

# 丰林自然保护区景观生态评价：量化与解释\*

国庆喜<sup>1,2\*</sup> 王天明<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>东北林业大学, 哈尔滨 150040; <sup>2</sup>北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

**【摘要】** 丰林国家级自然保护区是我国目前原始天然红松生态系统保存最完整、面积最大的天然林集中分布区。本研究根据景观分类图、各景观类型的属性数据库及1997年186个样地系统空间抽样数据, 选用多样性、自然性、代表性、稀有性、面积适宜性、稳定性和人类干扰7项指标, 建立2个层次的生态评价指标体系, 运用层次分析法对生态评价因子的等级化处理, 评价指标权重的确定, 计算出各生态评价因子的综合评价指数(CEI)。结果表明, 区内有高等植物113科568种、高等动物近220种, 物种多样性赋分3分; 保护区地带性顶极植被类型: 椴树红松林、枫桦红松林、云冷杉红松林, 隐域性顶极群落云冷杉林以及仍具有原始林性质的针阔混交林、针叶混交林面积占森林总面积的90.0%和森林总蓄积的96.6%, 代表性赋分3分; 近20~30年内未受到强烈的外界干扰(人为和自然的), 自然生境完好, 次生化演替得到有效控制, 自然性和人类干扰赋分4分; 原始森林植物仍保存着很多古老第三纪的孑遗种, 如红松、水曲柳、核桃楸、黄檗、紫椴和色木槭等, 稀有性赋分4分; 保护区总面积18 165 hm<sup>2</sup>, 其有效面积大小适宜, 足以维持生态系统的结构和功能, 面积适宜性赋分4分; 保护区以红松为主体的红松混交林是一个稳定的群落, 稳定性赋分4分。综合评价结果, 该保护区生态质量CEI为0.87, 表明其生态质量很好, 保护价值高, 在东北地区乃至全国均有典型的代表意义。目前保护区的面积、结构及经营管理能满足其可持续发展的需要。

**关键词** 生态评价 评价指标 层次分析法

**文章编号** 1001-9332(2005)05-0825-08 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

**Landscape ecological evaluation of Fenglin Nature Reserve: Quantification and interpretation.** GUO Qingxi<sup>1,2</sup>, WANG Tianming<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; <sup>2</sup>College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(5): 825~832.

Fenglin National Class Nature Reserve is the largest well-saved virgin Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest area and a precious species gene bank in China. In this study, the indexes diversity, naturalness, representativity, rarity, area suitability, stability, and anthropogenic interference were selected to establish a ranking ecological evaluation system to estimate the ecological condition of the Reserve. The value of each index was determined by the evaluation system, and the weight percentage was decided by Analytical Hierarchy Process (AHP). In the Reserve, there were 568 higher plant species belonging to 113 families and 220 higher animal species, with score 3 of species diversity. The zonal "climax" vegetation type broad-leaved Korean pine forest and the intrazonal community type spruce-fir forest constituted the principal part of the Reserve forest, which was the epitome of the virgin broad-leaved Korean pine forest in Lesser Xing'an Mountains, with representativity score 3. During the past 20~30 years, the natural habitat in the Reserve was quite good, and secondary succession was obtained effective control with few natural or anthropogenic disturbance, with score 4 of naturalness and anthropogenic interference. There were a lot of ancient species of the tertiary period, such as *Pinus koraiensis*, *Fraxinus mandshurica*, *Juglans mandshurica*, *Pellodendron amurense*, *Tilia amurensis* and *Acer mono*, and *Pinus koraiensis* was listed as one of severe danger species by the FAO of UN, with rarity score 4. The Reserve covered an area of 18165 hm<sup>2</sup>, with an enough size to maintain the structure and function of the ecosystem. Accordingly, its area suitability score was 4. Broad-leaved Korean pine forest was the most typical and stable vegetation type in the Reserve, and thus, its stability score was 4. Finally, the composite evaluation index (CEI) was figured out as 0.87, showing that the ecological quality of the Reserve was very good, and the protection value was quite high. In conclusion, the present area, structure, and management of the Reserve could satisfy the requirement of sustainable development.

**Key words** Ecological evaluation, Assessing index, Analytical hierarchy process.

## 1 引言

景观生态评价是景观规划、管理和保护的基础<sup>[22]</sup>, 是景观生态学理论与应用研究的纽带<sup>[4]</sup>。景观生态评价在近20年内发展很快, 由最初的定性的及仅能评价少数几个功能的模型方法, 现已进入定

量化、多学科交叉、多功能评价阶段<sup>[1, 3, 5, 6, 12]</sup>。随着评价技术的不断进步, 其评价方法已包括较多的生

\* 国家科技部重大基础研究计划项目(2002CB111507)、东北林业大学优秀青年教师创新项目和黑龙江省森林工业总局资助项目(K2002061)。

\*\* 通讯联系人。

2004-01-24 收稿, 2005-01-26 接受。

态功能类型,并引进了一些综合评价模型、评价程序,在GIS和RS技术支持下,其评价已能覆盖较大的地理区域<sup>[7,8,11,14]</sup>.我国的景观生态评价工作起步较晚,现已取得一定的成果,并提出了景观生态评价的理论与方法<sup>[6,9,10,13,18,21,25]</sup>.

自然保护区的综合评价由生态质量评价、社会经济评价和有效管理评价3部分组成,其中生态质量评价是其主体<sup>[22,27]</sup>.生态质量评价从生态系统层次或生态系统组合体(景观)上研究系统各组分,特别是生命组分的质量变化规律和相互关系,以及人为作用下系统结构与功能质量变化的程度.评价指标的代表性和指标的相互独立性是建立评价指标体系的基本原则.国内外在自然保护区及其生境的生态评价指标方面的研究很多<sup>[15~17,22,23,27]</sup>,其中使用频次较多的有多样性、自然性、稀有性、代表性、面积适宜性、稳定性和人类干扰等评价指标.不同自然保护区的相关指标相对重要性各不相同.因此,进行自然保护区生态评价的关键是在统一的评价原则基础上,对不同区域尺度上同一类型生态系统,建立生态评价的指标体系,并科学合理地确定体系中各指标的重要性,使之数量化.

