

DOI: 10.5846/stxb202201260250

杨光辉, 秦树林, 金光泽. 小兴安岭五种林型早春草本植物多样性及其环境解释. 生态学报, 2023, 43(3): 1234-1246.

Yang G H, Qin S L, Jin G Z. Early-spring herb diversity and its environmental interpretation of five forest types in Xiaoxing'an Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(3): 1234-1246.

小兴安岭五种林型早春草本植物多样性及其环境解释

杨光辉¹, 秦树林², 金光泽^{1,3,4,*}

1 东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040

2 吉林省林业调查规划院, 长春 130022

3 东北林业大学森林生态系统可持续经营教育部重点实验室, 哈尔滨 150040

4 东北林业大学东北亚生物多样性研究中心, 哈尔滨 150040

摘要: 早春草本层植物作为草本层动态变化的早期阶段, 是森林的重要组成部分, 对于维持森林生态系统功能及其多样性具有重要意义。为探究小兴安岭地区早春草本层植物对人为干扰后引起的林型改变的响应, 以黑龙江凉水国家级自然保护区内的五种林型(白桦次生林(*Betula platyphylla*)、红松(*Pinus koraiensis*)人工林、落叶松(*Larix gmelinii*)人工林、阔叶红松择伐林以及阔叶红松林)为研究对象, 分析林下早春草本层植物多样性的差异及其影响因素。结果显示: (1) 研究区林下早春草本层植物共 60 种, 隶属 26 科 52 属, 林下优势种主要以银莲花(*Anemone cathayensis*)、东北羊角芹(*Aegopodium alpestre*)为主, 五种林型早春草本层植物组成相似度较高; (2) 五种林型不同生活史对策早春草本层植物的密度、盖度以及多样性指数均呈现显著差异; (3) 土壤 pH 对早春生长期植物的密度、盖度及多样性指数, 林下光对早春开花植物的密度和盖度以及早春展叶植物的多样性指数具有较高的解释率; (4) 早春生长期植物的密度、盖度及多样性指数与土壤 pH 呈显著的正相关关系, 其多样性指数与土壤全氮呈显著的单峰型关系; 林下光与早春开花植物的密度呈显著的单峰型关系, 与盖度呈显著的负相关关系; 早春展叶植物的多样性指数与林下直射光和林下总光照呈显著的“U”型关系、与林下散射光呈显著的正相关关系。林型改变引起不同生活史对策的早春草本层植物的密度、盖度以及多样性的显著差异, 但变化趋势不一致; 土壤 pH 和林下光是影响林下早春草本层植物群落数量特征的主要环境因子, 影响程度因草本植物自身生活史对策特性而存在差异。本研究结果为理解小兴安岭地区植物群落的生长发育特征及其影响因素提供理论依据。

关键词: 早春草本层植物; 多样性; 土壤性质; 光环境; 阔叶红松林

Early-spring herb diversity and its environmental interpretation of five forest types in Xiaoxing'an Mountains, China

YANG Guanghui¹, QIN Shulin², JIN Guangze^{1,3,4,*}

1 Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Jilin Provincial Institute of Forest Inventory and Planning, Changchun 130022, China

3 Key Laboratory of Sustainable Forest Ecosystem Management of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

4 Northeast Asia Biodiversity Research Center, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Early spring herbaceous plants, as the early stage of the dynamic change of the herbaceous layer, are an important part of the forest and are of great significance for maintaining the function and diversity of forest ecosystem. In order to explore the response of early spring herb plants to forest type changes caused by human disturbance in Xiaoxing'an Mountains, five forest types (Secondary birch forest, Korean pine plantation, Dahurian larch plantation, Selectively cut

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2019FY202300)

收稿日期: 2022-01-26; 网络出版日期: 2022-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: taxus@126.com

mixed broadleaved-Korean pine forest and Mixed broadleaved-Korean pine forest) in Liangshui National Nature Reserve of Heilongjiang Province were selected as the research objects, and the diversity of early spring herb plants under forest and its influencing factors were analyzed. The results showed that: (1) a total of 60 species of herbaceous plants in early spring were found under the forest in the study area, belonging to 52 genera and 26 families. The dominant species under the forest were mainly *Anemone cathayensis* and *Aegopodium alpestre*. High similarity of plant community composition in herb layer of five forest types in early spring. (2) The density, coverage and diversity index of early spring herb plants in the five forest types with different life-history strategies showed significant differences. (3) Soil pH had a high explanation rate for the density, coverage and diversity index of early-spring growing herbs, and understory light had a high explanation rate for the density and coverage of early-spring flowering herbs and for diversity index of early-spring foliating herbs. (4) The density, coverage and diversity index of early-spring growing herbs were positively correlated with soil pH, and the diversity index was unimodal with soil total nitrogen (TN). The relationship between understory light and density of early-spring flowering herbs showed a single peak, and a negative correlation with coverage. The diversity index of early spring foliating herbs showed an aboriginal 'U' type relationship with transmitted direct light (TDir) and transmitted total light (TTot), and a significant positive correlation with transmitted diffused light (TDif). There were significant differences in density, coverage and diversity index of early spring herb plants in different life-history strategies due to changes of forest type, but the trend was inconsistent. Soil pH and light conditions were the main environmental factors affecting the quantitative characteristics of herbaceous plants in early spring under forest, and the degree of influence varied according to the characteristics of life-history of herbaceous plants. The results of this study provided a theoretical basis for understanding the growth and development characteristics and influencing factors of plant communities in Xiaoxing'an Mountains.

Key Words: early spring herb plants; diversity; soil properties; light environment; mixed broadleaved-Korean pine forest

生物多样性是人类赖以生存的物质基础,对于维持生态系统功能和稳定性^[1]、提高生态效益^[2]具有重要作用。近年来人类活动的增加导致生物多样性正在迅速下降^[3],其生态后果已受到广泛关注^[4]。草本植物是森林生态系统生物多样性的主要组成部分^[5],探究草本植物组成与多样性对人为活动的响应为实现生物多样性的保护提供理论依据。早春时期生长的草本植物通过对土壤氮元素和钾元素的大量积累,作为短期的营养汇,避免了森林土壤养分流失并为养分储存做出重要贡献^[6],除此之外,其易于分解的植物体促进森林生态系统的物质循环,提高森林生产力,并能够作为药用以及食用植物,具有极高的经济和生态价值^[7]。通过对早春特殊环境的长期适应,早春草本层植物进化出与生境相适的生活史对策,可分为三类:(1)早春生长期植物:早春时期开始生长,开花和结实等生活史阶段在林分郁闭之前完成,林分郁闭后进入休眠期;(2)早春开花植物:早春时期进行生长、开花和结实等生活史阶段,在林分郁闭后仍可继续生长;(3)早春展叶植物:生长过程在早春完成,林分郁闭后进行开花和结实的这类植物^[7]。近年来就早春草本层植物的种类和群落特征^[8]、生物量^[9]等方面进行了研究,但对不同生活史对策早春草本层植物的多样性及其影响因素方面的研究较少^[10],了解其多样性变化特征及影响因素对于保护、开发以及利用早春草本层植物资源具有重要意义。

