

基于森林功能分区的经营小班划分研究

王建军, 孟京辉*, 葛方兴, 李 晗, 赵勇钧, 王文文

(北京林业大学 国家林业和草原局 森林经营工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要:基于湖南省慈利县二类调查数据,根据森林主导功能的差异、森林林种种类和坡度的不同,将慈利县森林划分成不同的森林功能区,并基于森林功能区按照树种的不同将其进一步划分成不同的经营小班。最后,在地理信息系统的支持下绘制出森林功能分区图和经营小班划分图。结果表明,公益林的面积多于商品林的面积,其中特殊公益林区 and 一般公益林区面积为 1 290 hm²,限制性商品林和一般性商品林面积为 1 144 hm²,马尾松和杉木是主要的经济树种。划分经营小班有利于森林的分类经营,为实现林业从传统的以木材生产为主向发挥森林的多功能、多效益的经营方式转变提供条件,进而实现森林的可持续经营,并为促进森林经营单位的可持续发展提供数据支持。

关键词:森林经营;森林功能分区;森林经营小班划分

中图分类号:S757.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2020)03-0165-06

Division of Small Management Classes Based on Forest Functional Zoning

WANG Jian-jun, MENG Jing-hui*, GE Fang-xing, LI Han, ZHAO Yong-jun, WANG Wen-wen

(Research Center of Forest Management Engineering of National Forestry and Grassland Administration,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Subcompartment management is the most basic unit of forest management, which enables unified and comprehensive application of forest management measures, and provides technological means for strictly implementing forest management plans. Additionally, the division of subcompartment can enhance forest management capacity, improve economic efficiency, strengthen forest ecological construction, and provide an effective way for forest ecosystem management. Based on the forest management survey data of Cili County of Hunan Province, the forests occurring in Cili were divided into different forest function zones according to the dominant function, forest types and slope of subcompartment. Then, according to the tree species, the forest function zones were divided into different subcompartments. Finally, with the support of the GIS, the forest function map and the subcompartment maps were output. The results showed that the area of public welfare forest was higher than commercial forest, in which the area of special public welfare forest and general welfare forest was 1 290 hm², the area of confined commercial forest and general commercial forest was 1 144 hm². Masson pine and Chinese fir were the main economic species. The division of subcompartment was beneficial to the forest classification management. It provided conditions for the transformation of forests from traditional timber production to multi-functional and multi-effective forests to achieve sustainable forest management and provide basic data for the sustainable forest development.

Key words: forest management; forest functional zoning; forest subcompartment division

在环境问题受到全球普遍重视、国内资源危机与生态环境恶化日益严重以及森林可持续经营和生

态系统经营思想指导下,人们对森林的认识越来越全面,在采伐森林资源的同时要充分考虑森林的社

收稿日期:2019-06-22 修回日期:2019-09-09

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC050560401)。

作者简介:王建军。研究方向:森林生长收获与模型模拟。E-mail:dreamjjwang@163.com

*通信作者:孟京辉,副教授,硕士生导师。研究方向:森林经营与管理。E-mail:jmeng@bjfu.edu.cn

会效益和生态效益^[1-3]。为了更好地保护森林资源,促进人与自然和谐相处,必须采取合理有效的森林经营措施^[4-5]。1998年,抚育采伐和低强度择伐已经在我国的天然林保护工程得到了广泛的应用,提出不仅要考虑木材采伐,也应注意森林的抚育和更新演替,经营小班有助于采伐、抚育和更新演替的统一^[6]。经营小班划分是将森林分类、立地条件、经营目标相同的林分划分为同一个经营小班,针对划分的经营小班采取相应森林经营措施,使林地生产力得到最大程度的利用,更好地发挥经济效益、生态效益和社会效益^[7-8]。

