

黄 耀,王乃江,裴 乔,等.庆阳地区油松人工林多功能评价研究[J].华南农业大学学报,2017,38(1):109-115.

庆阳地区油松人工林多功能评价研究

黄 耀¹,王乃江¹,裴 乔¹,薛满学²

(1 西北农林科技大学 陕西省林业综合实验室,陕西 杨凌 712100; 2 镇原县林业局,甘肃 庆阳 744500)

摘要:【目的】研究陇东地区甘肃省庆阳市油松人工林多功能发挥情况,构建评价模型,为该地区森林经营提供科学依据。【方法】以庆阳市油松人工林为研究对象,在下属 7 县选取 63 块样地进行调查,采用层次分析法构建多功能评价指标体系,从油松人工林涵养水源、固碳放氧、生物多样性保护和优质种源保存 4 种功能中筛选 11 项评价指标,结合调查数据和专家打分的方式确定各指标权重,计算各样地的多功能贡献总分,采用正态等距划分将处于不同地区的油松林多功能评价指标划分为 5 个等级。【结果】庆阳地区油松人工林多功能发挥水平最高的是水源涵养功能,其次是生物多样性保护功能;固碳放氧功能和优良种源保存功能发挥水平偏低。油松人工林多功能发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 12.7%、25.4%、31.75%、25.4%和 4.76%,总体多功能发挥一般,发挥最好的地区是正宁县,最差的地区为镇原县。【结论】运用层次分析法能有效进行森林多功能评价,应采取经营抚育措施提高庆阳市森林多功能的发挥。

关键词:庆阳市;油松;森林多功能;评价体系;层次分析法
中图分类号:S718.55 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2017)01-0109-07

Assessment of multi-function of *Pinus tabulaeformis* plantation in Qingyang area

HUANG Yao¹, WANG Naijiang¹, PEI Qiao¹, XUE Manxue²

(1 Key Comprehensive Laboratory of Forestry in Shaanxi Province, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2 Zhenyuan Forestry, Qingyang 744500, China)

Abstract:【Objective】To investigate the multi-function of *Pinus tabulaeformis* plantation in Qingyang, Gansu Province, establish an evaluation system, and provide a scientific basis for the forest management in Qingyang area. 【Method】We surveyed 63 sample plots of *P. tabulaeformis* plantations from seven counties of Qingyang, and used analytic hierarchy process (AHP) to establish the multi-function evaluation index system. Eleven indexes were chosen from four functions including water conservation, carbon fixation and oxygen release, biodiversity conservation and excellent provenance preservation. The weights of different indexes were determined using the surveyed data and expert scoring. The total scores for multi-functions of different sample plots were calculated. Using normal equidistant partition, evaluation indexes of plantations of different counties were divided into five categories. 【Result】For the *P. tabulaeformis* plantation in Qingyang, the water conservation function had the highest effect, followed by the biodiversity protection function. The functions of carbon fixation and oxygen release and excellent provenance preservation had relatively low effect. The proportions of sample plots that had high effect,

收稿日期:2016-03-10 优先出版时间:2016-12-28
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20161228.0922.014.html>
作者简介:黄 耀(1992—),男,硕士研究生,E-mail: huangyao.ok@163.com; 通信作者:王乃江(1966—),男,副教授,博士,E-mail: wang7082261@163.com
基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD22B03-03)

moderate high effect, medium effect, moderate low effect and low effect for their multi-functions were 12.7% , 25.4% , 31.75% , 25.4% and 4.76% respectively. The performance was the best in Zhengning County and the worst in Zhenyuan County. The overall effect of multi-function of *P. tabulaeformis* plantation in Qianyang was ordinary. 【Conclusion】AHP can be used to effectively evaluate forest multi-function. We should take management measures to improve the multi-function of Qingyang forests.

