

我国西北主要天然林经营模式设计*

惠刚盈^{1**}, 赵中华¹, 胡艳波¹, 张弓乔¹, 刘文桢², 白超¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 甘肃省小陇山林业试验局林业科学研究所, 甘肃 天水 741020)

摘要: [目的] 研制森林经营模式属于森林经营研究的核心内容。如何将现有的、已被实践检验而富有成效的经营方法与技术进行组装配套, 形成森林经营模式是目前天然林经营研究中亟待解决的科学问题。 [方法] 将天然林经营的目标设定为保育健康、稳定、优质、高效的森林, 根据现有林中大径木的多少确定经营类型, 基于众多的试验结果或研究成果进行经营措施安排, 期望在百年左右的时段内, 通过有序调整小树拥挤度、大树均匀性、林分成层性和幼树开敞度, 并进行地力维护以及结构化森林经营等技术措施, 使现有天然林演变为恒续林。 [结果] 设计出了3大类20种经营模式, 即9种针叶林(松林、云杉林)复层异龄林模式、4种栎类阔叶林模式以及7种松栎(阔)混交林模式。所设计出的天然林经营模式都包含了林分整体经营和单木经营, 而在单木经营中均采用了结构化森林经营技术。 [结论] 研究设计出的20个经营模式为我国西北地区天然林保育提供了既先进又实用的技术指南, 也对我国其它地区天然林经营有非常重要的借鉴作用。

关键词: 天然林; 经营模式; 恒续林; 结构化经营; 西北地区

中图分类号: S757

文献标识码: A

Management Models for Natural Forests in Northwestern China

HUI Gang-ying¹, ZHAO Zhong-hua¹, HU Yan-bo¹, ZHANG Gong-qiao¹, LIU Wen-zhen², BAI Chao¹

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Xiaolongshan Research Institute of Forestry, Tianshui 741020, Gansu, China)

Abstract: [Objective] To design the forest management models combining and assembling the existing, proven and effective management methods and techniques. [Method] The forest management types were determined by the number of large-and medium-diameter trees in the forest and the management measures were adopted based on a number of management experiments or research outcomes. The management objectives of natural forest were set as the protection and cultivation of healthy, stable, high-quality and efficient forest. By adjusting the small trees crowding, the uniformity of large tree, the forest layers, the sapling opening, the soil fertility maintenance and structure-based forest management technical measures, current natural forests can evolve into continual cover forests in the period of about a hundred years. [Result] 20 management models were designed, involving 3 categories of forests, namely 9 types of multi-storied uneven-aged coniferous forests (pine, spruce), 4 types of oak-broadleaved mixed forests and 7 types of pine-oak (broadleaved) mixed forests. The designed natural forest management models included whole stand management measures and individual tree management measures, while structure-based forest management technical measures were implemented in all measures of individual tree management. [Conclusion] The research provides both advanced and practical technology guidance for the protection and cultivation of the natural forest in Northwestern China.

收稿日期: 2015-09-14

基金项目: “十二·五”国家科技支撑课题“西北华北森林可持续经营技术与示范”(2012BAD22B03)

作者简介: 惠刚盈(1961—), 男, 陕西人, 林学博士, 研究员. 主要研究方向: 森林经营. E-mail: hui@caf.ac.cn

* 诚挚地感谢中国林业科学研究院盛炜彤研究员在本文撰写过程中给予的热情指导。

** 通讯作者: 惠刚盈。

These management models can offer some management references for natural forests in other regions.

Keywords: natural forest; management model; continual cover forest; structure-based management; Northwestern China

天然林是指天然起源未经干扰、干扰程度较轻仍然保持有较好自然性或者干扰后自然恢复的森林。天然林是森林生态系统的主体,具有重要的生态、经济与景观功能。与人工林相比,天然林具有较高的生物多样性、较复杂的群落结构、较丰富的生境特征和较高的生态系统稳定性^[1]。我国现有的大部分天然林都是经历多次强度采伐利用后形成的次生林,其生长慢,仅依靠单纯的天然恢复需要耗费数十年、数百年、甚至上千年的时间,并且恢复效果难以预料。为缩短演替与恢复进程,提高森林质量,有必要施加人为措施加以促进;而促进的有效途径则需依托经营模式进行有序经营。众所周知,所谓森林经营模式就是为实现既定目标而对具体森林类型采取的一系列有序的经营措施。它包含3个涵义,其一是针对特定气候条件下最为广泛存在的典型森林类型;其二有明确的经营目标,一切措施都是围绕经营目标而展开,而经营目标的确定既要符合生物学规律(树种立地潜能)又要满足经济社会的需要;其三经营措施必须是经过筛选的、按照一定顺序采取的且对经营目标非常有效的技术。

