

DOI: 10.5846/stxb201905171015

李萌, 陈永康, 徐浩成, 尤业明, 温远光, 朱宏光, 蔡道雄, 黄雪蔓. 不同间伐强度对南亚热带杉木人工林林下植物功能群的影响. 生态学报, 2020, 40(14): 4985-4993.

Li M, Chen Y K, Xu H C, You Y M, Wen Y G, Zhu H G, Cai D X, Huang X M. Effects of different thinning intensities on undergrowth plant functional groups in subtropical *Cunninghamia lanceolata* plantations. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(14): 4985-4993.

不同间伐强度对南亚热带杉木人工林林下植物功能群的影响

李 萌¹, 陈永康¹, 徐浩成¹, 尤业明^{1,3}, 温远光^{1,3}, 朱宏光^{1,3}, 蔡道雄², 黄雪蔓^{1,3,*}

1 广西大学林学院, 广西森林生态与保育重点实验室, 南宁 530004

2 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 凭祥 532600

3 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 凭祥 532600

摘要: 间伐作为我国森林经营的主要措施之一, 对提高森林生态系统内部生物多样性起着不可忽视的作用。然而, 不同间伐强度对森林林下植物功能群的影响程度尚不明确。以广西凭祥热林中心经过 4 种不同强度抚育间伐 8 年后的杉木人工林为研究对象(轻度间伐 ST, 34%; 中度间伐 MT, 50%; 重度间伐 HT, 74%; 不进行间伐的对照, CK), 对林下植被及其环境因子进行调查和测定。研究表明: 不同间伐强度对禾草植物功能群的物种丰富度均无显著影响($P > 0.05$), MT 显著增加杂草植物功能群的物种丰富度($P < 0.05$), HT 显著提高蕨类植物功能群的物种丰富度($P < 0.05$), ST 显著增加木本植物功能群的物种丰富度($P < 0.05$), 与 CK 相比, ST、MT 和 HT 均能显著增加藤本植物功能群的物种丰富度($P < 0.05$); 不同间伐强度对禾草和木本植物功能群的重要值均无显著影响($P > 0.05$), 但 HT 显著降低了杂草植物功能群的重要值($P < 0.05$), ST 显著降低了蕨类植物功能群的重要值($P < 0.05$), ST 显著增加藤本植物功能群的重要值($P < 0.05$)。主成分分析(PCA)表明, ST 和 HT 的林下植物功能群组成和分布与对照组相比均发生了显著的变异。方差分解分析(Variation partitioning analyses)结果显示, 林分和土壤因子对林下植物功能群变异的解释率相似, 二者在决定杉木人工林林下植物功能群变异中都起着重要作用。

关键词: 杉木人工林; 间伐强度; 植物功能群; 物种丰富度; 环境解释

Effects of different thinning intensities on undergrowth plant functional groups in subtropical *Cunninghamia lanceolata* plantations

LI Meng¹, CHEN Yongkang¹, XU Haocheng¹, YOU Yeming^{1,3}, WEN Yuanguang^{1,3}, ZHU Hongguang^{1,3}, CAI Daoxiong², HUANG Xueman^{1,3,*}

1 Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation, College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China

2 Experiment Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, China

3 Guangxi Youyiguang Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang 532600, China

Abstract: As one of the main plantation management strategies, thinning plays an important role in improving biodiversity of forest ecosystem in China. However, the effects of different thinning intensities on undergrowth plant functional groups are still unclear. We investigated the changes of four different thinning intensities for eight years (slight thinning, ST, 34%; moderate thinning, MT, 50%; heavy thinning, HT, 74%; no thinning control, CK) on the understory vegetation and its related environmental factors in *Cunninghamia lanceolata* plantations in subtropical China. We found that the different

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560201); 广西自然科学基金青年项目(2016GXNSFBA380222); 广西自然科学基金面上项目(2017GXNSFAA198207)

收稿日期: 2019-05-17; 网络出版日期: 2020-04-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangxm168168@163.com

thinning intensities had no significant influence on the grass species richness of plant functional groups ($P>0.05$). MT significantly increased weed species richness of plant functional groups ($P<0.05$), while HT significantly increased fern species richness of plant functional groups ($P<0.05$). ST significantly increased the species richness of woody plant functional groups ($P<0.05$). The ST, MT and HT could significantly increase vine species richness of plant functional groups ($P<0.05$). In addition, the different thinning intensities had no significant effect on the important values of the functional groups of grass and woody plants ($P>0.05$), but HT significantly reduced the important values of the functional groups of weeds ($P<0.05$). Meanwhile, the ST significantly decreased the important values of the functional groups of ferns ($P<0.05$), and ST significantly increased the important values of the functional groups of vines ($P<0.05$). Principal component analysis (PCA) showed that the composition and distribution of understory plant functional groups of ST and HT were significantly different from those of the no thinning control groups. Overall, the interpretation rates of forest and soil factors on the variation of understory plant functional groups that examined by the variation partitioning analyses were similar. And the forest and soil factors could jointly determine the variations of understory plant functional groups in *Cunninghamia lanceolata* plantations.