Key words: Qingyang City; *Pinus tabulaeformis*; forest multi-function; evaluation index system; analytic hierarchy process

森林作为陆地生态系统的主体,从人类最初认识的木材生产功能到如今发挥着涵养水源和保持水土、固碳放氧以及生物多样性保护等多种与人类生活密不可分的功能,提高着人们的生活质量^[1-3]。森林本身潜在的生态、社会和经济价值极大,且无法被取代^[4],将这些潜在价值开发出来,建设集多种功能于一体的多功能林业成为林业发展的主流^[5]。在此基础上,对森林功能评价指标、评价方法^[6-8]及森林功能同被选取的指标间关系等方面的研究^[9-10]就相继展开来了。

前人关于森林功能的研究中,生态系统大尺度上的研究比重很大^[11-12],而林分尺度的研究结果相对较少^[13],在指导林班、小班的森林经营管理方面作用不大;在评价方法的选用上,定性评价方法的选用占大多数,但定性评价缺点显而易见,不够精确、极易产生定型判读误差,对结果产生不良影响;通过定性的评价给出评价对象的优劣好坏,并没有清晰的界定标准,无法应用于实际森林经营。因此现阶段迫切需要在林分尺度上采用一种客观准确的评价方法对森林功能进行评价。

庆阳市(107°40'E,35°38'N)位于甘肃省最东部,陕甘宁3省的交界,黄土高原的腹地,是黄河中下游黄土高原沟壑区,也是黄河流域水土流失非常严重的地区。20世纪至今,油松 *Pinus tabulaeformis*、刺槐 *Robinia pseudoacacia* 等人工林的大面积栽植极大地缓解了当地生态环境的严峻形势,使得当地的生态环境得到了很大改善,尤其是作为先锋树种的油松,不仅具有显著的水土保持功能,还能够明显改善土壤。该地区位于森林草原和半干旱草原的过渡区域,属于温带半湿润气候类型,海拔 885 ~ 208 2 m,年均气温 8.6℃,当地极端最高温度 36.17℃,极端最低温度 -27.17℃,年降水量 588.2 mm,年蒸发量 1 228.3 mm,相对湿度 60% ~ 70%,干燥度 0.72,无霜期 163 d,年日照时数约为 2 247 h。当地森林林

http://xuebao.scau.edu.cn

下植被主要灌木有土庄绣线菊 *Spiraea pubescens*、灰栒子 *Cotoneaster acutifolius*、黄蔷薇 *Rosa hugonis*、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、红瑞木 *Swida alba*、虎榛子 *Ostryopsis davidiana*、葱皮忍冬 *Lonicera ferdinandii*、卫矛 *Euonymus alatus*、陕西荚蒾 *Viburnum schensianum* 等,主要草本有披针叶苔草 *Carex lancifolia*、糙苏 *Phlomis umbrosa*、唐松草 *Thalictrum aquilegifolium*、卷叶黄精 *Polygonatum cirrhifolium*、异叶败酱 *Parinia heterophylla*、茜草 *Rubia schujannlana* 和大火草 *Anemone tomentosa* 等。因此对当地油松人工林多功能的研究有助于该区域进一步提高森林功能、发挥当地森林的多种效益,对改善当地生态环境、提高当地居民收入具有十分重要的作用和意义。

1 材料与方法

1.1 评价体系的构建

张永利等^[14]认为森林在总体效益发挥上的功能可以分为水源涵养、固碳放氧、保护生物多样性等 8 种,可以用 14 项指标对这些功能进行衡量。本文根据研究区域油松人工林特征,结合专家意见,针对该地区油松人工林主要发挥的 4 种功能,选取 9 项基本指标对其进行评价(表 1)。

1) 水源涵养功能:林分郁闭度能够反映林冠的截留能力^[15]。林下枯落物和腐殖质层能够起到缓冲雨水的作用^[16-17]。土壤具有调节地面部分养分循环、缓冲降水和涵养雨水等重要功能,这些指标能够较好地反映出水源涵养功能的发挥。

2) 固碳放氧功能:油松人工林对空气净化有着良好的作用。植被生物量指标是森林生态效益评价中的重要指标之一,同时为了对不同发育阶段的油松林评价更有针对性,选取林龄作为评价指标之一。

