

基于TOPSIS及熵权法的塞罕坝环境评价模型及其应用

姜嘉美, 李旭涵

东北大学秦皇岛分校数学与统计学院, 河北 秦皇岛

收稿日期: 2022年1月19日; 录用日期: 2022年2月21日; 发布日期: 2022年3月1日

摘要

近年来, 随着全球气候的变暖、土地严重荒漠化等种种生态危机的出现, 生态环境保护成为人们最为关注的热点之一。本文以中国塞罕坝修复前后生态的变化为引, 基于主成分分析、TOPSIS、熵权法与相关性分析的方法, 借助MATLAB、SPSS等软件建立生态环境评估模型。并且, 将模型应用于中国的青海省共和盆地和甘肃省白银市景泰县以及亚太地区缅甸的Shan和Kachin邦, 进行了合理的研究和分析。本研究可以让亚太地区部分生态危机问题得到改善, 具有实际意义。

关键词

生态环境保护, TOPSIS, 熵权法, 相关性分析, 主成分分析

The Environmental Evaluation Model of Saihanba and Its Application Based on TOPSIS and Entropy Weight Method

Jiamei Jiang, Xuhan Li

Faculty of Mathematics and Statistics, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao Hebei

Received: Jan. 19th, 2022; accepted: Feb. 21st, 2022; published: Mar. 1st, 2022

Abstract

In recent years, with the emergence of various ecological crises such as global warming and severe land desertification, ecological environmental protection has become one of the most concerned hotspots. In this paper, the ecological changes before and after the restoration of China's Saihanba are cited, and an ecological environment assessment model is established based on principal com-

ponent analysis, TOPSIS, entropy weight method and correlation analysis with the help of MATLAB and SPSS. And, the model was applied to the Republican Basin in Qinghai Province and Jingtai County in Baiyin City, Gansu Province, China, and Shan and Kachin States in Myanmar in the Asia-Pacific region for a reasonable study and analysis. This study can improve some ecological crisis problems in Asia-Pacific region and has practical significance.

Keywords

Ecological Environmental Protection, TOPSIS, Entropy Weight Method, Correlation Analysis, Principal Component Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 问题背景

现如今, 追求绿色发展繁荣已成为一种必然趋势, 习近平主席在 2005 年就提出了“绿水青山就是金山银山”的理念, 生态文明建设已成为当今社会的主要任务。中国政府高度重视生态环境保护与建设工作, 加大了对生态环境的保护与建设力度, 一些重点地区的生态环境得到了有效改善。我们可以从下图 1 看出中国近年来对环境建设的投资及自然保护区个数的变化情况:

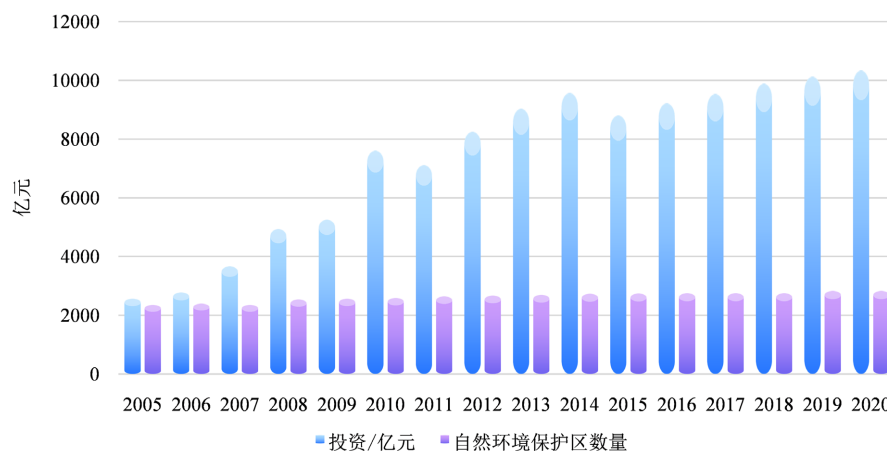


Figure 1. China's environmental investments and number of nature reserves

图 1. 中国的环境投资和自然保护区数量

自 2005 年以来, 中国自然保护区的数量稳步递增, 国家对生态保护区的投资金额也呈现增加趋势。由上图可以直观地看出中国政府近年来对生态保护越来越重视。根据上述情况, 研究塞罕坝林场修复前后的数学模型是十分必要的, 这有利于我们更好地保护生态环境, 并为其他地区树立榜样。

