

文章编号:1001-1498(2014)05-0631-08

枝叶采收对人工云南红豆杉 叶构件种群特性的影响

卞方圆¹, 苏磊², 苏建荣^{1*}, 刘万德¹

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要:本研究对云南省马关县的6年生云南红豆杉人工林进行了采收主干及其上部枝叶、保留主干采收其上部枝叶、保留主干采收其下部枝叶3种采收方式下3个采收强度的试验,通过1年的持续观察,以不采收枝叶的植株为对照,分析了枝叶采收对云南红豆杉叶构件数量及动态变化的影响。结果表明:3种采收方式均有随着采收强度的增加落叶量增多的现象,同时老叶落叶率随时间的推移呈递增趋势;采收可以促进新叶数量的增加,但是采收上部枝叶比采收下部枝叶对促进新叶数量增加的效果更明显;采收降低春叶密度,提高秋叶密度,新叶总体密度并没有随采收处理的不同而表现出显著差异;叶净增加量随3种采收方式的采收强度增强而增加。为收获更多的枝叶,提高来年枝叶的叶净增加量,采收主干及上部3/4树冠长度的枝叶和保留主干采收上部3/4树冠长度的枝叶较好,叶净增加量分别是对照的2.96倍和3.00倍。为使人工林持续发展,采收主干及上部3/4的枝叶处理是最佳的枝叶采收方案。

关键词:云南红豆杉;枝叶采收;叶构件

中图分类号:S791.49

文献标识码:A

Leaf Modular Population Characteristics of *Taxus yunnanensis* Plantation under Different Branches and Leaves Harvesting Models

BIAN Fang-yuan¹, SU Lei², SU Jian-rong¹, LIU Wan-de¹

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Three harvesting models (cutting the trunk and harvesting upper branches and leaves, retaining the trunk and harvesting upper branches and leaves, retaining the trunk and harvesting lower branches and leaves) were tested to harvest six-years-old *Taxus yunnanensis* plantation in Maguan County of Yunnan Province. Each model consisted 3 harvesting intensities. Through one-year's continuous observation, the amount and dynamics of *T. yunnanensis* plantation leaves were analyzed. The results showed that with the increase of harvesting intensity, the amount of falling leaves increased for all the 3 harvesting models, and at the same time, the defoliation rate of older leaves showed an increasing trend over time. Harvesting can promote the increase in the amount of new leaves, but compared with harvesting the lower branches, harvesting the upper branches was more effective to promote the increase of new leaves. Harvesting would reduce spring leaf density, and improve autumn density. The overall density of new leaves showed no significant difference with different harvesting models. The leaf net amount increased with the recovery strength of 3 harvesting models. In order to harvest more branches and increase the net yield of leaves in the

收稿日期:2014-05-10

基金项目:国家林业局948项目(2011-05-10)和云南省科技计划(2011C1072)的部分研究内容

作者简介:卞方圆,女,硕士研究生,主要从事濒危植物保护与利用研究. E-mail:zjbianfangyuan@126.com

* 通讯作者:

coming year, it is suitable to cut the trunk and harvest upper 3/4 branches and leaves of crown length, retain the trunk and harvesting upper 3/4 branches and leaves of crown length. The net amount of leave increment was 2.96 times and 3.00 time that of the control. Simultaneously, if the trunk is harvested, there would be more sprouts in the rest of crown. To sum up, cutting trunk and harvesting upper 3/4 branches and leaves of crown length would be the best harvesting model.

Key words: *Taxus yunnanensis*; branches and leaves harvesting; leaf modular population

叶是维持陆地生态系统机能的最基本要素,是植物进行光合作用和物质生产的主要器官,是生态系统中初级生产者的能量转换器^[1],也是植物与环境接触面积最大的器官,对环境的水分关系、能量平衡有着重要的作用^[2],并且负责陆地大部分的碳同化^[3]。叶是植物体的重要构件之一,植物的生理生态特性总是和植物各器官特性,特别是植物叶片的特性相联系^[4]。植物通过调控叶的新生、衰老、脱落和密度等措施对各种干扰做出响应^[5-6],从而调整植物自身的组成和结构^[7-8]。因此,研究叶构件种群可以更好地认识植物对环境和干扰的适应机制。同时,枝是叶片的支撑体,并决定着叶的空间分布,以便植物体充分利用光能进行光合作用^[9]。枝叶共同构成了植物的有机整体,执行植物体的功能。

