

文章编号:1001-7380(2019)03-0001-05

滇中高原华山松人工林健康状况评价 ——以昆明市国营海口林场为例

熊修文,周华强

(贵州省桐梓县林业局,贵州 桐梓 563200)

摘要:以昆明市国营海口林场华山松人工林为研究对象,构建了由4个一级指标以及16个二级指标组成的华山松人工林健康状况评价体系。运用层次分析法对华山松人工林健康状况进行评价,并对影响其健康状况的主要因子进行了分析。研究表明:在16块调查样地中,15块样地处于良好健康状态,占总数的93.75%;1块处于优质健康状态,占总数的6.25%。从总体来看,所有调查样地的健康指数平均值为0.7825,说明海口林场华山松人工林总体处于良好健康状态。平均胸径、平均树高、单位面积蓄积量、森林病虫害危害程度及森林火险等级这5个指标与森林健康指数呈显著相关性,说明这5个因子是影响华山松人工林健康状况的主要因子。

关键词:华山松人工林;森林健康;评价指标;层次分析法

中图分类号:S711;S791.241

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2019.03.001

森林生态系统是陆地生态系统的重要组成部分^[1],其作为陆地生态系统中群落结构最复杂、生物产量最大、生物多样性最丰富的生态系统^[2-4],不仅可以直接提供木材产品及林副产品,而且还具有涵养水源、固碳释氧、净化空气等多种生态服务功能^[2,5-8]。但是,长期以来,人们对森林资源过度开发与利用,导致森林生态系统遭到严重破坏,其各种功能也不断衰退。在这种背景下,森林生态系统健康作为一种有效管理资源的方式而产生,其基本特征是以森林恢复为主,并将其作为森林状况评估和森林资源管理的目标与标准^[9-13]。

在云南省,华山松(*Pinus armandii* Franch.)是仅次于云南松(*P. yunnanensis* Franch.)的针叶造林树种,而且其主要分布在滇中高原地区^[14]。根据资料显示,华山松具有较高的生态、经济价值,体现在种子含油率高、提取芳香油、保持土壤肥力、涵养水源等方面^[15]。但是华山松人工纯林的林木长势衰弱、生长量下降、林分中病虫害种类增多等衰退现象,严重影响了华山松作用及其功能的发挥。本研究正是基于这样的背景而实施的,通过对华山松人工林健康状况的评价并找出影响该区域华山松人工林健康的主要因素,以期为更好地发挥该区域华山松人工林的作用及功能提供理论与技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

昆明市国营海口林场位于昆明市西山区境内,地理位置介于东经102°28'—102°38'、北纬24°43'—24°56'之间。海拔1 800—2 400 m,平均坡度为16—25°。森林覆盖率为80.54%,活立木总蓄积量为235 500 m³。属于亚热带季风气候,年均日照时间大约2 200 h,无霜期240 d以上,年均温为14.5℃,最热月均温19.7℃,最冷月均温7.5℃。年均降雨量为909.7 mm,土壤类型以红壤为主。原生树种以亚热带常绿阔叶树种居多,林种以水源涵养林、水土保持林为主。乔木树种以华山松、云南松为主,另外还有蓝桉(*Eucalyptus globulus* Labill.)、赤桉(*E. camaldulensis* Dehnh.)、桉木(*Alnus cremastogyne* Bruk.)、滇油杉(*Keteleeria evelyniana* Mast.)等。

1.2 数据来源

1.2.1 样地调查 采用设置标准样地的方法进行调查,根据不同坡向、坡位选取具有代表性的华山松人工林标准样地16块,每个标准地面积为20 m×20 m。对胸径大于5 cm的乔木进行每木检尺,记录每株乔木的种类、树高、胸径。在乔木样地中心及4

收稿日期:2019-05-11;修回日期:2019-06-20

作者简介:熊修文(1992-),男,江西高安人,助理工程师,硕士。主要从事森林及其生态系统健康研究与评价工作和林业技术推广工作。

个角上分别设置 1 个 5 m×5 m 的灌木样地,灌木样地共 5 块,用于灌木层指标的测定,调查灌木植物的种类、数量、盖度。在每个灌木样地中心设置 1 个 1 m×1 m 的草本样地,共 5 块草本样地,用于草本层指标的获取,调查草本植物种类、数量、盖度等。

