) Pielou evenness
Ⅰ	0.64±0.15 b	0.91±0.15 a	0.65±0.09 b	2.07±0.18 a	1.42±0.25 a	0.71±0.04 b
Ⅱ	1.23±0.20 a	0.99±0.20 a	0.63±0.10 b	2.01±0.26 ab	1.40±0.14 a	0.75±0.16 ab
Ⅲ	1.29±0.14 a	0.91±0.15 a	0.85±0.07 a	1.67±0.12 b	1.59±0.15 a	0.85±0.07 a
Ⅳ	1.04±0.19 a	0.96±0.16 a	0.62±0.14 b	2.12±0.19 a	1.60±0.19 a	0.74±0.18 ab

注:表中数据为平均值±标准差,不同类型样地相同层次后相同字母表示在0.05水平上差异不显著,不同字母表示差异显著。下同。

Note: The data in the table are presented as mean ± standard deviation. The same letter within the same level of different types of plots indicates no significant difference at the 0.05 level, while different letters indicate a significant difference. The same below.

2.4 群落相似性分析

由图2可知,在4种间伐强度的华北落叶松混交林中,Ⅰ与Ⅱ样地(Ⅰ-Ⅱ)、Ⅰ与Ⅲ样地(Ⅰ-Ⅲ)、Ⅱ与Ⅲ样地(Ⅱ-Ⅲ)相似性指数在0.50~0.75,属于中等相似。这表明这些样地之间在林下植物群落组成方面有一定的相似性,存在一些共有的物种。这种中等相似性可能是由于这些样地具有相似的抚育措施或环境条件所致。Ⅰ与Ⅳ样地(Ⅰ-Ⅳ)、Ⅱ与Ⅳ样地(Ⅱ-Ⅳ)、Ⅲ与Ⅳ样地(Ⅲ-Ⅳ)相似性指数在0.25~0.50,属于中等不相似。这意味着这些样地之间在林下植物群落组成方面差异较大,可能存在较少的共有物种。这种中等不相似性可能是由于不同的间伐强度导致的,间伐强度越高,样地内外的植物群落差异可能越大。

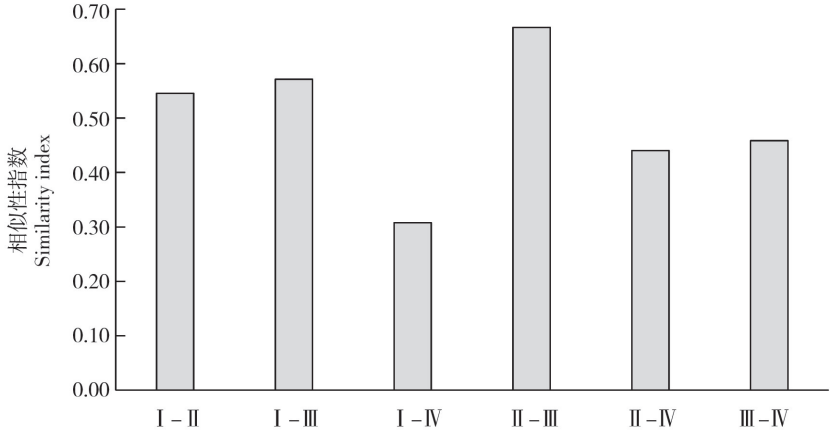


图2 不同间伐强度华北落叶松混交林林下植物群落的相似性

Fig. 2 Similarity of understory plant communities in mixed forest of *Larix principis-rupprechtii* after different thinning intensities

在这 4 个样地中,Ⅱ与Ⅲ样地的林下植物群落相似性最高,其 Jaccard 相似性指数值为 0.67。这说明Ⅱ与Ⅲ样地在物种组成上具有较高的重叠度,可能存在较多的共有物种。其次是Ⅰ与Ⅲ样地、Ⅰ与Ⅱ样地,这些样地之间的相似性较高,但相对于Ⅱ与Ⅲ样地仍然较低。最后,Ⅰ与Ⅳ样地的林下植物群落相似性最低,其 Jaccard 相似性指数值为 0.31。这表明Ⅰ与Ⅳ样地之间的物种组成差异较大,可能存在较少的共有物种。