森林经营小班划分不仅有利于森林资源监测、管护,而且能够为森林经营管理措施的有效实施提供便利条件^[9]。便于一系列森林经营管理措施的实施,能更好地发挥森林的作用,实现森林多元化的目标^[10]。简晓丹等^[8]以黑龙江穆棱林业局为例,小班经营划分后采取适宜的经营措施,经营小班的林地生产力得到提高,森林的经营能力增强,经济效益增加,林分质量提高,生态功能强化;莫小勇^[11]以雷州林业局为实例,集约小班经营能够更好的发挥森林的经济效益、生态效益和社会效益。虽然经营小班在森林的经营中发挥着重要作用,但普及的范围较小。

本研究以湖南省慈利县为对象,基于慈利县二类调查数据,根据小班主导功能的差异以及小班林种种类与坡度的不同,将慈利县森林划分为特殊生态公益林区、一般生态公益林区、限制性商品林区、一般性商品林区;基于4类森林功能区划^[12-14],根据当地树种分布情况,将其分为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、马尾松(*Pinus massoniana*)林、软阔林、硬阔林、经济林以及灌木林6类,形成不同的经

营小班。在地理信息系统的支持下,绘制慈利县森林功能分区图(图1)和经营小班划分图(图2)。

1 研究区概况

慈利县位于湖南省西北部,东北与常德市石门县接壤,东南与桃源县毗连,西北与桑植县相邻,西南与永定区相接,西靠武陵源区。慈利县地处 $110^{\circ}27' - 111^{\circ}20'E, 29^{\circ}04' - 29^{\circ}41'N$,总面积 $3\ 480\ km^2$ 。气候属中亚热带季风湿润气候区,四季分明,夏无酷暑,冬少严寒,雨热同期。年均气温 $16.8^{\circ}C$,年降水日 $143.2\ d$,年降水量 $1\ 390\ mm$ 。慈利县森林资源丰富,林业用地占全县土地面积的70%以上,森林覆盖率高达66.53%,森林蓄积为 $722.82\ 万\ m^3$ 。

2 材料与方法

2.1 数据

采用湖南省慈利县2008年二类调查数据。慈利县有小班数量90 352个,其中乔木林地小班数量62 415个,灌木林小班数量4 873个,非林地小班数量18 191个。二类调查的数据不仅包括坡度、坡向、坡位、海拔、土层厚度等立地因子,优势树种、郁闭度、林种、龄级等林分因子,还包括森林功能、样地森林亚种等因子。

2.2 森林功能分区

森林功能分区划分方法有很多种,包括自然综合划分、空间发展类型划分法、主成分分析法、系统聚类法、矩阵判断、叠加分析和缓冲分析等,从定性的研究到定量分析方法均有应用^[15-18]。本研究主要定性描述森林功能分区,通过量化指标、条件和限制描述划分为以下几类,分区条件见表1:

表1 森林功能分区

Table 1 Forest functional zoning

| 代码 | 森林功能区 | 量化指标、条件和限制描述 | 经营模式 |
|-----|----------|---|--|
| I | 特殊生态公益林区 | <ul style="list-style-type: none"> ●坡度$>45^{\circ}$的水土保持林 ●试验林中不进行任何作业的对照林 ●坡度45°以上的特殊地区国防林 | 严格保护、封山育林 |
| II | 一般生态公益林区 | <ul style="list-style-type: none"> ●坡度在45°以下的水土保持林、水源涵养林 ●坡度在45°以下的国防林 ●特殊科学经营试验林区(不能进行皆伐作业) ●母树林 ●护路林 ●防火林 ●护岸林 | 可抚育性采伐的生态公益林 |
| III | 限制性商品林区 | <ul style="list-style-type: none"> ●坡度在25°以上的用材林 ●坡度在25°以上特殊经济林、特殊油料林(不能进行垦复、整地等措施) ●一般科学经营试验林区(满足科研需要) | 中周期人工用材林、长周期珍贵树种用材林(单株择伐)、油料林,长周期珍贵树种用材林 |
| IV | 一般性商品林区 | <ul style="list-style-type: none"> ●不属于其他三类的、无特殊限制的用材 ●经济林 | 镶嵌状小面积皆伐、择伐(短周期工业用材林) |