Key Words: *Cunninghamia lanceolata* plantations; thinning intensity; plant function group; species richness; environmental interpretation

杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]是我国南方重要的优质速生用材林针叶树种,因具有生长快、适应性强、经济效益高、材质好等特点而被广泛种植^[1]。杉木在短期内给社会带来巨大经济效益的同时,也带来一系列的生态环境问题。长期以来,杉木人工林多以纯林经营为主,林分结构单一,且密度过大,导致杉木人工林出现生物多样性严重下降、地力衰退、病虫害猖獗、生态功能低下和生产力下降等问题^[2],这严重影响杉木人工林的可持续经营。因此,如何通过不同的森林培育措施合理、科学地经营和管理人工林,有效提高林分质量、维持生态功能和维护林地可持续发展,已成为当今人工林经营亟待解决的重大课题^[3]。间伐作为一种重要的森林经营措施,其在调整林分密度结构并促进林木生长的同时,也能影响林下植被的更新与生长,改变林下植被物种的多样性和结构组成^[1]。由于林分类型、间伐强度、间伐方式等^[4-6]的不同,目前有关间伐措施对杉木人工林林下植被物种多样性的影响也没有统一的结论。

林下植被是构成森林生态系统的重要组成部分,越来越多的研究表明林下植被在维持整个森林生态系统结构和功能上发挥着至关重要的作用,特别是在维持整个森林生态系统的物种多样性、系统稳定性、水土保持、调控地上和地下物质循环和能量流动等方面发挥着不可替代的作用^[7-10],然而林下植被相对于乔木层而言,由于其生物量非常少而常常被人们所忽视^[11],因此对林下植被多样性开展相关研究意义重大。虽然在生态系统中每个物种都具有其自身的作用,但是每个物种作用的性质和大小存在很大的差别,因此需要对物种进行功能群的分类^[12]。国内外不少学者已对植物功能群在生态系统中的作用及其机制进行了广泛的探讨,一些研究结果表明植物功能群组成是影响森林群落生产力和稳定性的主要因子^[13-14]。同时,把林下植被群落划分为不同的功能群有利于深入研究不同植物物种在生态系统中的作用^[1]。

目前,国内外关于间伐对人工林影响的研究大多集中在不同间伐强度对林木生长^[15]、林地土壤养分^[16]、林内植被多样性^[17]等的影响,而不同间伐强度对林下具体划分的植物功能群影响尚缺乏深入的认识。本研究通过探究不同间伐强度对我国亚热带杉木人工林林下植物群落的影响,揭示林下植物功能群变化的原因,研究结果将加深林下不同植物功能群对不同间伐强度的响应的理解,为科学制定杉木人工林经营管理措施提供数据支撑和理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究样地概况

研究区位于广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站内的中国林业科学研究院热带林业实验中心

青山实验林场。该区地形以低山丘陵为主,土壤以花岗岩风化形成的砖红壤为主。地处北回归线以南的低纬度地区,受太阳辐射热能多;距北部湾较近,受海洋季风影响颇大,形成了亚热带季风型气候,主要气候特点为:长夏无冬,雨量充沛,半年高温多雨,半年少雨温凉。年均降雨量 1400mm,且降雨主要集中在 4—9 月,相对湿度为 80%—84%;年均气温 19.5—21.41℃,1 月平均气温最低(11.4—13.5℃),7 月平均气温最高(25.7—27.7℃)。

表 1 实验样地基本概况

Table 1 Basic situation of the experiment plots

样地 Plot	全氮 TN/ (g/kg)	全磷 TP/ (g/kg)	全钾 TK/ (g/kg)	有效钾 AK/ (mg/kg)	有机碳 SOC/ (g/kg)	土壤碳氮比 N/P _{soil}	土壤氮磷比 N/P _{soil}	密度 SD/ (株/hm ²)	郁闭度 CD	胸高断面积 BA/ (m ² /ha)
对照 CK	1.66±0.20	0.31±0.01	1.34±0.12	79.00±27.22	24.30±2.68	14.71±0.16	5.26±0.50	1566.67±19.25	0.85±0.00	43.07±1.18
轻度间伐 ST	1.80±0.14	0.26±0.07	2.42±0.25	85.33±14.08	15.48±4.85	8.40±2.48	8.23±2.54	1572.22±81.84	0.85±0.00	40.89±2.22
中度间伐 MT	1.67±0.13	0.43±0.04	7.35±2.75	205.00±77.62	24.80±8.10	14.27±4.10	3.86±0.19	1005.56±20.03	0.75±0.00	31.10±1.59
重度间伐 HT	1.94±0.12	0.38±0.03	2.12±0.09	60.67±22.58	21.23±4.56	11.32±3.11	5.09±0.40	538.89±24.22	0.70±0.00	22.29±0.61