研制森林经营模式属于森林经营研究的核心内容。世界各地已建立了许多人工林优化栽培模式^[2-4],开展了许多富有成效的、与森林经营模式有关的天然林经营技术研究。如国际上的恒续林经营^[5-6]、目标树经营^[7]、检查法择伐经营^[8-9];国内长白山阔叶红松林的“栽针保阔”动态经营体系^[10];秦岭西段小陇山“次生林综合培育”技术体系^[11-13];林隙动态与天然林生物多样性保育^[14-16];由共性技术原则和个性技术指标构成的“东北天然林生态采伐技术体系框架”^[17-18];基于空间技术和多源生态数据融合的森林生态系统经营管理系统^[19];结构化森林经营理论与技术^[20-21];退化天然林恢复中的保留木经营调控技术^[22]等等,而这些经营技术既互相包容又有区别。如何将现有的、已被实践检验而富有成效的经营方法与技术按特定区域、特定的森林类型进行组装配套,形成森林经营模式,是目前天然林经营研究中亟待解决的科技问题。到目前为止,直接针对西北主要森林类型的经营模式尚未形成。本研究试图根据国内外研究成果进行

我国西北天然林经营模式设计。

1 天然林经营模式设计的理论基础与技术依据

1.1 理论基础

经营森林的最高目标是培育健康、稳定、优质、高效的森林。健康意味着结构完整,没有受到生物与非生物因素的严重侵害,整个生态系统功能正常。森林的健康既包括个体(如林木)也包含群体(如林分)的健康。稳定指生态系统能有效抵御各种干扰,或受干扰后仍能自然恢复,即具有承受干扰的能力。优质即森林生态系统的结构合理、林木生长及质量良好,能达到培育目标要求。高效指的是少量投资可使森林的生长、生态、经济与景观功能发挥优良。优质高效指的是投入少量的成本就能经营出林木个体品质优、林分群体结构功效高的森林,即,由优良品质林木个体组成的结构功效高的森林群体能以最少的经营成本获取最高的效益。具体来说,健康、稳定、优质、高效的森林生态系统通常具有以下几个方面的特征:在结构方面,组成复杂,群落结构、林分非空间结构与空间结构等合理,生物多样性和空间异质性高,生物系统联结良好和生态系统功能性过程效率高,利用环境资源的能力强。在能量转换和物质循环方面,保持着良好性能与平衡;在稳定性方面,对外界的干扰抵抗力强,具有高效的自我维护与恢复能力。要达到上述目标,森林经营需要按照生态系统管理的要求首先进行模式设计,并在设计中重点突出结构优化、生物多样性保护、树立尊重自然和可持续经营的理念。

1.2 技术依据

目前为止,已有大量的试验研究成果值得借鉴。譬如,我国于政中等^[23]从1987首次在吉林汪清林业局金沟岭林场进行了检查法试验,研究结果表明,只要择伐强度不超过20%,最好在15%左右,完全可以越采越多,越采越好,青山常在,永续利用。传统的针对木材生产的天然乔林大强度择伐利用模式的有效性差,主要原因在于,择伐利用强度(30%~40%)大,大量中大径木被采伐,降低了林分生长量,加之2次

大强度的择伐间隔期相对较短(通常10~15 a),对于生长恢复较慢的树种如锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)林分来说,间隔期再长些更为合理,应以20~25 a为宜^[13]。天然林皆伐后自然恢复模式的有效性更差。强度皆伐不仅对林分整体功能造成极大的损害,而且对林地的破坏程度也较大;采伐中残留的小径级个体形成了林隙较多的幼龄林,需要更长的恢复时间。可见,大强度择伐利用和皆伐利用方式均不是可持续的森林经营方式。

