

DOI: 10.5846/stxb201902200301

詹美春, 官凤英, 晏颖杰, 张美曼, 郑亚雄. 带状采伐对毛竹林林下植被物种多样性的影响. 生态学报, 2020, 40(12): 4169-4179.

Zhan M C, Guan F Y, Yan Y J, Zhang M M, Zheng Y X. Effects of strip harvesting on species diversity of undergrowth in bamboo (*Phyllostachys edulis*) forest. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(12): 4169-4179.

带状采伐对毛竹林林下植被物种多样性的影响

詹美春, 官凤英*, 晏颖杰, 张美曼, 郑亚雄

国际竹藤中心, 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102

摘要: 成本上升、利润下降严重影响毛竹林经济效益及竹农生产积极性, 研究毛竹林新型经营管理技术、方法势在必行。本研究通过控制采伐宽度及采伐面积, 观测一年恢复期后江苏宜兴国有林场内五种宽度(3 m、5 m、8 m、12 m、15 m)毛竹林带状样地郁闭状态及林下植被物种多样性特征, 分析物种多样性对毛竹林采伐宽度及恢复状态的响应机制, 研究表明: (1) 研究区毛竹林下物种 53 科 95 属 110 种(灌木计 37 科 64 属 76 种, 草本计 18 科 30 属 34 种), 以蔷薇科、菊科、大戟科、茜草科、百合科、唇形科、禾本科、马鞭草科等为主。(2) 物种丰富度随着毛竹郁闭度增加而降低, 且人为采伐对物种丰富度(特别是木本植物)有显著促进作用, 以 8 m 和 15 m 宽度带状样地物种增加最多。(3) 带状采伐促进林下植被物种多样性, 但降低了林下植被物种均匀度; 8 m 和 15 m 宽度带状样地 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数及 Gleason 物种丰富度表现优于参考样地毛竹林; 五种宽度带状样地林下植被物种均匀度小于参考样地, 在相同宽度样地类型中, 保留样地比采伐样地物种均匀度高。(4) 带状采伐对 8 m 和 15 m 宽度采伐样地林下植被生物量有明显促进作用, 对其余带状样地无明显影响。因此, 带状采伐对 8 m、15 m 毛竹林带状样地林下植被的促进作用显著。

关键词: 毛竹林; 带状采伐; 物种多样性; 生物量; 人为干扰

Effects of strip harvesting on species diversity of undergrowth in bamboo (*Phyllostachys edulis*) forest

ZHAN Meichun, GUAN Fengying*, YAN Yingjie, ZHANG Meiman, ZHENG Yaxiong

Key Laboratory on the Science and Technology of Bamboo and Rattan, International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

Abstract: The increase in costs and the decline in profits have seriously affected the economic benefits of bamboo forests and bamboo farmers' enthusiasm for production. It is imperative to study new management techniques and methods of bamboo forests. By controlling the cutting width and harvesting area, we observed the five different widths (3 m, 5 m, 8 m, 12 m, and 15 m) strip harvesting bamboo forest in the state-owned forest farm of Yixing in Jiangsu Province after one-year recovery period. The response mechanism of species diversity characteristics to the width and recovery state of bamboo forest were analyzed. The results indicated that (1) there were 110 species of 95 genus in 53 families of undergrowth species in the study area (76 species of shrubs of 64 genus in 37 families and 34 species of herbs of 30 genus in 18 families), such as Rosaceae, Compositae, Euphorbiaceae, Rubiaceae, Liliaceae, Labiatae, Gramineae, and Verbenaceae. (2) The species richness decreased with the increase of canopy density of bamboo forest. The harvesting significantly promoted species richness (especially woody plants), with the most increased species in the 8 m and 15 m width plots. (3) The strip harvesting promoted the species diversity of undergrowth, but reduced the species uniformity. The Shannon-Wiener index, Simpson index and Gleason species richness of the 8 m and 15 m width plots were better than those of the sample plots. The

基金项目: “十三五”国家重点研发计划专项(2018YFD0600103); 公益性科研院所专项资金(1632018009, 1632019005); 林业科技创新平台运行补助项目(2019132146)

收稿日期: 2019-02-20; 修订日期: 2019-11-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guanfy@icbr.ac.cn

species evenness of undergrowth in the five width strips plots were smaller than that of the sample plots. The keeping plots had higher species evenness than the cutting plots in the same width plot type. (4) Harvesting operations significantly promoted the biomass of undergrowth in 8 m and 15 m cutting plots, but had no significant effects on the keeping strip plots.

Key Words: bamboo (*Phyllostachys edulis*) forest; strip harvesting; species diversity; biomass; human disturbance

物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式,它对生态系统功能的作用一直是生态学领域的重要研究问题之一,随着生态学研究在世界范围内的发展,物种多样性也愈发成为一个基础而重要的因素^[1-2]。 α 多样性指群落或生境内物种数及物种分布的均匀程度,其测度方法主要为物种丰富度、多样性指数、均匀度指数和等级-多度曲线四类,自生态学产生至今,生境内多样性研究都依以上四类方法演变和完善^[3-5]。干扰是影响自然生态系统演替的重要因素之一,许多植物群落物种组成与干扰具有密切关系,尤其在自然更新方面具有不可替代的作用,干扰对森林生态系统主要生态过程的影响以及森林生态系统对干扰的响应等问题成为森林生态研究领域的热点问题,干扰对物种多样性的影响取决于干扰的强度、频率等特征,如中度干扰假说、最大干扰水平等理论都描述对生物多样性有促进作用^[6-10]。植物群落的生物量是生态系统生物量的基础,植物生物量水平是森林生态系统功能的重要表现形式,研究物种多样性与生物量间的关系,对阐明植物物种多样性对森林生态系统功能的作用具有重要意义^[11-13]。

