

基于灰色关联投影法的森林生态系统健康评价

张晶晶,赵 忠,宋西德,张 永

(西北农林科技大学 西部环境与生态教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探寻一种简便易行、可操作性强的渭北黄土高原地区人工刺槐林健康评价方法,为渭北地区人工林的健康经营提供理论依据。【方法】基于灰色系统理论和矢量投影原理,建立森林生态系统健康评价灰色关联投影模型,并以永寿县槐平林场为例,利用 21 个刺槐林小班的调查数据,通过建立健康评价指标体系,采用灰色关联投影法,对该林场人工刺槐林的健康状况进行评价。【结果】建立的森林生态系统健康灰色关联投影模型将参评小班及各级指标视为矢量,分别向同一矢量(健康标准)进行投影,根据投影值的大小确定小班的健康级别,并对小班的健康状况进行排序。利用该评价模型对永寿槐平林场的评价表明,研究区健康的刺槐小班约占样本总数的 38.10%,亚健康、不健康的刺槐小班分别占样本总数的 19.05%和 42.85%,表明该区域人工刺槐林整体上健康状态较差,评价结果与实际相符。【结论】建立的森林生态系统健康评价方法简便易行,能够比较客观地反映所调查森林的健康状况,具有一定的科学性和可操作性,对森林生态系统健康经营具有一定参考价值。

【关键词】 灰色关联投影法;渭北黄土高原;人工刺槐林;健康评价

【中图分类号】 S718.55⁺7

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)08-0097-07

Health assessment of forest ecosystem based on grey relation projection method

ZHANG Jing-jing, ZHAO Zhong, SONG Xi-de, ZHANG Yong

(Key Laboratory of Environment and Ecology in Western China, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was done to seek a new method with the advantages of easy operation, good stability and high precision in order to testify health management of artificial forest in Weibei Loess Plateau. 【Method】 A grey relation projection model for ecosystem health assessment was established based on grey system theory and vector projection principle. According to the investigation data of 21 *R. pseudoacacia* forest in Yongshou, assessment index system of ecological health was established using grey relation projection method to assess the ecological health status. 【Result】 The established model took evaluated samples and classified standards as vectors, and projected on the same ideal sample. Then, evaluated samples were classified and arranged in the projective value. In Huaiping forest farm of Yongshou *R. pseudoacacia* forest in healthy condition accounts for 38.10%, the sub healthy forest 19.05%, the ill healthy forest subcompartments 42.85%, which shows that most of these forest subcompartments are in unhealthy condition. The assessment result is in correspondence with actual condition. 【Conclusion】 The assessing method established based on grey system theory can reflect the health status of the sample plots objectively and it offers a certain reference to the forest ecosystem health management.

* [收稿日期] 2010-01-20

[基金项目] 国家“十一五”林业科技支撑计划项目(2006BAD03A1207)

[作者简介] 张晶晶(1984—),男,湖北十堰人,在读硕士,主要从事森林健康评价研究。E-mail:wojiushizjj@163.com

[通信作者] 赵 忠(1958—),男,甘肃宁县人,教授,博士生导师,主要从事半干旱地区植被恢复与重建研究。

E-mail:zhaozh@nwsuaf.edu.cn

Key words: grey relation projection method; Weibei Loess Plateau; planted forest; health assessment

建国以来,渭北黄土高原地区的植被建设取得了显著成效,据 2004 年陕西省森林资源的清查结果,该区森林覆盖率已达 38%,但是该区植被建设仍存在人工林树种组成单一、质量普遍较低等问题。因此,如何客观评价森林资源的健康性,有效地进行森林经营,使森林资源能够持续、稳定地为人类提供服务,是森林健康研究和森林可持续经营的首要任务。

综合国内外研究现状,目前已经有许多关于森林生态系统健康评价指标体系和方法的研究报道^[1-13],但目前尚没有关于森林生态系统健康评估的可靠而统一的标准,对其研究还处于探索阶段,在研究方法和理论上还有待于进一步发展^[9]。而且由于现有的各个评价指标体系针对性强^[2-3,7,11],评价指标繁多,并不利于在生产实践中推广应用。另外,由于缺乏健康的标准,没有健康参照系,用这些方法只能对森林健康状态进行相对评价,尚不能客观反映森林生态系统健康的真实状态。为了解决这些问题,本研究从矢量投影的角度出发,提出了一种新的灰色关联投影模型,确立了健康的标准,并将该方法应用于渭北黄土高原人工刺槐林生态系统健康的定量评价,以期为人工林的健康评价和可持续经营提供参考。

