

中条山林区人工林分质量评价

梁爱军^{1,2},孙朝升³,闫彩云¹,张先平^{1*}

(1. 山西林业职业技术学院,山西 太原 030009;2. 山西省林业科学研究院,山西 太原 030012;
3. 吉县国营红旗林场,山西 吉县 042200)

摘要:以中条山林区 12 个林场的 44 块人工林资源清查样地数据为基础,用集对分析法从林地土壤、林分结构、乔木层物种多样性和林分生产力等 4 个方面进行质量评价。结果表明,44 个样地相对贴近度值变化范围为 0.292 2~0.840 6;林分质量较高的森林类型有华山松(*Pinus armandii*)十五角枫(*Acer mono*)混交林、侧柏(*Platycladus orientalis*)+黄连木(*Pistacia chinensis*)混交林、山杨(*Populus davidiana*)+山杏(*Prunus sibirica*)混交林、华山松(*Pinus armandii*)+油松(*Pinus tabulaeformis*)混交林、白皮松(*Pinus bungeana*)+油松(*P. tabulaeformis*)混交林,其相对贴近度值分别为 0.840 6、0.752 5、0.744 1、0.739 0 和 0.698 0;地带性森林类型油松(*P. tabulaeformis*)+辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林质量处于中等水平;侧柏(*P. orientalis*)林和刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林质量最差。从成林树种来看,质量由高到低的变化趋势为华山松(*P. armandii*)>白皮松(*P. bungeana*)>山杨(*P. davidiana*)>油松(*P. tabulaeformis*)>侧柏(*P. orientalis*)>刺槐(*R. pseudoacacia*)。集对分析法比较客观地评价了中条山林区人工林的质量,并针对不同分类等级的森林类型提出相应的培育或经营建议。

关键词:人工林;森林质量;贴近度;集对分析法;中条山

中图分类号:S758.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)06-0203-07

Assessment on the Plantation Stand Quality in the Forest Area of Zhongtiao Mountain

LIANG Ai-jun^{1,2}, SUN Chao-sheng³, YAN Cai-yun¹, ZHANG Xian-ping^{1*}

(1. Shanxi Forestry Vocational Technological College, Taiyuan, Shanxi 03009, China;

2. Shanxi Academy of Forestry, Taiyuan, Shanxi 030012, China;

3. Jixian County State-owned Hongqi Forest Farm, Jixian, Shanxi 042200, China)

Abstract:Based on the data obtained from 44 sampled plots within 12 forest farms in Zhongtiao Mountain during the national forest inventory. using set-pair analysis, the stand qualities were analyzed from the aspects of stand soil, stand structure, tree species diversity and stand productivity. The results showed that the relative similarity degree varied from 0.292 2 to 0.840 6. The higher stand quality included *Pinus armandii*+*Acer mono* fixed plantation, *Platycladus orientalis*+*Pistacia chinensis* fixed plantation, *Populus davidiana*+*Prunus sibirica* fixed plantation, *P. armandii*+*P. tabulaeformis* fixed plantation and *P. bungeana*+*P. tabulaeformis* fixed plantation, and their values of relative similarity degree were 0.840 6, 0.752 5, 0.744 1, 0.739 0 and 0.698 0, respectively; and that of the zonal forest type of *P. tabulaeformis*+*Quercus wutaishanica* fixed plantation was in the medium level, and those of *P. orientalis* pure plantation and *Robinia pseudoacacia* pure plantation were the worst. From the view of construction tree species, the quality order from high to low were *P. armandii*>*P. bungeana*>*P. davidiana*>*P. tabulaeformis*>>

收稿日期:2016-12-08 修回日期:2017-05-26

基金项目:山西省自然科学基金(2012011033-4);山西省林业厅科技创新项目(201021)。

作者简介:梁爱军,女,高级工程师,研究方向:森林培育。E-mail:532956177@qq.com

*通信作者:张先平,女,教授,博士,研究方向:植被生态学。E-mail:492889505@qq.com

P. orientalis > *R. pseudoacacia*. The set-pair analysis objectively assessed stand quality of main afforestation tree species, and some cultivation and management advices were proposed according to the various assessment grades.