丰林自然保护区是我国目前原始天然红松生态系统保存最完整、面积最大的天然林集中分布区,是我国北温带典型地带性森林植被重要类保护区,主要保护对象为阔叶红松林、云冷杉林、落叶松原始林生态系统及母树林.该保护区于1997年被联合国教科文组织接纳为国际人与生物圈(MAB)网络成员.本研究通过对丰林保护区进行生态评价,以鉴别保护区的生态价值和保护效能,对于正确认识保护区现状,预测其变化,发挥自然保护区的多种效益,实现自然保护区的可持续发展具有重要的理论与实践意义.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 研究地区概况

丰林国家级自然保护区位于我国东北小兴安岭南段,黑龙江省伊春市五营区境内(128°59′~129°15′E, 48°02′~48°12′N),总面积18 165 hm<sup>2</sup>.大陆性季风气候,年平均气温为-0.5℃,年平均降水量640.5 mm,主要集中在6~9月,空气相对湿度为73%.生长期约100~110 d,期间雨量集中,温度适宜,有利于林木和其它植物的生长.全区属低山丘陵地形,呈孤岛状,三面环水,低洼,地势由北、东南部边缘向中部缓慢升高,台地与谷地较宽,海拔高度在285~688 m.全区以中部低山所占面积最多,其中海拔高度在300~450 m

地段的面积占全区的65%以上.山地一般顶部浑圆,坡度为10~25°,最大坡度35°,平均坡度为6°,平缓地段占90%以上.境内主要河流有汤旺河、丰林河、平原河等大小河流9条,以及季节性流水的小溪,纵贯全区,构成一个完整的水系,为动物的繁衍和生长提供了丰富的水资源.

保护区地带性植被类型为以红松为优势的针阔混交林,属长白山植物区系小兴安岭亚区.不同的光照、温湿度和立地环境为各种植被资源创造了多样的生态环境,使原始森林植物仍保存着很多古老第三纪的孑遗种,古老的原始阔叶红松林具有明显南方亚热带植被景观.

### 2.2 研究方法

**2.2.1 景观生态制图与数据源** 根据2000年丰林自然保护区林相图及1999年航片,结合野外植被调查及1997年186个样地系统空间抽样数据(在保护区按公里网格布设,每个样地0.6 hm<sup>2</sup>,其中有效数据点为159个),绘制了研究区森林景观类型现状图(图1).结合保护区管理信息系统,在ArcGIS 8软件支持下,建立了各景观类型的属性库,以此计算各景观类型的面积、蓄积及其他信息.

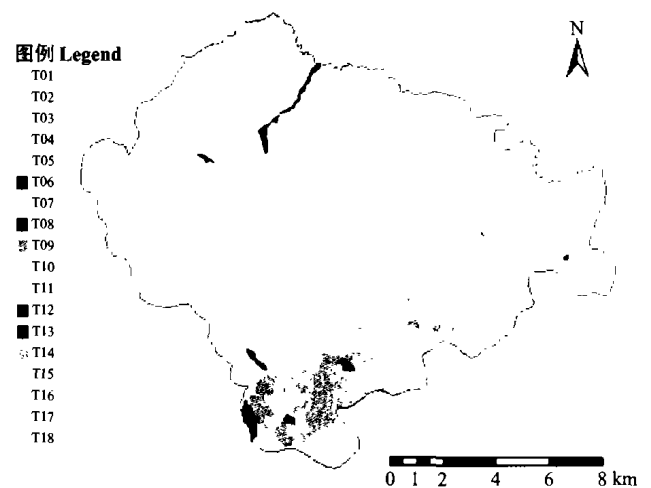


图1 丰林保护区植被图

Fig.1 Vegetation map of Fenglin Nature Reserve in China (Created in ArcGIS 8 using ArcMap, ESRI, Inc).

T01: 枫桦红松林 *Betula costata*-*Pinus koraiensis* forest; T02: 椴树红松林 *Tilia amurensis*-*Pinus koraiensis* forest; T03: 云冷杉红松林 *Picea jezoensis*-*Abies holophylla*-*Pinus koraiensis* forest; T04: 云冷杉林 *Picea jezoensis*-*Abies holophylla* forest; T05: 冷杉林 *Abies holophylla* forest; T06: 人工樟子松林 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest; T07: 阔叶混交林 Mixed broad-leaved forest; T08: 硬阔混交林 Hard mixed broad-leaved forest; T09: 软阔混交林 Soft mixed broad-leaved forest; T10: 针叶混交林 Mixed coniferous forest; T11: 针阔叶混交林 Mixed broad leaf-conifer forest; T12: 落叶松林 *Larix gmelinii* forest; T13: 山杨林 *Populus davidiana* forest; T14: 白桦林 *Betulla platyphylla* forest; T15: 柞树林 *Quercus mongolica* forest; T16: 荒地 Uncultivated land; T17: 居民点 Settlement; T18: 农田 Farmland.

**2.2.2 生态评价的指标体系** 参照目前国内自然保护区生态评价研究的有关指标体系<sup>[10,17,22,23,27]</sup>,根据自然保护区生态评价的原则、评价指标体系确立的要求,以及丰林自然保护区属于自然生态系统类保护区的实际,确立了一套系统较为完整、评价指标具有代表性和独立性、操作简便的生态评价指标体系(表1).表1中,自然性是评价人类对自然环

表 1 丰林国家级自然保护区生态评价指标及其等级划分与赋值标准

Table 1 Grades and values of the assessing index used in evaluating Fenglin Nature Reserve

