

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2019. 02. 025

# 森林经营模式对锐齿栎次生林林分状态的影响<sup>\*</sup>

王秋丽<sup>1</sup>, 张岗岗<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 森林经营模式评价是筛选有效经营技术和森林经营决策的基础, 为了探讨小陇山林区锐齿栎天然阔叶混交林林分状态对不同森林经营模式的响应, 为天然次生林经营提供有益方法, 以小陇山林区地带性顶级群落状态特征为参照, 从空间利用、树种多样性、建群种竞争势、林分组成4个方面采用遗传绝对距离和相对差异率法量化不同经营模式锐齿栎天然混交林与参照林分的状态差异。结果表明, 按结构化森林经营模式进行经营的次生林, 其林分状态与参照林分最为接近, 其次是天然林采育择伐模式和近自然森林经营模式, 平均差异分别为0.141、0.183和0.197。结构化森林经营能使所经营的次生林更加接近自然, 尤其在物种多样性和建群种竞争态势方面与地带性顶级群落状态特征差异最小, 仅为0.047和0.069。

**关键词:** 采育择伐; 结构森林经营; 近自然森林经营; 森林经营模式; 锐齿栎

**中图分类号:** S 757      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-8246 (2019) 02-0151-08

## The Effect of Different Forest Management Models on the State of the *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Secondary Forest

WANG Qiu-li<sup>1</sup>, ZHANG Gang-gang<sup>2</sup>

(1. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P. R. China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, P. R. China)

**Abstract:** The evaluation of forest management model is the basis of selecting effective management technology and making forest management decision. This paper explored the response of the stand state to different forest management models for the *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural broad-leaved mixed forest in Xiaolongshan, so as to provide reference for the forest management decision-making. This study took the state characteristics of zonal climax community in Xiaolongshan Forest Region as a reference forest. The evaluation indices of forest state were selected from the space utilization, tree species diversity, constructive species competition potential, and stand composition. The genetic absolute distance and relative difference rate methods were used to quantify the differences of forest state between different forest management models of the *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural mixed forests and the reference stand. The results showed that the differences of stand state characteristics between structure-based forest management model and reference forest was closest, followed by the close to nature forest management model and selective cutting-tending model, with average differences of 0.141, 0.183 and 0.197, respectively. The structure-based forest management can make the secondary forest to be closer to primary forest, especially in the aspect of species diversity and the competition potential of dominant species, it had the least differences with the zonal climax community status, which is only 0.047 and 0.069.

**Key words:** selective cutting-tending; structure-based forest management; close-to-nature forest management; forest management model; *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018-12-16

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金“陕西主要植被类型的空间分布及其生态效益评价”(CAFYBB2017MB039)。

第一作者简介: 王秋丽(1964-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事林业工作。E-mail: wangqiuli6666@163.com

森林经营是林业发展的永恒主题,加强森林经营,大幅度提高林地生产力,维护森林生态系统稳定健康,已经成为发展现代林业、建设生态文明、推动科学发展的时代要求<sup>[1]</sup>。拥有健康稳定的森林是全面提高森林资源质量、提升森林生态系统稳定性和生态服务功能的基础,明确培育健康稳定优质高效森林的核心目标是维护生态平衡和保障生态安全的重要举措,是推进生态文明和美丽中国建设的内在要求。我国总体上是一个缺林少绿的国家,森林资源相对短缺,森林生长力低下、质量不高。每公顷森林蓄积量不到 90m<sup>3</sup>,只有世界平均水平的 70%,仅占发达国家的 1/4;每公顷森林年均生长量仅为 4.23m<sup>3</sup>,只有发达国家的 50%。直接原因是长期以来森林经营粗放,重采轻育。而科学合理的森林经营措施能够提升森林质量、改善森林结构、加速森林的生长和正向演替,从而满足人类生态需求,促进经济和社会发展。因此,探索和发展适合我国林业现状的森林可持续经营技术体系已成为打破我国森林质量提升瓶颈的重要途径。