林下草本植物群落的组成及多样性随干扰条件^[11]和方式^[12]不同而产生差异。人为干扰导致的林分改变影响了包括林分组成和结构^[13]、土壤^[14]、生物多样性^[15]等多种生态系统要素。在森林生态系统中,上层植物是森林资源的主要获取组分,森林管理导致的树种改变,通过地球化学循环的动态变化,明显改变了土壤的化学性质^[16],而土壤养分又是草本物种分异的主要环境因子,对草本植物分布起主导作用^[17],对其生长发育及其多样性产生直接影响^[18]。同时,冠层通过控制太阳能的截获量来调节林下光照和水分^[19],进而使林下草本植物丰富度和多样性存在差异^[20]。冠层特征和土壤特征变化均会对草本植物物种组成和多样性产生显著影响,从而使不同林型草本植物群落生物多样性间的差异增大。因此,探究林分类型改变后林下草本植物组成与多样性特征及其影响因素仍十分必要。

东北东部山区的阔叶红松林在 20 世纪初遭到大面积工业化采伐,除有小部分还保存有原始的红松林外,其他均被次生林和人工林替代,其完整的原始林-次生林-人工林的干扰类型梯度^[21],为探索森林生态系统经过人为干扰或经营后草本植物多样性的差异提供了良好的研究平台。本研究以黑龙江凉水国家级自然保护区内的白桦次生林、红松人工林、落叶松人工林、阔叶红松择伐林以及阔叶红松林为研究对象,探究五种林型林下早春草本层植物组成及多样性之间的差异以及对环境的响应,为进一步研究干扰对小兴安岭乃至东北地区森林的生态系统的生物多样性的影响以及其保护提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑龙江省伊春市大箐山县的黑龙江凉水国家级自然保护区(47°10′50″N,128°53′20″E)内。该保护区资源丰富、结构复杂,植被覆盖率达 96%,地带性植被是以红松为主的温带针阔混交林。研究区具有明显的温带大陆性季风气候特征,春季干燥、多大风,夏季降水量大,集中在 6—8 月,秋季降温剧烈,冬季严寒、多风雪。年均温 -0.3°C,年平均降水量 676 mm,年平均相对湿度 78%,无霜期 100—120 d,积雪期 130—150 d。保护区属于低山丘陵地带,海拔高度在 280—707.3 m 之间,平均海拔高度在 400 m 左右。地带性土壤为暗棕壤,占保护区总面积的 84.91%。样地林型概况见表 1。

表 1 小兴安岭地区五种林型概况

Table 1 General situation of five forest types in Xiaoxing'an Mountains

林型 Forest type	乔木组成 Tree composition	灌木组成 Shrub composition	利用历史 Land-use history	林龄 Age/a
白桦次生林 Secondary birch forest	4 落叶松 3 白桦 1 红皮云杉 1 春榆+五角枫+大青杨+红松-紫椴-大黄柳-黄檗-臭冷杉-水曲柳-辽东柞木-花楷槭-裂叶榆-香杨-蒙古栎-稠李-硕桦-辽椴-青楷槭-花楸树-朝鲜槐	8 暴马丁香 1 毛榛+瘤枝卫矛+金花忍冬-东北山梅花-刺五加-鼠李-接骨木-修枝莢蒾-光萼溲疏-狗枣猕猴桃-榆叶梅-椴木	1953 年皆伐,自然更新成林	68
红松人工林 Korean pine plantation	6 红松 1 白桦 1 落叶松+黄檗+红皮云杉+水曲柳-鱼鳞云杉-紫椴-五角枫-春榆-花楷槭-稠李-青楷槭-裂叶榆-胡桃楸	4 暴马丁香 4 毛榛 1 光萼溲疏+榆叶梅+金花忍冬+瘤枝卫矛+刺五加-狗枣猕猴桃	1954 年人工造林	67
落叶松人工林 Dahurian larch plantation	8 落叶松 1 水曲柳+红松+五角枫+紫椴-红皮云杉-青楷槭-花楷槭-稠李-辽东柞木-裂叶榆-硕桦	4 毛榛 2 瘤枝卫矛 2 刺五加 1 东北山梅花+暴马丁香+金花忍冬-光萼溲疏	1954 年人工造林	67
阔叶红松择伐林 Selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest	4 红松 1 五角枫 1 硕桦 1 水曲柳 1 青楷槭 1 裂叶榆 1 臭冷杉+春榆+紫椴+山杨+蒙古栎-黄檗-花楷槭-辽东柞木-大黄柳-稠李-鱼鳞云杉-红皮云杉	9 暴马丁香+毛榛-瘤枝卫矛-东北山梅花-刺五加-椴木-鼠李-狗枣猕猴桃-金花忍冬-光萼溲疏-修枝莢蒾	1971 年择伐,强度 30%	>200
阔叶红松林 Mixed broadleaved-Korean pine forest	6 红松 1 五角枫 1 紫椴 1 硕桦+水曲柳+臭冷杉+青楷槭+榆树+裂叶榆-白桦-稠李-山杨-花楷槭-辽东柞木-春榆-辽椴	5 斑叶稠李 4 毛榛 1 暴马丁香-东北山梅花-瘤枝卫矛	原始林	>300

暴马丁香 (*Syringa reticulata* subsp. *amurensis*)、稠李 (*Padus avium*)、春榆 (*Ulmus davidiana* var. *japonica*)、刺五加 (*Eleutherococcus senticosus*)、大黄柳 (*Salix raddeana*)、大青杨 (*Populus ussuriensis*)、东北山梅花 (*Philadelphus schrenkii*)、硕桦 (*Betula costata*)、狗枣猕猴桃 (*Actinidia kolomikta*)、光萼溲疏 (*Deutzia glabrata*)、红皮云杉 (*Picea koraiensis*)、胡桃楸 (*Juglans mandshurica*)、花楷槭 (*Acer ukurunduense*)、花楸树 (*Sorbus pohuashanensis*)、黄檗 (*Phellodendron amurense*)、金花忍冬 (*Lonicera chrysantha*)、接骨木 (*Sambucus williamsii*)、辽椴 (*Tilia mandshurica*)、臭冷杉 (*Abies nephrolepis*)、裂叶榆 (*Ulmus laciniata*)、瘤枝卫矛 (*Euonymus verrucosus*)、椴木 (*Aralia elata*)、辽东柞木 (*Alnus hirsuta*)、毛榛 (*Corylus mandshurica*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、修枝莢蒾 (*Viburnum burejaeticum*)、青楷槭 (*Acer tegmentosum*)、朝鲜槐 (*Maackia amurensis*)、斑叶稠李 (*Padus maackii*)、鼠李 (*Rhamnus davurica*)、山杨 (*Populus davidiana*)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*)、五角枫 (*Acer pictum* subsp. *mono*)、香杨 (*Populus koreana*)、鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* var. *microperma*)、榆叶梅 (*Prunus triloba*)、紫椴 (*Tilia amurensis*)、红松 (*Pinus koraiensis*)、落叶松 (*Larix gmelinii*)、白桦 (*Betula platyphylla*)

1.2 群落调查与样品测定

在每个林型中设置 3 个 20 m×30 m 的样方,在每个样方中按照“X”型设立 5 个 1 m×1 m 的草本样方。于 2021 年 5 月初进行林下草本植物多样性调查。鉴定林下草本植物的种类,测定物种个体数(以地上部分单株进行统计)、高度和盖度,盖度采用网格法测定,即将 1 m×1 m 的小样方分为 100 个 10 cm×10 cm 的小网格并

用目测法估算盖度。

以每个 1 m×1 m 的草本小样方为采样单位,在其周围随机选取 3 个采样点,在每个采样点取表层(0—10 cm)土壤样品进行混合,带回实验室进行分析测定。使用 pH 计(HANNA pH211, Italy)测定土壤 pH,使用碳氮元素分析仪(Alycat Jena AG, Jena, Germany)进行土壤有机碳(Soil organic carbon)的测定,使用全自动连续分析仪(SEAL AA3)测定土壤的全氮(Total nitrogen, TN)和全磷(Total phosphorus, TP)。

