

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.020.

申小娟, 杜盛. 甘肃省5种典型人工林健康状况[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 295-300.

SHEN Xiaojuan, DU Sheng. Health Assessment of Five Typical Plantation Forests in Gansu Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 295-300.

甘肃省5种典型人工林健康状况

申小娟^{1,2}, 杜盛^{2,3}

(1.西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3.中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 研究典型人工林健康状况, 可为甘肃地区制定人工林科学经营措施、提高森林资源质量、实现森林可持续发展提供理论依据。 [方法] 以甘肃省5种典型人工林(刺槐林、杨树林、落叶松林、云杉林和油松林)为研究对象, 在对区域内68个典型样地进行野外调查的基础上, 从森林群落结构、生产力和恢复力等方面选取了18项指标, 运用主成分分析和聚类分析法, 构建了适用于该区域人工林的健康评价指标体系和健康评价模型, 计算了森林健康指数, 综合评价了该地区5种典型人工林的健康状况。 [结果] (1) 甘肃地区典型人工林60.3%处于亚健康状态, 22.1%处于不健康状态, 10.3%处于中健康状态, 7.3%处于健康状态; (2) 不同人工林中, 落叶松林的健康水平相对较高, 杨树林健康水平最低, 森林健康指数依次为落叶松林(0.417) > 云杉林(0.126) > 刺槐林(0.106) > 油松林(0.000) > 杨树林(-0.665); (3) 人工林不同龄组中, 成熟林的健康水平相对较高, 幼龄林健康水平相对较低, 平均森林健康指数依次为成熟林(0.580) > 近熟林(-0.062) > 中龄林(-0.073) > 幼龄林(-0.354)。 [结论] 对甘肃地区人工林仍需加强森林抚育, 合理制定该地区人工林可持续经营管理措施, 以实现人工林生态系统可持续发展。

关键词: 森林健康评价; 人工林; 主成分分析; 甘肃省

中图分类号: S718.557

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0295-06

Health Assessment of Five Typical Plantation Forests in Gansu Province

SHEN Xiaojuan^{1,2}, DU Sheng^{2,3}

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] Studying health assessment of typical plantation forests can provide a theoretical basis for formulating scientific management measures for plantation forests, improving the quality of forest resources and achieving sustainable development of plantation forests in Gansu. [Methods] Based on the field investigation of 68 typical sample plots in Gansu, this study took five main types of plantation forests (*Robinia pseudoacacia*, *Populus spp*, *Larix principis-rupprechtii* Mayr, *Picea asperata* Mast and *Pinus tabulaeformis*) of Gansu as the research samples, and selected 18 indicators such as forest community structure, productivity and resilience, etc. Principal component analysis and cluster analysis were used to build the plantation forest health evaluation index system and forest health evaluation model, and the forest health index was used to reflect the forest healthy level. [Results] (1) 60.3% of the plantation forests in Gansu were in sub-health state, 22.1% were in unhealthy state, 10.3% were in medium-health state, and 7.3% were in healthy state. (2) For different plantation forests, the forest health index of *L. principis-rupprechtii* Mary

收稿日期: 2022-04-18

修回日期: 2022-05-06

资助项目: 中国科学院野外站联盟课题(KFJ-SW-YW034-03); 中国科学院战略性先导科技专项课题(XDA05050202)

第一作者: 申小娟(1997—), 女, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事植被恢复与森林生态系统过程研究。E-mail: xiaojuan_shen@foxmail.com

通信作者: 杜盛(1965—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 博士, 研究员, 主要从事植被恢复与森林生态系统过程研究。E-mail: shengdu@ms.iswc.ac.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

was significantly higher, while the *P. spp* was relatively the lowest, and the the ranking of forest health index was the *L. principis-rupprechtii* Mary (0.417) > *P. asperata* Mast (0.126) > *R. pseudoacacia* (0.106) > *P. tabuliformis* (0.000) > *P. spp* (−0.665). (3) For different forest age groups, the forest health indices of mature forests were significantly higher than those of other age groups, while young forests had lower health levels, and the ranking of forest health index was the mature forests (0.580) > near mature forests (−0.062) > middle-aged forests (−0.073) > young forests (−0.354). [Conclusion] The plantation forests in Gansu still need to strengthen forest tending and management, the scientific sustainable management measures should be formulated for the plantation forests in the region, to achieve sustainable development of plantation forest ecosystems in Gansu Province.