注: I:特殊生态公益林区,具有保护性质的功能区域,实行严格保护; II:一般生态公益林区,可进行经营性采伐的生态公益林区域; III:限制性商品林区,可进行收获性采伐,但受一定条件和经营措施限制; IV:一般性商品林区,不受特定功能限制的区域为纯用材生产区域^[19]。

根据功能区的划分结果,在 Arcgis 软件的支持下,构建湖南省慈利县的森林功能分区分布图。

2.3 森林经营小班划分

经营小班划分的主要条件包括土地类别、权属、森林分类、林种、优势树种、龄组、林分类型、疏密度与郁闭度、坡度级等。

本研究在森林功能分区的基础上,根据小班树种种类划分经营小班,主要包括 6 类,划分标准见表 2;针叶树种、阔叶树种、经济树种以及灌木。其中针叶分为杉木组和马尾松组,阔叶树分为硬阔和软阔。

表 2 经营小班划分

Table 2 Subcompartment division

| 种类 | 树种 | 编号 | | |
|------|---------|--------|---------|---------|
| 针叶树 | 杉木组树种 | 杉木 | 310 000 | |
| | | 柳杉 | 320 000 | |
| | | 水杉 | 330 000 | |
| | 马尾松组树种 | 马尾松 | 220 000 | |
| | | 湿地松 | 261 000 | |
| | | 黄山松 | 270 000 | |
| 阔叶树种 | 软阔树种 | 杨树组 | 530 000 | |
| | | 枫香 | 480 000 | |
| | | 柳类 | 535 000 | |
| | | 桦类 | 420 000 | |
| | | 木荷 | 470 000 | |
| | | 泡桐 | 540 000 | |
| | | 椿树 | 591 000 | |
| | | 榎类 | 510 000 | |
| | | 硬阔树种 | 栎类 | 410 000 |
| | | | 樟类 | 440 000 |
| 楠类 | 460 000 | | | |
| 桦类 | 491 000 | | | |
| 经济树种 | 经济树种 | 檀类 | 493 000 | |
| | | 果树类 | 700 000 | |
| | | 食用原料树组 | 750 000 | |
| 灌木 | 灌木组 | 经济林类 | 800 000 | |
| | | 灌木组 | 900 000 | |

3 结果与分析

3.1 慈利县森林功能分区

森林的生产功能主要是为人类提供木材及其副产品,满足人们的生活需要;生态功能主要是保障国土生态安全,改善环境条件以及维护物种多样性;森林的社会功能最为复杂,影响面极广,涵盖社会经济发展的整个层面。森林功能分区的主要目的是根据不同的功能区实施不同的作业类型,充分协调的发挥森林的生产,生态和社会功能。

对于有林地,综合考虑坡度、森林功能以及树种类型等限制条件,按照表 2 中的经营特征指标和限制条件,对林地进行分类(图 1)。

3.2 慈利县森林经营小班划分

在森林功能区划的基础上,根据小班树种种类

划分经营小班,主要分为 22 种,其中特殊生态公益林区包括杉木、马尾松、软阔林、硬阔林和灌木林 5 种,一般生态公益林区包括杉木、马尾松、软阔林、硬阔林和灌木林 5 种,限制性商品林区包括杉木、马尾松、软阔林、硬阔林、经济林和灌木林 6 种,一般性商品林区包括杉木、马尾松、软阔林、硬阔林、经济林和灌木林 6 种(图 2)。各个功能区内的树种组成及分布情况见表 3~表 6。

表 3 特殊生态公益林区及分布

Table 3 Special public welfare forests area and distribution

| 类型 | 小班数 | 面积总和/hm ² |
|-------------|-----|----------------------|
| 特殊生态公益杉木林区 | 141 | 5.07 |
| 特殊生态公益马尾松林区 | 156 | 5.99 |
| 特殊生态公益软阔林区 | 63 | 2.79 |
| 特殊生态公益硬阔林区 | 309 | 13.56 |
| 特殊生态公益灌木林区 | 580 | 28.20 |

