

大兴安岭森林更新综合评价*

张凌宇¹ 刘兆刚² 赵庆¹ 唐洪辉¹

(1. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东广州 510520; 2. 森林生态系统可持续经营教育部重点实验室/东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要 森林更新是森林生态系统自我修复的重要手段,也是维持森林群落动态变化的基础。以大兴安岭中部地区主要森林类型为研究对象,基于2017—2019年的116块样地数据,从林分结构、林分因子、土壤理化性质、林下植被特征和干扰等5个方面选取影响森林更新能力的19项指标,运用层次分析法和熵权法相结合的方法得到指标权重,建立了森林更新影响因子综合评价体系,采用线性函数综合评价法得到了森林影响因子的综合评价值,对该地区不同森林类型的更新优劣进行了判断。结果显示:综合评价值可以很好地判断森林更新的优劣,不同林型下综合评价值对森林更新优劣的判断准确率均在90%以上;从总体上看,落叶松林 *Larix gmelinii* 的更新情况相对优于针阔混交林和白桦林 *Betula platyphylla*。研究提出了基于森林更新影响因子评价体系构建的一种更新优劣判断方法。

关键词 天然更新; 林分结构; 熵值-AHP法; 综合评价

中图分类号: S757.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2021)03-0061-07

Comprehensive Evaluation of Forest Regeneration in Greater Xing'an Mountains

ZHANG Lingyu¹ LIU Zhaogang² ZHAO Qing¹ TANG Honghui¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory Sustainable Forest Ecosystem Management/School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract Forest regeneration is an important means of forest ecosystem self-healing and the basis for maintaining dynamic changes in forest communities. This study took the main forest types in the central part of Greater Xing'an Mountains as the research object, and based on 127 fixed plots in 2017-2019, 19 indexes affecting forest regeneration capacity were selected from five aspects: forest structure, forest factors, soil physical and chemical properties, characteristics of undergrowth vegetation and disturbance. The index weight was obtained by using the method of AHP and entropy weight. The comprehensive evaluation system of forest regeneration influence factors was established, and the comprehensive evaluation value of forest influence factors were obtained by using the linear function comprehensive evaluation method. The results showed that the comprehensive evaluation value can be used to judge the quality of forest regeneration. The accuracy of comprehensive evaluation value under different forest types to judge the quality of forest regeneration was more than 90%. The regeneration of larch forest was better than that of coniferous and broad-leaved mixed forest and birch forest. This study proposed a method to judge the quality of forest regeneration by constructing the

* 基金项目: 广东省林业科技计划项目(2019-21), 国家重点研发计划项目(2017YFC0504103)。

第一作者: 张凌宇(1990—), 男, 主要从事森林可持续经营研究, E-mail: zly900926@163.com。

通信作者: 刘兆刚(1970—), 男, 教授, 主要从事森林可持续经营研究, E-mail: lzg19700602@163.com。

evaluation system of impact factors of forest regeneration, which provides theoretical basis for forest management in this region.

Key words natural regeneration; forest structure; entropy-AHP method; comprehensive evaluation

森林更新是表征森林生产潜力的重要指标,是维持群落动态变化的基础,也是森林自我修复的重要途径。在以往的森林调查中,对于森林更新的调查往往采用在样地的四角和中心设置小样方的方法进行调查^[1-4],同时对于起测高度或胸径也有一定限制,很少有对整个样地进行无差别森林更新调查的。以往的调查方法存在缺陷,例如通过重力进行种子扩散的树种,其更新往往集中在母树周围,但是母树并不一定位于所选取样方的周边,因此,通过四角和样地中心设置样方对全林的更新进行估算的方法具有不准确性,并且在调查中往往很难从直观上判断更新状况的优劣,而对整个样地进行调查则耗费大量的人力和时间。有研究显示,种源不足、生物抑制障碍、生境异质性、种群障碍、人为干扰等诸多因子影响森林更新的优劣^[5]。因此,本文以大兴安岭地区的3种典型森林类型(白桦林 *Betula platyphylla*、针阔混交林、落叶松林)为主要研究对象,通过构建森林更新影响因子的指标体系,以熵-AHP法确定各指标权重值,采用线性函数综合评价法得出116块样地森林更新影响因子的综合评价值,对其在判断更新优劣的准确性上进行检验,最后以该综合评价值为基础,对不同林型下的更新状况进行分析。本研究提出了基于森林更新影响因子评价体系构建的一种更新优劣判断方法,为该地区天然次生林的经营决策提供理论依据和技术支持,同时评价过程也可以为不同地区更新影响因子评价提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为黑龙江大兴安岭新林林业局翠岗林场、新林林场、松岭林业局壮志林场,其中翠岗林场(124°5′~124°30′ E, 51°38′~51°47′ N)位于大兴安岭新林区东北部,施业区总面积160 101 hm²。新林林场(123°41′~125°25′ E, 51°20′~52°10′ N)地处黑龙江省西北部,和翠岗林场同属新林区管辖,施业区总面积143 926 hm²。壮志林场(123°29′~124°18′ E,