选择阴天或晴好天气的日出或日落,将连接 180°鱼镜头(Nikon FC-E8)的数码相机(Coolpix 4500, Nikon, Tokyo, Japan)利用三角架水平固定在距地面 1.3 m 处,采集冠层半球面影像。拍照点与草本样方调查点保持一致,每个样方拍摄三张照片,采用 Gap Light Analyzer 2.0 (GLA) 图像处理软件处理林冠影像照片^[19,22],可直接获得林下直射光(Transmitted direct light, TDir)、林下散射光(Transmitted diffused light, TDif)和林下总光照(Transmitted total light, TTot)的数据。

1.3 数据分析

1.3.1 重要值计算

林下草本植物的重要值计算公式为:重要值(P_i) = (相对多度+相对盖度+相对高度)/3^[23];

1.3.2 群落百分比相似系数计算

群落百分比相似系数:

$$r_{jk} = 200 \frac{\sum_{i=1}^p \min(x_{ij}, x_{ik})}{\sum_{i=1}^p x_{ij} + \sum_{i=1}^p x_{ik}}$$

式中, x_{ij} 和 x_{ik} 分别表示两个不同群落中各物种的重要值。

1.3.3 物种多样性指数计算

林下草本植物多样性测定采用物种丰富度指数(S)以及 Shannon-Wiener 多样性指数。具体计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数 H' :

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中, S 为群落中某生活史对策中的物种总数; P_i 为样方内第 i 种物种或某生活史对策的重要值。

1.3.4 统计分析方法

五种林型不同生活史对策植物的盖度、密度及物种多样性数据通过 SPSS 26.0 软件进行 Levene 同质性检验、单因素方差分析(One-Way ANOVA),对于方差齐性的统计量采用 LSD 多重比较获得结果($P=0.05$);对于方差不齐的统计量采用 Tamhane 法进行比较。对数据进行 lg 转换,使用 R.4.0.2 中的 hier.part 包^[24]对不同生活史对策草本植物的密度、盖度和物种多样性与土壤因子和光环境因子进行层次分割,对早春草本层植物组成及其多样性产生显著影响的因子进行一般线性模型分析,为达到最佳的拟合效果,对二者分别进行线性和非线性拟合,选取拟合效果最佳的进行绘图。所有图均在 Origin 2019 中进行绘制。

2 结果

2.1 五种林型早春草本层植物组成

研究区林下草本物种丰富,在五种林型下共发现草本植物 60 种,隶属于 26 科 52 属(附表 1)。其中白桦次生林 20 科 37 属 43 种,红松人工林 21 科 36 属 38 种,落叶松人工林 22 科 33 属 38 种,阔叶红松择伐林 19 科 28 属 32 种,阔叶红松林 22 科 34 属 37 种。

五种林型下不同生活史对策的草本植物的科、属组成差异较小,早春生长期植物在各林下均为 7 种;早春开花植物在红松人工林物种数最高(10 种),占比 26.3%;早春展叶植物在白桦次生林中最高(27 种),占比 62.8%(表 2)。

表 2 五种林型不同生长对策草本植物组成

Table 3 The composition of herbaceous plants under different life-history strategies in five forest types

林型 Forest type	早春生长期植物 Early-spring growing herbs			早春开花植物 Early-spring flowering herbs			早春展叶植物 Early-spring foliating herbs		
	科/% Family	属/% Genus	种/% Species	科/% Family	属/% Genus	种/% Species	科/% Family	属/% Genus	种/% Species
	白桦次生林 Secondary birch forest	3 (15%)	7 (18.9%)	7 (16.3%)	8 (40%)	9 (24.3%)	9 (20.9%)	12 (60%)	22 (59.5%)
红松人工林 Korean pine plantation	3 (11.1%)	7 (19.4%)	7 (18.4%)	9 (42.9%)	10 (27.8%)	10 (26.3%)	14 (66.7%)	20 (55.6%)	21 (55.3%)
落叶松人工林 Dahurian larch plantation	3 (13.6%)	7 (21.2%)	7 (18.4%)	8 (36.4%)	9 (27.3%)	9 (23.7%)	15 (68.2%)	18 (54.5)	22 (57.9%)
阔叶红松择伐林 Selectively cut mixed broadleaved- Korean pine forest	4 (21.1%)	7 (25.0%)	7 (21.9%)	7 (36.8%)	7 (25.0%)	7 (21.9%)	12 (63.2%)	15 (53.6%)	18 (56.3%)
阔叶红松林 Mixed broadleaved-Korean pine forest	4 (18.2%)	7 (20.6%)	7 (18.9%)	7 (31.8%)	8 (23.5%)	8 (21.6%)	15 (68.2%)	20 (58.8%)	22 (59.5%)

白桦次生林和红松人工林均以银莲花、蚊子草 (*Filipendula palmata*) 和东北羊角芹为林下草本优势种, 落叶松人工林的林下优势种为林金腰 (*Chrysosplenium lectus-cochleae*)、酢浆草 (*Oxalis corniculata*) 和荷青花 (*Hylomecon japonica*), 阔叶红松择伐林的优势种为东北羊角芹、银莲花和荷青花, 阔叶红松林的优势种为银莲花、荷青花和拟扁果草; 银莲花、东北羊角芹和荷青花在五种林型下均出现且占据优势地位, 华北剪股颖 (*Agrostis clavata*)、木贼 (*Equisetum hyemale*)、喷呐草 (*Mitella nuda*)、乌头 (*Aconitum carmichaeli*) 和狭叶荨麻 (*Urtica angustifolia*) 仅在单一林分中占据重要值的前十位 (表 3)。五种林型早春草本层植物组成相似度均高于 50%, 其中阔叶红松林和阔叶红松择伐林最高 (68.37%), 阔叶红松林和红松人工林最低 (51.46%) (表 4)。

表 3 五种林型林下草本植物重要值排名前十的物种

Table 3 The top ten species of understory herbaceous plants with important value in five forest types

物种 Species	重要值 Importance value/%				
	白桦次生林 Secondary birch forest	红松人工林 Korean pine plantation	落叶松人工林 Dahurian larch plantation	阔叶红松择伐林 Selectively cut mixed broadleaved- Korean pine forest	阔叶红松林 Mixed broadleaved- Korean pine forest
白花碎米荠 <i>Cardamine leucantha</i>	—	—	4.1	7.7	3.8
荷青花 <i>Hylomecon japonica</i>	3.5	4.9	8.6	9.5	10.2
华北剪股颖 <i>Agrostis clavata</i>	4.2	—	—	—	—
林金腰 <i>Chrysosplenium lectus-cochleae</i>	5.7	6.4	12.0	7.5	—
龙常草 <i>Diarrhena mandshurica</i>	6.6	—	—	—	3.6
毛缘藁草 <i>Carex pilosa</i>	—	—	—	5.5	4.9
细叶孩儿参 <i>Pseudostellaria sylvatica</i>	4.5	4.5	3.7	3.0	—
木贼 <i>Equisetum hyemale</i>	—	—	—	—	5.4
拟扁果草 <i>Enemion raddeanum</i>	—	4.0	8.4	9.4	7.8
喷呐草 <i>Mitella nuda</i>	—	3.2	—	—	—
蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	11.1	8.4	7.8	4.3	—
乌头 <i>Aconitum carmichaelii</i>	—	3.5	—	—	—
五福花 <i>Adoxa moschatellina</i>	5.7	—	—	—	—
狭叶荨麻 <i>Urtica angustifolia</i>	—	—	4.1	—	—
东北羊角芹 <i>Aegopodium alpestre</i>	6.8	10.8	6.4	14.5	5.2
延胡索 <i>Corydalis yanhusuo</i>	2.8	—	—	3.4	4.2
银莲花 <i>Anemone cathayensis</i>	17.4	12.6	4.7	13.0	29.6
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	—	7.6	11.7	—	4.9
其他 Others	31.8	34.1	28.5	22.4	20.3