Keywords: forest health assessment; plantation forest; principal component analysis; Gansu Province

森林生态系统作为陆地生态系统的主体,是分布最广、类型最丰富、结构最复杂的生态系统,提供涵养水源、固碳释氧、生物多样性保护等多种生态服务功能^[1],在维护全球生态平衡中发挥着不可取代的作用。随着我国多项林业重点工程的实施,人工林面积迅速增加,目前我国人工林面积达到 7.954×10^5 km²,居世界首位,已成为我国森林的重要组成部分。但由于缺乏有效的抚育经营措施,人工林普遍存在树种组成单一、林分结构简单、生产力低下等森林健康问题^[2]。森林健康评价作为人工林健康研究的前提,能够为地区人工林建设和可持续经营提供科学指导,有利于人工林生态系统社会效益、经济效益和生态效益等多种服务功能的充分发挥。

森林健康是一个综合林木个体、林分、森林群落和森林生态系统在内的复杂概念^[3]。因此,根据研究目的的不同,选取的人工林健康评价指标和评价方法不同,目前学者选取的评价指标主要包括:地形指标、土壤指标、生产力指标、结构指标、抗逆性指标、生态功能指标和恢复性指标等^[4-5];评价方法主要包括:层次分析法^[6]、主成分分析法、模糊综合评价法、人工神经网络法、复合结构功能指标法、灰色关联度法等^[7],尚未形成统一的人工林健康评价标准。此外,目前针对人工林健康的研究主要集中在地区某一林分类型的评价上^[8-9],对甘肃地区人工林的研究主要集中在森林的资源现状^[10]、碳汇功能^[11]、生态服务功能等^[12]方面,对甘肃地区人工林健康状况的研究较少。

甘肃地区作为典型的生态脆弱区,在我国生态安全屏障建设中占据重要位置。开展甘肃省人工林健康情况评价研究,对提高甘肃地区人工林建设质量水平、充分发挥其森林生态服务功能、改善地区生态环境具有重要意义。本研究在参考国内外相关文献的基础上,以甘肃地区典型人工林:刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林、杨树(*Populus spp.*)林、落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)林、云杉(*Picea*

asperata Mast)林、油松(*Pinus tabuliformis*)林为研究对象,运用主成分分析法和聚类分析法,构建甘肃地区人工林森林健康评价指标体系和综合健康评价模型,计算人工林森林健康指数,对甘肃地区典型人工林健康状况进行评价,以期对地区人工林的森林健康经营和生态环境建设提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

甘肃省位于我国西北部(32°31′—42°57′N, 92°13′—108°46′E),地处黄河上游,面积 42.58×10^4 km²,地形呈狭长状,地貌复杂。气候类型多样,由南至北包括亚热带季风气候、温带季风气候、温带大陆性(干旱)气候和高原高寒气候等,气候干燥,干旱、半干旱区占全省总面积 75%。甘肃地区年平均气温 0~15℃,总体呈现上升趋势^[13],不同季节降水差异大,降水主要集中在夏季(6—8月),年均降水量 36.6~734.9 mm,从东南向西北呈降低趋势^[14]。甘肃森林资源总量不足,分布不均,森林覆盖率 11.33%,集中分布在白龙江、洮河、小陇山、子午岭、大夏河、西秦岭、康南、祁连山、关山、马衔山等林区,中部及河西地区森林资源较少。近年来随着退耕还林等林业工程的实施,甘肃省人工林获得较大发展,根据第九次森林资源清查成果,甘肃省现有森林面积 50 973 km²,人工林面积 12 656 km²,占全省森林的 24.88%,主要人工林为刺槐林、杨树林、落叶松林、云杉林和油松林,面积和蓄积分别占全省人工林的 63.93%, 83.88%。