Key words: plantation; forest quality; relative similarity degree; set-pair analysis; Zhongtiao Mountain

森林是陆地生态系统的主体,具有重要的生态、经济和社会服务功能^[1]。森林质量直接影响森林功能的发挥,森林质量也影响着全球生态环境,进而影响人类社会的生存和可持续发展。当代社会对森林质量提出的新要求是开展森林质量评价的基础,对森林质量进行评价为森林培育和经营提供科学依据。目前国内外学者和研究机构从不同的尺度对森林质量、立地条件评价开展了研究。在区域或景观尺度上,国内学者陈高^[2]应用结构完整性、物质循环、能量流动、生物多样性、经济投入等指标评价阔叶红松林;谢春华^[3]从森林景观格局、生态过程和生态功能3个方面构建40个指标对北京密云水库集水区森林景观质量进行了评价;周立江^[4]从森林生态功能、经济效益和社会服务方面构建20个指标对森林综合质量进行了评价。在中小尺度上,国内学者主要从森林近自然度或森林健康两个视角来评价林分质量。近自然度评价是以德国的近自然林经营理念为科学依据,通过现实植被与潜在植被的对比和平衡关系来实现的^[5-6]。彭舜磊^[7-8]选取植被、土壤特征两类17个指标应用层次分析法对秦岭火地塘林场7个森林类型的近自然度进行评价,根据各森林类型的近自然度评价综合指数来判断各森林类型与该区森林天然性的吻合程度,并提出相应的经营措施。姬文元^[9]从林分结构、稳定性和生长情况3个方面用9个指标对川西米亚罗林区云杉林健康状况进行了评价。陆元昌^[10-12]等对马尾松人工林的经营模式及近自然改造经营效果进行综合评价,实践证明近自然经营有利于优化林分空间结构,为提高林分质量从而实现森林多功能发挥奠定了基础。朱光玉^[13]等对森林立地生产力评价指标和评价方法进行系统梳理。上述研究成果从不同角度对森林、森林经营或立地条件进行评价,其结果可以为森林培育或经营提供科学依据,从而发挥森林更大的生态、经济和社会服务功能。

根据第八次森林资源清查结果,截至2010年底,山西省林地面积 $2.61 \times 10^6 \text{ hm}^2$,人工乔木林面积 $8.09 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占30.96%^[14]。中条山林区人工林 $7.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[15],现有人工林主要造林树种有油松、华山松、栓皮栎(*Quercus variabilis*)等,还有少量的侧柏、白皮松、刺槐和山杨等。本研究在中小尺度上,充分利用森林资源清查数据,对森林质量进行综合评价,对于森林培育与经营单位具有重要的

实践指导意义。

1 研究区概况

中条山位于山西省南部,是黄土高原向华北平原过渡的东南边缘区,在气候区划上属暖温带半湿润季风气候区,地貌基本属于中、低山石质山区,山势陡,沟窄谷深,海拔250~2 358 m,相对高差大,地形复杂。全区年均气温10~14℃,年降水量500~900 mm,在山西省各大林区中其显著特点是水、热条件好,物种资源丰富。植被区划上该区域为暖温带落叶阔叶林地带。地带性土壤为褐土,从山麓到山顶土壤类型依次为山地褐土、山地淋溶褐土、棕色森林土和山地草甸土^[16]。

2 研究方法

2.1 数据来源

以第八次森林资源清查的固定样地调查数据为基础,共收集了44个人工林固定样地(表1)。每块样地面积666.7 m²,对样地内活立木进行每木检尺。同时调查样地内林分综合特征和立地因子,包括乔、灌、草本层的总盖度,高度;样地位置、海拔、坡度、坡向、土层厚度、死地被物层厚度。

2.2 评价指标构建

选取的评价指标应遵循以下原则^[7,17-18]:1)具有代表性,所选择的指标能表示林分的立地条件、结构及生产力等质量含义;2)实用性,选用的指标含义明确,可比较;3)容易测度,所用指标能与森林资源调查等行业常规工作结合起来,充分利用已有的数据资源。本研究从林分土壤条件、植被结构、物种多样性和生产力四个方面选择14评价指标进行分析。