3) 生物多样性保护功能:森林作为一个复杂有序的生态系统,保护林内物种的同时也为林内物种的生存生长提供了必要条件^[18]。林下植被本身反映

出生长区域生境的土壤、水分等因子的状况,根据庆阳市森林二类调查数据,林下植被的种类和盖度就可以较为准确地反映林下植被状况。

4) 优良种源保存功能: 优良种源不仅体现在种子的数量和成活率,也表现在母树的干型和材积方面,因此选取单位面积蓄积量和幼苗更新数量作为评价指标。

表 1 庆阳市油松人工林多功能评价指标体系

Tab. 1 Multi-function evaluation index system of *Pinus tabularformis* plantations in Qingyang

目标层 (A)	准则层(B)		指标层(C)	
	编号	指标	编号	指标
油松人工 林多功能 评价	B ₁	水源涵养功能	C ₁	郁闭度
			C ₂	枯落物厚度
			C ₃	土壤厚度
			C ₄	土壤孔隙度
			C ₅	坡度
	B ₂	固碳放氧功能	C ₆	林龄
			C ₇	森林生物量
	B ₃	生物多样性保护功能	C ₈	林下植被种类
			C ₉	林下植被盖度
	B ₄	优良种源保存功能	C ₁₀	单位面积蓄积量
			C ₁₁	幼苗数量

1.2 指标权重的确定

对于每个层次的指标,采用简单的两两对比的方式,对每个因素的相对重要程度进行评估,根据层次分析法,一般用数字“1~9”来形容重要性的等级,可以假设 2 个因素 x 和 y,则 x 与 y 的数值比为 1、3、5、9 时,分别表示 x 和 y 一样重要、x 比 y 略重要、x 比 y 重要、x 比 y 重要的多、x 和 y 比起来极重要。

通过指标的两两对比得出每一层的“判断矩阵”:

$$A = (a_{ij})_{mn} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix},$$

式中: $a_{11} = a_{22} = \cdots = a_{nn} = 1$; $a_{ij} = 1/a_{ji}$; $m、n$ 为整数且 $m > 2, n > 2$ 。

根据判断矩阵,运用 Matlab 软件计算最大特征根 $\lambda_{\max}$ 和特征向量 W 。并对矩阵进行一致性检验:

$$CI = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1)$$
$$CR = CI / RI$$

式中:CI 为一致性检验参数; N 为矩阵阶数;RI 为平均随机一致性检验参数;CR 为一致性比率。当 $CR \leq$

0.1 时,就可以认为所构建的评价矩阵是合理的,体系中各层次指标的重要程度设置不冲突,一致性良好。每层指标权重为各层对应的判断矩阵所得到的结果,对所有指标权重进行排序,各层权重的乘积即为指标层在整个评价体系中的权重。

1.3 指标等级划分

选取“正态等距划分法”对各项指标的具体数值进行分级^[19],中心思想是根据样本值的情况,拟合出近似正态分布的曲线方程,然后按照研究的具体目的进行等级划分。其数学模型为:

$$f(x) = \frac{n}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2},$$

式中,x 为样本频数纵轴的值;n 为样本频数; σ 为标准差; μ 为数学期望值。

1.4 评价基础数据的获取

根据庆阳市下属各个县区林场森林类型分布特点、自然条件和林分状况,选取林分特征、立地条件相似的油松人工,分别在正宁县、合水县、庆城县、华池县、环县、镇原县和宁县 7 县周边设置 9 块 20 m × 20 m 样地,共 63 块。用手持 GPS 对各样地边界点进行定位,并对标准地内的林分状况进行详细调查,记录样地面积、位置、海拔、坡度、坡向、坡位、树种组成及郁闭度等。