对照: No thinning control, CK; 轻度间伐: Slight thinning, ST; 中度间伐: Moderate thinning, MT; 重度间伐: Heavy thinning, HT; 全氮: Total nitrogen, TN; 全磷: Total phosphorus, TP; 全钾: Total potassium, TK; 有效钾: Available potassium, AK; 有机碳: Organic carbon, SOC; 土壤碳氮比: Carbon to nitrogen ratio of soil, C/N; 土壤氮磷比: Nitrogen to phosphorus ratio of soil, N/P; 密度: Density, SD; 郁闭度: Crown density, CD; 胸高断面积: Chest height break area, BA

1.2 实验样地设计

2004 年 9 月,从青山实验林场 6 林班选择 1992 年种植的位置邻近,并且具有相似林龄、土壤质地和地形的杉木林,处理前以传统林分经营方式管护杉木林地,在林内建立 12 个 20m×30m 的固定实验样地,共设计了 4 种处理(对照,CK;轻度间伐,ST;中度间伐,MT;重度间伐,HT),每种处理 3 个重复。于 2005 年,在样地内选择生长良好的杉木为目标树种,按轻度间伐 ST(34%)、中度间伐 MT(50%)和重度间伐 HT(74%)3 种不同的间伐强度间伐去除生长不良、干形不佳的树体,同时以没有经过任何间伐处理的样地作为对照(CK)。样地基本信息见表 1。

1.3 样地调查

2013 年 8 月(间伐处理 8 年后),采用典型的样地调查方法,记录样地的经纬度、气候、地形等基本信息。将每块 20m×30m 的样地平均划分成 6 个 10m×10m 的样方,分别对每个样地中胸径≥2cm 的乔木进行每木检尺调查。同时,在样地内每个 10m×10m 的样方中固定一角设置一个 5m×5m 的小样方调查林下植被的物种组成,并记录种名、个体数、盖度、每个种出现的样方数等。

1.4 土壤样品的采集和测定

每个固定样方按“品”字形设置采样点,挖取土壤剖面,记录土层厚度、土壤颜色、土壤质地等特征后,采集 0—20cm 土壤样品,将每个样地采集的所有土样采用四分法混合取出土样,带回实验室,风干后过 2mm 土筛,用于土壤基本理化性质的测定。其中,测定土壤全氮(TN)采用凯氏定氮法,全磷(TP)采用钼蓝比色法,全钾(TK)和速效钾(AK)采用火焰光度计法,有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化法^[18]。

1.5 数据分析

本研究采用每种林下植物功能群的物种数和重要值(Importance value, IV)来表征其在杉木林下植物群落中的地位 and 优势大小。其中物种重要值的计算方法如下:

$$IV = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3 \quad (1)$$

林下植物物种的功能群划分方法参照 Miller 等进行,将调查的所有林下植物物种归类为禾本科草本(禾草)、非禾本科草本(杂草)、蕨类、木本和藤本 5 类植物物种功能群,其植物功能群的重要值计算如下:

$$IV_g = \sum_{i=1}^S IV_{si} \quad (2)$$

式中, S 为某植物功能群中的物种总数; IV_{si} 为某植物功能群中第 i 个种的重要值。为了便于统计分析,本研究

对计算得到的所有重要值均乘以 100^[19]。

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)分别比较不同群落类型之间的植物功能群的物种数和重要值的差异大小。利用 SPSS 中的 Pearson 方法对土壤和林分因子与杉木人工林林下植物功能群物种重要值进行相关分析。统计分析过程均在软件 SPSS 24.0 for Windows 上进行,采用最小显著差异法(LSD)比较均值之间的差异程度,显著性水平全部设置为 $P<0.05$ 。