森林质量属于森林经理学中的一个概念,用来描述森林资源状态的优劣程度,可以用生态功能和效益、生产力、林木大小、树种组成和林分空间利用程度以及林木健康等测度,也可以借助表达森林结构和活力的指标来度量。林分质量包含的内容和指标非常广泛,目前还没有统一的评价框架体系。陈高等<sup>[2]</sup>通过结构完整性、物质循环和能量流动、生物多样性等指标对阔叶红松林生态系统健康进行了评价;周立江<sup>[3]</sup>从森林生态功能、经济效益和社会服务方面构建 20 个指标,对森林质量进行了综合评价;彭舜磊等<sup>[4]</sup>选取植被、土壤特征 2 个方面的 17 个指标,采用层次分析法对秦岭火地塘林场 7 个森林类型的近自然度进行评价,根据各森林类型的近自然度评价综合指数来判断各森林类型与该区森林天然性的吻合程度,以此来评价森林质量。目前众多研究还聚焦于一个森林经营模式对林分质量的影响研究,如抚育间伐对林分和单株林木生长的影响<sup>[5-10]</sup>,近自然经营之效果分析<sup>[11-19]</sup>;目前也出现了有关结构化森林经营的短期效果研究报告<sup>[20-21]</sup>。同样,只有少数文献如万盼<sup>[20]</sup>和袁士云<sup>[22]</sup>涉及到 3 个以上不同森林经营模式的对比。

目前虽有许多森林经营模式在我国不同地区得到推广应用,如大家熟知的目标树经营<sup>[14]</sup>、检查法择伐经营<sup>[23-26]</sup>、长白山阔叶红松林的“栽针保阔”动态经营体系<sup>[27-28]</sup>和小陇“次生林综合培

育”技术体系<sup>[22]</sup>以及结构化森林经营<sup>[29]</sup>,但鲜有报道在同一林区不同地段上进行国内外主要经营模式的比较试验结果,更缺乏有关不同模式长期监测效果的对比。有鉴于此,本研究对不同森林经营模式下的锐齿栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*) 林分状态特征进行分析,并研究林分状态与顶极群落的差异及其对不同经营模式的响应,为我国天然次生林科学经营提供有益借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 森林经营模式

以小陇山林区地带性顶极群落锐齿栎天然阔叶混交林为参照林分(模式 0),选择现有的采育择伐模式、近自然森林经营模式和结构化森林经营模式进行森林经营模式有效性评价。

(1) 采育择伐模式(模式 1)。采育择伐经营目标是调整和改善林分结构,提高林分生产力。作业时遵循“五砍五不砍”,即:“砍双不砍单、砍老不砍幼、砍病不砍健、砍密不砍稀、砍弯不砍直”。择伐的蓄积强度一般在 30% 左右,采伐木主要选择大径级林木,密度较大时也选择中小径级林木采伐,以调整林分密度<sup>[22,30]</sup>。

(2) 结构化森林经营模式(模式 2)。结构化森林经营是一种依据原生性天然林林木分布的普遍规律来调整现有林的树种配置与林木大小分布的方法,是一种针对林分空间结构优化的单木经营理论与技术体系。该方法保留林分中的珍贵树种、稀有种和濒危树种。针对顶极树种华山松 (*Pinus armandii*) 和油松 (*Pinus tabulaeformis*) 的所有个体、锐齿栎中大径木及珍贵濒危树种所有个体进行竞争调节。优先采伐干形不良、病虫害危害、树干(根颈)腐朽、丛生的林木,以保持林分健康;优先伐除对保留木不利的竞争树,至少使保留木两侧不受到遮盖或挤压;优先采伐分布在保留木一侧且与保留木树种相同的林木,以减少聚集性,增加混交;优先伐除达到目标直径的栎类林木个体 ( $D \geq 45\text{cm}$ ),以增加林分的木材生产,并为天然更新创造条件;采伐蓄积强度不允许超过 20%<sup>[22,30]</sup>。

(3) 近自然森林经营模式(模式 3)。近自然森林经营的本质就是模仿天然林顶极群落的自然结构进行现有林的结构调整,即按森林的自然发生、发展规律来开展森林的抚育经营。通过合理的经营,使结构不合理的森林逐步转化为由乡土树种组

成、多树种混交、复层异龄结构、接近自然状态的森林。放弃以数量成熟为基础的同龄林经营体系，而从整个森林生命周期的尺度上经营和管理森林，通过目标树单株经营，将林分中的所有林木进行分级，标记目标树、干扰树、特殊目标树和一般林木；伐除影响目标树和特殊目标树生长的干扰树（树冠挤压、遮盖目标树的林木），在特殊目标树与目标树发生冲突时，优先保留特殊目标树。使同一片森林保持近自然状态，拥有从天然更新幼树到巨大的顶级群落优势林木的异龄复层林，从而提高森林结构的复杂性，丰富森林的生物多样性，同时保证优质木材的收获进入良性循环<sup>[22,30]</sup>。

## 1.2 研究区与样地概况

小陇山林区（104°22′-106°43′E，33°30′-34°49′N）位于甘肃省东南部，地处秦岭山脉西端，属暖温带向北亚热带气候过渡区，兼有我国南北气候特点，大多数区域属暖温湿润—中温半湿润大陆性季风气候类型，海拔多在1 000-2 000m之间，年平均气温7-12℃，年平均降水量600-900mm，年日