2. 塞罕坝生态环境模型

2.1. 确定指标

首先选取代表生态环境变化的 28 个初步指标。由于与生物资源及空气质量相关的指标众多, 本文采

用主成分分析的方法来减少主要指标的数量。生态环境的 28 个初期指标的选择是基于生态环境建设原则和环境可持续发展准则确定的。生态环境建设的原则是从实际出发, 因地制宜, 讲求实效, 采取生物措施、工程措施与农艺措施相结合, 即政府采取因地制宜战略, 保证经济持续稳定增长, 确保环境可持续性发展。

在上述原则的基础上, 初步确定了主要指标[1], 采用主成分分析的方法减少指标的数量。最终得到 12 个指标作为主要指标。

2.2. 数据处理

由于 12 个指标的尺寸不同, 不能直接比较数据。为了规范化数据, 所有数据被转换为 0 到 1 之间的数字。通过对这 12 个指标的比较, 可以将指标分为极大型指标、极小型指标、区间型指标三种类型。在三类指数中, 极大型指标越大, 生态环境指数越高; 极小型指标则相反; 区间型指标越接近该区间, 生态环境指数越高。由于量纲和指标种类的不同, 后两种类型的数据需采用不同的方式进行归一化。

➤ 极小型

设 x_i 是指标的第 i 个数据, 则归一化过程可以被表示为

$$\tilde{x}_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, i = 1, 2, \dots, n$$

其中 $x_{\max} = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $x_{\min} = \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

➤ 区间型

设 x_i 是指标的第 i 个数据, 则归一化过程可以被表示为

$$M = \max \{a - \min \{x_i\}, \max \{x_i\} - b\}$$

$$\tilde{x}_i = \begin{cases} 1 - \frac{a - x_i}{M}, & x_i < a \\ 1, & a \leq x_i \leq b \\ 1 - \frac{x_i - b}{M}, & x_i > b \end{cases}$$

2.3. 熵权法确定指标权重

权重模型对于评价指标的不同贡献至关重要。而熵权法充分挖掘了数据中所包含的信息, 使结果更加客观可靠。因此, 本节采用基于熵权法的加权模型来计算权向量。具体步骤[2]如下:

Step1: 对指标的数据进行标准化

由于指标的数据构成的矩阵中不存在负数, 则标准化的方法为: 假设有 n 个要评价的对象, m 个评价指标(已经正向化了)构成的正向化矩阵如下:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix},$$

那么对其标准化的矩阵记为 Z , Z 中每一个元素: $z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$ 。

Step2: 计算第 j 项指标下第 i 个样本所占的比重, 并将其看做相对熵计算中用到的概率

假设有 n 个要评价的对象, m 个评价指标, 且经过了上一步处理得到的非负矩阵为:

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} \tilde{z}_{11} & \tilde{z}_{12} & \cdots & \tilde{z}_{1m} \\ \tilde{z}_{21} & \tilde{z}_{22} & \cdots & \tilde{z}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1} & \tilde{z}_{n2} & \cdots & \tilde{z}_{nm} \end{bmatrix},$$

我们计算概率矩阵 P , 其中 P 中每一个元素 p_{ij} 的计算公式如下:

$$p_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \tilde{z}_{ij}}。$$

Step3: 计算每个指标的信息熵, 并计算信息效用值, 归一化得到每个指标的熵权

对于第 j 个指标而言, 其信息熵的计算公式为 $e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$ ($j = 1, 2, \dots, m$)

而信息效用值为 $d_j = 1 - e_j$, 将信息效用值进行归一化, 我们就得到熵权: $W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$ ($j = 1, 2, \dots, m$)

