

北京市八达岭林场景观型水源涵养林健康评价研究

汪加魏, 于丹丹, 尹 群, 贾忠奎*

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护重点实验室, 北京 100083)

摘 要:运用森林健康的相关理论与技术,采用分层评价的指标分值法评价森林健康,一级指标及其下的基本指标均采用等权分配权重的评价方法;分别于2004年和2012年对北京市八达岭林场的16块标准样地进行了森林健康评价指标的调查、量化和测定,2004年调查了13个基本指标,2012年调查了24个基本指标,共涉及到生物多样性、生态功能、抵抗力、生产力(活力)、效益、土壤状况等6个一级指标;对林分各指标逐项进行数量化或评分(定性指标数量化,定量指标标准化),计算出森林健康指数 *HCI* 来评价八达岭林场的森林健康状况。结果表明,森林在2012年的 *HCI* 为60.33(13个指标;亚健康),仅比2004年(13个指标 *HCI* = 60.25;亚健康)提高了0.09(0.15%);16块标准地中10个林分的 *HCI* 有升高趋势,其中侧柏-黄栌(提高了29.13%)、西沟糠段林(提高了21.80%)、西沟油松林(提高了18.57%)等标准地的森林健康质量提高明显;但有6个林分的健康水平有明显下降趋势,特别是西沟元宝枫林(下降了21.20%)、西沟黑桦林(下降了23.49%)、西沟核桃楸林(下降了31.15%)等森林健康的质量下降明显。总体上看,森林质量较稳定,但健康质量不容乐观,仍处于亚健康状态(24个指标评价 *HCI* = 59.47;2012年),需要林场及时采取生态疏伐、景观疏伐、补植补造、封山育林等经营技术措施改善林分质量,提高森林的健康等级,充分发挥八达岭林场森林的效益。

关键词:森林健康评价;八达岭林场;景观型;水源涵养

中图分类号:S718.57 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)01-0233-07

Forest Health Evaluation for Landscape Type of Water Conservation in Badaling Forest Farm in Beijing

WANG Jia-wei, YU Dan-dan, YIN Qun, JIA Zhong-kui*

(Laboratory for Silviculture and Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:Based on the relevant theory and technology of forest health, index scoring of the hierarchical evaluation method was adopted to calculate the health comprehensive index (*HCI*) to judge the health situations. Sixteen standard plots in Badaling Forest Farm were sampled to accomplish the survey and test for forest health evaluation indicators in 2004 and 2012, in which 13 indicators were determined in 2004, and 24 in 2012. The indicators included 6 top categories that concerned with biological diversity, ecological function, resistibility, prolificacy, effectiveness, and soil conditions. The status on forest health was evaluated by *HCI* with value-indicators and weighted average in the farm. The results indicated that *HCI* in 2012 was 60.33 (related to 13 indices, belonging to ordinary-health), 0.09 higher than that in 2004 (*HCI* = 60.25, ordinary health) increased only by 0.15%. In general, quality of forest increased obviously in 10 stands, however, in other 6 stands, the quality tended to decrease obviously. As a whole, forest quality

收稿日期:2014-03-20 修回日期:2014-06-20
基金项目:国际科技合作项目“中美森林健康合作试验示范项目监测”(2009DFA92900),中央财政林业科技推广示范资金项目“北京市低山区景观型生态公益林抚育技术模式示范与推广项目”([2011]44号)。
作者简介:汪加魏,男,硕士研究生,研究方向:森林培育。E-mail:wjw_bjfu@163.com
*通信作者:贾忠奎,男,副教授,研究方向:森林培育。E-mail:jiazk@bjfu.edu.cn

was stable, however, it belonged to sub-healthy ($HCI=59.47$ in 2012 for 24 indices). So, it is necessary to take measures to improve the health quality of forest stands in the arm, including ecological thinning, landscape thinning, replanting complement, and regional closure for afforestation.

Key words: forest health evaluation; Badaling Forest Farm; landscape type; water conservation forest

北京市八达岭林场位于北京市延庆县境内,距市区 60 km,东北部毗邻延庆县,南接昌平区,西部与河北省怀来县接壤,全场总面积 2 939.8 hm²,其中生态公益林 2 854.2 hm²。主要乔木树种有油松、侧柏、山杏和椴树,主要灌木树种为荆条。林场内阔叶林地 360 hm²,针叶林 1 478 hm²,针阔混交林 52.2 hm²,灌木林地 1 003.5 hm²,是北京市重要的景观型水源涵养林^[1-2]。

