

应用 π 值法则评价小陇山林区林分状态

李录林^{1,2}, 刘文桢^{1*}, 赵中华³, 王鹏¹, 石小龙¹

(1. 甘肃省小陇山林业实验局林业科学研究所, 甘肃省次生林培育重点实验室, 甘肃 天水 741022;
2. 甘肃省小陇山林业实验局高桥林场, 甘肃 徽县 742304; 3. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要: [目的] 通过评价林分状态特征, 为小陇山林区典型林分类型制定合理的经营措施, 提升和恢复小陇山林区森林生态系统功能提供依据。 [方法] 采用最优林分状态的 π 值法则, 选取林分垂直结构、水平结构、年龄结构、树种多样性、树种组成、林分密度、林分长势、顶极种或目的树种竞争、林木健康和林分更新等 10 个林分状态描述指标, 对小陇山 5 种林分类型进行状态评价。 [结果] 百花阴崖栎类针阔混交林林分状态($\omega = 0.478$) 处于状态一般等级; 百花仙坪王安沟栎类针阔混交林林分状态($\omega = 0.551$) 处于状态较好等级; 百花仙坪王安沟阔叶混交林林分状态($\omega = 0.478$) 处于状态一般等级; 龙门姚坝油松天然林($\omega = 0.498$) 处于状态一般等级; 麦积董水沟针阔叶混交林($\omega = 0.235$) 处于状态极差等级。 [结论] 林分状态的 π 值法则能够对小陇山林区典型森林类型进行定量描述, 评价结果符合现实林分的实际情况, 能对林分状态提供直观可靠的“诊断”依据, 进而提供可操作的促进林分健康稳定生长、提升森林质量的经营措施。

关键词: 林分状态; π 值法则; 小陇山; 评价

中图分类号: S758

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)06-0001-06

The Application of π -value Rule of Stand Status Evaluation in Xiaolongshan Forest Region

LI Lu-lin^{1,2}, LIU Wen-zhen¹, ZHAO Zhong-hua³, WANG Peng¹, SHI Xiao-long¹

(1. Xiaolongshan Forestry Research Institute of Gansu Province, Gansu Provincial Key Laboratory of Secondary Forest Cultivation, Tianshui 741020, Gansu, China; 2. Gaoqiao Forest Farm, Xiaolongshan Forestry Experimental Bureau of Gansu Province, Huixian 742304, Gansu, China; 3. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] By evaluating the stands status characteristics to formulate the reasonable management measures for the typical forest types and lay a basis for upgrading and restoring forest ecosystem functions in the Xiaolongshan forest region. [Method] Ten stand status indexes and π -value rule were used to evaluate the stand status characters of 5 typical forest types in Xiaolongshan forest region, including the vertical structure, horizontal structure, age structure, tree species diversity, stand density and stand growth, and so on. [Result] The stand status of three forest types (*Quercus* and coniferous broad-leaved mixed forest in Baihuayinya, broad-leaved mixed forest in Wang'angou of Baihuaxianping and *Pinus tabulaeformis* natural forest in Longmenyaoba) was general status, their ω values were 0.478, 0.478 and 0.498, respectively; the stand status of *Quercus* broad-leaved mixed forest in Wang'angou of Baihuaxianping was in better status with ω value of 0.551; the stand status of coniferous and broad-leaved mixed forest in Maijiodongshuigou was in a lower grade with the ω value of 0.235. [Conclusion] The π -value rule of forest status can quantitatively describe the typical forest types in the Xiaolongshan forest area. The evaluation re-

收稿日期: 2018-04-10 修回日期: 2018-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“基于相邻木关系的林分结构多样性研究”(31670640)。

作者简介: 李录林(1979—), 男, 高级工程师, 主要研究方向: 森林经营、森林培育。E-mail: 67324846@qq.com

* 通讯作者: 刘文桢(1969—), 男, 正高级工程师, 主要研究方向: 森林经营、森林培育。E-mail: liu_wenzhen@163.com

sults are in line with the actual conditions of the actual forest. Based on the results, the operational measures are provided to promote forest stability and quality.