照时数1 520-2 313h，森林土壤以山地棕色土和山地褐土为主，土层厚度30-60cm，pH值5-7.5。该区域也是华北、华中、喜马拉雅和蒙新4大自然植被区系的交汇区，植物区系成分复杂多样。其中，海拔2 200m以下主要是以锐齿栎和辽东栎（*Quercus wutaishanica*）为主的天然林，伴生有华山松、油松、山杨（*Populus davidiana*）、漆（*Toxicodendron vernicifluum*）等乔木树种和美丽胡枝子（*Lespedeza formosa*）、胡颓子（*Elaeagnus pungens*）、卫矛（*Euonymus alatus*）等灌木树种。

小陇山林区曾于不同时期开展了采育择伐、近自然森林经营和结构化森林经营<sup>[31]</sup>，样地初建时利用全站仪进行每木定位，采用大样地法与点抽样法<sup>[29]</sup>进行每木检尺和调查，2017年8-11月样地复测时详细记录了林木胸径、树高、冠幅、枝下高等。在样地四角和中心设置5个10m×10m的样方更新和灌草调查，记录更新树种、更新株数、更新方式等和灌草种类、高度、数量、高度、盖度等。各样地概况见表1。

表1 样地概况

Tab. 1 Survey of sample plots

模式代码	样地	坡度/°	坡向	海拔/m	郁闭度	平均树高/m	平均胸径/cm	密度/株·hm <sup>-2</sup>	断面积/m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup>	蓄积/m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>
模式0	百花林场王安沟	37	西南	1 880	0.9	13.1	16.9	1 178	26.50	183.46
模式1	李子林场西沟	38	西南	1 640	0.8	10.4	18.0	1 911	48.51	359.50
模式2	百花林场小阳山	12	东	1 720	0.7	13.0	19.2	800	23.18	191.10
模式3	百花林场百合崖	36	北	1 760	0.7	11.8	18.5	856	22.94	141.56

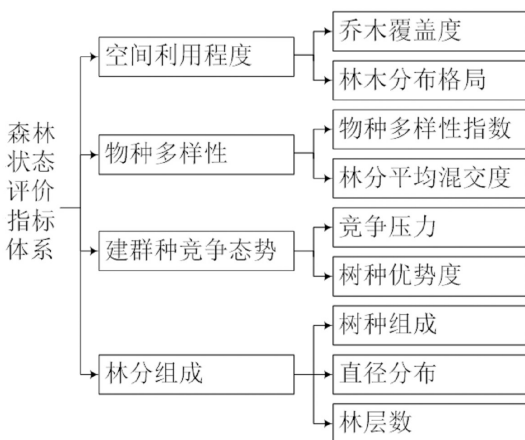


图1 森林状态评价指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of forest state

## 1.3 林分状态评价指标体系

根据全面性、科学性和可操作性指标筛选原则<sup>[31]</sup>，从空间利用程度、物种多样性、建群种竞争态势、林分组成4个方面进行度量（图1）。各指标具体计算方法和生物学意义详见参考文献<sup>[30,32]</sup>。

以地带性顶级群落锐齿栎天然阔叶混交林（模式0）为参照林分，依据林分的状态特征分析结果，运用遗传绝对距离和相对差异率方法比较经营林分与参照林分相应指标的差异程度<sup>[30,32]</sup>，计算公式为， $D = (\sum_{j=1}^m | \frac{B_j - A_j}{B_j} | + \sum_{j=1}^n d_{xyj}) / (m+n)$ ；

$d_{xy} = \frac{1}{2} \sum_i^k | x_i - x_i |$ 。式中， $D$ 为经营林分与地带性顶极群落组成与结构的差异； $B_j$ 为参照林分的第 $j$ 个特征； $A_j$ 为现有林的第 $j$ 个特征； $m$ 为指标为特

征值的数目;  $n$  为指标为分布类型的数目;  $d_{xy}$  为遗传绝对距离;  $x_i$  为群落  $X$  中遗传类型  $i$  的相对频率;  $y_i$  为群落  $Y$  中遗传类型  $i$  的相对频率;  $k$  为遗传类型的数量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同模式下林分状态特征

#### 2.1.1 天然混交林(模式0)的林分特征

锐齿栎天然阔叶混交林(模式0)作为地带性顶级群落(表2),  $q$  值为 1.2, 处于典型异龄林直径结构的  $q$  值范围 [1.2, 1.7], 直径分布合理; 角尺度均值为 0.507, 落在 [0.475, 0.517] 的范围之内, 说明林分整体水平分布格局为随机分布。