森林健康的监测和评价是了解森林健康状态的重要手段^[3],并将森林健康作为森林状况评估和森林资源管理的标准^[4-7]。目前,北京市八达岭林场森林健康的评价与研究逐渐增多^[1-3,8-10],对该地区森林进行健康经营的主要目的为:保护长城周

边森林景观稳定性;协调生态旅游开发和保护森林的关系;在确保人们亲近自然等需求的同时,保持景区内森林各种功能的健康运行^[15]。

1 八达岭林场的样地类型

在八达岭林场选择具有代表性、生长正常的刺槐残次林、侧柏-黄栌林、西沟油松林、西沟刺槐林、油松林、华山松林、杂木林、元宝枫林、白梨林、糠椴林、黑桦林、椴木林、核桃楸(*Juglans mandshurica*)林、华北落叶松林等林分共 16 块,设定固定样地并进行森林健康指标的监测;这 16 个类型的样地能比较客观而全面的反映八达岭林场森林的总体状况(表 1)。

表 1 八达岭森林健康示范样地基本信息
Table 1 Information of 16 standard sample plots in Badaling Forest Farm

样地号	地点	面积/m ²	海拔/m	坡向	坡度/(°)	主要乔木	主要灌木
1	刺槐残次林	20×20	615	阳坡	40.0	刺槐(<i>Robinia pseudocacacia</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、元宝枫(<i>Acer trunbretschneideri</i>)	酸枣(<i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>)、荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)
2	侧柏-黄栌	20×50	670	阳坡	20.5	侧柏、黄栌(<i>Cotinus coggygia</i>)	—
3	西沟油松林	30×30	676	阴坡	20.0	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)、辽东栎(<i>Quercus wutaishanica</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	—
4	西沟刺槐	20×30	670	阴坡	30.0	刺槐、丁香(<i>Syzygium aromaticum</i>)、小叶朴(<i>Celtis bungeana</i>)	—
5	西沟油松	20×50	703	阴坡	0	油松、黑榆(<i>Ulmus davidiana</i>)	毛叶丁香(<i>Syringa tomentella</i>)
6	西沟华山松	20×30	669	阳坡	0	华山松(<i>Pinus armandii</i>)、榆树	荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)
7	西沟杂木林	20×30	748	阳坡	32.0	榆树、山杏(<i>Armeniaca sibirica</i>)、丁香	绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)、锦鸡儿(<i>Caragana sinica</i>)
8	西沟元宝枫	30×30	650	阳坡	28.0	元宝枫(<i>Armeniaca sibirica</i>)、油松	—
9	西沟白梨林	20×40	732	阳坡	13.5	油松、白梨(<i>Pyrus bretschneideri</i>)	绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)、荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)
10	西沟糠椴林	20×30	848	阴坡	22.0	糠椴(<i>Tilia mandshurica</i>)、丁香	鼠李(<i>Rhamnus davurica</i>)、绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)
11	西沟黑桦林	20×30	1166	阴坡	16.0	黑桦(<i>Betula dahurica</i>)	六道木(<i>Abelia biflora</i>)、绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)
12	西沟椴木林	20×30	1166	阴坡	16.0	五角枫(<i>Acer mono</i>)、黑桦	六道木(<i>Abelia biflora</i>)
13	西沟油松林	30×30	630	阳坡	28.0	元宝枫(<i>Acer truncatum</i>)、油松	荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)
14	贵州亭油松林	20×20	781	阳坡	26.0	油松	绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)、荆条(<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>)
15	西沟华北落叶松	20×30	973	阴坡	18.0	华北落叶松(<i>Larix principis-rupprechtii</i>)	柔毛绣线菊(<i>Spiraea pubescens</i>)、三桠绣线菊(<i>Spiraea trilobata</i>)
16	西沟核桃楸林	20×20	1023	阴坡	22.0	黑桦	溲疏(<i>Deutzia scabra</i>)、绣线菊(<i>Spiraea salicifolia</i>)

注:“—”代表响应的林地内无主要灌木层或灌木树种。

2 水源涵养林的森林健康评价体系

2.1 评价指标

建立指标体系是森林健康评价的重要内容,北京市八达岭林场的森林类型为景观型水源涵养林,在景观型水源涵养林的森林健康评价中,不仅需要遵循森林充分发挥生态效益、经济效益和社会效益的原则,更需要重点突出森林的景观效益和水源涵养功能。所以北京市八达岭林场景观型水源涵养林森林健康评价指标体系须满足以下 7 个原则^[2,14]:1)主导功能与其他功能兼顾的最优化的原则;2)近天然林结构原则;3)具有较高的稳定性和丰富的生物多样性原则;4)水源涵养能力强的原则;5)碳汇能力强的原则;6)生态效益与经济效益协调发展原则;7)可持续经营原则。森林健康的评价单元为森林资