表 4 一般生态公益林区及分布

Table 4 General public welfare forests area and distribution

| 类型 | 小班数 | 面积/hm ² |
|-------------|-------|--------------------|
| 一般生态公益杉木林区 | 6 732 | 336.82 |
| 一般生态公益马尾松林区 | 7 374 | 374.62 |
| 一般生态公益软阔林区 | 2 103 | 99.07 |
| 一般生态公益硬阔林区 | 4 069 | 199.53 |
| 一般生态公益灌木林区 | 4 384 | 225.23 |

表 5 限制性商品林区及分布

Table 5 Confined commercial forest management area and distribution

| 类型 | 小班数 | 面积/hm ² |
|------------|-------|--------------------|
| 限制性商品杉木林区 | 3 812 | 112.08 |
| 限制性商品马尾松林区 | 3 817 | 149.15 |
| 限制性商品软阔林区 | 1 201 | 47.39 |
| 限制性商品硬阔林区 | 2 839 | 153.50 |
| 限制性商品经济林区 | 1 615 | 35.53 |
| 限制性商品灌木林区 | 1 047 | 50.37 |

表 6 一般性商品林区及分布

Table 6 General commercial forest management area and distribution

| 类型 | 小班数 | 面积/hm ² |
|------------|-------|--------------------|
| 一般性商品杉木林区 | 6 252 | 110.85 |
| 一般性商品马尾松林区 | 6 611 | 192.79 |
| 一般性商品软阔林区 | 2 497 | 45.84 |
| 一般性商品硬阔林区 | 3 582 | 106.33 |
| 一般性商品经济林区 | 7 296 | 117.35 |
| 一般性商品灌木林区 | 810 | 23.26 |

4 结论与讨论

慈利县森林资源分为特殊公益林区、一般公益林区、限制性商品林和一般性商品林。公益林面积 > 商品林,公益林包括特殊公益林区和一般公益林

区,面积为 1 290 hm²,商品林包括限制性商品林和一般性商品林,面积为 1 144 hm²,一般公益林面积最大,为 1 236 hm²,占森林总面积的 50.8%。经营小班划分结果表明,慈利县森林资源丰富,树种种类多样,根据树种不同将森林划分为 22 类,以马尾松和杉木为优势树种的森林小班所占比例最高,面积高达 1 287.37 hm²,占森林总面积的 52.9%。

4.1 针对不同的森林功能区提出经营建议

特殊生态公益林区按照其主导的主要生态功能,最大程度地发挥其生态功能,需对林区严格保护、封山育林,不进行经营性的开发或采伐,保持在一定时期内持续稳定的发展。一般公益林区作为一个过渡阶段的类型,根据慈利县划分结果以及森林所处的地位将其逐步转化为特殊生态公益林和商品林,森林经营措施实施过程中要充分考虑后期经营类型,为过渡后的经营管理打好基础。限制性商品林区在一定的条件限制内,可进行收获性采伐,为更好地发挥林地生产力、提高木材产量,应选择中周期和长周期珍贵树种用材林、油料林。一般商品林区主要目的是生产木材,满足社会的木材需求,产生最