1 研究区自然概况

研究区位于陕西省永寿县槐平林场,该地位于东经 $108^{\circ}08' \sim 108^{\circ}10'$,北纬 $34^{\circ}49' \sim 34^{\circ}47'$,海拔 $1\,116 \sim 1\,276$ m,属黄土高原沟壑区,土质以褐土、黑垆土为主。该区属温带大陆性季风气候,年平均气温 10.8°C ,年极端最高气温 38.9°C ,极端最低气温 -18°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,470.3^{\circ}\text{C}$;年均无霜期 210 d,最长 252 d,最短 155 d;年平均降雨量 601.6 mm,自然降水分布不均,多集中于 7—9 月,总降雨量为 $306 \sim 347.2$ mm,占全年雨量的 $52.2\% \sim 52.6\%$;年均蒸发量大于降水量,平均自然植被蒸腾蒸发量为 807.4 mm。该地区植被属暖温带半湿润落叶阔叶林带,森林植被破坏殆尽,残存有少量辽东栎、山杨、白桦、侧柏等天然次生林。人工栽培以侧柏(*Platy-cladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulae-formis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)居多。

2 研究方法

2.1 野外调查

于 2008-07 对槐平林场的人工刺槐林共 21 个小班进行调查。在各小班中,选择最具有典型代表性的地段设置 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样地 1 块,在每个样地内按对角线法设置 5 块 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的林下草本植物样方。在样地立地状况和林分因子调查的基础上,进行样方内草本植物的密度、盖度、高度的调查,测定各样方的枯落物厚度。

2.2 数据分析

参考文献[14]的方法,采用 Excel 及统计软件 SPSS 进行数据整理与分析。聚类树状图使用统计软件 DPS 绘制。

3 灰色关联投影模型的建立

3.1 灰色关联投影法的基本原理

森林生态系统实际上是一个复杂的系统,它涉及众多方面,具有信息不确定性和不完全性,实质上是一个灰色系统。所以,对这种系统进行健康评价,实际上是一个灰色多目标决策问题。

灰色关联投影法是从矢量投影的角度探讨多目标决策与评价的新方法^[15]。该方法中的每一个决策方案本身就是因素指标集的映射,因素指标集一旦确定,决策方案也就得以确定。灰色关联投影法以各方案在理想方案上的投影值大小,作为评判决策方案优劣的标准,并通过特定的算法,使重要指标的加权系数得到进一步加强,从而全面准确地反映了各决策方案和理想方案之间的接近程度,使得生态系统的健康评价更接近客观实际。

这种方法综合了整个因素指标空间的影响,尤其是在因素指标值的样本量少且数据离散的情况下,能够避免单方向偏差,即可以避免只将各方案的单个因素指标值进行比较而引起的偏离,从而全面地分析指标间的相互关系。

3.2 灰色关联投影模型的建立

(1) 构造决策集合与评价指标集合,找出最佳决策方案集 A_0 的因素指标属性矢量 $\mathbf{Y}_{0j}$,然后列出方案集 A 对指标集 V 的决策矩阵 $\mathbf{Y}$ 。

指标决策域的集合 $A = \{\text{方案 } 0, \text{方案 } 1, \dots, \text{方案 } n\}$,因素指标集合 $V = \{\text{指标 } 1, \text{指标 } 2, \dots, \text{指标 } m\}$ 。决策方案 A_i 对指标 V_j 的属性值记为 $Y_{ij} (i=0,$

1,2,3,...,n; j=1,2,3,...,m)。通常将指标分为“极大型”、“极小型”和“适中型”3类,其中极大型指标是指属性值愈大愈好的指标,极小型指标是指属性值愈小愈好的指标;适中型指标是指属性值不能太大也不能太小的指标。构建方案集A对指标集V的属性矩阵Y,有:

$$Y = (Y_{ij})_{(n+1) \times m} \quad (i=0,1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m) \quad (1)$$

(2) 数据初值化处理和关联系数的计算。为了消除量纲和量纲单位不同带来的不可公度性,将评价指标按下式进行初值化处理,即:

$$Y'_{ij} = Y_{ij} / Y_{0j}, \quad (i=0,1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m) \quad (2)$$