云南红豆杉(*Taxus yunnanensis* Cheng et L. K. Fu)又名紫金杉、紫杉,起源古老,与罗汉松科(Podocarpaceae)、三尖杉科(Cephalotaxaceae)植物具有共同的祖先,曾被国际松杉类专家组(CSG)确定为3级渐危种,此后又分别于1986年、1993年和1999年被列为云南省二级保护植物、林业部二级保护植物和国家一级保护植物^[10]。同时,云南红豆杉还是一种重要的药用植物,富含天然抗癌药物紫杉醇(Taxol),是我国紫杉醇生产的主要树种之一,广泛用于滇、川、渝、藏等地的药用原料林基地建设^[11-12]。紫杉醇是最具抗癌活性的天然化合物^[13],现已被40多个国家用于多种癌症的治疗。因此,关于云南红豆杉的保护与药用原料林培育的研究一直是国内外关注的焦点。到目前为止,仅有苏磊等报道了云南红豆杉异质光环境下叶构件水分特征^[14],而关于云南红豆杉叶构件的其它内容未见报道。

云南红豆杉人工林主要以收获提取紫杉醇的枝叶为目的,可持续地获取尽量多的枝叶产出是云南红豆杉人工林管理的关键所在^[15]。然而,目前对云南红豆杉人工林的经营管理技术尚不成熟,并且枝

叶空间分布格局不均一,不同的采收方式和采收水平对叶收获量存在很大的影响,如何使云南红豆杉人工林快速生长枝叶,尽可能产出更多的枝叶是一个迫切需要解决的问题。为此,本文通过不同枝叶采收处理下云南红豆杉人工林的老叶落叶情况与新叶生长动态的调查,探讨不同采收方式与采收水平对叶构件种群的影响,为云南红豆杉人工药用原料林的经营管理技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地点设在云南省文山壮族苗族自治州马关县的金城林场。地处22°59' N,东经104°26' E,平均海拔1600 m,为低纬度亚热带西部型山地季风气候,雨季旱季界限明显,且雨季气温较高,旱季气温较低。年均气温16.9℃,月平均最高气温21.7℃,月平均最低气温9.6℃。年平均降雨量1345 mm,相对湿度84%;年日照时数为1804 h,全年无霜期达300 d以上。金城林场于2005年开始在董亮营林区大规模营建云南红豆杉基地,现已建成30余hm²的云南红豆杉采穗园,130余hm²的原料林基地。

1.2 试验材料

试验用云南红豆杉原料林为实生苗造林,台地模式种植,株行距1.5 m×1.5 m,定植时间2005年7月。试验林的整地、种植、抚育、管理均采用相同的技术标准。本研究开始时(2011年10月),原料林的平均株高达2.17 m,平均地径为4.46 cm,平均冠幅为1.2 m×1.2 m,树体发育良好,生长健壮,已达到可进行商业采收的阶段。

1.3 枝叶采收方式和强度

2011年10月初在金城林场云南红豆杉原料林基地进行枝叶采收处理。试验设置3因素3水平,并设不采收枝叶植株为对照,试验因素与水平设置如表1。试验设置3个重复,每个重复样地的环境条件基本一致(表2)。在每块样地选取生长良好、长势相近的植株进行试验,3种枝叶采收方式下分别

设 3 个不同的采收水平和对照,共 12 个处理,每处理样本量 10 株。采收后,按原料林的管理技术要求进行管理。

1.4 数据收集

2012 年 2 月中旬开始调查叶构件数量及生长状况,此后每隔两个月调查 1 次,直至 2012 年 12 月止,一共调查 6 次。调查时,按照树冠高度,将其树冠 2 等分为 2 层;对于采收 2/4 和 3/4 枝叶的植株,所剩树冠按一层处理。在每层树冠的中间位置按照东、西、南、北 4 个方向、每个方向随机选择一个发育良好、叶片齐整的当年生(或 2 年生)枝条作为观测枝条。为便于寻找,在所选的枝条基部系上蓝色标签作为标记。

研究区的云南红豆杉具有明显的 2 次抽枝现象,即 1 年抽 2 次枝条。本文将第一次抽枝即 2—6 月萌发的枝条定义为春枝,第二次抽枝即 8—12 月份萌发的枝条定义为秋枝,春枝和秋枝统称为新枝。

调查发现云南红豆杉老枝上不会有新叶长出,而在 2 次抽枝时分别伴有 1 次抽叶过程。因此,将第一次抽枝萌生的叶片定义为春叶,第二次抽枝萌生的叶片定义为秋叶,老枝着生的叶片定义为老叶,新叶则是春叶和秋叶之和。同时调查内容包括老枝落叶数量、春叶数量、秋叶数量、春枝长度、秋枝长度,其中数量采用逐个计数统计。然后,分别统计老叶落叶率、春叶密度、秋叶密度、新叶密度。计算公式如下:

$$\text{老叶落叶率} = \text{老枝脱落叶片数量} / \text{老枝总叶数}$$

$$\text{春叶密度} = \text{春叶数量} / \text{春枝长度}$$

$$\text{秋叶密度} = \text{秋叶数量} / \text{秋枝长度}$$

$$\text{新叶密度} = \text{新叶数量} / \text{新枝长度}$$

$$\text{新枝长度} = \text{春枝长度} + \text{秋枝长度}$$

老叶落叶数量是一年内老叶落叶数量的总和,春叶数量和秋叶数量是春枝和秋枝各抽叶的数量,新叶数量则是春叶数量与秋叶数量的总和。

表 1 枝叶采收方式的处理措施和试验水平

采收方式	水平			
	CK	I	II	III
A 采收主干及其上部枝叶	对照,不采收枝叶	采收上部 1/4 树冠长度的主干及枝叶	采收上部 2/4 树冠长度的主干及枝叶	采收上部 3/4 树冠长度的主干及枝叶
B 保留主干,采收主干上部枝叶	对照,不采收枝叶	采收上部 1/4 树冠长度着生的枝叶	采收上部 2/4 树冠长度着生的枝叶	采收上部 3/4 树冠长度着生的枝叶
C 保留主干,采收主干下部枝叶	对照,不采收枝叶	采收下部 1/4 树冠长度的枝叶	采收下部 2/4 树冠长度的枝叶	采收下部 3/4 树冠长度的枝叶

表 2 样地概况

指标	样地		
	甲	乙	丙
坡向	西偏南	西偏南	西偏南
坡度/°	42°	35°	40°
海拔/m	1 628	1 636	1 640
土壤 pH	4.89	5.07	5.08
土壤有机质/(g·kg ⁻¹)	122.2	90.0	121.0

1.5 数据处理与分析

文中数据处理和统计分析均采用 SPSS18.0 软件完成。单因素方差分析 ANOVA 检验各处理及其与对照之间的老叶落叶数量、春叶数量、秋叶数量、新叶数量、春叶密度、秋叶密度、新叶密度、春枝长度、秋枝长度、新枝长度以及叶净增加数量的差异显著性,若主效应显著,用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同采收处理下的老叶落数量

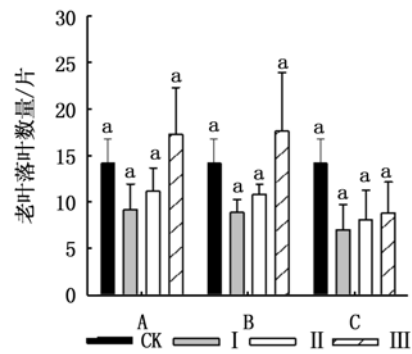
不同采收处理植株的老叶落叶数量在 6 ~ 17 片之间,对照的平均落叶数量为 14 片左右。植株的老叶落叶数量如图 1。经过采收主干及枝叶、保留主干采收主干上部枝叶和保留主干采收主干下部枝叶 3 种采收方式处理植株的老叶落叶量随采收强度加强而增加。采收主干和保留主干及采收主干上部枝叶对老叶落叶数量的影响不显著,不同强度的老叶落叶数量相近,对照的老叶落叶数量都在上部 2/4 和 3/4 的枝叶处理之间。保留主干采收主干下部枝叶处理的老叶落叶数量都低于对照,但差异不显著。总体上看,3 种采收方式对植株老叶落叶数量并没有显著的影响。