毛竹(*Phyllostachys edulis*)用途广泛,在食品、医药、新材料、荒山造林及固碳等经济和生态方面展现出极大的价值^[14-18]。但由于毛竹林经营管理成本上升,竹材价格连年下滑,毛竹林经营管理日渐困难^[19-21]。基于竹子庞大、复杂的地下系统及其克隆生理整合的生态学特性,目前,已有部分学者通过改变竹林采伐方式来调整传统竹林经营模式,如带状采伐模式,此类研究将有可能实现竹林机械化经营,从而达到增产减投目的^[22-26]。大面积、高强度人为干扰对竹林生态系统产生极大扰动,特别是采伐形成的林窗空间对地面物种有着强烈影响,相关研究表明中度干扰对毛竹林物种多样性提升最具促进作用,但关于毛竹纯林不同面积林窗林下物种多样性的研究尚为空白^[27-31]。

本研究对毛竹林进行带状采伐,本质上是对毛竹林进行不同程度的干扰。禾本科植物生长特性致使毛竹林采伐后形成的大面积林窗能再短时间内完成闭合,因林窗面积大小、恢复时间不同,林下植被在此期间内呈现不同的生长、竞争规律。研究带状采伐毛竹林林下植被物种多样性,一方面,能为促进竹林生物多样性提供一定的参考;另一方面,可为竹林经营管理过程中协调生产与生态之间的关系提供一定的数据支撑。

1 研究区及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省宜兴国有林场(31°15'1"—31°15'12"N, 119°44'2"—119°44'8"E & 31°15'21"—31°15'40"N, 119°44'41"—119°43'52"E),在该地区毛竹林主要基于传统人工经营管理,并不对竹林进行施肥。主要的人为活动有竹林灌草清理、冬笋春笋采挖、竹材采伐和旅游观赏,试验区内的所有人类行为可控,在研究区域设置护栏,对试验样地进行保护。

本研究依靠江苏省宜兴竹林生态系统定位观测研究站开展,该站位于北方散生竹区和江南竹区交界,是毛竹分布区东北边缘地带。研究区地处典型的亚热带季风气候区,受太湖和海洋影响,年降水量和大雨的时空分布不均匀,夏季降水集中,年平均最高温度在20—24℃之间,年平均最低温度在12—14℃之间^[32]。研究区独特的水热环境为当地中小径型毛竹提供了良好的生长环境。除洪涝灾害外,该地区受台风影响明显。

1.2 样地设置及取样方法

通过预调查选取林分条件一致的毛竹林,考虑毛竹地下系统对竹笋生长发育及竹林恢复影响的范围,设置5种不同宽度的毛竹林带状采伐样地(表1)。经过一年的自然恢复,分采伐带和保留带,对每个条带进行

了物种多样性调查和生物量调查,试验地采伐及恢复过程如图 1 所示。

表 1 样地地理信息表
Table 1 Geographic information of plots

样地代号 Code	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Slope direction
3C	119°44'6"E	31°15'1"N	166.43	2	无
5C	119°44'6"E	31°15'1"N	165.55	2	无
8C	119°44'6"E	31°15'1"N	164.29	2	无
12C	119°44'43"E	31°15'37"N	159.59	8	南
15C	119°44'47"E	31°15'38"N	158.39	8	南
3K	119°44'6"E	31°15'1"N	166.43	2	无
5K	119°44'6"E	31°15'1"N	165.55	2	无
8K	119°44'6"E	31°15'1"N	164.29	2	无
12K	119°44'43"E	31°15'37"N	159.59	8	南
15K	119°44'47"E	31°15'38"N	158.39	8	南
S1	119°44'6"E	31°15'1"N	167.10	2	无
S2	119°44'41"E	31°15'35"N	163.00	15	南

样地代号中 3、5、8、12、15 表示采伐宽度,C:采伐区域(采伐带);K:保留区域(保留带);S1:传统经营 1 号样地,对应 3 m、5 m、8 m 宽度带状样地;S2:传统经营 2 号样地,对应 12 m、15 m 宽度带状样地

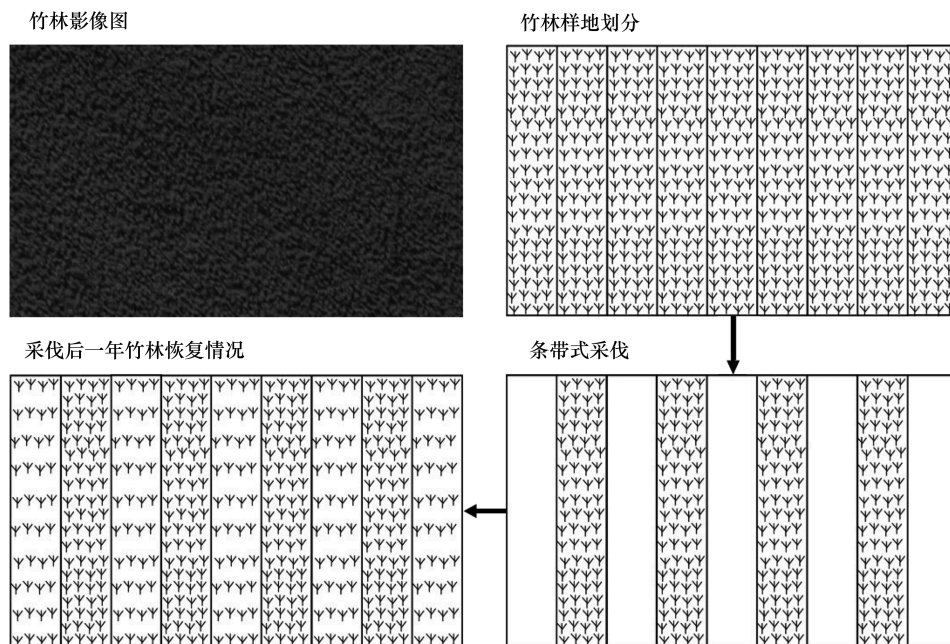


图 1 带状采伐毛竹林恢复过程示意

Fig.1 Recovery process of bamboo forest

样地采用 GPS 定位,测定相关地理位置。每个宽度的样地总面积控制在 600 m²左右。共设置 33 块样地,其中采伐带和保留带样地计 27 块,对照样地计 6 块(20 m×20 m),采伐带带宽分别为 3 m、5 m、8 m、12 m、15 m,长度皆为 20 m。3 m 采伐带 11 个重复,5 m 采伐带 6 个重复,8 m 采伐带 4 个重复,12 m 采伐带 3 个重复,15 m 采伐带 3 个重复;保留带的宽度与采伐带相同。样地设置详细信息如表 2 所示。