大的经济效益。确定不同的造林树种、不同配置、不同栽植密度、短轮伐期树种和长轮伐期树种的搭配,以获取最大的木材产量和经济效益。

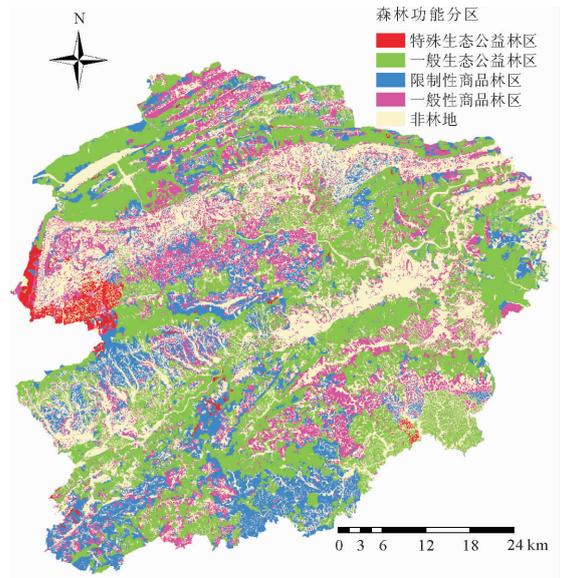


图 1 慈利县森林功能区

Fig. 1 Forest functional division map of Cili County

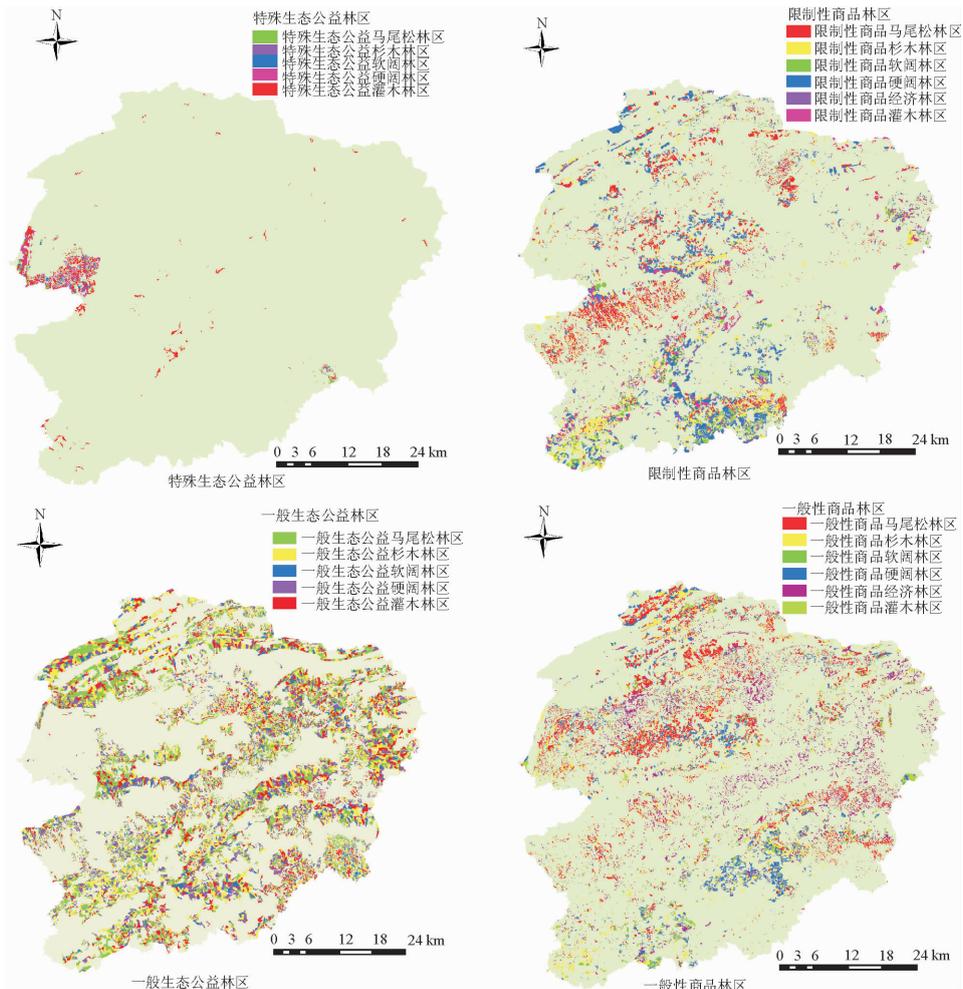


图 2 慈利县森林经营小班划分

Fig. 2 Subcompartment division map of Cili County

4.2 根据面积较大的经营小班提出经营措施

一般生态公益杉木区和马尾松林区,主导功能为水源涵养兼顾景观游憩,目标林相为珍贵阔叶树与马尾松杉木为主的异龄混交林,采用单株择伐的作业方式采伐达到目标直径的林木。首先选择林内生长较好的马尾松和杉木作为目标树,低密度地选择干扰树进行伐除。每亩目标树8~10株。每棵目标树选择干扰树0~1株。在伐除的空地人工群团状补植阔叶树大苗,补植树种为青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、桢楠(*Phoebe zhennan*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、木荷(*Schima superba*)和枫树(*Acer mono*)。青冈、桢楠、香樟是珍贵阔叶树树种,木荷具有防火功能,五角枫可以增加林子的色彩。补植密度375~525株·hm⁻²,群团状补植。每公顷补植75~105个群。林子疏的地方多补植,林子密的地方少补植或者不补植。

一般生态公益软阔林区和硬阔林区主导功能为水源涵养兼顾景观游憩,目标林相为珍贵阔叶树为主的异龄混交林,主要树种包括青冈、桢楠、黄檀(*Dalbergia hupeana*),其中夹杂木荷、枫树等景观树种,密度目标900~1200株·hm⁻²,珍贵目标直径55cm,其他树种40cm,复层结构,培育周期>65a,目标蓄积量每公顷>220m³,采用单株择伐的作业方式采伐达到目标直径的林木。首先选择林内生长较好的阔叶树作为目标树,低密度的选择干扰树伐除。每公顷目标树120~150株。每棵目标树选择干扰树0~1株。对林内阔叶目标树天然整枝不良、枝条影响林内通风和光照且影响主干生长的侧枝进行修枝整形,以减轻主干枝的生长压力、改善树木的均匀性和用途。