Keywords: stand status; π -value rule; Xiaolongshan; forest evaluation

林分状态是人们对森林的直观认识,用以表征林分的自然属性^[1]。根据对森林评价的对象和目的不同,通常采用的评价体系有:森林健康评价指标体系^[2-4]、森林可持续经营标准与指标体系^[5]、森林自然度评价体系^[6]、森林多功能评价体系^[7]、林分经营模式评价体系^[8]以及林分经营迫切性评价体系^[9]等等。最优林分状态的 π 值法则是惠刚盈等^[10-11]基于结构化森林经营理论提出的林分状态评价方法,该方法在林分状态评价过程中没有直接采用株数、密度、胸径、树高等指标直接反映,而是把这些常规指标应用于表征林分状态的不同指标中。本研究利用 π 值法则对小陇山林区典型森林类型林分状态进行评价,并确定合理的经营措施,为提升和恢复本地区森林生态系统功能提供依据。

1 研究区概况

小陇山林区位于秦岭山脉西段,属暖温带向北亚热带过渡地带,是嘉陵江、渭河上中游地区重要的水源涵养林区。是兼有我国南北气候特点的典型天然次生林区,植物区系在我国华北、华中、喜马拉雅、蒙新四大植物区系的交汇处,动植物种类繁多,生物多样性丰富,林区年降水量460~800 mm,年平均气温7~12℃,无霜期140~218 d,海拔700~3300 m。构成森林的主要建群树种有锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)、辽东栎(*Quercus wutaishanica* Mayr.)、栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)、华山松(*Pinus armandii* Franch.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、白皮松(*Pinus bungeana* Zucc.)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、椴树(*Tilia tuan* Szyszyl.)、红桦(*Betula albo-sinensis* Burk.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、山杨(*Populus simonii* Carr.)等,总经营面积83万hm²,森林覆被率63.6%。

研究选取百花阴崖栎类针阔混交林、百花仙坪王安沟栎类针阔混交林、百花仙坪王安沟阔叶混交林、龙门姚坝油松天然林、麦积董水针阔混交林等5种林分类型。

1.1 样地概况

百花阴崖栎类针阔混交林样地(1号样地):位

于百花林场阴崖管护站阴崖沟,树种主要有锐齿栎、油松、椴子(*Swida hemsleyi* (Schneid. et Wanger.) Sojak)、太白槭(*Acer giraldii* Pax)、华山松等36个树种。灌木层主要有盘叶忍冬(*Lonicera tragophylla* Hemsl.)、胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、光叶泡花树(*Meliosma cuneifolia* var. *glabriuscula* Cufod.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)等,平均盖度30%,活地被物主要有禾本科草、蒿类、紫萼(*Aster tataricus* L. f.)等。林分于上世纪70年代进行过采伐作业。

百花仙坪王安沟栎类针阔混交林样地(2号样地):位于百花林场仙坪管护站王安沟中上部。主要树种有锐齿栎、华山松、油松、日本落叶松(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr)、山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)等42个树种,优势树种为锐齿栎。灌木主要有:箭竹(*Fargesia spathacea* Franch)、鞘柄菝葜(*Smilax stans* Maxim.)、青莢叶(*Helwingia japonica* (Thunb.) Dietr.)、长柄八仙花(*Hydrangea longipes* Franch.)、桦叶荚蒾(*Viburnum betulifolium* Batal.)。样地距村庄较远,交通不便,人为活动较少,林分起源为天然次生林,没有经过人为干扰。

百花仙坪王安沟阔叶混交林样地(3号样地):位于百花林场仙坪管护站王安沟下部,主要树种有锐齿栎、鹅耳枥(*Carpinus viminea* Lindl.)、水曲柳、三桠乌药(*Lauraceae obtusiloba* Bl.)等48个树种,优势树种为锐齿栎。灌木主要有:尖叶栒子(*Cotoneaster acutifolius* Turcz.)、绿叶胡枝子(*Lespedeza buergeri* Miq.)。林分于上世纪90年代进行过采伐作业,作业强度30%。

龙门姚坝油松天然林样地(4号样地):位于龙门林场姚坝管护站黄蛟沟中上部,主要树种有油松、华山松、水榆花楸(*Sorbus alnifolia* (Sieb. et Zucc.) K. Koch)、千金榆(*Carpinus cordata* var. *Mollis*)等31个树种,优势树种为油松。灌木层主要有:箭竹、南川绣线菊(*Spiraea velutina* Franch.)、盘叶忍冬。林分没有进行过经营作业,无人干扰。

麦积董水沟针阔叶混交林样地(5号样地):位于麦积林场董水管护站董水沟中部,树种主要有油松、漆树(*Oxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A.