1.4.1 植被调查 样地内进行每木检尺,记录乔木的种名、生长状况以及病虫害等。用生长锥法和当地造林资料测定林分年龄。在这些样地的中心及四角设立 5 个 1 m × 1 m 的草本样方,共计 315 个;在样地中有代表性的地方选取 3 个 5 m × 5 m 的灌木样方,共计 189 个。调查记录样方内植物的种类、高度、盖度、多度和基径等数据。在草本样方中,对林下枯落物层、腐殖质层的厚度进行测量。

1.4.2 幼苗更新调查 在样地四角及中心部分均匀设置 10 个 1 m × 1 m 的样方,记录各样方内的幼苗种类、株数、基径及高度等指标。

1.4.3 土壤调查 在每个样地内选取 3 个位置,用环刀采集每个位置 0~10、>10~20 和 >20~30 cm 土壤剖面的样本,测定土壤体积质量、含水量和毛管孔隙度。在每个样地内按“S”形设置 6 个采样点,在 0~10、>10~20 和 >20~30 cm 处用土钻分层取样,共获得样品 1 134 个。将采集的土样带回后自然风干,在实验室内磨碎后过筛,测定土壤含水量、土壤养分含量等。

2 结果与分析

2.1 评价指标权重等级划分

2.1.1 评价指标权重赋值 本研究采用依据专家打分的层次分析法,得到多功能评价指标权重的得分矩阵(表 2):

表 2 专家打分矩阵¹⁾

Tab.2 The expert scoring matrix

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	W _i
B ₁	1	7	5	9	0.640
B ₂	1/7	1	7	7	0.144
B ₃	1/5	1/7	1	1	0.176
B ₄	1/9	1/7	1	1	0.041

1) CR=0.096 7,λ_{max}=4.258 3。

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	W _i
C ₁	1	3	5	8	8	0.498
C ₂	1/3	1	3	5	8	0.261
C ₃	1/5	1/3	1	3	7	0.144
C ₄	1/8	1/5	1/3	1	3	0.063
C ₅	1/8	1/8	1/7	1/3	1	0.034

1) CR=0.070 6,λ_{max}=5.316 3。

根据专家打分得到的得分矩阵可以看出,各矩阵的值都小于 0.1,说明该矩阵具有良好的一致性,具有统计学意义。通过上表指标权重的计算方法,得到庆阳地区油松人工林多功能评价指标权重表(表 3)。

表 3 庆阳市油松人工林多功能评价指标权重
Tab.3 The weights of multi-function evaluation indexes of *Pinus tabidaeformis* plantations in Qingyang

目标层	准则层	分层权重	指标层	分层权重	指标权重
A	B ₁	0.640	C ₁	0.498	0.318
			C ₂	0.261	0.167
			C ₃	0.144	0.092
			C ₄	0.063	0.041
			C ₅	0.034	0.022
	B ₂	0.144	C ₆	0.167	0.037
			C ₇	0.833	0.021
	B ₃	0.176	C ₈	0.722	0.127
			C ₉	0.278	0.049
	B ₄	0.041	C ₁₀	0.722	0.030
			C ₁₁	0.278	0.011

2.1.2 评价指标等级划分 针对选取的评价指标,按从好到差的等级分为 5 个等级,结合样地调查数据对样地内各项指标进行打分,以 100 分为满分,对于指标 C2、C3、C5、C7、C8、C9 和 C10,等级“好”、“较好”、“中等”、“较差”和“差”分别评判为 100、80、60、40 和 20 分。由于判定土壤孔隙度和林龄等指标的优劣是在一个中等区间范围内,而不是成本型或效益型,所以对评判分值适当下调,对于指标 C1、C4 和 C6,从好到差的 5 个等级分别评判为 90、70、50、30 和 10 分。

根据油松人工林多功能评价指标划分,得到多功能评价指标等级划分标准,见表 4。

表 4 油松人工林多功能快速评价指标等级划分标准
Tab.4 The grading standard of multi-function evaluation indexes of *Pinus tabularformis* plantations in Qingyang