评价指标 Evaluation indices	等级 Grades	分值 Values
多样性 Diversity	A 生境(生态系统)类型多样, 极为复杂, 物种多样性极丰, 高等植物 $\geq 2000$ 种, 或高等动物 $\geq 300$ 种 Habitat (ecosystem) type is diverse and terribly complicated, species and diversity very abundant, and species of higher plant $\geq 2000$ or higher animal $\geq 300$	4
	B 生境(生态系统)类型多样, 比较复杂, 物种多样性较丰, 高等植物 1000~1999 种, 或高等动物 200~299 种 Habitat (ecosystem) type is diverse and relatively complicated, species and diversity comparatively abundant, and species of higher plant 1000~1999 or higher animal $\geq 200\sim 299$	3
	C 生境(生态系统)类型较少, 比较简单, 物种多样性中等丰富, 高等植物 500~999 种, 或高等动物 100~199 种 Habitat (ecosystem) type is less and relatively simple, species and diversity moderately abundant, and species of higher plant 500~999 or higher animal $\geq 100\sim 199$	2
	D 生境(生态系统)类型简单, 物种较少, 高等植物 $< 500$ 种, 高等动物 $< 100$ 种 Habitat (ecosystem) type is simple, species is less, and species of higher plant $< 500$ or higher animal $< 100$	1
代表性 Representation	A 主要植被类型在植被区域内具有突出的代表性, 或在全球范围或同纬度地区内具有突出代表意义 Primary vegetation type has prominent representation and significance in the vegetation region or in the globe or in the same latitude	4
	B 主要植被类型在植被地带内具有突出的代表性, 或在全国范围或同生物地理区内具有突出代表意义 Primary vegetation type has prominent representation and significance in the vegetation zonation or in nation or in the same biogeographica	3
	C 主要植被类型在植被亚地带内具有突出的代表性, 或在地区范围或生物地理省内具有代表意义 Primary vegetation type has prominent representation and significance in the vegetation subzonation or in the region or in the biotic province area	2
	D 主要植被类型在植被区内具有突出的代表性 Primary vegetation type has prominent representation in the vegetation province	2
自然性 Natureless	A 未受人类侵扰或极少受到侵扰, 保持原始状态, 自然生境完好, 核心区未受人类影响 Not or few intruded and hold primitive status and nature habitat get well, as well as core area not is affected by human	4
	B 受到轻微侵扰和破坏, 但生态系统无明显的结构变化, 自然生境基本完好, 核心区未受或少受到影响 Intruded and destroyed tinily, but not evidently change in structure of ecosystem and nature habitat basically get well, as well as core area not or few is affected by human	3
	C 遭受较严重的破坏, 系统结构发生变化, 但尚无大量的引入物种, 自然生境退化, 核心区受到中等强度影响 Badly destroyed and changing in structure of ecosystem, but there not being a mass of introduced species and nature habitat degenerate, as well as core area is affected moderately by human	2
	D 自然生境全面遭到破坏, 外援物种被大量引入, 核心区受到很大影响, 自然状态基本已为人工状态所替代 Nature habitat is entirely destroyed and foreign species are largely introduced and core area is affected awfully and nature status is basically replaced by artificial status.	1
稀有性 Rarity	A 世界范围内唯一或重要生境; 或物种为全球性珍稀濒危物种 Being a globally exclusive or important habitat or being in rare and severe danger species	4
	B 国家或生物地理区域内重要生境; 国家重点保护 I 类动物或 I、II 类植物 Being a important habitat in nation or in the biogeographic realm or there being national key protect I animal or I, II plant	3
	C 地区范围内稀有或重要生境; 国家重点保护 II 类动物或 III 类植物 Being a regional rare or important habitat or there being national key protect II animal or III plant	2
	D 区域性珍稀濒危物种 Being in regional rare and severe danger species	1
面积适宜性 Area suitability	A 有效面积大小适宜, 足以维持生态系统的结构和功能, 有效保护全部保护对象 Usable area suits in size, sufficiently maintains structure and function of ecosystem and efficiently protects main protective object	4
	B 有效面积大小较适宜, 基本能维持生态系统的结构和功能, 有效保护主要保护对象 Usable area relatively suits in size, basically maintains structure and function of ecosystem and efficiently protects main protective object	3
	C 有效面积大小不太适宜, 不易维持生态系统的结构和功能, 不足以有效保护主要保护对象 Usable area none so suits in size, difficultly maintains structure and function of ecosystem and is insufficient of protecting main protective object	2
	D 有效面积大小不适宜, 不能维持生态系统的结构和功能, 不能够有效保护主要保护对象 Usable area few suits in size, insufficiently maintains structure and function of ecosystem and can't protect main protective object	1
稳定性 Stability	A 主要植被类型 I~V 级立木数量或径级结构构成金字塔形, 森林生态系统结构较完整, 趋于稳定 Stems or diameter class structure of I~V class of primary vegetation type make a pyramidshape and forest ecosystem are quite integrated in structure and tend to steady	4
	B 主要植被类型 I~III 级立木数量较多, IV、V 级立木数量较少, 森林生态系统结构较为成熟, 处于发展阶段 Stems of I~III class of primary vegetation type are much more plentiful and that of IV, V class are less and forest ecosystem are relatively mature and are in a developmental stage	3
	C 主要植被类型 I~III 级立木数量较少, IV、V 级立木数量较多, 森林生态系统结构不完整, 处于较不稳定状态 Stems of I~III class of primary vegetation type are less and that of IV, V class are much more plentiful and forest ecosystem in structure are not integrated and are in a much instable status	2
	D 主要植被类型 I~III 级立木数量稀少, IV、V 级立木数量居显著优势, 森林生态系统结构不合理, 处于不稳定状态 Stems of I~III class of primary vegetation type are thin and that of IV, V class are in a notable dominance and forest ecosystem in structure are not rational and are in a unstable status	1
人类干扰 Threat of human interference	A 极少人类侵扰活动, 极少开发利用区内生物、土、水、矿藏资源, 对自然保护区几乎不构成威胁 Too few intruded by human and poorly exploit and utilize biology, soil, water, mineral resources in the region, which hardly threaten to the Nature Reserve	4
	B 有少量人类侵扰活动, 开发利用生物、土、水、矿藏资源较为适度, 对自然保护区构成一定威胁 A few intruded by human and moderately exploit and utilize biology, soil, water, mineral resources in the region, which definitely threaten to the Nature Reserve	3
	C 人类侵扰活动强度较大, 有过分开发利用生物、土、水、矿藏资源的趋势, 对自然保护区构成较大威胁 Intruded much bigger by human and have a tendency to excessively exploit and utilize biology, soil, water, mineral resources in the region, which very threaten to the Nature Reserve	2
	D 人类侵扰活动强度很大, 过分开发利用生物、土、水、矿藏资源, 对自然保护区构成严重威胁 Greatly intruded by human and excessively exploit and utilize biology, soil, water, mineral resources in the region, which severely threaten to the Nature Reserve	1