1.2 数据来源

本研究结合甘肃省第八次森林资源清查成果,于 2015 年 7—9 月进行样地调查。在充分考虑甘肃省人工林林分类型、林龄结构、面积分布等因素的基础上,遵循全面性、代表性和典型性原则,在研究区布设涵盖甘肃省主要人工林的标准样地 68 个,涵盖平凉、庆阳、白银、兰州、武威、天水、陇南、甘南、定西、临

夏等地,其中,典型人工阔叶林刺槐林 12 个、杨树林 11 个,典型人工针叶林落叶松林 10 个、云杉林 15 个、油松林 20 个。样地设置为 50 m×20 m(部分地形破碎地区设置 30 m×20 m),各样地沿对角线设置 3 个灌木样方(2 m×2 m)和 3 个草本样方(1 m×1 m),参照森林资源连续清查技术规定^[15],调查内容包括(1)立地条件调查:海拔、经纬度、坡度、坡向、人类活动干扰程度等环境因子;(2)乔木层调查:胸径、树高、林龄结构、密度、郁闭度、树种组成;(3)灌木层和草本层调查:盖度、植物种类等;(4)土壤层调查:在标准地内选择未受人为干扰、植被结构和土壤具有代表性的地段挖取土壤剖面,按照 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—50 cm,50—100 cm 分层取样,调查枯枝落叶层厚度、土层厚度、土壤容重(环刀法)和土壤孔隙度等土壤因子。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系的构建 在国内外现有研究成果的基础上,结合甘肃地区人工林的实际情况,基于科学性、代表性、可操作性、系统性的原则,综合考虑森林的群落特征、恢复能力和生产能力^[16-17],选取共计 18 个指标,包括龄组、密度、郁闭度、草本盖度、灌木盖度、草本丰富度、灌木丰富度、草本多样性、灌木多样性、群落层次结构,平均胸径、平均树高、植被生物量、土层厚度、枯枝落叶厚度、土壤有机质、土壤容重和土壤孔隙度,并以此构建甘肃人工林森林健康评价指标体系。其中,密度、平均胸径、平均树高、生物量、土层厚度和枯枝落叶厚度使用野外调查结果均值获得;龄组的划分标准参照甘肃省林地落界实施细则^[18]进行;郁闭度和灌木盖度采用对角线法进行测定;草本盖度采用目测法进行测定,并结合数字图像法进行抽样比对,以减少误差;丰富度和林下植物多样性采用 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数进行计算获得;土壤有机质、土壤容重和土壤孔隙度通过计算不同土层深度测定结果的均值得到;部分指标依据森林资源连续清查技术规程进行量化处理(表 1)^[19]。

表 1 定性指标的量化

评价指标	量化标准				
龄组	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
群落层次结构	简单结构	复杂结构	完整结构	—	—
土层厚度/cm	0~30	30~59	≥60	—	—

1.3.2 评价方法 使用主成分分析法和聚类分析法,对甘肃地区人工林进行森林健康状况评价研究。

首先对指标数据使用 Z-score 法进行标准化处理,统一指标数据的量纲。对标准化处理后的指标数

据进行 KMO 和 Bartlett 检验,KMO 检验值为 0.689 (>0.5),Bartlett 检验的 p 值为 0.000(<0.05),表明指标数据满足主成分分析的使用条件^[20]。再对各样地的指标数据运用主成分分析法进行处理,提取特征值(主成分对原变量的解释能力)大于 1 的主成分因子,共 5 个(F_1, F_2, F_3, F_4, F_5)(表 2),累计方差贡献率达 78.27%,说明其能够代表原始指标数据的大部分信息,主成分分析效果较为理想。