1.2.2 二类调查数据 在样地调查的基础上,结合 2016 年昆明市国营海口林场森林资源二类调查数据,对森林健康状况进行评价。

1.3 华山松人工林健康指标体系的构建

指标体系的建立是进行森林健康评价的前提,在考虑定量指标与定性指标相结合的基础上,结合华山松人工林的现状与特点,构建了由 4 个一级指标和 16 个二级指标组成的评价体系。

1.3.1 森林健康评价模型的构建 本研究运用森林健康指数 (FEHI) 的大小来判断所评价的森林生态系统健康状况,其评价模型见公式 1-1:

$$FEHI = \left(\sum_{i=1}^m w_i p_i \right) \times w_1 + \left(\sum_{j=1}^m w_j o_j \right) \times w_2 + \left(\sum_{k=1}^m w_k r_k \right) \times w_3 + \left(\sum_{l=1}^m w_l s_l \right) \times w_4 \quad (1-1)$$

式中, FEHI 是指森林健康指数, w_i, w_j, w_k, w_l 分别为生产力综合指标、群落结构指标、抵抗力指标、土壤类指标各要素二级指标的权重,且:

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1; \sum_{j=1}^m w_j = 1; \sum_{k=1}^m w_k = 1; \sum_{l=1}^m w_l = 1$$

p_i, o_j, r_k, s_l 分别为生产力综合指标、群落结构指标、抵抗力指标以及土壤类指标中的二级指标标准化后的数值。

w_1, w_2, w_3, w_4 分别为生产力综合指标、群落结构指标、抵抗力指标、土壤类指标等一级指标的权重,且:

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$$

1.3.2 数据标准化 数据标准化以消除量纲与数量级上的差异,使得各个指标数据之间具有可比性,数据标准化处理方法见公式 1-2:

$$C'_{ij} = C_{ij} / \max(C_{ij}) \quad (1-2)$$

其中, C_{ij} 表示各个二级指标原始数值;

C'_{ij} 表示各个二级指标原始数据标准化后的数值;

$\max(C_j)$ 表示某一个二级指标在所有调查样地中的最大值;

对于负相关指标则采用其他公式进行处理,具体见公式 1-3:

$$X = 1 - C'_{ij} \quad (1-3)$$

1.3.3 指标权重的确定 各级指标的权重确定采用层次分析法,其过程可以分为以下 4 个步骤:

(1) 建立系统递阶层次结构。首先,所有指标因素按照其属性进行层次化、条理化,以此来构建系统递阶层次结构,形成目标层、准则层、方案层 3 层层次结构。

(2) 构建判断矩阵。递阶层次结构明确了各个因素之间的隶属关系。利用判断矩阵进一步对本层所有因素对上一层某一因素的相对重要性进行比较。为了使决策定量化,引入了 1-9 标度的方法,见表 1,2。

表 1 判断矩阵

C_s	P_1	P_2	...	P_n
P_1	B_{11}	B_{12}	...	B_{1n}
P_2	B_{21}	B_{22}	...	B_{2n}
...
P_n	B_{n1}	B_{n2}	...	B_{nn}

表 2 标度定义表

标度	含义
1	两个因素相比,具有同等重要性
3	两个因素相比,一个因素比另一因素略微重要
5	两个因素相比,一个因素比另一因素明显重要
7	两个因素相比,一个因素比另一因素强烈重要
9	两个因素相比,一个因素比另一因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中间值
倒数	如果因素 i 与因素 j 的重要性之比为 a_{ij} , 那么因素 j 与因素 i 的重要性之比为 $1/a_{ij}$

(3) 层次单排序及其一致性检验。层次单排序是对本层次因素相对上一层某因素重要性权值的计算,其实质就是计算判断矩阵的特征根以及特征向量,即对于判断矩阵 A 而言,计算应满足公式 1-4:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (1-4)$$

式中, λ_{\max} 表示判断矩阵 A 的最大特征根;

W 是对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量;

A 表示判断矩阵 A ;

W 的分量表示相应因素单排序的权重值;

为了检验判断矩阵的一致性,需要计算判断矩阵的一致性指标 CI ,具体见公式 1-5:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1-5)$$

当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$ 。 $\lambda_{\max} -$

n 越大, CI 也就越大, 即表明判断矩阵的一致性越差。为了检验判断矩阵是否满足一致性原则, 就需要找出衡量判断矩阵一致性指标的标准。Satty 引入了随机一致性指标表, 见表 3。