一般生态公益灌木林区主导功能为水源涵养兼顾景观游憩,根据发育和衰退进程,采取平茬复壮措施。平茬时间为每年12月上旬到次年3月下旬。采用带状平茬,带宽1.0~1.5m,保留带宽4~6m,达到逐年轮作。平茬时宜用镰刀或剪枝剪,也可用小型机械平地割除,茬口尽量降低,春季土壤解冻后进行松土并覆盖伐根,促进萌蘖更新,更新不足进行补植(补种)。

限制性商品杉木林区和马尾松林区,主导功能为水源涵养兼顾木材生产,目标林相为针阔混交的异龄混交林,对中小径材林可进行小面积皆伐,伐后人工种植马尾松和杉木,形成带(块)状异龄林。对培育大径材的进行疏伐1次,伐后保留林分密度200~240株·hm⁻²,对保留木进行修枝(≥12m),中耕松土或中耕翻耙3~4次,施肥(有条件的施农家肥)1~2次。促进林分个体径向生长,增加林木蓄积,改善林木质

量和森林健康,培育形成大径级林木。

限制性商品软阔林区和硬阔林区,主导功能为水源涵养兼顾木材生产,目标林相为阔叶树混交的异龄混交林,在适宜林龄疏伐1~2次,确定目标树105~120株·hm⁻²,间隔期3~4a,伐后保留林分密度450~550株·hm⁻²。对目标树进行修枝(≥4)。林分进入冠下更新阶段生长伐1次,保留密度350~400株·hm⁻²,并进行修枝(≥8m)。注意保留天然更新的阔叶幼树(苗)。当阔叶树幼树生长受抑制时,对上层林木进行生长伐1次,保留林分密度250~300株·hm⁻²。促进林木个体径向生长,增加林木蓄积,改善林木质量和森林健康,培育形成高品质的阔叶树大径级林木。

一般性商品杉木林区和马尾松林区,分布于地势平缓地带,土壤条件好、水土流失少的立地类型,通过促进林下天然植被生长形成马尾松和杉木主林层下生长天然植被的复层结构,在保持林分环境长期稳定条件下以实现最大程度用材生产为目标。改进经营的主要技术途径:加大造林株行距促进林下天然植被和灌草生长肥地,长久维持地力;设计与木荷、枫香等阔叶树人工林的镶嵌式小面积造林,保持森林整体上的生物多样性;改挖明穴为打暗穴植树,减少水土流失;采伐作业的枝桠和伐桩留地并促其腐烂肥地改良林分肥力。