2.3 评价方法

集对分析法由我国学者赵克勤于1989年提出^[19-20],已经广泛应用环境质量、植物适应性及森林经营模式评价分析。集对是具有一定联系的两个集合组成,其基本思路是针对集对在某一特性上的联系进行分类定量刻画,从而得到集对在某一问题背景下的联系度表达式: $U = a + bi + cj$,其中a表示两个集合的同一度;b表示两个集合的差异不确定程度,c表示两个集合的对立程度,i为差异度系数,取值范围为[-1,1],j为对立度系数,取值为-1。联系度U一般是一种结构函数,只有在特殊情况下,才是一个数值。这种分析方法对决策对象进行分析

时,既要考虑决策对象各目标之间的相互协调、相互统一,又要考虑各目标之间的相互对立的一面,它在传统定性分析的基础上定量地描述决策对象各目标之间的同异反联系度,并在此基础上研究有关系统的联系、预测、控制、转化问题,其决策思路是:

设多属性决策问题的方案集 $S = \{S_1, S_2, \dots\}$,

表1 中条山林区44样地基本情况

Table 1 Status of 44 sampled plots in Zhongtiao Mt. forest area

编号	乔木层优势种	乔木层伴生种	起源	海拔 /m	土层厚度 /cm	郁闭度	密度 /(株·hm ⁻²)
1	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	1 150	60	0.7	1 064.46
2	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	檀子栎(<i>Quercus baronii</i>)	人促	1 169	35	0.8	2 848.57
3	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	1 044	12	0.7	1 409.29
4	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	油松/山杏(<i>Prunus sibirica</i>)	人工	1 065	34	0.3	794.60
5	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	—	人促	960	35	0.3	164.91
6	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	人促	840	45	0.2	404.79
7	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	—	人促	950	35	0.3	314.84
8	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	人工	1 273	17	0.7	1 304.34
9	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	人工	1 100	6	0.8	1 979.01
10	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	白皮松(<i>Pinus bungeana</i>)	人工	1 140	40	0.8	1 664.16
11	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	檀子栎(<i>Quercus baronii</i>)	人促	700	27	0.8	854.57
12	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	黄连木(<i>Pistacia chinensis</i>)	人促	540	20	0.6	1 514.24
13	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	栓皮栎(<i>Quercus variabilis</i>)	人促	483	30	0.4	629.68
14	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	—	人工	529	55	0.3	269.86
15	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	—	人工	950	68	0.7	1 154.42
16	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	1 425	38	0.9	1 124.43
17	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	1 589	69	0.8	1 064.46
18	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	五角枫(<i>Acer mono</i>)	人工	1 420	60	0.9	1 859.07
19	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	千金榆(<i>Carpinus cordata</i>)	人促	1 600	56	0.9	914.54
20	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	1 670	48	0.9	2 008.99
21	山杨(<i>Populus davidiana</i>)	核桃(<i>Juglans regia</i>)	人工	1 140	50	0.6	869.56
22	山杨(<i>Populus davidiana</i>)	山桃(<i>Prunus davidiana</i>)	人工	1 138	84	0.4	1 289.35
23	山杨(<i>Populus davidiana</i>)	山杏	人工	1 000	50	0.4	344.82
24	山杨(<i>Populus davidiana</i>)	柿树(<i>Diospyros kaki</i>)	人工	820	65	0.4	464.76
25	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	1 230	57	0.6	434.78
26	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	青冈(<i>Quercus glauca</i>)	人促	1 300	38	0.7	1 634.18
27	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	1 300	35	0.3	599.70
28	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	山杏	人工	1 180	33	0.6	884.55
29	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	1 340	77	0.6	929.53
30	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	山杨	人工	1 223	35	0.3	719.64
31	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	1 180	40	0.7	659.67
32	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	人工	1 248	27	0.4	524.73
33	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	辽东栎	人促	1 240	35	0.8	2 323.83
34	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人促	1 291	20	0.6	1 589.20
35	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	1 293	70	0.4	839.58
36	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	山杨	人促	1 242	38	0.7	644.67
37	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	—	人工	950	34	0.8	884.55
38	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	华山松(<i>Pinus armandii</i>)	人工	1 000	36	0.7	1 154.42
39	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	黄栌(<i>Cotinus coggygria</i>)	人工	750	54	0.8	1 994.00
40	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	千金榆	人工	867	49	0.7	1 274.36
41	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	辽东栎	人工	1 170	30	0.4	719.64
42	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	辽东栎	人工	1 180	40	0.8	3 328.33
43	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	—	人工	910.8	60	0.6	3 600.12
44	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	人工	968.5	60	0.6	4 671.23