Barkl.)、青榨槭(*Acer davidii* Franch.)等16个树种,优势树种为油松。灌木层主要有:箭竹、尖叶栒子、盘叶忍冬等。于上世纪90年代进行过采伐作业,样地位于林缘区,交通便利,周边村庄聚集,人为活动较多,林分长期遭受着人为无序干扰。

1.2 数据调查

调查方法采用大样地法,样地面积为2 500 m²,对样地内胸径大于5 cm的林木编号,用全站仪

(TOPCON-GTS-602AF)进行每木测量定位,同时用围尺、测高仪(Vertex IV,产于瑞典)、皮卷尺测量每株林木的胸径、树高和冠幅,记录林木属性,标注林木健康状况;幼苗更新调查采用小样方法,样方面积5 m×5 m,每个样地设5个样方,调查内容包括更新乔木树种的种类、高度级、起源、生长状况和更新株数等。数据处理采用Excel、空间结构参数分析软件Winkelmass计算。调查样地基本信息见表1。

表1 样地基本特征
Table 1 Basic characteristics of plots

样地号 Plot code	地点 Location	林分类型 Forest type	树种组成 Species composition	树种数 Species number	坡度 Slop/°	坡向 Aspect	海拔 Altitude /m	郁闭度 Canopy density	断面积 Basal area/(m ² ·hm ⁻²)	平均胸径 Mean diameter /cm	密度 Stem density/(株·hm ⁻²)
1	百花阴崖 Baihuayinya	栎类针阔混交林 <i>Quercus</i> and coniferous broad-leaved mixed forest	5 栎 3 油 1 华 1 阔 5 <i>Quercus</i> 1 <i>Pinus tabulaeformis</i> 1 <i>Pinus armandii</i> 1 broad-leaved	36	30	南 South	1 670	0.8	27.7	12.6	2 139
2	百花仙坪王安沟 Wangangou of Baihuaxianping	栎类针阔混交林 <i>Quercus</i> and coniferous broad-leaved mixed forest	6 栎 3 油 1 阔 6 <i>Quercus</i> 3 <i>Pinus tabulaeformis</i> 1 broad-leaved	42	37	东北 North-east	1 900	0.9	34.11	18.6	1 261
3	百花仙坪王安沟 Wangangou of Baihuaxianping	阔叶混交林 Broad-leaved mixed forest	3 锐 2 鹅耳枥 1 水曲柳 1 三桠乌药 1 水榆花楸 2 阔叶 3 <i>Quercus</i> 2 <i>Carpinus viminea</i> 1 <i>Lauraceae obtusiloba</i> 1 <i>Sorbus alnifolia</i> 2 broad-leaved	48	32	北 North	1 750	0.8	18.17	15.1	1 010
4	龙门姚坝 Yaoba of Longmen	油松天然林 <i>Pinus tabulaeformis</i> natural forest	9 油 1 华 + 阔叶 9 <i>Pinus tabulaeformis</i> 1 <i>Pinus armandii</i> and broad-leaved	31	35	南 South	1 345	0.9	43.81	23.2	1 036
5	麦积董水沟 Dongshuigou of Maji	针阔叶混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	4 油 4 漆 1 青榨槭 1 阔叶 4 <i>Pinus tabulaeformis</i> 4 <i>Rhus verniciflusa</i> 1 <i>Acer davidii</i> 1 broad-leaved	16	32	东北 North-east	1 250	0.7	20.63	13.4	1 546

2 研究方法

2.1 林分状态的描述指标

在 π 值法则评价体系中,选取林分空间结构(垂直结构、水平结构)、林分年龄结构、林分组成(树种多样性、树种组成)、林分密度、林分长势、顶极种或目的树种竞争、林木健康和林分更新等指标。其中,垂直结构用林层数表达,其划分参照国际林联(IU-FRO)的林分垂直分层标准;林分水平结构用林木点格局来表达,采用的指标是角尺度;林分年龄结构采