源二类调查区划的小班,能从森林生物多样性(是指森林群落生物组成结构的多样性程度,包括 α 多样性、β 多样性、γ 多样性,主要衡量指标为多样性指数;主要体现 1、3 原则)、生态功能(主要指森林群落的涵养水源、保持水土、防风固沙等方面的生态功能;主要体现 1、4、5、7 原则)、抵抗力(主要指森林群落抵抗病虫害、火灾等自然或人为灾害的能力;主要体现 2、7 原则)、生产力(主要指森林群落的生产与再生能力或活力;主要体现 5、6、7 原则)、效益(包括社会、生态、景观、经济效益;主要体现 1、6、7 原则)、土壤状况(主要指森林群落的土壤的理化性质及相关指标;主要体现 1、4、5 原则)等 6 个方面综合评价森林的健康程度,评价指标体系共包括 6 个类别共 24 个基本指标。在 24 个指标中有 14 个正效应指标,4 个负效应指标,6 个定性指标(表 2)。

表 2 森林生态系统健康评价指标体系

Table 2 Forest health evaluation system in forest ecosystem

一级指标(共 6 个)		基本指标(共 24 个)
生物多样性	灌木和草本 Simpson 指数(+)、灌木和草本 Shannon 指数(—)、起源(※)、林分乔木密度(株·hm ⁻²)(+)	
生态功能	最大持水率(%) (+)、凋落物厚度(cm)(+)、森林郁闭度(+)、碳储量(t·hm ⁻²)(+)	
抵抗力	人为干扰(※)、火险指数(—)、枯病率(株·hm ⁻²)(—)	
生产力(活力)	蓄积量(m ³ ·hm ⁻²)(+)、生物量(t·hm ⁻²)(+)、胸径(cm)(+)、林下更新(株·hm ⁻²)(+)、树高(m)(+)	
土壤状况	空隙状况(非毛管孔隙/总孔隙)(+)、有机质(g·kg ⁻¹)(+)、pH(※)	
效益	森林游憩质量(※)、森林净化功能(※)、提供林木产品(※)	

注:“+”代表正效应指标;“—”代表负效应指标;“※”代表定性指标。

2.2 指标调查和计算

1)Simpson 多样性指数

$$P=1-\sum_{i=1}^s P_i^2 \tag{1}$$

式中: P_i 为种 i 的重要值; S 为样地内所有物种种数^[18]。

2)Shannon-wiener 指数

$$H'=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \tag{2}$$

3)起源:亦称林分起源或林分成因,指森林形成的方式,也就是森林的繁殖方式。分为天然林(天然实生、天然萌生)和人工林(植苗实生、播种实生)。

4)林分乔木密度:单位面积上乔木层树木株数。

5)土壤最大持水率:采用换到取土测定或用土壤水分测定仪测定土壤持水量。

6)凋落物厚度:卷尺测量处于腐殖质以上掉落物的厚度,样地东、西、南、北、中五个方位随机抽取五个点计算均值。

7)森林郁闭度:在调查测线上用树冠垂直投影压线法测定,即以径级 5 cm 以上的林木树冠垂直投影压线总长(点数)与测线总长(点数)之比计算,以十分法表示。该指标由森林二类调查的数据获得。

8)碳储量:单位面积上通过碳汇功能储存在森

林生态系统(树木、土壤等)中的碳储存量。

9)人为干扰:以人类活动范围占森林面积的比例,以及人为对森林进行的砍伐、修枝、火烧等干扰和破坏的程度来衡量人为干扰强度。

10)火险指数:森林火险等级根据森林群落主要树种燃烧类型和林下枯落物厚度共同来确定,北京森林主要树种燃烧类型:难燃型、可燃型、易燃型。

11)枯病率:单位面积森林上感染病害或枯死树木(主要乔木)的株数。

12)蓄积量:采用平均标准木法;林分蓄积量 $V=H_{\text{标}} \cdot (D_{1/2}/D_{1.3})^2 \cdot \sum^G$ (3) 式中: $H_{\text{标}}$ 为标准木树高(m)、 D 为直径、 \sum^G 为林分总断面积。

13)生物量:用收获法测定森林群落的生物量,为乔木、灌木、草本的总生物量之和。主要树种生物量 Q_1

Q_1 = 样地面积 × 株数 × 标准木生物量 (4) 式中:标准木生物量 = \sum 各部分干重 × 5。

灌木生物量 Q_2 $Q_2 = \sum \frac{\text{测得各部分干重} \times 5}{\text{样方面积}(5 \times 5)} \times \text{样地面积}$ (5) 草本植株生物量 Q_3

$$Q_3 = \sum \frac{\text{测得各部分干重} \times 5}{\text{样方面积}(1 \times 1)} \times \text{样地面积} \quad (6)$$