表 2 样地布设及林下植被恢复情况表

Table 2 Plot numbers and recovery situation of undergrowth

样地代号 Code	样地面积/m ² Areas	样地数量 Number	郁闭度/% Coverage	主要物种 Species
3C	20 m×3 m	10	55.38	鸡矢藤、忍冬、山莓、小叶爬崖香
5C	20 m×5 m	6	60.95	鸡矢藤、蓬蘽、青灰叶下珠、薯蓣
8C	20 m×8 m	4	37.36	鸡矢藤、忍冬、山莓、小叶爬崖香
12C	20 m×12 m	3	56.71	络石、山莓、蓝果蛇葡萄、油茶
15C	20 m×15 m	3	55.88	络石、青绿藎草、山莓、蓝果蛇葡萄
3K	20 m×3 m	9	58.90	鸡矢藤、忍冬、山莓、小叶爬崖香
5K	20 m×5 m	5	71.96	山莓、薯蓣、蓬蘽、鸡矢藤、红根草
8K	20 m×8 m	3	68.49	小叶爬崖香、忍冬、蓝果蛇葡萄、薯蓣
12K	20 m×12 m	2	75.13	蓝果蛇葡萄、山莓、络石、鸡矢藤、油茶
15K	20 m×15 m	2	68.13	络石、青绿藎草、山莓、金星蕨、油茶
S1	20 m×20 m	3	85.75	拔莫、金毛耳草、忍冬、三叶地锦
S2	20 m×20 m	3	74.92	茶、青灰叶下珠、山莓、油茶

样地代号同表 1; 主要物种根据重要值(>0.05)进行判断

1.3 统计分析方法

在 2018 年 8 月中旬至 10 月上旬,对林下植被进行全部调查,并参照 5 m×5 m 标准灌木样方、1 m×1 m 的草本样方进行数据统计,具体调查内容包括种名、冠幅(盖度)、高度和数量,进行物种多样性研究。设置 1 m×1 m 样方进行生物量典型取样,在野外进行鲜重测定,在室内对其余指标进行测定。

(1) 林下植被以匍匐藤本和禾本科矮小草本为主,因此未将植株高度纳入重要值内进行计算,重要值测定方法如下^[12,33-34]:

灌木层重要值 IV = (相对密度+相对盖度+相对频度)/3

草本层重要值 IV = (相对密度+相对盖度+相对频度)/3

(2) 毛竹群落物种多样性测定以重要值作为 α 多样性指数测度依据,选用 Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 均匀度指数和 Gleason 物种丰富度指数四种常用测度方法对物种多样性进行描述^[33-35]:

Shannon-Wiener 指数(H'):
$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Simpson 指数(优势度指数)(D):
$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Pielou 均匀度指数(E):
$$E = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S}$$

Gleason 物种丰富度指数(D_g):
$$D_g = S/\ln A$$

上述各式中, S 为样地中物种数; P_i 为种 i 的相对重要值; A 为面积。

1.4 数据处理与图表制作

数据统计采用 Excel 2016 软件,采用 SPSS 22.0 软件进行相关性分析、T 检验及方差分析,图表制作采用 Graph Pad Prism 8 软件。

2 结果与分析

2.1 林下植被物种丰富度

调查统计,记录到研究地共计有 53 科 95 属 110 种物种,其中,灌木计 37 科 64 属 76 种,草本计 18 科 30 属 34 种。如图 2 所示,林下植被以蔷薇科、菊科、大戟科、茜草科、百合科、唇形科、禾本科、马鞭草科、木兰科和安息香科等为主,物种丰富度较高,各科物种构成相对均匀。

由表 3 和表 4 可以看出,参考样地 S1 林下灌木和 S2 林下草本差异性大于 S1 林下草本和 S2 林下灌木;不同宽度带状采伐样地及相同宽度采伐样地条带间差异极显著,林下植被物种丰富度差异明显;3K、5K、8K 保留样地及 S1 样地林下灌木条带间差异极显著,12K、15K 保留样地及 S2 样地林下灌木差异显著;3K、5K、8K 保留样地及 S2 样地林下草本条带间差异极显著,S1 样地林下草本差异显著,12K 与 15K 保留样地林下草本不具显著差异。

由图 3 可以看出,采伐样地间,8C 与 15C 样地林下植被物种丰富度较其余样地高,8C 样地灌木丰富度高于 15C 样地,但草本丰富度低于 15C 样地,物种丰富度最低为 S1 样地;保留样地间,3K、15K 与 S2 样地灌木丰富度高于其余样地,3K 与 8K 样地草本丰富度高于其余样地,物种数量大小排序为 3K>8K>15K>5K>S2>12K>S1。

2.2 灌草物种多样性分析

从图 4 可以看出,林下植被在不同宽度采伐作业的影响下,呈现出巨大的差异。Shannon-wiener (H') 指数最高值出现在 8 m 样地、15 m 样地及 S2 样地,其中,15 m 采伐带(3.17)、8 m 保留带(3.05)及 S2 样地(2.97)达到最高;最低的为 5 m 采伐带(2.51)和 S1 样地(2.49)。Simpson (D) 指数在 8 m 保留带(0.96)、15 m 采伐带(0.94)及 S2 样地(0.93)达到最高;最低的为 5 m 采伐带(2.51)和 12 m 采伐带(2.49)样地。林下植被 Pielou (E) 均匀度指数介于 0.70—0.86 之间,S1 样地(0.86)及 8 m 保留带(0.86)物种分布相对最均匀,5 m 采伐带(0.70)及 3 m 采伐带(0.71)最低,物种分布相对不均匀。Gleason (D_g) 物种丰富度指数在 8 m 采伐带(8.20)、15 m 采伐带(7.50)和 3 m 采伐带(7.35)达到最高,S1 样地(2.40)最低。对带状样地间物种多样性进行显著性分析得知(图 5),采伐带 H' 、 D 、 D_g 值之间差异大,保留带 H' 、 D 、 D_g 差异较小, E 值在采伐带的差异略大于保留带。