50°58′~51°23′ N)位于大兴安岭松岭区西北端,施业区总面积131403 hm²。新林区主要树种包括兴安落叶松 *Larix gmelinii*、白桦、樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*、红皮云杉 *Picea koraiensis*、山杨 *Populus davidiana* 等,灌木主要包括兴安杜鹃 *Rhododendron dauricum*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、杜香 *Ledum palustre* 和越桔 *Vaccinium vitisidaea* 等。壮志林场主要树种有兴安落叶松、白桦和山杨等,灌草种类包括笃斯越桔 *Vaccinium uliginosum*、红花鹿蹄草 *Pyrola incarnata* 等。

1.2 数据来源

本研究数据来源于2017—2019年大兴安岭新林林业局新林林场、翠岗林场、松岭林业局壮志林场的固定样地调查数据,3年间共设置面积为20×30 m的样地116块,在样地调查过程中,对于样地内胸径≥5 cm的林木进行每木检尺,记录其树种、状态、胸径、树高、冠幅以及坐标位置等信息,胸径<5 cm记为更新层,记录更新层所有个体的树种、状态、地径或胸径(树高>1.3 m)、树高及位置等信息,对所有样地的森林更新进行了全部调查(不区分起测地径和高度),需要指出的是在统计更新株数的过程中,只记录了实生苗的天然更新株数,对于蘖生苗和萌生苗没有进行记录。同时,在样地中心设置5×5 m的样方进行灌木调查,在样地的四角设置1×1 m的样方进行草本调查。各样地的基本统计量见表1。

本研究结合实际以及前人关于森林更新影响因子的相关研究,主要从林分结构、林分因子、土壤理化性质、林下植被特征和干扰等5个方面来对不同林型下森林更新影响的差异进行探讨。

1.3 研究方法

1.3.1 森林更新影响因子的评价指标 本研究以林分结构、林分因子、土壤理化性质、林下植被特征和干扰等5个方面对应层次分析法中层次结构的约束层(B层)建立评级体系,其中林分结构方面主要考虑空间结构和非空间结构,空间结构包括角尺度、大小比数和混交度,非空间结构包括林分生长活力和林木稳定性;林分因子方面主要以每公顷株

表 1 各林型样地基本统计量
Table 1 Basic statistics of each forest type plot

森林类型 Forest types	样地数量 / 个 Number of plots	平均树高 /m Mean tree height	平均胸径 /cm Mean DBH	平均蓄积量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) Mean volume	枯落层厚度 /cm Litter layer thickness	株数密度 /($\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$) Stand density
BF	21	11.7 ± 1.3	12.4 ± 1.2	110.6 ± 22.1	3.6 ± 0.8	1 494.0 ± 4 362.8
CBMF	26	12.8 ± 1.7	13.4 ± 2.2	127.7 ± 31.3	4.1 ± 1.0	1 397.7 ± 287.7
LF	69	12.1 ± 2.2	14.2 ± 3	142.3 ± 42.4	4.1 ± 1.6	1 442.7 ± 518.0

注：BF、CBMF、LF 分别表示白桦林、针阔混交林、落叶松林，基本统计量为平均值 ± 标准差。Note: BF, CBMF, and LF denote birch forest, coniferous mixed forest and larch forest, respectively. The basic statistic is the mean ± standard deviation.

