

基于 BP 神经网络算法对森林最优采伐策略的研究

【摘要】“森林管理”是基于对于不同地区、环境、气候下的森林进行的是否进行砍伐以及如何种植新植被来更好的管理森林，从而扩大现有森林的固碳量的一种新型森林管理方法。通过对于不同温度带的森林进行分类，从而更好的决定森林的砍伐策略，一方面对于森林的管理者来说，不同于传统的禁止砍伐森林的政策，森林管理将采伐森林产生的森林产品也归于固碳的范畴内；另一方面对于森林的采伐者即商家来说，如何合理的开采木材可以在保护森林的情况下使自己的收益最大化，并拿出科学的决策及规划说服认为应该永远不应该砍伐任何树木的群体是本文主要研究的问题。本文首先对选取了 2021 年中国、美国、加拿大等 11 个国家的可再生陆地水资源、全球二氧化碳年排放量等 13 个变量进行聚类分析，分出了温带、热带、寒带三种不同的森林类型，对三种类型的森林分别进行主成分分析，得到了固碳评价模型。利用灰色预测 GM (1, 1) 模型对于三种不同的森林类型的固碳量进行预测，并与实际情况进行对比，计算了模型的拟合优度。之后引入了区域人类发展指数，通过固碳评价模型的得分将该地区的森林管理程度评价为优秀、合格、不合格三个范围并计算出其阈值以确定出森林管理计划之间的过渡点。最后选取了中国的大兴安岭进行了森林管理计划，并根据固碳评价模型画出了未来 10 年的森林采伐管理时间表，对当前的森林采伐计划进行了优化。

针对问题一：首先选取了中国、美国、南非、法国、俄罗斯、日本、巴西、澳大利亚、瑞典、加拿大、印度 11 个国家 2021 年的可再生陆地水资源、全球二氧化碳年排放量、全球各国森林产品生产和贸易量、世界各国森林面积、森林覆盖率、森林覆盖面积、森林面积、世界各国历年森林砍伐占森林面积的比重、各国森林数目种植量、温室气体排放量、GDP、自然保护区面积、小学毕业人数占总人口占比等 13 个变量进行聚类分析，分出了热带、温带、寒带三种不同的森林类型。分别对其进行主成分分析将 13 个变量拟合为森林面积因子、经济发展因子、政策因子和文化因子建立了固碳评价模型，并根据其权重对于各政策对固碳的有效性进行了分析排序，从而指定了有效的森林管理计划。

针对问题二：引入人类发展指数和空气质量系数对模型的准确性进行评价，针对应当保证在保证森林固碳量增加的基础上，考虑到森林产品的固碳量，从而使地区的经济效益得到最大，建立了多目标线性规划模型，计算出了保证森林数目存量和森林产品量的最优组合。并根据得分计算出将森林管理的效果划分为优秀、合格、不合格三个维度，同时给出了不同维度的相应分数区间。

针对问题三：在问题二建立的模型的基础上，针对中国大兴安岭地区的森林管理进行评价及优化，并利用 BP 算法森林管理优化后的固碳量 and 经济效益与原来做对比，同时给出了森林优化后的采伐时间表。

针对问题四：结合对上述问题的分析，书写了一封关于将原来完全禁止砍伐树木的方式转变为砍伐与种植相结合的森林管理策略的信件来使当地社区相信此种方式是更好的森林管理方式。

【关键词】聚类分析；主成分分析；固碳评价模型；多目标线性规划模型；GM (1, 1) 模型；BP 算法

【Abstract】 "Forest management" is a new type of forest that is based on whether to cut down forests in different regions, environments and climates and how to plant new vegetation to better manage forests, thereby expanding the carbon sequestration of existing forests management method. By classifying forests in different temperature zones, it is possible to better decide the deforestation strategy. On the one hand, for forest managers, different from the traditional policy of prohibiting deforestation, forest management will also reduce the forest products produced by deforestation. It belongs to the category of carbon sequestration; on the other hand, for forest loggers, i.e. businessmen, how to extract wood reasonably can maximize their own benefits while protecting the forest, and come up with scientific decision-making and planning to convince that they should The group that should never cut down any trees is the main concern of this paper. In this paper, 13 variables including renewable terrestrial water resources and annual global carbon dioxide emissions in 11 countries including China, the United States, and Canada in 2021 are selected for cluster analysis, and three different forests are divided into temperate, tropical and boreal zones. Principal component analysis was performed on the three types of forests, and the carbon sequestration evaluation model was obtained. The grey prediction GM(1,1) model was used to predict the carbon sequestration of three different forest types, and compared with the actual situation, the goodness of fit of the model was calculated. After that, the regional human development index was introduced, and the forest management level of the region was evaluated as excellent, qualified, and unqualified through the score of the carbon sequestration evaluation model, and its threshold was calculated to determine the transition point between forest management plans. Finally, China's Daxing'an Mountains were selected to carry out the forest management plan, and the forest harvesting management timetable for the next 10 years was drawn according to the carbon sequestration evaluation model, and the current forest harvesting plan was optimized.

In response to question 1: First, the renewable terrestrial water resources, annual global carbon dioxide emissions, and forest products of 11 countries in China, the United States, South Africa, France, Russia, Japan, Brazil, Australia, Sweden, Canada, and India in 2021 were selected. Production and trade volume, forest area in the world, forest coverage rate, forest coverage area, forest area, the proportion of deforestation in the world's forest area over the years, the number of forests planted in each country, greenhouse gas emissions, GDP, area of nature reserves, Cluster analysis was performed on 13 variables, including the proportion of primary school graduates in the total population, and three different forest types were identified: tropical, temperate, and boreal. Principal component analysis was carried out respectively, and 13 variables were fitted to forest area factor, economic development factor, policy factor and cultural factor, and a carbon sequestration evaluation model was established, and the effectiveness of each policy on carbon sequestration was analyzed according to its weight. order, thereby specifying an effective forest management plan.

In response to question 2: Introduce the human development index and air quality coefficient to evaluate the accuracy of the model, aiming at ensuring that the

carbon sequestration of forest products should be taken into account on the basis of ensuring the increase of forest carbon sequestration, so that the economic benefits of the region can be obtained. A multi-objective linear programming model was established, and the optimal combination of guaranteed forest number stock and forest product quantity was calculated. According to the scores, the effect of forest management is divided into three dimensions: excellent, qualified and unqualified, and the corresponding score intervals of different dimensions are given.

In response to question 3: On the basis of the model established in question 2, the forest management in the Daxing'anling Mountains of China is evaluated and optimized, and the carbon sequestration and economic benefits after optimization of forest management using BP algorithm are compared with the original, and the Forest optimized harvesting schedule.

In response to question 4: Combined with the analysis of the above questions, a letter was written about changing the original method of completely banning tree felling to a forest management strategy that combines cutting and planting to convince local communities that this method is a better forest management style.