由上可知,林窗(干扰)越大,物种多样性表现越优, α 多样性各项指标走向一致,8 m 及 15 m 带状样地指数最高。从物种多样性结果分析可知,速生快繁类、生态位广的木质藤本及禾本科草本植物在样地中占据重要位置,它们的生物特性和活动形成相应规律。3 m、5 m 和 8 m 带状样地采伐带及保留带间差距明显,8 m 带状样地物种多样性指数最优,人为采伐对 8 m 带状样地物种多样性的影响最大。

2.3 灌草生物量

受林地自身条件和毛竹林竞争的影响,江苏宜兴林下植被生物量偏小,如表 5 所示,不同类型样地生物量介于 36.67—117.50 g/m² 之间。总体而言,采伐样地林下生物量随着采伐宽度增加而增加,保留样地林下生物量随保留宽度变化不大,且生物量总量与参考样地相近;林下植被生物量以 8 m 保留带最低,15 m 采伐带最高;由于林下植被种类不同,其生物量在根、茎、叶三部分也存在着差异,3 m、5 m、8 m 样地生物量集中于茎部及叶部,S1、S2、12 m、15 m 样地生物量集中于根部及叶部。

如图 6 所示,3 m、5 m、8 m 样地茎部及叶部生物量较参考样地略多,3 m 样地、5 m 样地和 8 m 保留带根部生物量都比参考样地略少,12 m、15 m 样地根部生物量较参考样地略多,但 12 m 采伐带叶部、15 m 保留带茎部及叶部生物量都比参考样地略少;15 m 采伐带根部生物量较参考样地多 30.60 g/m²,8 m 采伐带根、茎、叶生物量分别多 8.52、7.73、20.72 g/m²。

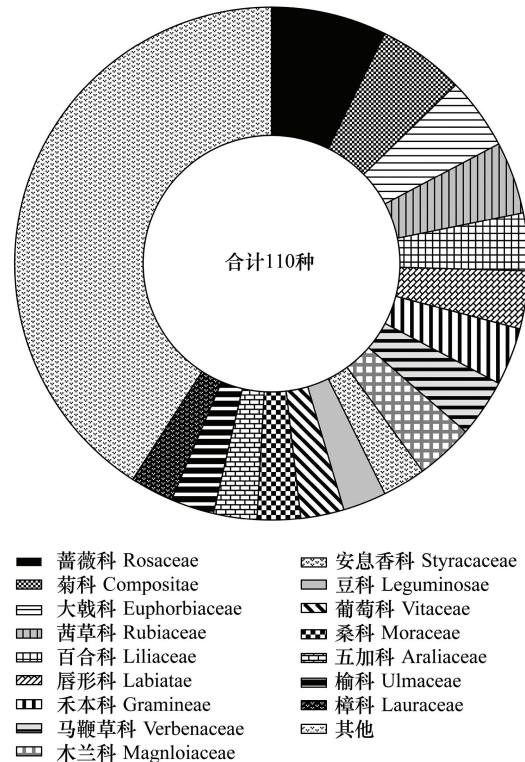


图 2 物种构成

Fig.2 Species composition

表 3 灌木物种数一览表

Table 3 Group of shrubs

类群 Group	数量 Number	样地代号 Code											
		3C(n=10)	5C(n=6)	8C(n=4)	12C(n=3)	15C(n=3)	3K(n=9)	5K(n=5)	8K(n=3)	12K(n=2)	15K(n=2)	S1(n=3)	S2(n=3)
科数 Family	37	9.56±0.4a	9.5±0.6a	13.3±0.9a	15.7±1.2a	16.3±2.3b	8.4±0.4a	7.8±0.6a	12.0±0.0	12.5±0.5	15.0±0.0	6.0±0.0	11.3±2.7c
属数 Genus	64	12.0±0.5a	12.1±0.8a	16.8±1.7a	20.0±1.0a	19.7±2.9b	9.9±0.5a	9.2±0.9a	14.3±0.3a	17.0±1.0	17.5±0.5	7.3±0.3a	13.3±2.7bc
种数 Species	76	12.6±0.5a	13.2±0.9a	18.3±1.8a	21.3±1.3a	21.3±3.2ab	10.3±0.6a	10.2±1.1a	15.3±0.3a	18.0±1.0	18.5±0.5	7.3±0.3a	14.3±2.7bc

样地代号同表 1; 不同小写字母表示参考样地 and 不同处理条带间差异显著 ($P < 0.05$); $n \leq 2$ 时不做差异分析

表 4 草本物种数一览表

Table 4 Group of herbs

类群 Group	数量 Number	样地代号 Code											
		3C(n=10)	5C(n=6)	8C(n=4)	12C(n=3)	15C(n=3)	3K(n=9)	5K(n=5)	8K(n=3)	12K(n=2)	15K(n=2)	S1(n=3)	S2(n=3)
科数 Family	18	4.7±0.3a	4.7±0.5a	7.0±0.4a	6.3±0.9ab	9.0±1.2ab	4.6±0.4a	4.6±0.4a	6.0±0.0	5.5±0.5	7.0±2.0	3±0.6c	5.3±0.7ab
属数 Genus	30	4.8±0.4a	4.7±0.5a	8.5±1.0a	7.3±1.3bc	10.3±1.5ab	4.6±0.4a	4.6±0.4a	7.3±0.9b	5.5±0.5	7.5±2.5	3±0.6bc	6.0±0.6a
种数 Species	34	5.1±0.4a	4.7±0.5a	8.8±0.9a	7.3±1.3c	10.3±1.5b	4.7±0.4a	4.6±0.4a	7.7±0.7a	5.5±0.5	7.5±2.5	3±0.6c	6.0±0.6a

