

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

第八届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛 承 诺 书

我们仔细阅读了第八届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们接受相应处理结果。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：#4553

参赛队员（签名）：

队员 1：向阳

队员 2：赵小虎

队员 3：陈佳莉

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：本科组

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

第八届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

2015 年第八届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第二阶段论文

题 目 C 题 荒漠生态系统退化评估及其恢复与重建

关 键 词 荒漠生态退化、恢复与重建、模糊层次分析、蒙特卡洛模拟、聚类分析、相关分析、灰色预测、多目标线性加权

摘 要

荒漠区是我国典型的温带荒漠和干旱脆弱生态系统，近年来人为干扰不断加重，依赖于植物生存的动物种群和群落格局随之受到了明显影响，生态系统呈逆向演替过程。针对退化的生态系统，评估及其恢复与重建成为当前研究的前沿。

本文对生态退化进行分析，进行了数据的筛选，并分别构建了基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型、基于聚类分析的生态退化评估模型、基于灰色预测的生态退化恢复模型，综合分析了生态退化的影响因素并制定了恢复措施。

本文主要的研究方法为：首先对数据进行标准化处理，利用 Z 分数对数据进行筛选。然后利用模糊层次分析法构建了递阶结构模型，利用蒙特卡洛模拟确定模型各指标的权重。其次，使用多目标线性加权计算出每次测量的生态退化程度，利用层次聚类将退化程度聚为 4 类，分别为正常状态、轻度退化、中度退化、严重退化。最后，对数据进行相关性检验，确定有效性因子，大致为草本盖度、草本密度、草本生物量、人为干扰强度，逐步制定恢复措施，利用灰色预测对措施实施结果进行了检验。

参赛队号： 4553

所选题目： C 题

参赛密码 _____
(由组委会填写)

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

Abstract

Desert area is a typical temperate desert and arid fragile ecosystems of China, human interference has been increasing in recent years. And patterns of animal populations and communities dependent on the survival of plants subsequently has been significantly affected. Then ecosystem showed retrogressive succession process. For the degraded ecosystems, the evaluation and restoration as well as reconstruction has become the forefront of current research.

In this paper, we analyzed ecological degradation, then we screened the data and constructed the fuzzy AHP model based on Monte Carlo model, ecological degradation assessment model based on cluster analysis and the ecological degradation model based on gray prediction of recovery, comprehensively analyzed the factors affecting of ecological degradation and developed some restoration measures.

Here are the main research methods: First, the data were normalized using the Z score to filter. Then use the fuzzy analytic hierarchy process model to construct hierarchical structure, and using Monte Carlo simulation model to determine the weight of each index. Secondly, calculate the extent of ecological degradation of each measurement with multi-objective linear weighting, then use hierarchical clustering to degree the degradation into 4 groups, of which named normal, mild degeneration, moderately degraded, severely degraded. Finally, test the relative of data to determine the effectiveness factor, which approximately is herb cover, herbaceous density, herbaceous biomass, human disturbance, and gradually developing recovery measures, used the gray prediction of measures to implement the results of the test.

Keywords: Ecological degradation of desert, Restoration and reconstruction, Fuzzy AHP, Monte Carlo simulation, Clustering analysis, Correlation analysis, Grey prediction, The multi-objective linear weighting.

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

目录

第一章	问题重述.....	1
第二章	问题分析.....	1
第三章	假设与符号.....	3
3.1	模型假设.....	3
3.2	符号说明.....	3
第四章	模型构建.....	4
4.1	基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型.....	4
4.2	基于聚类分析的生态退化评估模型.....	9
4.3	生态恢复模型建立.....	11
第五章	模型求解.....	16
5.1	基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型.....	16
5.2	基于聚类分析的生态退化评估模型.....	18
5.3	生态恢复模型.....	23
第六章	模型评价.....	33
6.1	模型的优点.....	33
6.2	模型的不足.....	33
参考文献	34
附录	35
部分数据标准化结果（7月过牧）.....		35
模糊层次分析法 matlab 求解代码：.....		35
蒙特卡洛法 matlab 求解代码如下：.....		36

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

第一章 问题重述

环境与发展是当今世界普遍关注的问题，人类在全球与区域经济发展的同时也以前所未有的规模和强度影响、改变着环境，全球生命系统受到严重创伤。全球变暖、生物多样性消失、环境污染等全球性环境问题，使人们逐渐认识到生态系统的复杂性，以及生态学理论在解决这些环境问题中的重要性。干旱区作为全球生态系统中的重要类型之一，由于开发历史较晚，相对于其他区域而言，其境内蕴藏着丰富的待开发自然资源。而荒漠区是我国典型的温带荒漠和干旱脆弱生态系统，生态环境极其恶劣，造成动物的可利用资源在数量和质量上与湿润区、半干旱区存在差异。加之近年来人为干扰不断加重，依赖于植物生存的动物种群和群落格局受到明显影响，导致各类资源改变及生态系统结构重组。