表 4 五种林型林下草本植物的群落相似系数/%

Table 4 The community similarity coefficient of herbaceous plants in five forest types

林型 Forest type	I	II	III	IV	V
I	—	64.08	52.96	54.16	53.12
II			61.73	63.18	51.46
III				60.76	52.58
IV					68.37
V					—

I: 白桦次生林 Secondary birch forest; II: 红松人工林 Korean pine plantation; III: 落叶松人工林 Dahurian larch plantation; IV: 阔叶红松择伐林 Selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest; V: 阔叶红松林 Mixed broadleaved-Korean pine forest

阔叶红松林的早春生长期植物密度和盖度最高,密度显著高于红松人工林和落叶松人工林样地 ($P < 0.05$),盖度显著高于除白桦次生林外的其他三种林型 ($P < 0.05$);落叶松人工林的早春开花植物密度显著高于白桦次生林、阔叶红松择伐林和阔叶红松林 ($P < 0.05$),红松人工林的密度显著高于阔叶红松林 ($P < 0.05$);早春展叶植物的密度和盖度在五个林型之间没有显著差异 ($P > 0.05$) (图 1)。

白桦次生林的早春展叶植物密度显著高于早春开花植物 ($P < 0.05$),盖度表现为早春生长期植物和早春展叶植物显著高于早春开花植物 ($P < 0.05$);落叶松人工林的早春开花植物密度显著高于早春生长期植物 ($P < 0.05$);阔叶红松林林下早春生长期植物盖度和密度均显著高于其他两种植物类群 ($P < 0.05$),且早春展叶植物的盖度显著高于早春开花植物 ($P < 0.05$) (图 1)。

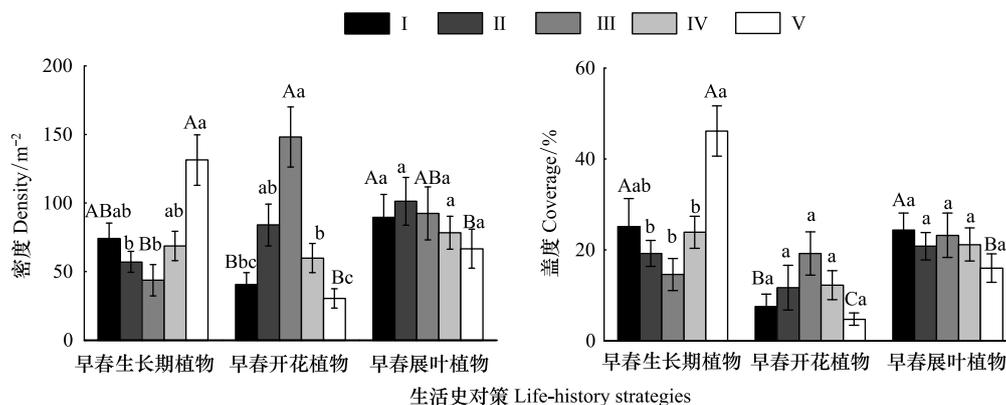


图 1 五种林型不同生活史对策的草本植物密度和盖度的差异(平均值±标准误差)

Fig.1 Differences of herbaceous plants density and coverage under different life-history strategies in five forest types (mean ± SE)

不同小写字母表示同一生活史对策不同林型间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一林型不同生活史对策间差异显著 ($P < 0.05$);

I: 白桦次生林 Secondary birch forest; II: 红松人工林 Korean pine plantation; III: 落叶松人工林 Dahurian larch plantation; IV: 阔叶红松择伐林 Selectively cut mixed broadleaved-Korean pine forest; V: 阔叶红松林 Mixed broadleaved-Korean pine forest

2.2 五种林型草本植物的多样性

五种林型不同生活史对策植物的草本物种多样性差异显著 (图 2)。早春开花植物的物种多样性指数在五种林型之间存在显著差异 ($P < 0.05$),落叶松人工林的丰富度指数显著高于白桦次生林、阔叶红松择伐林和阔叶红松林 ($P < 0.05$),红松人工林的丰富度指数显著高于阔叶红松择伐林和阔叶红松林 ($P < 0.05$);红松人工林和落叶松人工林的 Shannon-Wiener 指数均显著高于阔叶红松择伐林和阔叶红松林 ($P < 0.05$)。对于早春展叶植物,白桦次生林的丰富度指数以及 Shannon-Wiener 指数均显著高于红松人工林、落叶松人工林以及阔叶红松择伐林 ($P < 0.05$),且其丰富度指数显著高于阔叶红松林 ($P < 0.05$),阔叶红松择伐林的丰富度指数显著低于红松人工林和阔叶红松林 ($P < 0.05$),其 Shannon-Wiener 指数显著低于红松人工林 ($P < 0.05$)。

白桦次生林和红松人工林早春展叶植物的丰富度指数以及 Shannon-Wiener 指数均显著高于早春生长期

植物以及早春开花植物 ($P < 0.05$), 落叶人工林的早春展叶植物的丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数显著高于早春生长期植物 ($P < 0.05$), 阔叶红松择伐林早春生长期植物的丰富度指数显著高于早春开花植物 ($P < 0.05$), 阔叶红松林早春展叶植物的两种多样性指数均显著高于早春开花植物 ($P < 0.05$) (图 2)。

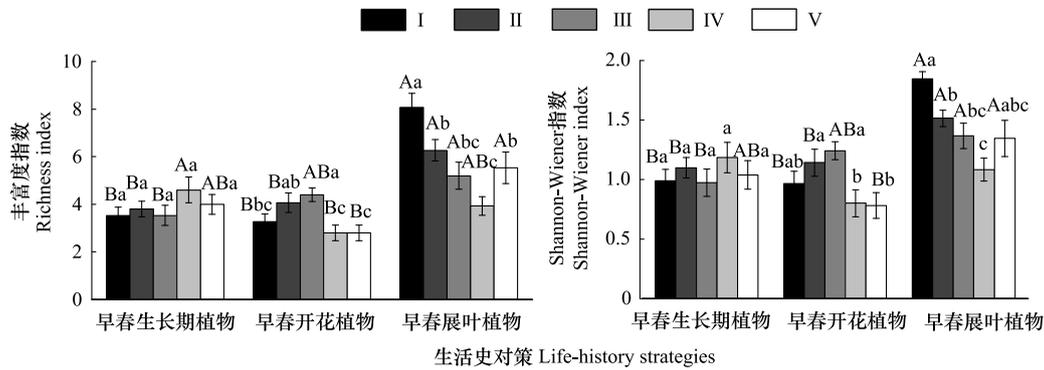


图 2 五种林型不同生活史对策的草本植物多样性差异(平均值±标准误差)

Fig.2 Differences of herbaceous plants diversity under different life-history strategies in five forest types (mean±SE)

2.3 不同生活史对策草本植物密度、盖度和多样性与环境因子的关系

土壤 pH 对早春生长期植物的密度 (50.2%)、盖度 (52.8%) 丰富度指数 (38.9%) 以及 Shannon-Wiener 指数 (36.7%) 解释率最大, 对于早春开花植物和早春展叶植物, 土壤 TP、pH 以及林下光照因子对其解释率较高 (图 3)。