表3 判断矩阵平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

由表 3 可以看出, 对于 1 阶、2 阶判断矩阵而言, RI 只是形式上的, 因为根据判断矩阵的定义, 1 阶、2 阶判断矩阵总是完全一致的。当判断矩阵的阶数大于 2 时, 判断矩阵的一致性指标 CI 与同阶平均随机一致性指标 RI 之比被称为判断矩阵的随机一致性比率, 用 CR 表示, 见公式 1-6:

$$CR = CI/RI \quad (1-6)$$

当 CR 小于 0.1 时, 判断矩阵满足一致性要求, 否则需要对判断矩阵进行调整。

(4) 层次总排序及其一致性检验。从最高层次到最低层次依次进行层次总排序。

层次总排序的一致性检验: 设第 B 层中的因素 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ 相对于上一层 A 层中的因素 A_j ($j=1, 2, 3, \dots, m$) 的层次单排序一致性检验指标为 CI_j , 随机一致性指标为 RI_j , 则总排序一致性比率计算见公式 1-7:

$$CR = \frac{a_1 CI_1 + a_2 CI_2 + a_3 CI_3 + \dots + a_m CI_m}{a_1 CI_1 + a_2 CI_2 + a_3 CI_3 + \dots + a_m CI_m} \quad (1-7)$$

当 $CR < 0.1$ 时, 可以认为层次总排序符合一致性检验, 否则就需要对判断矩阵的元素取值进行重新调整。

1.4 数据处理

本研究主要运用 EXCEL 和 SPSS 等软件对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 各级评价指标权重的确定

采用层次分析法计算各级评价指标权重, 依据打分结果构建各级指标判断矩阵。这一过程咨询了西南林业大学、云南省林业科学院、昆明市国营海口林场等单位具有副高级及以上职称的专家。

2.1.1 一级指标权重的确定 4 个一级指标的判断矩阵见表 4。

2.1.2 二级指标权重的确定 二级指标权重的确

表4 华山松人工林健康评价体系准则层判断矩阵

	生产力综合指标	群落结构指标	抗干扰指标	土壤类指标	指标权重
生产力综合指标	1	2	1	2	0.331 6
群落结构指标	1/2	1	1/2	2	0.197 2
抗干扰指标	1	2	1	2	0.331 6
土壤类指标	1/2	1/2	1/2	1	0.139 4
$\lambda_{\max} = 4.06, CI = 0.02, RI = 0.9, CR = 0.022 < 0.1$					

定也采用一级指标权重确定的方法, 其生产力综合指标、群落结构指标、抵抗力指标、土壤类指标的二级指标权重分别见表 5—8。

(1) 生产力综合指标二级指标权重的确定见表 5。

表5 生产力综合指标判断矩阵

	A_1	B_1	C_1	W
A_1	1	3	3	0.532 6
B_1	1/3	1	1	0.233 6
C_1	1/3	1	1	0.233 6

$\lambda_{\max} = 3.050 6, CI = 0.025 3, RI = 0.58, CR = 0.043 6 < 0.1$; A_1 表示单位面积蓄积量; B_1 表示平均胸径; C_1 表示平均树高; W 表示权重

(2) 群落结构指标二级指标权重的确定见表 6。

表6 群落结构指标判断矩阵

	A_2	B_2	C_2	D_2	E_2	F_2	G_2	H_2	W
A_2	1	3	3	3	3	5	1	2	0.241 4
B_2	1/3	1	1	1	1	3	1/3	1/2	0.083 5
C_2	1/3	1	1	1	1	3	1/3	1/2	0.083 5
D_2	1/3	1	1	1	1	3	1/3	1/2	0.083 5
E_2	1/3	1	1	1	1	3	1/3	1/2	0.083 5
F_2	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	0.035 1
G_2	1	3	3	3	3	5	1	2	0.241 4
H_2	1/2	2	2	2	2	4	1/2	1	0.147 8

$\lambda_{\max} = 8.115 9, CI = 0.016 5, RI = 1.410, CR = 0.011 7 < 0.1$; A_2 表示郁闭度; B_2 表示灌木多样性指数; C_2 表示草本多样性指数; D_2 表示草本盖度; E_2 表示灌木盖度; F_2 表示枯落物厚度; G_2 表示群落层次结构; H_2 表示林下更新密度; W 表示权重