由林分混交度 0.629 可知, 林分总体上处于强度混交状态, 表征林木分化程度的林分大小比数为 0.505, 建群种锐齿栎大小比数为 0.386, 说明林木个体在竞争中形成了大小分化, 建群种处于优势地位。此外, 建群种锐齿栎显著度为 0.426, 优势度为 0.511, 无论是株数比例还是断面积比例, 均在林分占据绝对优势; 林分的平均林层数达到 2.682 层, 乔木层垂直结构分化明显, 群落中大多数林木个体处于 2 层或 3 层的复层结构单元中, 在垂直方向上占据不同的生态位, 合理利用不同层次的光、热、水、气等资源, 郁闭度在自然状态下维持在 0.9, 林分同时在水平方向上较好地利用了上层空间的同时, 为林下层提供了一定的空间。

表2 不同林分状态特征  
Tab.2 Characteristics of different forest states

特征	指标	模式0	模式1	模式2	模式3
径阶结构	直径结构( $q$ )	1.2	1.2	1.2	1.2
	角尺度	0.507	0.491	0.497	0.362
林分特征	大小比数	0.505	0.458	0.492	0.526
	混交度	0.629	0.599	0.645	0.570
建群种特征	大小比数	0.386	0.199	0.191	0.290
	显著度	0.426	0.663	0.447	0.719
	优势度	0.511	0.729	0.601	0.715
垂直结构	林层数	2.682	2.510	2.546	1.735
	郁闭度	0.90	0.81	0.70	0.70
乔木层多样性	物种数 $S$	40	26	34	20
	Shannon-Wiener	2.844	2.344	2.648	2.204
	Simpson	0.885	0.830	0.896	0.812
	Pielou	6.447	7.637	9.337	6.602
	Margalef	2.844	4.737	5.526	3.600
灌木层多样性	物种数 $S$	55	17	50	29
	Shannon-Wiener	3.259	0.803	3.064	1.581
	Simpson	0.938	0.994	0.924	0.551
	Pielou	0.813	0.283	0.783	0.470
	Margalef	8.051	3.224	7.503	4.975
草本层多样性	物种数 $S$	51	18	27	15
	Shannon-Wiener	3.531	0.989	2.512	2.402
	Simpson	0.962	0.984	0.923	0.889
	Pielou	0.898	0.342	0.614	0.887
	Margalef	8.187	3.191	4.846	3.160
天然更新	更新总量	9 300	10 469	7 560	9 500
	$H \leq 30\text{cm}$	3 980	4 519	2 780	2 000
	$30\text{cm} < H \leq 50\text{cm}$	880	2 375	860	3 000
	$H > 50\text{cm}$	4 440	3 575	3 920	4 500

乔灌草物种组成丰富，物种数分别为40种、55种、51种，多样性普遍较高，说明在长期的竞争和演替过程中各树种共存共荣，互利共生，维持了较高的物种多样性；该林分更新林木达到9300株/hm<sup>2</sup>，其中苗高>50cm株数的幼苗株数占总更新数量的47.7%，说明林分整体更新良好；林分中枯立木有35株，腐朽木162株，多为桦木类树种。这些状态特征是锐齿栎天然林在各种自然干扰与气候环境作用下适应选择的结果，符合原始林组成和结构特征，因此，完全可以将该林分作为小陇山林区地带性顶级群落，也可作为比较不同森林经营模式的基准参考林分。

### 2.1.2 采育择伐模式（模式1）

模式1直径分布为倒J型，其q值也为1.2，符合典型异龄混交林结构特征。水平分布格局为随机分布，整体处于中庸向亚优势过渡状态，混交度为0.599，较为良好，建群种竞争势较强，达到0.199。显著度和优势度也较高，分别为0.663和0.729，林层数为2.51，林分整体属复层林，乔灌草层多样性较高，更新总量达到10469株/hm<sup>2</sup>，其中H≤30cm和H>50cm的更新幼苗幼树较多，分别达到4519株/hm<sup>2</sup>和3575株/hm<sup>2</sup>。该林分与地带性顶级群落的主要差异在于物种数较少且林分平均混交度相对较低，乔木层多样性相对较低，灌草层仅Shannon-Wiener低于模式林分，其他指标均高于参照林分。

