

网络出版时间:2021-06-11 12:45 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.12.009
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210610.0838.007.html

油松用材林可持续经营评价体系的构建及应用

郑晓敏^{1a}, 张 萱^{1a}, 段 劼^{1a,1b}, 于青军², 孙启越^{1a}, 马履一^{1a,1b}
(1 北京林业大学 a 林学院, b 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083;
2 河北省平泉市黄土梁子国有林场, 河北 平泉 067506)

[摘 要] **【目的】**构建油松人工用材林可持续经营评价指标体系,以河北平泉黄土梁子国有林场油松用材林为实例,对其经营可持续性进行评价与分析。**【方法】**通过查阅文献资料并结合前人研究结果,以全面、科学性为指导原则,选择环境、经营、社会、经济 4 个方面共 83 项指标层指标,设计问卷征求相关领域专家意见,运用灰色统计法从中筛选出重要程度为“高”的指标,从上述 4 个方面构建可持续经营评价指标体系,并利用 1~9 标度法和层次分析法确定各指标权重值。以河北省平泉市黄土梁子国有林场为例,通过咨询、实地调查、发放问卷方式获得各指标现状值,再通过查阅国际和国内标准、参考相关研究结果及指标自身情况确定各指标标准值,对林场油松人工用材林经营现状进行评价分析。**【结果】**从 83 项指标中筛选出 28 项重要程度为“高”的指标,构建了包含 4 个约束层指标、12 个一级指标层指标和 28 个指标层指标的油松人工用材林可持续经营评价体系。其中,社会指标最为重要,权重值为 0.351 165;环境指标的权重最低,为 0.164 793;经济指标权重为 0.295 084,经营指标权重为 0.188 957。用该指标体系对黄土梁子国有林场油松人工用材林进行可持续经营评价,最终得分为 79.68 分,处于中上等水平,表明林场现阶段油松人工用材林的生长状况、经营模式、可持续性较好。**【结论】**研建的油松人工用材林可持续经营评价指标体系具有科学性、适用性,可反映林分可持续经营现状。

[关键词] 油松;用材林;可持续经营;用材林评价体系
[中图分类号] S750 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2021)12-0067-13

Construction and application of sustainable management evaluation index system for *Pinus tabulaeformis* timber forest

ZHENG Xiaomin^{1a}, ZHANG Xuan^{1a}, DUAN Jie^{1a,1b}, YU Qingjun²,
SUN Qiyue^{1a}, MA Lüyi^{1a,1b}
(1 a College of Forestry, b National Energy R&D Center for Non-food Biomass,
Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2 Huangtuliangzi National Forest Farm,
Pingquan City, Hebei Province, Pingquan, Hebei 067506, China)

Abstract: **【Objective】** A sustainable management evaluation index system of *Pinus tabulaeformis* plantation was established and used for evaluation of *P. tabulaeformis* plantation in Huangtuliangzi National Forest Farm, Pingquan, Hebei. **【Method】** By reviewing literature and combining previous researches, a total of 83 indicators were selected from four aspects, including environment, management, society and economy. Questionnaires were designed to obtain opinions of experts in relevant fields, and the indicators with high importance were selected by grey statistical method. The sustainable operation evaluation index system was constructed from above four aspects, and weight value of each index was determined by 1—9

〔收稿日期〕 2020-12-18
〔基金项目〕 “十三五”国家重点研发计划专项(2017YFD0600501)
〔作者简介〕 郑晓敏(1993—),女,河北张家口人,硕士,主要从事森林培育学研究。E-mail:1435069010@qq.com
〔通信作者〕 段 劼(1982—),男,山西大同人,副教授,博士,主要从事森林培育学研究。E-mail:duanjie@bjfu.edu.cn

scale method and analytic hierarchy process. Taking Huangtuliangzi National Forest Farm in Pingquan, Hebei as example, this paper obtained the current value of each index by means of consultation, field investigation and questionnaire distribution, and determined the standard value of each index referring to international and domestic standards, relevant research results and the index itself. Then, the management status of artificial timber forest of *P. tabulaeformis* in the forest farm was evaluated. 【Result】 A total of 28 indicators with high importance were selected from 83 indicators. A complete evaluation index system framework for sustainable management of artificial timber forest of *P. tabulaeformis*, including 4 constraint layer indexes, 12 first-level index layer indexes, and 28 index-layer indexes, was then constructed. Social indexes were the most important, with a weight of 0.351 165, while environmental indexes had the lowest weight of 0.164 793. The weights of economic indexes and business indexes were 0.295 084 and 0.188 957, respectively. The final score of artificial timber stand of *P. tabulaeformis* in Huangtuliangzi National Forest Farm evaluated by the established system was 79.68, which was in medium and high levels. The *P. tabulaeformis* had good growth status, management mode, and sustainability. 【Conclusion】 The established evaluation index system for sustainable management of artificial timber forest of *P. tabulaeformis* was scientific and applicable, and it could reflect current situation of sustainable management of stands.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; timber forest; sustainable management; evaluation index system of timber forest

油松(*Pinus tabulaeformis* Carrière)为针叶常绿乔木,根系发达^[1]。其材质硬、纹理好,可供建筑用材,是中国特有树种,且用途广泛,是我国北方地区常见的造林树种之一^[2-4]。我国现有油松林总面积高达 251 万 hm^2 ,其种植区覆盖我国 14 个省份,占我国国土面积的三分之一^[5]。随着我国建筑业的发展,建筑用材的速生丰产林建设具有重要意义^[3]。而油松作为极具发展潜力的建筑材林培育树种,需求量在持续增长^[6]。

可持续经营是有关如何经营现有的林木资源和土地资源,而不影响日后人类对森林进一步开展经营的活动^[7-8]。建立评价标准与指标体系是实现森林可持续经营的一种重要手段,在生产实践中发挥着重要作用^[9]。构建评价指标体系除应满足科学性、实用性及代表性外,还需满足可操作性和宜推广性^[3,9]。森林可持续经营标准与评价指标体系可以在不同尺度上构建,如在国家层面或者生态区域层面上构建的可以用于森林规划,虽然体系覆盖范围较广,但在实际应用情况下操作性和推广性较差^[10-11];以国有林场或者集体林场为尺度在经营单位层面上进行构建,虽然覆盖范围进一步缩小、便于实施,但目前仅在个别典型地区进行了初步探讨,相关研究只停留在利用标准与指标对森林资源状态进行描述上,报道并不多^[9,12]。林分是森林资源的主体,多数森林经营活动都是在这一个层面上实施的,因此构建林分层面上可持续经营评价指标体系更具有

实际意义^[13]。人工用材林的培育和经营以获得高生产力为基础,但同时要实现“绿水青山”,这就要求整个经营过程应减少对环境的影响,在促进当地社会发展的同时获得经济效益。

关于油松人工林的研究非常多,涵盖了包括种质资源筛选、苗木培育、造林、抚育、采伐利用等技术的全过程^[14-17],但目前包括油松在内,综合考虑经济、环境、社会三方面对某一树种经营过程影响的研究较少。本研究围绕从可持续发展角度评价油松人工用材林经营过程这一科学问题,从环境、经营、社会和经济 4 个方面研究构建油松人工用材林可持续经营评价指标体系,并以河北平泉黄土梁子国有林场为例对该体系的科学性、实用性进行分析评价,以期为我国油松等人工用材林的可持续经营及评价工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