德国的近自然森林经营和我国的结构化森林经营均属高度集约的森林可持续经营技术。二者的经营目标不尽相同,而最大的不同点在于技术途径不同。近自然森林经营在实践中多采用目标树经营,而结构化森林经营更强调林分整体的结构优化。近自然森林经营强调人工营造和经营森林必须遵循与立地相适应的自然选择下的森林结构,才能保证森林的健康与安全,森林才能得到可持续经营,其综合效益才能得到持续最大化的发挥^[20]。因此,不论是哪种类型的森林,包括天然次生林、人工林,其经营必须要遵照生态学的原理来恢复和管理。近自然经营不排斥木材生产,与传统森林经营理论相比,它认为只有实现最合理的接近自然状态的森林才能实现经济利益的最大化。接近自然的森林模式培育森林,要针对森林具体状态加以科学合理地调控,以目标树培育为中心,对目标树周围的干扰木和非目标树进行调整。结构化森林经营,量化和发展了德国近自然森林经营,以培育健康森林为目标,以系统结构决定功能系统法则为理论之基,以健康森林结构(天然林顶极群落)的普遍规律为范式,依托可释性强的结构单元,既注重个体活力,更强调林分群体健康。主要技术特征是:用林分自然度划分森林经营类型;用林分经营迫切性指数确定森林经营方向;用空间结构参数调整所有顶极树种和主要伴生树种的中大径木的结构;用状态评价衡量经营效果。在吉林蛟河、甘肃小陇山、贵州黎平等天然林区运用结构化森林经营技术对不同类型的林分进行了富有成效的结构调整^[21]。结构化森林经营能够明显改善森林的健康状况,提高林分中顶极树种的竞争优势,维持森林的多样性,优化森林结构,提高森林质量和生产力,与对照相比,经结构化森林经营方法抚育后的林分每公顷年生长量增加1.0~1.4 m³·hm⁻²·a⁻¹,年生长率提高30%~58%。通过对甘肃小陇山林区现有3个主要森林经营模式(次生林综合培育模式、近自然森林经营模式和结构化森

林经营模式)进行的有效性评价发现,结构化森林经营模式的有效性大于近自然经营模式,更大于次生林综合培育模式^[13]。值得一提的是,在生产可行性方面,结构化森林经营模式与近自然经营模式相差无几,而在技术先进性方面,结构化森林经营模式远远超过近自然经营模式。模式的评价方法是以原始群落或地带性顶极群落为参考系,从反映技术先进性的空间利用程度、物种多样性、建群种竞争态势和树种组成以及体现生产可行性的投入与产出等方面进行森林经营模式的有效性评价。技术先进性被定义为在给定的经营模式下,每投入一个工就能使所经营林分更加接近地带性顶极群落;生产可行性被定义为在给定的经营模式下,每投入一个工就能提高所经营林分在经营时段内的木材生产能力。经营模式的有效性体现的是技术上先进性和生产上可行性的统一,用二者的和表达,其数值越大,说明经营模式越有效^[24-25]。

林冠下更新、栽针保阔是复层异龄混交林营建的有效途径。在东北的次生林经营实践中,纠正了“砍掉杨桦,大造红松”的次生林改造方法,逐渐形成了完整的“栽针保阔”的动态经营体系^[10,26]。对东北东部山地次生林栽植以红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)为主的针叶树,保留天然更新的阔叶树,尤其是珍贵的阔叶树,把人工更新和天然更新密切结合起来,以符合地带性顶极群落——阔叶红松林的发生、发展规律,林冠下栽植耐阴的针叶树种,在庇荫条件下生长发育没问题。只要遵循其随年龄增加,需光量也逐渐增加的生物学特点,及时地再次疏开上层林冠,就能使红松等针叶幼苗、幼树生长成林。

2 西北主要天然林经营模式设计

我国西北地区森林类型众多,各种针叶林、针阔混交林、落叶阔叶林在西北广为分布,树种最丰富的为松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)和栎属(*Quercus*)。针叶林主要树种有云杉、油松、华山松,落叶阔叶林主要有栎属、水青冈属、桦木属、鹅耳枥属、椴木属、杨属等,针叶与阔叶树种常组成混交林。针对以上西北天然林主要类型,按森林经营规划,在需要进行经营的森林地段进行经营模式设计。本研究的总体设计思想是:针对西北天然林典型类型的现状,有机结合林分经营与单木经营,期望通过百年左右的经营将西北地区典型天然林保育成优质、高效、健康、稳定的森林生态系统。林分经营是针对林分或部分群体的事件,通过人为干预的措施来快速调整林分

树种组成或成层性。单木经营是针对林分中的目标个体(目的树)的经营策略,通过缓和的方式逐步提高林分质量,改善林分中目的树微环境来确保系统核心要素的生态位,发挥其在系统中的主导作用。近自然森林经营和结构化森林经营都遵循“尽量减少对森林干扰”的近自然化原则,所以,在经营模式设计中始终贯彻轻度干扰方式,使蓄积抚育强度保持在20%以内,经营周期尽量设定在20年以上。据此总体思想进行经营模式设计。