### 2.1.3 结构化森林经营模式（模式2）

模式2林分直径分布特点与典型异龄混交林结构特征相似，即直径分布整体倒J型，其q值为1.2，落在[1.2, 1.7]之间。林分水平分布格局

为随机分布，树种空间隔离程度较高，为0.645，建群种显著度和优势度相对较低，但优势较为明显，达到0.191。该林分垂直分层明显，郁闭度达到0.7。乔灌草多样性取值较大，更新幼苗幼树总量达到7560株/hm<sup>2</sup>。该林分与参照林分林分状态特征差异主要体现在建群种竞争势较为明显，显著度和优势度也较高，乔木层Shannon-wiener和Simpson多样性较高外，其它指数均小于对照，灌草层多样性也较低，天然更新中H≤30cm和30cm<H≤50cm的幼苗幼树数量明显不如对照。

### 2.1.4 近自然森林经营模式（模式3）

模式3林分直径分布为倒J型。该林分水平分布格局为均匀分布，大小比数为0.526，处于中庸向劣势过渡的状态，混交度仅为0.570，建群种显著度和优势相对较高，但建群种大小比数为0.290。该林分垂直分层较差，仅为1.735，乔木层、灌木层、草本层多样性指数较低，更新幼苗幼树总量为9500株/hm<sup>2</sup>。不同高度等级的更新数量分别为2000株/hm<sup>2</sup>、3000株/hm<sup>2</sup>和4500株/hm<sup>2</sup>。该林分与参照林分的主要区别在于该林分水平分布格局为均匀分布，而参照林分为随机分布，树种数仅为20种，混交度相对较低，垂直方向上林层数较少，除乔木层Pielou指数和Margalef指数高于地带性顶级群落外，其余多样性指数均低于对照林分。

## 2.2 林分状态特征差异

运用相对差异率和遗传绝对距离公式对小陇山林区3个典型经营模式的林分状态特征与参照林分的状态特征进行比较，得到林分状态特征差异（表3）。

表3 不同经营模式与参照林分状态差异

Tab.3 Differences of forest states between management models and reference stand

经营模式	空间利用程度	物种多样性	建群种竞争态势	林分组成	平均差异	排序
模式1	0.127	0.112	0.183	0.310	0.183	2
模式2	0.121	0.047	0.069	0.328	0.141	1
模式3	0.254	0.159	0.147	0.227	0.197	3

由表3可知，天然林采育择伐模式物种多样性方面差异最小，仅为0.112，其次是空间利用程度，差异最大的是林分组成，达到0.310，平均差异为0.183。天然林结构化经营模式（模式2），在物种多样性和建群种竞争态势方面差异较小，分别为0.047、0.069，而在林分组成方面差异最大，

达到0.328，林分平均差异为0.141。锐齿栎天然林近自然森林经营模式（模式3）则在林分组成和空间利用程度方面不占优势，林分平均差异为0.197。由此可见，在空间利用程度、物种多样性和建群种竞争态势方面结构化森林经营模式模式与参照林分差异最小，仅为0.121、0.047和0.069。

林分组成方面近自然森林经营模式与参照林分差异最小。综合各方面差异来看,锐齿栎天然林结构化森林经营模式与地带性顶级群落林分状态特征差异最小,其次是天然林采育择伐模式,再者是锐齿栎天然林近自然森林经营模式。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

通过对比分析小陇山林区地带性顶级群落锐齿栎天然阔叶混交林与不同经营模式林分林分状态特征差异程度的研究结果可知,小陇山林区结构化森林经营模式(模式2)下的林分状态特征与参照林分最为接近,其次是天然林采育择伐模式(模式1)和近自然森林经营模式(模式3),平均差异分别为0.141、0.183和0.197。结构化森林经营能使所经营的次生林更加接近自然,尤其在物种多样性和建群种竞争态势方面与地带性顶级群落状态特征差异最小,仅为0.047和0.069。

#### 3.2 讨论

地带性顶级群落或原始林是在各种自然干扰下长期发展、逐渐演替形成的最适合当地环境的植物群落,生物与生物之间、生物与环境之间共存共荣、高度协调发展,提供了各种森林功能和服务<sup>[30,33-35]</sup>。因此,可以将未经人为干扰或经过轻微干扰已得到恢复的天然林结构特征或原始林、顶级群落的共同特征作为同地段现有森林的经营方向<sup>[30]</sup>。原始林或顶级群落均以地带性植被的种类为主,具有水平上的随机性、垂直结构上的成层性和时间上的世代交替性。与原始林或顶级群落相比,不同方式、不同程度的人为干扰则是经营林分状态特征产生不同的响应,表现出与不同经营技术相适应的状态特征<sup>[22]</sup>。例如,不同林分垂直分层明显、混交良好、倒J型分布、更新优良、多样性较高、建群种优势明显,基本符合原始林或地带性顶级群落特征<sup>[30,33-34]</sup>。锐齿栎天然林择伐抚育模式和结构化森林经营模式下林木呈随机分布,符合演替顶级阶段群落水平分布格局特征,即发育成熟的顶级森林群落中,优势树种的总体呈随机分布格局,各优势树种也呈随机分布格局镶嵌于总体的随机格局中<sup>[36]</sup>。锐齿栎天然林近自然森林经营模式由早期的聚集分布<sup>[22,30]</sup>趋于均匀分布,符合天然林演替过程中林木分布格局呈聚集强度下降的趋势<sup>[37-41]</sup>,该林分经营前自然恢复的时间较长,干