【Key words】 Cluster Analysis ; Principal Component Analysis,; Carbon Sequestration Evaluation Model,; Multi-objective Linear Programming Model,; GM(1,1) model,; BP Algorithm

一、问题重述

1.1 问题背景

随着社会经济的发展和工业化水平的不断提高，大家对于温室效应的关注度越来越高。而森林作为“地球之肺”对于吸收空气中的二氧化碳等温室气体有着积极的意义。因此，森林保护也越来越为人们重视和提倡。在实际生活中，人们常常更倾向于不砍伐树木的森林保护措施。而“森林管理”则是将森林砍伐后产生的森林产品，例如家具、纸张等对于二氧化碳的吸收也考虑了进去。是基于对于不同地区、环境、气候下的森林进行的是否进行砍伐以及如何种植新植被来更好的管理森林，从而扩大现有森林的固碳量的一种新型森林管理方法。森林的开采者可以通过制定合理的森林开采、种植计划进一步的提高森林系统的固碳水平，同时不同于传统的森林保护模式，森林管理也为当地的经济发展提供了有力的支持。如何建立一个合理的森林综合管理模型使得在保护森林的同时进一步增加森林的固碳量和助力当地经济经济发展，是一个热点问题。寻找一个试点森林进行分析决策，并尽可能说服当地的管理者支持新型的森林综合管理模型，是本文需要解决的问题。

1.2 需要解决的问题

问题一： 开发一个碳封存模型，确定森林及其森林产品可以封存多少的二氧化碳。

问题二： 在问题一的基础上，制定一个森林管理计划，并对森林系统进行评价打分，对一片森林未来的固碳量进行预测。

问题三： 选择一个确定的森林进行分析，建立一个模型使得在保持森林固碳量持续增加的基础上使得经济利益同时实现最大化，并制定一个森林砍伐与种植时间表

问题四： 写一封信去说服当地社区的森林管理者，使其放弃原来的不砍伐森林的森林保护思想，转为支持新型森林管理体系。

二、模型准备

2.1 模型假设

（1）假设森林管理模型中的数目只有砍伐一种途径消亡，不考虑天气、自然灾害等对森林的影响。。

（2）假设可再生陆地水资源、全球二氧化碳年排放量、全球各国森林产品生产和贸易量、世界各国森林面积、森林覆盖率、森林覆盖面积、森林面积、世界各国历年森林砍伐占森林面积的比重、各国森林数目种植量、温室气体排放量、GDP、自然保护区面积、小学毕业人数占总人口占比可以完全反应一个国家的森林管理水平。

（3）假设森林的平均年固碳量可以度量森林的平均固碳水平，用方差可以

度量森林产品的产生和砍伐森林给森林带来的固碳量减少。

(4) 假设树木的年固碳增长率保持不变。

2.2 数据的预处理

为了提高模型的准确性，说明所建立的模型是有效的，在进行求解之前需要对找到的数据进行预处理。目的是检测数据是否能真实的反映一个国家的森林管理现状，以此来对一个国家的森林管理水平和固碳量进行准确的度量。所以对收集的数据进行检查，观察其是否有缺失、异常、重复的情况，并对脏数据进行处理。

(1) 解决缺失数据的方法

在进行对附件中数据的处理和分析中，我们发现有些变量的数据是不连续的，无法对变量的参数进行计算，因此我们需要采用均值法对不连续的数据进行处理。

(2) 错误值的解决方法

对于我们收集到的数据可能存在一些错误值，我们可以通过计算各组数据的偏方差，删除明显高于平均水平的数据。

(3) 重复记录数据的处理方法

对收集来的数据，对于数据相同的，观察其属性是否相同，如果数据相同，则合并为一条数据进行处理。

(4) 计算各森林的固碳量年均涨幅，即对上述的涨幅取当年的平均值。

(5) 计算各森林固碳量在全年中的方差，方差反映的是数据的波动，可以反映森林的森林产品采伐水平。

(6) 由方差求出标准差 σ ，方便后期对标准差和均值做分析。

三、符号说明

Sign	Illustrate
ρ	Explanation coefficients
x_i	The i th impact factor
A	Decision matrix
B	Norm matrix
$R_i(x_i)$	Net income from investment in S_i Forest
$Q(x)$	The carbon consumption of the forest system by the x th investment
$R(x)$	Return on total investment
y_t	Single indicator time series

α	Weighting factor
S_i	Smoothing index

四、问题分析

讨论森林管理，就是将森林自身的固碳能力加上森林产生的森林产品的固碳能力综合起来考虑使得当地管理者在保护森林的前提下，不断的助力当地的经济的发展，实现经济发展与环境保护双赢。解决该问题首先就要建立一个森林管理评价模型，对现有的森林管理体系进行分类及评价。再建立多目标线性规划模型计算出最佳的森林砍伐比例，最后给出森林采伐的时间表。“

问题一分析：要建立森林评价模型首先应该对世界各地不同类别的森林进行分类细化。首先选取了中国、美国、南非、法国、俄罗斯、日本、巴西、澳大利亚、瑞典、加拿大、印度 11 个国家 2021 年的可再生陆地水资源、全球二氧化碳年排放量、全球各国森林产品生产和贸易量、世界各国森林面积、森林覆盖率、森林覆盖面积、森林面积、世界各国历年森林砍伐占森林面积的比重、各国森林数目种植量、温室气体排放量、GDP、自然保护区面积、小学毕业人数占总人口占比等 13 个变量进行聚类分析，分出了热带、温带、寒带三种不同的森林类型。分别对其进行主成分分析将 13 个变量拟合为森林面积因子、经济发展因子、政策因子和文化因子建立了固碳评价模型，并根据其权重对于各政策对固碳的有效性进行了分析排序，从而指定了有效的森林管理计划。

针对问题二：引入人类发展指数和空气质量系数对模型的准确性进行评价，针对应当保证在保证森林固碳量增加的基础上，考虑到森林产品的固碳量，从而使地区的经济效益得到最大，建立了多目标线性规划模型，计算出了保证森林数目存量和森林产品量的最优组合。并根据得分计算出将森林管理的效果划分为优秀、合格、不合格三个维度，同时给出了不同维度的相应分数区间。

针对问题三：在问题二建立的模型的基础上，针对中国大兴安岭地区的森林管理进行评价及优化，并利用 BP 算法森林管理优化后的固碳量和经济效益与原来做对比，同时给出了森林优化后的采伐时间表。

针对问题四：结合对上述问题的分析，书写了一封关于将原来完全禁止砍伐树木的方式转变为砍伐与种植相结合的森林管理策略的信件来使当地社区相信此种方式是更好的森林管理方式。

五、模型的建立与求解

5.1 问题一模型的建立与求解

对于问题一，我们找到了美国、中国、南非法国、俄罗斯、日本、巴西、澳大利亚、瑞典、加拿大、印度 11 个国家 2021 年的可再生陆地水资源等 13 个指标，进行了聚类分析，并对各类森林类型进行了主成分分析，具体流程如图 5.1.1 所示：

