

Ecosystem Health of *Pinus thunbergii* Stand Based on Typical Community Survey in Laoshan Mountain

Pengxiang Lin¹, Lianqiang Li¹, Shimei Li^{1*}, Yongtao Wang², Zhichao Yuan¹

¹College of Landscape Architecture and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong

²Forestry Bureau of Qingdao City, Qingdao Shandong

Email: *li_shimei@163.com

Received: Apr. 3rd, 2018; accepted: Apr. 13th, 2018; published: Apr. 20th, 2018

Abstract

In this study, ecosystem health of *Pinus thunbergii* stand was evaluated based on typical community survey. An evaluation index system was constructed in this paper, and its criterion layer consisted of four elements, *i.e.* vigor, structure, resilience, soil, and its indicators layer included 27 indicators, *e.g.* stand biomass, stand volume, biodiversity, existing litter, soil pH value and diseases and insect pests, etc. Then, the evaluation index system was applied to assess the forest ecosystem health status of 26 sample plots of *Pinus thunbergii* forest in Laoshan Mountain. The results showed that the health plots, sub-health, and unhealthy plots accounted for 11.11%, 74.07%, and 14.81%, respectively. This assessment could provide a significant reference for formulating optimum scheme for sustainable forest management.

Keywords

Pinus thunbergii, Forest Health, Index Evaluation System, Community Survey, Forest Stand

基于典型群落调查的崂山黑松林分健康评价研究

林鹏翔¹, 李连强¹, 李士美^{1*}, 王永涛², 袁志超¹

¹青岛农业大学园林与林学院, 山东 青岛

²青岛市林业局, 山东 青岛

Email: *li_shimei@163.com

收稿日期: 2018年4月3日; 录用日期: 2018年4月13日; 发布日期: 2018年4月20日

*通讯作者。

文章引用: 林鹏翔, 李连强, 李士美, 王永涛, 袁志超. 基于典型群落调查的崂山黑松林分健康评价研究[J]. 林业世界, 2018, 7(2): 54-65. DOI: 10.12677/wjf.2018.72008

摘要

本研究以崂山黑松林分为评价对象, 基于典型群落调查对崂山地区黑松林分健康状况进行了研究。构建了以活力、结构、抵抗力、土壤四个要素为准则层, 涵盖乔木生物量、蓄积量、物种多样性、凋落物现存量、土壤pH值以及病虫害等27指标层的林分级森林健康评价指标体系, 并运用层次分析法确定了各指标权重。利用构建的森林健康评价指标体系, 评价了26个黑松林分典型样地健康水平, 其中健康样地占15.38%, 亚健康样地占73.08%, 不健康样地占11.54%。健康评价成果为制订最佳的可持续经营方案及措施提供参考依据。

关键词

黑松, 森林健康, 评价指标体系, 群落调查, 林分

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态系统健康是系统生态学研究热点之一[1] [2]。森林是陆地生态系统中分布最广、类型最丰富、结构最复杂的生态系统, 在维护全球生态平衡发挥着不可取代的作用。然而, 由于气象灾害、森林火灾、森林病虫害和人类活动等干扰, 森林生态系统的健康受到威胁[3] [4] [5]。20世纪90年代以来, 森林生态系统健康作为林业与生态科学的一个新方向得到重视。2003年, 联合国森林论坛和第12届世界森林大会均把森林健康作为会议的重要专题。当前, 森林健康研究主要集中在以下几个方面: 森林生态系统健康理论与内涵探讨[6] [7]、评价指标体系构建与评价方法研究[8] [9] [10]、案例评价分析等[11] [12] [13]。然而, 现阶段的森林健康研究还存在不足, 如评价指标片面化和评价方法不统一。我国气候地理条件差异很大, 森林类型多样, 单一的经营模式和技术措施难以满足全国森林健康经营的要求, 亟待评价分析典型区域的森林健康状况, 并以评价结果为依据, 探索研究适合不同区域、不同森林类型的森林健康经营模式和技术措施, 更好地指导区域森林健康经营实践。