平泉市地处河北省东部,地理坐标为东经 $118^{\circ}21'03''\sim 119^{\circ}15'34''$ 、北纬 $40^{\circ}24'00''\sim 40^{\circ}40'17''$ 。该地属中温带大陆性干旱季风山地气候,年平均气温 6.8°C ,无霜期 $120\sim 130\text{ d}$,降雨量 540 mm 左右,昼夜温差大^[18]。林区交通方便,土壤类型较多,坐落在平泉的黄土梁子国有林场处于燕山山脉末端,是河北省第二大人工林林场,总经营面积约 $15\,202.8\text{ hm}^2$,经营树种包括油松、落叶松(*Larix*

gmelinii (Rupr.) Kuzen.)、杨树(*Populus* L.)等,其中油松约8 634.9 hm²,占总经营面积的 56.8%。

根据林场森林资源二类调查数据与森林经营方案资料,选择覆盖林场 87%油松人工用材林面积的典型立地条件设置样地,主要目的是获取系统评价数据。具体立地条件为:低山地形,平均海拔 660 m,阴坡,坡度 10°~30°,土层厚度为中土层,沙质棕

壤土,含石砾,成土母质为花岗岩。采用演替时序法选用林龄为 5,10,15,20,30,40,50,60 年生的林分,其中 5~20 年林龄样地为伐后天然更新样地,每林龄重复 3 次,共 24 块样地,样地面积均为 20 m×20 m。记录各样地方位、经纬度、坡位和坡向等信息,测定坡度和土层厚度并进行每木检尺,记录林下幼苗更新情况。表 1 为样地概况。

表 1 河北省平泉市黄土梁子国有林场油松林样地概况

Table 1 General situation of <i>Pinus tabulaeformis</i> sample plots in Huangtuliangzi National Forest Farm of Pingquan City, Hebei Province						
样地林龄/a Age	坡向 Slope aspect	坡度/(°) Slope	土层厚度/cm Soil thickness	密度/(株·hm ⁻²) Density	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average DBH
5	阴坡 Shady slope	10	47	—	—	—
10	阴坡 Shady slope	20	49	—	—	—
15	阴坡 Shady slope	15	50	40	3.8	6.1
20	阴坡 Shady slope	20	51	100	6.6	9.8
30	阴坡 Shady slope	30	50	2 500	8.4	10.5
40	阴坡 Shady slope	25	48	1 500	10.3	13.0
50	阴坡 Shady slope	20	49	900	11.9	17.6
60	阴坡 Shady slope	20	52	750	12.4	19.0

1.2 油松用材林可持续经营评价指标体系的构建

1.2.1 指标的初步选择与筛选 通过查阅大量文献、资料,并结合前人研究结果,以全面、科学性为指

导原则,充分考虑各指标间的层次关系,选择了环境、经营、社会、经济 4 类共 83 项指标层指标,详见表 2。

表 2 油松用材林可持续经营评价指标

Table 2 Evaluation index of sustainable management of <i>Pinus tabulaeformis</i> timber forest	
指标分类 Type	具体指标 Index
环境指标 Environmental indicators	土壤流失量,土壤侵蚀强度,土壤粒级,土壤农药残留,土壤微生物生物量,土壤盐渍化程度,土壤质地,土层厚度,有机质含量,土壤持水量,土壤 pH 值,土壤渗透性,杀虫剂和除草剂残留,地下水农药残留,地下水位,废水 pH,田间持水量,水环境农药残留,地下水硝酸盐浓度,地下水磷酸盐浓度,林下植物丰富度,灌草总盖度,萎蔫含水量,灌木和草本的辛普森指数,灌木和草本的香浓威纳指数,濒危或特殊物种数和栖息地面积,生境面积 Soil loss,Soil erosion intensity,Soil grade,Soil pesticide residue,Soil microbial biomass,Soil salinization degree,Soil texture,Thickness of the soil,Organic matter content,Soil water holding capacity,Soil pH,Soil permeability,Insecticide and herbicide residues,Groundwater pesticide residue,Groundwater level,Wastewater pH,Field water holding capacity,Water environment pesticide residue,Nitrate concentration in groundwater,Groundwater phosphate concentration,Understory plant richness,Total coverage of shrubs and grasses,Wilting water content,Simpson index of shrubs and herbs,Shannon Wiener index of shrubs and herbs,Number of endangered or special species and habitat area
	林下更新状况,凋落物厚度,林木分化程度,林分乔木密度,树种结构,林种结构,乡土树种比例,外来入侵种比例,林地利用率,枯病率,森林火灾发生次数,森林病虫鼠害年均发生率,用材林年龄结构指数,用材林单位面积蓄积,有林地单位面积生长量,年人工建材林消长比率 Regeneration status in the forest,Thickness of the litter,Degree of forest differentiation,Forest stand arbor density,Tree species structure,Forest structure,Proportion of native tree species,Proportion of alien invasive species,Utilization of forest land,Blight rate,Number of forest fires,Average annual incidence of forest pests and rodents,Age structure index of timber forest,Volume of timber forest per unit area,Growth rate of the woodland per unit area,Annual growth and decline rate of artificial building materials
经营指标 Management indicators	临时工与固定工比例,专业技术人员所占比例,工人平均受教育程度指数,员工接受培训百分比,全职工人人数,工人最小年龄,保护劳工卫生、自由、安全、教育的权利,工作时长,工人健康安全的工作环境,工伤率,最低工资,每年工资足额发放的月数,林分经营管理是私人还是主体部门,地方政府林业税收优惠政策落实程度,资源获得的方便性,经营技术水平,当地居民支持率,工人对其工作氛围满意度,经营者的获得感与参与感 The ratio of temporary to permanent workers,Proportion of professional personnel,Index of the average education level of workers,Percentage of employees trained,Number of full-time workers,Minimum age of worker,To protect the rights of workers to health,liberty,safety and education,Work hours,Healthy and safe working environment for workers,Injury rate,Minimum wage,Number of months in which wages are paid each year,Whether the management of stand is private or main sector,The implementation degree of forestry tax preferential policies of local governments,Ease of access to resources,Management technology level,Support rate of local people,Work environment satisfaction,Operator's sense of gain and participation
社会指标 Social indicators	

表 2(续) Continued table 2

指标分类 Type	具体指标 Index
经济指标 Economic indicators	单位面积木材产量,单位面积木材利用率,投资收益率,资产负债率,产品及副产品价值,非木产品的产量与价值,木材价格变动,木材进出口价格,公众对林产品及非木产品的认知度,林产品再循环程度,非木产品的供应与消费,家庭收入变动,职工家庭人均年收入增长率,职工人均可支配收入,贸易额,投资回报率,净现值,透明度,利益相关者参与度,风险评估,对劳工和土地利用的补偿 Wood production per unit area,Utilization rate of wood unit area,Return on investment, Asset-liability ratio,Product and by-product value,Output and value of non-wood products,Changes in timber prices,Timber import and export price,Public awareness of forest and non-wood products,Degree of forest product recycling,Supply and consumption of non-wood products,Change in household income,Growth rate of per capita annual income of working families,Per capita disposable income of employees,Volume of trade,Return on investment,The net present value,Transparency,Stakeholder participation rate,The risk assessment,Compensation for labor and land use