2.1 天然针叶林(松林、云杉林)经营模式

在西北地区现有大量的油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华山松(*P. arman* Franch.)和云杉(*Picea asperata* Mast)天然林(图1),这类天然针叶林针叶树种占绝对优势,树种隔离程度较低,属于弱度混交。主要树种的大小分化差异明显,种群分布格局为随机分布;林下更新状况不良,枯枝落叶厚,林分密度大,拥挤程度较高。针对这种林分状况,首先需要根据现有林中、大径木的多少确定经营类别,以林木直径(D)26 cm为界^[27],分为 $D \geq 26$ cm的林木株数占林分30%以上和 $D < 26$ cm的林木株数占林分70%以上两种。对于 $D \geq 26$ cm的林木又视目标直径45 cm的株数比例情况分为两类, $D \geq 45$ cm的林木株数占林分10%以上和 $D < 45$ cm的林木株数占林分20%以上。对于 $D \geq 45$ cm的林木株数占林分10%以上的林分,可直接进行幼树开敞度和地力维护,然后经历20~25 a的生长即可进入结构化森林经营的单木微环境调节阶段;若 $D < 45$ cm的林木株数占林分20%以上时,这时森林经营的主要任务是进行大树均匀性调整并进行幼树开敞度和地力维护,因为许多研究发现,林分中的大树具有均匀分布的特性^[28-30]。因此,伐除现实林分中聚集在一起的大树,以人工创造林隙,促进形成更新的光照条件,同时激活土壤中的种子库,并在已形成的林隙中清除地被物。因为,除光照、温度和水分等气象环境因子外,地被物是造成针叶林天然更新的最大障碍^[31-32]。对不同间伐强度5 a后的栓皮栎林的研究发现,间伐10%、20%和30%的样地内实生苗的存活率分别提高了25.5%、235.7%和480.0%^[33]。间伐使林地的光照、温度、土壤水分和养分等环境因子发生变化,促进了各年龄段实生苗的高度、新梢生长量及叶面积指数的增长。利用目标树作业和单株择伐相结合的方式近自然化改造黄龙山油松人工林,研究结果表明,作业后增加了林下天然更新的树

种数量和密度,促进了林下主要树种(油松)和伴生树种[辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koidz.)和茶条槭(*Acer ginnala* Maxim)]的大量发育和生长^[34]。

对于70%的林木 $D < 6$ cm的林分而言,主要是进行拥挤度调整,可进行2次小强度(间距增10%~15%)干涉,间隔期20~25 a。在经历了第2次抚育间伐后,在已形成的林隙中清除地被物。林分经营5年后,可连续进行3年每年2次的更新抚育^[35]。10~15 a后进行一次更新幼树开敞度调整和地力维护(适当割灌、松土、清理地被物、种植豆科植物等),20~25 a后进入单株树经营阶段。利用结构化森林经营理论进行林木分布格局、优势度、密集度以及混交度调节。再经历20~25 a后进行第2次单木经营,20 a后有望进入目标直径利用的复层异龄阶段。

2.2 天然栎类阔叶林经营模式

栎类阔叶林类型多样,从而出现了多种经营方法,如矮林作业和中林作业以及乔林作业,这些方法几乎都是针对提高栎类林分的生产率和林分质量而进行的经营实践,在我国历史上大都采用皆伐或大强度择伐利用,多萌芽更新,经营方式粗放。目前遗留下来的栎类阔叶混交林多为大强度采伐破坏后自然恢复的林分,群落树种组成丰富,树种多样性和隔离程度高,多为强度混交;栎类为主要建群种,但优势不明显;林分密度大,林木拥挤,林内卫生条件差,萌生株多,林木大小分化明显,分布格局多为团状;林层结构复杂,为异龄复层结构;林下腐殖质层较厚,幼苗更新中等,不健康林木比例相对较高。本研究试图在森林经营规划的基础上,从生态系统经营的角度,给出其集约经营模式建议。

针对这种林分状况同样需要根据现有林中大径木的多少确定经营类别(图2),以林木直径(D)26 cm为界,若 $D \geq 26$ cm的林木数量占林分30%以上时,这时森林经营的主要任务是进行大树均匀性调整,要伐除聚集在一起的大树,特别是萌生株,经历20~25 a后再进行1次大树均匀性调整。对于70%的林木 $D < 26$ cm的林分而言,主要是进行拥挤度调整,2次小强度下层抚育间伐,间隔期20~25 a。在最后一次间伐经营后,视林分天然更新情况,对于更新不良的按 $800 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的密度在林下补植其它珍贵阔叶树或松类(华山松或油松)。对于人工补植的幼树要进行3 a每年2次的幼林抚育。10~15 a后,再进行幼树开敞度调整和地力维护,伐除