2.2 不同采收处理下的老叶脱落动态

不同采收条件下云南红豆杉老叶落叶动态(图

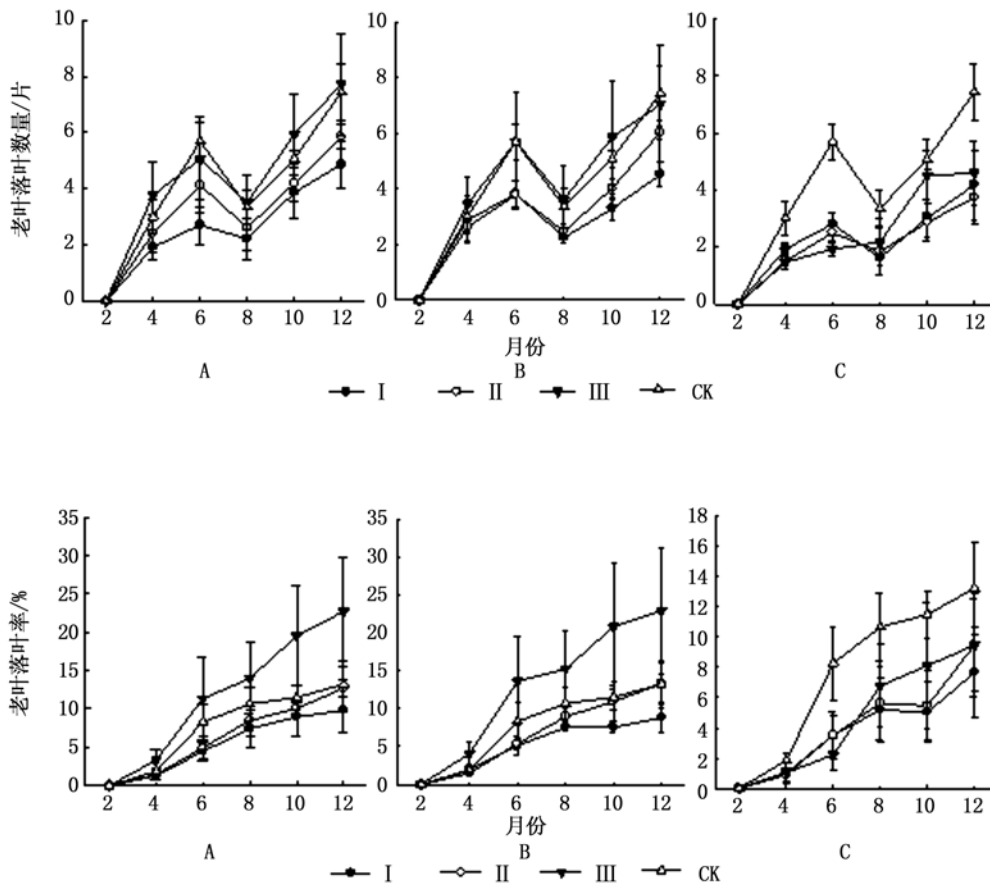
2)表明,老叶落叶数量都有先增加后减少再增加的趋势,在6月出现落叶小高峰,到12月各处理的植株老叶落叶数量达到最大值,老叶落叶率随时间增加呈递增趋势。采收主干及上部1/4的枝叶、保留主干采收上部和下部1/4的枝叶处理的叶片存留量较多,落叶率比较低,三者12月的落叶率分别是对照植株的65.4%、60.4%和56.2%。采收主干及上部3/4的枝叶和保留主干采收上部3/4的枝叶处理会促进植株老叶的落叶,落叶率比较高;保留主干采收上部2/4的枝叶和采收主干采收上部2/4的老叶落叶率与对照接近,差异不明显;保留主干从下部采收枝叶植株的老叶落叶率低于不做采收处理的对照植株。3种采收处理都有采收量越大,老叶落叶

率越高的现象。



注:图中A、B、C同表2处理,CK、I、II、III同表2水平。

图1 不同采收条件下云南红豆杉老叶落叶数量



注:图中A、B、C同表2处理,CK、I、II、III同表2水平。

图2 不同采收条件下云南红豆杉老叶落叶数量和落叶率动态

2.3 不同采收处理下的新叶数量及动态

调查发现,云南红豆杉植株观测枝条新叶数量范围4~120片,9个采收方案中,最多萌生新叶是保留主干采收上部3/4枝叶的处理,最少为不留主干采收上部1/4枝叶的处理。同时,新叶包括春叶和秋叶。春叶数量范围2~96片,9个采收方案中

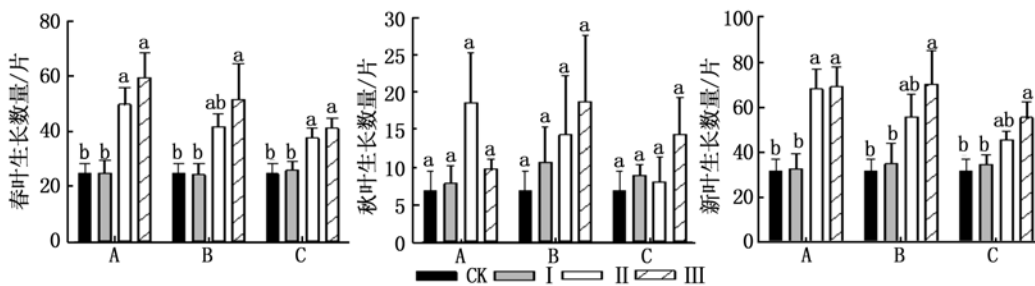
最多萌生春叶是采收主干及上部3/4枝叶的处理,最少为采收主干及上部1/4枝叶的处理。秋叶数量范围2~53片,采收方案中最多萌生秋叶是留主干采收上部3/4枝叶的处理,最少为不留主干采收上部1/4枝叶的处理。

图3显示春叶、秋叶与新叶在同种采收方式下

不同强度间的生长数量比较。与对照组相比,所有不同采收处理都可以促进新枝(春枝、秋枝)生长更多的叶片。对新叶而言,每种采收方式的 1/4 采收强度与对照无明显差异。采收主干及上部 2/4 和 3/4 枝叶处理所萌发的叶片数量都极显著高于对照组 ($P < 0.01$),分别可使新叶数量增加 115%、118%;保留主干采收上部 2/4 与对照无显著差异,3/4 枝叶萌发的叶片数量显著高于对照组 ($P < 0.05$),分别可使新叶数量增加 75.9%、121.4%;保留主干采收下部 2/4 与对照无显著差异,采收下部 3/4 枝叶萌发的叶片数量显著高于对照组 ($P < 0.05$),分别可使新叶数量增加 43.1%、74.5%。对于春叶,同