现选取一组综合有效的二级指标, 确定合理权重。确定生物资源、空气质量、水资源为二级指标。这三个二级指标将被用来评价塞罕坝生态环境指数的三个维度。

- 生物资源: 由森林蓄积量、森林覆盖率、森林面积组成。一方面, 它反映了资源和生态承载能力; 另一方面, 它反映了塞罕坝修复前后的森林植被方面的变化。
- 空气质量: 考虑空气污染物, 如 CO、氮氧化物、二氧化硫、PM2.5、PM10、可吸入颗粒物、悬浮颗粒物, 以空气中气体的形式来考虑并量化塞罕坝生态环境指数。
- 水资源: 由塞罕坝及周围城市的污水排放量、污水处理能力组成。本指标从水质污染方面考虑生态环境指数。

指标的组成及权重如下表 1。

Table 1. Composition of indicators and corresponding weights

表 1. 指标的组成及对应权重

二级指标	三级指标	二级指标	三级指标
生物资源(38.8%)	森林蓄积量(30.1%)	空气质量(39.7%)	PM2.5 (19.7%)
	森林覆盖率(43.2%)		臭氧(12.9%)
	森林面积(26.7%)		二氧化氮(13.9%)
水资源(21.5%)	污水排放量(31.2%)	PM10 (15.4%)	一氧化碳(23.1%)
	污水处理率(30.2%)		PM10 (15.4%)
	污水处理总能力(38.6%)		空气质量指数(15.0%)

2.4. TOPSIS 法求解塞罕坝修复前后生态环境指数

TOPSIS 方法是一种有效的多目标决策分析方法其基本原理是检测评价对象与积极理想和消极理想之间的距离, 而最好的评价是最接近积极理想, 最远离消极理想。

计算过程如下:

Step1: 对正向化后的数据进行标准化

在数据预处理部分已经进行了指标正向化, 所以只需对数据进行标准化。

同样假设有 n 个要评价的对象, m 个评价指标, 则构成的正向化矩阵如下:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix},$$

那么对其标准化的矩阵记为 Z , Z 中每一个元素:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}},$$

Step2: 计算最终得分

在上一步骤得到的标准化矩阵为:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix}。$$

定义最大值为 Z^+ , 定义最小值为 Z^- 。

定义第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象与最大值的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^+ - z_{ij})^2};$$

定义第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象与最小值的距离:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (Z_j^- - z_{ij})^2}。$$

那么我们可以计算得出第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个评价对象未归一化的生态环境指数:

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-},$$

很明显 $0 \leq S_i \leq 1$, 且 S_i 越大 D_i^+ 越小, 即越接近最大值。

Step3: 将生态环境指数归一化

$$\tilde{S}_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

我们对 2013 年~2020 年塞罕坝生态环境指数进行了计算, 结果如图 2。

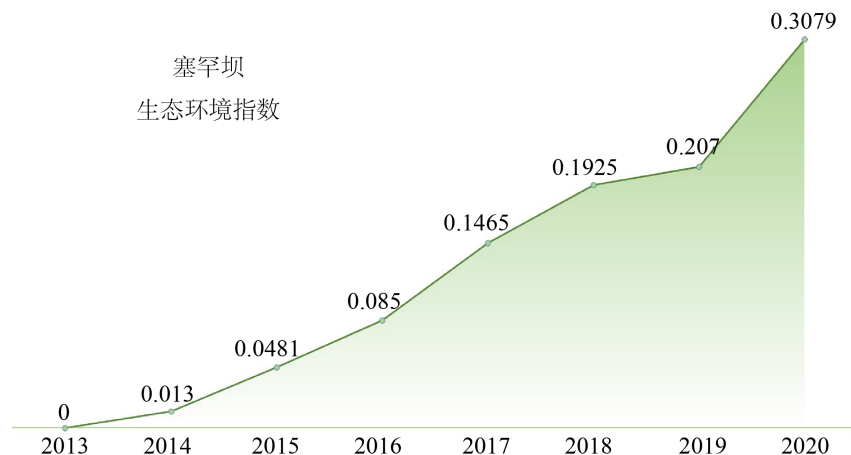


Figure 2. Eco-environmental index of Saihanba
图 2. 塞罕坝生态环境指数

2.5. 分析与总结

我们通过建立双层次指标体系,综合运用主成分分析法、灰色预测、熵权法、TOPSIS 等方法定量评价塞罕坝恢复后对环境的影响。根据模型可以得出,自塞罕坝林场建立后,该地区空气质量基本呈现上升状态,森林资源与水资源更是显著增加。由此可见,塞罕坝林场的恢复较大程度上对其周边环境产生了积极影响,而我们考虑将塞罕坝的生态恢复实例应用于其他地区的思路也是合理和有效的。