评价指标 ¹⁾	不同等级划分标准				
	好	较好	中等	较差	差
C ₁	[60,80)	≥80	[40,60)	[20,40)	<20
C ₂	≥4	[3,4)	[2,3)	[1,2)	<1
C ₃	≥60	[50,60)	[40,50)	[30,40)	<30
C ₄	[45,65)	[40,45);[65,70)	[35,40);[70,75)	[30,35);[75,80)	<30;≥80
C ₅	≥5	[5,15)	[15,25)	[25,35)	<35
C ₆	[25,35)	[20,25);[35,40)	[15,20);[40,50)	[10,15);[50,60)	[1,10);≥60
C ₇	≥120	[90,120)	[60,90)	[30,60)	<30
C ₈	≥20	[15,20)	[10,15)	[5,10)	<5
C ₉	≥70	[50,70)	[30,50)	[10,30)	<10
C ₁₀	≥80	[60,80)	[40,60)	[20,40)	<20
C ₁₁	≥2 000	[1 600,2 000)	[1 200,1 600)	[800,1 200)	<800

1) C1 为郁闭度(%),C2 为枯落物厚度(cm),C3 为土壤厚度(cm),C4 为土壤孔隙度(%),C5 为坡度(°),C6 为林龄(a),C7 为森林生物量(m³·hm⁻²),C8 为林下植被种类(种),C9 为林下植被盖度(%),C10 为单位面积蓄积量(m³·hm⁻²),C11 为幼苗数量(个·hm⁻²)。

2.2 庆阳市油松人工林多功能评价

本研究在庆阳市正宁县、合水县、庆城县、华池县、环县、镇原县和宁县周边设置 63 块 20 m×20 m 样地,调查 C₁ ~ C₁₁ 这 11 项指标,计算 11 项指标的

得分值,通过指标得分值计算森林多功能得分,最后统计每块样地各种功能的总得分,用总贡献得分表示(表 5)。

表 5 样地多功能评价结果
Tab.5 The evaluation scores of multi-functions of sample plots

样地 编号 ¹⁾	水源涵 养功能	固碳放 氧功能	生物多样性 保护功能	优良种源 保存功能	总贡献 得分	样地 编号 ¹⁾	水源涵 养功能	固碳放 氧功能	生物多样性 保护功能	优良种源 保存功能	总贡献 得分
P1	40.615	2.366	10.566	2.000	55.546	P33	47.414	3.863	10.566	3.045	64.888
P2	41.046	1.952	13.110	2.000	58.106	P34	47.414	3.863	13.110	2.454	66.840
P3	38.390	3.114	10.566	2.227	54.297	P35	48.225	5.026	7.044	3.045	63.339
P4	49.885	3.114	9.001	2.227	64.227	P36	57.115	5.026	9.588	3.272	75.000
P5	50.316	3.863	10.566	3.045	67.789	P37	28.258	1.952	13.110	1.409	44.728
P6	55.924	4.277	14.088	2.681	76.971	P38	30.914	1.952	14.088	2.000	48.953
P7	63.104	5.440	8.022	3.045	79.611	P39	38.390	3.114	9.588	2.227	53.318
P8	60.448	5.440	8.022	3.863	77.773	P40	44.512	3.114	10.566	2.227	60.420
P9	62.724	5.440	10.566	3.863	82.593	P41	47.414	3.863	10.566	3.045	64.888
P10	37.713	1.952	10.566	2.000	52.230	P42	47.414	3.863	10.566	2.454	64.297
P11	33.621	1.952	13.110	2.000	50.682	P43	54.593	4.611	7.044	2.454	68.703
P12	40.666	2.700	9.588	1.409	54.362	P44	51.178	5.026	9.588	2.681	68.472
P13	50.316	3.529	9.001	2.227	65.072	P45	53.403	4.611	10.566	3.045	71.625
P14	47.845	3.863	10.566	3.045	65.319	P46	29.499	1.952	13.110	1.409	45.969
P15	52.592	4.277	14.088	2.454	73.411	P47	26.412	1.952	11.544	2.000	41.908
P16	63.104	5.026	4.500	3.045	75.675	P48	37.713	3.114	11.544	2.227	54.599
P17	51.178	5.026	8.022	3.863	68.088	P49	44.512	3.114	11.544	2.227	61.398
P18	57.719	5.026	10.566	3.045	76.355	P50	44.758	4.277	10.566	3.045	62.646
P19	39.179	4.611	8.022	3.045	54.857	P51	47.414	3.863	10.566	2.454	64.297
P20	39.558	1.952	13.110	2.000	56.619	P52	48.225	4.611	7.044	2.227	62.107
P21	29.068	1.952	13.110	2.000	46.129	P53	51.178	4.611	9.588	2.681	68.058
P22	38.390	3.114	11.544	1.636	54.684	P54	46.603	4.611	10.566	2.818	64.598
P23	44.512	3.114	11.544	2.227	61.398	P55	29.499	1.952	13.110	1.409	45.969
P24	47.414	3.863	10.566	3.045	64.888	P56	28.258	3.114	11.544	2.000	44.916
P25	47.414	3.863	13.110	2.454	66.840	P57	40.615	1.952	9.588	2.227	54.381
P26	51.557	5.026	7.044	3.045	66.672	P58	44.512	3.863	11.544	2.227	62.146
P27	57.546	5.026	9.588	3.272	75.431	P59	45.569	4.277	10.566	2.818	63.230
P28	40.666	5.026	10.566	3.045	59.302	P60	50.747	3.863	10.566	2.227	67.402
P29	39.558	1.952	10.566	1.636	53.712	P61	48.225	5.026	9.588	2.227	65.065
P30	30.914	1.952	13.110	2.000	47.974	P62	49.332	4.611	9.588	2.681	66.212
P31	38.390	3.114	9.001	2.227	52.732	P63	46.603	4.611	13.110	3.045	67.369
P32	44.512	3.114	11.544	2.227	61.398						