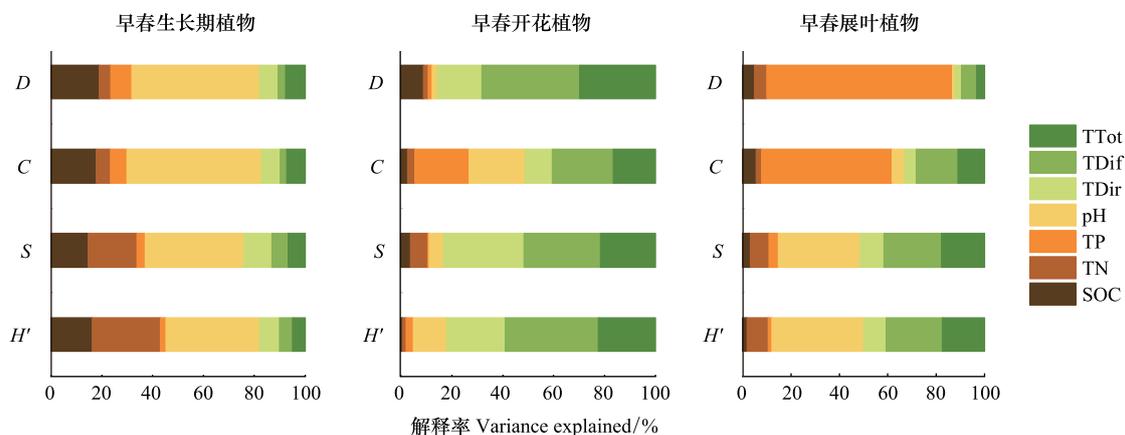


图 3 环境因子对不同生活史对策草本植物密度、盖度以及物种多样性的层次分割结果

Fig.3 Hierarchical partitioning results of environmental factors on density, coverage and species diversity of herbaceous plants under different life-history strategies

D: 密度 Density; C: 盖度 Coverage; S: 物种丰富度指数 Species richness index; H': Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index; SOC: 土壤有机碳 Soil organic carbon; TN: 土壤全氮 Soil total nitrogen; TP: 土壤全磷 Soil total phosphorus; pH: 土壤 pH Soil pH; TDir: 林下直射光 Transmitted direct light; TDif: 林下散射光 Transmitted diffused light; TTot: 林下总光照 Transmitted total light

早春生长期植物的密度、盖度、丰富度指数以及 Shannon-Wiener 指数均与土壤 pH 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$), 其丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数与土壤有机碳含量呈显著的负相关关系 ($P < 0.05$), 与土壤全氮含量呈显著的单峰型关系 ($P < 0.05$) (图 4)。

早春开花植物密度与林下直射光、林下散射光以及林下总光照呈显著的单峰型关系 ($P < 0.05$), 其盖度与土壤 pH 呈显著的正相关关系 ($P < 0.05$), 与林下散射光和林下总光照呈显著的负相关关系 ($P < 0.05$) (图 5)。

对于早春展叶植物, 其密度和盖度与土壤全磷含量呈显著的单峰型关系 ($P < 0.05$), 盖度与林下散射光呈

显著的正相关关系($P < 0.05$),其丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数与土壤 pH 呈极显著的负相关关系($P < 0.01$),丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数与林下直射光和林下总光照呈显著的“U”型关系、与林下散射光呈显著的正相关关系($P < 0.05$)(图 6)。

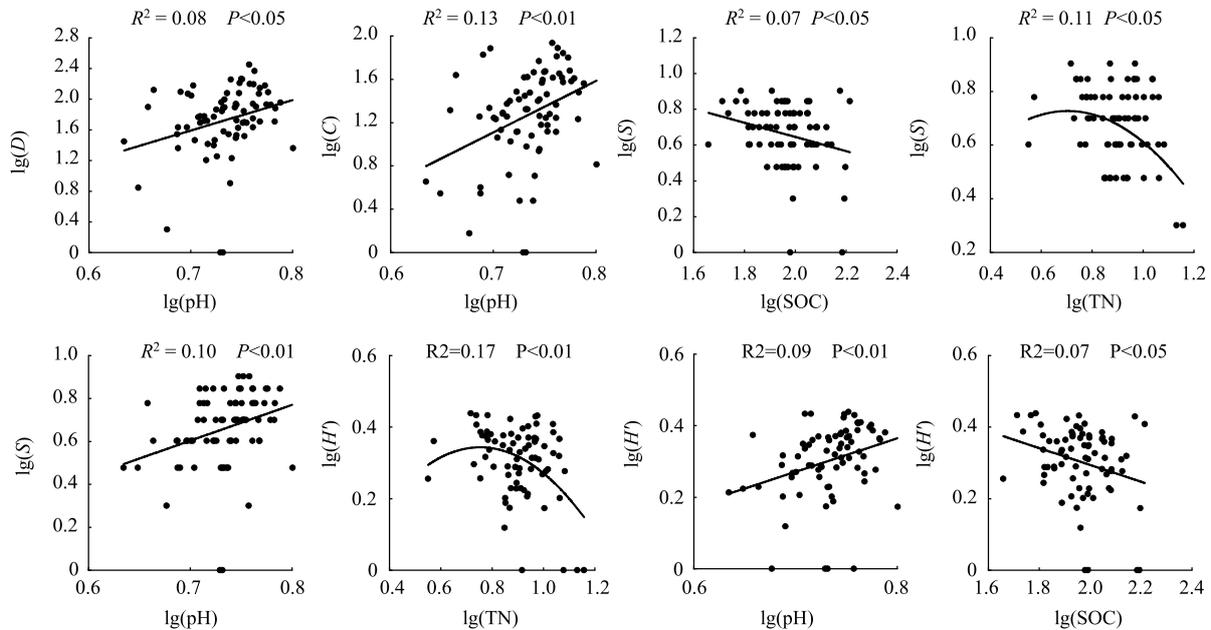


图 4 早春生长期植物的密度、盖度以及物种多样性与环境因子的关系

Fig.4 Relationships of density, coverage and species diversity of early-spring growing herbs with environmental factors

3 讨论

3.1 五种林型早春草本层植物组成特征

本研究区域内五种林型的早春草本层植物群落组成的相似度较高,林内不同生活史对策物种种类组成差异较小,可能是由于研究区域内各林分的所处环境较为相似,且草本植物组成的差异主要受立地条件影响,与林分组成无关^[25]。但林下优势物种存在差异,是由于在人为采伐导致林型改变条件下,生境间的差异引起了优势种组成及分布的改变^[23],这可能是落叶松人工林下以林金腰为优势种,而其他四种林型以银莲花为优势草本植物的原因之一。五种林型不同生活史对策草本植物的密度、盖度以及多样性指数差异显著,这可能是由不同林分微环境的差异所导致。植物的生活史对策是维持种生长和繁殖的资源最佳分配方式^[26],同一林型间不同生活史对策植物的生长与多样性呈现显著差异,这可能是由于不同生活史对策植物对资源分配策略的不同^[27]。