3. 模型在中国范围的应用

3.1. 选择省份

首先搜集到了中国各省市的森林覆盖率、空气质量指数等相关数据,利用前面建立的模型进行求解,得到中国各省市的生态环境指数。分析数据可以发现西部地区的生态环境指数普遍较低,空气质量较差,植被覆盖率较低,很有必要建立生态保护区改善生态状况,所以我们将范围缩小到西部地区。其次,考虑到青海地区的生态资源极其丰富,但是由于近些年青海地区生态环境不断恶化,生态资源遭到严重破坏,青海湖水位持续下降,水面萎缩,鱼类资源减少。同时,青海地区水土流失、土地沙化等生态问题频频暴露。此外,甘肃省也表现出土地沙漠化趋势,且其植被覆盖率低,水土流失严重,而这些破坏基本上都是人为造成的。长久的破坏,等待人类的只会是更加严重的灾难,因此,在青海和甘肃建立生态保护区,切实做好生态环境的保护和建设是很有必要的。

3.2. 选择地区

纵观青海地区,我们选择了位于东部的共和盆地作为生态保护重点对象。首先,我们收集了青海省各个地区的指标数据进行比较,发现共和盆地的植被覆盖率最低,其南部和中部沙地广布,且由于半干旱性的气候,加上人类活动对植被的破坏,导致草原沙漠化程度日趋严重。另外,共和盆地具有丰富的干热岩资源,我们对共和盆地的地层构造、生烃和油气显示等进行了分析,发现共和盆地是一个寻找生物气的理想地区。因此,我们认为很有必要在此处建立生态保护区,对盆地进行修复和保护。

同样,我们对甘肃省内各地进行了数据搜集、对比,得出景泰县生态环境较恶劣,水土流失、土地沙漠化、土壤盐渍化严重等环境现状。且该县境内煤、金、银、铜等矿藏分布广、储量大、埋藏浅,故有必要建立生态保护区改善此处的生态环境,以便合理开采矿产、发展经济。

3.3. 确定规模和数量

共和盆地总面积为 1.38 万平方公里, 人口约 13.4 万余人。半个世纪前, 共和盆地山清水秀。然而, 自 20 世纪 80 年代以来, 共和盆地土地荒漠化严重, 沙尘暴等自然灾害频发。尤其是盆地内面积最大的塔拉滩, 位于其中部的三条沙带每年淹没土地约 8200 亩。根据《自然保护区工程项目建设标准》的相关规定, 我们确定在塔拉滩中部建立一个大型生态保护区。在此处种植耐旱树种, 从而早日阻止荒漠化的继续蔓延。

景泰县是甘肃省中部干旱县之一, 气候类型属于温带干旱型大陆性气候, 年均降水量低, 而蒸发量却很高, 这些使得景泰县的森林资源极为匮乏。同时, 景泰县耕地使用效益不高, 而建设用地呈现挤占耕地的趋势, 土地利用状况急需改善。我们确定在丘陵等作物收成较差的地方退耕还林还草, 同时, 节省建设用地, 尽量不进行无效的城市建设。考虑到土地沙漠化现象, 我们确定在县内黄河流经地建立一个中型生态保护区并在此处种植树木, 从而达到涵养水源、保持水土的目的。