表 2 主成分因子的特征值和方差贡献率

主成分因子	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
F_1	5.826	30.664	30.664
F_2	3.369	17.731	48.395
F_3	2.755	14.502	62.897
F_4	1.738	9.148	72.046
F_5	1.182	6.223	78.269

根据式(1)计算得到各主成分因子的权重依次为:39.18%,22.65%,18.53%,11.69%,7.95%。结合式(2—3),计算得到各样地的森林健康指数。计算公式如下:

$$W_i = \frac{\lambda_i}{\sum m \cdot \lambda} \tag{1}$$

$$F_i = \sum_{j=1}^n C_{ij} \times ZX_j \tag{2}$$

$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j \times F_i \tag{3}$$

式中: W_i 为第 i 个主成分因子的权重; λ_i 为第 i 个主成分的方差贡献率; F_i 为第 i 个主成分因子得分; C_{ij} 为第 i 个主成分因子的第 j 个指标的得分系数; ZX_j 为第 j 个指标数据的标准化值; H_i 为第 i 个样地的森林健康指数。

对各个样地的森林健康指数计算结果进行系统聚类分析,参考罗鹏飞^[21]、刘建泉^[22]等森林健康等级划分标准,结合各样地森林健康指数的聚类分析结果,将甘肃地区人工林健康状况划分为不健康、中健康、亚健康和健康 4 个等级。

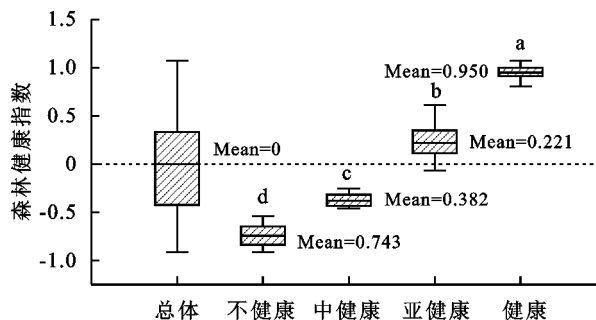
1.3.3 数据处理 在 Excel 2019 中进行数据处理,在 SPSS 26.0 中进行主成分分析、聚类分析和单因素方差分析,使用 Origin 2022 制图。

2 结果与分析

2.1 甘肃地区人工林整体健康状况

根据各样地森林健康指数计算结果,对甘肃地区主要人工林的 68 个样地进行聚类分析(图 1)。结果表明,甘肃地区 68 个人工林样地中,41 个样地处于亚健康状态,森林健康指数范围:−0.067~0.613,均

值 0.221;15 个样地处于不健康状态,森林健康指数范围: $-0.912 \sim -0.540$, 均值 -0.743 ;7 个样地处于中健康状态,森林健康指数范围: $-0.459 \sim -0.255$, 均值 -0.382 ;5 个样地处于健康状态,森林健康指数范围: $0.807 \sim 1.073$, 均值 0.950。其中,甘肃地区主要人工林的整体森林健康指数均值为 0.000,处于亚健康指数范围($-0.067 \sim 0.613$)。在所有样地中,森林健康指数最高达 1.073,为成熟油松林样地;森林健康指数最低至 -0.912 ,为中龄油松林样地。



注:不同字母代表在水平上具有显著差异,下同。

图1 甘肃地区人工林整体健康状况

对甘肃地区主要人工林的健康构成状况进行分析,结果如图2所示,甘肃地区主要人工林处于亚健康状态的样地数量最多(41个),占总样地数量的60.3%;健康状态的样地最少,占总样地的7.4%;中健康和亚健康状态的样地占总样地的32.4%。整体来看,甘肃地区主要人工林森林健康状况:亚健康(60.3%)>不健康(22.1%)>中健康(10.3%)>健康(7.3%)。