2.5　林下物种多样性评估

由表 7 可知,在 4 种间伐强度的华北落叶松混交林林下灌木层和草本层中,多样性阈值最大的均为间伐强度最大的Ⅳ样地,分别为 1.53 和 2.15。这表明较高的间伐强度对于促进物种多样性具有积极的影响。间伐强度的增加可能提供了更多的资源和生境条件,有利于支持更多的物种生存和繁殖。因此,间伐强度最大的样地在林下植被组成方面具有较高的物种多样性。根据物种多样性阈值等级表 2 可知,不同间伐强度的林下植被灌木层的物种多样性阈值均属于“一般”级,草本层的物种多样性阈值均属于“较好”级。这意味着在不同间伐强度下,灌木层的物种多样性整体上处于一般水平,而草本层的物种多样性则相对较高。这可能是因为间伐强度的增加对草本植物的生存和生长有更显著的促进作用。

表 7　不同强度间伐后华北落叶松混交林林下植被物种多样性阈值

Tab. 7 Threshold of species diversity in understory vegetation of mixed forests of *Larix principis-rupprechtii* after different intensity of thinning intensities

层次 Layer	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
灌木层 Shrub layer	1.39±0.11 a	1.52±0.13 a	1.07±0.12 b	1.53±0.15 a
草本层 Herb layer	2.01±0.09 ab	1.86±0.05 b	1.87±0.09 b	2.15±0.06 a

3　讨论

抚育措施可以显著影响森林植被的物种组成和多样性[15]。另外,光照、水分和养分是森林植被物种分布和多样性的重要因素,不同的抚育措施对这些环境因素的改变也会对森林植被产生影响[16]。在不同间伐强度下的华北落叶松混交林中,林下植被的种类和数量存在差异。这些差异反映了不同间伐强度对林下植被物种组成和多样性的影响。

在本研究中,Ⅱ样地的灌木植物数量和 Shannon-Wiener 指数最高,而Ⅲ样地的草本植物数量和 Pielou 均匀度最高。这表明在间伐强度适中的情况下,华北落叶松混交林林下植被数量、物种多样性和分布均匀度较高。相比之下,当间伐强度过低时,植被物种数量和多样性较低(Ⅰ样地)。当间伐强度过高时,植被物种分布不够平均(Ⅳ样地),因此野青茅数量占据了绝对优势地位。

根据 Jaccadrd 相似性原理[11],不同间伐强度的华北落叶松混交林样地之间存在着不同程度的相似性和不相似性。间伐强度的不同可能导致样地之间的林下植物群落组成差异。这些结果对于森林经营管理者在制定抚育措施和恢复计划时提供了重要的参考,以最大程度地促进林下植物群落的恢复和生态系统的健康。进一步研究可以探索不同间伐强度对林下植物群落功能和生态过程的影响,并提供更详细的解释和指导。

通过对华北落叶松混交林的林下植被物种多样性评估可知,较高的间伐强度对植被多样性具有积极的影响。在本研究中,间伐强度最大的样地在灌木层和草本层中展现了最高的物种多样性阈值。此外,不同间伐强度下的灌木层物种多样性整体上处于一般水平,而草本层物种多样性相对较好。这些结果提供了关于抚育措施对物种多样性的重要信息,为森林经营管理者在制定抚育策略和保护措施时提供了科学依据。进一步的研究可以探索间伐强度与不同层次的物种多样性之间的因果关系,并进一步优化抚育策略以提升生物多样性保护效果。

综上所述,不同间伐强度下华北落叶松混交林的样地在林下植物群落组成方面存在明显的差异。

了解不同间伐强度对植物群落的影响可以帮助更好地管理和保护森林生态系统。进一步的研究可以探究不同抚育措施对物种多样性、生态功能和生态系统稳定性的影响,为制定可持续的森林经营管理策略提供科学依据。此外,森林间伐强度还会影响土壤的物理和化学性质,从而进一步影响植被的生长和分布。高强度抚育会导致土壤容重增加、土壤有机质降低和土壤酸化等不利的土壤化学和物理特性变化[17]。这些变化会导致森林土壤中的微生物数量和活性发生改变,进而影响林下植被的生长和分布[18]。因此,在未来森林经营管理中,需要综合研究林下植物群落特征和土壤理化性质,制定最适宜的间伐强度,以实现更好的经济效益和生态效益。