扰木的采伐有助于降低林分的聚集程度<sup>[30]</sup>。森林经营技术和工艺不同往往对林分的结构和功能产生不同程度的影响,不同学者从林冠层特性<sup>[42-43]</sup>、生长量<sup>[17,44]</sup>、碳储量<sup>[45-47]</sup>、群落生态特征<sup>[48-49]</sup>、更新<sup>[50]</sup>、多样性<sup>[51-53]</sup>等角度进行了广泛深入的研究。然而这些研究多采用功能性指标针对单项经营措施开展<sup>[22]</sup>,而完全忽视了体现技术先进性的重要方面即森林结构状态分析<sup>[32]</sup>。因此,惠刚盈等<sup>[32]</sup>以原始群落或地带性顶级群落为模板,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提出森林经营模式有效性评价方法。袁士云<sup>[22]</sup>则认为森林经营模式有效性中林分状态特征应当从物种多样性、林分空间结构、林分组成与径级结构及林分活力等方面体现。因此,判断林分状态特征是否趋近于经营目标或顶级群落特征是评价森林经营模式成败的有效途径。林冠层特性<sup>[42-43]</sup>、生长量<sup>[17,44]</sup>、碳储量<sup>[45-47]</sup>对森林经营技术的响应具有滞后性,而林分状态则具有较高的时效性、敏感性和可操作性,应用其评价森林经营决策的科学性和经营措施的合理性是正确的选择。当然,林分状态结合林分多样性、生长量、更新等方面综合评价森林经营模式将更加客观全面。

#### 参考文献:

- [1] 惠刚盈, Klaus von Gadow, 赵中华, 等. 结构化森林经营原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [2] 陈高, 代力民, 姬兰柱, 等. 森林生态系统健康评估模式、计算方法和指标体系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1743-1749.
- [3] 周立江. 森林健康内涵及评价指标探讨[J]. 四川林业科技, 2008, 29(1): 27-30.
- [4] 彭舜磊, 王得祥. 秦岭主要森林类型近自然度评价[J]. 林业科学, 2011, 47(1): 135-142.
- [5] Vitt L J, Tcs A P, Caldwell J P, et al. The impact of individual tree harvesting on thermal environments of lizards in Amazonian rain forest[J]. Conservation Biology, 2010, 12(3): 654-664.
- [6] 杜纪山, 唐守正. 抚育间伐对林分生长的效应及其模型研究[J]. 北京林业大学学报, 1996, 15(1): 79-83.
- [7] 雷相东, 陆元昌, 张会儒, 等. 抚育间伐对落叶松云杉冷杉混交林的影响[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 78-85.
- [8] 王祖华, 李瑞霞, 关庆伟. 间伐对杉木不同根序细根形态、生物量和氮含量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1487-1493.