崂山地处山东半岛东南沿海, 气候属于温带季风大陆性气候, 兼具海洋性气候特征, 植被类型自然分布属华北落叶阔叶林带胶东赤松麻栎林区, 兼具北方和南方地区的特征, 是同纬度地区植物种类最多、组成植被建群种最多的地区。黑松于1894年首次由日本引入青岛崂山, 目前黑松已成为山东半岛主要的森林类型。因而, 以“本土化”的外来树种为研究对象, 开展黑松人工林健康研究具有重要理论和实践意义。在总结前人研究成果的基础上, 本文以崂山黑松人工林为例, 探索山东半岛山地丘陵森林健康评价方法, 在一定程度上可丰富森林健康评价的理论体系, 并有助于明确植被恢复与重建目标, 增进区域森林健康水平。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

崂山位于山东半岛濒临黄海, 地处北纬36°03'~36°24'、东经120°07'~120°43', 最高峰巨峰海拔1133 m。

崂山土壤以黄色砂质土和棕色森林土为主, pH 值 5~7, 呈微酸性; 属暖温带大陆性季风气候, 年平均气温 12.6℃; 年降水量 700~800 mm。

崂山沿垂直方向, 从低到高可分为 3 个植物带: 500 m 以下的黑松、刺槐林, 500~1000 m 落叶松林, 1000 m 以上山地灌丛林。黑松、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林, 在崂山广泛分布。林中常伴生赤松(*Pinus densiflora*)、辽东栎木(*Sibirica Fisch*)、榉(*Schneider zelkova*)、榆(*Ulmus pumila*)、桑(*Morus alba*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)等乔木。灌木有郁李(*Cerasus japonica*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、花木蓝(*Indigofera kirilowii*)、山楂叶悬钩子(*Rubus crataegifolius*)、崖椒(*Rubus crataegifolius*)、黄荆(*Vitex negundo*)、山合欢(*Albizia kalkora*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、鼠李(*Rhamnus davurica*)等。

2.2. 研究方法

本文按照常规群落调查方法, 于 2015 年 5~6 月, 在崂山地区选取黑松树种组成占 80% 以上的林分作为研究对象, 每个林分内随机选取 20 m × 20 m 的样地, 共 26 个样地(表 1); 每个样地内设置 5 个灌木样方、5 个草本样方及 3 个土壤和枯落物样方, 面积分别为: 25 m²、4 m² 和 0.04 m²。通过踏查和走访, 对样地生活状况、人为干扰、病虫害危害程度以及火险等级进行初步的判断和测评。

2.2.1. 评价指标敏感度分析

本研究利用许明祥等提出的敏感性分析法筛选指标因子, 用变异系数的百分比对其敏感度进行分析, 变异系数越大, 指标敏感度越高[14]。敏感度标准见表 2。

通过对 31 个指标的敏感性分析(表 3), 高度敏感指标有乔木均匀度、乔木 Shannon-Wiener 指数、乔木 Simpson 指数以及乔木丰富度等 4 个; 中度敏感指标有草本盖度、灌木盖度、更新丰富度、乔木生物量、群落结构层次以及 pH 值等 23 个; 低敏感指标有郁闭度、灌木 Simpson 指数、灌木均匀度指数 3 个; 不敏感指标土壤含水量。

丰富度指数(Margelf 指数):

$$M = (S - 1) / \ln(N) \quad (1)$$

Shannon-Wiener 指数:

$$H' = -(\sum P_i \ln P_i) \quad (2)$$

Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (3)$$

均匀度指数(Pielou 指数):

$$J_{sw} = -(\sum P_i \ln P_i) / \ln S \quad (4)$$

式中, $P_i = N_i / N$, N_i 是第 i 种的个体数, N 是样地内物种的总个体数。 S 为物种数目。 M 、 H' 、 D 、 J_{sw} 分别是丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、均匀度指数。

2.2.2. 指标体系的建立

经过敏感度分析, 本研究选择敏感度大于 20 的指标建立崂山黑松林健康评价指标体系。以活力要素、结构要素、功能要素以及抵抗力要素作为准则层, 以乔木均匀度、乔木 Shannon-Wiener 指数、乔木 Simpson 指数、乔木丰富度等 27 个实测指标。