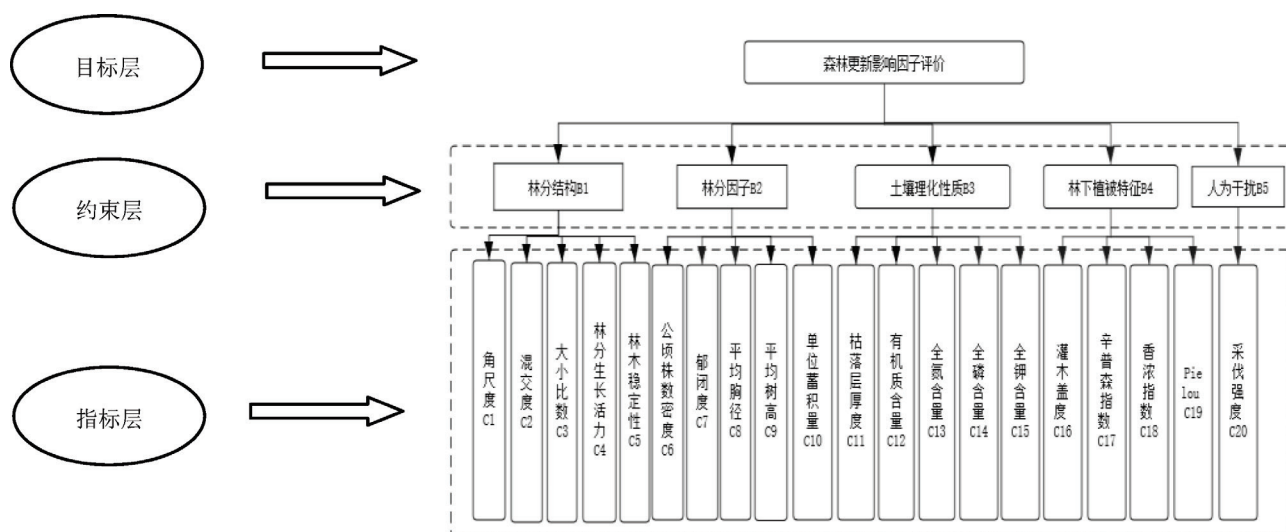


图 1 森林更新影响因子评价体系

Fig. 1 The evaluation system of forest regeneration impact factors

数、郁闭度、平均胸径、平均树高和林分蓄积量进行表征；土壤理化性质包括枯落层厚度、有机质含量、全氮磷钾含量；林下植被特征包括灌木盖度、Simpson 多样性指数、香浓指数和 Pielou 均匀度指数；干扰方面主要考虑蓄积采伐或间伐强度对更新的影响。各评价指标见图 1。

1.3.2 指标权重的确定 层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是指将与决策目标有比较强的关联性的因子分解成目标、准则、方案等几个层次，并在此基础之上进行定性和定量分析的决策方法，熵权法则是依据数学原理来充分反映原始数据包含信息，结果客观不受任何主观意识控制，本研究采用熵-AHP 法确定各指标权重值，该法具备集专家决策与数据信息决策为一体的特点，能够有效降低主观赋值法和客观赋值法单独使用带来的影响。

1.3.3 各类型指标的计算 在所有的数据指标中，分为正向指标、逆向指标和适度性指标，对于逆向指标（如枯落层厚度），进行逆向指标的正向化处理，即以 1 减去该指标的差值作为其评价价值。对于适度性指标（如林木角尺度），转换为分段函数再进行正向化处理，具体计算方法依据陈莹等^[6]的研究，所选取的林分结构中角尺度等指标的计算方法依据惠刚盈等^[7]的研究，林分生活力、森林稳定性等指标的计算方法依据魏红洋等^[8]的研究，林分多样性指数依据刘灿然等^[9]的研究。

1.3.4 综合评价价值的确定 由于指标的层次分析权重排序往往与熵权重排序有较大差别，因此本研究采用熵权重 (u_i) 对层次分析法得出权重 (W_i) 进行修正处理，结合前人研究^[6]取 $\alpha=0.5$ 带入公式 (1)，从而得到各指标最终权重 λ_i 。

$$\lambda_i = u_i \times \alpha + w_i \times (1 - \alpha) \dots\dots\dots(1)$$

本研究采用线性函数综合评价法得到森林更新影响因子的综合评价值。其表达式如下：

$$y = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i \dots\dots\dots(2)$$

式中： y 是指评价目标的综合评价值， λ_i 是与第*i*项评价指标 x_i 相应的权重值。

1.3.5 评价效果的检验 本研究从建立森林更新影响因子评价体系的角度为切入点，对森林更新优劣情况进行一个判断，利用综合评价值与实测数据在不同尺度排序范围内（前20%、50%、80%）的匹配度对森林更新影响因子评价值在判断更新优劣的准确性上进行检验。