“—”表示该样地没有伴生乔木树种。

表 2 中条山林区人工林质量评价指标体系

Table 2 Assessment indicator system of the plantations in Zhongtiao Mt. forest area

指标类别	指标	平均值	标准差	变异系数 / %
土壤	土层厚度/cm	43.34	2.51	5.79
	腐质层厚度/cm	8.34	0.95	11.45
森林结构	乔木层郁闭度/%	61.00	0.01	2.21
	林分年龄/a	38.57	4.73	12.28
	林分密度/(株·hm ⁻²)	1 269.34	30.89	2.43
	灌木层盖度/%	40.77	1.39	3.41
	灌木层高度/m	1.54	0.04	2.54
	草本层盖度/%	28.82	1.32	4.61
	草本层高度/m	0.21	0.01	2.20
乔木层物种多样性	乔木层 Shannon-Wiener 指数	0.50	0.13	26.60
	乔木层丰富度	3.56	0.21	6.04
林分生产力	建群种平均胸径/cm	10.39	0.11	1.07
	建群种平均高/m	7.07	0.08	1.10
	林分蓄积量/(m ³ ·hm ⁻²)	38.96	3.85	9.90

因为指标有效益型、成本型之分,且不同的指标量纲也很可能不同,为了便于计算,可将成本型转化为效益型,即令

$$\bar{d}_{kr} = \begin{cases} d_{kr} & \text{当 } v_i \text{ 为效益型} \\ -d_{kr} & \text{当 } v_i \text{ 为成本型} \end{cases}$$

这样指标均为收益型,统一了测度,但需要对指标进行无量纲化;为此令

$$d_{kr} = \bar{d}_{kr} / \sqrt{\sum_{k=1}^m \bar{d}_{kr}^2}$$

($K=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, n$),得到规范化矩阵

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

由给出的 m 个方案,确定最优方案和最劣方案,根据系统目标和客观条件确定,记最优方案 $U=(u_1, u_2, \dots, u_n)$ 和最劣方案 $V=(v_1, v_2, \dots, v_n)$ 。由 $[v_r, u_r]$ 构成了指标 e_r 的比较区间,而 $[V, U]$ 构成方案 S_k 的比较空间,记评价方案为 $S_k=(d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kn})(k=1, 2, \dots, m)$ 。

在指标 e_r 的比较区间 $[v_r, u_r]$ 中确定集对 $\{d_{kr}, u_r\}$ 的联系度: $d_{kr} > 0$, 同一度 a 和对立度 c 分别为 $d_{kr}/u_r + v_r$, $u_r v_r / (u_r + v_r) d_{kr}$, 差异度 b 为 $(u_r - d_{kr})(d_{kr} - v_r) / (u_r + v_r) d_{kr}$; 当 $d_{kr} < 0$ 时, a 与 c 对调。

在 S_k 的比较空间中,计算集对 $\{S_k, u\}$ 的联系度 $u\{S_k, u\}=a_k+b_{ki}+c_{kj}$, 其中: 当 $d_{kr} > 0$, $a_k = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n \frac{d_{kr}}{u_r + v_r}$, $b_k = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n \frac{(u_r - d_{kr})(d_{kr} - v_r)}{(u_r + v_r) d_{kr}}$, $c_k = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n$

$\frac{(u_r v_r)}{(u_r + v_r) d_{kr}}$; 当 $d_{kr} < 0$, a_k 式与 c_k 式对调, b_k 式不变。计算 S_k 与 U 的相对贴近度 $v_k=a_k/(a_k+c_k)$, 根据 v_k 的大小而进行各方案的结合排序,则 v_k 值最大者为理想方案。