同时,结合野外调查和室内分析测定得到 10 个环境因子,其中土壤因子包括土壤全氮(TN)、土壤全磷(TP)、土壤全钾(TK)、速效钾(AK)、土壤有机碳(SOC)、土壤碳氮比(C/N_{soil})和土壤氮磷比(N/P_{soil});林分因子包括林分密度(SD)、林分郁闭度(CD)和林木胸高断面积(BA)。采用主成分分析(PCA)比较杉木人工林不同间伐强度下其林下植物功能群组成的变异程度,其物种数据采用植物功能群的重要值数据。最后,采用方差分解分析区分影响杉木人工林林下植物功能群的土壤因子和林分因子的纯效应和共同效应并运用韦恩图进行显示,其中 a 和 b 分别代表土壤和林分因子的纯效应,c 代表土壤和林分因子的共同效应。主成分分析和方差分解分析均在在软件 CANOCO 5.0 上进行。

2 结果与分析

2.1 不同间伐强度处理对杉木人工林林下植物功能群物种丰富度的影响

将调查的所有杉木人工林林下植被分为 5 个植物功能群,分别是禾草(禾本科草本植物)、杂草(非禾本科草本植物)、蕨类、木本和藤本植物功能群。本研究的杉木人工林林下植被共 87 科,135 属,170 种,其中禾草植物功能群的植物分为 1 科,10 属,11 种;杂草植物功能群的植物分为 18 科,25 属,28 种;蕨类植物功能群的植物分为 15 科,20 属,30 种;木本植物功能群的植物分为 30 科,47 属,64 种;藤本植物功能群的植物分为 23 科,33 属,37 种(表 2)。

表 2 样地林下植被组成

Table 2 Composition of understory vegetation in the plot

功能群类型 Functional group type	科 Family	属 Genus	种 Species	物种名称 Name of the species
禾草植物功能群 Grass	1	10	11	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (Arduino) Beauv. 棕叶狗尾草 <i>Setaria palmifolia</i> (Koen.) Stapf 荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino 竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i> (L.) Beauv. 棕叶芦 <i>Thysanolaena maxima</i> (Roxb.) Kuntze
杂草植物功能群 Forb	18	25	28	雷公根 <i>Centella asiatica</i> (L.) Urban 华山姜 <i>Alpinia chinensis</i> (Retz.) Rosc. 艳山姜 <i>Alpinia zerumbet</i> (Pers.) Burtl. et Smith 仙茅 <i>Curculigo orchiioides</i> Gaertn. 鸭趾草 <i>Commelina communis</i> L.
蕨类植物功能群 Fern	15	20	30	半边旗 <i>Tectaria phaeocaulis</i> (Ros.) C. Chr. 深绿短肠蕨 <i>Allantodia viridissima</i> (Christ) Ching 狗脊 <i>Cibotium barometz</i> (L.) J.Sm. 黑足鳞毛蕨 <i>Cibotium barometz</i> (L.) J. Sm. 热带鳞盖蕨 <i>Dicranopteris dichotoma</i> (Thunb.) Bernh

续表				
功能群类型 Functional group type	科 Family	属 Genus	种 Species	物种名称 Name of the species
木本植物功能群 Woody	30	47	64	杜茎山 <i>Maesa japonica</i> (Thunb.) Moritzi.
				鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms
				杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.
				三叉苦 <i>Evodia lepta</i> (Spreng.) Merr.
				五月茶 <i>Antidesma bunius</i> (Linn.) Spreng.
藤本植物功能群 Vine	23	33	37	
				东风草 <i>Blumea megacephala</i> (Randeria) Chang et Tseng
				钩藤 <i>Uncaria rhynchophylla</i> (Miq.) Miq. ex Havil.
				海金沙 <i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.
				绞股蓝 <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino
				乌藨莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.
				

单因素方差分析结果表明,不同间伐强度处理后,杉木人工林林下禾草植物功能群的物种丰富度均无显著差异($P>0.05$)。在不同间伐强度处理后,中度间伐使杂草植物功能群的物种丰富度显著高于对照组和重度间伐组($P<0.05$),而轻度和重度间伐与对照组($P>0.05$)的杂草植物功能群的物种丰富度无显著差异,中度、重度和轻度间伐的杂草植物功能群间的物种丰富度均无显著差异($P>0.05$)。不同间伐强度处理间蕨类植物功能群的物种丰富度差异不显著($P>0.05$),但是对照处理蕨类植物功能群的物种丰富度显著低于重度间伐处理($P<0.05$)。不同间伐强度对木本植物功能群的物种丰富度没有产生显著影响($P>0.05$);对照处理木本植物功能群的物种丰富度与中度和重度间伐处理均无显著差异($P>0.05$),但却明显低于轻度间伐处理($P<0.05$)。对照处理的藤本植物功能群物种丰富度均显著低于轻度、中度和重度间伐处理($P<0.05$),但三种间伐强度间无显著差异($P>0.05$) (图 1)。