利用灰色统计法从表 2 所列的 83 项指标中筛选重要指标^[19]。首先采用李克特评分法,也称 7 点数值量表法来确定各项指标的重要性程度,设计“油松用材林可持续经营评价指标筛选专家调查表”^[20]。评分由数字 1~7 从低到高依次表示指标重要性的增加。收回有效指标筛选问卷 30 份,专家领域分别为:森林培育 10 份,森林经理 9 份,环境科学 5 份,林业经济管理 6 份。其次,将专家意见进行白化函数数据处理,根据专家对各项指标的重要评分值进行灰类决策系数的计算,得到每个指标的决策向量,最后筛选出重要程度为“高”的指标。灰色统计法计算公式为:

$$\eta_k(j)=\sum n(ij)f_k(ij)。$$

式中: k 代表灰类数,取值 1、2、3,分别对应重要程度为高、中、低三级; $\eta_k(j)$ 表示第 j 个指标第 k 个灰类决策系数; $n(ij)$ 表示第 j 个指标重要程度为 i 的人员数量; $f_k(ij)$ 指的是第 j 个指标重要程度为 i 所对应的白化函数值。

1.2.2 指标权重的确定 根据层次分析法对筛选出的重要程度为“高”的指标设计权重调查问卷表^[21]。采用 1~9 标度法^[22](表 3),让专家对同类指标(U_i 和 U_j)进行两两比较后打分。第二轮问卷调查发放给第一轮 的 30 位专家进行二次填写,共收回 20 份问卷,回收率达 67%。采用改进的层次分析法确定重要程度为“高”的指标权重值^[19],建立起油松用材林可持续经营评价指标体系。

表 3 1~9 标度法 U_{ij} 取值含义

Table 3 Meaning of U_{ij} value of scale method from 1 to 9

U_{ij} 的取值 U_{ij} value	含义 Meaning
1	U_i 与 U_j 同等重要 U_i is just as important as U_j
3	U_i 比 U_j 稍微重要 U_i is slightly more important than U_j
5	U_i 比 U_j 明显重要 U_i is obviously more important than U_j
7	U_i 比 U_j 相当重要 U_i is more important than U_j
9	U_i 比 U_j 极其重要 U_i is extremely important than U_j
2,4,6,8	上述相邻判断 1~3,3~5,5~7,7~9 的中值 The median values of 1-3,3-5,5-7, and 7-9 are determined by the above neighboring values
$1/U_{ij}$	表示 i 比 j 的不重要程度 Is the degree to which i is less important than j

注: U_{ij} 是同类指标中两两比较后的赋值数, i,j 分别为同类指标中两两比较的元素, U_i,U_j 分别为同类指标中各指标的重要程度。
Note: U_{ij} is the assigned number after pair-to-pair comparison among similar indexes; i and j are pairwise comparison elements in similar indexes respectively; U_i and U_j are the importance degree of each indicator in the same indicator.

1.3 黄土梁子国有林场重要指标现状值的获取
1.3.1 咨询获取 火灾发生次数、树种结构、林种结构、林分密度、林地利用率、年龄结构指数、最低工资、专业技术人员所占比例、工伤率、单位面积木材利用率、职工人均收入、投资收益率、投资回报率 13 项指标,均可通过当地林场工作人员以及林场编制的森林经营方案直接或间接获取。
1.3.2 实地调查获取 (1)土壤质地和土层厚度 (cm)。每林龄 3 块样地内随机选取一点挖取土壤

剖面,观察土壤质地,测量土层厚度并取平均值。
(2)有机质含量(g/kg)。采用五点法在每块样地内沿对角线取样,土层分 0~10 和 10~20 cm,用环刀和铝盒取土带回实验室,用重铬酸钾氧化-外加热法测定其有机质含量^[23]。
(3)林下更新状况(株/hm²)。调查样地更新苗数量并取平均值。
(4)林木分化程度(%)。调查样地林木胸径,利用极值和平均值求得离散程度。

(5)单位面积蓄积(m^3/hm^2)和单位面积生长量($\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)。通过胸径、树高和年龄,利用平均标准木法计算出每块样地的单位面积蓄积量,用平均生长率计算单位面积生长量。

(6)单位面积木材产量($\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)。由单位面积蓄积、林场实际采伐强度和出材率求得单位面积木材产量。

(7)产品及副产品价值($\text{元}/\text{hm}^2$)。通过调查油松木材产品和副产品松脂的价格,结合生长指标求

得。

1.3.3 发放问卷获取 工人健康安全的工作环境、经营技术水平、每年工资足额发放的月数、当地居民支持率、资源获得的方便性、公众对林产品及非木产品的认知度 6 项指标,采用对当地百姓及林场工作人员发放调查问卷的方式获得数据,共发放调查问卷 187 份,其中林场员工填写 30 份,当地居民填写 157 份,见表 4。

表 4 对居民和林场员工相关指标调查问卷的统计结果

Table 4 Statistical results of questionnaire survey on related indicators of residents and forest farm employees

指标 Indicator	得分 Score				
	100	80	60	40	20
工人健康安全的工作环境 Healthy and safe working environment for workers	34	3	0	0	0
每年工资足额发放的月数 Number of months in which wages are paid each year	10	25	2	0	0
经营技术水平 Management technology level	9	25	3	0	0
资源获得的方便性 Ease of access to resources	79	30	26	9	6
当地居民支持率 Support rate of local people	131	13	1	5	0
公众对林产品及非木产品的认知度 Public awareness of forest and non-wood products	27	26	50	38	9

问卷共分 5 个评分等级,指标的满意度、支持率等随分值的减少而递减,即 100 分代表“非常满意”,80 分代表“比较满意”,60 分代表“一般满意”,40 分代表“比较不满意”,20 分代表“非常不满意”。

1.4 各评价指标标准值的确定

1.4.1 国际标准 “职业安全与健康标准”简称“OSHA”标准,由美国职业安全与健康管理局(Occupational Safety and Health Administration)颁布,其目的是通过发布、推行工作场地的安全健康标准来控制因工作造成的工伤或死亡事件,该标准得到了世界各地的广泛推广。目前在国际上并没有做出统一规范前,指标工伤率并无统一标准值,因此本研究参考 OSHA 和美国劳动部 OHS 标准(2018-06-29)求出工伤率的现状值^[24]。

1.4.2 国内标准 (1)土层厚度(cm)。土层厚度包括淋溶层、过渡层以及淀积层的实际观测厚度^[3]。根据《森林资源规划设计调查主要技术规定》,将土层厚度<30 cm 的划分为薄土层,30~59 cm 划为中土层,>60 cm 划分为厚土层^[25],并分别赋值 1、2、3。确定土层厚度标准值为 3,现状值与标准值比值越大土层厚度越厚。

(2)林下更新状况(株/ hm^2)。根据《森林采伐更新管理办法》^[26],样地内更新幼苗标准值定为 6 000 株/ hm^2 。

(3)林分密度(株/ hm^2)和单位面积生长量($\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$)。根据《速生丰产用材林培育技术规程》(LY/T 1706—2007)^[27],初植密度 3 300~5 000 株/ hm^2 、轮伐期 25~40 年的油松林单位面积生长量为 $\geq 7.5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,故采用 3 300 株/ hm^2 作为初植密度标准值,7.5 $\text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 为单位面积生长量标准值。

(4)最低工资(元/月)和职工人均收入(元/月)。依据《河北省最低工资标准及实行地区》确定最低工资和职工人均收入^[28],平泉市最低工资标准为 1 480 元/月;河北省人力资源和社会保障厅(2018)公布的有关数据显示^[29],2017 年全省在岗职工年平均工资 65 266 元,即职工人均收入 5 439 元/月。