样每种采收方式的 1/4 采收强度与对照无明显差异。采收主干及上部 2/4 显著高于对照组 ($P < 0.05$),采收上部 3/4 极显著高于对照组 ($P < 0.01$);保留主干采收上部 2/4 与对照无显著差异,3/4 枝叶萌发的叶片数量显著高于对照组 ($P < 0.05$);保留主干采收下部 2/4、3/4 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。各处理下秋叶的生长数量与对照没有显著差异。

是否保留主干对春叶、新叶数量没有显著影响,但采收上部枝叶比采收下部枝叶更加刺激春叶和新叶的萌发,是否保留主干与采收上下部枝叶对秋叶数量没有产生显著影响(表 3)。



注:图中 A、B、C 同表 2 处理,CK、I、II、III 同表 2 水平。

图 3 不同采收条件下云南红豆杉春叶、秋叶及新叶生长数量

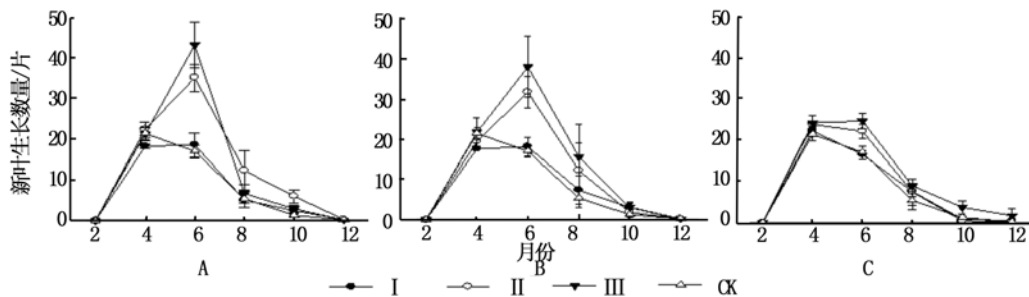
表 3 不同采收因素下云南红豆杉春叶、秋叶及新叶数量

采收因素	春叶数量/片	秋叶数量/片	新叶数量/片
A 采收主干及其上枝叶	48.34 ± 5.74a	11.45 ± 2.66a	59.79 ± 6.01a
B 保留主干,采收主干上部枝叶	45.90 ± 5.23a	13.66 ± 3.89a	59.56 ± 6.87a
C 保留主干,采收主干下部枝叶	32.38 ± 2.54b	10.12 ± 2.02a	42.5 ± 3.24b

注:表中小写字母相同表明差异不显著,不同表明差异显著($P < 0.05$)。表中 A、B、C 同表 2 处理,CK、I、II、III 同表 2 水平。

在不同采收处理下,云南红豆杉的新叶数量总体呈先上升后下降的趋势,新叶在 4—6 月萌发较为集中,6 月是明显的萌发高峰期,之后新叶数量急剧下降,到 12 月新叶停止萌发(图 4)。采收主干及其上枝叶和保留主干采收主干上部枝叶处理植株的新叶数量均高于对照组,萌发动态趋势也基本相同;采收上部 3/4 枝叶处理植株的新叶数量在 6 月达到最

大值,分别占新叶总量的 58.2% 和 48.4%,其次为采收上部 2/4 枝叶处理,采收上部 1/4 略优于对照组。保留主干采收下部枝叶处理植株萌发新叶数量较少,与对照组萌发新叶数量较为接近。可见,从上部采收云南红豆杉枝叶对新叶萌发更为有利,与是否保留主干没有密切关系。