掉遮盖或挤压幼树的其它阔叶树。20~25 a 后进入单株树经营阶段。利用结构化理论进行林木格局、优势度、密集度以及混交度调节,经历 20~25 a

后再进行第2次单木经营,20 a 后有望进入目标直径利用的栎类阔叶林或针阔混交林阶段。

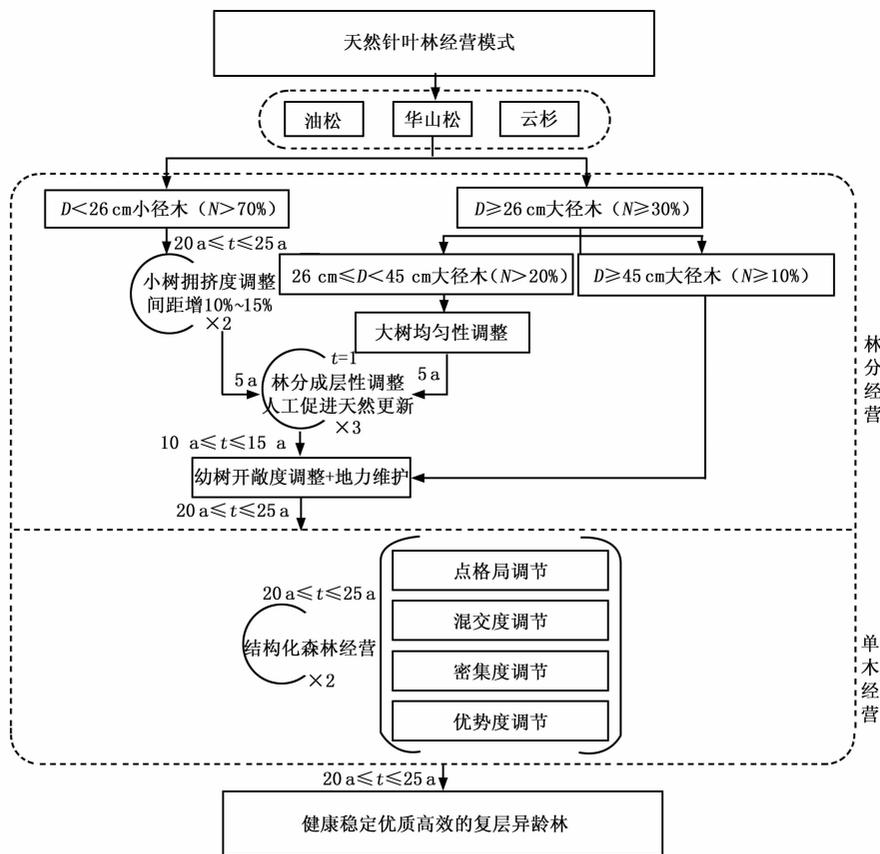


图1 天然针叶林经营模式

2.3 天然松栎(阔)混交林经营模式

松栎混交林为西北地区典型的地带性植被类型,分布范围较广。松栎混交林树种组成以栎类和松类为主,伴生其它地带性植被,林分密度大,树种多样性和隔离程度较高,多为强度混交;林木分布格局多为随机分布或轻微的团状分布,林木大小分化明显,林下腐殖质层较厚,更新中等。松栎混交林依据优势树种所占的比例分为3类:松树占优势、栎类占优势和松栎均衡型(图3)。对于松树株数占优势的林分又可根据现有林中大径木的多少确定经营类别,以林木直径(D)26 cm 为界,分为 $D \geq 26$ cm 的林木株数占林分30%以上和 $D < 26$ cm 的林木株数占林分70%以上两种。对于 $D \geq 26$ cm 的林木又视目标直径45 cm 的株数比例情况再分为两类,即 $D \geq 45$ cm 的林木株数占林分10%以上时,可直接进入促进天然更新和地力维护阶段,再经历10~15 a 后进入结构化森林经营的单木微环境调节阶段;若 $D < 45$ cm 的林木株数占林分20%以上时,这时森林