(5)专业技术人员所占比例。根据《国有林场岗位设置管理的指导意见》规定^[30],国有林场专业技术高级、中级、初级岗位的结构比例原则上不应低于 1:4:5,因此专业技术人员所占比例标准值为 1:4:5。

1.4.3 自身标准 部分指标的标准值以能达到自身最优值或是期望值作为标准^[22],应与指标本身期望达到的目标进行比较,分为正指标(评价值越高越好,如林地利用率、树种结构、单位面积木材利用率的指标期望为 100%)和负指标(评价值越低越好,如火灾发生次数、工伤率)^[21]。将林木分化程度归

为负指标^[27]。

工人健康安全的工作环境、经营技术水平、每年工资足额发放的月数、当地居民支持率、资源获得的方便性、公众对林产品及非木产品的认知度,这 6 项指标均采用比重形式,用该指标的最高程度 100% 作为其评价标准。

林种结构指标采用“非 0 即 1”赋值法,“0”表示该经营目标由用材林变更为生态公益林,“1”表示经营目标始终为用材林。

1.4.4 参考相关研究确定标准 为避免选取标准值产生误差,在将前人研究作为标准值时,尽量选择与本研究条件相似的研究结果作为标准^[22]。

(1)土壤质地。土壤质地的划分标准为重壤土、中壤土、轻壤土、沙壤土^[3],油松的生长以轻壤土最佳^[31],以数字分别对各土壤质地油松林赋值为 1, 0.75, 0.5 和 0.25。

(2)有机质含量(g/kg)。根据《中国土壤普查数据》和《中国土壤肥力》,目前我国耕层土壤有机质含量平均为 24.65 g/kg^[32-33],北京九龙山地区油松林地有机质含量为 24.96 g/kg^[34],辽宁北票地区油松纯林有机质含量为 31.33 g/kg^[35]。北京九龙山地区属于华北,故本研究选取 24.96 g/kg 作为土壤有机质含量标准。

(3)年龄结构指数。选取《中国可持续发展林业战略研究总论》中提到的幼、中、近、成、过熟林面积理想结构状态比例 2:1:1:2:1^[36]。

(4)单位面积蓄积(m³/hm²)。本研究单位面积蓄积量指标标准值为其主伐年龄 50 年时单位面积蓄积量,标准值选取太行山丘陵区 50 年生油松生长最大蓄积量 142.25 m³/hm²^[37]。

(5)单位面积木材产量(m³/(hm²·a))。选择陕西关中地区油松林木材平均年生长量 4.1 m³/(hm²·a)^[38]。

(6)投资收益率和投资回报率(%)。油松经营周期相对较长,投资收益率为 5%~6%^[39-41];根据现阶段国内林业行业的市场价格,专家指出有关林业投资年利润回报率高达 50%^[42]。

(7)产品及副产品价值(元/hm²)。主产品为木材,副产品为松脂。参考中国木业信息网,油松木材成交价为 1 012.5 元/m³,油松出材率 70% 以上;油松平均单株剖面年产脂量为 2 000 g 左右,松脂最高成交价为 6.3 元/斤^[43]。每公顷产品及副产品的价值=油松木材的年平均经济收入+油松松脂的年平均经济收入,计算结果为 88 475.6 元/hm²。

1.5 各评价指标得分计算公式

(1)土壤质地、有机质含量、土层厚度、林下更新状况、林种结构、树种结构、林分密度、林地利用率、单位面积蓄积、单位面积生长量、最低工资、单位面积木材产量、单位面积木材利用率、产品及副产品价值、职工人均可支配收入、投资收益率、投资回报率等指标得分的计算公式为:现状值/标准值。

(2)火灾发生次数、林木分化程度、工伤率指标得分的计算公式为:(1-现状值)×100。

(3)年龄结构指数指标得分的计算公式为:(1- $\frac{\sum |a_i|}{2}$)×100(a_i 为目前林龄结构与理想林龄结构的差值)。

(4)专业技术人员所占比例指标的得分计算公式为:(1- $\frac{\sum |b_i|}{2}$)×100(b_i 为目前技术人员比例与理想状态下技术人员比例的差值)。

(5)工人健康安全的工作环境、经营技术水平、每年工资足额发放的月数、当地居民支持率、资源获得的方便性、公众对林产品及非木产品的认知度指标得分计算公式为:(100×B₁+80×B₂+60×B₃+40×B₄+20×B₅)/(B₁+B₂+B₃+B₄+B₅),式中 B₁~B₅ 为不同等级的统计数量。

2 结果与分析

2.1 油松用材林可持续经营评价指标筛选结果

第一轮专家问卷收回后,经过整理并进行白化函数及灰类决策系数的计算,得到各指标的决策向量。重要程度为“高”的指标共 28 项,具体评价体系见表 5。

2.2 油松用材林可持续经营评价指标权重计算结果

通过第二轮调查问卷信息,利用层次分析法计算出各层次、各指标的权重值及总权重,结果如表 6 所示。由表 6 可知,约束层 B 中各项指标的权重排序为:社会指标 B3>经济指标 B4>经营指标 B2>环境指标 B1。社会指标 B3 权重值为 0.351 165,环境指标 B1 权重值最低,仅为 0.164 793,经济指标 B4 和经营指标 B2 权重值分别为 0.295 084 和 0.188 957。一级指标层 C 中只有土壤特征 C1 和生物多样性 C2 权重相对较高,其余指标权重均在 0.40 以下。从总权重来看,28 项指标层指标只有当地居民支持率 D20 和资源获得方便性 D21 的总权重超过 0.10。

表 5 油松用材林可持续经营评价指标体系

Table 5 Evaluation index system for sustainable management of *Pinus tabulaeformis* timber forest

目标层 Target layer	约束层 Constraint layer	一级指标层 Primary index layer	指标层 Index layer
A 油松人工用材林 可持续经营评价 Evaluation on sustainable manage- ment of <i>P. tabulae-</i> <i>formis</i> artificial tim- ber stand	B1 环境指标 Environmental indicators	C1 土壤特征 The soil characteristics	D1 土壤质地 Soil texture
			D2 有机质含量 Organic matter content
			D3 土层厚度 Thickness of the soil
	B2 经营指标 Business objective	C2 生物多样性 Biodiversity	D4 林下更新状况 Regeneration status in the forest
			D5 森林火灾发生次数 Number of forest fires
			D6 树种结构 Tree species structure
		C3 林地健康 Forest health	D7 林种结构 Forest structure
			D8 林木分化程度 Degree of forest differentiation
			D9 林分乔木密度 Forest stand arbor density
			D10 林地利用率 Utilization of forest land
		C4 经营水平 Management level	D11 用材林年龄结构指数 Age structure index of timber forest
			D12 用材林单位面积蓄积 Volume of timber forest per unit area
			D13 有林地单位面积生长量 Growth rate of the wood-land per unit area
			D14 经营技术水平 Management technology level
	B3 社会指标 Social indicators	C5 工人权利 Workers' rights	D15 最低工资 Minimum wage
			D16 专业技术人员所占比例 Proportion of professional personnel
			D17 每年工资足额发放的月数 Number of months in which wages are paid each year
		C6 工人安全 Worker safety	D18 工人健康安全的工作环境 Healthy and safe working environment for workers
			D19 工伤率 Injury rate
		C7 支持率 Support	D20 当地居民支持率 Support rate of local people
	B4 经济指标 Economic indicators	C8 资源 Resources	D21 资源获得的方便性 Ease of access to resources
		C9 生产力 Productivity	D22 单位面积木材产量 Wood production per unit area
			D23 单位面积木材利用率 Utilization rate of wood unit area
			D24 投资收益率 Return on investment
		C10 木材及非木材产品 Wood and non-wood products	D25 公众对林产品及非木产品的认知度 Public aware-ness of forest and non-wood products
			D26 产品及副产品价值 Product and by-product value
			D27 职工人均可支配收入 Per capita disposable income of employees
			D28 投资回报率 Return on investment