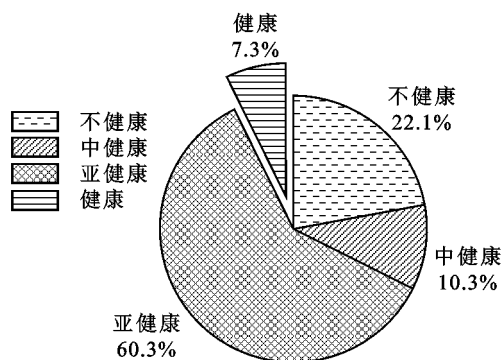
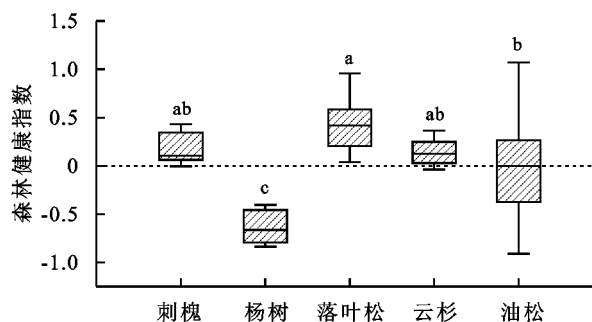


图2 甘肃地区人工林森林健康构成

2.2 甘肃地区不同人工林健康状况

对甘肃地区不同人工林的森林健康指数进行差异性分析(图3),结果表明,甘肃地区5种主要人工林的森林健康指数整体上差异显著($p < 0.05$),其中,落叶松林的森林健康指数显著高于油松林和杨树林,森林健康指数均值(0.417)处于亚健康的指数范围($-0.067 \sim 0.613$);刺槐林(0.106)和云杉林(0.126)的森林健康指数差异不显著,两种人工林的森林健康状况相近;杨树林的森林健康指数显著低于其他人工

林,森林健康指数均值(-0.665)处于不健康的指数范围($-0.912 \sim -0.540$)。整体来看,不同人工林森林健康指数:落叶松林(0.417)>云杉林(0.126)>刺槐林(0.106)>油松林(0.000)>杨树林(-0.665)。



注:不同字母代表在水平上具有显著差异。

图3 甘肃地区不同人工林森林健康状况

对甘肃地区不同人工林的森林健康构成进行分析(图4),结果表明,落叶松林主要处于亚健康(90%)和健康(10%)状态,森林健康水平相对较高;刺槐林、油松林和云杉林主要处于健康(6.7%~10%)、亚健康(55%~80%)、中健康(0~15%)、不健康(6.7%~20%)状态,森林健康水平中等;杨树林主要处于不健康(72.7%)和中健康(27.3%)状态,森林健康水平相对较低。

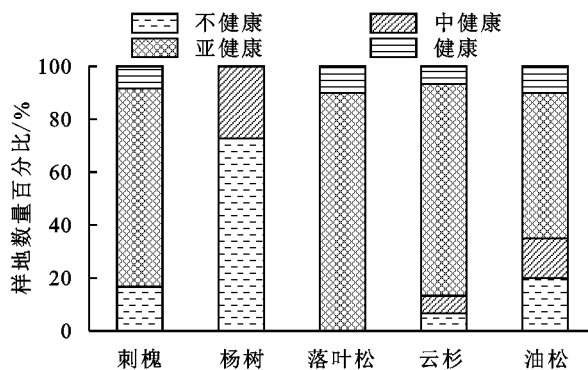


图4 甘肃地区不同人工林森林健康构成

2.3 甘肃地区人工林不同龄组健康状况

根据样地调查结果,5种人工林中仅杨树林存在一定面积的过熟林,因此本研究中将杨树过熟林作为成熟林进行分析。针对甘肃地区主要人工林的4个龄组的森林健康指数进行差异性分析,结果如图5所示,甘肃地区人工林不同的龄组中,成熟林的森林健康指数显著高于其他龄组,森林健康指数均值(0.580)处于亚健康指数范围($-0.067 \sim 0.613$);中龄林和近熟林的森林健康指数差异不显著;幼龄林森林健康指数显著低于近熟林和成熟林,森林健康指数均值(-0.354)处于中健康指数范围($-0.459 \sim -0.255$)。整体来看,随着林龄的增加,森林健康指数呈现增加趋势,各龄组间森林健康指数:成熟林(0.580)>近熟林(-0.062)>中龄林(-0.073)>幼龄林(-0.354)。