4.3 展望

随着森林多功能理论与可持续森林经营思想的推广,根据不同的自然条件和培育目标需要进行多学科的综合分析。把森林自然类型、经营目标类型和生态功能类型等有机结合起来,提出森林经营类型的组织体系,进一步根据不同类型的主导功能目标和自然特征要求制定相应的经营计划,并设计对应的林分作业法来规范长期的经营活动。针对森林不同的功能区和划分的经营小班,应采取不同采伐、抚育和演替更新措施,最大程度发挥林地生产力,实现林业的可持续发展。林业经营管理目的是为了实现在森林可持续发展,二类调查作为林业经营管理中一项基础工作,应该不断完善技术体系,应用新技术,发展新林业,拓展专业调查项目。通过对森林资源数据统计以及森林资源的监测,实现森林资源的可持续发展,促进生态文明建设。

参考文献:

- [1] VARELA E, JACOBSEN J B, MAVSAR R. Social demand for multiple benefits provided by Aleppo pine forest management in Catalonia, Spain[J]. Regional Environmental Change, 2017, (17): 539-550.
- [2] 柴勇, 孟广涛, 方向京, 等. 云南金沙江流域退化林地群落特征

- 研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 146-151.
- CHAI Y, MENG G T, FANG X J, *et al.* Community feature of degraded forest along the reaches of Jinshajiang in Yunnan Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(2): 146-151. (in Chinese)
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of the world's forests; enhancing the socioeconomic benefits from forests[R]. <http://www.environmentportal.in/content/394679/state-of-the-worlds-forests-2014-enhancing-the-socio-economic-benefits-from-forests/?> 2014.
- [4] 李少宁, 王兵, 赵广东, 等. 森林生态系统服务功能研究进展——理论与方法[J]. 世界林业研究, 2004, 17(4): 14-18.
- [5] PITMAN N C A, SILMAN M R, TERBORGH J W. Oligarchies in Amazonian tree communities: a ten year review [J]. *Echography*, 2013, 36(2): 114-123.
- [6] 毕福传, 詹毅. “小班经营、单株培育、采、更、抚系统工程研究”的培育方法和效果分析[J]. 林业勘查设计, 2002, 31(4): 38-40.
- [7] 张革, 赵杰, 王克锐. 基于小班区划经营的综合抚育采伐技术[J]. 林业实用技术, 2012, 55(7): 10-11.
- [8] 简晓丹, 石凤鸣, 邱岩明. 小班区划经营·综合抚育采伐[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [9] 王文成, 林永杰, 郝瑛秋. 区划经营小班完善森林经理调查体系[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2006, 19(4): 66, 92.
- [10] 王晶晶, 亢新刚, 高延, 等. 金沟岭林场生态公益林经营类型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 192-197, 235. WANG J J, KANG X G, GAO Y, *et al.* Classification of management type of non-commercial in Jinggouling forest farm [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5): 192-197, 235. (in Chinese)
- [11] 莫晓勇. 人工林经营模式——集约化小班经营[J]. 中南林业调查规划, 2008, 27(4): 1-4.
- [12] 高方莲, 李先强, 刘海峰, 等. 吉林省泉阳林业局森林功能区划及经营措施[J]. 吉林林业科技, 2011, 40(1): 29-31, 53.
- [13] 蔡霞, 王祖华, 陈丽娟. 淳安县森林生态系统服务功能空间分区区划[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 727-734.
- [14] 张璐, 邓华锋. 县域森林功能区划与功能区管理研究——以江西省崇义县为例[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 223-227. ZHANG L, DENG H F. County-level forest functional zoning and management of functional zones——a case study of Chongyi County in Jiangxi Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(4): 223-227. (in Chinese)
- [15] 陆康英, 陈世清, 苏晨辉. 城郊森林功能区划方法研究——以广东省英德市为例[J]. 中南林业调查规划, 2012, 31(4): 29-34.
- [16] 欧阳勋志, 廖为明, 彭世揆. 区域森林景观生态功能区划的理论与方法——以江西婺源县为例[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(5): 700-704.
- [17] 许兰霞, 蔡永茂. 八达岭林场森林功能图的研建[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(Supp. 1): 63-67. XU L X, CAI Y M. Study and establishment of forest function map of Badaling forest center [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(Supp. 1): 63-67. (in Chinese)
- [18] 曾群英, 周元满, 李际平, 等. 地级森林生态系统区划与组织实施[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 102-106.
- [19] 陆元昌, 刘宪钊, 雷相东, 等. 人工林多功能经营技术体系[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(7): 1-10.