境的侵扰程度,是自然保护区的基本属性,主要以整个保护区尤其是核心区的生态系统受破坏的程度为依据;多样性是评价自然保护区生态价值的最重要指标,保护区中生物种群的数量愈多、类型愈多样,多样性程度越高,其保护价值愈大;稀有性可划分为物种稀有性、生境稀有性和群落稀有性,保护对象的稀有程度越高,保护价值越大;代表性主要指保护对象是否有代表性,其空间分布范围越大,代表性越强;面积适宜性主要是满足保护对象所需的最适面积,通常因保护对象的不同而有显著差异,对于生态系统类型保护区来说,则主要看其面积是否达到维持被保护生态系统稳定的最小面积;脆弱性主要指保护对象对环境变化内在的敏感程度;稳定性与脆弱性是完全相对的概念,评价中常用前者代替后者;人类干扰指人类活动对保护区内环境资源造成的危害状况和侵扰压力。

**2.2.3 生态评价指标权重的确定** 采用层次分析法(AHP)确定评价指标的权重<sup>[26]</sup>。其特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等深入分析的基础上,利用较少的定量信息,使决策的思维过程数学化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法。出现最早而且使用最广泛的是1~9标度<sup>[7,26]</sup>。具体步骤如下:

1) 建立树状层次结构模型。考虑到森林生态系统类保护区的生态评价主要是对自然保护区的基本属性——景观生态质量而言,其实质是从生态角度对其生态质量的高低进行评定,故评价的目标层为景观生态质量的高低,指标层则为表1所选定的7个评价指标。据此,建立本评价的层次结构如图2所示,其中目标层是具体指标的概括,并由指标层加以反映。

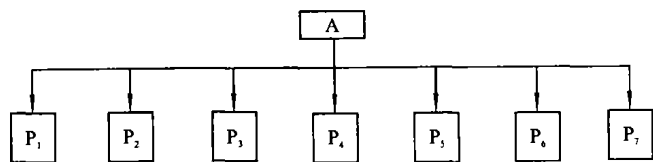


图2 丰林自然保护区生态评价指标的层次结构图

Fig.2 Hierarchy of assessing index in Fenglin Nature Reserve.

A: 景观生态质量 Ecological quality of landscape; P<sub>1</sub>: 多样性 Diversity; P<sub>2</sub>: 代表性 Representation; P<sub>3</sub>: 自然性 Natural character; P<sub>4</sub>: 稀有性 Rarity; P<sub>5</sub>: 面积适宜性 Area suitability; P<sub>6</sub>: 稳定性 Stability; P<sub>7</sub>: 人类干扰 Threat of human interference.

2) 确立思维判断量化的标度。通过构造两比较判断矩阵及矩阵运算的数学方法,确定对于上一层的某个元素而言,本层次中与其相关元素的重要性排序——相对权重。为研究本研究评价的相对权重,通过发放20张调查问卷,聘请20位对保护区熟悉或在保护区长期开展工作的专家讨论和评价基本原则为:任意两个评价指标进行比较时,重要性一致的记1作为标度,较重要者记为3,2则为两相似判断的中间值,表示折衷,每个标度的例数则有相反的意义。经过专家将分值确定后,构建了A—P判断矩阵(表2),最后采用和积法,通过利用计算机SPSS和Matlab程序计算出矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 7.54$ ,求得各指标的权重 $W_i$ (表2)。权重的算

表2 指标层对于总目标层各相关因子的判断矩阵及权重

Table 2 Weighting and estimate matrix between the index and the aim layer

A	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	W <sub>i</sub>	排序 Order
P <sub>1</sub>	1	3	3	2	3	1	3	0.278	1
P <sub>2</sub>	1/3	1	3	3	3	3	3	0.233	2
P <sub>3</sub>	1/3	1/3	1	1	1	1	3	0.100	5
P <sub>4</sub>	1/2	1/3	1	1	1	2	3	0.118	4
P <sub>5</sub>	1/3	1/3	1	1	1	3	3	0.124	3
P <sub>6</sub>	1	1/3	1	1/2	1/3	1	1	0.091	6
P <sub>7</sub>	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	0.056	7

P<sub>1</sub>: 多样性 Diversity; P<sub>2</sub>: 代表性 Representation; P<sub>3</sub>: 自然性 Natural character; P<sub>4</sub>: 稀有性 Rarity; P<sub>5</sub>: 面积适宜性 Area suitability; P<sub>6</sub>: 稳定性 Stability; P<sub>7</sub>: 人类干扰 Threat of human interference. 下同 The same below.  $b_{12} = 3$ , 其取值含义代表在对景观生态质量评价中,多样性对于代表性而言,在所划分的3个标度中属稍微重要 Comparing diversity with representativeness,  $b_{12} = 3$  represents moderate.