1.3.6 数据处理 本研究中涉及层次分析法采用yaahp11.3版本软件实现权重值计算，熵值法在Excel 2019中实现，结构特征中角尺度、混交度、大小比数运用Winkelmass 2006版本进行计算，其它相关数据处理、绘图等则分别在Excel 2019和SPSS 20.0支持下完成。

2 结果与分析

2.1 评价指标权重

由表2可知，白桦林和针阔混交林中以熵-AHP法最终确定的各约束层权重值的排序表现一致，从大到小的排序均为： $B1 > B2 > B3 > B4 > B5$ ，落叶松林中以熵-AHP法最终确定的各约束层权重值从大到小的排序为： $B2 > B1 > B3 > B4 > B5$ 。从约

表2 各指标权重
Table 2 Weight of each indicators

约束层 Constraint layer	指标层 Index layer	AHP	BF		CBMF		LF	
			E-W	E-A	E-W	E-A	E-W	E-A
B1	C1	0.034	0.037	0.036	0.034	0.034	0.027	0.031
	C2	0.037	0.050	0.043	0.012	0.025	0.079	0.058
	C3	0.034	0.035	0.035	0.047	0.041	0.040	0.037
	C4	0.049	0.065	0.057	0.341	0.195	0.046	0.047
	C5	0.046	0.058	0.052	0.009	0.027	0.041	0.043
B2	C6	0.032	0.069	0.050	0.032	0.032	0.072	0.052
	C7	0.046	0.028	0.037	0.081	0.063	0.050	0.048
	C8	0.049	0.033	0.041	0.039	0.044	0.080	0.064
	C9	0.027	0.040	0.033	0.014	0.021	0.038	0.032
	C10	0.046	0.074	0.060	0.036	0.041	0.046	0.046
B3	C11	0.086	0.020	0.053	0.034	0.060	0.039	0.063
	C12	0.029	0.075	0.052	0.013	0.020	0.050	0.039
	C13	0.029	0.050	0.039	0.025	0.027	0.065	0.047
	C14	0.029	0.028	0.028	0.046	0.037	0.017	0.023
	C15	0.029	0.049	0.039	0.025	0.026	0.045	0.037
B4	C16	0.05	0.020	0.035	0.024	0.037	0.029	0.039
	C17	0.05	0.053	0.052	0.035	0.043	0.047	0.048
	C18	0.05	0.035	0.042	0.028	0.039	0.023	0.037
	C19	0.05	0.060	0.055	0.046	0.048	0.063	0.058
B5	C20	0.2	0.122	0.161	0.080	0.140	0.103	0.151

注：BF、CBMF、LF分别表示白桦林、针阔混交林、落叶松林。E-W、E-A分别表示熵权法、熵-AHP法。Note: BF, CBFM, and LF denote birch forest, coniferous mixed forest and larch forest, respectively. E-W and E-A denote entropy weight method and entropy-AHP method, respectively.

束层角度来看,白桦林和针阔混交林在林分结构(B1)中贡献最大的指标均为林分生长活力(C4),在该约束层下落叶松林中贡献最大的指标为混交度(C2);林分因子(B2)方面,白桦林中贡献最大的指标为林分蓄积量(C10),针阔混交林中为林分郁闭度(C7),落叶松林中为林分平均胸径(C8);土壤理化性质(B3)方面,3种林型贡献最大的均为枯落层厚度;林下植被特征(B4)方面,3种林型贡献值最大的均为Pielou-均匀度指数(C19)。

2.2 综合评价模型的评价效果检验

基于不同林型下实测值和评价值对森林更新优劣判断效果的准确性进行检验。将各林型综合

评价值和对应样地的更新密度进行降序比较,对实测值和评价值整体数值分别处于前20%、50%、80%范围内所包含样地的匹配度进行对比。白桦林中(表3),在前20%和50%范围内,样地更新密度与综合评价的结果匹配度均为100%,即综合评价值较高的样地其树种更新密度也表现出明显优势。在扩大比较范围后,匹配度有所下降,但也达到了90%以上(前80%范围内,匹配度为94.1%)。针阔混交林(表4)和落叶松林(表5)中,综合评价值与实测更新密度在3个给定范围内的匹配度也均在90%以上。总体来说,3种林型下森林更新影响因子的综合评价值都可以很好地反映样地更新的优劣。

表3 白桦林中综合评价值和实测数据的匹配度比较

Table 3 Comparison of the matching degree between comprehensive evaluation value and measured data in BF

比较范围 /% Comparison range	更新株数密度 A Regeneration density A	综合评价值 B Comprehensive evaluation value B	匹配度 /% Matching degree
20	5	5	100
50	11	11	100
80	17	16	94.1

注: A表示样地个数, B表示与A相同的样地数。

Note: A represents the number of plots, B represents the same number of sample plots as A.