注:图中 A、B、C 同表 2 处理,CK、I、II、III 同表 2 水平。

图 4 不同采收条件下云南红豆杉新叶生长数量动态

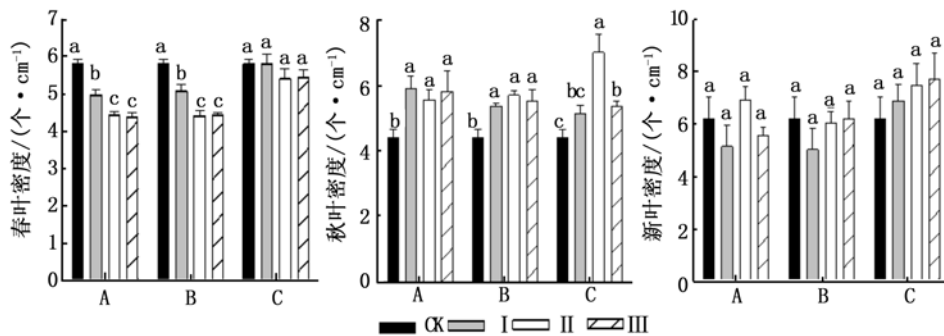
2.4 不同采收处理下的新叶密度

叶密度指标可反映出叶在枝上的密集程度。采收处理对云南红豆杉春叶密度有一定的影响(图5),尽管采收处理刺激了春叶数量的增多,但是春枝长度增长的幅度更明显(图6),从而降低了春叶密度。采收主干及其上枝叶1/4、2/4、3/4分别使春叶密度降低13.8%、24.1%、24.1%,都极显著地低于对照($P < 0.01$);保留主干采收上枝叶1/4、2/4、3/4同样降低春叶密度12.6%、23.9%、23.7%,也都极显著低于对照($P < 0.01$);保留主干下部采收枝叶处理与对照组差异不明显。这说明是否保留主干对春叶密度的影响没有明显差异。

与采收处理对春叶密度的影响不同,采收不仅增加了秋叶数量,还提高了秋叶密度(图5),这是因为秋枝长度在各采收强度下的变化比较不明显(图6)。采收主干及1/4上枝叶的处理使秋叶增加34.6%,极显著高于对照组($P < 0.01$),采收主干及

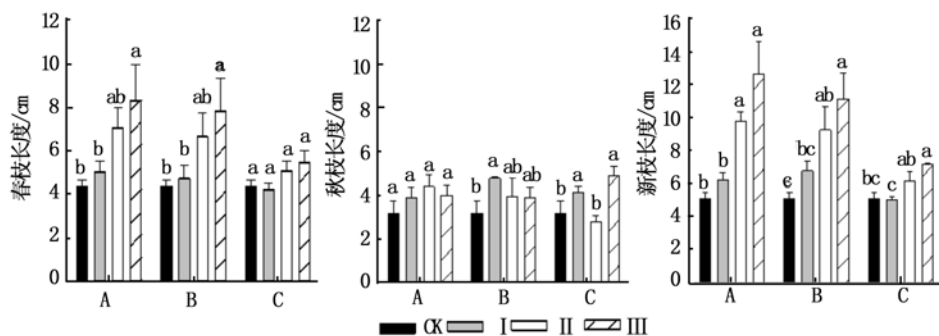
2/4、3/4上枝叶的处理分别使秋叶增加26.6%和32.7%,显著高于对照组($P < 0.05$);保留主干上部采收1/4、2/4、3/4分别使秋叶密度增加22.3%、29.9%、25.7%,都显著高于对照的($P < 0.05$);保留主干下部采收2/4枝叶处理使秋叶密度增加60.0%,极显著高于对照($P < 0.01$),下部采收3/4枝叶处理使秋叶密度增加22.2%,显著高于对照组($P < 0.05$),下部采收1/4枝叶处理与对照组无显著差异。

虽然不同采收处理对春叶、秋叶密度都产生了一定的影响,对春叶密度有抑制作用和对秋叶密度有促进作用,但是新叶的总体密度并没有随采收处理的不同而表现出显著差异。从图3的新叶生长数量和图6的新枝长度可以看出,两者呈相似的趋势,各采收处理强度下的叶数量和枝长度与对照的差异程度基本相同。



注:图中A、B、C同表2处理,CK、I、II、III同表2水平。

图5 不同采收条件下云南红豆杉新叶密度



注:图中A、B、C同表2处理,CK、I、II、III同表2水平。

图6 不同采收条件下云南红豆杉新枝长度

2.5 不同采收处理下的叶净增加量

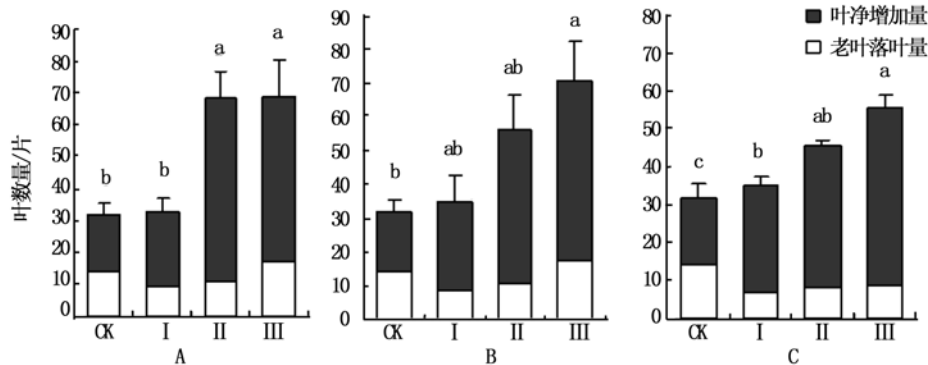
为比较出可以获取更多云南红豆杉叶片数量的采收处理,本研究采用新叶生长量与老枝落叶量的差值,即叶净增加量作为参考指标。