经过初值化处理后,很显然 $Y'_{0j} = 1 (j=1,2,3,\dots,m)$ 。这里 Y'_{0j} 即为理想方案属性值的初始化矩阵。以 Y'_{0j} 为母因素,以 Y'_{ij} 为子因素,就可以得到其他方案与理想方案的关联度 r_{ij} ,即:

$$r_{ij} = \frac{m + 0.5M}{\Delta_{ij} + 0.5M} \quad (3)$$

式中: $m = \min \min \Delta_{ij}$; $M = \max \max \Delta_{ij}$; Δ_{ij} 为差序列值, $\Delta_{ij} = |Y'_{0j} - Y'_{ij}|$ 。

(3) 构造灰色关联度判断矩阵。称由 $(n+1) \times m$ 个 r 组成的矩阵为灰色关联判断矩阵 F ,即:

$$F = (r_{ij})_{(n+1) \times m}, (i=0,1,\dots,n; j=1,2,\dots,m) \quad (4)$$

(4) 确定综合评价指标的权重矢量。设评价指标集的加权矢量为 W ,即:

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}^T > 0 \quad (5)$$

设在指标间加权向量 W 作用下构造而成的增广型矩阵,为加权灰色关联决策矩阵 F' , $F' = FW$ 。将每个决策方案看成一个行向量(矢量),则称每个决策方案 A_i 与理想方案 A_0 之间的夹角 θ_i 为灰色关联投影角。决策方案 A_i 与理想方案 A_0 之间的夹角余弦为:

$$\cos \theta_i = \frac{A_i A_0}{\|A_i\| \|A_0\|} = \frac{\sum_{j=1}^m W_j F_{ij} W_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (W_j F_{ij})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}}, \quad (i=0,1,2,\dots,n) \quad (6)$$

式中: W_j 为第 j 个指标的加权向量值, F_{ij} 为第 i 个决策方案的第 j 个指标的关联度值, $(i=0,1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m)$ 。

夹角余弦 $0 < \cos \theta_i \leq 1$,且总是愈大愈好, $\cos \theta_i$ 愈大,表示决策方案 A_i 与理想方案 A_0 之间的变化方向愈一致。决策方案 A_i 的模数为 d_i ,有:

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_j F_{ij})^2} \quad (7)$$

记 W'_j 为一组新的因素指标值矢量,称其为灰色关联投影权值矢量,有:

$$W'_j = \frac{W_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m W_j^2}} \quad (8)$$

(5) 灰色关联投影值的计算。综合考虑模数 d_i 与夹角余弦 θ_i 的大小,计算各个决策方案在理想方案上的投影 D_j ,即有:

$$D_j = d_i \cos \theta_i = \sum_{j=1}^m F_{ij} W'_j, (j=1,2,3,\dots,m) \quad (9)$$

(6) 根据各个投影值的大小,就可以对每个决策方案进行科学的评价。投影值越大,说明该决策方案与理想方案越接近,则该方案就越优秀。

(7) 对投影值利用离差平方法进行聚类分析,将森林生态系统划分为健康、亚健康和不健康3大类型^[12]。

4 结果与分析

4.1 评价指标体系的建立

综合考虑可操作性、灵敏性和科学性,以及立地因子、林分活力、组织结构和恢复力,共选取了14个指标,其中立地因子指标有坡度、海拔、枯落物厚度、林龄;林分活力指标有平均树高、平均胸径、平均冠幅;组织结构指标有林分密度、乔木郁闭度、灌草层物种丰富度指数、香农指数、辛普森指数、均匀度指数。由于刺槐伐后萌蘖能力很强,因此未将恢复力指标纳入刺槐健康评价的组织结构指标体系,而选取林分病虫害比率作为组织结构评价指标之一。

已知方案 $A = \{1 \text{ 号小班}, 2 \text{ 号小班}, \dots, 21 \text{ 号小班}\}$, 指标集 $V = \{\text{林龄, 林分密度, 乔木郁闭度, 海拔, 坡度, 枯落物厚度, 平均胸径, 平均树高, 平均冠幅, 灌草层辛普森指数, 香农指数, 丰富度指数, 均匀度指数, 病虫害比率}\}$ 。就健康评价而言,指标集 V 中属于极大型的指标有平均树高、平均胸径、平均冠幅、枯落物厚度、灌草层物种丰富度指数、香农指数、辛普森指数和均匀度指数;属于适中型的指标有林分密度、海拔、林龄和乔木郁闭度;其他指标均属于极小型指标。