式为:

$$W_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

式中,  $a_i = b_{ij} \sqrt{\prod_{j=1}^n b_{ij}}$ ;  $W_i$  为权重;  $b_{ij}$  为*i*指标与*j*指标相比得出的重要度标度值。经计算,判断矩阵一致性指标  $C.I. = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = 0.09$ ,查表得判断矩阵平均随机一致性指标  $R.I. = 1.32$ ,则此判断矩阵的随机一致性比率  $C.R. = C.I./R.I. = 0.068 < 0.10$ (当  $C.R. < 0.10$  时,判断矩阵通过一致性检验),可见该判断矩阵具有满意的一致性。通过对系统目标的合成权重,进行总排序,确定了递阶结构图中指标层各个元素对总目标中的重要程度(表2)。由表2可以看出,多样性和代表性占其总权重的51.1%,从另一个侧面反映了上述指标权重确定的合理性。

### 3 结果与分析

#### 3.1 单项指标评价结果

**3.1.1 多样性** 本区有高等植物113科568种,高等动物近220种,因此,物种多样性赋分3分。

**3.1.2 代表性** 保护区森林景观总面积17765  $\text{hm}^2$ ,共分15个景观组分类型,根据空间库和属性库计算的各类景观面积、蓄积及各景观类型分龄组面积统计见表4、表5。根据表4,把保护区地带性顶极植被类型:椴树红松林、枫桦红松林、云冷杉红松林,隐域性顶极群落云冷杉林以及仍具有原始林性质的针阔混交林、针叶混交林合为一组,约占森林面积的90.0%和森林总蓄积量的96.6%。而次生林的柞树林、白桦林、山杨林以及由于自然的或人为的原因形成的软、硬阔叶林、阔叶混交林在现存的天然林资源的林分面积和林分蓄积中,分别占10.0%和3.4%。结果表明,构成丰林自然保护区的森林主体仍属原始景观的森林生态系统,即小兴安岭原始阔叶红松林。因此,代表性赋分3分。

表 4 丰林保护区景观类型面积、蓄积分布特征  
Table 4 Area and timber volume properties of landscape types in Fenglin Nature Reserve

景观类型 Landscape types	面积 Area (hm <sup>2</sup> )	所占比例 Proportion (%)	蓄积 Volume (m <sup>3</sup> )	所占比例 Proportion (%)
T01	3637.16	20.47	1164690	25.26
T02	504.60	2.84	177560	3.85
T03	5133.14	28.89	1650510	35.79
T04	1769.40	9.96	392740	8.52
T05	340.43	1.92	58930	1.28
T06	3.56	0.02	600	0.01
T07	332.05	1.87	31210	0.68
T08	43.59	0.25	4480	0.10
T09	840.66	4.73	79620	1.73
T10	3407.61	19.18	812440	17.62
T11	1455.72	8.19	197930	4.29
T12	98.65	0.56	19420	0.42
T13	17.09	0.10	2730	0.06
T14	61.78	0.35	6440	0.14
T15	120.26	0.68	12300	0.27

T01: 枫桦红松林 *Betula costata*-*Pinus koraiensis* forest; T02: 椴树红松林 *Tilia amurensis*-*Pinus koraiensis* forest; T03: 云冷杉红松林 *Picea jezoensis*-*Abies holophylla*-*Pinus koraiensis* forest; T04: 云冷杉林 *Picea jezoensis*-*Abies holophylla* forest; T05: 冷杉林 *Abies holophylla* forest; T06: 人工樟子松林 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest; T07: 阔叶混交林 Mixed broad-leaved forest; T08: 硬阔混交林 Hard mixed broad-leaved forest; T09: 软阔混交林 Soft mixed broad-leaved forest; T10: 针叶混交林 Mixed coniferous forest; T11: 针阔叶混交林 Mixed broad leaf-conifer forest; T12: 落叶松林 *Larix gmelinii* forest; T13: 山杨林 *Populus davidiana* forest; T14: 白桦林 *Betulla platyphylla* forest; T15: 柞树林 *Quercus mongolica* forest. 下同 The same below.

3.1.3 自然性和人类干扰 根据表 5 和图 3, 保护区 15 个景观类型无论从面积按龄组分布, 还是从蓄积按龄组分布, 都是以成过熟林为主要组成部分. 成过熟林面积占 72.60%, 蓄积占 82.52%. 其中, 原始林中椴树红松林已全部进入成过熟林, 椴树红松林、枫桦红松林和云冷杉红松林成过熟林总面积占 50.30%, 占总蓄积的 63.62%. 就构成本区森林资源主体的原始阔叶红松林而言, 已进入老龄过熟阶

表 5 丰林保护区景观类型分龄组面积特征  
Table 5 Area properties based age group of landscape types in Fenglin Nature Reserve (hm<sup>2</sup>)

景观类型 Landscape types	幼龄林 Young forest	中龄林 Middle-age forest	近熟林 Near-mature forest	成熟林 Mature forest	过熟林 Over-mature forest
T01	-	76.49	107.91	1762.30	1690.46
T02	-	-	-	444.41	60.19
T03	-	46.35	113.07	2115.84	2857.88
T04	-	2227.56	976.31	492.96	72.58
T05	-	-	325.44	14.99	-
T06	3.56	-	-	-	-
T07	-	221.79	79.04	31.21	-
T08	-	-	43.59	-	-
T09	-	595.99	98.44	146.22	-
T10	-	156.34	934.19	1502.96	814.12
T11	-	184.20	438.65	535.77	297.09
T12	-	38.56	-	60.08	-
T13	-	-	17.08	-	-
T14	-	57.00	4.79	-	-
T15	96.05	24.21	-	-	-
Total	99.61	1628.49	3138.51	7106.74	5792.32
Percentage (%)	0.56	9.17	17.67	40.00	32.60

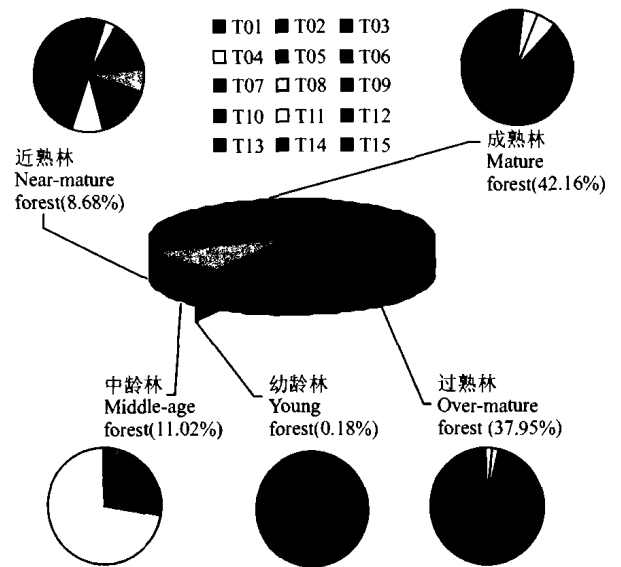


图 3 丰林保护区景观类型分龄组蓄积特征  
Fig.3 Volume properties based age group of landscape types in Fenglin Nature Reserve (m<sup>3</sup>).  
小圆饼图为各景观类型占各龄组的百分比 Small pie graph represents percentage of each age group accounted for each landscape type.