(3) 抵抗力指标二级指标权重的确定见表 7。

(4) 土壤类指标二级指标权重的确定见表 8。

2.1.3 各级指标权重汇总 将计算的各级指标权重进行汇总, 汇总情况见表 9。

2.2 各样地森林健康指数

将原始数据进行标准化, 再结合各指标权重,

表 7 抵抗力指标判断矩阵

	A ₃	B ₃	C ₃	W
A ₃	1	1	2	0.385 4
B ₃	1	1	2	0.385 4
C ₃	1/2	1/2	1	0.229 1
$\lambda_{\max} = 3.02, CI = 0.01, RI = 0.58, CR = 0.017 < 0.1$				

A₃表示森林病虫害程度;B₃表示森林火险等级;C₃表示人为干扰程度;W表示权重

表 8 土壤类指标判断矩阵

	A ₄	B ₄	W
A ₄	1	1	0.5
B ₄	1	1	0.5
$\lambda_{\max} = 2, CI = 0, RI = 0, CR = 0 < 0.1$			

A₄表示土壤含水率;B₄表示土壤厚度;W表示权重

表 9 华山松人工林健康评价指标权重汇总

目标层 A	准则层/一级指标 B 权重	方案层/二级指标 C 权重
华山松人工林健康状况评价指标体系	生产力综合指标 B ₁ (0.331 6)	单位面积蓄积量 C ₁ (0.532 6)
		平均胸径 C ₂ (0.233 6)
		平均树高 C ₃ (0.233 6)
		郁闭度 C ₄ (0.241 4)
		灌木多样性指数 C ₅ (0.083 5)
		草本多样性指数 C ₆ (0.083 5)
	群落结构指标 B ₂ (0.197 2)	草本盖度 C ₇ (0.083 5)
		灌木盖度 C ₈ (0.083 5)
		枯落物厚度 C ₉ (0.035 1)
		群落结构层次 C ₁₀ (0.241 4)
		林下更新密度 C ₁₁ (0.147 8)
		森林病虫害程度 C ₁₂ (0.385 4)
	抵抗力指标 B ₃ (0.331 6)	森林火险等级 C ₁₃ (0.385 4)
		人为干扰程度 C ₁₄ (0.229 1)
	土壤类指标 B ₄ (0.139 4)	土壤含水率 C ₁₅ (0.500 0)
		土壤厚度 C ₁₆ (0.500 0)

计算出各样地健康指数,具体见表 10。

2.3 森林健康评价等级划分

采用张秋根等制定的森林健康等级划分方法对华山松人工林健康等级进行划分^[16],具体划分等级见表 11。

将各样地调查指数与森林健康等级划分范围对比可知:在 16 个调查样地中,15 块样地处于良好健康状态,占总数的 93.75%;1 块处于优质健康状态,占总数的 6.25%;没有处于不健康、亚健康以及健康状态的样地。从总体来看,昆明市国营海口林

表 10 各样地健康指数

样地号	生产力综合指标	群落结构指标	抵抗力指标	土壤类指标	健康指数
1	0.700 1	0.578 6	1.072 6	0.409 4	0.758 9
2	0.953 5	0.516 9	0.902 9	0.403 7	0.773 9
3	0.830 8	0.575 0	1.074 6	0.415 2	0.803 1
4	0.841 1	0.477 8	0.947 1	0.401 0	0.743 0
5	0.886 5	0.488 7	1.035 7	0.410 9	0.791 2
6	1.124 2	0.565 8	0.999 6	0.394 2	0.870 9
7	0.975 1	0.466 6	0.863 4	0.402 4	0.757 6
8	0.874 4	0.550 8	1.043 8	0.370 9	0.796 4
9	0.582 4	0.430 6	1.161 2	0.432 4	0.723 4
10	0.830 2	0.574 1	1.023 4	0.457 4	0.791 8
11	0.926 5	0.528 4	1.100 3	0.442 0	0.838 0
12	0.499 5	0.490 7	1.153 6	0.513 1	0.716 3
13	0.863 4	0.487 7	1.024 1	0.453 8	0.785 3
14	0.871 6	0.543 3	0.986 4	0.455 3	0.786 8
15	0.867 2	0.495 1	1.043 3	0.428 1	0.791 0
16	0.847 3	0.541 3	1.045 0	0.422 4	0.793 0

表 11 森林健康等级划分范围

等级	不健康	亚健康	健康	良好健康	优质健康
健康指数	[0.00, 0.40)	[0.40, 0.55)	[0.55, 0.70)	[0.70, 0.85)	[0.85, 1.00)

场华山松人工林健康状况差异不明显,处于优质健康、良好健康两个健康等级上。所有调查样地的健康指数平均值为 0.782 5,表明海口林场华山松人工林处于良好健康状态。