3 结果与分析

3.1 44 块样地总体集对分析评价

将 44 块样地调查数据,从 4 个方面选用 14 个指标用集对分析法进行评价,相对贴近度 v 值变化范围为 0.292~0.8406。为综合评价各森林类型的质量,按 v 值大小排序,并根据 44 个样地贴近度(表 3)散点分布的拐点进行分级,大致分为 4 类:

第 1 类为一级林(v 值 0.8406~0.6725),主要包括 1、10、12、16、17、18、19、22、23、25 号样地,这些都属针阔叶混交林或针叶混交林,立地条件较好,林分物种多样性高,生产力高,林分蓄积量为 $67.91 \pm 4.12 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

第 2 类为二级林(v 值 0.6724~0.5733),主要包括 2、9、29、31、33、34、37、38、39、40 号样地,大多是针阔叶混交林或阔叶混交林,也有油松纯林 34 号和 37 号样地。林分物种多样性较高,林分生产力较高,平均蓄积量为 $41.10 \pm 1.17 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

第 3 类为三级林(v 值 0.5732~0.5117),主要包括 3、4、8、11、15、20、24、26、30、32、41、42 号样地,物种多样性较低,林分平均蓄积量为 $29.19 \pm 4.63 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

第 4 类为四级林(v 值 0.5116~0.2921)主要包括 5、6、7、13、14、21、27、28、35、36、43、44 号样地,基本上是针叶混交林或针叶纯林,土层较薄,物种多

样性低,林分蓄积量低 $22.85 \pm 4.69 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3.2 主要成林树种林分质量分析

以 44 块样地成林树种中的优势种为主要划分依据,共分为 6 类,统计各类型贴近度的平均值(表

4)。参照样地总体贴近度拐点分布,华山松类在中条林区属于一级水平,白皮松类和山杨类属于二级水平,油松类属于三级水平,侧柏和刺槐类于四级水平。

表 3 中条山林区 44 个样地贴近度

Table 3 Relative similarity degree of 44 sampled plots in Zhongtiao Mt. forest area

编号	乔木	ak	bk	ck	vk	编号	乔木	ak	bk	ck	vk
1	白皮松	0.429 8	0.008 1	0.185 9	0.698 0	23	山杨	0.297 7	0.004 5	0.102 3	0.744 2
2	白皮松	0.398 3	0.008 7	0.197 1	0.668 9	24	山杨	0.340 3	0.005 9	0.306 6	0.526 1
3	白皮松	0.300 2	0.004 8	0.243 7	0.551 9	25	油松	0.394 9	0.006 7	0.178 7	0.688 4
4	侧柏	0.285 1	0.004 7	0.243 1	0.539 6	26	油松	0.276 1	0.004 5	0.263 4	0.511 9
5	侧柏	0.232 3	0.002 1	0.511 4	0.312 3	27	油松	0.263 5	0.004 4	0.272 8	0.491 3
6	侧柏	0.211 1	0.002 7	0.511 4	0.292 1	28	油松	0.260 3	0.003 1	0.299 9	0.464 6
7	侧柏	0.218 4	0.002 9	0.352 7	0.382 4	29	油松	0.377 7	0.004 5	0.185 3	0.670 8
8	侧柏	0.318 7	0.005 7	0.283 0	0.529 6	30	油松	0.306 4	0.003 9	0.268 3	0.533 2
9	侧柏	0.383 1	0.007 1	0.234 6	0.620 1	31	油松	0.349 8	0.009 7	0.207 2	0.628 0
10	侧柏	0.495 5	0.007 2	0.165 7	0.749 3	32	油松	0.316 1	0.005 9	0.242 5	0.565 8
11	侧柏	0.308 6	0.005 3	0.246 6	0.555 8	33	油松	0.363 4	0.007 6	0.197 9	0.647 4
12	侧柏	0.291 7	0.005 1	0.095 9	0.752 5	34	油松	0.297 7	0.005 3	0.216 2	0.579 4
13	侧柏	0.246 1	0.003 2	0.279 9	0.467 8	35	油松	0.262 0	0.003 8	0.311 9	0.456 5
14	侧柏	0.268 9	0.004 9	0.351 6	0.433 4	36	油松	0.274 6	0.003 5	0.273 9	0.500 6
15	刺槐	0.336 8	0.003 6	0.285 3	0.541 4	37	油松	0.305 2	0.004 9	0.227 1	0.573 3
16	华山松	0.438 6	0.007 6	0.164 4	0.727 4	38	油松	0.325 7	0.005 1	0.198 8	0.620 9
17	华山松	0.441 6	0.009 7	0.156 0	0.738 9	39	油松	0.381 4	0.007 7	0.190 8	0.666 5
18	华山松	0.617 5	0.006 7	0.117 1	0.840 6	40	油松	0.315 9	0.005 6	0.226 4	0.582 5
19	华山松	0.535 9	0.009 6	0.155 8	0.774 7	41	油松	0.305 3	0.004 9	0.262 2	0.537 9
20	华山松	0.357 1	0.005 9	0.279 4	0.561 0	42	油松	0.381 4	0.005 3	0.320 3	0.543 6
21	山杨	0.304 1	0.004 6	0.330 6	0.479 1	43	刺槐	0.221 9	0.009 8	0.229 6	0.491 5
22	山杨	0.392 1	0.007 3	0.190 9	0.672 6	44	刺槐	0.230 6	0.003 7	0.247 6	0.482 2