样地代号同表 1; 不同小写字母表示参考样地 and 不同处理条带间差异显著 ($P < 0.05$); $n \leq 2$ 时不做差异分析

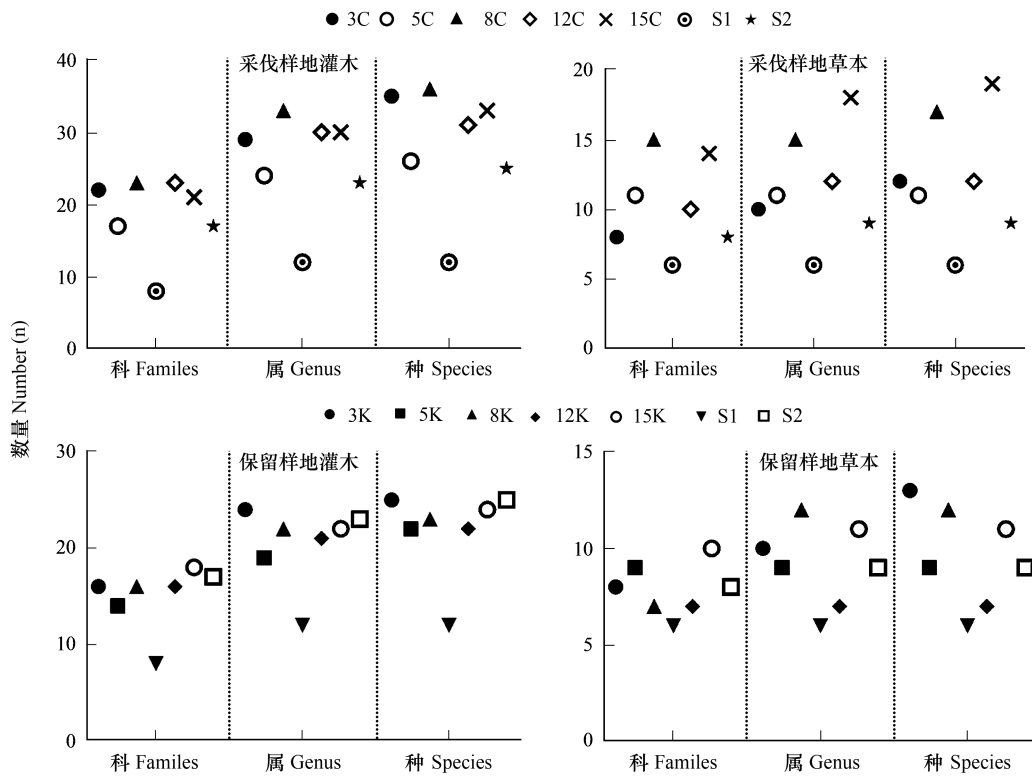


图3 类群数量

Fig.3 Number of group

样地代号中3,5,8,12,15表示采伐宽度,C:采伐区域(采伐带);K:保留区域(保留带);S1:传统经营1号样地,对应3 m、5 m、8 m宽度带状样地;S2:传统经营2号样地,对应12 m、15 m宽度带状样地

表5 各类型样地林下植被生物量

Table 5 Undergrowth biomass

样地代号 Code	根/(g/m ²) Roots	茎/(g/m ²) Stems	叶/(g/m ²) Leaves	总计/(g/m ²) Total
3C	13.34	14.25	13.91	41.50
3K	14.80	12.18	12.90	39.89
5C	9.80	13.44	15.36	38.59
5K	11.55	13.89	16.78	42.22
8C	27.32	20.09	31.58	78.99
8K	12.48	10.43	13.76	36.67
S1	18.79	12.36	10.86	42.01
12C	34.40	16.53	33.53	84.46
12K	38.83	10.83	41.04	90.69
15C	63.80	15.15	38.55	117.50
15K	38.77	11.59	32.02	82.37
S2	33.19	15.30	38.11	86.61

如图7所示,3 m、5 m及12 m样地采伐带和保留带间生物量差异小,3 m样地采伐带生物量比保留带略多,5 m样地采伐带生物量比保留带略少,12 m样地采伐带茎部生物量比保留带多,但根部和叶部生物量比之要少;8 m样地采伐带生物量比保留带多42.31 g/m²,以根部及叶部为主;15 m样地采伐带生物量比保留带多35.13 g/m²,以根部为主。