4.2 健康标准的确定

根据调查数据,参考《山区生态公益林抚育技术规程——北京市地方标准》,可以制定出相对最优方案 A_0 ,也就是适于该区刺槐林的健康评价标准。根据上述标准,以21~30年树龄的刺槐林为成熟林,故取平均值25年为最优值。根据《山区生态公益林抚育技术规程——北京市地方标准》的规定,抚育后

的刺槐林密度为 1 770 株/hm²,郁闭度为 0.7,海拔取各小班海拔平均值。剩余的极大型指标取各小班调查所得数据中的最大值,极小型指标取各小班调查所得数据中的最小值。由此可得最优方案 A₀为:

$$A_0 = (25 \quad 1\,770 \quad 0.7 \quad 1\,330 \quad 2 \quad 3.36 \quad 24.5 \quad 16.61 \quad 655 \quad 0.905 \quad 3 \quad 2.688 \quad 3$$

表 1 永寿槐平林场 21 个刺槐小班的初值化矩阵 Y'

Table 1 Nondimensional quantities Matrix Y' of 21 *R. pseudoacacia* sublots in Yongshou Huai-Ping Forest

编号 Code	林龄 Forest age	林分密度 Stand density	郁闭度 Canopy density	海拔 Altitude	坡度 Slope gradient	枯落物厚度 Litter depth	胸径 DBH
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1.904 8	0.169 5	1.314 3	1.003 0	6.50	0.654 8	1.000 0
2	0.428 6	1.384 2	1.214 3	0.960 2	2.00	0.250 0	0.150 2
3	1.571 4	0.593 2	1.114 3	0.987 2	17.00	0.696 4	0.507 9
4	0.381 0	1.313 6	1.257 1	1.045 9	1.00	0.416 7	0.230 8
5	0.381 0	1.228 8	1.214 3	1.051 1	1.50	0.428 6	0.226 3
6	0.381 0	1.370 1	1.257 1	1.048 9	1.00	0.500 0	0.245 0
7	0.809 5	1.313 6	1.057 1	1.032 3	11.00	0.875 0	0.375 3
8	0.809 5	0.875 7	1.128 6	0.992 5	9.50	0.517 9	0.450 5
9	0.809 5	0.861 6	0.985 7	0.993 2	8.50	0.595 2	0.455 0
10	0.619 0	0.649 7	1.185 7	0.956 4	8.50	0.666 7	0.524 2
11	0.619 0	1.045 2	1.000 0	0.966 9	7.00	0.488 1	0.389 9
12	0.619 0	1.426 6	1.014 3	0.992 5	8.00	0.702 4	0.347 2
13	1.142 9	0.522 6	1.028 6	1.024 8	7.50	1.000 0	0.726 5
14	1.190 5	0.480 2	1.071 4	1.013 5	16.50	0.744 0	0.704 5
15	1.190 5	0.663 8	0.885 7	1.023 3	1.50	0.595 2	0.562 9
16	1.190 5	0.663 8	0.971 4	1.012 8	12.50	0.315 5	0.587 7
17	1.190 5	0.734 5	0.928 6	1.017 3	16.00	0.613 1	0.662 6
18	0.381 0	1.228 8	1.228 6	0.904 5	10.00	0.434 5	0.209 2
19	0.381 0	1.186 4	1.142 9	0.914 3	8.50	0.541 7	0.212 5
20	1.238 1	0.197 7	1.171 4	1.045 9	9.50	0.226 2	0.997 6
21	1.666 7	0.437 9	0.885 7	1.019 5	9.00	0.553 6	0.697 6