段; 次生化林分的龄组分布结构则是另一种格局: 幼、中龄面积占次生化林分面积的 70.40%, 中龄林所占比重最大为 63.40%; 由表 5 可以看出, 在次生化林分类型中, 山杨林只有近熟林, 白桦林也只有中、近熟林, 都没有幼龄林, 林龄结构分布中、近熟林呈断续或孤立状态. 说明丰林自然保护在近 20~30 年内, 没有受到强烈的外界干扰(人为和自然的), 保持原始状态, 自然生境完好, 次生化演替得到了有效控制. 因此, 自然性赋分 4 分. 另外, 本区极少开发利用区内生物、土、水、矿藏资源, 对自然保护区几乎不构成威胁, 因此, 人类干扰赋分 4 分.

3.1.4 稀有性 丰林保护区原始森林植物仍保存着很多古老第三纪的孑遗种, 如红松 (*Pinus koraiensis*)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*)、核桃楸 (*Juglans mandshurica*)、黄檗 (*Pellodendron amurense*)、紫椴 (*Tilia amurensis*) 和色木槭 (*Acer mono*) 等古老树种; 以及本区特有的青楷槭 (*Acer tegmentosum*)、怀槐 (*Maackia amurensis*)、春榆 (*Ulmus propingua*)、香杨 (*Populus rorveana*) 和大青杨 (*P. ussuriensis*) 等阔叶树种; 又有喜暖的藤本植物, 如葡萄科的山葡萄 (*Vitis amurensis*)、木兰科的五味子 (*Schizandra chinensis*)、猕猴桃科的狗枣猕猴桃 (*A. kolomikta*) 等混生其间, 使古老的原始阔叶红松林具有明显南方亚热带植被景观. 1986 年联合国粮农组织颁布的全球 81 种珍稀濒危基因树种红皮书中, 我国红松被列为世界级濒危基因树种, 属于有绝种危险或遗传基因严重枯竭的乔木树种<sup>[2]</sup>.

我国东北东部山地林区的根据保护区生物多样性信息系,列入国家重点保护野生动物名录中的有 I 级保护动物紫貂(*Martes zibellina*)、II 级保护动物棕熊(*Ursus arctos*)、黑熊(*Selenarctos thibetanus*)、马鹿(*Cervus elaphus*)、驼鹿(*Alces alces*)、原麝(*Moschus moschiferus*)、水獭(*Lutra lutra*)、猞猁(*Lynx lynx*)和雪兔(*Lepus timidus*)等 10 种;国家一级保护鸟类有金雕(*Aquila curysaetos*)、中华秋沙鸭(*Merquus squamatus*)、丹顶鹤(*Grus japonensis*)、细嘴松鸡(*Tetra parvirostris*)。国家二级保护鸟类有鸳鸯(*Aix galericulata*)、苍鹰(*Accipiter gentilis*)和花尾榛鸡(*Bonasa bonaisa*)等 98 种。因此,稀有性赋分 4 分。

**3.1.5 面积适宜性** 丰林保护区总面积 18 165 hm<sup>2</sup>,原始林景观占保护区总面积的 88.52%,其有效面积大小适宜,足以维持生态系统的结构和功能,有效保护主要保护对象,面积适宜性赋分 4 分。

**3.1.6 稳定性** 丰林保护区是我国保存最完整、面积最大的原始红松林,已有 300 多年的历史。根据 1997 年 159 个样地(每个样地 0.6 hm<sup>2</sup>)的系统空间抽样数据,共记录乔木 25 种,6 842 株。林中树木胸径最大可达 120 cm,最高达 37 m。将胸径≥6 cm 的个体按 10 cm 一级绘制径级分布图(图 4)。由图 4 可以看出,不同径级内树木的株数分布为:胸径 0~15 cm 的 3 786 株;16~25 cm 1 454 株;26~35 cm 760 株;36~45 cm 406 株;46~55 cm 221 株;56~65 cm 122 株;66~75 cm 53 株;76~85 cm 23 株;>85 cm 17 株。随着每隔 10 cm 径级的增加,树木的个体数呈现不断下降的趋势,以 0~15 cm 径级内拥有的个体数或密度最大,而后陡然急骤下降。个体数随径级的分布总体上呈现“倒 J”型(或呈金字塔型),可用负指数方程  $y = 6307.6 \exp(-0.6765x)$  ( $R^2 = 0.9951, n = 9, P < 0.01$ ) 很好地描述。这种分布状况符合异龄混交林小径木株数多、频数随直径的增大而下降规律,可以维持种群的更新。这说明丰林自然

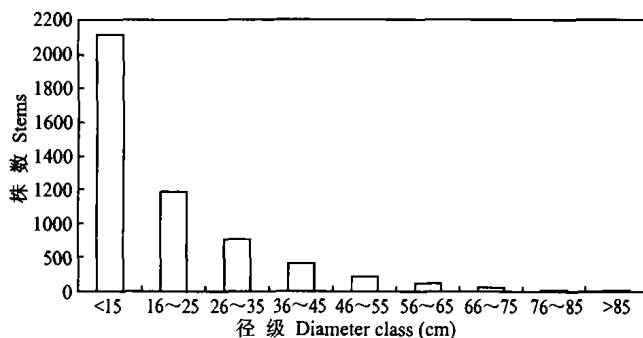


图 4 不同径级内株数分布

Fig. 4 Distribution of stems in different diameter class in 156 plots in the Fenglin Nature Reserve.