对甘肃地区人工林不同龄组的森林健康构成进行分析(图 6)。结果表明,在甘肃地区人工林的不同龄组中,成熟林主要处于健康(41.7%)、亚健康(50%)、不健康(8.3%)状态,森林健康水平相对较高;中龄林和近熟林主要处于亚健康(66.7%~67.9%)、中健康(13.3%~14.3%)、不健康(17.9%~20%)状态,森林健康水平相对中等;幼龄林主要处于亚健康(46.2%)、不健康(46.2%)、中健康(7.2%)状态,森林健康水平相对较低。说明随着林龄的增加,森林群落结构不断完善,森林健康指数相应提高。

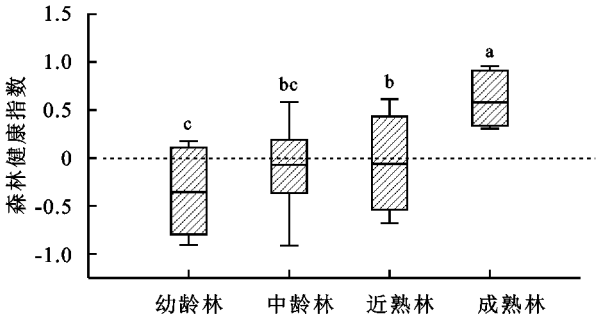


图 5 甘肃地区人工林不同龄组森林健康状况

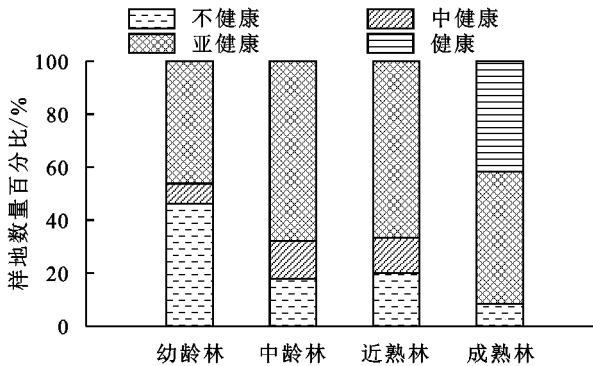


图 6 甘肃地区人工林不同龄组的森林健康构成

3 讨论

本研究在国内外研究的基础上,采用主成分分析法构建人工林森林健康评价模型,对甘肃地区主要人工林的森林健康状况进行评价研究。目前,国内外最常见的森林健康评价方法为层次分析法^[23],即通过对各评价指标人为确定权重进行森林健康评价研究,评价结果具有一定的主观性和不确定性^[24],本研究采用主成分分析法,将影响森林健康的 19 个相关指标简化为较少的独立的 5 个主成分因子,简化指标结构,并根据各主成分因子的贡献率来确定权重,避免了人为赋权的主观性,使评价结果更加客观合理^[25]。

对甘肃地区人工林不同龄组间的森林健康状况进行对比,结果表明成熟林的森林健康指数显著高于其他龄组,这与在城步^[26]、南京^[27]、广西等地区进行的针对不同龄组的森林健康评价结果一致。幼龄林