用直径分布表达,倒“J”表示典型异龄林,赋值为1;单峰表示几乎为同龄林,赋值为0;多峰表示不完整异龄林,赋值为0.5;用树种组成系数和树种多样性描述林分组成,用林分拥挤度表示林分密度,即林木平均距离和平均冠幅的比值;林分长势用林分优势度表达^[12],顶极种的竞争用顶极树种的优势度来计算;林分更新采用“国标 GB/T 26424 - 2010”来评价,即以苗高大于50 cm的幼苗数量来衡量。若苗高大于50 cm的幼苗数量 $\geq 2 500$ 株·hm⁻²,表示更新良好,赋值为1;苗高大于50 cm的幼苗数量 < 500

株·hm⁻²,表示更新不良,赋值为0;苗高大于50 cm的幼苗数量为[500,2 500)株·hm⁻²之间,表示更新一般,赋值为0.5;林木健康状况则根据没有病虫害且非断梢、弯曲、空心等林木所占比例来进行评判。具体各指标计算方法可参考相关文献^[12-14]。

2.2 最优林分状态的 π 值法则

对所选林分状态指标数据进行归一化处理,使其变成0~1之间的无量纲数值,以1为半径画圆(单位圆),将单位圆分成10个扇形区,扇形区的边作为指标线,在指标线与圆弧交点处标明指标名,把现实林分指标归一化处理后的值以点的形式标于指标线上,依次连接相邻各点形成闭合图形,该闭合图形即代表现实林分状态,该闭合图形的面积与单位圆面积 π 的比值即为现实林分状态值(ω)。 ω 值参照 π 值法则现实林分评价标准(表2)可得出现实林分状态的好坏。用公式表达为^[1]:

$$\omega = \frac{s_1 + s_2}{\pi} = \frac{\pi(m-1)}{n} + \sum_{i=1}^{n-m+1} s_{2i} \quad m \geq 1 \quad (1)$$

$$s_{2i} = (L_1 L_2 \sin\theta)/2 \quad (2)$$

式中: ω :现实林分状态值; S_1 :闭合图形中扇形面积和; S_2 :闭合图中三角形面积和; n :代表指标个数($n \geq 2$); m :代表指标值等于1的个数; L_1 、 L_2 :分别为三角形部分的相邻指标值; θ :相邻指标构成的夹角。

π 值法则评价体系中,根据 ω 值将现实林分状态划分为5类^[1],见表2。

表2 π 值法则现实林分评价标准

Table 2 Criterion of reality forest evaluation standard

ω 值 ω Value	林分状态 Stand status
≥ 0.65	状态极佳 Excellent status
[0.55 ~ 0.65)	状态良好 Better status
[0.40 ~ 0.55)	状态一般 General status
[0.25 ~ 0.40)	状态较差 Poor status
< 0.25	状态极差 Worst status

3 结果与分析

3.1 林分状态分析

利用最优林分状态的 π 值法则分别对1~5号样地进行林分状态分析结果见表3。由表3可以看出:

1号样地所在的栎类针阔混交林在空间结构上,垂直结构为单层,水平结构为随机分布,但由于

上次经营时进行全林割灌,并对下层木进行抚育,使得林分在垂直结构上表现为单层;直径分布呈倒“J”型,说明种群年龄结构处于正常稳定状态;平均混交度值较高,说明树种多样性和林分组成较好,林分稳定性好;林木拥挤度为0.423(<0.9),林分密度偏大,林木生长竞争激烈,对目的树种的生长影响大;林分优势度和潜在疏密度均大于0.5,表明林分长势较好,不需要采取促进林分生长的措施;树种优势度值为0.678(>0.5),表明目的树种优势程度较高,不需要提高目的树种和主要伴生树种的优势程度;林分更新达到良好级别,表明林分生态系统稳定性较好,林分正向着更加稳定的结构演替;不健康林木比例占18.3%(>10%),不健康林木数量较多,已经影响到林分的健康。

2号样地所在的栎类针阔混交林在垂直结构上表现为复层,在水平结构上为随机分布,林分乔、灌、草、地被分布合理,群落结构稳定,群落处于顶级群落;林分年龄结构处于正常稳定种群;林分组成良好,多样性程度较高;林木拥挤度为0.503,密度偏大,需要进行调整;而林分长势、顶级种竞争、林分更新、林分健康状况都处于合理范围。