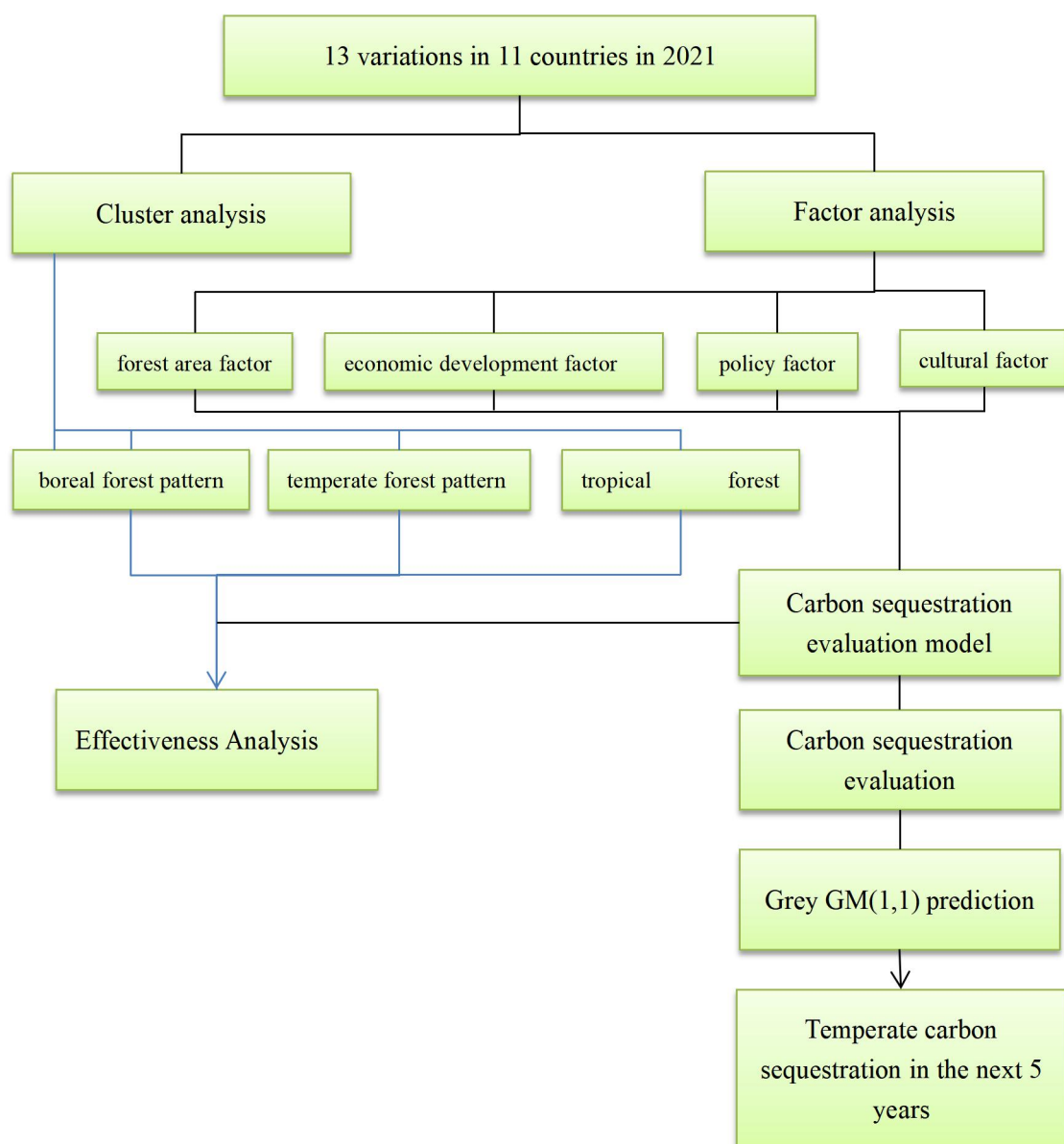


Figure 5.1. 1

5.1.1 聚类分析

我们首先将可再生陆地水资源等 13 个指标进行简写，从简化模型的程序，如表 5.1.1 所示：

Table 5.1. 1

Variable name	Soreminated in the article
Renewable land water resources	RLWR
Global carbon dioxide emissions	GCDE
Forest products production and trade statistics around the world	FPPTAW
Forest area of the world	FAOW
Forest coverage rate	FCR
Forest coverage area	FCA
Forest area	FA
The proportion of forest cutting in forests in all	TPOFC

countries in the world accounts for the proportion of forest area	
Number of forest in various countries	NOFVC
Greenhouse gas emissions	GGE
GDP all over the world	GOW
Nature reserve area	NRA
Complete the number of primary school accounts for the total population	CNPP

我们将收集到的 2021 年的中国等 11 个国家的变量展示出来，将数据进行标准化处理：

$$X_{norm} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

再利用切比雪夫距离进行聚类分析：

$$Distance(Q_i, Q_j) = \max_{k=1}^n (Q_{ik} - Q_{jk})$$

利用 SPSS 进行聚类分析，将这 11 个国家进行分类，得到聚类图如图 5.1.2 所示：

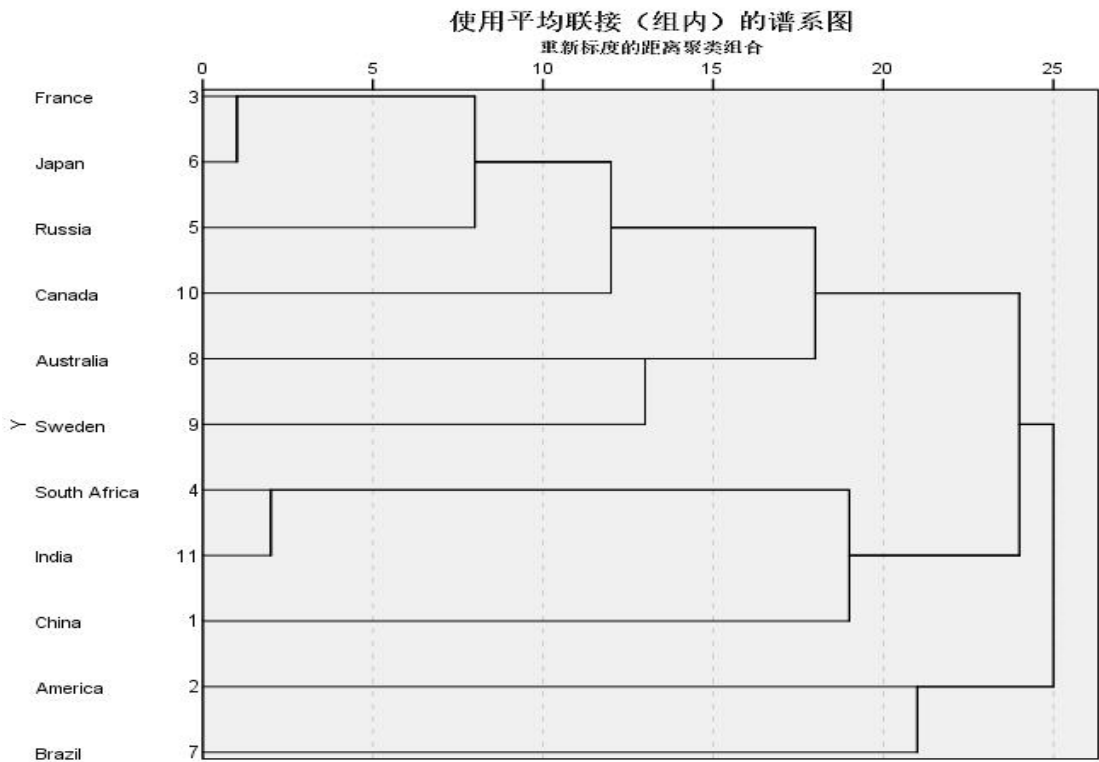


Figure 5.1. 2

根据聚类图分析，我们可以把这 11 个国家分为 3 类，记为 $class_i (i = 1, 2, 3)$ ，如下表 5.1.2 所示：

Table 5.1. 2

Class	country
-------	---------

I	America, Brazil
II	South Africa, India, China
III	France, Japan, Russia, Canada, Australia, Sweden

结合各国家的经纬度，以北纬：东经为正时，如下表 5-3 所示：

Table 5.1. 3

Countries	Latitude and Longitude
China	[104.20,35.06]
America	[45.04,40.07]
France	[2.21,46.23]
South Africa	[22.94,-30.56]
Russia	[105.32,61.52]
Japan	[37.23,38.20]
Brazil	[138.25,36.20]
Australia	[138.78,-25.27]
Sweden	[18.64,60.13]
Canada	[-106.35,56.13]
India	[78.96,20.59]