Table 1. Basic features of the sample plots
表 1. 标准地基本情况

编号	东经	北纬	海拔(m)	坡向	坡度
1	120°35'08"	36°21'12"	289	东坡	45°
2	120°35'35"	36°21'49"	342	东南	35°
3	120°35'64"	36°21'50"	318	东	32°
4	120°35'28"	36°21'57"	299	东	35°
5	120°35'27"	36°21'58"	307	东	32°
6	120°35'73"	36°21'48"	348	东	20°
7	120°35'36"	36°12'57"	260	东南	20°
8	120°35'44"	36°13'01"	274	西	34°
9	120°35'43"	36°13'03"	286	西北	18°
10	120°35'42"	36°12'50"	350	东南	26°
11	120°35'46"	36°13'2"	270	西南	16°
12	120°35'54"	36°15'55"	350	西	21°
13	120°35'46"	36°12'53"	340	西北	26°
14	120°35'50"	36°12'57"	356	东	39°
15	120°35'46"	36°13'02"	280	东南	20°
16	120°35'50"	36°13'04"	290	西	27°
17	120°35'37"	36°12'57"	250	东南	39°
18	120°35'39"	36°13'02"	270	东南	36°
19	120°35'40"	36°13'03"	280	东南	32°
20	120°35'36"	36°12'52"	210	西	32°
21	120°35'39"	36°12'47"	270	西北	28°
22	120°35'33"	36°12'58"	300	西	30°
23	120°35'35"	36°12'44"	330	东北	33°
24	120°35'39"	36°12'44"	310	东南	31°
25	120°35'36"	36°12'54"	320	东南	36°
26	120°35'33"	36°12'58"	260	北	33°

Table 2. Sensitivity gradation of the synthetical indicators
表 2. 综合指标敏感度分级

指标敏感度	不	低	中	高
变异系数(%)	≤10	10~20	20~90	≥90

Table 3. The indicators sensitivity analysis of the *Pinus thunbergii* forest
表 3. 崂山黑松林指标敏感性分析

指标	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数	敏感度
乔木均匀度指数	0.00	1.73	0.45	0.44	99.46	高
乔木 Shannon-Wiener 指数	0.00	1.20	0.38	0.37	96.41	高
乔木 Simpson 指数	0.00	0.58	0.21	0.20	95.63	高
乔木 Maralef 指数	0.00	0.98	0.30	0.28	94.42	高
草本盖度	0.02	0.75	0.24	0.21	85.96	中
灌木盖度	0.02	0.72	0.28	0.20	69.14	中
更新丰富度	0.00	3.91	1.38	0.89	64.61	中
草本 Maralef 指数	0.40	3.55	1.09	0.62	56.73	中
凋落物现存量	636.00	4650.50	2306.22	1209.63	52.45	中
更新密度(N/hm ²)	560.00	4000.00	1776.92	839.21	47.23	中
蓄积量(hm ² /m ²)	79.2	351.68	169.40	78.70	46.46	中
乔木生物量	1570.78	10400.67	5277.42	2046.36	38.78	中
群落层次结构	1.00	3.00	1.73	0.65	37.78	中
人为干扰	1.00	5.00	3.12	1.12	35.97	中
土壤厚度(cm)	5.00	20.00	11.88	4.26	35.85	中
草本 Shannon-Wiener 指数	0.61	2.48	1.30	0.46	35.66	中
pH 值	4.64	6.43	5.11	1.81	35.42	中
灌木 Maralef 指数	0.59	2.19	1.38	0.46	33.10	中
草本均匀度指数	0.28	1.51	0.76	0.25	32.69	中
乔木生活力	1.00	4.00	2.31	0.72	31.27	中
幼苗平均高(m)	0.92	2.83	1.65	0.46	27.80	中
病虫害	2.00	5.00	3.31	0.91	27.52	中
草本 Simpson 指数	0.27	0.89	0.61	0.17	27.24	中
林分密度	525.00	1775.00	1205.77	324.28	26.89	中
年平均生长量	0.19	0.67	0.41	0.10	24.44	中
森林火灾	1.00	3.00	2.65	0.62	23.23	中
灌木 Shannon-Wiener 指数	0.97	2.41	1.46	0.33	22.51	中
郁闭度	0.49	0.90	0.73	0.12	16.08	低
灌木 Simpson 指数	0.45	0.85	0.68	0.10	15.00	低
灌木均匀度指数	0.56	1.04	0.81	0.10	12.91	低
土壤含水量	0.05	0.25	0.30	0.02	6.67	不敏感