枯落物的生物量 Q_4

$$Q_4 = \sum \frac{\text{测得各层枯落物干重} \times 5}{\text{样方面积}(1 \times 1)} \times \text{样地面积} \quad (7)$$

14)胸径:林分胸高直径,以距地面 1.3 m 处树干断面的直径表示,精度到 0.1 cm。

15)林下更新,单位面积有效更新株数。

16)树高:测高测距仪测定树木高度。

17)土壤空隙状况:用环刀取土,烘干、吸水,测定土壤孔隙度,计算相对孔隙度。

18)土壤有机质:用重铬酸钾(外加热法)测定^[20]。

表 3 森林健康定性指标分级标准

Table 3 Standards of health indicator classification

定性指标	等级与分值		
	I (8,10]	II (6,8]	III [0,6]
起源	植苗实生、播种实生	天然实生、天然萌生	只有乔木为 6 分;只有灌木为 4 分;只有草本为 2 分
人为干扰	无干扰或促进干扰	轻微干扰或无效干扰	轻度负效干扰 6 分,中度负效干扰 3 分,极度破坏 0 分
森林游憩质量	优良	中	差
森林净化功能	保持水土;固碳释氧	保持水土	涵养水源
提供林木产品	种类极多,产量极大	种类多产量中等或种类中等产量大	种类和产量中等 6 分,产量少种类多或产量大种类少 3 分,产量和种类都很少 1 分
pH	[6.5,7.5]	[5.5,6.5]或[7.5,8.5]	[4.5,5.5]或[8.5,9.5]5 分,[3.5,4.5]或[9.5,10.5]1 分,其他 0 分

2.3 评价方法

评价指标分为一级指标和基本指标 2 个层次,设一级指标之间相互独立,采用等权分配权重,各一级指标下的基本指标之间也相互独立,等权分配权重。采用指标分层法评价森林健康,对林分各指标逐项进行数量化或评分(定性指标数量化,定量指标标准化),按式(8)计算各林分的森林健康指数 $HCI \in [0,100]$ ^[8,12-13]。

$$HCI = \sum_{i=1}^n S_i' \times K_i \quad (8)$$

式中: $S_i' = \sum_{j=1}^m S_{ij}' \times K_j$, n 为一级指标总个数, m 为各一级指标下的基本指标个数; S_i' 为一级指标中第 i 项数据, S_{ij}' 各一级指标下第 j 项基本指标中心化数值; K_i 为一级指标第 i 项的权重值; K_j 为各一级指标下第 j 项基本指标的权重。

因为评价指标体系的各参评因子(指标)来自不同的方面,各指标数据间的量纲不统一,没有可比性,必须对参评因子进行量化处理,用标准化方法来解决参数间不可比性的问题,标准化后再按照公式(8)计算出 HCI ^[8,13]。正效应指标和定性指标的标准化方法见公式(9);负效应指标的标准化方法见公式(10)。

$$S_j' = \left[\frac{S_j}{\text{Max}(S)} \right] \times 100 \quad (9)$$

19)pH:采用 pH 测定仪或酸碱指示比色卡测定土壤 pH 值。

20)森林游憩质量:森林为人类提供观光、旅游、休闲等观感或精神享受的满意程度。

21)森林净化功能:森林生态系统能净化空气、保持水土、调节气候等重要生态功能。

22)提供林木产品:森林能为人类提供木材、燃料、工业原料、医药材料等林木产品。

由于评价指标中有部分定性指标,需要将其转化为定量数值后再进行标准化处理,将以下 6 个定性指标分为 I 级(8,10]分、II 级(6,8]分、III 级[0,6]分(表 3)。

$$S_j' = \left[1 - \frac{S_j}{\text{Max}(S)} \right] \times 100 \quad (10)$$

式中: S_j 为基本指标数值; S_j' 为基本指标中心化后数值; $\text{Max}(S)$ 为某个基本指标在 16 块样地中的最大值。

把森林健康的等级划分为:健康、较健康、亚健康和不健康 4 个等级^[14-18](表 4)。根据以上评价方法和指标体系,按照公式(8)、(9)、(10)计算出各林分的 HCI ,依次对比出各林分的健康等级。

表 4 森林健康等级划分标准

Table 4 Standards of ranks on forest health

项目	健康等级			
	健康	较健康(中等健康)	亚健康	不健康
HCI	(70,100]	(60,70]	(40,60]	[0,40]