编号 Code	树高 Height	冠幅 Crown width	辛普森指数 Simpson index	香农指数 Shannon-Wiener index	丰富度指数 Patrick index	均匀度指数 Pielou index	病虫害比率 Pests rate
0	1	1	1	1	1	1	1
1	1.000 0	1.000 0	0.771 8	0.568 0	0.333 3	0.839 7	19.000 0
2	0.270 3	0.385 3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.967 3	1.000 0
3	0.560 5	0.516 7	0.831 3	0.670 4	0.458 3	0.859 5	20.754 7
4	0.393 7	0.454 0	0.807 4	0.633 8	0.458 3	0.812 5	1.063 8
5	0.407 0	0.455 9	0.826 6	0.618 2	0.375 0	0.864 8	1.000 0
6	0.418 4	0.448 2	0.913 6	0.770 4	0.458 3	0.987 7	1.000 0
7	0.640 0	0.486 2	0.945 6	0.792 7	0.541 7	0.950 1	11.250 0
8	0.726 7	0.464 4	0.770 5	0.637 1	0.625 0	0.723 2	11.940 3
9	0.744 7	0.417 6	0.802 2	0.649 8	0.458 3	0.833 1	7.575 8
10	0.760 4	0.591 4	0.328 2	0.235 2	0.166 7	0.521 6	16.363 6
11	0.682 7	0.387 4	0.119 5	0.412 6	0.291 7	0.651 9	11.904 8
12	0.689 3	0.344 0	0.869 9	0.679 8	0.458 3	0.871 5	21.359 2
13	0.758 6	0.557 6	0.965 8	0.859 7	0.666 7	0.953 2	26.530 6
14	0.709 2	0.532 1	0.924 1	0.757 0	0.458 3	0.970 5	33.333 3
15	0.681 5	0.460 4	0.658 3	0.456 1	0.333 3	0.674 2	29.032 3
16	0.706 2	0.447 6	0.607 5	0.424 1	0.291 7	0.669 9	31.372 5
17	0.730 3	0.440 9	0.757 8	0.536 4	0.291 7	0.847 4	17.000 0
18	0.326 3	0.316 9	0.762 2	0.557 2	0.333 3	0.823 8	1.000 0
19	0.357 6	0.330 4	0.888 1	0.682 2	0.458 3	0.874 6	1.000 0
20	0.922 3	0.737 7	0.984 2	0.940 4	0.916 7	0.935 2	6.666 7
21	0.764 6	0.523 0	0.952 2	0.808 3	0.500 0	1.000 0	8.823 5

24 0.874 5 0.01)。
4.3 现有林的评价
整理调查数据后可以得到方案集 A 对指标集 V 的属性矩阵 Y。
(1)根据式(2),对 Y 进行初值化处理,得到槐平林场 21 个刺槐小班的初值化矩阵 Y'如表 1 所示。

(2)在得到初始化矩阵 $\mathbf{Y}'$ 后,根据公式(3),就可以得到灰色关联判断矩阵 $\mathbf{F}$ 。

(3)通过主成分分析计算,可得到一组加权系数 $\mathbf{W}$,即:

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 0.205\ 5 & -0.155\ 4 & -0.141\ 6 & \\ 0.181\ 8 & 0.100\ 7 & 0.152\ 1 & 0.191\ 7 \\ 0.170\ 0 & 0.113\ 3 & 0.150\ 0 & 0.134\ 8 \\ 0.078\ 5 & 0.151\ 7 & 0.165\ 3 & \end{pmatrix}.$$

根据式(8),可以得到一组新的加权矢量,即灰色关联投影权值矢量 $\mathbf{W}'_j$:

$$\mathbf{W}'_j = \begin{pmatrix} 0.073\ 6 & 0.042\ 1 & 0.034\ 9 & 0.057\ 6 \\ 0.017\ 6 & 0.040\ 3 & 0.064\ 1 & 0.050\ 4 \\ 0.022\ 4 & 0.039\ 2 & 0.031\ 7 & 0.010\ 7 \\ 0.040\ 1 & 0.047\ 6 & & \end{pmatrix}.$$

(4)根据式(9),可以得到各个决策方案的投影

值 D_j ,即:

$$D_j = \begin{pmatrix} 0.533\ 8 & 0.559\ 9 & 0.527\ 9 & 0.559\ 8 \\ 0.559\ 9 & 0.561\ 1 & 0.540\ 5 & 0.539\ 3 \\ 0.545\ 9 & 0.532\ 5 & 0.537\ 3 & 0.531\ 7 \\ 0.533\ 7 & 0.525\ 9 & 0.532\ 8 & 0.524\ 6 \\ 0.533\ 0 & 0.553\ 1 & 0.555\ 2 & 0.548\ 2 \\ 0.542\ 6 & & & \end{pmatrix}.$$