1) 活力要素

本研究选取的生产力主要指标包括：林分蓄积量、胸径年平均生长量、凋落物现存量。

① 蓄积量：一定面积林分内，所有活立木的总材积。其中，黑松材积计算公式[15]：

$$V = 0.010254 - 0.004214D + 0.000331D^2 + 0.00035H + 0.000011D^2H \quad (5)$$

刺槐材积计算公式[16]：

$$V = 7.118 \times 10^{-5} D^{1.9414874} H^{0.8148708} \quad (6)$$

其中， V 乔木蓄积量， D 为胸径， H 为树高。

② 生物量：黑松生物量计算公式[17]：

$$W = 0.1279D^{2.3599} \quad (7)$$

刺槐生物量计算公式[18]：

$$\ln W = -2.895531 + 0.86764 \ln(D^2 H) \quad (8)$$

式中， W 生物量， D 为胸径， H 为树高。

③ 胸径年平均生长量：可表征优势树种的健康状况。用样本树木的平均胸径除以优势树种的平均年龄得到。

④ 凋落物的现存量：用单位面积内凋落物干重表示。

⑤ 生活力：主要通过观察乔木、灌木、草本的生长状况及繁殖能力，将其划分为 3 个等级(表 4)。

⑥ 林分更新力：本研究选取的指标有幼苗多样性、幼苗平均高度、幼苗更新密度。其中，幼苗更新密度计算公式[19]：

$$\text{更新密度(N/hm}^2\text{)} = [\text{株数合计}/(\text{样方面积} \times \text{样方数})] \times 10000 \quad (9)$$

2) 结构指标

结构性指标表征森林生态系统的组成，体现其复杂性、稳定性和多样性。国内森林研究和实践结果表明：森林群落结构越复杂，生物多样性越高，群落稳定性越好，森林越健康[20]。本研究选择了物种多样性、林分密度、盖度及空间结构 4 个不同性质的指标。

① 物种多样性：分别计算乔木层、灌木层、草本层的物种多样性，用于森林健康分析。

② 林分密度

$$\text{林分密度(N/hm}^2\text{)} = (\text{合计乔木株数} \div \text{样方面积}) \times 10000 \quad (10)$$

③ 群落层次结构：根据森林的分层现象，将群落结构分为 3 个等级，赋值如下(表 5)。

3) 土壤指标

选择了土壤厚度、土壤 pH 值作为评价指标。土壤厚度实测获得，土壤 pH 值使用实验室 pH 计测得。

4) 抵抗力指标

抵抗力指标主要包括人为干扰、病虫害、林火等级(表 6、表 7) [21]。

Table 4. The classification of forest vigor

表 4. 森林生活力等级划分

等级	说明
3	营养生长良好，繁殖能力强，生长势非常好
2	中等或正常生活力，生长势一般
1	营养不良，繁殖很差，生长势很不好

Table 5. The classification of forest structure
表 5. 结构等级划分

等级	结构	说明
3	完整结构	具有乔、灌、草和地被层 4 个植被层的森林
2	复杂结构	具有乔木层和其他 1~2 个植被层的森林
1	简单结构	只有乔木 1 个植被层的森林

Table 6. The classification of human disturbance and damages of pest and disease
表 6. 人为干扰强度和病虫害危害程度等级划分

类型	等级	说明
人为干扰	5	无干扰
	4	轻微干扰
	3	中度干扰
	2	干扰较重
	1	严重人为干扰
病虫害危害程度	5	无危害
	4	轻微危害
	3	中等危害
	2	危害较重
	1	危害严重

Table 7. Classification of burning grade of major forest tree species in China
表 7. 中国主要森林树种组燃烧等级划分

分类	主要树种(组)	等级划分
难燃类	榆、槐阔叶混交	一级
可燃类	杨、桦、柳、椴针阔混交	二级
易燃类	松、柏针叶混交林	三级

2.2.3. 崂山黑松林分健康评价

1) 权重的确定

群落调查调查的基础上,以突出黑松林生态功能为出发点,采用层次分析法(AHP)分别为准则层、指标层赋予权重。基于群落调查崂山黑松林分健康评价指标体系及指标权重(表 8)。

运用层次分析法计算权重的基本操作方法:

- ① 分析系统各要素相关关系,建立递阶层次结构。
- ② 对同一层次上各要素构建判断矩阵并进行两两比较。比较的结果用一下标度表示。
- ③ 计算各要素重要性系数。
- ④ 一致性检验。检验结果如表 9。