3.2 早春草本层植物数量特征及多样性与土壤因子的关系

人为采伐导致的环境异质性为物种共存和多样化提供了更多的生态位空间^[28]。土壤的空间异质性强烈依赖于土壤结构和空间变异性,对植物多样性的影响较为复杂^[29]。本研究区域阔叶红松林由于人为采伐更新改变了林内树种组成,而有研究表明森林管理导致的林分植被类型的差异会对土壤有机质含量以及 C/N 造成影响^[30],也可能通过改变林下的细根生长以及凋落物量影响森林土壤 pH^[31],进而改变不同林型下草本植物的数量特征及其多样性。本研究结果显示,早春生长期植物的丰富度指数及 Shannon-Wiener 指数与土壤全氮含量呈现出显著的单峰型关系,这与王爱霞等的研究结果一致^[10],可能是因为 N 是植物体内重要细胞结构的组成元素,是植物的各项生命活动的基础,土壤全氮含量的适量增加对于草本植物的生长及其多样性起到促进作用,但其含量过高则会导致土壤酸化和碱基阳离子的消耗,造成养分失衡,从而对植物的生长造成影响^[32],进而降低植物的多样性。早春生长期植物多样性指数与土壤有机碳含量呈显著负相关关系、早春展叶

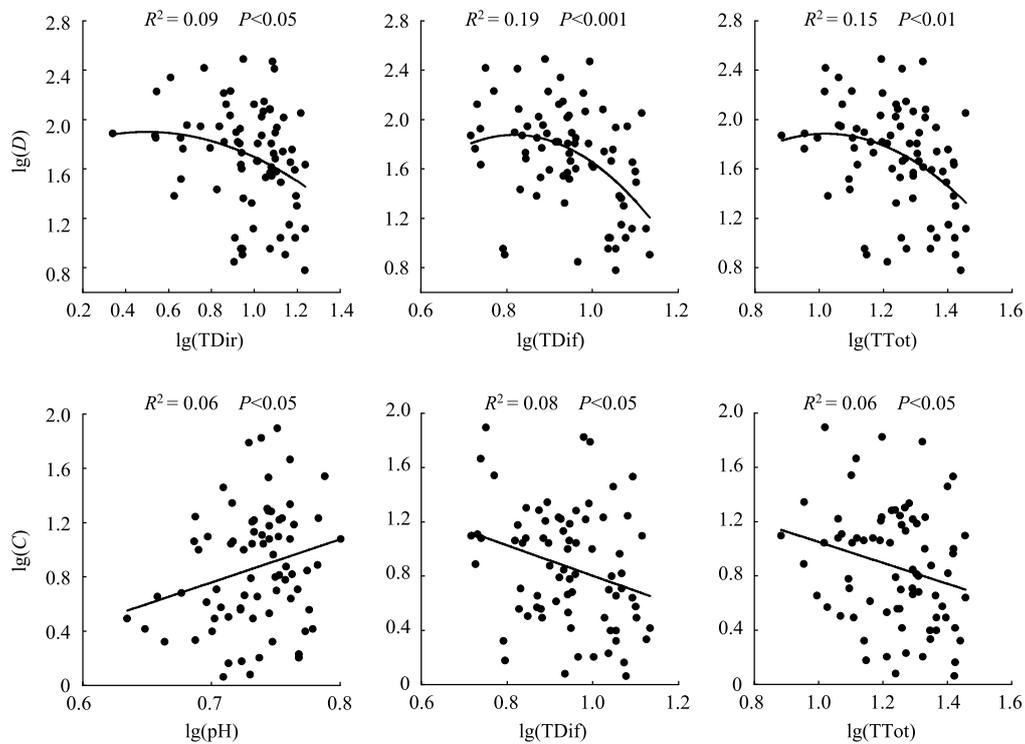


图5 早春开花植物的密度和盖度与环境因子的关系

Fig.5 Relationships of density and coverage of early-spring flowering herbs with environmental factors

植物的密度和盖度与土壤全磷含量呈显著的单峰型关系,均说明土壤养分是影响植物生长以及分布格局的重要环境因子^[33-34]。土壤 pH 对五种林型林下草本植物多样性产生显著影响,研究表明,pH 与草本植物的丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数均呈现显著的正相关关系^[35],与本研究 pH 对早春生长期植物多样性的研究结果一致。由于小兴安岭地区土壤代换性能的特点,暗棕壤轻度不饱和,发生酸性反应,土壤 pH 通常在4.8—6.0 之间^[36],本研究区域土壤 pH 的平均值为 4.43,酸性土壤意味着 H^+ 和 Al^{3+} 含量较高,且结果发现,土壤 pH 与早春生长期植物的盖度、密度以及多样性指数呈显著的正相关关系,与早春展叶植物的丰富度指数呈显著的负相关关系,这可能与草本植物的生活史对策特性有关,早春生长期植物对 pH 较低的土壤环境耐受性较低,更适于偏中性的土壤,酸性土壤不利于其生长;而早春展叶植物其生长条件则更偏向于酸性土壤,与黄庆阳等的研究结果一致^[34]。

3.3 早春草本层植物数量特征及多样性与林下光环境的关系

冠层及其结构的差异驱动了光异质性的变化^[37],并决定林分和树木吸收的光量^[38],进而影响林下的光照条件。草本植物的生长与林内光照条件密切相关,光的可利用性和异质性的对林下草本植物组成及丰富度指数具有重要影响^[39]。在早春的非生长季,原始林和次生林的林下光照均显著高于夏季的生长季^[40],早春生长期植物在冠层展叶前生长,林内充足的光照可以满足其完成营养生长阶段,林分郁闭后则进入生殖生长阶段^[7],这可能是早春生长期植物的盖度、密度及多样性与林内光照无显著相关的原因;早春开花植物在早春时期和林分郁闭后都在进行生长过程,林下的光照对其生长发育影响过程较为复杂,其密度与林下直射光、林下散射光和总光照均呈显著的单峰型关系,且其盖度与林下散射光和林下总光照呈显著的负相关关系,可能是因为早春开花植物的生活史对策更偏向于低光照,对强光照的耐受性较弱,在遮荫的环境下才能更好的生长;而早春展叶植物的盖度与林下散射光呈显著正相关关系,其物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数与林下直射光和林下总光照均呈显著的“U”型关系,表明早春展叶植物在高光照条件下具有更高的多样性,这与前人的研究结果一致^[41-42],且在低光照条件下正常生长,作为耐荫性植物能够适应林分对季节变化的响应。