(5)比较后可以看出,2,4,5 和 6 号小班投影值较大,其次是 18,19 号小班,14,16 号小班的投影值较小。

(6)对各小班投影值进行聚类分析,采用欧氏距离计算样本间的距离,用离差平方法聚类,所得结果见图 1。根据聚类分析结果,可将 21 个刺槐小班划分为 A、B、C 3 类。

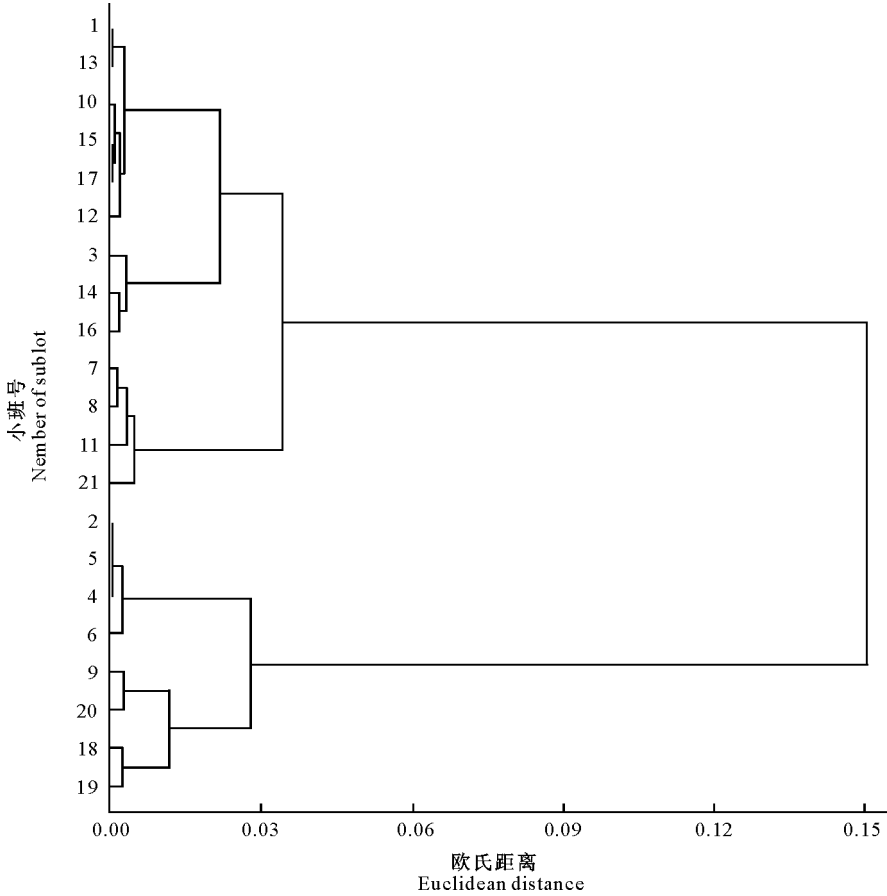


图 1 永寿县槐平林场 21 个刺槐小班投影值的聚类分析
Fig. 1 Clustering results of projection value of 21 *R. pseudoacacia* sublots in Yongshou Huai-Ping Forest

由图 1 可知,A 类刺槐林包括 2,4,5,6,9,18,19 和 20 号小班,占全部小班的 38.10%,其特点是生产力较高,草本层物种很丰富,物种多样性高,投影值大于 0.545 9,判定其处于健康状态。B 类刺槐

林包括 7,8,11,21 号小班,占全部小班的 19.05%,其特点是生产力一般,物种多样性尚可,判定其处于亚健康状态。C 类刺槐林包括剩余的 9 个小班,占全部小班的 42.85%,其特点是生产力较低,草本层