综述上表,准则层与指标层一致性检验均小于 0.1,说明准则层权重具有满意的一致性,可用于建立森林健康评价体系。

Table 8. Scale definition table
表 8. 标度定义表

标度	含义
5/5	两因素同等重要
6/4	两因素另一个稍有优势
7/3	两因素另一个比较有优势
8/2	两因素另一个十分有优势
9/1	两因素另一个绝对有优势

Table 9. The CR value of the consistency test for different judgment matrix
表 9. 不同判断矩阵一致性检验指标 CR 值

项目	准则层	活力指标	结构指标	土壤指标指标	抵抗力指标
CR 值	0.0969	0.0971	0.0977	0	0.0697

2) 无量纲化处理

本研究所选指标因子中，有值越大越好的指标，也有越小越好的指标，并且各个指标之间的量纲亦是不同，无法用于直接比较。本研究采用标准化对各个指标因子进行无量纲化处理，公式如下：

$$C' = C / \max(C_n) \quad (11)$$

式中， C' 为标准化后数据； C 为实测数据； $\max(C_n)$ 为某指标在该项指标中的最大值。

本研究采用综合指数法对崂山黑松林分进行健康评价[22]，公式：

$$HI = \sum E_i \times w_i \quad (12)$$

式中， HI 为森林健康综合指数； E_i 各分项指标值； w_i 各分项权重。

3. 结果与分析

3.1. 崂山黑松林健康评价指标体系

本研究以崂山黑松林为研究对象，采用敏感度分析法筛选、构建黑松林分级森林健康评价指标体系(表 10)，该体系包括活力要素、结构要素、土壤要素和抵抗力要素 4 个准则层和 27 个指标层，并利用层次分析法确定不同指标层的权重。该指标体系的优点是对结构、活力因素考虑全面，其权重总和高达 0.85 以上。总的来说该指标体系在一定程度上符合崂山黑松林分的健康评价要求，对林分级森林健康评价有一定的指导意义。

3.2. 崂山黑松林健康评价综合指数

本研究利用建立的崂山黑松林分健康评价指标体系，对崂山 26 个黑松典型样地进行了评价，得出黑松林分健康综合指数如表 11。

3.3. 崂山黑松林健康评价结果

3.3.1. 黑松林分健康隶属度

根据以上评价结果以和指标体系，在整理、分析国内森林健康分级结果的基础上，应用结构功能指示法[23]，构建了崂山黑松林分健康等级划分标准(表 12)。

Table 10. Index system and weight of health evaluation for *Pinus thunbergii* forest in Laoshan Mountain
表 10. 崂山黑松林健康评价指标体系及权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
森林健康评价	活力	0.6062	乔木生活力	0.1091
			蓄积量	0.1376
			乔木生物量	0.1401
			凋落物现存量	0.0141
			年平均生长量	0.1084
			更新丰富度	0.0357
			更新密度	0.0326
			幼苗平均高	0.0286
			结构	0.2443
	灌木 Simpson 指数	0.0174		
	乔木 Simpson 指数	0.0289		
	草本 Maralef 指数	0.0035		
	灌木 Maralef 指数	0.0109		
	乔木 Maralef 指数	0.0306		
	草本均匀度指数	0.0049		
	乔木均匀度指数	0.0316		
	草本 Simpson 指数	0.0054		
	乔木 Simpson 指数	0.0316		
	林分密度	0.0081		
	草本盖度	0.0038		
	灌木盖度	0.0099		
	群落层次结构	0.0523		
	土壤	0.0438	土壤厚度	0.0389
			pH 值	0.0523
	抵抗力	0.1057	森林火灾	0.0211
			人为干扰	0.0777
				病虫害

Table 11. Health indexes of *Pinus thunbergii* forest in Laoshan Mountain
表 11. 崂山黑松林健康指数

样本	活力	结构	土壤	抵抗力	综合指数
1	0.2137	0.0293	0.0019	0.0094	0.2543
2	0.2443	0.0393	0.0010	0.0094	0.2940
3	0.1887	0.0193	0.0009	0.0060	0.2149
4	0.1717	0.0275	0.0015	0.0094	0.2101