表 6 油松用材林可持续经营评价指标权重

Table 6 Weight of evaluation index for sustainable management of *Pinus tabulae-folius* timber forest

约束层 Constraint layer		一级指标层 Primary index layer		指标层 Index layer		
代码 Code	权重 Weight	代码 Code	权重 Weight	代码 Code	分权重 The separation of weight	总权重 Total weight
B1	0.164 793	C1	1.000 000	D1	0.329 334	0.054 272
				D2	0.342 654	0.056 467
				D3	0.328 012	0.054 054
		C2	0.407 640	D4	1.000 000	0.077 026
				D5	0.425 668	0.021 857
				D6	0.216 094	0.011 096
		C3	0.271 741	D7	0.358 238	0.018 395
				D8	0.236 228	0.014 311
				D9	0.129 638	0.007 854
B2	0.188 957	C4	0.320 619	D10	0.180 667	0.010 945
				D11	0.136 777	0.008 286
				D12	0.102 009	0.006 180
		C5	0.271 741	D13	0.112 253	0.006 801
				D14	0.102 429	0.006 205
		C6	0.407 640			

表 6(续) Continued table 6

约束层 Constraint layer		一级指标层 Primary index layer		指标层 Index layer		
代码 Code	权重 Weight	代码 Code	权重 Weight	代码 Code	分权重 The separation of weight	总权重 Total weight
B3	0.351 165	C5	0.227 750	D15	0.357 051	0.028 556
				D16	0.364 913	0.029 185
				D17	0.278 036	0.022 237
		C6	0.160 325	D18	0.489 583	0.027 564
				D19	0.510 417	0.028 737
				D20	1.000 000	0.112 483
		C7	0.320 312	D21	1.000 000	0.102 405
		C8	0.291 614	D22	0.306 522	0.016 038
		C9	0.177 312	D23	0.406 036	0.021 245
B4	0.295 084	C10	0.301 032	D24	0.287 442	0.015 040
				D25	0.486 111	0.043 181
				D26	0.513 889	0.045 649
		C11	0.269 865	D27	1.000 000	0.079 633
				D28	1.000 000	0.074 299
		C12	0.251 791			

注:各层代码对应的指标见表 5。表 7 同。
Note:Indicators corresponding to each layer of code are same as in Table 5. The same for Table 7.

社会指标 B3 中一级指标层 C 各项权重的排序为支持率 C7>资源 C8>工人权利 C5>工人安全 C6,指标层 D 主要集中分布于当地居民支持率 D20、资源获得的方便性 D21、工伤率 D19 和工人健康安全的工作环境 D18 这 4 项指标上。

经济指标 B4 中权重主要在木材及非木材产品 C10、工人收入 C11 和企业收益 C12 这 3 个方面。环境指标 B1、经营指标 B2 的约束层权重分布比较均匀,且 B1 中 3 项指标层指标权重分布较为集中,有机质含量 D2 权重略高,B2 中林下更新状况 D4 和火灾发生次数 D5 的权重值明显高于其他指标。

2.3 油松用材林可持续经营评价指标体系的应用

利用建立起的评价体系,对黄土梁子国有林场油松用材林进行可持续经营评价,结果见表 7,最终得分为 79.68 分,总体处于中等偏上水平。

2.3.1 环境指标评价与分析 从表 7 可看出,环境指标中 D1~D3 最终得分为 75,100 和 66.67 分。有机质含量 D2 是衡量土壤肥力高低的重要指标,可增强土壤保肥、供肥能力,提高养分有效性,对林分的生长有重要作用^[23]。有机质含量 D2 高于参照值,得分最高,反映出可持续状态良好。油松的生长势会随着土壤质地的变粗而下降,故以轻壤为宜^[3,31],林场土壤 D1 为沙质棕壤土,土质较细,得分较高。土层厚度 D3 平均 50 cm,为中土层,这是受当地山地地形及季风性气候因素影响所致,且油松林多长在坡度较高的山坡,故土层厚度指标得分不高。

2.3.2 经营指标评价与分析 由表 7 可见,经营指

标 D4~D14 中除林木分化程度 D8 和林地利用率 D10 得分较低外,其余指标均超过 79 分,属较高水平。单位面积蓄积和生长量是用材林质量的直接体现,决定潜在生产力,是实现永续利用的指标之一^[9],良好、持续的天然更新是保证林分可持续利用的前提^[44]。林下更新状况 D4、用材林年龄结构指数 D11、用材林单位面积蓄积 D12、有林地单位面积生长量 D13 等反映林分生长状况的指标得分较高,表明林分结构合理。森林火灾发生次数 D5 的得分可以反映出林场对森林防火的有效监管,处于可持续状态。经营技术水平 D14 得分较高,说明林场经营与管护技术措施水平较高。

经营指标中林木分化程度 D8 和林地利用率 D10 得分较低。经查阅资料,D8 可能是由于初植密度较大导致,林分生长初期出现竞争,需要开展抚育,促进林木生长^[45]。D10 得分较低可能是因为多数林分为纯林,林下植被丰富度较低。今后可提倡农林复合经营,例如参考马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林下种植茯苓,不仅可提高经济效益,还可以防治松材线虫病^[46],提高林地利用率。

2.3.3 社会指标评价与分析 社会指标层 D15~D21 中 6 项指标值得分在 80 分以上,总体较高。可看出林场员工和附近居民对其工作环境、收入保障、绿化环境等满意度较高,油松林对提高当地生态环境和经济效益起到了积极作用。但也发现,林场人员流动性较差,因部分技术骨干退休而导致后继乏人,故 D16 得分较低。

2.3.4 经济指标评价与分析 经济指标层中单位

面积木材产量 D22、单位面积木材利用率 D23 得分较高,可看出林场油松人工用材林产量较高。投资收益率 D24 与投资回报率 D28 得分低,是因为油松用材林经营周期较长,主伐年龄为 50 年,间伐木经济收入较少,经营管护成本高。今后的经营活动可提高造林和管护工作效率,减少时间成本,降低生产成本,提高间伐小径材林木及采伐剩余物等的利用率,提高投入产出比。此外,提高间伐剩余物价值还

可以提高产品及副产品价值 D26 得分。目前,提取油松松脂一般只在一个剖面上采脂,且一树一剖面^[47],采脂数量有限,故松脂副产品价值偏低。由于受当地经济、文化水平的影响,职工人均收入、对林产品等的认知程度和熟悉度普遍偏低,导致职工人均可支配收入 D27、公众对林产品及非木产品的认知度 D25 得分较低。

表 7 黄土梁子国有林场油松用材林可持续经营评价结果

Table 7 Evaluation results of sustainable management of *Pinus tabulae folius* timber forest in Huangtuliangzi National Forest Farm