表4 针阔混交林中综合评价值和实测数据的匹配度比较

Table 4 Comparison of the matching degree between comprehensive evaluation value and measured data in CBMF

比较范围 /% Comparison range	更新株数密度 A Regeneration density A	综合评价值 B Comprehensive evaluation value B	匹配度 /% Matching degree
20	5	5	100
50	13	12	92.3
80	21	20	95.2

注: A表示样地个数, B表示与A相同的样地数。

Note: A represents the number of plots, B represents the same number of sample plots as A.

表5 落叶松林中综合评价值和实测数据的匹配度比较

Table 5 Comparison of the matching degree between comprehensive evaluation value and measured data in LF

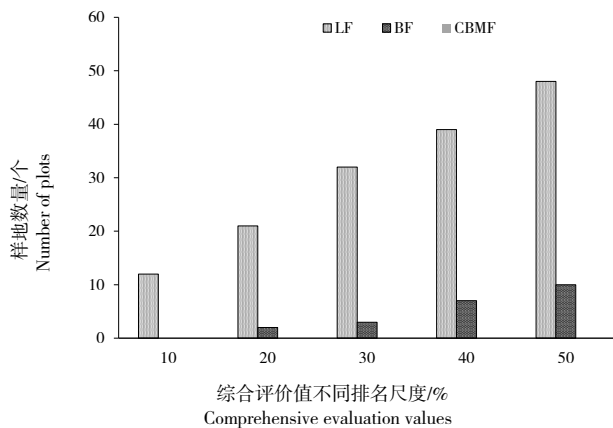
比较范围 /% Comparison range	更新株数密度 A Regeneration density A	综合评价值 B Comprehensive evaluation value B	匹配度 /% Matching degree
20	13	14	92.9
50	32	35	91.4
80	54	55	98.1

注: A表示样地个数, B表示与A相同的样地数。

Note: A represents the number of plots, B represents the same number of sample plots as A.

2.3 基于综合评价值的更新分析

以森林更新影响因子的综合评价值为基础,在得出3种林型下各样地的综合评价值得分之后,采用得分排序并取5个尺度(前10%、20%、30%、40%、50%)的方法对不同林分类型样地个数进行统计,得到现有林分类型下森林更新相对最优的林型。由图2可以看出,在综合评价值排名尺度在前10%(前12)下,只出现了落叶松林样地,从前20%(前23)开始,出现了落叶松林和白桦林,随着尺度的增大,两种林型的样地个数逐渐增多,在前50%(前58)排名尺度下,落叶松样地个数占总个数的82.8%,在所选取的所有排名尺度内均未出现针阔混交林,结合表6给出的各林型综合评价值特征,针阔混交林的综合评价值也处于偏低的水平。总体而言,落叶松林的更新状况优于其他两个林型。



注: BF、CBMF、LF 分别表示白桦林、针阔混交林、落叶松林。Note: BF, CBMF, and LF denote birch forest, coniferous mixed forest and larch forest, respectively.

图2 3种林型不同排名尺度下的样地分布规律

Fig. 2 The distribution of sample plots under different ranking scales of three forest types

3 结论与讨论

本研究选取可以反映影响森林更新的指标,运用主客观相结合的方法对各项指标进行赋权处理,采用线性函数综合评价法得到森林更新影响因子的综合评价值。通过该评价值与实测值的对比分析发现,综合评价值可以很好地判断森林更新的优劣情况。进一步以该评价值为基础,分析3种林型的相对最优更新情况,从总体上看,落叶松林的更新优于针阔混交林和白桦林。

在进行综合评价时,指标权重的确定方法尤为重要,通过主客观相结合的方法可以降低主观随意性,使评价结果更加客观。熵-AHP法作为一种将主观赋权法和客观赋权法相结合的综合评价方法被应用在森林资源健康评价^[10]、防护林防护效能评价^[11]、生态功能综合评价^[12]以及最优树种组成评价^[6]等研究。本研究采用了熵-AHP法对森林更新影响因子进行了综合评价,得出的结果与实际更新情况相符。