3.4. 对实现碳中和目标的影响

碳中和, 是指通过一些举措, 让排放的二氧化碳被回收, 实现正负相抵, 最终达到“零排放”。近年来, 全球气候呈现变暖趋势, 气候变化已成为当今人类社会面临的重大全球性挑战。在这个背景下, 中国积极应对气候变化, 提出在 2060 年前实现碳中和的目标。为了清楚地研究碳净排放量问题, 我们采用相关性分析的方法分析森林覆盖率和碳排放量之间的关系, 见图 3。

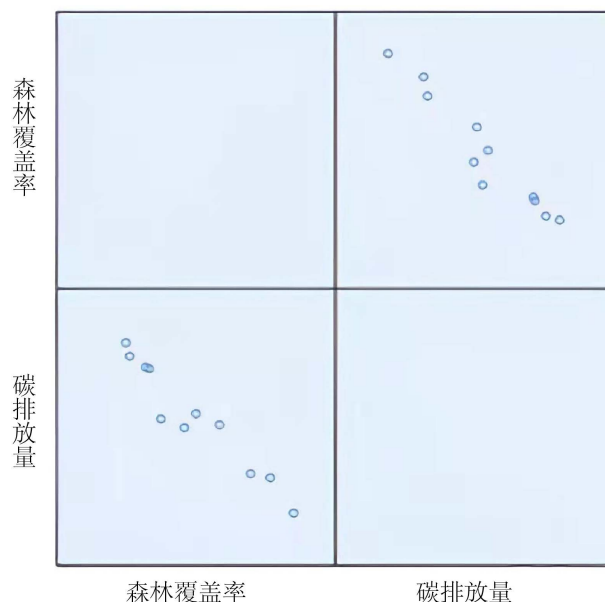


Figure 3. Relationship between forest cover and carbon emissions

图 3. 森林覆盖率和碳排放量之间的关系

上图是使用 SPSS 得出的森林覆盖率和碳排放量的关系图。由该图可以得出, 森林覆盖率与碳的排放量基本为线性关系, 且呈负相关。依此, 森林覆盖率越高, 碳排放量越低, 进而碳的净排放量越低。

因此, 建立生态保护区可以通过提高森林覆盖率, 使得碳净排放量降低。这有利于中国碳中和目标的尽快实现。

4. 模型在亚太地区的应用

4.1. 选择国家

亚太地区南部地区的森林覆盖率较低, 大多数森林常常被贴上退化的标签, 覆盖土壤肥力低下, 土壤有机碳含量低以及蓄水能力差, 这与塞罕坝 1962 年自然保护区建立前大部分为荒地有相似之处, 所以第一步我们将范围缩小到南部地区; 其次, 考虑到塞罕坝碳排放量较大, 在整合亚太地区各个国家碳排放数据并进行排序后, 发现缅甸、泰国地区碳排放量较大; 最后, 从生物资源、水资源、空气质量、国家政策等方面综合比较中国的塞罕坝地区与以上两个国家, 得出缅甸急需建立自然保护区。

4.2. 选择地区

在森林资源方面, 2010 至 2015 年间, 缅甸森林砍伐率居世界第三高, 森林资源急剧减少, 导致森林遗产的丧失以及社会经济影响和环境问题, 其中包括土地退化、水土流失、山体滑坡和低水质等问题。我们收集到了 2000 年至 2020 年缅甸各邦的森林砍伐率数据, 观察到 Shan 和 Kachin 两个地区森林砍伐率极高且土地面积几乎占缅甸整个国家的二分之一。

在碳排放方面, 根据亚太森林组织官网 APFNet 公布的数据, 可以发现自 2000 年至 2020 年, 缅甸年温室气体排放量逐年上涨且涨幅较快。由此, 可以发现进入 21 世纪后, 工业化进程不断加快, 温室气体排放量增加, 空气质量堪忧。

以上两方面因素与塞罕坝林场建立前环境条件较为相似, 因此我们考虑在缅甸的 Shan 和 Kachin 两个地区建立生态保护区。

此外, 我们还考虑到以下因素

- 属于全球生物多样性热点区, 具有极高的生物多样性保护价值, 然而, 缅甸处于半干旱区域, 生态环境敏感、脆弱。
- 作为“一带一路”的重要合作国家, 缅甸的生态发展有利于其经济发展, 从而实现合作共赢的目标。
- 战争频发, 自然生态形势严峻, 亟需建立生态保护区。