指标 Indicator	现状值 Present value	标准值 Standard value	得分 Score
D1	0.75	1	75.00
D2	25.13 g/kg	24.96 g/kg	100.00
D3	2	3	66.67
D4	5 212.5 株/hm ²	≥6 000 株/hm ²	86.88
D5	0.072	—	92.80
D6	79.1 : 20.9	100	79.10
D7	1	1	100.00
D8	89.5	—	11.50
D9	3 330 株/hm ²	3 300 株/hm ²	100.00
D10	61.88	100	61.88
D11	14 : 30 : 56	2 : 1 : 1 : 2 : 1	84.29
D12	130.27 m ³ /hm ²	142.25 m ³ /hm ²	91.58
D13	11.2 m ³ /(hm ² · a)	7.5 m ³ /(hm ² · a)	100.00
D14	83.24	100	83.24
D15	2 738.8 元/月	1 480 元/月	100.00
D16	6 : 15 : 4	1 : 4 : 5	66.00
D17	84.32	100	84.32
D18	98.38	100	98.38
D19	0.18	—	82.00
D20	96.00	100	96.00
D21	82.27	100	82.27
D22	4.17 m ³ /(hm ² · a)	4.10 m ³ /(hm ² · a)	100.00
D23	78.5	100	78.50
D24	2%	6%	33.33
D25	63.20	100	63.20
D26	57 372 元/hm ²	88 475.6 元/hm ²	64.84
D27	3 722 元/月	5 439 元/月	68.43
D28	33.48%	50%	66.96
总得分 Total score			79.68

注:评价总得分=Σ($\frac{\text{现状值}}{\text{标准值}} \times \text{总权重}$)。

Note:The total score of evaluation=Σ($\frac{\text{Present value}}{\text{Standard values}} \times \text{Total weight}$).

3 讨 论

本研究建立的油松用材林可持续经营评价指标体系,可以从环境、社会、经济、经营 4 个方面对林分经营现状进行评价。本体系中环境指标层可反映出黄土梁子林场油松生长的限制环境因子为土层厚

度,其余两项土壤指标得分较高,尤其是土壤有机质含量。今后可对部分薄土层等立地上的林分进行土壤改良,以提高林分生产力。社会指标反映出林场工人健康安全的工作环境、当地居民支持率等指标得分均在 80 分以上,表明林场在以“绿水青山就是金山银山”的营林理念与发展目标中,注重社会民生

保障问题,职工经济收入及人身安全得到了充分保障,当地居民对用材林经营的满意度与支持率也较高,对发挥油松用材林综合效益起到了重要保障作用。从经营层面指标来看,林木分化程度和林地利用率得分较低,其他各项经营指标均得分较高,平均得分超过 90,这与林场经营方案的目标相符。林场今后应主要采取下层抚育措施,伐去生长不良的林木,促进保留木健康生长。同时,林场还将开展林下种植等多种产业,提高林地利用率。本体系的经济层指标也反映出了林场油松用材林经济效益偏低的现状,这主要受经营周期较长的影响,即使木材产量和木材利用率指标得分偏高,但油松主伐年龄大、管护成本高,因此整体经济效益仍然较低。

目前国内现有的可持续经营评价指标体系多是在区域、经营单位层面上构建的,例如对国有林场或集体林场、企业等经营单位进行整体评价^[48-50],但有专家认为由于评价覆盖范围较大、信息不全,可能导致评价指标体系的可操作性不强,很难实际应用^[48,50]。国内有学者还建立了能源林^[21]、红树林^[51]等的可持续评价指标体系。总体来看,此类研究较少,且指标类型以环境、经济和社会 3 方面为主。本研究构建的指标体系评价对象为一具体树种,除包含环境、经济、社会 3 类指标外,还增加了经营类指标,这在类似研究中还较少见到。

应用本指标体系得到油松人工用材林可持续经营 4 个方面的权重值分别为:环境指标 0.164 793,经营指标 0.188 957,社会指标 0.351 165,经济指标 0.295 084。可看出社会与经济层面权重值比较大,这与前人对黑龙江、福建林场的可持续经营评价研究结果^[9,12]一致。权重值对评价结果具有直接影响,社会指标权重最大,其指标层中各项指标得分的高低对整体评价结果的影响要比环境、经济、经营指标层中的指标大,这在相关评价指标体系的研究中有相同的研究结果,如造林工程建设效果评价研究^[22]、城市绿化评价指标体系研究^[19]、生物多样性评价指标体系的构建^[13]等。

应用本研究构建的评价指标体系可反映出黄土梁子国有林场油松用材林的可持续经营状态,但油松用材林只是林场整体收益的一部分,林场除了油松还有其他树种和利用类型,例如华北落叶松等。另外,除了木材收入还有一些诸如花卉、种苗业、林果产业等收入来源。要评估油松用材林在林场整体经济效益中的比例,首先应分析油松用材林在整个林场收入的收益占比和类型,包括用材、间伐木、松

香等产品的直接经济效益;确定直接经济效益后再结合成本分析,即可得出油松用材林在整个林场的收益情况。当前,用材林经营多偏重于经济效益,而忽略了生态、社会效益的巨大价值,在未来的研究中应对这部分价值开展定量研究,为提高森林综合效益定量评价提供参考。

4 结 论

1)本研究以可持续发展概念为基础,通过文献查阅、问卷调查、专家打分及实地调查等方法,根据全面、科学性原则,利用层次分析法和灰色统计法建立起包含环境、经营、社会和经济 4 个方面共 28 项指标的评价体系框架,其中社会指标的权重值为 0.351 165,经济指标的权重值为 0.295 084,经营指标的权重值为 0.188 957,环境指标的权重值为 0.164 793。

2)以河北平泉黄土梁子国有林场为例,对其油松人工用材林进行评价,总得分为 79.68 分,属中等偏上水平,表明现阶段林场内油松人工用材林可持续经营状态整体较好。

3)指标的权重值影响着最终的评价结果,各层次、各指标的权重值越大,越容易对评价结果产生影响。本研究中社会指标的权重值最大,表明现阶段油松人工用材林经营中社会指标对可持续性影响最大,大于环境、经济和经营方面产生的影响。

我国油松人工用材林分布范围较广,各单位经营方式均是在特定立地条件下制定的,在使用本评价指标体系开展可持续经营评价时,需充分考虑经营方式、样本数据量和代表性,从而提高评价结果的可靠性和适用性。

[参考文献]

- [1] 王 华,欧阳志云,郑 华,等.北京绿化树种油松、雪松和刺槐树干液流的空间变异特征 [J]. 植物生态学报,2010,34(8): 924-937.
Wang H,Ouyang Z Y,Zheng H,et al.Characteristics of spatial variations in xylem sap flow in urban greening tree species *Pinus tabulaeformis*,*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don and *Robinia pseudoacacia* L. in Beijing,China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2010,34(8):924-937.
- [2] 徐有明.油松木材物理力学性质的研究 [J]. 安徽农学院学报,1989(1):74-82.
Xu Y M.Study on physical and mechanical properties of *Pinus tabulaeformis* wood [J]. Journal of Anhui Agricultural College,1989(1):74-82.
- [3] 李仁平.辽东山区油松建筑材林立地类型划分及立地质量评价