2.2 不同间伐强度处理对杉木人工林林下植物功能群重要值的影响

不同间伐强度处理对杉木人工林林下禾草植物功能群的重要值没有显著影响($P>0.05$)。中度间伐处理的杂草植物功能群重要值显著高于重度间伐处理($P<0.05$),但和其他处理之间没有显著差异($P>0.05$)。轻度间伐使蕨类植物功能群的重要值显著低于对照和重度间伐处理($P<0.05$),其余处理间的蕨类植物功能群重要值差异并不显著($P>0.05$)。不同处理下的木本植物功能群重要值均无显著差异($P>0.05$)。轻度间伐显著提高藤本植物功能群的重要值($P<0.05$),但其处理间藤本植物功能群的重要值无显著差异($P>0.05$) (图 2)。

2.3 不同间伐强度处理对杉木人工林林下植物功能群组成的影响

对不同间伐强度处理的杉木人工林林下植物功能群组成进行主成分分析(PCA)发现,第一主成分(PCA 1)和第二主成分(PCA 2)分别解释本研究所有林下植物功能群变异的 68.7%和 16.8%;PCA 1 将轻度间伐处

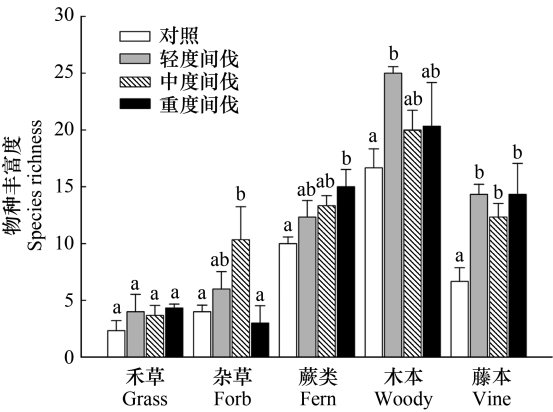


图 1 不同间伐强度下植物功能群的物种丰富度
Fig.1 Species richness of plant functional groups in different thinning intensities
数值 = 平均值±标准误差,不同字母代表差异显著 ($P<0.05$)

理与对照、中度和重度间伐处理的林下植物功能群明显分开,PCA 2 将重度间伐处理与对照、轻度和中度间伐处理的林下植物功能群明显分开。这表明杉木人工林经过不同强度的间伐处理后,其林下植物功能群组成不仅与对照处理相比发生了显著的变化,而且不同间伐处理之间的林下植物功能群组成也有一定的差异(图 3)。

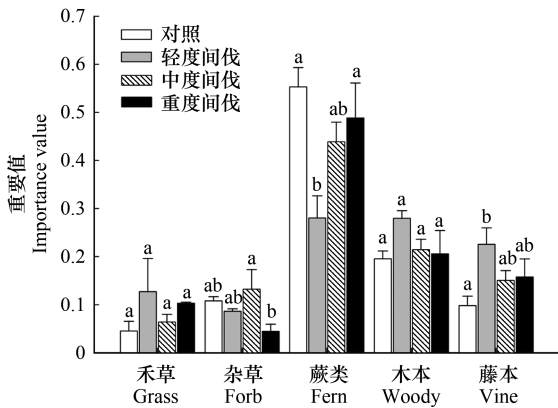


图 2 不同间伐强度下植物功能群的重要值
Fig.2 Importance value of plant functional groups in different thinning intensities

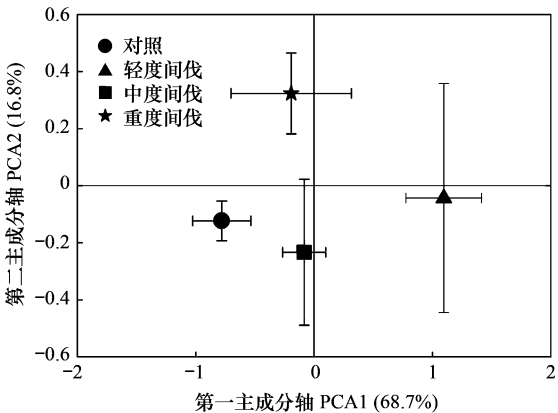


图 3 不同间伐强度下植物功能群的主成分分析
Fig. 3 Principal component analysis (PCA) of the plant functional groups in different thinning intensities
数值=平均值±标准误差, n=3

2.4 土壤和林分因子对杉木人工林林下植物功能群的影响

相关性分析结果表明,土壤全磷与杉木人工林林下禾草植物功能群的物种重要值成显著的负相关关系,而氮磷比与林下禾草植物功能群的物种重要值成极显著的正相关关系;土壤全钾和速效钾均与林下杂草植物功能群的物种重要值成极显著的正相关关系,而其他土壤因子和所有林木因子与杉木人工林林下各植物功能群的物种重要值的相关性均不显著(表 3)。