3 八达岭林场森林健康评价

3.1 森林健康指标调查

2004 年对八达岭 16 块标准地的 13 个基本指标进行了调查,按照森林健康评价体系,13 个基本指标涉及到生物多样性、生态功能、抵抗力、生产力等 4 个一级指标(表 5)。2012 年再对这 16 块标准地进行复查,共调查了森林生物多样性、生态功能、抵抗力、生产力(活力)、效益、土壤状况等 6 个一级指标共 24 个基本指标(表 6)。

表 5 2004 年八达岭森林健康指标调查

Table 5 Survey of forest health indicators in Badaling Forest Farm in 2004

	样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
生物多样性	灌 Simpson 指数	0.70	0.75	0.78	0.71	0.77	0.00	0.73	0.87	0.35	0.87	0.71	0.60	0.73	0.76	0.53	0.58
	灌 Shannon 指数	1.61	1.54	1.87	1.63	1.70	0.00	1.62	2.29	0.76	2.21	1.53	1.21	1.46	1.67	1.13	1.30
	草 Simpson 指数	0.48	0.35	0.57	0.85	0.90	0.71	0.49	0.82	0.82	0.88	0.76	0.37	0.58	0.77	0.71	0.78
	草 Shannon 指数	1.14	0.89	1.06	2.42	2.59	1.33	0.92	1.98	1.90	2.42	1.85	0.90	1.16	1.81	1.76	1.86
	起 源	人工	人工	人工	人工	人工	人工	天然	人工	天然	天然	天然	天然	人工	人工	人工	天然
生态功能	乔木密度 /(株·hm ⁻²)	5 200	1 625	1 144	1 117	656	1 067	1 400	1 600	1 844	825	3 725	3 350	575	283	2 100	225
	森林郁闭度	0.30	0.90	0.85	0.50	0.90	0.90	0.60	0.85	0.80	0.95	0.95	1.00	0.70	0.90	0.60	0.80
	碳储量 /(t·hm ⁻²)	5.20	14.80	178.50	2.10	125.30	7.00	3.50	42.70	5.60	7.40	2.00	3.90	47.40	210.80	12.60	9.10
抵抗力	枯病率 /(株·hm ⁻²)	0	75	44	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	0	0	0
生产力	蓄积量 /(m ³ ·hm ⁻²)	26.00	9.75	35.48	46.90	45.89	30.33	21.00	79.50	9.22	36.30	18.50	38.23	23.58	15.87	45.68	20.48
	生物量 /(t·hm ⁻²)	11.20	29.00	336.30	4.41	236.00	12.80	4.70	85.30	2.10	14.80	4.00	7.80	94.80	397.10	24.20	20.20
	胸径/cm	5.38	4.40	14.74	4.94	15.26	7.57	7.18	13.99	4.09	7.96	3.66	6.32	11.23	13.42	10.38	15.70
	树高/m	2.66	3.40	6.93	3.70	7.65	6.13	3.60	9.59	3.42	4.46	2.48	5.26	6.99	7.07	7.88	11.67