图7显示出,不同采收条件下,叶净增加量几乎随采收强度的增强而增加。采收主干及上部1/4、

2/4和3/4枝叶处理植株的叶片净增加量分别比对照增加33.9%、225.2%和196.2%,但前者与对照无显著差异,后两者与对照的差异达到极显著高($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)水平。保留主干上部采收1/4、2/4和3/4枝叶处理植株的叶片净增加量分别比对照增加49.0%、156.6%、200.3%,但前两

者与对照没有显著差异,仅后者的差异达到显著($P < 0.05$)水平。保留主干下部采收1/4、2/4和3/4枝叶处理植株的叶片净增加量分别比对照增加

58.2%、112.9%和165.6%,前者的显著高于对照($P < 0.05$),后两者都极显著地高于对照($P < 0.01$)。



注:图中A、B、C同表2处理,CK、I、II、III同表2水平。

图7 不同采收条件下云南红豆杉叶数量比较

3 结论与讨论

3.1 采收处理对叶构件的影响

目前,关于草本植物采收的研究表明,采收处理可以刺激植物的分蘖^[16],改变资源的分配模式^[17]。植株叶种群的数量巨大,叶片之间存在相互竞争,其中包括老叶和新叶、上层叶和下层叶等之间的竞争^[7]。云南红豆杉老叶的脱落状况会受到枝叶采收的影响,一方面会改变落叶的数量,另一方面老叶落叶率随时间的推移呈递增趋势,从而使老叶分布格局产生变化。经过采收处理后,植株的结构和营养分配策略受到了不同程度的影响,为保持正常的生长发育,植株通过调节生理改变老叶脱落格局。此外,采收后叶片数量减少,植株需通过萌发更多的新叶进行光合作用获取更多的能量满足生长,从而使采收促进了新叶数量的增加。

充分利用水热资源,最大限度地合成并输出有机物是叶的首要功能^[18]。由于马关县4月温度升高,云南红豆杉进入生长季,所以叶萌发较为集中。6月当地进入雨季且气温较高,植株充分利用水热资源,植株的营养生长主要在6月进行,新叶生长数量在6月达到最大值。随后,水热条件逐渐下降,新生叶生长数量减少,10月左右进入旱季且气温较低,净光合速率降低,老叶落叶数增加新叶逐渐停止生长。

3.2 采收水平对叶构件的影响

本研究发现随着采收强度的增大,老叶落叶率和新叶生长量都增加的现象。当采收强度增大,植株的落叶数量骤减,光合产物减少,植物通过将老叶

养分转移到嫩叶的方式来响应^[19],衰老脱落的老叶减少了对新养分的吸收,以达到补给植株自身营养的效果。在采收强度不大,植株结构未受到严重破坏的情况下,采收就可以促进植物的再生能力^[20]。本文设计的最大采收强度在云南红豆杉的可塑性范围内,未对植株造成不可逆的破坏,仍可正常的生长。当采收强度相同时,是否保留主干对新叶生长的促进作用不明显,但采收上部枝叶比采收下部枝叶对新叶数量增加的促进效果更为突出。这是因为采收下部枝叶的处理只能获得一定的补偿生长,但是植物具有一定的顶端优势^[9],采收上层枝叶后,植株不但能获得补偿生长,而且解除顶端优势对中下层枝叶生长、发育的抑制作用,激发了植株剩余部位潜伏芽的发育潜能,生产更多的枝、叶,从而更快的完成树冠的重新构筑。

了解叶密度和叶的分布,可以更好地了解树冠整体构型的发展趋势和环境变化对整个植株的影响。无论是否保留主干,采收都会降低春叶密度,且采收强度越大,春叶密度降低的越多。其原因是,在春叶增多的同时,春枝长度也在增长,而且春枝长度的增加幅度大于春叶数量的增加幅度。与此相反,无论是否保留主干,采收强度、采收位置是否变化,采收都可以明显促进秋叶密度的增大,因为秋枝长度相对于秋叶数量增幅不明显。综合春叶与秋叶密度,新叶总体密度并没有随采收处理的不同而表现出显著的差异。

3.3 最佳枝叶采收方案的选择

云南红豆杉药用原料林以获取尽可能多的可持续性枝叶提取紫杉醇为主要目的。云南红豆杉的叶

净增加量是选择采收方式的重要指标之一。虽然从下部采收枝叶不管采收强度的大小,都可以使植株叶净生长量稳定的增长,但是从上部采收枝叶获得的叶净增加量并不亚于从下部采收枝叶获得的量,同时从上部采收枝叶可以促进新叶更多的生长。因此,从上部采收枝叶更适宜云南红豆杉药用原料林的可持续发展。从采收更多的枝叶量和来年收获更多的叶净增加量为标准来看,不留主干采收上部3/4枝叶和保留主干采收上部3/4枝叶两种采收方式较好,叶净增加量分别是对照的2.96倍和3.00倍。南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairii*)药用原料林和三尖杉(*Cephalotaxus fortunei* Hook. f.)药用原料林采收措施通常包括枝叶采收、截干采收和全株采收3种方法,且研究表明截干不仅紫杉醇含量较高,并且有利于促萌经营^[21-23]。本研究在调查中发现,云南红豆杉截取主干采收更有利于去除顶端优势,使植株以灌木型形式生存。同时,还发现截取主干后,云南红豆杉会在剩余的树冠上生长更多的萌枝,增加枝叶的生物量^[24]。因此可以将采收主干及上部3/4树冠长度的枝叶采收处理视为最佳的枝叶采收方案。