- [9]高云昌,张文辉,何景峰,等. 黄龙山油松人工林间伐效果的综合评价[J]. 应用生态学报,2013,24(5):1313-1319.
- [10]张悦,易雪梅,王远遐,等. 采伐对红松种群结构与动态的影响[J]. 生态学报,2015,35(1):38-45.
- [11]Nabuurs G J, Paivinen R, Schelhaas M J, et al. Nature-oriented forest management in Europe: modeling the long-term effects[J]. Journal of Forestry, 2001, 99(7):28-33.
- [12]Jean-Philippe Schütz, Saniga M, Diaci J, et al. Comparing close-to-naturesilviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe [J]. Annals of Forest Science, 2016, 73(4):1-11.
- [13]宁金魁,陆元昌,赵浩彦,等. 北京西山地区油松人工林近自然化改造效果评价[J]. 东北林业大学学报,2009,37(7):42-44.
- [14]Abetz P, Klädtke J. The Target Tree Management System [J]. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 2002, 121(2):73-82.
- [15]姜鹏,孟京辉,陆元昌,等. 马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局[J]. 西北林学院学报,2014,29(5):147-150.
- [16]王懿祥,张守攻,陆元昌,等. 干扰树间伐对马尾松人工林目标树生长的初期效应[J]. 林业科学,2014,50(10):67-73.
- [17]李婷婷,陆元昌,姜俊,等. 马尾松人工林森林经营模式评价[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):164-171.
- [18]张晓红,张会儒,卢军,等. 美国目标树经营体系及其经营效果研究进展[J]. 世界林业研究,2016,29(2):91-96.
- [19]陈科屹. 云冷杉过伐林经营诊断及目标树抚育效果研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2018.
- [20]万盼. 经营方式对小陇山锐齿栎天然林分质量的影响[D]. 北京:中国林业科学研究院,2018.
- [21]Li Y F, Ye S M, Hui G Y, et al. Spatial structure of timber harvested according to structure-based forest management [J]. Forest Ecology & Management, 2014, 322(3):106-116.
- [22]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.
- [23]Pile L S, Wang G G, Waldrop T A, et al. Managing an established tree invader: developing control methods for *Chinese Tallow* (*Triadica sebifera*) in maritime forests [J]. Journal of Forestry, 2017, 115(6):522-529.
- [24]Clarke S R, Billings R F. Analysis of the southern pine beetle suppression program on the National Forests in Texas in the 1990s [J]. Southern Journal of Applied Forestry, 2003, 27(2):122-129.
- [25]李法胜,于政中. 检查法林分生长预测及择伐模拟研究[J]. 林业科学,1994,30(6):531-539.
- [26]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.
- [27]李进祥,姜冠一,付鹏. “栽针保阔”与红松人工更新[J]. 林业勘查设计,1996,10(1):24.
- [28]屈红军. 东北林区阔叶红松林恢复途径与优化模式研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2008.
- [29]惠刚盈,胡艳波,徐海,等. 结构化森林经营[M]. 北京:中国林业出版社,2007.
- [30]惠刚盈,赵中华,袁士云,等. 森林经营模式评价方法[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [31]惠刚盈,张弓乔,赵中华,等. 天然混交林最优林分状态的 $\pi$ 值法则[J]. 林业科学,2016,52(5):1-8.
- [32]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,2011,47(11):114-120.
- [33]Hui G Y, Pommerening A. Analysing tree species and size diversity patterns in multi-species uneven-aged forests of Northern China [J]. Forest Ecology & Management, 2014, 316(2):125-138.
- [34]Pretzsch H, Forrester D I, Bauhus J. Mixed-Species Forests: Ecology and Management [M]. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.
- [35]陈俊,艾训儒,姚兰,等. 木林子次生林中典型群落的结构及多样性研究[J]. 西南林业大学学报,2017,37(6):75-82.
- [36]张家诚,陈力,郭泉水,等. 演替顶极阶段森林群落优势树种分布的变动趋势研究[J]. 植物生态学报,1999,23(3):256-268.
- [37]刘贵峰,丁易,臧润国,等. 天山云杉种群分布格局[J]. 应用生态学报,2011,22(1):9-13.
- [38]葛结林,熊高明,邓龙强,等. 湖北神农架山地米心水青冈—多脉青冈混交林的群落动态[J]. 生物多样性,2012,20(6):643-653.
- [39]侯向阳,韩进轩. 长白山红松林主要树种空间格局的模拟分析[J]. 植物生态学报,1997,21(3):242-249.
- [40]李明辉,何风华,刘云,等. 天山云杉种群空间格局与动态[J]. 生态学报,2004,25(5):1000-1006.
- [41]张文辉,卢志军,李景侠,等. 陕西不同林区栓皮栎种群空间分布格局及动态的比较研究[J]. 西北植物学报,2002,22(3):476-483.
- [42]封焕英,张连金,杜满义,等. 侧柏人工林冠层特性对不同森林经营方式的响应[J]. 东北林业大学学报,2017,45(12):12-15.
- [43]Burns B R, Floyd C G, Smale M C, et al. Effects of forest fragment management on vegetation condition and maintenance of canopy composition in a New Zealand pastoral landscape[J]. Austral Ecology, 2011, 36(2):153-166.
- [44]Briceño-Elizondo E, García-Gonzalo J, Peltola H, et al. Sensitivity of growth of Scots pine, Norway spruce and silver birch to climate change and forest management in boreal conditions [J].

Forest Ecology & Management,2006,232(1):152-167.

[45]戎建涛,何友均.不同森林经营模式对丹清河林场天然次生林碳贮量的影响[J].林业科学,2014,50(9):26-35.

[46]Kalies E L,Haubensak K A,Finkral A J. A meta-analysis of management effects on forest carbon storage[J]. Journal of Sustainable Forestry,2016,35(5):311-323.