表 3 土壤和林分因子与杉木人工林林下植物功能群物种重要值的相关性分析结果

Table 3 The results of correlation analyses between soil and forest factors and the important values of plant functional groups of *Cunninghamia lanceolata* plantations

	禾草 Grass	杂草 Forb	蕨类 Fern	木本 Woody	藤本 Vine
土壤因子 Soil factors					
全氮 TN	-0.039	-0.441	0.151	-0.162	0.196
全磷 TP	-0.646 *	0.225	0.462	-0.283	-0.216
全钾 TK	-0.071	0.719 **	-0.247	0.152	-0.087
有效钾 AK	-0.226	0.771 **	-0.074	0.101	-0.279
有机碳 SOC	-0.089	-0.2	0.234	-0.192	-0.075
土壤碳氮比 C/Nsoil	-0.074	-0.107	0.207	-0.16	-0.132
土壤氮磷比 N/Psoil	0.797 **	-0.258	-0.516	0.2	0.272
林分因子 Forest factors					
林分密度 SD	-0.084	0.377	-0.196	0.257	-0.016
郁闭度 CD	-0.039	0.279	-0.22	0.268	0.051
胸高断面面积 BA	-0.215	0.413	-0.105	0.236	-0.078

* 代表 $P<0.05$; ** 代表 $P<0.01$.

方差分解分析结果显示,土壤和林分因子分别解释杉木人工林林下植物功能群变异的 53.8%和 67.9%,土壤与林分因子的交互作用解释其变异的-66.8%,未解释部分占 45.1%。土壤与林分因子共同解释了 54.9%的杉木人工林林下植物功能群变异情况(图 4)。

3 讨论

3.1 不同间伐强度处理对杉木人工林林下植被多样性的影响

间伐作为我国森林经营的主要措施之一,不仅能够直接调整林分密度,改变森林内部环境,还能调节林下的光照、空气温度和湿度,促进林下土壤温度、养分、水分以及林下土壤微生物群落的变化^[20],并且能促进林木生长,对提高森林生态系统内部的生物多样性也起着不可忽视的作用^[21]。我们的研究表明,中度间伐显著增加杂草植物功能群的物种丰富度,重度间伐显著增加蕨类植物功能群的物种丰富度,轻度间伐显著增加木本植物功能群的物种丰富度,轻度、中度和重度间伐都显著增加藤本植物功能群的物种丰富度,这与许多前人的研究结果相似^[22-23]。马履一等^[17]发现抚育间伐可以增加林下植被的多样性,且重度间伐的效果最好。汤景明等^[24]发现间伐可以增加林下木本植物的种类。也有人发现轻度和中度间伐能使林

下植被多样性增加,而重度间伐则会降低其多样性^[25]。本研究发现间伐对禾草植物功能群和木本植物功能群的重要值都无显著影响;这与 Reader 等人的研究结果类似^[26-27]。也有人认为间伐会减少林下植被物种多样性^[28-29],这与本研究结果轻度和重度间伐分别显著降低蕨类和杂草植物功能群的重要值相一致。间伐增加了森林生态系统内的环境异质性,导致以上研究结果的原因可能是由于不同植物正常生长所需的光照、水分、营养等不同,间伐处理使得喜光和需水等级较高的植物得以入侵,而不利于喜阴和喜湿的植物生存。

3.2 土壤因子对杉木人工林林下植物功能群的影响

土壤是影响植物群落的主要环境因子之一,土壤的基本理化性质与植物群落组成和生物多样性有着密切的联系,多年来一直是科学家研究的热点^[30]。草本植物是森林生态系统的重要组成部分,很大程度上影响森林生态系统的能量流动和物质循环,在维持森林生态系统稳定方面发挥着重要作用^[9]。本研究显示:土壤全磷和氮磷比分别显著和极显著地影响杉木人工林林下禾草植物功能群的变异;土壤全钾和速效钾极显著地影响其林下杂草植物功能群的变异。氮、磷和钾是植物生长所需的大量元素,植物体内许多重要有机化合物都含氮、磷、钾,同时植物体内各种代谢过程也都有它们的参与^[31]。间伐干扰可能影响了土壤的营养成分,从而影响杉木林下植物功能群的生长。Gartlan 等^[32]研究表明土壤钾的水平与植物群落物种多样性之间存在明显的相关关系,这与本研究的结果相似。影响林下植被生长的因素有很多,有人认为林隙分布和土壤酸碱度是影响草本植物多样性的主要因素^[33];也有人认为坡向是影响草本植物多样性的主要制约因子^[34]。此外,不同的林分条件和土壤因子对植物功能群的生物多样性影响也不同。有研究表明林分密度、郁闭度等是影响人工林林下物种组成的重要原因^[17-24],但本研究却发现它们对杉木人工林林下各植物功能群的影响不显著,这可能是由于间伐对林下植物多样性的影响与时间尺度有关,对于森林生长进程而言,8 年对林下植物多样性的影响是短期的。林下植物多样性受多种因素的共同影响,如地形、海拔、光照、林隙、土壤肥力等。而在本研究中,其他土壤因子和所有林分因子对杉木人工林林下各植物功能群的影响均不显著,这可能与这些因子在不同间伐处理样地之间的差异程度较小有关。要想清楚了解间伐对杉木人工林林下植物种类和数量等的影响,还需要长期的定位观测研究,设立固定样地进行连续调查,确定间伐的周期和强度,控制不同生长阶段林分的密度,促进林分的可持续经营,以维持森林生态系统的稳定。