2.4 森林健康指数与各指标之间的相关性分析

将森林健康指数与各指标做相关性分析,与森林健康指数具有相关性的指标见表 12。

表 12 森林健康指数与指标相关性分析

指标	相关性	显著性
单位面积蓄积量	0.598 *	0.014
平均胸径	0.803 **	0.000
平均树高	0.835 **	0.000
森林病虫害程度	0.538 *	0.019
森林火险等级	0.538 *	0.019

**表示在 0.01 水平上显著;*表示在 0.05 水平上显著

由表 12 可以看出:平均胸径及平均树高这 2 个指标与森林健康指数呈极显著相关性,单位面积蓄积量、森林病虫害程度以及森林火险等级这 3 个指标与森林健康指数呈显著相关性,说明这 5 个因子

是影响华山松人工林健康状况的主要因子。

3 结论与讨论

本研究以昆明市国营海口林场为对象,对华山松人工林健康状况进行评价。

从评价结果看,在16个调查样地中,15块样地处于良好健康状态,占总数的93.75%;1块处于优质健康状态,占总数的6.25%。所有调查样地的健康指数平均值0.7825,因此可以认为海口林场华山松人工林处于良好健康状态。

健康指数与各指标之间的相关性表明:平均胸径、平均树高与森林健康指数呈极显著相关性,单位面积蓄积量、森林病虫害程度、森林火险等级与森林健康指数呈显著相关性,说明这5个因子是影响华山松人工林健康状况的主要因子。

首先,由于试验条件等的限制,有些指标没有纳入到评价指标体系中,这可能会对最终评价结果的科学性造成影响。为了提高评价结果的准确性与科学性,今后的研究需要选择更加合理的指标继续探索。其次,对华山松人工林健康状况的评价只是基于现有数据进行的,时间跨度有限,未考虑其动态发展过程,也没有对其未来健康状况进行预测。为了更加准确地评价森林生态系统健康状况,应该建立固定标准样地,形成对森林生态系统健康的动态考量,建立长效机制。最后,采用层次分析法对各级指标权重进行确定,评价结果可能会受到人为因素的影响。今后的研究中需要尽可能地将人为因素对评价结果的影响降到最低。

参考文献:

[1] 联合国粮农组织.2010年森林资源评估[R].罗马,2011.

- [2] 冯继广,丁陆彬,王景升,等.基于案例的中国森林生态系统服务功能评价[J].应用生态学报,2016,27(5):1375-1382.
- [3] 曹国江.关于森林健康问题的探讨[J].世界林业研究,2008,21(2):76-80.
- [4] 曹立颜,张宇,盖力岩,等.美国的森林动态评价模型及其对中国森林健康评价的启示[J].河北林果研究,2009,24(3):260-263.
- [5] 王兵,马向前,郭洁,等.中国杉木林的生态系统服务价值评估[J].林业科学,2009,45(4):124-130.
- [6] 陈春林.杉木速生丰产林健康与活力评价-以湖南黄丰桥林场为例[D].长沙:中南林业科技大学,2012.
- [7] 姬文元.森林小班水平的川西米亚罗林区云冷杉林群落健康评价[D].北京:北京林业大学,2009.
- [8] 蒋文伟,姜志林,余树全,等.安吉主要森林类型水源涵养功能的分析与评价[J].南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(4):71-74.
- [9] 陈高,代利民,范竹华,等.森林生态系统健康及其评估监测[J].应用生态学报,2002,13(5):605-610.
- [10] 孔红梅,赵景柱,姬兰柱,等.生态系统健康评价方法初探[J].应用生态学报,2002,13(4):486-490.
- [11] 孔惠南.近20年来关于森林作用研究的进展[J].自然资源学报,2001,16(5):407-412.
- [12] 李冰.大兴安岭兴安落叶松林健康评价研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [13] 李金良,郑小贤.北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J].林业资源管理,2001(1):31-34.
- [14] 杨媛媛,陈奇伯,黎建强,等.滇中地区常绿阔叶林土壤酶活性与理化因子通径分析[J].中南林业科技大学学报,2017,37(3):86-91.
- [15] 云南省林业厅.云南林产业主要造林树种培育技术丛书[S].昆明:2015-08-24.
- [16] 张秋根,王桃云,钟全林.森林生态环境健康初步探析[J].水土保持学报,2003,17(5):16-18.