- [D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- Li R P. Classification of forest site and evaluation of building timber forests dominated by *Pinus tabulaeformis* in Liaodong mountain area [J]. Shenyang:Shenyang Agricultural University,2018.
- [4] 张海强. 油松育苗技术 [J]. 现代农业科技,2019(8):121.
- Zhang H Q. Seedling breeding technology of *Pinus tabulaeformis* [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019 (8):121.
- [5] 贾忠奎,董伯骞,邸楠,等. 国家林业局油松工程技术研究中心通过评审 [EB/OL]. (2016-07-17)[2019-06-10]. <http://news.bjfu.edu.cn/lsw/225591.html>.
- Jia Z K, Dong B Q, Di N, et al. *Pinus tabulaeformis* Engineering and Technology Research Center of State Forestry Administration has passed the evaluation [EB/OL]. (2016-07-17) [2019-06-10]. <http://news.bjfu.edu.cn/lsw/225591.html>.
- [6] 刘平,于磊,李仁平,等. 辽东山区油松建筑材林立地质量评价研究 [J]. 沈阳农业大学学报,2019,50(1):70-77.
- Liu P, Yu L, Li R P, et al. Study on quality evaluation of *Pinus tabulaeformis* in the Liaodong mountainous area [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2019, 50(1):70-77.
- [7] 亢新刚. 森林资源经理管理 [M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- Kang X G. Forest resource manager management [M]. Beijing: China Forestry Press, 2001.
- [8] Singh R K, Murty H R, Gupta, S K. An overview of sustainability assessment methodologies [J]. Ecological Indicators, 2009(9):189-212.
- [9] 郭建宏. 福建中亚热带经营单位水平森林可持续经营评价研究 [D]. 福州:福建农林大学,2003.
- Guo J H. Evaluation of sustainable forest management at the level of operating units in central subtropical region of Fujian [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2003.
- [10] 段庆锋,赵天忠. 区域森林资源可持续发展评价指标体系浅谈 [J]. 林业资源管理,2004(3):56-58.
- Duan Q F, Zhao T Z. Discussion on evaluation index system of sustainable development of regional forest resources [J]. Forest Resources Management, 2004(3):56-58.
- [11] 刘龙耀. 国有林场森林可持续经营指标体系构建及评价研究 [D]. 福州:福建农林大学,2014.
- Liu L Y. Research on construction and evaluation of forest sustainable management index system of state-owned forestry farms [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.
- [12] 宋广军, Jingxin Wang, 王立海. 伊春林区森林可持续经营效果评价 [J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(6):36-41.
- Song G J, Wang J X, Wang L H. Evaluation of forest sustainable management effect in Yichun forest region [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2017, 45(6):36-41.
- [13] 吴金卓,彭莹亦,林文树. 阔混交林生物多样性评价指标体系与模型构建 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(4):8-18.
- Wu J Z, Peng X Y, Lin W S. Evaluation index system and model construction of conifer-broadleaved mixed forest biodiversity [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37 (4):8-18.
- [14] 段梦成,王国梁,史君怡,等. 间伐对油松人工林优势种群结构与分布格局的影响 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(1):1-10.
- Duan M C, Wang G L, Shi J Y, et al. Effects of thinning on dominant population structure and distribution pattern in *Pinus tabulaeformis* plantation [J]. Journal of Ecology, 2019, 38 (1):1-10.
- [15] 王玲,赵广亮,杨雨果,等. 北京八达岭地区油松人工林土壤动物群落特征研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(9):41-50.
- Wang L, Zhao G L, Yang Y G, et al. Studies on soil fauna community characteristics of *Pinus tabulaeformis* plantation in Badaling, Beijing [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2018, 46(9):41-50.
- [16] 汪洋,闫慧娟,张国君,等. 油松不同种源种子萌发特性 [J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6):143-146, 216.
- Wang Y, Yan H J, Zhang G J, et al. Germination characteristics of seeds from different provenance of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 143-146, 216.
- [17] 董娇,韩有志,李娇娇,等. 不同基质组成对油松容器苗生长状况的影响 [J]. 山西农业科学, 2019, 47(4):624-627.
- Dong J, Han Y Z, Li J J, et al. Effects of different substrate composition on growth of container seedlings of *Pinus tabulaeformis* [J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47 (4): 624-627.
- [18] 李炳怡,刘冠宏,李伟克,等. 不同火强度对河北平泉油松林土壤有机碳及土壤养分影响 [J]. 生态科学, 2018, 37(4):35-44.
- Li B Y, Liu G H, Li W K, et al. Effects of different fire intensities on soil organic carbon and soil nutrients in *Pinus tabulaeformis* of Pingquan County, Hebei Province, China [J]. Ecological Science, 2018, 37(4):35-44.
- [19] 杨静怡,赵平,马履一. 宜居城市绿化评价指标体系研究:以北京市为例 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(5):239-245.
- Yang J Y, Zhao P, Ma L Y. Index system of urban greening evaluation of livable city: a case study of Beijing [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(5):239-245.
- [20] 黄广远. 北京市城区城市森林结构及景观美学评价研究 [D]. 北京:北京林业大学,2012.
- Huang G Y. Study on species composition and landscape aesthetics evaluation of urban forest in Beijing [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [21] 贾汉森. 能源林可持续经营评价指标体系构建与应用研究 [D]. 北京:北京林业大学,2017.
- Jia H S. The construction and application of sustainable evaluation system for energy forest [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017.
- [22] 冯雪,马履一,蔡宝军,等. 北京平原百万亩造林工程建设效果评价研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1):136-144.