通过分析，可以将这 11 个国家的森林类型分为三类：

第一类：以美国、巴西为代表的热带森林类型

第二类：以南非、印度、中国为代表的温带森林类型

第三类：以法国、日本、俄罗斯、澳大利亚、加拿大为代表的寒带森林类型

5.1.2 主成分分析

首先我们根据 5.1.1 中 2021 年各国的数据，选取了可再生陆地水资源、全球二氧化碳净排放量、全球各国森林产品生产和贸易统计、世界各国森林面积、森林覆盖率、森林覆盖面积、森林面积、世界各国历年森林砍伐占森林面积的比重、各国森林面积种植量、温室气体排放量、GDP、自然保护区面积、小学完成度占总人口比等 13 个变量进行因子分析，得到碎石图，如下图所示：

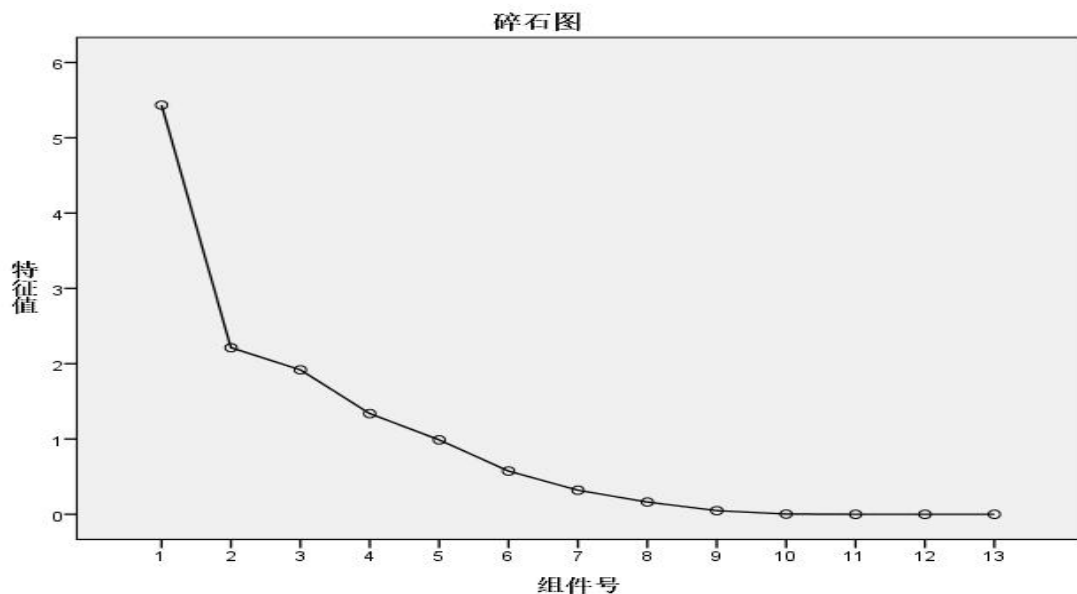


Figure 5.1. 3

对每个变量的表示如下表 5.1.4 所示：

Table 5.1. 4

Sign	Item
x_1	RLWR
x_2	GCDE
x_3	FPPTAW
x_4	FAOW
x_5	FCR
x_6	FCA
x_7	FA
x_8	TPOFC
x_9	NOFVC
x_{10}	GGE
x_{11}	GOW
x_{12}	NRA
x_{13}	CNPD

得到成分矩阵如下表 5.1.5 所示：

Table 5.1. 5

成分矩阵 ^a				
	成分			
	1	2	3	4
Zscore(RLWR)	.812	.407	-.125	.166
Zscore(GCDE)	.515	-.288	.144	.027
Zscore(FPPTAW)	.917	.074	-.303	.133
Zscore(FAOW)	.924	.005	-.183	-.257
Zscore(FCR)	.208	.802	.309	-.183
Zscore(FCA)	.958	-.015	-.104	.175
Zscore(FA)	.748	-.165	.302	.284
Zscore(TPOFC)	-.074	-.418	-.706	.203
Zscore(NOFVC)	.764	.320	-.309	-.447

Zscore(GGE)	.732	-.350	.302	-.087
Zscore(GOW)	.363	-.373	.684	.463
Zscore(NRA)	-.164	.784	.352	.291
Zscore(CNPP)	.104	-.368	.531	-.731
提取方法：主成分分析法。				
a. 提取了 4 个成分。				

从上表可以得出 w_1 受 FCA 的影响最大，可以看为森林面积因子， w_2 受 NRA 的影响大，可以看为政策因子， w_3 受 GOW 的影响大，可以看作经济因子， w_4 受 CNPP 的影响大，可以看作文化因子，如下表 5.1.6 所示：

Table 5.1. 6

Factor	Factor Name
w_1	Forest area factor
w_2	Policy factor
w_3	Economic factor
w_4	Cultural factor