1) 正宁县样地编号为 P1 ~ P9,合水县样地编号为 P10 ~ P18,庆城县样地编号为 P19 ~ P27,华池县样地编号为 P28 ~ P36,环县样地编号为 P37 ~ P45,镇原县样地编号为 P46 ~ P54,宁县样地编号为 P55 ~ P63。

根据评价体系的指标评价标准,按照正态等距划分法,结合指标得分和样地总贡献得分,将当地森林多功能发挥水平分为高效、较高效、中等、较低效和低效 5 个等级,相应的样地总贡献得分分别为 ≥ 75 、 $65 \sim < 75$ 、 $55 \sim < 65$ 、 $45 \sim < 55$ 、 < 45 。对庆阳市下属 7 个县区 63 块样地的评价结果的归纳见图 1。

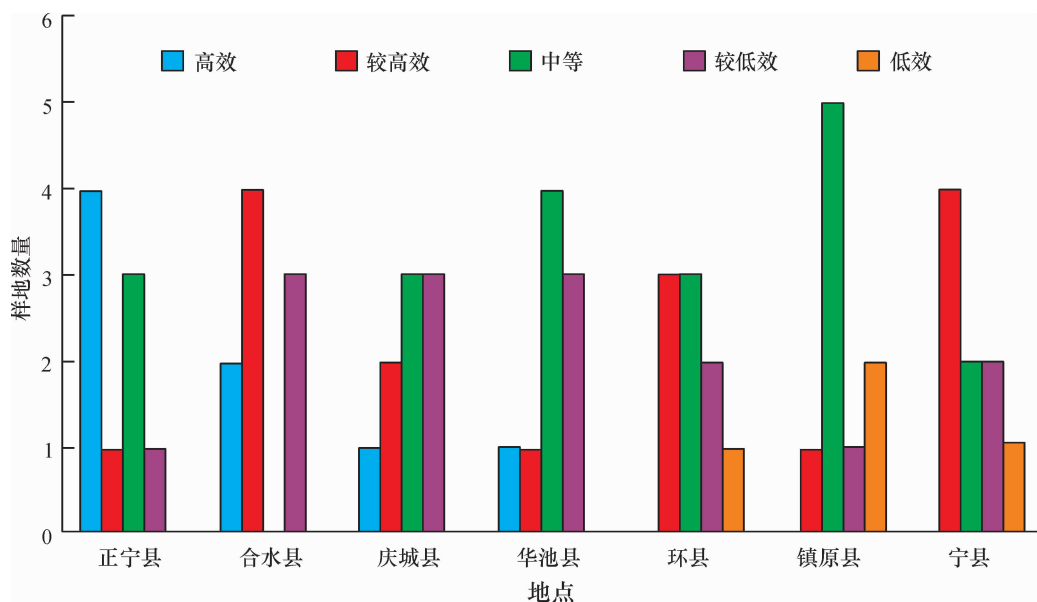


图 1 庆阳市各县区样地多功能评价结果

Fig. 1 Multi-function evaluation of sample plots in different counties of Qingyang City

由表 5 和图 1 可知,在 63 块样地中,油松人工林多功能发挥高效的有 8 块,较为高效的有 16 块,多功能发挥中等的有 20 块,较为低效的有 15 块,低效的有 4 块。油松人工林多功能发挥中等以上的占 69.8%,由此可见,庆阳市油松林多功能总体发挥一般。正宁县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 44.5%、11.1%、33.3%、11.1%、0,其中 P9 总贡献得分 82.593,为所有样地中最高的;合水县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 22.2%、44.5%、0、33.3%、0;庆城县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 11.1%、22.2%、33.3%、33.3%、0;华池县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 11.1%、11.1%、44.5%、33.3%、0;环县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 