表 6 2012 年八达岭森林健康指标复查

Table 6 Re-survey of forest health indicators 2012

	样地号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
生物多样性	灌 Simpson 指数	0.75	0.82	0.68	0.84	0.82	0.62	0.78	0.83	0.41	0.67	0.74	0.81	0.26	0.88	0.84	0.58
	灌 Shannon 指数	1.59	1.99	1.40	2.03	2.15	1.22	1.81	1.92	0.72	1.47	1.58	1.80	0.59	1.76	2.20	1.20
	草 Simpson 指数	0.87	0.91	0.72	0.90	0.08	0.82	0.78	0.80	0.77	0.80	0.60	0.88	0.78	0.58	0.67	0.83
	草 Shannon 指数	4.42	2.57	1.71	2.68	0.25	1.99	1.75	2.04	1.78	2.16	1.13	2.42	1.79	1.53	1.45	2.18
	起 源	人工	人工	人工	人工	人工	人工	天然	人工	天然	天然	天然	天然	人工	人工	人工	天然
生态功能	乔木密度 /(株·hm ⁻²)	2 100	3 675	467	733	311	683	1 525	1 067	800	2 525	1 825	1 775	2 375	633	1 375	300
	最大持水率/%	287	100	162	97	162	214	164	138	122	145	202	168	138	130	203	248
	凋落物厚度/cm	6	9	15	8	18	10	15	11	12	11	13	10	8	16	11	11
	森林郁闭度	0.35	0.90	0.85	0.50	0.90	0.90	0.60	0.90	0.80	0.95	0.95	0.95	0.70	0.90	0.60	0.80
	碳储量 /(t·hm ⁻²)	4.20	19.80	222.80	16.40	165.20	7.00	5.70	29.30	8.30	67.10	43.70	15.20	107.80	240.00	23.40	8.90
抵抗力	人为干扰	轻微	无效	无效	促进	轻微	无效	促进	轻微	无效	促进	促进	促进	无效	负效	轻微	促进
	火险指数	0.20	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.20	0.10	0.10
	枯病率 /(株·hm ⁻²)	0	0	0	0	0	0	0	33	0	75	100	75	0	0	0	75
生产力	蓄积量 /(m ³ ·hm ⁻²)	20.5	32.6	48.7	54.2	37.3	38.8	39.9	58.2	25.6	235.0	117.2	80.7	199.4	52.9	106.0	27.7
	生物量 /(t·hm ⁻²)	9.0	38.8	419.7	35.4	311.3	12.8	4.9	58.5	3.2	134.2	87.4	30.5	215.5	452.1	45.0	19.7
	胸径/cm	4.39	5.59	17.13	12.81	18.41	12.24	8.37	11.78	9.41	15.28	12.85	10.12	14.63	14.65	13.90	14.55
	树高/m	3.00	4.62	11.95	8.21	11.07	8.15	5.97	8.59	7.00	11.01	10.17	8.08	9.90	9.62	8.40	13.24
	林下更新 /(株·hm ⁻²)	0	3 800	100	1 900	0	5 600	1 400	7 300	6 500	3 600	2 500	2 800	8 000	800	0	3 100
土壤状况	空隙状况	0.36	0.28	0.25	0.27	0.27	0.25	0.15	0.26	0.19	0.09	0.10	0.20	0.16	0.19	0.19	0.19
	有机质 /(g·kg ⁻¹)	0.03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.10	0.02	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04
	pH	6.81	6.53	5.77	6.27	5.67	5.58	6.08	6.24	6.23	6.39	6.26	6.33	6.20	6.09	5.22	6.27
效益	森林游憩质量	差	中	差	差	差	中	差	中	中	差	差	差	中	优	差	差
	森林净化功能	保持水土	涵养水源	保持水土 固碳 释氧	保持水土	保持水土 固碳 释氧	保持水土 固碳 释氧	保持水土	涵养水源	涵养水源	保持水土	涵养水源	涵养水源	保持水土 固碳 释氧	保持水土 固碳 释氧	保持水土 固碳 释氧	保持水土
	提供林木产品	少	少	中等	少	中等	中等	少	少	少	少	少	少	中等	中等	中等	少

注:2012 年复查 24 个基本指标完全包含了 2004 年调查的 13 个基本指标。

3.2 森林健康指数与评价

将以上指标分别进行标准化,计算出各标准地2004年和2012年2次调查的 *HCI*;2004年共有1块标准地处于不健康状态,7块处于亚健康状态,4块处于较健康(中等健康)状态,4块处于健康状态,16块标准地的 *HCI* 平均为60.25(较健康)。2012年复查16块标准地(评价指标体系同2004年),其中9块标准地处于亚健康状态,3块处于较健康(中等健康)状态,4块处于健康状态,16块标准地的 *HCI* 平均为60.33(较健康),仅比2004年提高了

0.09(0.15%)。运用森林生物多样性、生态功能、抵抗力、生产力(活力)、效益、土壤状况等6个一级指标(下含24个基本指标)来综合评价森林健康,能充分的反映出八达岭林场景观林和水源涵养林的主要生态特征,补充和完善了已有的评价体系,评价结果显示:八达岭景观型水源涵养林的森林健康指数为59.47(亚健康),整体上看八达岭森林健康状况不佳,在16个标准地块中,有10块处于亚健康状态,有5块处于较健康状态,仅13号样地(西沟油松林)处于健康状态(表7)。