- Feng X, Ma L Y, Cai B J, et al. Effectiveness evaluation based on the afforesting construction in Beijing plain [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 136-144.
- [23] 吕 薇, 李 军, 岳志芳, 等. 轮耕对渭北旱塬麦田土壤有机质和全氮含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(16): 3186-3200.
- Lü W, Li J, Yue Z F, et al. Effects of rotary tillage on soil organic matter and total nitrogen content in wheat fields in the Weibei dry tableland [J]. Scientia Agricultural Sinica, 2015, 48(16): 3186-3200.
- [24] United States Department of Labor, U. S. Department of Health and Human Services. Occupational safety and health administration [EB/OL]. (2018-06-29) [2019-12-01]. <https://baike.baidu.com/item/OSHA/10267233fr=aladdin>.
- [25] 国家林业局. 森林资源规划设计调查主要技术规定 [EB/OL]. (2004-11-15) [2019-06-09]. <http://www.forestry.gov.cn/portals/xby/s/1312/content-127438.html>.
- State Forestry Administration. Main technical regulations for forest resource planning [EB/OL]. (2004-11-15) [2019-06-09]. <http://www.forestry.gov.cn/portals/xby/s/1312/content-127438.html>.
- [26] 国家林业局. 森林采伐更新管理办法 [EB/OL]. (2017-03-14) [2019-06-10]. <http://www.forestry.gov.cn/main/395/content-459873.html>.
- State Forestry Administration. Measures for forest harvesting and renewal management [EB/OL]. (2017-03-14) [2019-06-10]. <http://www.forestry.gov.cn/main/395/content-459873.html>.
- [27] 国家林业局. 速生丰产用材林培育技术规程 (LY/T 1706—2007) [EB/OL]. (2007-12-01) [2019-06-10]. <http://www.doc88.com/p-2905310138820.html>.
- State Forestry Administration. Technical regulations for cultivation of fast-growing and high-yield timber stands (LY/T 1706—2007) [EB/OL]. (2007-12-01) [2019-06-10]. <http://www.doc88.com/p-2905310138820.html>.
- [28] 河北省石家庄市人民政府. 河北省最低工资标准及实行地区 [EB/OL]. (2018-06-14) [2019-06-10]. <http://www.sjz.gov.cn/col/1496583061708/2017/07/25/1500947648864.html>.
- People's Government of Shijiazhuang City, Hebei Province. Minimum wage standards and implementation areas in Hebei Province [EB/OL]. (2018-06-14) [2019-06-10]. <http://www.sjz.gov.cn/col/1496583061708/2017/07/25/1500947648864.html>.
- [29] 河北省人力资源和社会保障厅. 关于 2017 年全省城镇非私营单位在岗职工平均工资和全省企业退休人员月平均养老金等有关数据通知 [EB/OL]. (2018-06-14) [2019-06-10]. <http://www.hbrsw.gov.cn/a/tong zhi/2018/0604/6210.html>.
- Human Resources and Social Security Department of Hebei Province. Notice on the average salary of on-duty employees of non-private units in cities and towns of the province and monthly average pension of enterprise retirees of the province in 2017 [EB/OL]. (2018-06-14) [2019-06-10]. <http://www.hbrsw.gov.cn/a/tong zhi/2018/0604/6210.html>.
- [30] 中华人民共和国人力资源和社会保障部. 国有林场岗位设置管理的指导意见 [EB/OL]. (2015-06-26) [2019-06-10]. <http://www.forestry.gov.cn/main/4461/content-778307.html>.
- Ministry of Human Resources and Social Security, PRC. Guidance on post setting and management of state-owned forestry farms [EB/OL]. (2015-06-26) [2019-06-10]. <http://www.forestry.gov.cn/main/4461/content-778307.html>.
- [31] 方 亮. 呼和浩特市影响油松成活生长环境因子的调查研究 [J]. 内蒙古林学院学报, 1998(4): 11-15.
- Fang L. Investigation of environmental factors affecting the survival and growth of *Pinus tabulaeformis* in Hohhot [J]. Journal of Inner Mongolia Forestry College, 1998(4): 11-15.
- [32] Ladha J K, Reddy C K, Padre A T, et al. Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils [J]. Journal of Environmental Quality, 2011, 40: 1756-1766.
- [33] 杨 帆, 徐 洋, 崔 勇, 等. 近 30 年中国农田耕层土壤有机质含量变化 [J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1047-1056.
- Yang F, Xu Y, Cui Y, et al. Changes of soil organic matter content in farmlands in China in recent 30 years [J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(5): 1047-1056.
- [34] 法 蕾, 郭 嘉, 马淑敏, 等. 北京九龙山不同立地类型土壤有机质研究 [J]. 浙江林业科技, 2014, 34(6): 45-49.
- Fa L, Guo J, Ma S M, et al. Soil organic matter distribution in different site types in Jiulong mountain [J]. Journal of Zhejiang Forestry Technology, 2014, 34(6): 45-49.
- [35] 王一陶. 不同林分类型对林下土壤化学性质的影响 [J]. 防护林科技, 2018(8): 38-39.
- Wang Y T. Effects of different stand types on soil chemical properties under forest [J]. Protection Forest Science and Technology, 2018(8): 38-39.
- [36] 中国可持续发展林业战略研究项目组. 中国可持续发展林业战略研究总论 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- China Forestry Strategy Research Group for Sustainable Development. General study on forestry strategy of sustainable development in China [M]. Beijing: China Forestry Press, 2002.
- [37] 陈永富, 张小泉. 林分最大蓄积量收获模型建立方法的探讨 [J]. 林业科学研究, 1992(5): 542-547.
- Chen Y F, Zhang X Q. Discussion on the establishment method of stand maximum accumulation harvesting model [J]. Forest Research, 1992(5): 542-547.
- [38] 肖 瑜. 环境因素对油松林木材生产影响的定量评价 [J]. 应用生态学报, 1990(3): 193-200.
- Xiao Y. Quantitative evaluation of the influence of environmental factors on wood production in *Pinus tabulaeformis* forest [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1990(3): 193-200.
- [39] 陈小春. 浅析森林资源资产评估投资收益率的确定 [J]. 绿色科技, 2012(8): 219-221.

- Chen X C. A brief analysis on the determination of the investment rate of forest resources assets appraisal [J]. Journal of Green Science and Technology, 2012(8): 219-221.
- [40] 余松柏,梁思明.新形势下森林资产评估难点及其评估方法探讨[J].中南林业调查规划,2012,31(2):45-49.
- Yu S B, Liang S M. A discussion of the difficulties and the solutions of forest resource assets evaluation in the new situations [J]. Central Southern Forest Inventory and Planning, 2012, 31(2): 45-49.
- [41] 康莉莉.森林资源资产评估投资收益率的研究[D].福州:福建农林大学,2014.
- Kang L L. Research on the rate of return on investments in the evaluation of forest resources assets [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.
- [42] 齐宏伟,李 富.我国林业产业的比较优势及引资风险分析[J].开发研究,2007(5):79-81.
- Qi H W, Li F. Comparative advantage and risk analysis of Chinese forestry industry [J]. The Development of Research, 2007(5): 79-81.
- [43] 朱际善,沈雪珍,邢金香.我国油松松脂资源开发的探讨[J].林产化工通讯,1993(6):36-38.
- Zhu J S, Shen X Z, Xing J X. Discussion on the development of *Pinus tabulaeformis* rosin resources in China [J]. Forest Chemical Communication, 1993(6): 36-38.
- [44] 郭韦韦,张 青,亢新刚,等.长白山云冷杉林不同演替阶段树种组成及林下更新研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(1):109-116.
- Guo W W, Zhang Q, Kang X G, et al. Studies on tree species composition and understory regeneration of spruce fir forest in different succession stages in Changbai mountain [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2017, 41(1): 109-116.
- [45] 魏 洁.油松人工林抚育效果研究[J].山西林业,2015(3):17-18.
- Wei J. Research on rearing effect of *Pinus tabulaeformis* plantation [J]. Shanxi Forestry, 2015(3): 17-18.
- [46] 郭志斌,熊大国,游 昕,等.广元市昭化区马尾松林下种植茯苓经济效益初探[J].四川林业科技,2014,35(6):130-132, 124.
- Guo Z B, Xiong D G, You X, et al. Benefit analysis of under-wood planting of *Poria cocos* in Zhaohua district of Guangyuan City [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2014, 35(6): 130-132, 124.
- [47] 中华人民共和国林业部.中华人民共和国林业部松脂采集规程[EB/OL].(2015-05-21)[2019-06-10].<http://www.rosin-china.com/wzlm001/179515.htm>.
- Ministry of Forestry, PRC. Regulations for collection of rosin by Ministry of Forestry, PRC [EB/OL]. (2015-05-21)[2019-06-10]. <http://www.rosin-china.com/wzlm001/179515.htm>.
- [48] 陈 华,林华忠,靳爱仙,等.基于物元分析法的将乐国有林场用材林质量评价研究[J].林业资源管理,2018(5):82-89.
- Chen H, Lin H Z, Jin A X, et al. Matter-element analysis based on the quality evaluation of timber forest in Jiangyue National Forest Farm [J]. Forestry Resources Management, 2018(5): 82-89.
- [49] 郭 峰.北沟林场森林资源可持续性评价研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- Guo F. Evaluation research on forest resource sustainability of Beigou Forest Farm [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2013.
- [50] 许忠文.广西永福县森林可持续经营评价研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
- Xu Z W. Evaluation research on sustainable forest management in Yongfu county, Guangxi [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016.
- [51] 吴 筠,刘金福,李俊清,等.福建沿海红树林可持续经营评价指标体系构建[J].江西农业大学学报,2007(5):778-783.
- Wu Y, Liu J F, Li J Q, et al. Construction of evaluation index system for sustainable management of coastal mangroves in Fujian province [J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2007(5): 778-783.