经营的主要任务是进行大树均匀性调整和促进天然更新和地力维护,经历10~15 a 后即可进行单株经营;对于 $D < 26$ cm 的林木株数占林分70%以上的林分而言,首先进行拥挤度调节,然后依次进行均匀性和目的树微环境调节。对于栎类(阔叶树)株数占优势的林分需要对栎类拥挤度进行调节,以提高林分质量,保持树种多样性,20~25 a 后,进行栎类大树均匀性调整,经历10~15 a 后进行促进更新和地力维护阶段,再经历10~15 a 后即可进入单株经营阶段。对于松栎均衡型可根据现有林中大径木的多少确定经营类别,以林木直径26 cm 为界,分为 $D \geq 26$ cm 的林木株数占林分30%以上和 $D < 26$ cm 的林木株数占林分70%以上两种。对于 $D \geq 26$ cm 的林木又视目标直径45 cm 的株数比例情况再分为两类,即 $D \geq 45$ cm 的林木株数占林分10%以上时,可直接进入促进更新和地力维护阶段,10~15 a 后进入结构化森林经营的单木微环境调节阶段;若 $D < 45$ cm 的林木株数占林分20%以上时,这时森林

经营的主要任务是进行大树均匀性调整和促进天然更新和地力维护,经历 10 ~ 15 a 后即可进行单株经营;对于 $D < 26$ cm 的林木株数占林分 70% 以上的林分而言,这类林分只需进行 2 次林分拥挤度调整,间隔期 20 ~ 25 a,在进行第 2 次拥挤度调整后,经历 10 ~ 15 a 的生长,首先进入促进更新和地力维护阶段,然后经历 10 ~ 15 a 的生长即可进入单株经营阶段,再经 2 次单株经营,间隔期 20 ~ 25 a,20 ~ 25 a 后有望形成优质高效的松栎混交林。

3 结论

以皆伐利用方式为主要特征的周期林经营模式已逐渐被以单株择伐为主要特点的恒续林经营模式所替代,这已成为发展方向。传统的以皆伐方式特征的农耕式人工林优化栽培模式值得商榷,经典的天然林的径级择伐检查法也面临来自生物多样性保护等方面的挑战,由此引发了对传统人工林优化栽培模式中所采用的根据树种生长模型、经营措施以及投入产出等方面的思考。由于天然林的复杂性,目前很难做到像人工林那样的经营模式优化选择。天然林的复杂性表现在由生物习性各异的多个树种组成,树种多样性高,林木个体大小相差悬殊,年龄各异,通常包含多个龄级,树种间的相互作用和