物种比较少,物种多样性较低,判定其处于不健康状态。

在永寿槐平林场 21 个刺槐林小班中,健康小班有 8 个,位于阴坡或半阴坡,林龄 10~20 年,正处于中龄林阶段;由于阴坡比阳坡光照时数短、水分条件好,刺槐生长旺盛;光照、水分条件均有利于林下植被的侵入和演替,因此林下物种比较丰富;由于距离道路较远,人为干扰难以对其产生太大的影响。亚健康小班有 4 个,林龄在 17 年左右,均位于斜坡上,较差的立地条件限制了刺槐的生长;林下物种的多样性尚可。不健康小班有 9 个,其中 3,14,17 号小班处于陡坡上,立地条件恶劣,严重影响了刺槐的生长;1,3 号小班林龄超过 30 年,是过熟林,林分处于衰退状态;剩余的不健康小班距离道路较近,受放牧、盗伐等人干扰严重,生产力较低,林下植被因牛羊啃食而稀疏矮小。

由于研究区的水分条件较差,降雨稀少,林区被纵横交错的道路分割而失去了连续性,呈现破碎化,人为干扰如放牧等的影响较为严重。林场基本没有采取抚育措施,而适当的抚育措施能够很好地调整林分结构,使其向健康的方向发展。以上这些原因造成了很多林分生长状况不良,大部分林分成为亚健康、不健康林分。因此,必须进行森林健康经营,采取切实可行的经营管理措施,提高经营管理水平,更好地发挥森林的综合效益。

5 结论与讨论

1) 本研究建立了基于灰色关联投影法的森林生态系统健康评价模型,并用其对永寿槐平林场 21 个人工刺槐林小班的健康状况进行了综合评价。结果表明,槐平林场健康的刺槐小班约占样本总数的 38.10%,亚健康、不健康的刺槐小班分别占样本总数的 19.05%和 42.85%,评价结果与实际相符,表明该区域人工刺槐林整体上健康状态较差,应采取切实可行的抚育措施,使其向健康方向发展。

2) 森林健康评价依赖于参照系也就是健康标准的确定,这也是森林健康评价的难点所在。本研究选取参评各小班各性状的最优值作为健康评价的参照系,成功地解决了这个问题。灰色关联投影法以各小班在健康标准上的投影值大小作为健康状况比较的标准,使得森林健康评价更接近客观实际,过程简单,评价更加全面,更能真实地反映森林的健康状况。

3) 本研究意在建立一种新的森林健康状况评

价方法,并确定森林的健康标准,这是灰色关联投影法面临的首要问题,而评价指标体系、权重的确定不是本研究的重点所在。灰色关联投影法的不足之处在于投影值离散性不强,下一步工作将加大观测密度、增加观测样本和增强投影值离散性,以提高森林健康评价的精确度。

[参考文献]

- [1] 肖风劲,欧阳华.森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J].地理学报,2003,8(6):803-809.
Xiao F J, Ouyang H. Forest ecosystem health assessment indicators and application in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 8(6): 803-809. (in Chinese)
- [2] 李秀英.森林健康评价指标体系初步研究与应用[D].北京:中国林业科学院,2006.
Li X Y. Pilot study and application on the indicators for forest health assessment [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2006. (in Chinese)
- [3] 谷建才.华北土石山区典型区域主要类型森林健康分析与评价[D].北京:北京林业大学,2006.
Gu J C. Health analysis and evaluation of the main forest types in the typical Soil-gravel Area in north China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006. (in Chinese)
- [4] 陈高,代力民,姬兰柱.森林生态系统健康评估. I: 模式、计算方法和指标体系[J].应用生态学报,2004,15(10):1743-1749.
Chen G, Dai L M, Ji L Z. Assessing forest ecosystem health. I: model, method, and index system [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1743-1749. (in Chinese)
- [5] 王义平,吴鸿,徐华潮.浙江重点生态地区蝶类生物多样性及其森林生态系统健康评价[J].生态学报,2008,28(11):5259-5269.
Wang Y P, Wu H, Xu H C. Butterfly diversity and evaluation of forest ecosystem health in important ecological areas of Zhejiang Province [J]. Acta Ecology Sinica, 2008, 28(11): 5259-5269. (in Chinese)
- [6] 李文龙,王刚.人工固沙林生态系统健康的模糊综合评价及实例分析[J].西北植物学报,2004,24(3):443-448.
Li W L, Wang G. Multilevel fuzzy competitive evaluation (MFCE) of ecosystem health of artificial sand-fixing plants and instantiation analyze [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004, 24(3): 443-448. (in Chinese)
- [7] 赵小亮,周国娜,高宝嘉.主成分分析法在承德县森林生态系统健康评价中的应用[J].生态农业科学,2008,24(6):400-403.
Zhao X L, Zhou G N, Gao B J. The principal component analysis method in health evaluation for forest ecosystem of Chengde County [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 400-403. (in Chinese)
- [8] 甘敬,朱建刚,余新晓.基于 BP 神经网络确立森林健康快速评价指标[J].林业科学,2007,43(12):1-7.
Gan J, Zhu J G, Yu X X. Establishing indices for rapid assess-

ment of forest health based on BP neural networks [J]. *Scientia Silvae Sinica*, 2007, 43(12): 1-7. (in Chinese)