保护区以红松为主体的红松混交林是一个稳定性的群落。目前森林生态系统趋于稳定,所以稳定性赋分 4 分。

### 3.2 综合评价结果

综合评价结果由综合评价指数(Composite evaluation index, CEI)反映出来,其算式为:

$$CEI = 1/4 \sum_{i=1}^n I_i W_i$$

式中,  $I_i$  为单项指标评价分值;  $W_i$  为评价指标  $I$  的权重;  $n$  为评价指标数。根据表 2、表 3, 计算得出丰林国家级自然保护区的综合生态评价指数:  $CEI = 1/4(3 \times 0.278 + 3 \times 0.233 + 4 \times 0.100 + 4 \times 0.118 + 4 \times 0.124 + 4 \times 0.091 + 4 \times 0.056) = 0.87$ 。

根据郑允文等<sup>[27]</sup>划分的评判各自然保护区的生态质量等级:  $0.86 \leq CEI \leq 1.00$ , 生态质量很好;  $0.71 \leq CEI \leq 0.85$ , 生态质量较好;  $0.51 \leq CEI \leq 0.70$ , 生态质量一般;  $0.35 \leq CEI \leq 0.50$ , 生态质量较差;  $CEI \leq 0.35$ , 生态质量很差。丰林国家级自然保护区的综合评价指数为 0.87, 表明其作为我国北温带森林生态系统类保护区, 目前生态质量很好, 保护价值高, 能满足保护区可持续发展的需要。

## 4 讨论

中国东北东部山地红松阔叶混交天然林是长期受到当地土壤条件和日本海海洋气候的综合影响, 历经千百年时空演替而形成成为最适合东北亚地域环境的相对稳定的森林顶极群落。在这个森林群落中, 植物与植物之间、森林有机体与动物之间、生物与环境之间的相互制约关系达到高度和谐统一, 从而形成了一个复杂的森林生态系统。丰林自然保护区是我国目前原始天然红松林生态系统保存最完整、面积最大的天然林集中分布区。由于本区的海拔变幅较小, 没有明显的高山, 森林分布基本处于一个垂直亚带——山地阔叶红松林带。从整个阔叶红松林的分布区来看, 本区位于红松林的中部地带, 属典型红松林, 是阔叶红松林中具有代表性的地区<sup>[19]</sup>。

在北温带中纬度同一地带的针阔叶混交林中, 原始红松林最珍贵稀有之处就是物种生物多样性的丰度很高、系统结构复杂、生态功能多效, 是典型温带森林生态系统。对丰林自然保护区景观生态评价的结果表明, 物种、生态系统多样性丰富, 受人类干扰少, 基本上保持着原始状态。目前, 保护区的自然生态质量很好, 对于保护原始阔叶红松林生物多样性, 维持森林生态系统的稳定, 实现自然资源可持续

发展将起重要作用.我国目前建立以红松占优势或混有红松的天然林自然保护区共有 4 个,其余 3 个分别是长白山自然保护区(长白山主体)、凉水自然保护区(小兴安岭南端)和白石砬子自然保护区(宽甸县千山北麓).这些保护区内未经人为干扰的天然红松林混交林的面积约  $5.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,仅占 1963 年红松林原面积  $124.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$  的 4.5%<sup>[2]</sup>.由此可见,红松天然林是处于极端濒危、珍稀的一种森林生态系统.建设自然保护区旨在将珍贵稀有的红松森林景观及其生物多样性和遗传多样性等自然遗产永久保存,为今后恢复森林提供基本蓝图作参考.丰林保护区保存有 1 株最大红松老龄木,树龄超过 500 年,胸径 1.20 m.随着时空推移,这些红松老龄林和古树显示的稀有性和珍贵性,必将成为该地区的原生天然红松森林植被的见证者和恢复红松植被的科学依据.

目前,丰林保护区内由于各种原因形成的天林次生林(山杨林、柞树林、白桦林、硬阔叶林、软阔叶林以及阔叶混交林)显著提高了其保护价值,在科学研究上具有重要意义.这部分退化(或次生化)林分主要是原始阔叶红松林在局部由于受人类干扰(如采伐等)和自然力(火灾)破坏发生发展的一种特殊类型;其生物成分或环境条件仍保持着原始林的某些特征,具有恢复阔叶红松林的内在潜力.

从保护区进行了生态质量恢复来看,对退化(或次生化)林分和隐域植被云冷杉林,应通过实验性的经营措施,促进向地带性顶极群落阔叶红松林演变.目前保护区内阔叶混交林多处于演替中期阶段,比杨桦林和柞林更容易恢复成接近原生状态的针阔混交林.这一退化类型林分在实验区分布面积 989  $\text{hm}^2$ ,应引起更大的重视.

到 2002 年底,我国已建立了 1 757 个不同类型的自然保护区.自然保护区的规划、建设和管理迫切需要一套科学而完整的评价体系.但到目前为止,中国还未能建立一个全国通用的、适合各种类型保护区的评价体系.一般是根据实际情况,针对不同类型的保护区建立相应的评价体系.综合评价指数可作为评判自然保护区生态质量等级的依据.根据郑允文等<sup>[27]</sup>对综合评价指数作的等级划分标准,杨瑞卿等<sup>[24]</sup>对我国暖温带森林生态类保护区——太白山国家级自然保护区进行生态评价,计算出其综合评价指数为 0.78,说明保护区目前属于生态质量较好、保护价值较高的等级;徐慧等<sup>[22]</sup>对大别山区仅有的次生植被保存较完整的北亚热带山地

森林生态系统——鹫落坪国家级自然保护区的综合评价指数也为 0.78,生态质量较好、保护价值较高,能满足保护区持续发展的需要.采用同样的标准对丰林国家级自然保护区的综合评价指数为 0.87,表明其作为我国北温带森林生态系统类保护区,目前生态质量很好,保护区近 50 年来的保护取得了成效.

本研究采用层次分析法进行景观生态评价的整个过程体现了人的决策思维的基本特征,即分解、判断与综合,而且定性与定量相结合,便于决策者之间彼此沟通,是一种十分有效的系统分析方法.本文所作的一些探索,希望对完善森林生态系统类型自然保护区生态评价的理论和方法有所帮助.