阶段的林分郁闭度不高,密度较小,尚未形成完整的森林群落结构,随着林龄增加,森林群落结构由简单转向复杂,植物多样性提高,生产力水平和生态系统稳定性增强,从而导致森林健康指数提高。发展到过熟林阶段,森林内部的林木个体间竞争激烈、生长势减弱,出现枯死现象,导致森林健康指数再次下降^[28]。对甘肃地区不同人工林的森林健康状况进行对比,结果表明,与其他人工林相比,杨树林的森林健康水平相对较低。根据前人研究,杨树作为甘肃地区三北防护林建设的主要树种,存在过熟、干旱缺水、后期管护不到位等森林健康问题,林分退化现象较为严重^[29-30],需及时采取抚育措施,对杨树林的退化林分进行更新改造,对残次林采用混交方式进行经营管理,改善甘肃地区杨树人工林的森林健康状况。

对甘肃地区主要人工林的整体森林健康状况的评价结果表明,甘肃地区处于亚健康状态的人工林占 60.29%,整体森林健康水平有待提高。结合第九次森林资源清查结果,甘肃地区人工林普遍存在纯林多、混交林少、中幼林多、成熟林少,林龄结构和层次结构趋向单一等森林健康问题^[31]。对此,根据森林近自然经营理念^[32],对甘肃地区处于亚健康状态的人工林,合理抚育经营,提高森林生产力,维护森林生态系统平衡;对处于中健康和 unhealthy 状态的人工林,需及时采取抚育措施管理干预,优化林分空间结构,增强森林生态系统的稳定性,提高森林健康水平。

4 结论

- (1) 甘肃地区主要人工林整体森林健康状况良好,约 67.6% 处于健康或亚健康状态,约 10.3% 处于中健康状态,约 22.1% 处于不健康状态。
 - (2) 甘肃地区主要人工林中,落叶松林的森林健康指数显著高于油松林和杨树林,森林健康水平相对较高。杨树林的森林健康指数显著低于其他人工林,森林健康水平相对较低。各人工林的森林健康指数对比:落叶松林(0.417) > 云杉林(0.126) > 刺槐林(0.106) > 油松林(0.000) > 杨树林(-0.665)。
 - (3) 甘肃地区人工林的不同龄组中,成熟林的森林健康指数显著高于其他龄组,森林健康水平相对较高。幼龄林的森林健康指数显著低于近熟林和成熟林,森林健康水平相对较低。各龄组的森林健康指数对比:成熟林(0.580) > 近熟林(-0.062) > 中龄林(-0.073) > 幼龄林(-0.354)。
- 以上结果对于合理制定该地区人工林经营管理

措施具有参考价值,建议针对杨树过熟林及早开展更新改造,对退化林分进行修复改造;对幼龄林抚育间伐,合理调节林分密度与空间结构,改善林木生长环境,提高森林生物量和生产力。