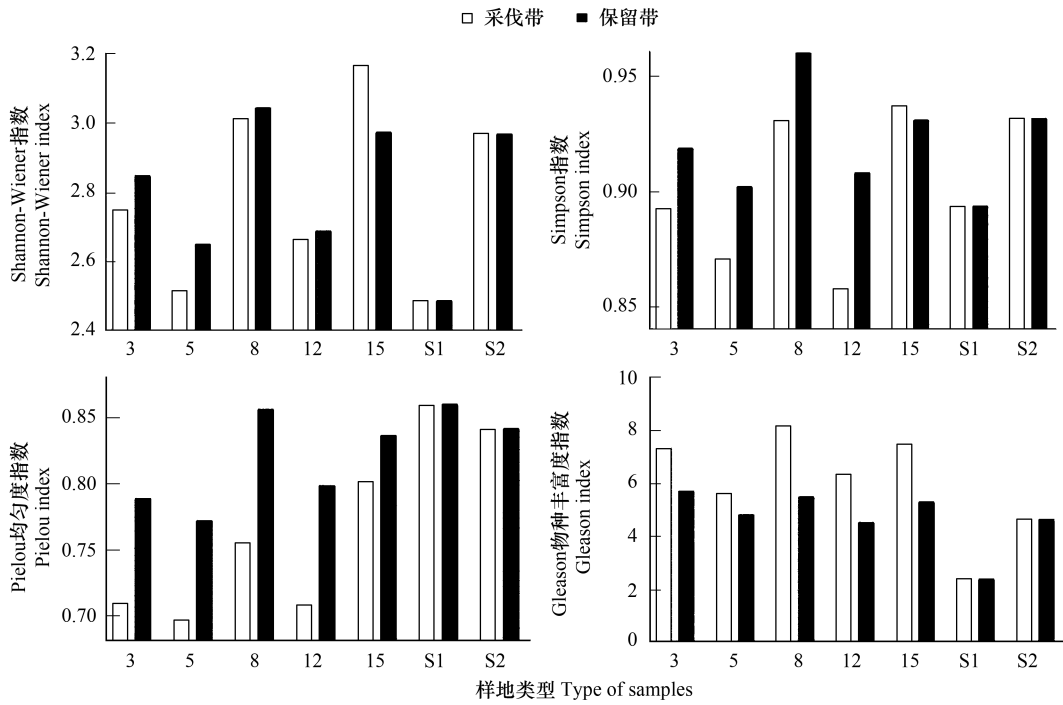


图4 物种多样性指数
Fig.4 Species diversity index

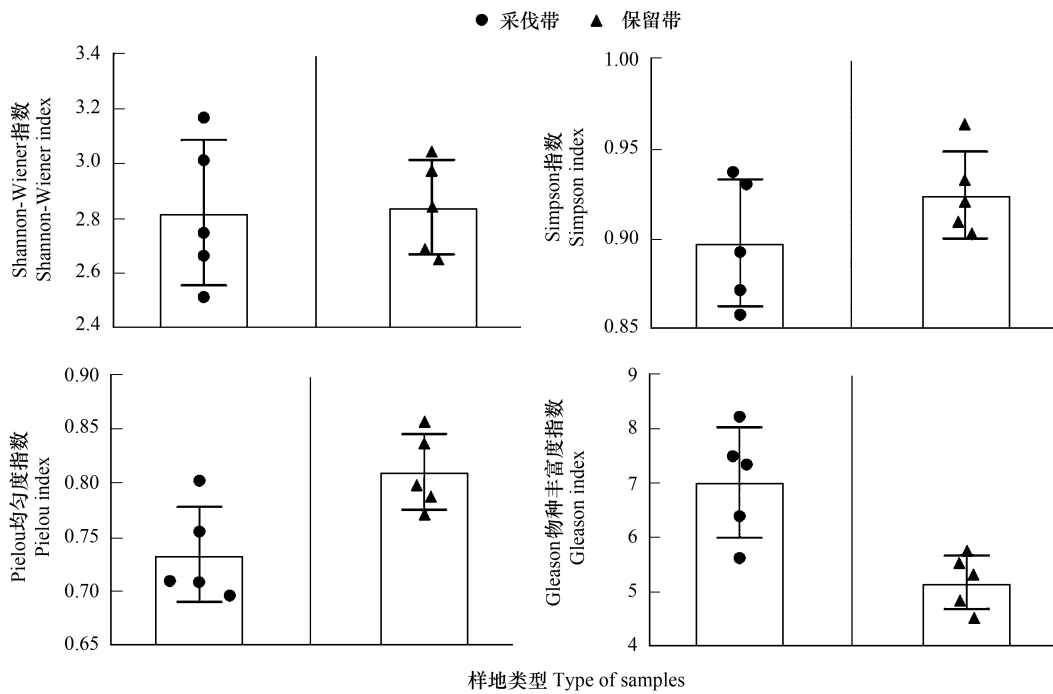


图5 带状样地物种多样性指数显著性(SD)
Fig.5 Species diversity index significant on strip plots (standard deviation)

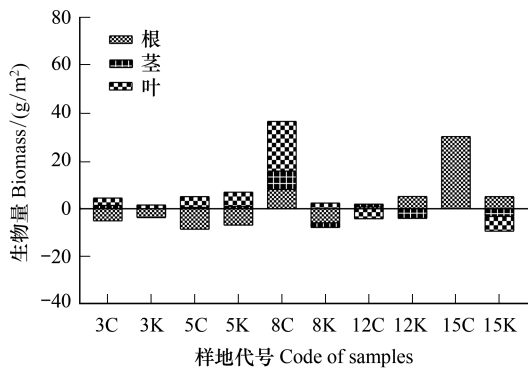


图 6 带状样地与参考样地生物量比较

Fig.6 Comparison value about strip plots and samples

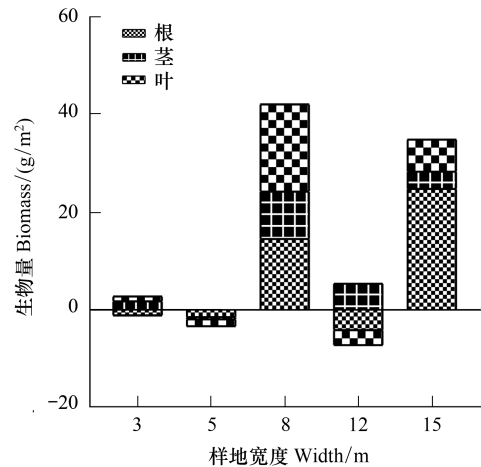


图 7 采伐样地与保留样地生物量比较

Fig.7 Comparison value about cutting plots and keeping plots

3 讨论

3.1 带状采伐模式与人为干扰

对毛竹林进行带状采伐,本质上是从经营层面对毛竹林进行不同程度的人为干扰处理,及在培育层面上对毛竹林采取不同模式的方法探究。在控制毛竹林样地总面积前提下,采伐样地越窄,采伐样地数量越多,换言之,采伐宽度为 3 m 的样地干扰频率高、单个带状样地干扰强度小,采伐宽度为 15 m 的样地干扰频率低、单个带状样地干扰强度大。因此,无论是经营层面还是培育层面,最适宜毛竹林的带状采伐模式(人为干扰)要从生态价值(生物多样性、固碳、保水等)、经济价值(新生竹数量、新生竹质量、生物量、竹林机构、后续繁育等)方面进行综合判断,才能得出毛竹林带状采伐的最佳模式,即符合中度干扰理论。

3.2 物种多样性与带状采伐关系

判断森林功能,乔木层作为森林主体,起最主要作用,但林下植被层在维持生物多样性方面却是有着决定性作用的,特别是乔木层结构单一的情况下。以毛竹为主体的森林乔木层结构单一,偶有单一阔叶树、针叶树出现,且因毛竹林郁闭度大,致使林下植被种类、数量、盖度、高度等形态特征偏劣。带状采伐产生的大面积林窗改善了林下植被生长环境,林窗尚未闭合期间林下植被繁育的自然条件十分优渥,从而使得毛竹林生物多样性急剧上涨,但目前我国缺乏相关研究,因而探究带状采伐模式对毛竹林林下植被的影响具必要性。