[9] 张志诚,欧阳华. 生态系统健康研究现状及其定量化研究初探 [J]. *中国生态农业学报*, 2004, 12(3): 184-187.

Zhang Z C, Ouyang H. The current status of ecosystem health and its assessment [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3): 184-187. (in Chinese)

[10] 鲁绍伟,刘凤芹,余新晓. 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): 79-105.

Lu S W, Liu F Q, Yu X X. Health assessment of forest ecosystem in Badaling forest center [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 79-105. (in Chinese)

[11] 聂力. 东钱湖区域森林生态系统健康评价研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2008.

Nie L. The research and assessment on the forest ecosystem health in Dongqian lake [D]. Shanghai: East China Normal University, 2008. (in Chinese)

[12] 姬文元. 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. Health evaluation on spruce and fir forests in Miyaluo of the western Sichuan [J]. *Scientia Silvae Sinica*, 2009, 45(3): 13-18. (in Chinese)

[13] 陆凡,李自珍. 沙坡头地区人工林生态系统健康的评价分析 [J]. *西北植物学报*, 2003, 23(10): 1731-1734.

Lu F, Li Z Z. Evaluation and analysis about ecosystem health of artificial plants in Shapotou area [J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(10): 1731-1734. (in Chinese)

[14] 薛薇. 基于 SPSS 的数据分析 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006.

Xue W. SPSS-based data analysis [M]. Beijing: Chinese People's University Press, 2006. (in Chinese)

[15] 吕锋,崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用 [J]. *系统工程理论与实践*, 2002(1): 103-107.

Lü F, Cui X H. Multi-Criteria decision grey relation projection method and its application [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2002(1): 103-107. (in Chinese)

(上接第 96 页)

[18] 宋丽华,王世虹. 干旱胁迫对 7 种绿化树种苗木蒸腾耗水的影响 [J]. *林业科技*, 2009, 34(4): 6-9.

Song L H, Wang S H. Effect of drought stress on evaporation and water consumption in several tree species [J]. *Forestry Science & Technology*, 2009, 34(4): 6-9. (in Chinese)

[19] 招礼军,李吉跃,于界芬,等. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水日变化的影响 [J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(3): 42-47.

Zhao L J, Li J Y, Yu J F, et al. Daily variation in transpiring water-consumption rates of seedlings in different drought stress [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(3): 42-47. (in Chinese)

[20] 单长卷,李存胜. 土壤干旱对冬小麦幼苗蒸腾耗水特性的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(7): 1407-1408.

Shan C J, Li C S. Effect of soil drought on transpiration water-consumption characteristics of winter wheat seedling [J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2006, 34(7): 1407-1408. (in Chinese)

[21] 杨涛,梁宗锁,薛吉全,等. 干旱胁迫下不同玉米品种的耗水特性及其水分利用率的差异 [J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(5): 103-107.

Yang T, Liang Z S, Xue J Q, et al. Water consumption characteristics and water use efficiency of different maize varieties under drought stress [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(5): 103-107. (in Chinese)

[22] 张继谢. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 30-31.

Zhang J S. Plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 30-31. (in Chinese)

[23] 黄华,梁宗锁,韩蕊莲. 持续干旱胁迫对女贞形态与生长的影响 [J]. *林业科学*, 2008, 44(8): 145-148.

Huang H, Liang Z S, Han R L. Effects of drought stress on morphology and growth of *Ligustrum lucidum* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(8): 145-148. (in Chinese)

[24] 冯晓丽,梁宗锁,李国峰. 水分对玄参地上部分生长及叶片保护酶活性的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(8): 229-234.

Feng X L, Liang Z S, Li G F. Effects of water content on the growth of the overground parts and antioxidant capability in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl [J]. *Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed*, 2008, 36(8): 229-234. (in Chinese)