5.1.3 回归分析

我们对因子分析后的四个因子做回归分析，构建起了森林固碳评价模型，利用 SPSS 进行回归分析。

得到 GGE 的学生化后回归残差图，综合化 P-P 图，直方图如下图 5.1.4-6 所示：

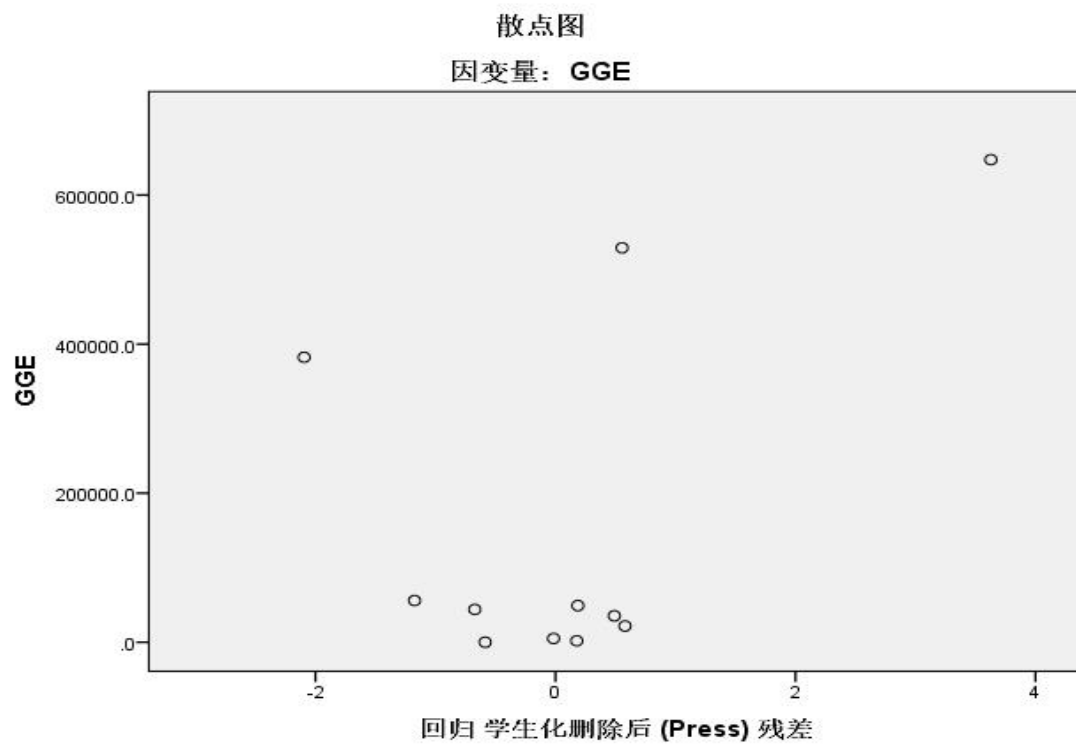


Figure 5.1. 4

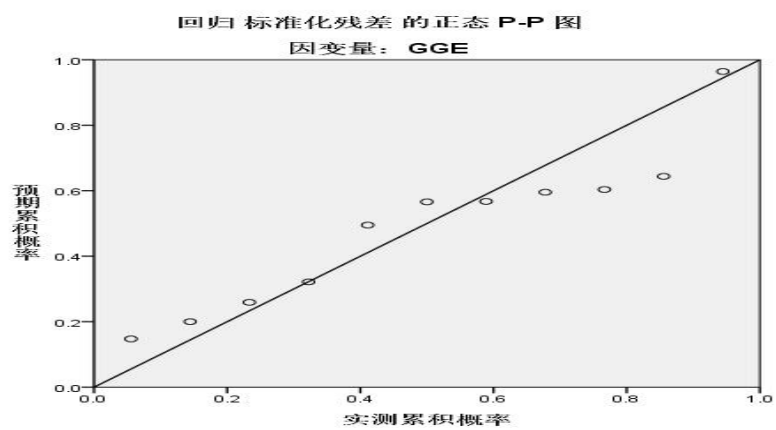


Figure 5.1. 5

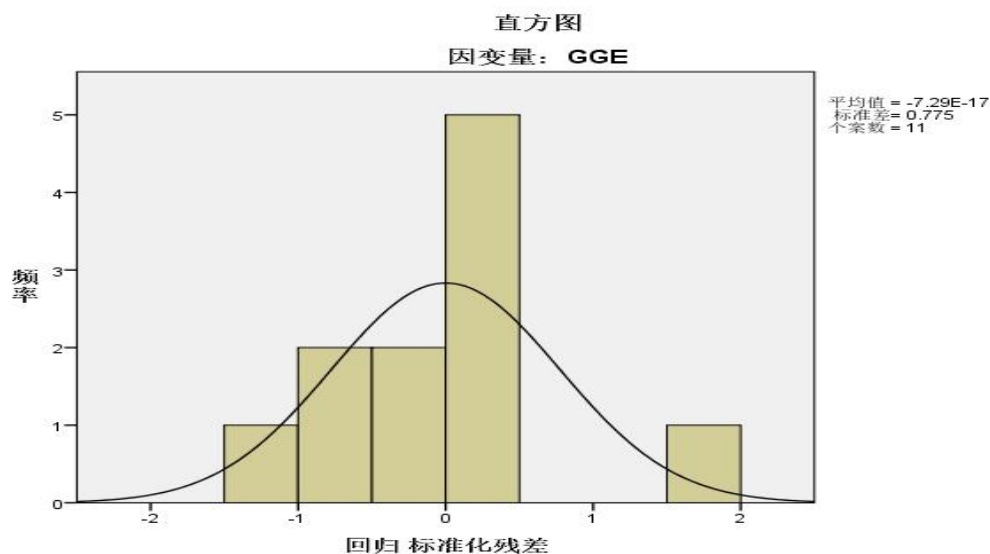


Figure 5.1. 6

计算参数数值如下表 5.1.7 所示:

Table 5.1. 7

θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
45842.98	0.468	0.624	-0.89	0.374

利用 SPSS 求解得:

$$y = 0.468w_1 + 0.624w_2 - 0.89w_3 + 0.374w_4 + 45842.98$$

可以得出政策因子、森林面积因子、文化因子对森林的固碳量呈正相关, 且政策因子>森林因子>文化因子, 经济因子与森林固碳量呈负相关。

所以对于政策当局来讲要多制定有利于森林保护的政策, 同时应该合理规划工业生产对固碳的影响, 下面我们将建立多目标线性规划模型对经济和固碳量之间的平衡进行寻找和优化。

5.2 问题二模型的建立与求解

对于问题二我们引入人类发展指数和空气质量系数对模型的准确性进行评价, 针对应当保证在保证森林固碳量增加的基础上, 考虑到森林产品的固碳量, 从而使地区的经济效益得到最大, 建立了多目标线性规划模型, 计算出了保证森林数目存量和森林产品量的最优组合。并根据得分计算出将森林管理的效果划分为优秀、合格、不合格三个维度, 同时给出了不同维度的相应分数区间。具体流程如下图 5.2.1 所示:

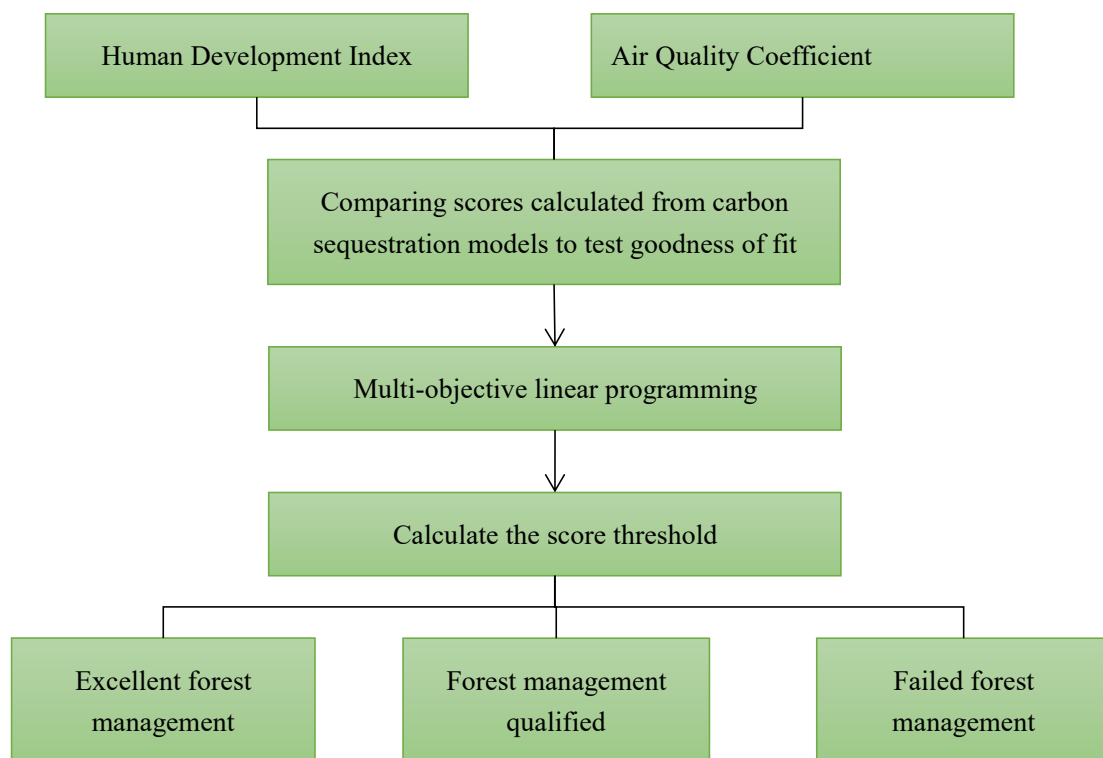


Figure 5.2. 1

5.2.1 多因素综合评价模型的建立

首先搜索了 2021 年 11 月过的人类发展指数如下表所示

(1) 定性指标的量化

将各国的人类发展指数进行量化，如下表 5.2.1 所示：

Table 5.2. 1

Score interval	Grade	Quantify
0.4-0.55	A	1
0.55-0.7	B	2
0.7-0.85	C	3
0.85-1	D	4

(2) 多因素评价表格

以 11 个国家为行向量，以 GGE、FCA、NRA、GOW、CNPP、人类发展指数为列向量构建决策矩阵，即

$$A = \begin{bmatrix} 467496 & 90.21 & 15.45 & 17.38 & 98.3 & 3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 49123 & 40.72 & 5.97 & 3.10 & 94.6 & 2 \end{bmatrix}$$