[47]Lalonde S J,Mach K J,Anderson C M, et al. Forest management in the Sierra Nevada provides limited carbon storage potential;an expert elicitation[J]. Ecosphere,2018,9(7):1-15.

[48]梁星云.不同森林经营模式对东北红松天然次生林群落生态特征的影响机制研究[D]. 南宁:广西大学,2013.

[49]万丽.不同森林经营模式对林分结构与生态特征的影响——以赤峰旺业甸林场为例[D]. 北京:北京林业大学,2015.

[50]Kankaanhuhta V,Saksa T,Smolander H. The effect of

quality management on forest regeneration activities in privately-owned forests in Southern Finland[J]. Silva Fennica,2010,44(44):341-361.

[51]Murray B D,Holland J D,Summerville K S, et al. Functional diversity response to hardwood forest management varies across taxa and spatial scales[J]. Ecological Applications,2017,27(4):1064-1081.

[52]Paffetti D,Travaglini D,Buonamici A, et al. The influence of forest management on beech (*Fagus sylvatica* L.) stand structure and genetic diversity[J]. Forest Ecology & Management,2012,284(284):34-44.

[53]Duvencek M J,Scheller R M,White M A. Effects of alternative forest management on biomass and species diversity in the face of climate change in the northern Great Lakes region (USA)[J]. Canadian Journal of Forest Research,2014,44(7):700-710.

(编辑:李甜江)

[上接第150页]

[3]中国森林编辑委员会.中国森林(第三卷)阔叶林[M].北京:中国林业出版社,2000.

[4]甄学渊,张文辉,郭敏,等.陕南秦巴山区栎类资源消长分析[J].西北林学院学报,2014,29(6):39-45.

[5]殷鸣放,刘清田,崔文山,等.辽宁栎林资源状况及其保护利用构想[J].林业资源管理,2003(6):19-22.

[6]谢晋阳,陈灵芝.暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J].生态学报,1994,14(4):337-344.

[7]高贤明,陈灵芝.北京山区辽东栎(*Quercus liaotungensis*)群落物种多样性的研究[J].植物生态学报,1998,22(1):23-32.

[8]侯元兆,陈幸良,孙国吉.栎类经营[M].北京:中国林业出版社,2017.

[9]惠刚盈,Klaus von Gadow.结构化森林经营原理[M].北京:中国林业出版社,2016.

[10]张晓红,张会儒,卢军,等.美国目标树经营体系及其经营效果研究进展[J].世界林业研究,2016(1):91-96.

[11]陈科屹,张会儒,雷相东,等.基于目标树经营的抚育采伐对云冷杉针阔混交林空间结构的影响[J].林业科学研究,2017,30(5):718-726.

[12]冯琦雅,陈超凡,覃林,等.不同经营模式对蒙古栎天然次生林林分结构和植物多样性的影响[J].林业科学,2018(1):12-21.

[13]Johnson P S,Shifley S R,Rogers R. The ecology and silviculture of oaks[M]. New York: CABI Publishing,2002.

[14]Saha S,Kuehne C,Bauhus J. Lessons learned from oak

cluster planting trials in central Europe[J]. Canadian Journal of Forest Research,2017,47:139-148.

[15]Skiadareisis G,Saha S,Bauhus J. Oak group planting produces a higher number of future crop trees,with better spatial distribution than row planting[J]. Forests,2016,7(11):289-304.

[16]Saha S.Kuehne C,Bauhus J. Tree Species Richness and Stand Productivity in Low-Density Cluster Plantings with Oaks(*Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Mattuschka) Liebl.) [J]. Forests,2013,4:650-665.

[17]惠刚盈,Klaus von Gadow.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社,2007.

[18]惠刚盈,赵中华,胡艳波,等.我国西北主要天然林经营模式设计[J].林业科学研究,2016,29(2):155-161.

[19]刘文楨,赵中华,胡艳波,等.小陇山栎类混交林经营[M].北京:中国林业出版社,2015.

[20]Abetz P,u Klädtkte J. Die Df-2000-eine Entscheidungshilfe für Durchforstungen[J]. AFZ/Der Wald,2000,9:454-455.

[21]Klädtkte J. Konstruktion einer Z-Baum-Ertragstafel am Beispiel der Fichte[D]. Freiburg: Universität Freiburg,1992.

[22]惠刚盈,胡艳波,赵中华.结构化森林经营研究进展[J].林业科学研究,2018(1):85-93.

[23]Wenk G,Antanaitis V,Smelko S. Waldtragslehre[M]. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin,1990:448.

(编辑:李甜江)