参考文献

- [1] Gauthier S, Bernier P, Kuuluvainen T, et al. Boreal forest health and global change[J]. *Science*, 2015, 349: 819-822.
- [2] 杜志,胡觉,肖前辉,等.中国人工林特点及发展对策探析[J].*中南林业调查规划*, 2020, 39(1): 5-10.
- [3] Harry H. Canada's national ecological framework: an asset to reporting on the health of Canadian forests[J]. *Forestry Chronicle*, 2001, 77(1): 111-115.
- [4] Pan Z, He J, Liu D, et al. Ecosystem health assessment based on ecological integrity and ecosystem services demand in the middle reaches of the Yangtze River economic belt, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 774: 144837.
- [5] 雷占梅,才仁旦周,高云鹤,等.西宁市青海云杉人工林健康评价研究[J].*青海农林科技*, 2021(1): 25-30, 35.
- [6] Xue P, Bing W, Xiang N. A simplified method for assessing forest health, with application to Chinese fir plantations in Dagang Mountain, Jiangxi, China[J]. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2013, 11(2): 1232-1238.
- [7] 胡爽,徐誉远,王本洋.我国森林健康评价方法综述[J].*林业与环境科学*, 2017, 33(1): 90-96.
- [8] 刘金良,于泽群,张顺祥,等.渭北黄土高原区刺槐人工林健康评价体系的构建[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2014, 42(6): 93-99.
- [9] 周洋,郑小贤,高祥,等.金沟岭林场落叶松人工林健康评价研究[J].*西北林学院学报*, 2014, 29(1): 134-137.
- [10] 王亮,杨玉龙,赵庭伟,等.甘肃安西极旱荒漠自然保护区森林资源调查研究[J].*内蒙古林业调查设计*, 2021, 44(1): 1-3.
- [11] 岳军伟.甘肃主要森林类型固碳动态、潜力及影响机制[D].北京:中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心), 2018.
- [12] 鄢继尧,赵媛.近三十年我国生态脆弱区研究热点与展望[J].*南京师大学报:自然科学版*, 2020, 43(4): 74-85.
- [13] 刘娅菲,李雪梅.甘肃省近54年气温时空变化特征分析[J].*兰州交通大学学报*, 2016, 35(4): 153-161.
- [14] 张晓庆,赵万奎,陈智平,等.2006—2016年甘肃省森林生态系统服务功能价值动态变化研究[J].*湖北农业科学*, 2021, 60(16): 38-43.
- [15] 国家林业局.国家森林资源连续清查技术规定[R]. 2014.
- [16] 徐来仙,姚兰,郭秋菊,等.鄂西南利中盆地马尾松天然次生林森林健康评价[J].*西南林业大学学报:自然科学*, 2021, 41(3): 69-77.
- [17] 潘磊,王晓荣,唐万鹏,等.森林生态系统健康评价研究进展[J].*湖北林业科技*, 2015, 44(6): 35-39.
- [18] 甘肃省林业厅.甘肃省林地落界实施细则[R].试行, 2012.
- [19] 国家林业和草原局.森林资源连续清查技术规程[S]. GB/T38590-2020, 2020.
- [20] 李佳慧,彭祚登,刘勇,等.北京市首都功能核心区国槐健康评价及其影响因素研究[J].*西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2021, 49(1): 64-73.
- [21] 罗鹏飞,江海斌,谭尹豪,等.基于主成分分析与系统聚类的森林健康评价研究[J].*林业与环境科学*, 2021, 37(5): 69-75.
- [22] 刘建泉,孙建忠.东大河林区青海云杉林健康评价[J].*草业科学*, 2012, 29(4): 624-628.
- [23] 王秋燕,陈鹏飞,李学东,等.森林健康评价方法综述[J].*南京林业大学学报:自然科学版*, 2018, 42(2): 177-183.
- [24] Tao N, Liu D, Wu J. Assessment of forest ecosystem health based on fuzzy evaluation method: A case study of forest ecosystem in Liangshui natural reserve[J]. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 2019, 35: 159-164.
- [25] 赵勇钧,谢阳生,王建军,等.基于多元统计分析的马尾松人工林健康评价研究:以广西热带林业试验中心为例[J].*中南林业科技大学学报*, 2019, 39(7): 100-107.
- [26] 童建明,马立荣.城步苗族自治县森林健康评价[J].*中南林业调查规划*, 2019, 38(3): 38-42.
- [27] 孙敏,周春国.小班尺度森林资源质量评价:以南京市老山林场为例[J].*江苏农业科学*, 2019, 47(2): 101-104.
- [28] 蔡小溪.不同演替阶段针阔混交林森林健康评价[D].哈尔滨:东北林业大学, 2015.
- [29] 宋亚卓.甘肃省三北工程林分退化原因及修复措施[J].*防护林科技*, 2015, (7): 58-59.
- [30] 吴东旭.三北防护林退化现状及更新修复对策[J].*防护林科技*, 2020, (9): 64-65, 85.
- [31] 张龙生.甘肃发展森林资源浅议[J].*甘肃林业*, 2018, (2): 35.
- [32] 王春霞.近自然经营对旺业甸森林灌草植物多样性影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.