3号样地所在的栎类阔叶混交林在垂直结构上为复层,水平结构为均匀分布,林分密度偏大,不健康林木较多,占13.4%。树种优势度值较低(<0.5),表明林分中顶级树种的竞争压力较大。

4号样地所在的油松天然林在林分结构上处于复层随机分布状态,结构较为合理;年龄结构表现为多峰,是不完整异龄林;林分多样性的平均混交度为0.422(<0.5),表明林分多样性程度较低,树种组成比较单一,需要采取措施提高多样性水平;林分密度偏大;林分长势良好;树种优势度较高,顶级树种竞争力强;天然更新,林木健康程度较高。

5号样地所在的针阔混交林在空间结构上表现为单层、均匀分布,表明林分结构发育不完整,林木之间互相排斥,需要对结构进行调整;在年龄结构上表现为不完整的异龄林,进一步分析年龄分布得知,林分由于长期受到人为干扰,林分中大径阶林木比例小;林分密度偏大;林分优势度较低,林分中目的树种优势度不高,林分长势不良;不健康林木占比过大(28.2%),其主要原因是林分处于林缘区,长期遭受人为干扰,造成林分中断头、病腐、弯曲林木多。

表3 不同类型天然林林分状态特征

Table 3 Different types of natural forest stands state characteristics

样地号 Plot code	空间结构 Spatial structure		年龄结构 Age structure	林分组成 Stand composition		林分密度 Stand density	林分长势 Stand growth status		顶级种竞争 Climax species competition	林分更新 Regeneration	林木健康 Tree health
	垂直 Vertical	水平 Horizontal structure	直径分布 Diameter distribution	树种多样性 Tree species diversity	组成系数 Composition coefficient	林木拥挤度 Tree crowded	林分优势度 Stand dominance	潜在疏密度 Potential density	树种优势度 Species dominance	幼苗树量 Seedling number (stem/hm ⁻²)	健康林木比例 Healthy tree proportion/%
1	1.4/0	0.513/1	J/1	0.817	3/1	0.423/0	0.726	0.599	0.678	6 315/1	81.7/0
2	3/1	0.510/1	J/1	0.719	3/1	0.503/0	0.655	0.548	0.650	6 873/1	92.4/1
3	3/1	0.538/0	J/1	0.805	3/1	0.562/0	0.678	0.558	0.473	7 123/1	86.6/0
4	3/1	0.497/1	多峰/0.5	0.422	2/0.5	0.450/0	0.728	0.560	0.748	6 812/1	91.8/1
5	2/0.5	0.561/0	多峰/0.5	0.632	3/1	0.569/0	0.339	0.616	0.499	9 213/1	71.8/0

3.2 林分状态评价结果

结合林分状态单位圆(图1),得出5种林分的 ω 值,分别为:百花阴崖栎类针阔混交林 ω 值为0.478,林分状态评价结果为状态一般;百花仙坪王安沟阔叶混交林 ω 值为0.478,林分状态评价结果为状态一般;龙门姚坝油松天然林 ω 值为0.498,林分状态评价结果为状态一般;麦积董水沟针阔叶混交林 ω 值为0.235,林分状态评价结果为状态极差。

结果为状态良好;百花仙坪王安沟阔叶混交林 ω 值为0.478,林分状态评价结果为状态一般;龙门姚坝油松天然林 ω 值为0.498,林分状态评价结果为状态一般;麦积董水沟针阔叶混交林 ω 值为0.235,林分状态评价结果为状态极差。