表 7 2004 与 2012 年八达岭 16 块标准地的森林健康指数

Table 7 Forest health index of 16 standard sample plots

样地类型	刺槐残次林	侧柏黄栌	西沟油松林	西沟刺槐	西沟油松	西沟华山松	西沟杂木林	西沟元宝枫	西沟白梨林	西沟糠段林	西沟黑桦林	西沟榎木林	西沟油松林	贵州亭油松林	西沟华北落叶松	西沟核桃楸林	<i>HCI</i> 平均	包含指标
2004	52.52	47.92	73.61	53.28	75.39	60.64	53.65	71.41	54.16	59.14	57.64	37.05	63.20	79.95	61.09	63.28	60.25	13 个
状态	亚	亚	健康	亚	健康	较	亚	健康	亚	亚	亚	不	较	健康	较	较	较	
2012	48.64	61.88	81.62	57.65	75.01	62.20	55.47	56.27	58.09	57.19	44.10	45.12	74.94	81.78	61.81	43.57	60.33	24 个
状态	亚	较	健康	亚	健康	较	亚	亚	亚	亚	亚	亚	健康	健康	较	亚	较	
2012	50.22	58.39	69.29	53.74	65.41	65.19	58.15	57.93	54.73	60.31	54.01	53.87	70.25	66.37	59.17	54.56	59.47	24 个
状态	亚	亚	较	亚	较	较	亚	亚	亚	较	亚	亚	健康	较	亚	亚	亚	

从2004年到2012年,16块标准地中1、5、8、10、11、16等6块标准地的森林健康质量都有下降;其中西沟元宝枫林(下降了21.20%)、西沟黑桦林(下降了23.49%)、西沟核桃楸林(下降了31.15%)等森林健康的质量下降明显。而2、3、4、6、7、9、12、13、14、15等10块标准地的森林健康质量都有提高;其中侧柏-黄栌(提高了29.13%)、西沟糠段林(提高了21.80%)、西沟油松林(提高了18.57%)等标准地的森林健康质量提高明显。

岭林场各种林分的森林健康状况,通过对2004年和2012年森林的健康状况对比,能较清晰的得出森林健康的质量总体上变化不大,森林健康评价结果显示:森林在2012年的 *HCI* 为60.33(亚健康),比2004年的 *HCI* (60.25;亚健康)仅提高了0.09(0.15%);16块标准地中10个林分的 *HCI* 有升高趋势,其中侧柏-黄栌(提高了29.13%)、西沟糠段林(提高了21.80%)、西沟油松林(提高了18.57%)等标准地的森林健康质量提高明显;但有6个林分的健康水平有明显下降趋势,特别是西沟元宝枫林(下降了21.20%)、西沟黑桦林(下降了23.49%)、西沟核桃楸林(下降了31.15%)等森林健康的质量下降明显;针对景观型水源涵养林,运用森林生物多样性、生态功能、抵抗力、生产力(活力)、效益、土壤状况等6个一级指标(下含24个基本指标)来综合评价森林健康,能充分的反映出八达岭林场景观林和水源涵养林的主要生态特征,评价结果显示:八达岭景观型水源涵养林的森林健康指数为59.47(亚健康),整体上看八达岭森林健康状况不佳,在16个标准地块中,有10块处于亚健康状态,有5块处于较健康状态,同样也证明了八达岭林场的林分健康状况不佳。

4.2 讨论

北京市八达岭林场森林属于景观型水源涵养林,为了了解景观型水源涵养林的森林质量,及时监测森林健康状况显得非常有必要,监测结果又可以为水源涵养林的健康经营提供重要的依据;通过评

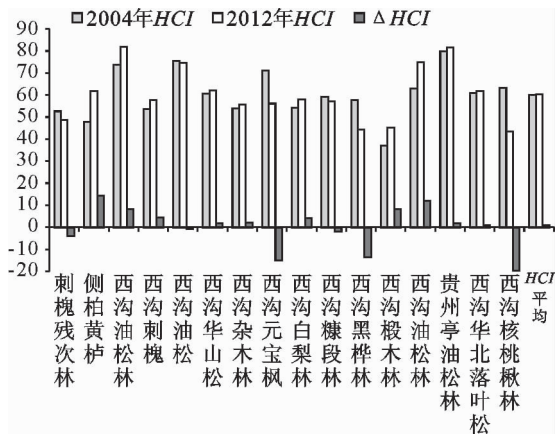


图 1 2004 与 2012 年八达岭 16 块标准地的森林健康对比

Fig. 1 Comparison of *HCI* of 16 standard sample plots between 2004 and 2012

4 结论与讨论

4.1 结论

运用森林健康的理论与技术来评价北京市八达

价结果不难看出,林场的森林健康程度和森林质量相对稳定(2004—2012 年),但森林健康程度和质量均不佳,运用相对全面的评价指标体系(2012 年,24 个基本指标)也得出八达岭森林质量偏低,目前仍处于亚健康状态,森林健康质量不容乐观,需要林场及时采取措施改善林分质量;由于部分林分景观、林内枯落物、林下更新、树种构成等相对较差,使得八达岭林场的游憩功能和水源涵养功能得不到有效的发挥,使森林效益的发挥处于亚健康状态,需要林场及时采取生态疏伐、景观疏伐、补植补造、封山育林等经营技术措施改善林分质量,提高森林的健康等级,充分发挥八达岭林场森林的效益。北京市八达岭林场的森林健康评价结果能为林场经营和管理提供可靠的依据,也能为北京地区森林健康的评价方法和评价体系提供有效的参考。