4 结论

通过对京西林场对照区、弱度间伐、中度间伐和强度间伐4种间伐强度下的华北落叶松混交林林下植物群落调查和监测,来分析其林下植被变化特征。结果显示如下。

1)在4种不同间伐强度(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ)的样地中,林下灌木种类分别为5、7、7、6种,草本种类分别为11、11、10、12种。共有物种包括灌木层的山楂叶悬钩子、榛、绣线菊和溲疏,以及草本层的野青茅、苔草和假还阳参。

2)随着林分郁闭度的减小,林下植被的灌木和草本数量呈增加趋势。弱度间伐强度(Ⅱ)下灌木植被数量最多,而中度间伐强度(Ⅲ)下草本植被数量最多。随着间伐强度的增加,喜光灌木如六道木、接骨木和连翘逐渐增多,突显了阳光增加对植被影响的重要性。

3)重要值分析揭示,不同抚育强度下的灌木和草本植被的重要值排序存在差异。绣线菊和牛叠肚是4种间伐强度样地中常见的重要灌木植被;荆条仅在对照区强度(Ⅰ)下出现在重要值排序前三的灌木植被中;连翘仅在强度间伐强度(Ⅳ)下出现在重要值排序前三的灌木植被中。野青茅是在中、高抚育强度样地中均为重要草本植被,尤其在强度间伐强度(Ⅳ)样地中具有重要的生态作用。

4)物种多样性、群落相似性和林下物种多样性评估的分析结果表明,不同抚育强度对于物种组成和多样性具有显著影响。间伐强度增加有助于提高物种多样性,特别是在林下草本层。

【参 考 文 献】

[1] 王雯雯,欧景莉,刘晓,等. 秦岭华北落叶松林乔木种群结构与更新[J]. 生态科学,2011,30(6):618-623.
WANG W W, OU J L, LIU X, et al. A survey on regeneration of trees in *Larix principis-rupprechtii* forest[J]. Ecological Science, 2011, 30(6): 618-623.

[2] 李进,石晓东,高润梅,等. 华北落叶松天然次生林更新及影响因素[J]. 森林与环境学报,2020,40(6):588-596.
LI J, SHI X D, GAO R M, et al. Regeneration and affecting factors of *Larix principis-rupprechtii* natural secondary forests[J]. Journal of Forest and Environment, 2020, 40(6): 588-596.

[3] 高明磊,满秀玲,段北星. 林下植被和凋落物对我国寒温带天然林土壤 CO_2 通量的短期影响[J]. 北京林业报,2021,43(3):55-65.
GAO M L, MAN X L, DUAN B X. Short-term effects of understory vegetation and litter on soil CO_2 flux of natural forests in cold temperate zone of China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(3): 55-65.

[4] 林丽,代磊,林泽北,等. 黔中城市森林群落植物多样性及其与土壤理化性质的关系[J]. 生态环境学报,2021,30(11):2130-2141.
LIN L, DAI L, LIN Z B, et al. Plant diversity and its relationship with soil physicochemical properties of urban forest communities in central Guizhou[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(11): 2130-2141.

[5] 王佳佳,贺涛,张沂,等. 间伐强度对阿尔泰山天然林下植被的影响[J]. 生态学报,2022,42(23):9761-9768.
WANG J J, HE T, ZHANG Y, et al. Effects of thinning intensity on understory plant of natural forest in Altai Mountains, Xinjiang, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(23): 9761-9768.

[6] 黄麟. 森林管理的生态效应研究进展[J]. 生态学报,2021,41(10):4226-4239.
HUANG L. Research progress on the ecological effects of forest management[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 4226-4239.