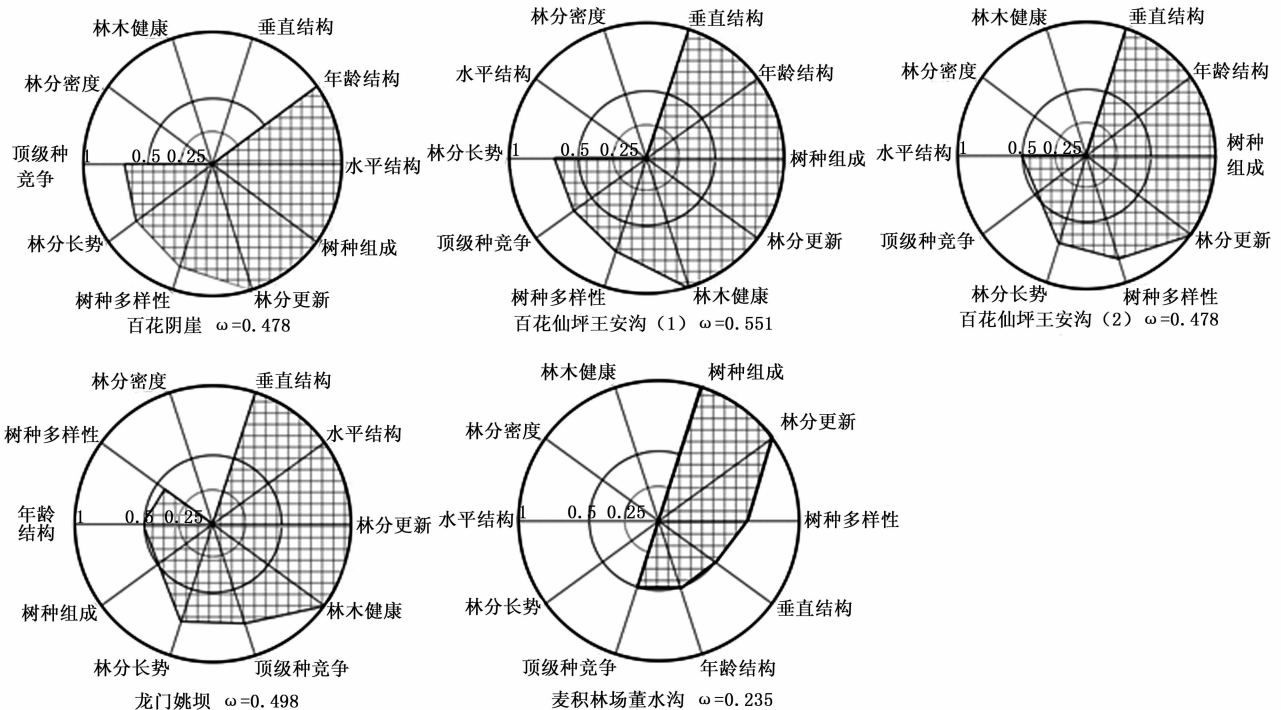


图1 样地林分状态单位圆
Fig.1 sample stand unit circle

3.3 林分经营方向及经营措施

根据林分状态分析和单位圆得分值,针对每一林分类型的评价结果,确定不同林分类型的经营方向并制定相应的调整林分状态的技术措施。1号样地,其基本的经营方向为调整密度,保留林中珍贵树种和濒危树种,采伐达到目标直径的目的树种(≥ 45 cm),伐除不健康林木个体,保留林中树干通直的中、大径木,在采伐后形成的林隙人工栽植乡土针

叶树,促进林分向针阔混交复层林状态发展。2号样地的经营方向为调整密度,保留干型良好、生长健康的建群树种和主要伴生树种,伐除生长不良、不健康、没有培育前途的林木。3号样地经营方向是采伐不健康林个体,提高健康木比例;提高顶级树种优势度,调整拥挤度,针对顶级树种锐齿栎中大径木进行竞争调节,采伐木优先采伐不健康的、在保留木同一侧的、与保留木树种相同的、影响保留木生长的和

达到目标直径的林木。4号样地经营方向是在保持林分郁闭度在0.6以上的前提下,逐步降低胸径在平均直径所在径阶范围附近林木株数比例,保留干型良好、生长健康的大径木,促进天然更新,增加小径木比例,引入价值较高的优良乡土树种,提高森林生态系统的树种多样性。5号样地经营方向是加强保护,减少人为干扰,促进林分自我恢复;保护林分中生长良好的较大径阶林木,减少处于平均胸高范围内的林木株数;伐除影响目的树生长的林木,减少目的树的竞争压力;清除林分中不健康木,提高林木健康水平。