0、33.3%、33.3%、22.3%、11.1%;镇原县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比分别为 0、11.1%、55.5%、11.1%、22.2%,其中 P47 总贡献得分 41.908,为所有样地中最低的;宁县油松人工林多功能效益发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 0、44.5%、22.2%、22.2%、11.1%。由图 1 可以看出,在庆阳市各县区中,正宁县油松人工林多功能的发挥是该市所有林分中最好的,中效以上样地比例占 89.1%,其中高效占 44.5%,镇原县油松人工林多功能发挥最差,多功能中效以上样地比例占 66.6%,较高效以

上样地比例仅为 11.1%。油松人工林单项功能发挥水平最高的是水源涵养功能,其次是生物多样性保护功能,固碳放氧功能和优良种源保存功能发挥水平偏低。

3 讨论与结论

本文以甘肃省庆阳市油松人工林为研究对象,运用层次分析法,以实际调查样地为主,结合相关研究并通过专家评选^[20-21],构建了当地油松人工林多功能评价指标体系,对于科学准确客观的评价当地油松多功能发挥、指导当地森林经营提供了依据。主要结论如下:

1) 对庆阳市油松人工林多功能评价结果表明,多功能发挥高效、较高效、中效、较低效和低效的比例分别为 12.7%、25.4%、31.75%、25.4% 和 4.76%,由整体的评价结果来看,庆阳油松人工林多功能发挥一般,多功能中效以上占 69.8%,森林多功能发挥水平为:水源涵养功能 > 生物多样性保护功能 > 固碳放氧功能 > 优良种源保存功能,这和张邦文等^[22]在兴国县马尾松评价的结果有较好的吻合,差异在于庆阳市油松人工林是生态公益林,并不应用于林业木材生产,其经济功能主要是靠出售幼苗、种子,因此本研究没有把木材生产能力考虑进去,而是用优良种源保存代替之。

2) 在庆阳地区油松人工林评价中,正宁县油松多功能发挥最好,多功能发挥最差的县为镇原县。通过调查可知,当地经营方式和林分生境有关,由于株密度过高,导致一些地区林分内生长空间降低,林

分质量不高。这种情况和山西太岳山油松人工林调查情况较为相似,栽植过后的林分未经过抚育间伐或未达到一定的间伐强度,林内植物种内、种间竞争压力大,植被稀少;林下光环境很差,植物生长受到很大影响;同时土层厚度偏低、养分不足,坡度陡峭都严重制约着森林多功能的有效发挥^[23]。