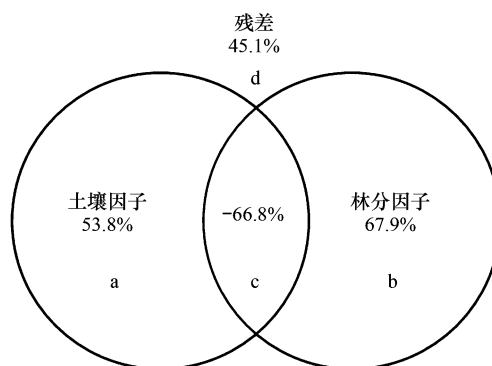


图4 影响杉木人工林林下植物功能群的土壤和林分因子的方差分解分析

Fig.4 Variance partitioning analysis of soil and forest factors affecting understory plant functional groups of *Cunninghamia lanceolata* plantations

a, 土壤因子的纯效应; b, 林分因子的纯效应; c, 土壤和林分因子的共同效应; d, 不能被解释的部分, 用残差表示

4 结论

不同强度间伐措施调整林分密度能够促进林下植被的发育,其中以轻度和重度间伐效果最为显著。轻度、中度和重度间伐均能显著增加藤本植物功能群的物种丰富度,轻度间伐显著增加木本植物功能群的物种丰富度,中度间伐显著增加杂草植物功能群的物种丰富度,重度间伐显著提高蕨类植物功能群的物种丰富度;轻度间伐显著降低蕨类植物功能群的重要值,但能显著增加藤本植物功能群的重要值,重度间伐显著降低杂草植物功能群的重要值。林分和土壤因子对林下植物功能群变异的解释率相似,二者在决定杉木人工林林下植物功能群变异中都发挥着重要作用。本文仅研究了间伐8年后杉木人工林林下植被功能群的变化及其影响因子,人工间伐干扰对森林生态系统造成的影响是长期而复杂的,不同间伐强度对杉木人工林林下植物功能群的影响及其机制有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 黄雪蔓, 尤业明, 蓝嘉川, 刘世荣, 贾宏炎, 朱宏光, 温远光. 不同间伐强度对杉木人工林碳储量及其分配的影响. 生态学报, 2016, 36(1): 156-163.
- [2] Verschuur J, Riffell S, Miller D, Wigley T B. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests—a meta-analysis. Forest Ecology and Management, 2011, 261(2): 221-232.
- [3] 王俊男, 于洋洋, 林柳兴, 庄正, 邹显花, 刘爱琴. 杉木林内光环境对楠木生长的影响. 森林与环境学报, 2018, 38(4): 425-430.
- [4] Widenfalk O, Weslien J. Plant species richness in managed boreal forest—effects of stand succession and thinning. Forest Ecology and Management, 2009, 257(5): 1386-1394.
- [5] Taki H, Inoue T, Tanaka H, Makihara H, Sueyoshi M, Isono M, Okabe K. Responses of community structure, diversity, and abundance of understory plants and insect assemblages to thinning in plantations. Forest Ecology and Management, 2010, 259(3): 607-613.
- [6] 陈东莉, 郭晋平, 杜宁宁. 间伐强度对华北落叶松林下生物多样性的影响. 东北林业大学学报, 2011, 39(4): 37-38, 118-118.
- [7] 段梦成, 王国梁, 史君怡, 周昊翔. 间伐对油松人工林优势种群结构与分布格局的影响. 生态学杂志, 2019, 38(01): 1-10.
- [8] Whigham D F. Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forests. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2004, 35: 583-621.
- [9] Gilliam F S, Niles A. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. Bioscience, 2007, 57(10): 845-858.
- [10] Wu J P, Liu Z F, Wang X L, Sun Y X, Zhou L X, Lin Y B, Fu S L. Effects of understory removal and tree girdling on soil microbial community composition and litter decomposition in two Eucalyptus plantations in South China. Functional Ecology, 2011, 25(4): 921-931.
- [11] 尤业明, 徐佳玉, 蔡道雄, 刘世荣, 朱宏光, 温远光. 广西凭祥不同年龄红椎林林下植物物种多样性及其环境解释. 生态学报, 2016, 36(1): 164-172.
- [12] 尤业明, 陈永康, 朱宏光, 刘通, 温远光, 黄雪蔓. 桉树人工林更新方式对林下植物功能群的影响. 广西植物, 2019, 39(1): 126-135.
- [13] Hooper D U, Vitousek P M. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. Science, 1997, 277(5330): 1302-1305.
- [14] Hooper D U. The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant diversity. Ecology, 1998, 79(2): 704-719.
- [15] Forrester D I, Medhurst J L, Wood M, Beadle C L, Valencia J C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from Eucalyptus plantations: an Australian perspective. Forest Ecology and Management, 2010, 259(9): 1819-1835.
- [16] Tian D L, Peng Y Y, Yan W D, Fang X, Kang W X, Wang G J, Chen X Y. Effects of thinning and litter fall removal on fine root production and soil organic carbon content in Masson pine plantations. Pedosphere, 2010, 20(4): 486-493.
- [17] 马履一, 李春义, 王希群, 徐昕. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响. 林业科学, 2007, 43(5): 1-9.
- [18] 吕刚, 王婷, 李叶鑫, 魏忠平, 王凯. 樟子松固沙林更新迹地草本植物多样性及其对土壤理化性质的影响. 生态学报, 2017, 37(24): 8294-8303.
- [19] 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.
- [20] 王成, 庞学勇, 包维楷. 低强度林窗式疏伐对云杉人工纯林地表微气候和土壤养分的短期影响. 应用生态学报, 2010, 21(3): 541-548.
- [21] 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. 世界林业研究, 2006, 19(6): 27-32.
- [22] Wienk C L, Sieg C H, McPherson G R. Evaluating the role of cutting treatments, fire and soil seed banks in an experimental framework in ponderosa pine forests of the Black Hills, South Dakota. Forest Ecology and Management, 2004, 192(2/3): 375-393.
- [23] Metlen K L, Fiedler C E. Restoration treatment effects on the understory of ponderosa pine/Douglas-fir forests in western Montana, USA. Forest