参考文献:

- [1] 毛伟,李玉霖,张铜会,等.不同尺度生态学中植物叶性状研究概述[J].中国沙漠,2012,32(1):33-41.
- [2] Ackerly D, Knight C, Weiss S, et al. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses [J]. *Oecologia*, 2002, 130(3): 449-457.
- [3] Beer C, Reichstein M, Tomelleri E, et al. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate [J]. *Science*, 2010, 329(5993): 834-838.
- [4] 严昌荣,韩兴国,陈灵芝.北京山区落叶阔叶林优势种叶片特点及其生理生态特性[J].生态学报,2000,20(1):53-60.
- [5] Breeze E, Harrison E, McHattie S, et al. High-resolution temporal profiling of transcripts during *Arabidopsis* leaf senescence reveals a distinct chronology of processes and regulation [J]. *The Plant Cell Online*, 2011, 23(3): 873-894.
- [6] Onoda Y, Westoby M, Adler P B, et al. Global patterns of leaf mechanical properties [J]. *Ecology letters*, 2011, 14(3): 301-312.
- [7] 贾程,何飞,樊华,等.植物种群构件研究进展及其展望[J].四川林业科技,2010,31(3):43-50.
- [8] Lu E Y, Cai Z H, Lin J J, et al. Leaf emergence, shedding, and li-fespan of dominant hardwood species in Chitou, central Taiwan [J]. *Botanical Studies*, 2012, 53(2): 255-264.
- [9] 周云龙.植物生物学(第三版)[M].北京,高等教育出版社,2011.
- [10] 苏建荣,张志钧,邓疆,等.云南红豆杉的地理分布与气候的关系[J].林业科学研究,2005,18(5):510-515.
- [11] 苏建荣,张志钧,邓疆.不同树龄不同地理种源云南红豆杉紫杉醇含量变化的研究[J].林业科学研究,2005b,18(4):369-374.
- [12] 苏建荣,缪迎春,张志钧.云南红豆杉紫杉醇含量变异及其相关的RAPD分子标记[J].林业科学,2009,45(7):26-28.
- [13] Cragg G M, Schepartz S A, Suffness M, et al. The taxol supply crisis. New NCI policies for handling the large-scale production of novel natural product anticancer and anti-HIV agents [J]. *Journal of natural products*, 1993, 56(10): 1657-1668.
- [14] 苏磊,苏建荣,刘万德,等.异质光环境下云南红豆杉的构型与叶构件水分特征[J].林业科学研究,2012,25(4):505-509.
- [15] 王卫斌,王达明.云南红豆杉[M].昆明:云南大学出版社,2006.
- [16] Graaf A J, Stahl J, Bakker J P. Compensatory growth of *Festuca rubra* after grazing: can migratory herbivores increase their own harvest during staging [J]. *Functional Ecology*, 2005, 19(6): 961-969.
- [17] Zhao W, Chen S P, Lin G H. Compensatory growth responses to clipping defoliation in *Leymus chinensis* (Poaceae) under nutrient addition and water deficiency conditions [J]. *Plant Ecology*, 2008, 196(1): 85-99.
- [18] 孙书存,陈灵芝.东灵山地区辽东栎叶的生长及其光合作用[J].生态学报,2000,20(2):212-217.
- [19] Jonasson S. Implications of leaf longevity, leaf nutrient re-absorption and translocation for the resource economy of five evergreen plant species [J]. *Oikos*, 1989, 56: 121-131.
- [20] 贾悦,李秀珍,唐莹莹,等.不同采收方式对富养化河道浮床空心菜生物产出的影响[J].生态学杂志,2011,30(6):1091-1099.
- [21] 廖国华.南方红豆杉短周期药用林高产栽培技术研究[J].福建农业学报,2009,24(1):75-81.
- [22] 潘标志.三尖杉短周期药用林高产栽培技术研究[J].林业科学研究,2009,22(5):641-646.
- [23] 周志春,余能健.栽培措施对南方红豆杉紫杉醇含量的影响[J].林业科学研究,2010(1):120-124.
- [24] 苏磊,苏建荣,刘万德,等.云南红豆杉人工林萌枝特性[J].生态学报,2013,33(22):7300-7308.