注:ak、bk、ck 与 vk 分别代表各样地的同一度、差异度、对应度与贴近度。

表 4 中条山林区主要成林树种林分质量贴近度

Table 4 Relative similarity degree of main construction tree species in Zhongtiao Mt. forest area

类型	华山松类	白皮松类	山杨类	油松类	侧柏类	刺槐类
样地数	5	3	4	18	11	3
贴近度	0.7285 ± 0.0079	0.6396 ± 0.0057	0.6055 ± 0.0106	0.5701 ± 0.0000	0.5123 ± 0.0041	0.4950 ± 0.0009

4 结论与讨论

4.1 集对分析法评价森林质量

集对分析法评价过程简单,评价结果较为客观合理。从林分土壤、森林结构、物种多样性和林分生产力 4 个方面构建 14 个评价指标,形成 44×14 的决策矩阵,然后对评价指标进行无量纲化处理,得到规范化矩阵;从 44 个方案中寻找每一个评价指标的最优值和最劣值,分别构成最优方案和最劣方案,从而构成了评价方案的比较空间,然后计算每一个评价指标与最优方案的联系度,分别用同一度 a 和对立度 c 来表示,最后计算每一方案(样地)与最优方案的贴近度 v_k , v_k 最大值为最理想方案。需要注意的是评价指标要分清楚是收益型还是成本型。从

44 个样地的总体评价结果来看,在中条山林区质量高的森林类型有分布在海拔 1 400~1 600 m 华山松十五角枫混交林(0.840 6)和华山松十油松混交林(0.739 0),分布于海拔 1 000~1 200 m 的阴坡、半阴坡的白皮松十油松混交林(0.698 0),阳坡的山杨十山杏混交林(0.744 1),分布在海拔 540 m 侧柏十黄连木混交林的贴近度 0.752 5。

地带性森林类型油松十辽东栎林(33、41、42 号样地)质量分别为第二级和第三级。这类林分分布于海拔 1 100~1 500 m 的半阴坡半阳坡,且大都处于中龄林阶段,林木的平均胸径、群落物种多样性水平也等处于中等水平,因此林分质量处于中等水平。

在中条林区质量较差的森林类型为侧柏纯林(5、7、14 号样地,分布于海拔 480~1 270 m)和刺槐

林(43、44 号样地分布于海拔 800~1 000 m),大多分布在干旱的阳坡、半阳坡,林地土层较薄,郁闭度较低,物种多样性也较低,因而质量最低。在调查中发现刺槐林下灌木和草本的种类较单纯。