- Ecology and Management, 2006, 222(1/3): 355-369.
- [24] 汤景明, 孙拥康, 冯骏, 林孝培. 不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 90-93, 122-122.
- [25] 段劼, 马履一, 贾黎明, 贾忠奎, 公宁宁, 车文瑞. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响. 生态学报, 2010, 30(6): 1431-1441.
- [26] Reader R J, Bricker B D. Value of selectively cut deciduous forest for understory herb conservation: an experimental assessment. Forest Ecology and Management, 1992, 51(4): 317-327.
- [27] Gilliam F S, Turrill N L, Adams M B. Herbaceous-Layer and overstory species in clear-cut and mature central Appalachian hardwood forests. Ecological Applications, 1995, 5(4): 947-955.
- [28] Buongiorno J, Dahr S, Lu H C, Lin C R. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. Forest Science, 1994, 40(1): 83-103.
- [29] Nagai M, Yoshida T. Variation in understory structure and plant species diversity influenced by silvicultural treatments among 21-to 26-year-old *Picea glehnii* plantations. Journal of Forest Research, 2006, 11(1): 1-10.
- [30] 杨万勤, 钟章成, 陶建平. 缙云山森林土壤速效 P 的分布特征及其与物种多样性的关系研究. 生态学报, 2001, 20(4): 24-27.
- [31] 刘冠成, 黄雅曦, 王庆贵, 邢亚娟. 环境因子对植物物种多样性的影响研究进展. 中国农学通报, 2018, 34(13): 83-89.
- [32] Gartlan J S, Newbery D M, Thomas D W, Waterman P G. The influence of topography and soil phosphorus on the vegetation of Korup Forest Reserve, Cameroun. Vegetatio, 1986, 65(3): 131-148.
- [33] 夏富才, 赵秀海, 潘春芳, 范娟, 汪金松, 倪瑞强, 何怀江, 陈贝贝, 丁胜建, 姜俊. 长白山阔叶红松林及杨桦林下草本季节动态及环境解释. 东北林业大学学报, 2012, 40(11): 83-89.
- [34] 曹云生, 杨新兵, 张伟, 宋庆丰, 张建华. 冀北山区森林群落草本多样性及其与地形关系研究. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2840-2844.