(上接第 164 页)

- [20] PUTRANTO R A, HERLINAWATI E, RIO M. Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of *Hevea brasiliensis* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, 16(8): 17885-17908.
- [21] 袁坤, 杨礼富, 陈帮乾, 等. 海南植胶区橡胶树死皮发生现状分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 176-179. YUAN K, YANG L F, CHEN B Q, *et al.* Current situation of *Hevea brasiliensis* tapping panel dryness occurring in Hainan [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 176-179. (in Chinese)
- [22] 张艺馨, 尚玉臣, 张晓丽, 等. 1-MCP 在果蔬应用上的研究进展[J]. 中国瓜菜, 2016, 29(11): 1-6.
- [23] 孙志栋, 田雪冰, 倪穗, 等. 1-MCP 对采后果实贮藏品质影响的研究进展[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 336-341.
- [24] 魏芳, 罗世巧, 校现周, 等. 橡胶树胶乳中硫醇功能以及模式植物中硫醇合成途径研究进展[J]. 热带农业科学, 2012, 32(8): 12-17.
- [25] TAUSSKY H H, SHORR E A. Microcolorimetric method for the determination of inorganic phosphorus [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1953, 202: 675-685.
- [26] ASHWELL G. Colorimetric analysis of sugars [J]. *Methods in Enzymology*, 1957, 3: 73-105
- [27] 程成, 史敏晶, 田维敏. 巴西橡胶树胶乳中黄色体破裂指数测定方法的优化[J]. 热带作物学报, 2012, 33(7): 1197-1203.
- [28] 肖再云, 校现周. 巴西橡胶树胶乳生理诊断的研究与应用[J]. 热带农业科技, 2009, 32(2): 46-50.
- [29] 胡义钰, 孙亮, 袁坤, 等. 壳聚糖载体橡胶树死皮防治药剂的防效研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(3): 562-565.
- [30] 胡义钰, 冯成天, 孙亮, 等. 橡胶树死皮防治缓释颗粒调剂造粒工艺的研究[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(2): 139-145.
- [31] 杨少琼, 熊涓涓. 橡胶树乳管系统功能的胶乳诊断——II. 黄色体破裂指数的测定[J]. 热带作物研究, 1989(1): 68-71.
- [32] 黄德宝, 秦云霞, 唐朝荣. 橡胶树三个品系(热研 8-79、热研 7-33-97 和 PR107)胶乳生理参数的比较研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(2): 170-175.
- [33] 校现周. 橡胶胶乳中 R-SH 的生理作用[J]. 热带作物研究, 1996(3): 5-9.
- [34] 王岳坤, 阳江华, 秦云霞. PR107 两种割胶制度胶乳生理参数的季节变化[J]. 热带作物学报, 2014, 35(3): 419-424.
- [35] 郭秀丽, 孙亮, 胡义钰, 等. 巴西橡胶树不同死皮程度植株的胶乳生理参数分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(9): 1553-1557.
- [36] 何晶, 冯成天, 郭秀丽, 等. 高浓度乙烯利刺激诱导橡胶树死皮发生过程中的胶乳生理研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(2): 123-128. HE J, FENG C T, GUO X L, *et al.* Latex physiological characteristics during tapping panel dryness (TPD) occurrence induced by high-concentration ethrel stimulation in *Hevea brasiliensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(2): 123-128. (in Chinese)