集对分析法比较客观地评价了中条林区的森林质量,用森林资源清查的数据基本可以满足要求,评价过程简单,容易操作,在林业生产经营一线具有推广价值。

4.2 中条林区适宜造林树种的选择

综合分析表明,在中条山林区从林分的优势种来看,成林优势树种林分质量表现出华山松类>白皮松类>杨树类>油松类>侧柏类>刺槐类。事实上,在 44 个样地贴近度分级结果中划为一级林的有华山松十五角枫混交林、华山松+油松混交林、白皮松+油松混交林、杨树+山杏混交林以及侧柏+黄连木混交林等。可见不论是哪一个优势种,针阔叶混交林、针叶混交林或阔叶混交林的林分质量都要比纯林好。此外,从成林优势种的排序可看出,营造人工林选择适宜树种的海拔范围:在海拔 1 400~1 600 m 宜选用华山松为建群种,营造针阔叶混交林或针叶混交林;油松在中条林区分布较广 750~1 600 m,适宜与山杏、黄栌、辽东栎等阔叶树种营造混交林或与华山松等针对树营造针叶混交林;侧柏分布于海拔 500~1 200 m,适宜与黄连木、山杏等营造混交林;刺槐多营造于居民区附近比较平坦的地段,方便砍伐用于饲料或薪炭林。本次调查发现刺槐林下物种较简单,可能与刺槐的生物学特性有关。

从中条林区林分质量的总体来看,一级林分的平均蓄积量 $67.91 \pm 4.12 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,高于全国人工林蓄积量的平均 $52.76 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,远低于世界平均水平 $131 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[21]。但中条林区的水热等自然条件在山西省范围内相对较好,要转变经营理念,加强抚育管理,林分总体质量提升还有很大潜力。

对于占较大比例的中幼龄油松人工林应确定经营目标,采用近自然经营理念,合理控制林分密度,人工促进其形成油松栎类混交林,这是中条林区乃至山西省油松人工林提高质量的重要途径。侧柏纯林也应加强封育,提高林分郁闭度,同时注意保护乡土阔叶树,促进林分形成针阔叶混交林。

本研究表明,集对分析法在中小尺度上比较客观地对中条林区常见造林类型进行了质量评价,计算过程简单且容易掌握,便于推广应用。在中条林区从林分的优势种来看,林分质量表现出华山松类>白皮松类>山杨类>油松类>侧柏类>刺槐类,营造混交林要比纯林质量好。常用的造林树种如华

山松、油松、侧柏、山杨、辽东栎等只要在造林配置模式上科学合理,经过合理的抚育管理都可营造出群落结构完善、生态功能齐全、林分质量较高的森林类型。

参考文献:

- [1] 余新晓,鲁绍伟,靳芳,等.中国森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2005,25(8):2096-2102.
YU X X, LU S W, J F, et al. The assessment of the forest ecosystem services evaluation in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(8):2096-2102. (in Chinese)
- [2] 陈高,代力民,姬兰柱,等.森林生态系统健康评估 I. 模式、计算方法和指标体系[J].生态学报,2004,15(10):1743-1749.
CHEN G, DAI L M, JI L Z, et al. Assessing forest ecosystem health I. model, method, and index system [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (10) : 1743-1749. (in Chinese)
- [3] 谢春华,王秀珍.北京密云水库集水区森林景观生态分类研究[J].林业资源管理,2006(4):85-87.
XIE C H, WANG X Z. Ecological classification of forest landscape in Beijing Miyun Reservoir water catchment [J]. Forest Resources Management, 2006(4):85-87. (in Chinese)
- [4] 周立江.森林健康内涵及评价指标探讨[J].四川林业科技,2008,29(1):27-29.
ZHOU L J. Discussion on forest healthiness connotation and its assessment indicators [J]. Journal of Sichuan forestry science and technology, 2008,29(1):27-29. (in Chinese)
- [5] POMMERENING A, MURPHY S T. A review of history, definition and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking [J]. Forestry, 2004, 77(1):27-44.
- [6] 李迈和, KRÄUCHI N, 杨健.生态干扰度:一种评价植被天然性程度的方法[J].地球科学进展,2002,21(2):451-458.
LI M H, KRÄUCHI N, YANG J. Hemeroby—a method to assess the naturalness of vegetation[J]. Progress in geography, 2002,21(2):451-458. (in Chinese)
- [7] 彭舜磊,王得祥.秦岭主要森林类型近自然度评价[J].林业科学,2011,47(1):135-142.
PENG S L, WANG D X. Naturalness assessment of the main forest communities in Qinling mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011,47(1):135-142. (in Chinese)
- [8] 彭舜磊,王得祥,赵辉,等.我国人工林现状与近自然经营途径探讨[J].西北林学院学报,2008,23(2):184-188.
PENG S L, WANG D X, ZHAO H, et al. Discussion the status quality of plantation and near nature forestry management in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23 (2), 184-188. (in Chinese)
- [9] 姬文元,邢韶华,郭宁,等.川西米亚罗林区云冷杉林健康状况评价[J].林业科学,2009,45(3):13-18.
JI W Y, XING S H, GUO N, et al. Health evaluation on spruce and fir forests in Miyaluo of the western Sichuan [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009,45(3):13-18. (in Chinese)
- [10] 李婷婷,陆元昌,姜俊,等.马尾松人工林森林经营模式评价