[7] 卫舒平,梁文俊,魏曦,等. 不同密度华北落叶松林天然更新及其影响因子[J]. 应用生态学报,2022,33(10):2687-2694.
WEI S P, LIANG W J, WEI X, et al. Natural regeneration of *Larix principis-rupprechtii* plantations with different densities and its influencing factors[J]. Chinese Journal of

Applied Ecology, 2022, 33(10): 2687-2694.

[8] 冯泳翰,闫珏,郭钰,等. 间伐强度对华北落叶松天然更新的影响[J]. 应用生态学报,2023,34(5):1169-1177.
FENG Y H, YAN J, GUO Y, et al. Effect of thinning intensity on natural regeneration of *Larix principis-rupprechtii* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2023, 34(5): 1169-1177.

[9] 刘利霞,王威,王小焕,等. 北京市西部山区环境承载力研究:以京西林场为例[J]. 绿色科技,2018(6):129-132.
LIU L X, WANG W, WANG X H, et al. Evaluation of regional carrying capacity of resources and environment in western mountainous area of Beijing - a case study of Beijing West Forest Farm[J]. Journal of Green Science and Technology, 2018(6): 129-132.

[10] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 森林植被状况监测技术规范: GB/T 30363—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Technical specification for forest vegetation monitoring: GB/T 30363—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.

[11] 王磊,崔明,周梦玲,等. 河南省淅川县岩溶区不同恢复年限天然次生林植物群落特征[J]. 浙江农林大学学报,2020,37(4):720-728.
WANG L, CUI M, ZHOU M L, et al. Plant community characteristics of natural secondary forest with different restoration years in Karst Area of Xichuan County, Henan Province[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2020, 37(4): 720-728.

[12] 石丹,倪九派,倪呈圣,等. 巫山高山移民迁 1 出区不同弃耕年限对植物物种多样性的影响[J]. 生态学报,2019,39(15):5584-5593.
SHI D, NI J P, NI C S, et al. The effects of different restoration years on plant diversity in Wushan's alpine emigrant region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): 5584-5593.

[13] 武秀娟,奥小平. 油松林火烧迹地恢复初期林下植被特征[J]. 西北林学院学报,2022,37(5):155-161.
WU X J, AO X P. The characteristics of understory vegetation in the early stage of restoration of burned *Pinus tabuliformis* forests[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2022, 37(5): 155-161.

[14] 蔡燕红. 杭州湾浮游植物生物多样性研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2006.
CAI Y H. The diversity of marine phytoplankton in Hangzhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.

[15] 宋鑫彧,董希斌,曲杭峰,等. 抚育间伐强度对小兴安岭天然针阔混交林冠层结构和林下植被的影响[J]. 东北林业大学学报,2021,49(2):24-30.
SONG X Y, DONG X B, QU H F, et al. Effects of tending and thinning intensity on canopy structure and understory vegetation of natural conifer and broadleaf mixed secondary forest in Xiaoxing'an Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2021, 49(2): 24-30.

[16] 苏天成,王姚瑶,向琳,等. 营林措施对成都绕城高速路域杨树人工林群落结构和物种多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报,2022,28(5):1144-1150.
SU T C, WANG Y Y, XIANG L, et al. Effects of forest management on community structure and species diversity in poplar plantations of the Chengdu ring expressway area [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2022, 28(5): 1144-1150.

[17] 周润惠,唐永彬,王敏,等. 威远不同年龄桉树人工林林下物种多样性和土壤理化性质[J]. 应用与环境生物学报,2021,27(3):742-748.
ZHOU R H, TANG Y B, WANG M, et al. Species diversity and soil physicochemical properties at *Eucalyptus robusta* plantations of different ages in Weiyuan[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2021, 27(3): 742-748.

[18] 毛亮亮,董希斌,曲杭峰,等. 抚育间伐对小兴安岭天然针阔混交林不同土层深度土壤养分的影响[J]. 东北林业大学学报,2022,50(12):66-71.
MAO L L, DONG X B, QU H F, et al. Effects of thinning on soil nutrients at different depths of natural conifer and broadleaved mixed forest in Xiaoxing'an Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2022, 50(12): 66-71.