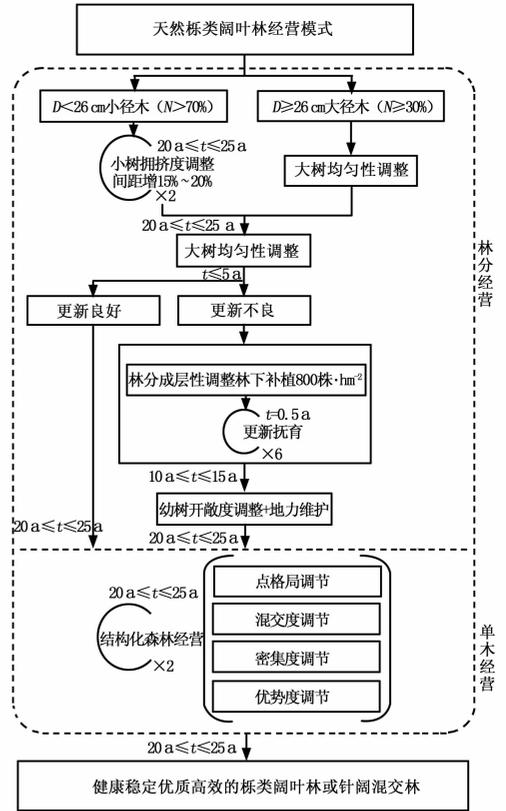


图2 天然栎类阔叶林经营模式

关系非常复杂,成层现象明显。同时,天然林复杂性决定了在构建天然林生长模型时,必须首先解决天

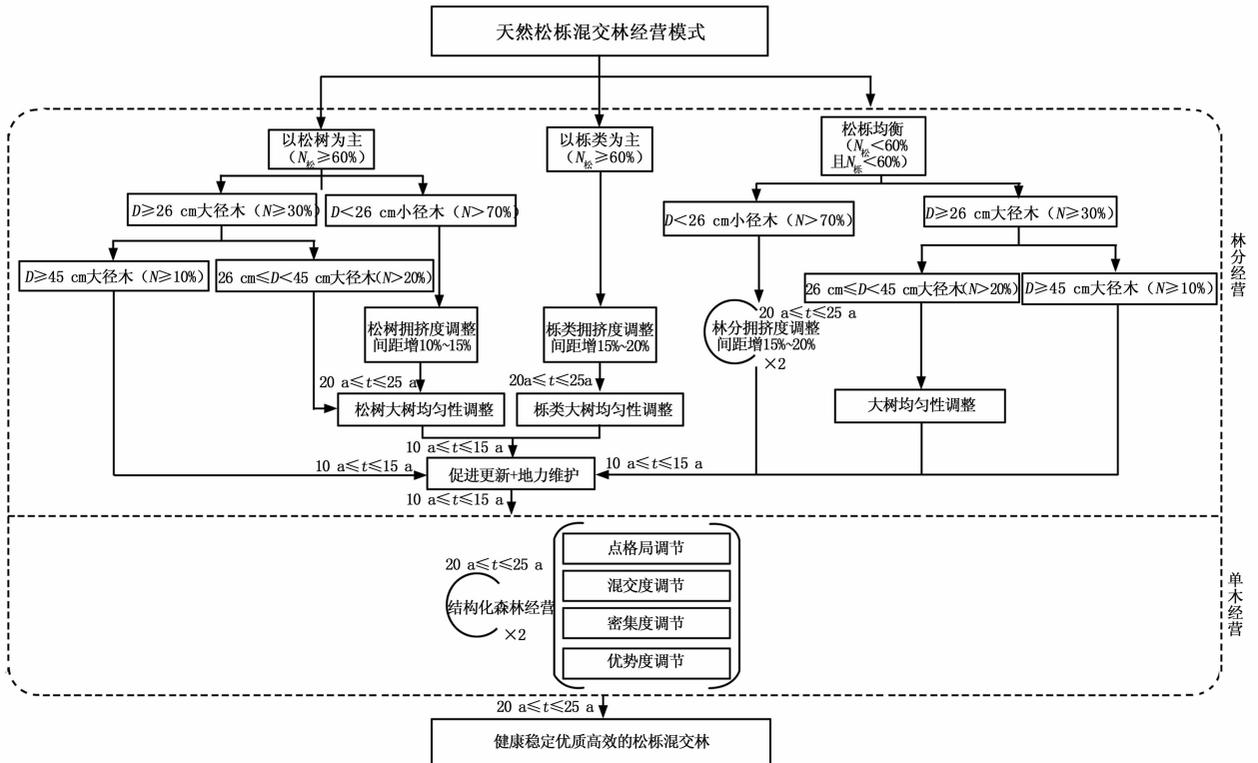


图3 天然松栎混交林经营模式

然林木年龄的非已知性、树种的非同一性以及林木的非同层性等问题。目前,解决天然林成层性问题的有效途径是生产中普遍采用的“栽针保阔”、人工促进天然更新以及幼树开敞度调整方法;解决树木年龄非已知性的明智做法是将林木直径大小作为替代年龄的度量;而结构化森林经营是天然林结构调整的关键技术。本研究将天然林经营的目标设定为保育健康稳定优质高效的森林,通过直接采用单木经营或将林分经营与单木经营有机结合的方法,将现有天然林经营为目标直径单株采伐利用的恒续林。所采用的方法与技术都是基于前人众多的试验结果或研究成果,通过仔细筛选后进行搭配。接近自然森林经营和结构化森林经营“尽量减少对森林干扰”的近自然化原则,将每次干扰强度定义为轻度干扰(蓄积干扰强度小于20%),除幼树开敞度前后期设定的10~15 a外,其它多数经营措施间隔时间设定为20~25 a,以强化天然林保育为主的经营理念。研究对西北地区广泛存在的松林(包括云杉林)、栎类阔叶林和松栎(阔)混交林等3大类主要天然林类型进行了经营模式设计,共设计出20个经营模式,期望在百年左右的经营时段内把现有天然林保育为目标直径单株采伐利用的恒续林。总而言之,这些经营模式为我国西北地区天然林保育提供了可操作的具体方法,也对我国其它地区天然林经营有非常重要的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 刘世荣,马姜明,缪宁. 中国天然林保护、生态恢复与可持续发展的理论与技术[J]. 生态学报,2015,35(1):212-218.
- [2] Kramer H. Waldwachstumslehre[M]. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey, 1988.
- [3] Wenk G, Antanaitis V, Šmelko Š. Waldtragslehre[M]. DeutscherLandwirtschaftsverlag: Berlin GmbH, 1990.
- [4] 盛炜彤,范少辉. 人工林长期生产力保持机制研究的背景、现状和趋势[J]. 林业科学研究,2004,17(1):106-115.
- [5] Gayer K. Der Waldbau[M]. Berlin: VerlagParey,1882.
- [6] Möller A. Der Dauerwaldgedanke; SeinSinn und seine Bedeutung [M]. Berlin:Verlag Julius Springer, 1922.
- [7] Abetz P. ZurStandraumregulierung in Mischbeständen und Auswahl von Zukunftsbäumen[J]. AllgemeineForst-und Jagdzeitung, 1974, 145: 871-873.
- [8] Gurnaoud A. Lasyliculturefrançaise et la méthode du contrôle[M]. Besançon:Jacquin, 1886.
- [9] Biolley H. Barème du tarifconventionnel unique pour l'application du controle au traitement des forêtspar[M]. Georges: Bridel&cie, 1890.
- [10] 陈大珂,周晓峰,视宁,等.天然次生林结构·功能·动态与经营[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.
- [11] 史建民,孟尚贤. 甘肃省李子园林区群众抚育栎类,山杨次生林效果的调查[J]. 林业实用技术,1965,8(9):11-12.
- [12] 李国猷. 天然林保护工程多目标分类经营研究[J]. 世界林业研究,2000,13(6):69-73.
- [13] 袁士云. 甘肃省小陇山现有林分经营模式评价研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.