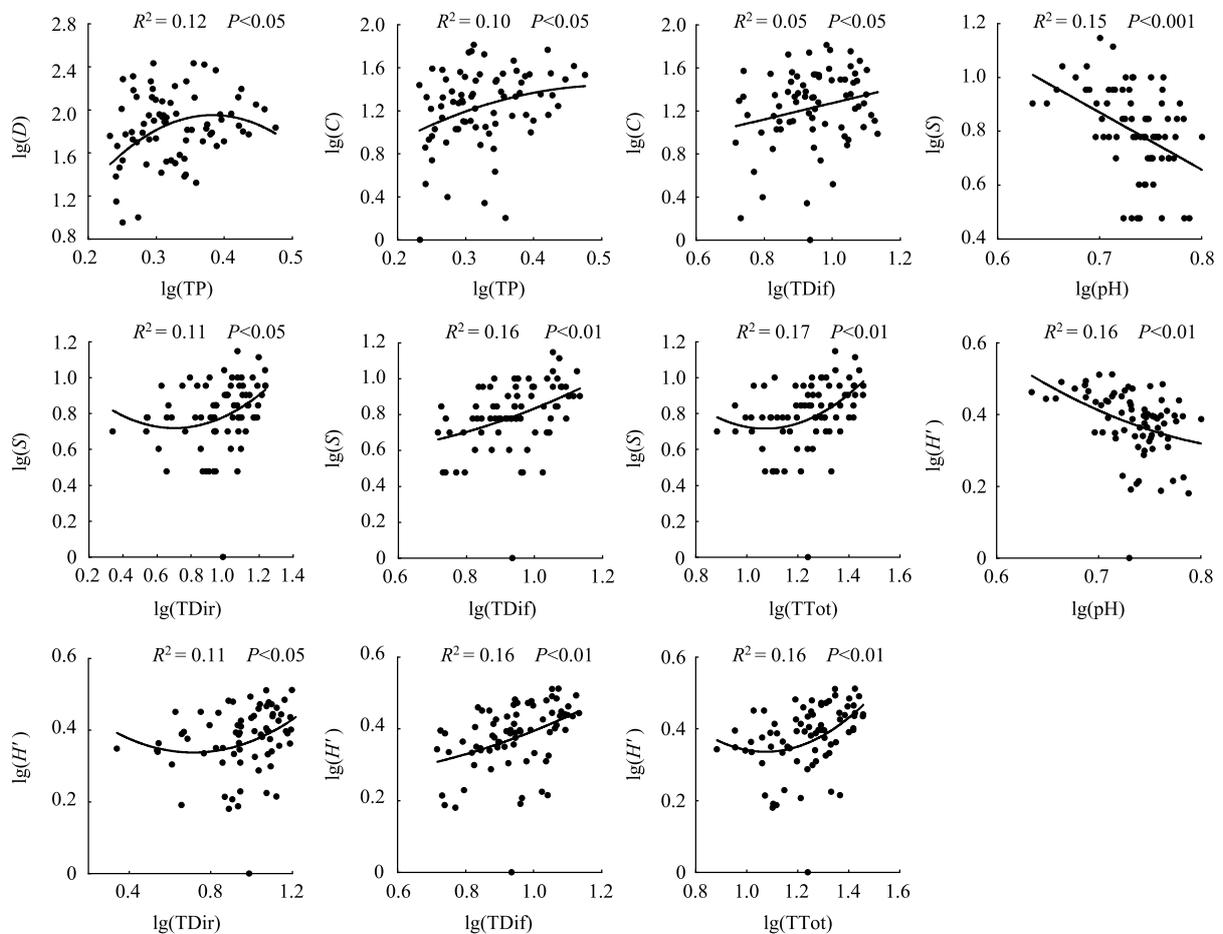


图 6 早春展叶植物的密度、盖度以及物种多样性与环境因子的关系

Fig.6 Relationships of density, coverage and species diversity of early-spring foliating herbs with environmental factors

4 结论

本研究探讨了五种林型不同生活史对策的早春草本层植物组成、物种多样性及环境解释,结果显示,阔叶红松林的早春生长期植物的密度和盖度均显著高于红松人工林和落叶松人工林,落叶松人工林的早春开花植物的密度、丰富度指数以及 Shannon-Wiener 指数均显著高于阔叶红松择伐林和阔叶红松林,白桦次生林的丰富度指数以及 Shannon-Wiener 指数均显著高于除阔叶红松林外的其他三种林型。这与植物的生长特性和林下环境异质性密切相关,主要受土壤 pH 和林下光照条件的影响。干扰后的森林在不断演替过程中,草本植物为满足其生长发育需求而进化出不同的资源获取与分配策略以适应森林环境的变化,使得森林在各个演替阶段均能达到动态的平衡。

参考文献 (References):

- [1] Isbell F, Gonzalez A, Loreau M, Cowles J, Díaz S, Hector A, Mace G M, Wardle D A, O'Connell M I, Duffy J E, Turnbull L A, Thompson P L, Larigauderie A. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 2017, 546(7656): 65-72.
- [2] Paul C, Hanley N, Meyer S T, Fürst C, Weisser W W, Knoke T. On the functional relationship between biodiversity and economic value. *Science Advances*, 2020, 6(5): eaax7712.
- [3] Chiatante G, Pellitteri-Rosa D, Torretta E, Nonnis Marzano F, Meriggi A. Indicators of biodiversity in an intensively cultivated and heavily human modified landscape. *Ecological Indicators*, 2021, 130: 108060.
- [4] Sala O E, Stuart Chapin F, Armesto J J, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke L F, Jackson R B, Kinzig A, Leemans R, Lodge D M, Mooney H A, Oesterheld M, Poff N L, Sykes M T, Walker B H, Walker M, Wall D H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287(5459): 1770-1774.
- [5] Yu M, Sun O J. Effects of forest patch type and site on herb-layer vegetation in a temperate forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 2013, 300: 14-20.