参考文献:

[1] 高志亮,余新晓,陈国亮,等.北京市八达岭林场森林健康评价研究[J].林业资源管理,2008(4):77-82.
GAO ZH L, YU X X, CHEN G L, *et al.* Forest health assessment in Badaling Forest Farm of Beijing[J]. Forest Resource Management, 2008(4):77-82. (in Chinese)

[2] 鲁绍伟,陈吉虎,余新晓,等.北京市八达岭林场森林健康经营研究[J].水土保持通报,2007,27(3):128-131.
LU S W, CHEN J H, YU X X, *et al.* Forestry health management in Badaling Forest Farm of Beijing City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(3):128-131. (in Chinese)

[3] 庄健荣,张志翔.结构-多样性指数在八达岭地区森林健康评价中的应用[J].中国农学通报,2008,24(8):162-166.
ZHANG J R, ZHANG Z X. Application of community structure-diversity index(CSDI)in forest health assessment in Beijing Badaling Area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008,24(8):162-166. (in Chinese)

[4] COSTANZA R. Ecological and economic system health and social decision making [C]// RAPPORT D J, CALOW P, GAUDER C. Evaluating and Monitoring the Health of Large-scale Ecosystems. New York: Springer Verlag, 1995.

[5] 陈高,代力民,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.
CHEN G, DAI L M, FAN Z H, *et al.* On forest ecosystem health and its evaluation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002,13(5):605-610. (in Chinese)

[6] 车克钧,潘爱华.祁连山水源林可持续经营指标体系的研究[J].西北林学院学报,2001,16(1):70-73.
CHE K J, PAN A H. Indicator system of sustainable management of forest for water resource conservation in Qilian Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University,

2001, 16(1):70-73. (in Chinese)

[7] 汪有奎,袁虹.祁连山森林健康保护与恢复策略[J].北华大学学报:自然科学版,2003,4(2):159-165.
WANG Y K, YUAN H. Strategy and technology on conservation and instauration of forest health in Qilian Mountain[J]. Journal of Beihua University: Natural Science Edition, 2003, 4(2):159-165. (in Chinese)

[8] 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.
LU S W, LIU F Q, YU X X, *et al.* Health assessment of forest ecosystem in Badaling Forest Center[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(3):79-82. (in Chinese)

[9] 王雄宾.八达岭油松林生态系统健康评价及调控研究[D].保定:河北农业大学,2007:1-59.

[10] 武会欣.八达岭林场油松林健康评价[D].保定:河北农业大学,2006:1-51.

[11] 王忠春,亢新刚,罗仙仙,等.森林健康评价研究进展[J].西北林学院学报,2010,25(5):163-169.
WANG Z C, KANG X G, LUO X X, *et al.* Progress on the assessment of forest health[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5):163-169. (in Chinese)

[12] 马立.北京山地森林健康综合评价体系的构建与应用[D].北京:北京林业大学,2005,1-61.

[13] 北京市标准局.DB11/T 725-2010 森林健康经营与生态系统健康评价规程[S].北京:北京出版社,2010.

[14] 章伶俐,刘义,李景文,等.北京地区蒙古栎林生态系统健康评价指标体系研究[J].林业资源管理,2009(1):55-57.
ZHANG L L, LIU Y, LI J W, *et al.* The Forest Health Assessment Indicator System Based on the Biodiversity for the *Quercus Mongolica* Forest in Beijing Area[J]. Forest Resources Management, 2009(1):55-57. (in Chinese)

[15] 王威,郑小贤,宁杨翠.北京山区水源涵养林典型森林类型结构特征研究[J].北京林业大学学报,2011,33(1):60-63.
WANG W, ZHENG X X, NING Y C. Structural characteristics of typical water conservation forests in mountain areas of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 33(1)60-63.

[16] 李秀英.森林健康评价指标体系初步研究与应用[D].北京:中国林业科学研究院,2006:1-83.

[17] 胡焕香,余济云,张敏,等.基于小班尺度的宁远河流域森林健康评价研究[J].西北林学院学报,2013,28(2):182-186.
HU H X, SHE J Y, ZHANG M, *et al.* Assessment on the health of the forests in Ningyuan river basin[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2):182-186. (in Chinese)

[18] ANNE E. Magurran. Ecological diversity and its measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

[19] 中国林业科学研究院森林土壤研究室.森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算(LY/T 1237-1999)[S].北京:标准出版社,1999.