4.3. 确定规模和数量

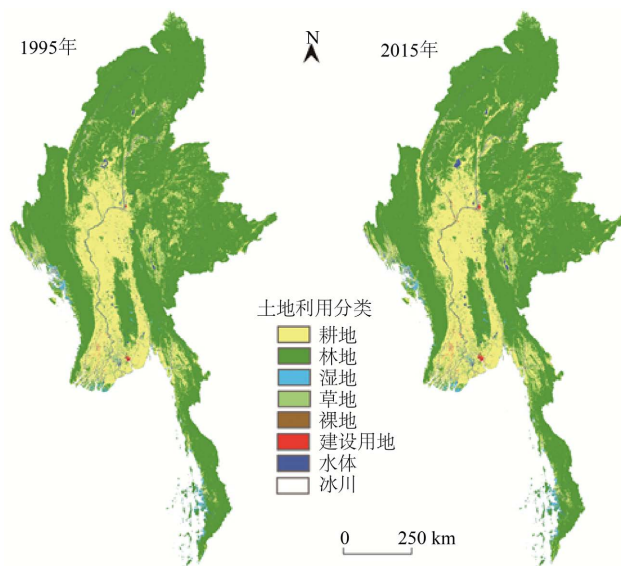


Figure 4. Land use classification in Myanmar [3]

图 4. 缅甸土地利用分类[3]

Shan 邦面积 155,801 平方公里, 人口约 800 多万人, 是缅甸面积最大、人口最多的邦。Shan 属于高原地区, 土地类型以林地为主, 但近年来, 林地面积呈现下降趋势, 部分地区林地面积减少 36.00 km² 以上, 生态环境迫切需要改善。基于以上信息, 我们确定了退耕并建立生态保护区的改善方案。同时, 如图 4, 由于 Shan 西南部耕地较为集中, 根据《自然保护区工程项目建设标准》的相关规定, 我们确定在西南部建立一个小型生态保护区并在此处种植棕榈树等常见树木。考虑到 Shan 邦人口众多, 镇区数量位列第一, 城市化建设在所难免, 我们决定保留耕地以保证居民的正常生活。同时, 在西南部建立小型保护区也保证了主要位于北部和东部的经济中心的正常发展。这样, 经济建设主要在北部和东部进行, 生态建设和农业发展主要在南部和西部进行, 从而实现了用地的平衡。