(3) 属性指标规范化

对 FCA、NRA、CNPP、人类发展指数采用：

$$r_{i,j} = \frac{\min i(a_{ij})}{a_{ij}}$$

对于 GOW 采用：

$$r_{ij} = \frac{\max i(a_{ij})}{a_{ij}}$$

得到规范化矩阵 R，如下表 5.2.2 所示：

Table 5.2. 2

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
d_1						
d_2						
d_3						
d_4						
d_5						
d_6						
d_7						
d_8						
d_9						
d_{10}						
d_{11}						

(注：0 不是数值为 0，而是因为得留小数点问题，在 MATLAB 中显示为 0)

(4) 设定权重向量

根据回归结果，我们可以看出经济因子对于森林固碳的影响为负，即 GOW，其余为正，政策因子 NRA 影响较大，文化因子 CNPP 影响较小，因此得到权重矩阵：

$$W = (0.2, 0.3, 0.4, -0.3, 0.1, 0.3)^T$$

5.2 森林固碳评价模型的求解

利用 MATLAB 求解，并对 11 个国家的得分进行排列如下表 5.2.3：

Table 5.2. 3

Countries	Scores

根据得分，可以按照 2:4:5 的比例进行划分，来确定各国森林管理体系的好坏，即排名前 2 的国家的得分对应为优秀，排名第 6 的国家得分对应为合格，排名第 7 的过年的分数区间为不合格，具体如下表 5.2.4 所示：

Table 5.2. 4

Forest Management System Rating	Corresponding Score Interval
Excellent	
Pass	
Fail	

5.2.3 中国固碳量预测模型的建立

对原始数据 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ 做一次累加

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, \dots, n$$

生成 $x^1 = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$

生成 $x^{(1)}$ 的紧邻均值等权数列

$$z^{(1)} = [z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)], \text{其中 } k = 2, \dots, n$$

根据灰色理论，建立GM(1,1)模型

$$\frac{dx^1}{dt} + ax^{(1)} = b$$

其中 a, b 为待定参数，运用最小二乘法求得

$$(\hat{a}, \hat{b}) = (B^T B)^{-1} B^T Y_n,$$

其中

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

求出 \hat{a}, \hat{b} 后，可以求得

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{b}}{\hat{a}}, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_0^{(0)}(i) = x^{(0)}(i) = x^{(0)}i - \hat{x}^0(i) \quad (i = 1,2, ..., n)$$

相对误差

$$w^{(0)}i = \left| \frac{x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i)}{x^{(0)}(i)} \right|,$$

Table 5.2. 5

小误差概率 P 值	方差比 C 值	预测精度等级
> 0.90	0.3	好
> 0.80	< 0.5	合格
> 0.70	< 0.65	勉强合格
≤ 0.70	≥ 0.65	不合格

数据还原

$$\hat{x}^{(0)}(k + 1) = \hat{x}^{(1)}(k + 1) - \hat{x}^{(1)}(k) = (1 - e^{\hat{a}}) \left(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}} \right) e^{-\hat{a}k}$$

对中国 2019 年到 2023 年固碳量预测

以中国 2009-2018 年固碳量为序列，应GM(1,1)模型建立中国固碳量预测模型

$$\hat{x}^{(0)}(k + 1) = 651.97e^{0.0371k}$$

同样以 2008-2018 年中国固碳量占 11 国总固碳量的比重，建立中国固碳量占总固碳量的总比重，预测模型

$$\hat{y}^{(0)}(k + 1) = 2.5381e^{0.0324k}$$

$$\begin{cases} \hat{x}^{(0)}(k + 1) = 651.97e^{0.0371k} \\ \hat{x}^{(0)}(k + 1) = 651.97e^{0.0371k} - 2.5381e^{0.0324(k-5)} \geq 5 \end{cases}$$

5.2.4 中国固碳量预测模型的求解

利用 MATLAB 求解得到如图 5.2.2 所示：

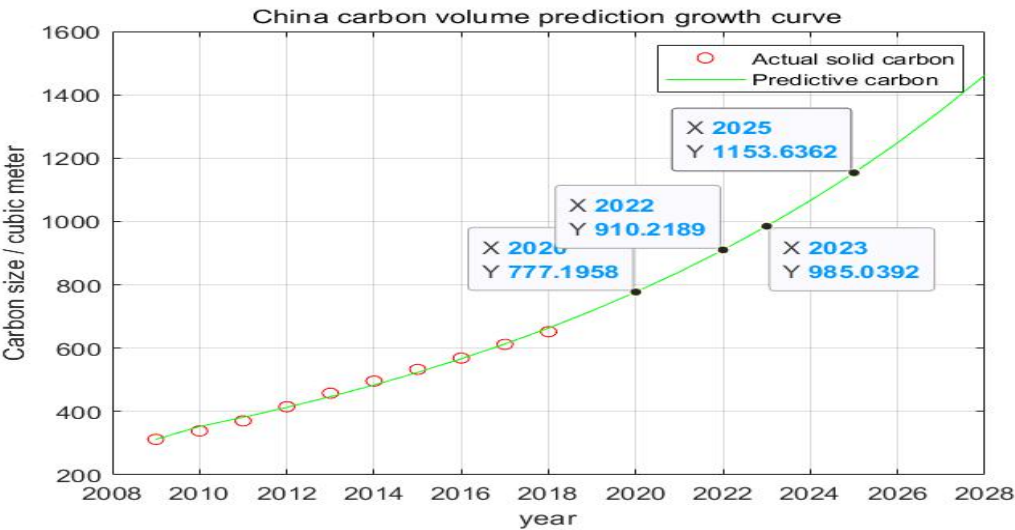


Figure 5-2--2 2019 到 2028 年中国固碳量预测图

最后给出 2019 年到 2028 年的中国固碳量预测值如下表 5.2.6 所示。

Table 5-2-6 2019 年到 2028 年中国固碳量预测值

年份	固碳量（立方米）
2019	718.1626
2020	777.1958
2021	841.0816
2022	910.2189
2023	985.0392
2024	1066.0098
2025	1153.6362
2026	1248.4655
2027	1351.0898
2028	1462.1499