#### 参考文献

- Carey PD, Short C, Morris C, et al. 2003. The multi-disciplinary evaluation of a national agri-environment scheme. *J Environ Man*, 69(1):71~91
- Chen B-H(陈炳浩), Lu J-X(陆静娴). 1999. Protection and sustainable management of Korean pine forest in northeast China. In: Branch of Forest Ecology of Chinese Society of Forestry, eds. Forest Ecology Forum I. Forest ecological environment-Integrated exploitation of mountainous area-Natural forest protection. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 235~242 (in Chinese)
- Costanza R, Arge R. 1997. The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature*, 387(15):253~260
- Fu B-J(傅伯杰), Chen L-D(陈利顶), Ma K-M(马克明). 2001. Landscape Ecology Theory and Application. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Gretchen CD. 1997. Nature's Services, Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press. 175~178
- Gulinck H, Mugica M. 2001. A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain). *Landscape Urban Plan*, 55(4):257~270
- He C-Q(何池全), Cui B-S(崔保山), Zhao Z-C(赵志春). 2001. Ecological evaluation on typical wetlands in Jilin Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(5):754~756 (in Chinese)
- Li H(李宏), Sun D-F(孙丹峰), Zhang F-R(张凤荣), et al. 2002. Suitability evaluation of fruit trees in Beijing Western Mountain areas based on DEM and GIS. *Tran CSAE* (农业工程学报), 18(5):250~255 (in Chinese)
- Li X-X(李晓秀). 2000. Evaluation for eco-environment in mountainous regions of Beijing. *Rural Ecol Environ* (农村生态环境), 16(1):21~25 (in Chinese)
- Ma R-H(马荣华), Hu M-C(胡孟春), Pang Z-S(庞志书), et al. 2000. Evaluation on eco-environmental quality of Hainan Island. *Rural Ecol Environ* (农村生态环境), 16(4):11~14 (in Chinese)
- Mauno P, Mikko K, Jyrki K, et al. 2001. Assessing the priorities using A' WOT among resource management strategies at the Finnish forest and park service. *For Sci*, 47(4):534~542
- Ouyang Z-Y(欧阳志云), Wang R-S(王如松). 1999. Ecosystem services and their sustainable development. The Study of Society-Economic-Nature Compound Ecosystem Sustainable Development. Beijing: China Environment Science Press. 84~88 (in Chinese)
- Peng J(彭建), Wang Y-L(王仰麟), Liu S(刘松), et al. 2003. Landscape ecological evaluation for sustainable coastal land use. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 58(3):363~371 (in Chinese)
- Ranst EV. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*, 70(1):1~19

- 15 Shi Z-M(史作民), Cheng R-H(程瑞海), Chen L(陈力), *et al.*. 1996. Study on method for regional ecosystem biodiversity assessment. *Rural Ecol Environ* (农村生态环境), 12(2): 1~5 (in Chinese)
- 16 Smith P, Theberge J. 1986. A review of criterion for evaluation natural areas. *Environ Man*, 10(6): 715~734
- 17 Song X-J(宋秀杰), Zhao T-R(赵彤润). 1997. Study on ecological evaluation of Songsan Conservation Region. *Chin J Environ Sci* (环境科学), 18(4): 76~78 (in Chinese)
- 18 Sun Y-J(孙玉军), Wang X-K(王效科), Wang R-S(王如松). 1999. The characteristics of eco-environmental quality in five-finger mountain Nature Reserve. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(3): 365~370 (in Chinese)
- 19 Wang Y-J(王业遯), *et al.* 1994. Korean Pine Forest. Harbin: Northeast Forestry University Press. (in Chinese)
- 20 Wang Y-L(王仰麟). 1996. A theoretical methodology of landscape eco-classification. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 7(supp.): 121~126 (in Chinese)
- 21 Xiao D-N(肖笃宁), Zhong L-S(钟林生). 1998. Ecological principles of landscape classification and assessment. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 9(2): 217~221 (in Chinese)
- 22 Xu H(徐慧), Qian Y(钱谊), Peng P-Z(彭补拙), *et al.* 2002. Ecological evaluation on Yaoluoping nature reserve in Anhui Province. *Agro-Environ Prot* (农业环境保护), 21(4): 360~364 (in Chinese)
- 23 Yan C-H(阎传海). 1999. Landscape ecological evaluation of the lower Huaihe valley. *Ecol Sci* (生态科学), 18(2): 46~52 (in Chinese)
- 24 Yang R-Q(杨瑞卿), Xiao Y(肖扬). 2000. The ecological evaluation of Taibaishan Nature Reserve. *Geogr Land Res* (地理学与国土研究), 16(1): 75~78 (in Chinese)
- 25 Zang S-Y(臧淑英), Wan L-H(万鲁河), Zhou D-W(周道玮). 2003. Landscape ecological assessment and planning in the watershed of Erlong Mountain reservoir in Heilongjiang Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(4): 540~544 (in Chinese)
- 26 Zhao H-C(赵焕臣). 1988. The Analytic Hierarch Process—A New Simple Decision Method. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 27 Zheng Y-W(郑允文), Xue D-Y(薛达元), Zhang G-S(张更生). 1994. The ecological evaluation index and evaluation standard. *Rural Ecol Environ* (农村生态环境), 10(3): 22~25 (in Chinese)

---

作者简介 国庆喜,男,1965年生,博士后,教授,主要从事森林生态学研究,发表表论文14篇. Tel:0451-82191385; E-mail:gqx@nefu.edu.cn

---

## 简 讯

据2004年版中国科技期刊引证报告统计(1576种期刊),2003年《应用生态学报》总被引频次为2253次,总排序为第19名,在生物学类期刊排序为第3名;影响因子为0.990,总排序为第70名,在生物学类期刊排序为第3名.2003年《生态学杂志》总被引频次为836次,总排序为第150名,在生物学类期刊排序为第10名;影响因子为0.607,总排序为第198名,在生物学类期刊排序为第13名.

《应用生态学报》编辑部

《生态学杂志》编辑部