Continued

5	0.1566	0.0197	0.0009	0.0076	0.1848
6	0.1889	0.0315	0.0009	0.0094	0.2307
7	0.1904	0.0390	0.0012	0.0094	0.2400
8	0.1421	0.0369	0.0013	0.0092	0.1895
9	0.1781	0.0349	0.0015	0.0060	0.2204
10	0.2139	0.0270	0.0002	0.0110	0.2521
11	0.2804	0.0402	0.0010	0.0091	0.3307
12	0.2056	0.0209	0.0014	0.0094	0.2373
13	0.1968	0.0199	0.0011	0.0058	0.2236
14	0.1647	0.0262	0.0015	0.0076	0.2000
15	0.1660	0.0311	0.0006	0.0051	0.2027
16	0.2829	0.0388	0.0015	0.0063	0.3294
17	0.1838	0.0381	0.0019	0.0061	0.2299
18	0.2941	0.0438	0.0014	0.0086	0.3480
19	0.1923	0.0523	0.0010	0.0078	0.2533
20	0.1747	0.0482	0.0019	0.0069	0.2317
21	0.1846	0.0401	0.0009	0.0034	0.2290
22	0.1852	0.0333	0.0009	0.0095	0.2289
23	0.1514	0.0262	0.0009	0.0042	0.1827
24	0.1817	0.0267	0.0011	0.0095	0.2191
25	0.1795	0.0181	0.0007	0.0076	0.2060
26	0.0584	0.0103	0.0009	0.0031	0.0728

Table 12. Classification of forest health grade membership

表 12. 森林健康等级隶属度划分

等级	不健康	亚健康	健康	良好健康	优质健康
健康指数	[0,0.2)	[0.2,0.3)	[0.3,0.6)	[0.6,0.8)	[0.8,1)

3.3.2. 健康评价结果

根据评价统计结果可知, 26 个样地中处于不健康的样地有 4 个, 分别是 5、8、23、26 占总样地的 15.38%, 其均值 0.1574; 亚健康的样地为 19 个, 分别是 1、2、3、4、6、7、9、10、12、13、14、15、17、19、20、21、22、24、25 占总数的 74.08%, 均值为 0.2304。处于健康状态的样地有 3 个, 分别是 11、16、18 占总数的 11.54%。总体而言, 崂山黑松林处于亚健康状态, 其健康均值 0.2314。结合野外实地调查, 健康指数基本反映了各样地的健康状况, 说明建立的林分级健康评价指标可靠。

4. 讨论

本研究以崂山黑松林为研究对象, 采用敏感度分析法筛选、构建黑松林分级森林健康评价指标体系, 该体系包括活力要素、结构要素、土壤要素和抵抗力要素 4 个准则层和 27 个指标层。该指标体系的优点

是对结构、功能因素考虑全面, 适合崂山黑松林分的健康评价要求, 对林分级森林健康评价有一定的指导意义。胥平等构建了对川中丘陵区人工柏木纯林健康评价指标体系, 其中包括结构性、功能性、适应性和环境因子 4 大类 15 个指标, 评价得出人工柏林亚健康林分占绝大多数[24]。该评价指标体系基本与本研究的指标体系相吻合, 同样侧重于活力、结构、抵抗力与环境因素的研究, 其分析结果也有一定的一致性。从而总结出:

健康等级黑松林分, 群落结构层次复杂, 乔、灌、草均较丰富, 郁闭度大多 0.8 以上, 抗人为干扰、病虫害能力强, 更新能力强, 具有更强的稳定性、弹性以及适应性; 亚健康黑松林分群落结构较复杂, 灌木或草本丰富, 人为干扰、抗病虫害能力中等; 不健康的黑松林分, 群落结构复单一, 物种多样性相当差, 抗干扰能力弱, 有机质含量低, 土层薄。

针对影响崂山黑松林分健康的人为和自然因素。管理部门应对崂山黑松林的树种分布进行适当的调整, 增强黑松林分的活力和抵抗力; 注重抚育间伐的力度, 减少病虫害的发生。同时, 加强大力倡导生态旅游提高市民的环保意识, 只有采取以上措施才能使不健康或亚健康的黑松林朝着健康的方向转变。

本文在研究有待提高和改善的内容如下: 本研究由于时间仓促没有进行土壤中 N、P、K 及有机质含量测定, 也是次研究最大的遗憾; 所以选择的指标主要为群落样地调查能获得的自然指标, 缺少反映社会经济指标, 此指标也是以后研究的热点。