对比表 2-1 和表 1-8 可以看出目前中国森林固碳量占其他国家有很大的缺口，市场空间广阔，适合进行森林管理及优化。

5.3 问题三模型的建立与求解

下图 5.3.1 是使用 arcgis 制作的世界植被疏密图，用此来代表世界各地的固碳量水平。

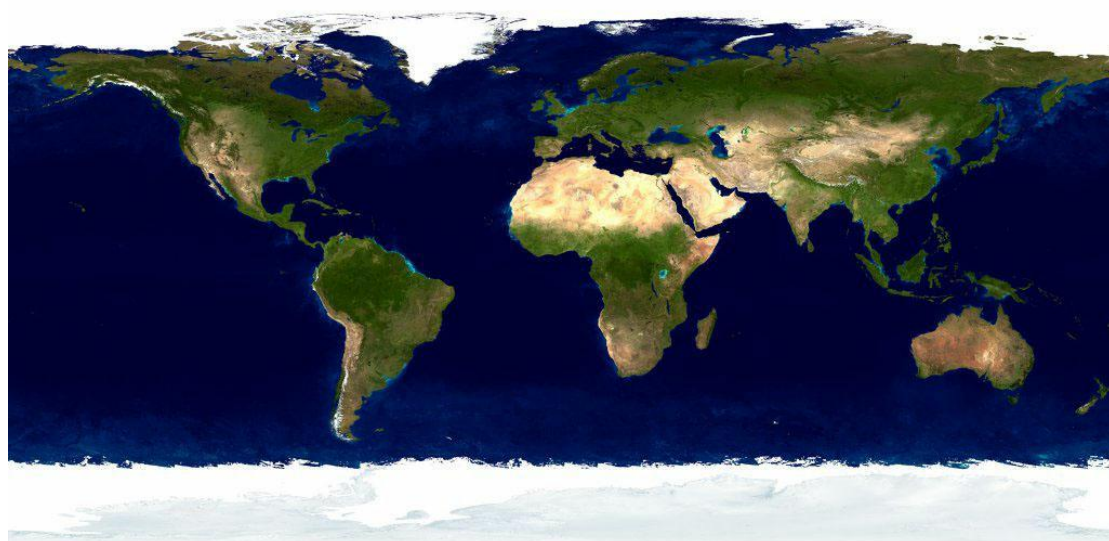


Figure 5-3-1

从图中我们选取了中国的大兴安岭作为森林综合管理模型的试点，进行其经济性和固碳量的综合性分析。

我们选取了中国 2017 年春季到秋季的二氧化碳排放量合计，间接度量其固碳量，来研究大兴安岭的固碳量变化。利用 MATLAB 做出散点图，如下图 5.3.2 所示：

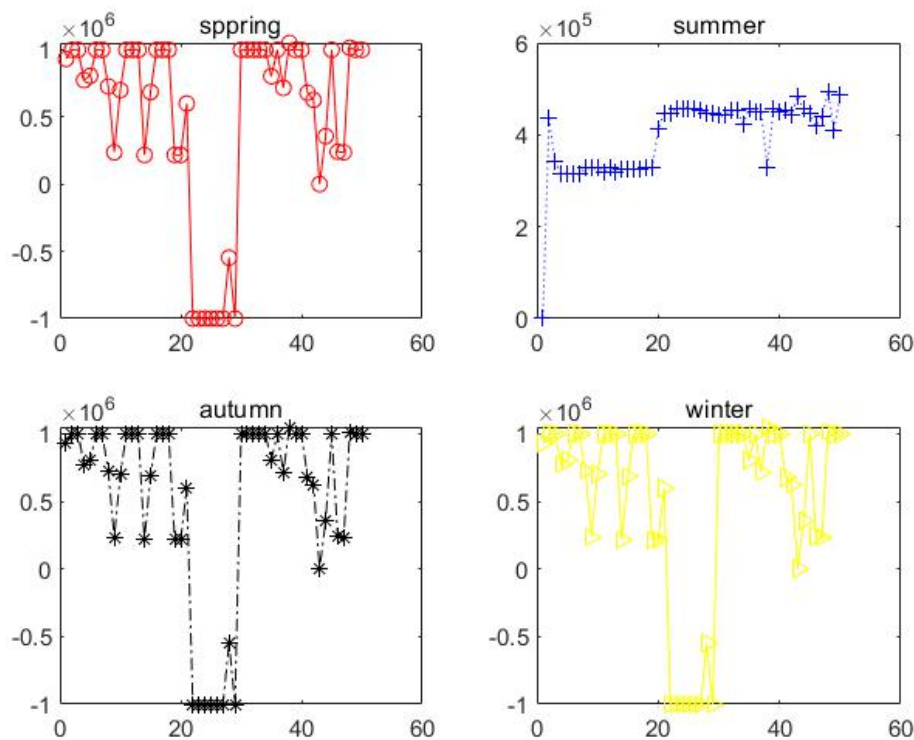


Figure 5-3-2 大兴安岭 2017 年四季固碳量散点图

通过图像可以看出，不同季节都存在森林固碳量上升和下降的现象，因此对于森林管理者来说，将经济性因素即森林产品的生产考虑到森林管理政策的制定中，以保证自己的森林固碳量损失相对小，且经济收益相对大是很有必要的

5.3.1 森林综合管理模型的建立

我们利用马科维茨均值方差理论，用均值代表平均收益，用方差代表风险，构建资产配置模型的思想，用均值代表森林的平均固碳量，用方差代表生产森林产品给森林固碳量带来的损失，构建森林综合管理模型，目的是森林在污染最小时产生利润最大。这里的利润包括固碳量的增长和经济收益。

设森林的固碳量为 S_i ，砍伐森林的投入为 x_i ，投入 S_i 的平均收益率为 r_i 。对于 S_i 投资的净收益率为：

$$R_i(x_i) = r_i x_i$$

对于 S_i 投资的风险，即对森林造成的固碳量的减少：

$$Q_i(x_i) = q_i x_i$$

森林管理组合 $X = (x_1, x_2, \dots, x_0)$ 净收益总额：

$$R(x) = \sum_{i=1}^n R_i(x_i)$$

投资带来的利润风险：

$$Q(x) = \max_{1 \leq i \leq n} Q_i(x_i)$$

设 n_i 为投资第 i 种组合所产生的效用， p_i 为其产生的概率，则效用的期望值

$E(n)$:

$$E(n)=\sum_{i=1}^n p_i n_i$$

森林管理组合的效用值在效益率为 R 时:

$$E(R)=pR-qR^2$$

$$\text{收益率}=\frac{\left(\text{本年固碳量}-\text{本年土壤耗碳量}\right)-\left(\text{森林产品带来的收益}-\text{采伐森林的损失}\right)}{\text{本年耗碳量}-\text{本年新种植森林及森林产品增加的固碳量}}\times 100\%$$

$$E(r)=\sum_{i=1}^n p_i r_i$$

$E(r)$: 期望收益率; p_i : 情况二出现的概率; r_i : 情况二出现的收益率

期望收益率:

$$i=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n r_i$$

X 为权重比率:

$$E(rp)=x_AE_r(A)+x_BE_r(B)+\cdots x_iE_r(i)$$

$$x_A+x_B+\cdots+x_i=1$$

平均偏离程度 σ^2 :

$$\sigma^2=\sum_{i=1}^n\left[r_i-E(r)\right]^2p_i$$

以对有两种数目的森林投资为例:

$$\sigma p^2=x_1r_1+x_2r_2+\cdots x_nr_n=\sum_{i=1}^nx_ir_i$$

$$E(rp)=\sum_{i=1}^nx_iE_r(i)$$

考虑采伐带来的固碳量损失

$$r_i=a_i+b_iF+\varepsilon_i$$

b_i 表示森林*i*对因素*F*的敏感程度（反映固碳量损失）

$$\sigma_i^2=b_i^2\sigma_F^2+\sigma^2(\varepsilon_i)$$

$$\sigma_{ij}=b_ib_j\sigma_E^2$$

设投资总数为 1 的单位，用于第*i*项数目的资金比例为 x_i . $x=(x_1,x_2,...,x_n)$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1 \\ 0 \leq x_i \end{cases}$$

r_{jk} 代表森林第 j 种树木类型下在第 k 年的固碳量增长率

预计第 j 种投资平均固碳增长率

$$\bar{r}_j = \left(\sum_{k=1}^T r_{jk} \right) / T$$

第 j 种投资给森林带来的固碳量损失为

$$q_j = \left[\sum_{k=1}^T (r_{jk} - \bar{r}_j) \right] / T$$

投资组合 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 在第 k 年的收益率为

$$R_k(x) = \sum_{j=1}^n x_j r_{jk}$$

投资组合的平均收益率为

$$R(x) = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T R_k(x) = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \sum_{j=1}^n x_j r_{jk}$$

投资组合 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的风险

$$\begin{aligned} Q(x) &= \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T [R_k(x) - R(x)]^2 \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \left[\sum_{j=1}^n x_j r_{jk} - \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \sum_{j=1}^n x_j r_{jk} \right]^2 \\ &= \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T \left[\sum_{j=1}^n x_j (r_{jk} - \bar{r}_j) \right]^2 \end{aligned}$$

控制固碳量损失，使投资收益最大化

$$\begin{cases} \max R(x) \\ Q(x) \leq \sigma \\ \text{s. t.} \begin{cases} x_1 + x_2 + \dots + x_n < 100000000 \\ x_i \geq 0 \end{cases} \end{cases}$$

5.3.2 森林综合管理模型的求解

对本题而言，计算大兴安岭四个季节 2008-2017 年每年平均固碳量和森林产品固碳量与耗碳量的差值，进行标准化处理，即：

对序列 x_1, x_2, x_3, x_4

$$y_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

进行标准化处理 F_n ，将 6 设为 0.2 代入利用 $MaTLaB$ 求解得：

Local minimum found that satisfies the constraints.