4 结论

4.1 林下植被与毛竹郁闭度相关性讨论

表 6 表明,林下植被数量、物种丰富度和盖度均与竹林郁闭度呈显著负相关,以植被数量受郁闭度负面影响最大。由主成分分析可知,林下植被数量也是相应其余因子的决定因子,决定系数为 0.391,因此,林下植被数量是带状样地内与竹林郁闭度响应最突出的因素。

4.2 采伐对物种多样性的影响

由表 7 可知,带状样地采伐宽度与 E 呈显著正相关,采伐频次与 E 呈显著负相关;样地数量与 D_g 呈典型正相关; H' 与 D 呈显著正相关。因此,在采伐作业的影响下,带状样地宽度和样地数量是物种分布均匀程度重要因素,样地越宽,物种均匀度越高,样地数量越多,物种均匀度越低,所以参考样地物种均匀度最高。此外,从 D_g 与采伐频次的相关性可以看出,人为采伐对物种丰富度有促进作用,人为干扰促进了物种丰富度提高。但经过分析得知郁闭度与物种多样性不具典型相关性。

表 6 林下植被与竹林郁闭度相关性及因子分析

Table 6 Correlation and factor analysis of undergrowth and canopy closure

	数量 Number of undergrowth	物种丰富度 Richness	盖度 Coverage	郁闭度 Canopy closure
数量 Number of undergrowth	1			
物种丰富度 Richness	0.381 **	1		
盖度 Coverage	0.681 **	0.335 **	1	
郁闭度 Canopy closure	-0.346 **	-0.206 *	-0.310 **	1

** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著; * 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著。决定因子为 0.391, KMO 为 0.679

表 7 采伐作业与物种多样性相关性分析

Table 7 Correlation analysis of cutting work and species diversity

	样地宽度 Width	样地数量 Cutting frequency	样地面积 Areas	Shannon- wiener 指数 H' Shannon-wiener index H'	Simpson 指数 D Simpson index D	Pielou 均匀 度指数 E Pielou index E	Gleason 物种 丰富度指数 D_g Gleason index D_g
样地宽度 Width	1						
样地数量 Cutting frequency	-0.463	1					
样地面积 Areas	0.327	0.314	1				
Shannon-wiener 指数 H' Shannon-wiener index H'	0.134	-0.136	0.347	1			
Simpson 指数 D Simpson index D	0.161	-0.414	-0.086	0.834 **	1		
Pielou 均匀度指数 E Pielou index E	0.626 *	-0.772 **	-0.194	0.371	0.706 *	1	
Gleason 物种丰富度指数 D_g Gleason index D_g	-0.463	0.620 *	0.486	0.538	0.120	-0.556	1

** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著; * 在置信度(双测)为 0.05 时,相关性显著

4.3 生物量与物种多样性及采伐作业相关性讨论

经过分析,江苏宜兴毛竹林群落林下植被生物量与物种多样性不呈显著相关关系,这可能是由林下植被生物量偏小且主要植被生物量增生类型所导致的。表 8 表明,生物量与样地带宽呈显著正相关,采伐频次及样地面积对生物量影响不显著。

表 8 生物量与采伐作业相关性分析

Table 8 Correlation analysis of cutting work and biomass

	生物量 Biomass	样地宽度 Width	采伐频次 Cutting frequency	样地面积 Areas
生物量 Biomass	1			
样地宽度 Width	0.743 **	1		
频次 Cutting frequency	-0.339	-0.463	1	
样地面积 Areas	0.292	0.327	0.314	1

** 在置信度(双测)为 0.01 时,相关性显著

综合分析江苏宜兴毛竹林林下植被物种多样性在带状采伐作业下的结果,表现出以下特征:(1)研究区毛竹林林下植被物种丰富度较高;林下植被受郁闭度影响大,在数量、物种丰富度和盖度指标上均与郁闭度呈显著负相关;林下植被以匍匐藤本(数量和丰富度)和禾本科(数量)为主,如鸡矢藤(*Paederia scandens*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、山莓(*Rubus corchorifolius*)、小叶爬崖香(*Piper arboricola*)、蓬蘽(*Rubus hirsutus*)、青灰叶下珠(*Phyllanthus glaucus*)、薯蓣(*Dioscorea opposita*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)、蓝果蛇葡萄(*Ampelopsis bodinieri*)、油茶(*Camellia oleifera*)、茶(*Camellia sinensis*)、红根草(*Lysimachia fortunei*)、菝葜(*Smilax china*)、青绿藁草(*Carex breviculmis*)等。(2)林下植被物种多样性本底数据小,但人为干扰在短时间内促进了其物种多

样性发展;样地宽度与物种均匀度带呈显著正相关,采伐频次与物种均匀度呈显著负相关;采伐频次与物种丰富度呈典型正相关;Shannon-wiener 指数与 Simpson 指数呈显著正相关。因此,采伐作业对物种分布均匀程度有着极大的影响,林窗环境改变了物种对环境的响应,种间竞争致使物种分布范围变广,在自然条件好的林窗下聚集式分布,物种数量剧增;但参考样地由于受人为干扰相对较小,在人为调控下,其物种均匀度反而高。(3)物种多样性与生物量不具典型相关性,可能为生物量偏小且主要植被生物量增生类型不同所导致。(4)经过研究,8 m 和 15 m 带状样地对采伐作业的反应最佳,物种多样性各方面表现最优,生物量最大,表示其林下植被对林窗环境的利用最为全面,但具体原因还待进一步研究,建议从土壤肥力及太阳辐射方面进行补充。

参考文献 (References):