4 讨论

基于林分状态的森林质量评价可从林分空间结构(林分垂直结构和林分水平结构)、林分年龄结构、林分组成(树种多样性和树种组成)、林分密度、林分长势、顶极树种(组)或目的树种竞争、林分更新、林木健康等方面加以描述,这8个方面10个因子能够表征林分主要的自然属性,既考虑了林分的整体状态,也考虑了林木个体的状态,它能够很好的反映森林的结构和活力2个方面的特征^[15-16]。与传统方法比,该方法的评价指标体系更加注重实践中的可操作性,例如对于顶极树种的优势度的调整,当需要提高林分中的顶极树种的竞争优势时,可采用结构化森林经营方法,以顶极树种为培育目标,针对林分中的顶级树种的最近几株相邻木进行结构调整即可达到提高优势度的目的;再比如调整林分的分布格局,可以用表达林木水平分布格局的角尺度方法,通过调整培育目标周围林木的分布情况就可以达到调整林木水平分布格局的目标。此外,林分状态的 π 值法则很好的实现了林分质量综合量化评价,结合林分状态单位圆方法,能够直观明了地了解林分当前的状态特征及与最优林分状态的期望值(期望值= π)差距,并能够据此确定林分的经营方向,制定有效的经营措施,同时,也可以运用该方法直接对经营设计的林分状态进行评价,从而实时掌握经营效果,如发现经营措施不当,也可及时对经营设计进行修正,避免造成不必要的损失。因此,该方法对于提高森林生产力,改善森林结构,增强森林功能,调整和改进行我国现有的森林经营模式,精准提升森林质量,逐步实现森林资源的可持续发展的目标具有重要的意义。

5 小结

采用林分状态的 π 值法则对小陇山5种典型林

分进行状态评价,评价结果可以看出,林分结构与人为干扰对林分状态影响较大,从5种林分的状态评价结果看,结构良好的(1号、2号、3号、4号样地所在)林分其 ω 值较大,而结构差的(5号)样地所在林分 ω 值较小,林分状态差;2号、4号样地所在林分是未经人为干扰的林分,1号、3号样地所在林分是经受过轻微干扰的林分,5号样地所在林分是长期经人为干扰的处于林缘区的林分。根据林分状态分析和单位圆得分值,针对百花仙坪王安沟和阴崖栎类针阔混交林、百花仙坪王安沟栎类阔叶混交林、龙门姚坝油松天然林林分和麦积董水沟针阔混交林分别采取密度调整,采伐达到目标直径的林木,促进天然更新,改善林内卫生等多种综合的经营措施。

参考文献:

- [1] 惠刚盈,张弓乔,赵中华,等.天然混交林最优林分状态的 π 值法则[J].林业科学,2016,52(5):1-8.
- [2] 王得祥,徐钊,柴宗政,等.秦岭山地森林健康经营与实践[M].陕西杨凌:西北农林科技大学出版社.
- [3] 余新晓,甘敬,李金海.森林健康评价、监测与预警[M].北京:科学出版社,2010.
- [4] 张会儒,雷相东.典型森林类型健康经营技术研究[M].北京:中国林业出版社,2014.
- [5] 张守攻,朱春全,肖文发.森林可持续导论[M].北京:林业出版社,2001.
- [6] 赵中华.基于林分状态特征的森林自然度评价研究[D].北京:中国林业科学研究院,2009.
- [7] 殷鸣放,郑小贤,殷炜达.森林多功能评价与表达方法[J].东北林业大学学报,2006,40(6):23-25.
- [8] 惠刚盈,赵中华,袁士云,等.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):110-120.
- [9] 惠刚盈, Klaus von Gadow, 胡艳波,等.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社,2007.
- [10] 惠刚盈,克劳斯·冯佳多.森林空间结构量化分析方法[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [11] 惠刚盈,胡艳波.混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J].林业科学研究,2001,14(1):23-27.
- [12] 赵中华,惠刚盈,胡艳波,等.基于大小比数的林分空间优势度表达方法及其应用[J].北京林业大学学报,2014,36(1):78-82.
- [13] 惠刚盈,赵中华,胡艳波.结构化森林经营技术指南[M].北京:中国林业出版社,2010.
- [14] Li Yuanfa, Ye Shaoming, Hui Gangying, et al. Spatial structure of timber harvested according to structure-based forest management[J]. Forest Ecology and Management, 2014, 322(3): 106-116.
- [15] 李远发,赵中华,胡艳波,等.天然林经营效果评价方法及其应用[J].林业科学研究,2012,25(2):123-128.
- [16] 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,2018,31(1):85-93.

(责任编辑:彭南轩)