Optimization completed because the objective function is non-decreasing in feasible directions, to within the value of the optimality tolerance, and constraints are satisfied to within the value of the constraint tolerance.

<stopping criteria details>

x = 4×1

0.4358

0.2673

0.1016

0.1953

favl = 1.1854

Figure 5-3-3MATLAB 求解图

Table 5-3.-1 砍伐最优配置比例表

季节类型	春季	夏季	秋季	冬季
砍伐配置比例	0.4358	0.2673	0.1016	0.1953

通过 MATLAB 求解我们可以得到的最优收益率为 1.1854。即使用此模型的固碳量是原固碳量的 118.52%。

5.3.3 砍伐时间表

依据效益最大化的砍伐方式，砍伐时间表如下表 5.3.2 所示：

Table 5-3-2

时间	森林产品生产比例	植树比例	收益
2022	44%	26%	0.3584
2023	26%	10%	0.9344
2024	10%	19%	1.6634
.....
2121	19%	44%	33.7216

由表格可以分析出，在实行砍伐森林和植树同时进行的策略的前两年，大兴安岭的固碳量照原来有所下降，尤其是在第一年下降幅度超出了 60%，这也是大部分人反对砍伐森林的原因，但是从第三年开始其固碳量就照比原来有显著增长，而从长期来看，其效果远远高于单纯的不砍伐森林。

最后可以得出按照森林综合管理模型 100 年后大兴安岭的固碳量和经济效益总和将是现在的 33.7216 倍。最后使用 arcgis 计算出大兴安岭 100 年后的固碳图如下图 5.3.4 所示：

Figure 5-3-4



5.4 写给当地社区的一封信

尊敬的社区领导

您好！我是一名大学生。很感谢您能在百忙之中阅读我的信件。森林管理，是现在的热点问题，我们应该采取什么样的森林保护措施来保护我们赖以生存的地球，降低空气中温室气体的浓度。这些一直都为大家所广泛讨论。未来保护森林，世界各国都相继建立了自然保护区去保护森林，严谨人们对保护区的林木进行砍伐，并制定了严厉的法律去打击非法采伐的人群。我对此感到非常幸福，我们开始追求更健康，更环保的生活方式。这是经济发展到一定水平和人民思想开放的象征。但是，环保应该和经济发展同步，在很多林业资源非常发达的地区，由于严厉的采伐政策，使得当地的经济水平严重滞后。这使得这些地区在为全球的环境质量做贡献的同时，也遭受了落后、贫穷的发展现状，对此我感到非常痛心。

一种新研究表明，森林对于二氧化碳等温室气体的降解，主要表现在两个方面。一方面是森林本身对于二氧化碳的吸收上，另一方面表现在森林所产生的森林产品对于二氧化碳的封存上，所以我们研究了世界各地的森林类型，对各国的森林管理进行了评分，设计了一款森林综合管理体系。我们经过计算得到，在实施砍伐和森林种植同时进行，森林的固碳量将会在几年后显著提高。具体表现为，找到合适的森林采伐与种植的比列，在我们选取的大兴安岭案例中表现为森林采伐：森林种植=1：2。采用这种森林管理计划时，砍伐森林和植树同时进行的策略的前两年，大兴安岭的固碳量照原来有所下降，尤其是在第一年下降幅度超出了 60%，这也是大部分人反对砍伐森林的原因，但是从第三年开始其固碳量就照比原来有显著增长，而从长期来看，其效果远远高于单纯的不砍伐森林。最后可以得出按照森林综合管理模型 100 年后大兴安岭的固碳量和经济效益总和将是现在的 33.7216 倍。这也生动的说明了森林综合管理较于传统的禁止采伐的环保方式更为合理。在未来我们也将不断研究以提出更加充分的建议。

在这里我建议可以设置一部分森林试验田，连续追踪 5 年内采用传统方法和新森林管理模式的固碳量，以更好、更深入的了解该系统。

政府应该出台一定的措施去放开森林采伐政策,以实现环保和经济的共同发展。再次感谢您百忙之中的阅读,期待您的回复。

一名美赛参赛者
2022 年 2 月 21 日

六、模型的优缺点分析

6.1 模型的优点

(1) 使用了因子分析,能够将相关性较高的变量拟合为新变量以消除变量之间的序列相关性,从而使评价模型更加准确。

(2) 使用多因素综合评价模型,综合考虑了进 GGE、FCA、NRA、GOW、CNPP、人类发展指数对森林管理体系的影响,模型比较客观,准确程度高。

(3) 基于马科维茨均值方差理论的思想,设计了森林综合管理模型,能比较准确的度量森林在砍伐树木时带来的固碳量的减少。

6.2 模型的缺点

(1) 只考虑了人们砍伐树木对森林固碳量的影响,没有考虑自然灾害等因素对森林的影响。

(2) 在建立多因素评价模型的权向量时,权向量的设置具有较强的主观性。

七、参考文献

[1]李明华,肖舜祯,唐学君.基于 FORECAST 模型模拟杉楠混交林的固碳量[J].江西科学,2019,37(02):185-189.DOI:10.13990/j.issn1001-3679.2019.02.008.

[2]王谢,邓清,周婧,唐甜,胡立志,李瑞,张建华.基于统计资料的桑园碳汇估算模型的构建——以四川省为例[J].中国农学通报,2022,38(02):31-37.

[3]<https://blog.csdn.net/dx20121004315/article/details/80823193> matlab 空值 NAN 填充, CSDN 博客, 2018.6.27;

[4]刘素青. 森林生态系统经营决策与自适应模型研究[D].中南林业科技大学,2006.

[5][1]蔡一鸣.马科维茨模型、相对方差与出口地理集中度[J].东北师大学报(哲学社会科学版),2014(04):90-94.DOI:10.16164/j.cnki.22-1062/c.2014.04.051.

[6]MATLAB 数学建模,清华大学出版社,李昕,394 页,投资与风险;

[7]数学建模基础教程,刘保东、宿洁、陈建良 高等教育出版社 第 402 页 多因素综合评价方法;

[8]苏卫国,吴启槟.基于 GM(1, 1)+BP 神经网络组合模型的路用性能预测研究 [J/OL]. 昆明理工大学学报(自然科学版): 1-10[2022-02-20].DOI:10.16112/j.cnki.53-1223/n.2022.01.482.

[9]周中,张俊杰,丁昊晖,李繁.基于 PSO-BP 神经网络的隧道绿色建造污水处理预测模型 [J/OL]. 铁道科学与工程学

报:1-10[2022-02-20].DOI:10.19713/j.cnki.43-1423/u.T20210589.