- [1] 马克平. 生物多样性科学的若干前沿问题. 生物多样性, 2017, 25(4): 343-344.
- [2] 陈灵芝, 钱迎倩. 生物多样性科学前沿. 生态学报, 1997, 17(6): 565-572.
- [3] Geburek T, Milasowszky N, Frank G, Konrad H, Schadauer K. The Austrian forest biodiversity index: all in one. Ecological Indicators, 2010, 10(3): 753-761.
- [4] Pla L. Bootstrap Confidence intervals for the Shannon biodiversity index: a simulation study. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 2004, 9(1): 42-56.
- [5] Izsák J, Papp L. A link between ecological diversity indices and measures of biodiversity. Ecological Modelling, 2000, 130(1/3): 151-156.
- [6] DeCandido R, Muir A A, Gargiullo M B. A first approximation of the historical and extant vascular flora of New York City: implications for native plant species conservation. Journal of the Torrey Botanical Society, 2004, 131(3): 243-251.
- [7] 尚文艳, 吴钢, 付晓, 刘阳. 陆地植物群落物种多样性维持机制. 应用生态学报, 2005, 16(3): 573-578.
- [8] 姚俊宇, 齐锦秋, 张柳桦, 王媚臻, 李婷婷, 张潇月, 郝建锋. 人为干扰对碧峰峡山矾次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响. 生态学杂志, 2018, 37(10): 2942-2950.
- [9] 朱锦懋, 姜志林, 蒋伟, 郑群瑞, 江训强. 人为干扰对闽北森林群落物种多样性的影响. 生物多样性, 1997, 5(4): 263-270.
- [10] 艾训儒. 人为干扰对森林群落及生物多样性的影响. 福建林业科技, 2006, 33(3): 5-9.
- [11] 王勇军, 黄从德, 张健, 杨万勤, 王宪帅. 岷江干旱河谷灌丛物种多样性、生物量及其关系. 干旱区研究, 2010, 27(4): 567-572.
- [12] 杨路存, 赵玉红, 徐文华, 周国英. 青海省高寒灌丛物种多样性、生物量及其关系. 生态学报, 2018, 38(1): 309-315.
- [13] 尚永成, 欧为友. 在不同海拔梯度上高寒草甸植物物种多样性指数、生物量变化及其关系的研究. 黑龙江畜牧兽医, 2017, (5): 162-164.
- [14] Xu XJ, Du HQ, Zhou GO, Li P H, Shi Y J, Zhou Y F. Eddy covariance analysis of the implications of drought on the carbon fluxes of Moso bamboo forest in southeastern China. Trees, 2016, 30(5): 1807-1820.
- [15] Lin M Y, Hsieh I F, Lin P H, Laplace S, Ohashi M, Chen T H, Chen T H, Kume T. Erratum to: Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests as a significant carbon sink? A case study based on 4-year measurements in central Taiwan. Ecological Research, 2017, 32(6): 859-859.
- [16] Zhou G M, Meng C F, Jiang P K, Xu Q F. Review of carbon fixation in bamboo forests in China. The Botanical Review, 2011, 77(3): 262-270.
- [17] Wen G S, Zhang L Y, Zhang R M, Cao Z H, Zhou G M, Huang H, Wong M. Temporal and spatial dynamics of carbon fixation by Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) in Subtropical China. The Botanical Review, 2011, 77(3): 271-277.
- [18] 吴应齐, 吴大瑜, 王明月, 应国华, 陈天勤, 瞿华成. 毛竹覆盖-套种竹荪轮作模式经济效益和生态修复评价. 南方林业科学, 2016, 44(3): 40-43, 48-48.
- [19] 朱炜, 王波, 沈泉, 朱志建, 吴建明, 计玮玮, 俞婷婷, 张肖清. 毛竹林不同经营类型的实践与效益. 林业科技通讯, 2015, (3): 21-25.
- [20] 曹先磊. 毛竹林经营投入产出关系与经营效益分析——基于福建、浙江和江西的调查数据[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015: 21-25.
- [21] 马权. 农户竹林经营模式选择及其影响因素分析——基于安吉县实证[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
- [22] 谭宏超, 谭汝强, 张翼飞. 3种皆伐方式对毛竹林更新生长的影响. 世界竹藤通讯, 2017, 15(3): 52-55.
- [23] 陈家洪, 张喜, 尹洁, 岑小军, 崔迎春, 母永秋, 刘延惠. 抚育和采伐组合措施对毛竹林生产力的影响. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 2110-2111, 2152-2152.
- [24] 王龙凤, 范承芳, 梁宽, 樊燕, 杨光耀, 张磊, 施建敏. 基于克隆整合特性的劳动节约型竹林采伐新模式探索. 江西农业大学学报, 2016, 38(6): 1110-1118.
- [25] 刘仕咄, 谢乔武. 毛竹的生长特性与竹林采伐. 湖南林业, 2009, (5): 26-27.
- [26] Bai S B, Wang Y X, Conant R T, Zhou G M, Xu Y, Wang N, Fang F Y, Chen J. Can native clonal Moso bamboo encroach on adjacent natural forest without human intervention? Scientific Reports, 2016, 6(1): 38269.
- [27] 方茹意, 吴炜, 鲁翔, 柳柳江, 钟意, 桂仁意. 不同强度人为干扰对毛竹林植物多样性的影响. 世界竹藤通讯, 2017, 15(6): 1-5.
- [28] 杜有新, 刘伟, 王军峰, 尤根彪, 叶和军, 练发良, 何小勇. 采伐林窗对白云山3种人工林林下植物多样性的早期影响. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2121-2128.
- [29] 谢菲, 梁军. 混交毛竹林植物多样性与枯梢病感病指数的关系. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2018, 44(5): 520-523.
- [30] 王新杰. 闽西北丘陵地毛竹林下植物多样性的研究. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(1): 84-88.
- [31] Beckage B, Stout I J. Effects of repeated burning on species richness in a Florida pine savanna: a test of the intermediate disturbance hypothesis. Journal of Vegetation Science, 2000, 11(1): 113-122.
- [32] 夏露, 张强, 孙宁, 翟颖佳, 王世华. 江苏近 53 年气候变化特征分析//第 31 届中国气象学会年会——S3 短期气候预测理论、方法与技术. 北京: 中国气象学会, 2014: 13.
- [33] 李俊清, 牛树奎, 刘艳红. 森林生态学(第三版). 北京: 高等教育出版社, 2017: 352-358.
- [34] 郝建锋, 李艳, 齐锦秋, 裴曾莉, 黄雨佳, 蒋倩, 陈亚. 人为干扰对碧峰峡栲树次生林群落物种多样性及其优势种群生态位的影响. 生态学报, 2016, 36(23): 7678-7688.