- [14] 臧润国,刘静艳,董大方,等. 林隙动态与森林生物多样性[M]. 北京:中国林业出版社,1999.
- [15] 臧润国,成克武,李俊清,等. 天然林生物多样性保育与恢复[M]. 北京:中国科学技术出版社,2005.
- [16] 徐化成. 中国红松天然林[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [17] 唐守正. 东北天然林生态采伐更新技术研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,2005.
- [18] 张会儒,唐守正. 东北天然林可持续经营技术研究[M]. 北京:中国林业出版社,2011.
- [19] 代力民,邵国凡. 森林经营决策——理论与实践[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2006.
- [20] 惠刚盈,胡艳波,徐海. 结构化森林经营[M]. 北京:中国林业出版社,2007.
- [21] 惠刚盈. 结构化森林经营技术指南[M]. 北京:中国林业出版社,2010.
- [22] Miao N, Liu S R, Yu H, *et al.* Spatial analysis of remnant tree effects in a secondary *Abies_Betula* forest on the eastern edge of the Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 313: 104-111.
- [23] 于政中,亢新刚,李法胜,等. 检查法第一经理期研究[J]. 林业科学,1996,32(1):24-34.
- [24] 惠刚盈,赵中华,袁士云. 森林经营模式评价方法——以甘肃小陇山林区为例[J]. 林业科学,2012,47(11):114-120.
- [25] 惠刚盈,赵中华,袁士云. 胡艳波森林经营模式评价方法[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [26] 孙洪志,张杰,石丽艳,等. 次生林改造中栽针保阔途径的工艺流程及效果分析[J]. 森林工程,2004,20(1):1-2.
- [27] GBT_26424-2010. 森林资源规划设计调查技术规程[S].
- [28] Moer M. Spatial models of competition and gap dynamics in old-growthTsugaheterophylla/Thujaaplicata forests. Stochastic spatial models in forestry[C]. Proceedings of a IUFRO S, 1993, 4: 171-184.
- [29] Hanus M L, Hann D W, Marshall D D. Reconstructing the spatial pattern of trees from routine stand examination measurements[J]. Forest Science, 1998, 44(1):125-133.
- [30] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.
- [31] 徐振邦,代力民,陈吉泉,等. 长白山红松阔叶混交林森林天然更新条件的研究[J]. 生态学报,2001,21(9):1413-1420.
- [32] 朱教君,刘足根,王贺新. 辽东山区长白落叶松人工林天然更新障碍分析[J]. 应用生态学报,2008,19(4):695-703.
- [33] 冉然,张文辉. 间伐强度对秦岭南坡栓皮栎种子库及实生苗生长的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(6):1494-1500.
- [34] 修勤绪,陆元昌,曹旭平,等. 目标树林分作业对黄土高原油松人工林天然更新的影响[J]. 西南林学院学报,2009,29(2):13-19.
- [35] 韩文娟. 陕西黄龙山林区不同生境油松人工林群落特征及更新研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.

(责任编辑:詹春梅)