本评价体系同时也存在需要改进之处。在实际研究中,参考指标越多则得出的结果越具备实际意义^[13],而本研究干扰程度方面只选取了蓄积采伐强度一个指标。从理论上讲,更新受采伐强度和采伐次数的共同影响^[14],但是在实际森林调查工作中,由于各种因素的限制,采伐具体次数的调查数据很难获取,所以只选择了一个采伐强度指标。本研究中大部分采伐强度都是在30%以下。干扰形式可以分为人为干扰(采伐、抚育间伐等)、自然干扰(风倒木等),有关这一约束层指标选取的问题会在今后的研究中进一步完善。此外,本研究未涉及种子雨特征方面的数据,因

表6 3种林型的综合评价值特征

Table 6 Characteristics of comprehensive evaluation values of three forest types

森林类型 Forest types	样地数量 Number of plots	综合评价值 Comprehensive evaluation values			
		均值 Means	标准差 SD	极小值 Min.	极大值 Max.
BF	21	0.601	0.098	0.358	0.762
CBMF	26	0.355	0.063	0.263	0.573
LF	69	0.672	0.125	0.353	0.984

注: BF、CBMF、LF 分别表示白桦林、针阔混交林、落叶松林。

Note: BF, CBMF, and LF denote birch forest, coniferous mixed forest and larch forest, respectively.

此在影响森林更新的因子中未考虑种源限制及树种自身特性对森林更新的影响。

更新优劣包括更新质量和更新数量, 本研究选择用更新数量(密度)作为唯一评价优劣的标准, 是因为在样地调查时就考虑了森林更新质量的影响, 在统计更新株数的过程中, 只记录了实生苗的天然更新株数, 由于蘖生苗和萌生苗更新质量较差, 不成材, 如果将这些数据统计在内, 势必影响森林更新质量, 所以在考虑了更新质量的前提下选取密度作为参照。本文选择一种间接的评价方法, 并用实测数据对这种方法的准确性进行验证, 综合评价价值的结果显示, 落叶松林的森林更新优于白桦林和针阔混交林, 该结果与徐鹤忠等^[15]的研究结果一致, 这也为今后该地区采取人工补植等经营措施提供了理论支持和借鉴。

参考文献

- [1] 贾炜玮, 解希涛, 姜生伟, 等. 大兴安岭新林林业局3种林分类型天然更新幼苗幼树的空间分布格局[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2813-2822.
- [2] 王秀丽, 蔡均, 周亮, 等. 珠海淇澳岛拉关木群落结构及其种苗扩散研究[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(6): 66-71.
- [3] 解希涛. 大兴安岭天然更新幼苗幼树空间分布格局及物种多样性分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017.
- [4] 张宏伟, 黄剑坚. 雷州附城镇无瓣海桑林天然更新格局及其影响因子的灰色关联分析[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(2): 63-67.
- [5] 陈永富. 森林天然更新障碍机制研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(2): 41-45.
- [6] 陈莹, 董灵波, 刘兆刚. 帽儿山天然次生林主要林分类型最优树种组成[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 118-126.
- [7] 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.
- [8] 魏红洋, 董灵波, 刘兆刚. 大兴安岭主要森林类型林分空间结构优化模拟[J]. 应用生态学报, 2019, 30(11): 3824-3832.
- [9] 刘灿然, 马克平, 吕延华, 等. 生物群落多样性的测度方法VI: 与多样性测度有关的统计问题[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 69-79.
- [10] 邓须军, 黄芷妍. 基于层次分析法的海南森林资源健康评价研究[J]. 生态经济, 2017, 33(6): 201-204.
- [11] 郝清玉, 刘旷勋, 王立海, 等. 沿海防护林防护效能的综合评价[J]. 森林工程, 2009, 25(6): 25-30; 52.
- [12] 张甜. 抚育间伐对小兴安岭天然针阔混交林生态功能的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [13] 乌吉斯古楞. 长白山过伐林区云冷杉针叶混交林经营模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [14] 易青春, 张文辉, 唐德瑞, 等. 采伐次数对栓皮栎伐桩萌苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(4): 147-154; 160.
- [15] 徐鹤忠, 董和利, 底国旗, 等. 大兴安岭采伐迹地主要目的树种的天然更新[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(1): 18-21.