通过对庆阳市油松人工林生态服务功能发挥情况的评价可以看出,庆阳市油松人工林生态服务功能发挥情况整体一般,且地区间差异很大。对于生态服务功能发挥较好地区,可以适当加大针阔比例,提高水源涵养功能的发挥,对于较差的地区,当地林业部分应该采取有效的抚育措施,如适当间伐,提高林下透光度,促进林下灌草生长,同时对于生长质量不高的地区,应该进行补植保育,提高当地林分蓄积量,能进一步促进森林生态服务功能的发挥。

致谢:党鹏在外业调查、土壤理化性质的测试以及数据分析中给予了帮助,庆阳市各林业局的工作人员在试验的布设和调查中也给予了帮助,在此一并致谢!

参考文献:

[1] HARRISON P, VANDEWALLE M, SYKES M, et al. Identifying and prioritising services in European terrestrial and freshwater ecosystems [J]. *Biodivers and Conserv*, 2010, 19(10): 2791-2821.

[2] 王兵,魏文俊,冷冷. 宁夏六盘山不同森林类型土壤贮水与入渗研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2006, 27(3):1-5.

[3] 赵红宇. 林业在生态建设中的特殊地位[J]. *内蒙古林业调查设计*, 2011, 34(6):6.

[4] 侯元兆,王琦. 中国森林资源核算研究[J]. *世界林业研究*, 1995(3):51-56.

[5] LOVELL S, MENDEZ V, ERICKSON D, et al. Extent, pattern, and multi-functionality of treed habitats on farms in Vermont, USA [J]. *Agroforest Syst*, 2010, 80(2): 153-171.

[6] 李金良,郑小贤. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J]. *林业资源管理*, 2004(1): 31-34.

[7] 鲁绍伟,余新晓,刘凤芹,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.

[8] 赵学明,刘东兰,郑小贤. 北京八达岭林场森林多功能评价指标体系探讨[J]. *林业资源管理*, 2010(3):45-48.

[9] 蔡永茂,许兰霞,张咏. 八达岭林场的分类经营评价[J]. *北京林业大学学报*, 2003,25(12): 57-62.

[10] 朱绍文,张立,孙春林. 八达岭林场森林资源价值评估及生态效益经济补偿的初步探讨[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(12): 71-74.

[11] COSTANZA R,D'ARGE R,DE GROOT R. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.

[12] COSTANZA R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed [J]. *Biol Conserv*, 2008, 141(2): 350-352.

[13] 殷鸣放,郑小贤,殷炜达. 森林多功能评价与表达方法[J]. *东北林业大学学报*, 2012, 40(6):23-26.

[14] 张永利,杨锋伟,王兵,等. 中国森林生态系统服务功能研究[M]. 北京:科学出版社, 2010.

[15] 周彬. 太岳山油松林人工林水文特征研究[D]. 北京:北京林业大学, 2013.

[16] 鲍文,包维楷,丁德蓉,等. 岷江上游人工油松林凋落量及其持水特征[J]. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 26(5):567-571.

[17] 莫非,于澎涛,王彦辉,等. 六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程[J]. *生态学报*, 2009, 29(6):2868-2876.

[18] 杨学军,姜志林. 涇阳地区森林景观的生物多样性评价[J]. *生态学报*, 2001,21(4):671-675.

[19] 贾振声,骆永菊,徐文权. 关于正态分布的等距分组[J]. *数学的实践与认识*, 2010, 40(20):238-244.

[20] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 1995:10-15.

[21] 彭道黎,张志华,靳云燕. 北京市生态公益林经营目标及指标体系的研究[J]. *林业调查规划*, 2006, 31(6):16-19.

[22] 张邦文,欧阳杰,金苏蓉,等. 兴国县飞播马尾松林多功能经营评价[J]. *林业科技开发*, 2014, 28(1):50-54.

[23] 张彦雷. 山西太岳山油松人工林多功能快速评价研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.

【责任编辑 庄延】