- [6] Muller R N, Bormann F H. Role of *Erythronium americanum* Ker. in energy flow and nutrient dynamics of a northern hardwood forest ecosystem. *Science*, 1976, 193(4258): 1126-1128.
- [7] 吴刚, 尹若波, 周永斌, 郝占庆, 梁秀英. 长白山红松阔叶林林隙动态变化对早春草本植物的影响. *生态学报*, 1999, 19(5): 659-663.
- [8] 夏富才, 张春雨, 赵秀海, 潘春芳. 早春草本植物群落结构及其聚类分析. *东北师大学报: 自然科学版*, 2008, 40(4): 109-114.
- [9] 高景, 王金牛, 徐波, 谢雨, 贺俊东, 吴彦. 不同雪被厚度下典型高山草地早春植物叶片性状、株高及生物量分配的研究. *植物生态学报*, 2016, 40(8): 775-787.
- [10] 王爱霞, 马婧婧, 龚会蝶, 范国安, 王茂, 赵红梅, 程军回. 北疆一年生早春短命植物物种丰富度分布格局及其影响因素. *生物多样性*, 2021, 29(6): 735-745.
- [11] Onaindia M, Dominguez I, Albizu I, Garbisu C, Amezaga I. Vegetation diversity and vertical structure as indicators of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*, 2004, 195(3): 341-354.
- [12] 杨勇, 刘爱军, 李兰花, 王保林, 王明玖. 不同干扰方式对内蒙古典型草原植物种组成和功能群特征的影响. *应用生态学报*, 2016, 27(3): 794-802.
- [13] Vilén T, Gunia K, Verkerk P J, Seidl R, Schelhaas M J, Lindner M, Bellassen V. Reconstructed forest age structure in Europe 1950-2010. *Forest Ecology and Management*, 2012, 286: 203-218.
- [14] Jandl R, Lindner M, Vesterdal L, Bauwens B, Baritz R, Hagedorn F, Johnson D W, Minkinen K, Byrne K A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 2007, 137(3/4): 253-268.
- [15] Paillet Y, Bergès L, Hjaltnén J, Ódor P, Avon C, Bernhardt-römermann M, Bijlsma R J, de bruyen L, Fuhr M, Grandin U, Kanka R, Lundin L, Luque S, Magura T, Matesanz S, Mészáros I, Sebastià M T, Schmidt W, Standovír T, Tóthmérész B, Uotila A, Valladares F, Vellak K, Virtanen R. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology*, 2010, 24(1): 101-112.
- [16] Augusto L, Dupouey J L, Ranger J. Effects of tree species on understory vegetation and environmental conditions in temperate forests. *Annals of Forest Science*, 2003, 60(8): 823-831.
- [17] 余敏, 周志勇, 康峰峰, 欧阳帅, 米湘成, 孙建新. 山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释. *植物生态学报*, 2013, 37(5): 373-383.
- [18] Lai M Y, He S C, Yu S, Jin G Z. Effects of experimental N addition on plant diversity in an old-growth temperate forest. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(11): 5900-5911.
- [19] 区余端, 苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态. *生态学报*, 2012, 32(18): 5637-5645.
- [20] Bartels S F, Chen H Y H. Interactions between overstorey and understorey vegetation along an overstorey compositional gradient. *Journal of Vegetation Science*, 2013, 24(3): 543-552.
- [21] 史宝库, 金光泽, 汪兆洋. 小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异. *生态学报*, 2012, 32(17): 5416-5428.
- [22] Frazer G W, Canham C D, Lertzman K P. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Millbrook: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia and the Institute of Ecosystem Studies, 1999.
- [23] 张涵丹, 康希睿, 邵文豪, 杨旭, 张建锋, 刘学全, 陈光才. 不同类型杉木人工林林下草本植物多样性特征. *生态学报*, 2021, 41(6): 2118-2128.
- [24] Nally R M, Walsh C J. Hierarchical partitioning public-domain software. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13(3): 659-660.
- [25] Ewald J. The influence of coniferous canopies on understory vegetation and soils in mountain forests of the northern Calcareous Alps. *Applied Vegetation Science*, 2000, 3(1): 123-134.
- [26] 班勇. 植物生活史对策的进化. *生态学杂志*, 1995, 14(3): 33-39.
- [27] Hartemink N, Jongejans E, de Kroon H. Flexible life history responses to flower and rosette bud removal in three perennial herbs. *Oikos*, 2004, 105(1): 159-167.
- [28] Stein A, Gerstner K, Kreft H. Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 2014, 17(7): 866-880.
- [29] Wang L, Liu C, Alves D G, Frank D A, Wang D L. Plant diversity is associated with the amount and spatial structure of soil heterogeneity in meadow steppe of China. *Landscape Ecology*, 2015, 30(9): 1713-1721.
- [30] Oyonarte C, Aranda V, Durante P. Soil surface properties in Mediterranean Mountain ecosystems: effects of environmental factors and implications of management. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(2): 156-165.
- [31] Russell A, Kivlin S, Hawkes C. Tropical tree species effects on soil pH and biotic factors and the consequences for macroaggregate dynamics. *Forests*, 2018, 9(4): 184.
- [32] Magill A H, Aber J D, Currie W S, Nadelhoffer K J, Martin M E, McDowell W H, Melillo J M, Stuedler P. Ecosystem response to 15 years of chronic nitrogen additions at the Harvard Forest LTER, Massachusetts, USA. *Forest Ecology and Management*, 2004, 196(1): 7-28.
- [33] 丛静, 尹华群, 卢慧, 宿秀江, 杨敬元, 李迪强, 张于光. 神农架保护区典型植被的物种多样性和环境解释. *林业科学*, 2013, 49(5): 30-35.
- [34] 黄庆阳, 曹宏杰, 谢立红, 罗春雨, 杨帆, 王立民, 倪红伟. 五大连池火山熔岩台地草本层物种多样性及环境解释. *生物多样性*, 2020, 28(6): 658-667.
- [35] Rodríguez-Loínez G, Onaindia M, Amezaga I, Mijangos I, Garbisu C. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1): 49-60.
- [36] 中国林业科学研究院林业研究所. 中国森林土壤. 北京: 科学出版社, 1986.
- [37] Matsuo T, Martínez-Ramos M, Bongers F, van der Sande M T, Poorter L. Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession. *Journal of Ecology*, 2021, 109(8): 2871-2884.
- [38] Binkley D, Campoe O C, Gspaldt M, Forrester D I. Light absorption and use efficiency in forests: why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 2013, 288: 5-13.
- [39] Kumar P, Chen H Y H, Thomas S C, Shahi C. Linking resource availability and heterogeneity to understory species diversity through succession in boreal forest of Canada. *Journal of Ecology*, 2018, 106(3): 1266-1276.
- [40] Zhou G, Liu Q J, Xu Z Z, Du W X, Yu J, Meng S W, Zhou H, Qin L H, Shah S. How can the shade intolerant Korean pine survive under dense deciduous canopy? *Forest Ecology and Management*, 2020, 457: 117735.
- [41] Múrialiget S, Tinya F, Bidló A, Ódor P. Environmental drivers of the composition and diversity of the herb layer in mixed temperate forests in Hungary. *Plant Ecology*, 2016, 217(5): 549-563.
- [42] Dormann C F, Bagnara M, Boch S, Hinderling J, Janeiro-Otero A, Schäfer D, Schall P, Hartig F. Plant species richness increases with light availability, but not variability, in temperate forests understorey. *BMC Ecology*, 2020, 20(1): 43.

附录:

附表 1 林下草本植物物种名录

Table S1 A list of understory herbaceous species

生活史对策 Life history strategy	物种名 Name
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	侧金盏花 <i>Adonis amurensis</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	顶冰花 <i>Gagea nakaiana</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	荷青花 <i>Hylomecon japonica</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	拟扁果草 <i>Enemion raddeanum</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	菟葵 <i>Eranthis stellata</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	五福花 <i>Adoxa moschatellina</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	延胡索 <i>Corydalis yanhusuo</i>
早春生长期植物 Early-spring growing herbs	银莲花 <i>Anemone cathayensis</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	白花碎米荠 <i>Cardamine leucantha</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	野芝麻 <i>Lamium barbatum</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	白屈菜 <i>Chelidonium majus</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	驴蹄草 <i>Caltha palustris</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	朝鲜堇菜 <i>Viola albida</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	林金腰 <i>Chrysosplenium lectus-cochleae</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	蔓孩儿参 <i>Pseudostellaria davidii</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	种阜草 <i>Moehringia lateriflora</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>
早春开花植物 Early-spring flowering herbs	北重楼 <i>Paris verticillata</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	野豌豆 <i>Vicia sepium</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	粗茎鳞毛蕨 <i>Dryopteris crassirhizoma</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	大叶柴胡 <i>Bupleurum longiradiatum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	耳叶蟹甲草 <i>Parasenecio auriculatus</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	和尚菜 <i>Adenocaulon himalaicum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	黑水当归 <i>Angelica amurensis</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	东北蹄盖蕨 <i>Athyrium brevifrons</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	花葱 <i>Polemonium caeruleum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	灰脉薹草 <i>Carex appendiculata</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	荚果蕨 <i>Matteuccia struthiopteris</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	假冷蕨 <i>Athyrium spinulosum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	尖萼耧斗菜 <i>Aquilegia oxysepala</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	尖嘴薹草 <i>Carex leiorhyncha</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	华北剪股颖 <i>Agrostis clavata</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	宽叶薹草 <i>Carex siderosticta</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	藜芦 <i>Veratrum nigrum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	铃兰 <i>Convallaria majalis</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	龙常草 <i>Diarrhena mandshurica</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	龙江风毛菊 <i>Saussurea amurensis</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	毛缘薹草 <i>Carex pilosa</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	木贼 <i>Equisetum hyemale</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	七瓣莲 <i>Trientalis europaea</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	槭叶蚊子草 <i>Filipendula glaberrima</i>

续表

生活史对策 Life history strategy	物种名 Name
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	贝加尔唐松草 <i>Thalictrum baicalense</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	山韭 <i>Allium senescens</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	升麻 <i>Cimicifuga foetida</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	水杨梅 <i>Geum chiloense</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	喷呐草 <i>Mitella nuda</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	乌苏里薹草 <i>Carex ussuriensis</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	乌头 <i>Aconitum carmichaelii</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	舞鹤草 <i>Maianthemum bifolium</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	狭叶荨麻 <i>Urtica angustifolia</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	大全叶山芹 <i>Ostericum maximowiczii</i> var. <i>australe</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	东北羊角芹 <i>Aegopodium alpestre</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	大叶章 <i>Deyeuxia purpurea</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	烟管蓟 <i>Cirsium pendulum</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	羊须草 <i>Carex callitrichos</i>
早春展叶植物 Early-spring foliating herbs	猪殃殃 <i>Galium spurium</i>