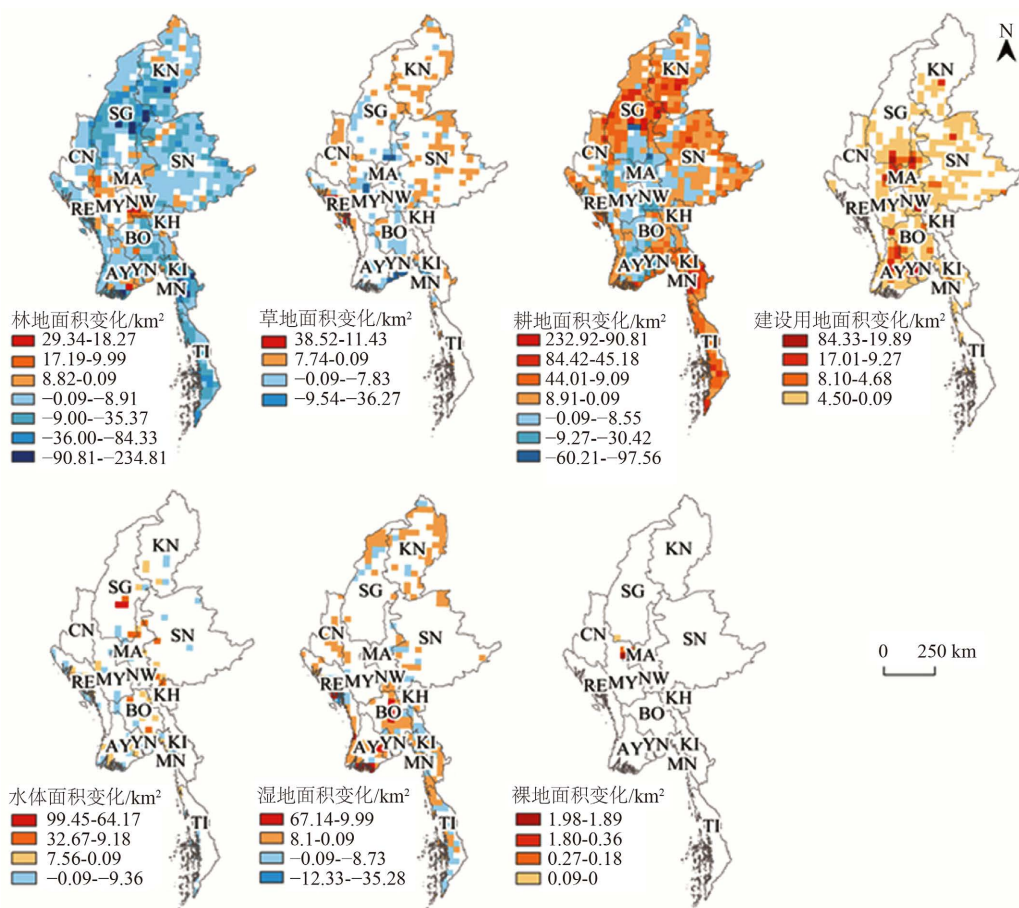


Figure 5. Map of changes in land use types in Myanmar [3]

图 5. 缅甸用地类型变化图[3]

Kachin 邦面积 89041 平方公里, 主要经济来源为农业, 主要用地类型为林地。但如图 5 数据显示, 自 1995 年至 2015 年, Kachin 邦平均增加 20 km² 耕地, 而林地面积则显著减少。考虑到其人口数量较少, 我们确定建立一个小型生态保护区和一个中型生态保护区。其中, 小型生态保护区位于 Kachin 邦北部, 北部以高原、丘陵为主, 适合种植大麦, 却不适合大多数作物的生长。因此, 我们选择在北部建立小型生态保护区, 这种方案既实现了生态林的建设, 也保留了作物用地。我们也建议在这里种植紫檀、铁木等喜高海拔树木。而中型生态保护区确定被建在中部地区, 中部多平原, 面积广大, 且发育有湖泊水体, 在此建立生态保护区可以充分地涵养水源、保持水土。此处主要气候类型为热带季风气候, 我们建议种

植柚木等喜热、喜光、适合种植在低海拔地区的树木。Kachin 从面积上看是缅甸第三大邦, 人口总量却位于缅甸末位。由此, Kachin 有足够的土地开发生态保护区。与此同时, 充足的剩余耕地面积也保证了其经济的正常发展。

5. 总结

我们建立的模型合理且有效地解决了三个任务。本文模型的创新之处在于在建模过程中采用了真实有效的数据, 从而使得我们的分析具有现实意义。同时, 在我国和亚太地区生态保护区的选择过程中, 我们从土地类型、产业分布等地理因素的角度构建模型, 这使得我们的模型可以更加契合实际地解决引起全球重视的生态问题, 这也体现出了我们模型的实用性。

本文采用了可视化工具使得详细的数据信息更加清晰易懂, 这有利于相关工作者了解生态问题和建立的解决方案, 从而真正地将方案应用于实际情况。这体现了模型的建设性, 进而为我国和亚太地区建立生态保护区提出了可行计划和建议。

参考文献

- [1] 时辰. 塞罕坝林场生态环境保护分析[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(4): 71-72. <https://doi.org/10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2021.04.026>
- [2] 于小芹, 马云瑞, 余静. 基于熵权 TOPSIS 模型的山东省海岸带生态修复政策效果评价研究[J]. 海洋环境科学, 2022, 41(1): 74-79. <https://doi.org/10.13634/j.cnki.mes.2022.01.020>
- [3] 包姐, 李杰, 刘锋, 胡金明. 1995~2015 年缅甸土地利用/覆被变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2021, 41(17): 6960-6969.