- [J]. 西北林学院学报,2015,30(1):164-171.
- LI T T, LU Y C, JIANG J, et al. Assessment of forest management model of *Pinus massoniana* plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30 (1): 164-171. (in Chinese)
- [11] 姜鹏,孟京辉,陆元昌,等.马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局[J].西北林学院学报,2014,30(5):147-150.
- JIANG P, MENG J H, LU Y C, et al. Minglings and spatial distribution of *Pinus massoniana* plantation in the initial stage of near-nature transformation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 30(5): 147-150. (in Chinese)
- [12] 李婷婷,陈绍志,吴水荣,等.采伐强度对水源涵养林林分结构特征的影响[J].西北林学院学报,2016,31(5):102-108
- LI T T, CHEN S Z, WU S R, et al. Effect of the cutting intensity on structural characteristics of water conservation forest[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31 (5): 102-108. (in Chinese)
- [13] 朱光玉,康立.森林立地生产力评价指标与方法[J].西北林学院学报,2016,31(6):275-281.
- ZHU G Y, KANG L. A review of forest site productivity evaluation indicators and methods[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 275-281. (in Chinese)
- [14] 李双全.山西省第八次森林资源连续清查数据特点及分析[J].林业经济,2014(9):111-114.
- [15] 周秀云.中条山林区人工林抚育与经营技术探讨[J].山西林业,2015(1):24-26.
- [16] 郭东罡,上官铁梁.中条山中段植物群落数量分类与排序研究[J].武汉植物学研究,2005,23(5):444-448.
- GUO D G, SHANGGUAN T L. Quantitative classification and ordination of plant communities in midpiece of Zhongtiao Mountains [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23(5): 444-448. (in Chinese)
- [17] 张连金,孙长忠,辛学兵,等.基于改进TOPSIS法的北京九龙山森林功能评价[J].林业科学研究,2014,27(5):644-650.
- ZHANG L J, SUN C Z, XIN X B, et al. Assessment on forest function of Beijing Jiulong Mountains based on improved Topsis method[J]. Forest Research, 2014, 27(5): 644-650. (in Chinese)
- [18] 赵中华,惠刚盈.基于林分状态特征的森林自然度评价—以甘肃小陇山林区为例[J].林业科学,2011,47(12):9-16.
- ZHAO Z H, HUI G Y. Forest naturalness evaluation method on stand state characters; a case study of Gansu Xiaolongshan forest[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(12): 9-16. (in Chinese)
- [19] 刘金福,洪伟,何宗明,等.应用集对分析法优选杉木复合经营模式研究[J].福建林学院学报,2000,20(1):52-55.
- LIU J F, HONG W, HE Z M, et al. The selection of agro-forestry system of *Cunninghamia lanceolata* based on the set-pair analysis[J]. Journal of Fujian Forestry College, 2000, 20(1): 52-55. (in Chinese)
- [20] 邱尔发,彭镇华,王成,等.城市绿化竹种综合选择[J].生物数学学报,2008,23(2):371-383.
- QIU E F, PENG Z H, WANG C, et al. Synthetical selection of bamboo species on city greening[J]. Journal of Biomathematics, 2008, 23(2): 371-383. (in Chinese)
- [21] 国家林业局.第八次全国森林资源清查主要结果(2009—2013年)[J/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/main/65/content-659670.html>.