致 谢

大学生科技创新项目(国家级 201610435062、校级 2017-434)参与人李晓刚、李航航、谢晓阳、尹孟晓等同学也参与了本项目的野外调查工作, 一并致谢。

基金项目

山东省高等学校科技计划项目(J14LF04); 国家级大学生科技创新项目(201610435062); 青岛农业大学高层次人才科研基金(631322)和实验技术研究课题(SYJK17-07)。

参考文献

- [1] Costanza, R. (2012) Ecosystem Health and Ecological Engineering. *Ecological Engineering*, **45**, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.023>
- [2] 杨斌, 隋鹏, 陈源泉, 等. 生态系统健康评价研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 291-296.
- [3] Percy, K.E. and Ferretti, M. (2004) Air Pollution and Forest Health: Toward New Monitoring Concepts. *Environmental Pollution*, **130**, 113-126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.10.034>
- [4] Wang, Y.H., Solberg, S., Yu, P.T., et al. (2007) Assessments of Tree Crown Condition of Two Masson Pine Forests in the Acid Rain Region in South China. *Forest Ecology and Management*, **242**, 530-540. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.065>
- [5] 桂子凡, 张贵. 中国森林健康风险研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(13): 1-5.
- [6] Raffa, K.F., Aukema, B., Bentz, B.J., et al. (2009) A Literal Use of "Forest Health" Safeguards against Misuse and Misapplication. *Journal of Forestry*, **107**, 276-277.
- [7] 高广磊, 信忠保, 丁国栋, 等. 基于遥感技术的森林健康研究综述[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1675-1689.
- [8] Bennett, D.D. and Tkacz, B.M. (2008) Forest Health Monitoring in the United States: A Program Overview. *Australian Forestry*, **71**, 223-228. <https://doi.org/10.1080/00049158.2008.10675039>
- [9] Tkacza, B., Moody, B., Castillo, J.V., et al. (2008) Forest Health Conditions in North America. *Environmental Pollution*, **155**, 409-425. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.03.003>
- [10] 袁菲, 张星耀, 梁军. 基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 964-973.
- [11] Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., et al. (2016) Ecosystem Health Assessment Based on DPSIRM Framework and Health

Distance Model in Nansi Lake, China. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, **30**, 1235-1247.
<https://doi.org/10.1007/s00477-015-1109-2>

- [12] 田耀武, 黄志霖, 肖文发, 等. 基于物元模型和小班尺度的兰陵流域森林生态系统健康评价[J]. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1458-1464.
- [13] Ishtiaque, A., Myint, S.W. and Wang, C. (2016) Examining the Ecosystem Health and Sustainability of the World's Largest Mangrove Forest Using Multi-Temporal MODIS Products. *Science of the Total Environment*, **569-570**, 1241-1254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.200>
- [14] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1843-1848.
- [15] 杨传强, 张金良, 孟凤芝, 等. 山东省松类二元材积表的研制[J]. 山东林业科技, 2012, 42(3): 90-92.
- [16] 王太勤, 王建体, 张鹏. 刺槐杨树一元材积表及平均形数法适用性检验[J]. 山东林业科技, 1993(4): 43-46.
- [17] 张旭东, 吴泽民, 彭镇华. 黑松人工林生物量结构的数学模型[J]. 生物数学学报, 1994(S1): 60-65.
- [18] 王晓丽, 王媛, 石洪华, 等. 山东省长岛县南长山岛黑松和刺槐人工林的碳储量[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1263-1268.
- [19] 邓硕坤. 桂西南红锥和马尾松人工林中红锥天然更新的研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 广西大学, 2013.
- [20] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 79-82.
- [21] 李艳梅, 王静爱, 雷勇鸿, 等. 基于承灾体的中国森林火灾危险性评价[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2005, 41(1): 92-96.
- [22] 于金涛, 雷静品, 王鹏程, 等. 柘归县防护林健康评价指标体系建立及应用研究[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2094-2104.
- [23] 孔红梅, 赵景柱, 马克明, 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.
- [24] 胥平, 慕乘, 龚固堂, 等. 川中丘陵区人工柏木林健康评价[J]. 四川林业科技, 2016, 37(2): 4-11.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2169-2432, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
 左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
 期刊邮箱: wjf@hanspub.org