借助西北某干旱区植物动物数据整理表中的数据，建立合理的数学模型，来评估由人类活动造成的荒漠地区生态退化的程度。同时分析一个荒漠地区处于半退化、退化等不同阶段时，是否可以通过减少人为干扰，或者采用补充人工植被的方法来促使该地区的生态环境恢复正常。如果可行，请给出量化的实施方案；如果不可行，请指出造成这种不可逆性的原因。

第二章 问题分析

这是对该荒漠地区生态环境的评估。通过对不同参量的定性定量分析，来判断在人类活动干预下生态环境是否遭到破坏，且找到干扰影响生态环境的机制，判断生态环境退化的程度。解决办法就是找到人类活动对生态环境中生物的影响，并由此建立模型，判断生态的稳定性、物种丰富度等指标，从而确定生态环境是否退化以及不同影响导致的不同退化程度。

在得到荒漠地区生态退化程度结果后，要对不同退化程度区域提出抑制甚至消除生态退化的方法。通过分析能够影响生态环境退化的人为因素，判断各个参量与生态退化之间的相关性，然后建立灰色预测模型，给定目标规划，得出改变参量时生态退化的一个预测值，通过与没有人工干预的生态变化趋势相比较，判断人为干预或补充人工植被的条件下生态退化能否得到改善。当能够改善时要提出具体的量化方法解决问题，当不能解决问题时通过分析找到退化过程不可逆的原因。

我们在进行数据分析时，发现有些数据为奇异值，会影响我们数据分析的精确度，因此我们在数据分析开始之前对已有数据进行了筛选。数据处理的时候，

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

一般来说数据都是正态分布的，按照正态分布的性质，三个标准差以外的数据都可以被看作是错误的数据从而排除掉。筛选具体步骤如下：

(1) 数据标准化处理

Z 分数是指从平均数 μ ，标准差 σ 的总体中抽出一个变量值 x ， Z 分数表示的是此变量大于或小于平均数几个标准差。由于 Z 分数分母的单位与分子相同，故 Z 分数没有单位，因此能够用来比较两个从不同单位总体中抽出的变量值。计算公式如下：

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

将原始数据直接换为 Z 分数时，常会出现附属和带小数点的值，实际使用起来很不方便。因此，我们对 Z 分数进一步加以线性转换，使之成为正的数值。采用最常用的 T 分数进行转换，计算公式如下：

$$T = 10Z + 50$$

(2) 数据筛选

我们对 Z 分数的值进行判定，如果值在区间 $[-3,3]$ 之间，则不对数据进行筛选，否则删除数据。对每月不同人为干扰的各种因素进行筛选，由于每一个月份数据差异较大，所以对每个月份也分别处理。

首先对 7 月过牧时的各因素进行筛选，我们删除了第 1、4、7、18、19 这五条数据，可以发现，第 1 条数据的灌木生物量的 Z 分数为 3.27037，第 4 条数据的小毛足鼠生物量的 Z 分数为 3.15479，第 7 条数据的草本高度的 Z 分数为 3.88338，第 18 条数据的草本生物量的 Z 分数为 3.39510，第 18 条数据的草本盖度的 Z 分数为 3.63395，因此剔除以上 5 组数据。

对 10 月过牧时的各因素进行筛选，我们删除了第 1、6、8、16、18、19、22 这七条数据，可以发现，第 1 条数据的灌木生物量的 Z 分数为 3.14068，第 6 条数据的灌木高度的 Z 分数为 3.01920，第 8 条数据的草本密度的 Z 分数为 4.02243，第 16 条数据的灌木密度的 Z 分数为 3.15524，第 18 条数据的草本高度的 Z 分数为 3.36201，第 19 条数据的草本盖度和草本生物量的 Z 分数分别为 3.49212 和 3.57589，第 22 条数据的小毛足鼠生物量的 Z 分数为 3.09199，因此剔除以上 7 组数据。

然后，对 7 月轮牧时的各因素进行筛选，我们删除了第 3、19、22 这三条数据，可以发现，第 3 条数据的灌木盖度的 Z 分数为 3.32858，第 19 条数据的草本

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

盖度、草本密度、草本生物量的 Z 分数分别为 3.56821、4.07749 和 4.11991，第 22 条数据的灌木密度的 Z 分数为 3.93239，因此剔除以上 3 组数据。

对 10 月轮牧时的各因素进行筛选，我们删除了第 16、19、22 这三条数据，可以发现，第 16 条数据的灌木高度的 Z 分数为 3.74723，第 19 条数据的灌木密度的 Z 分数为 4.30034，第 22 条数据的草本高度的 Z 分数为 3.14383，因此剔除以上 3 组数据。

最后，对 7 月开垦时的各因素进行筛选，我们删除了第 2、6、16 这三条数据，可以发现，第 2 条数据的三趾跳鼠生物量和小毛足鼠生物量的 Z 分数分别为 3.61293 和 3.06012，第 6 条数据的灌木密度和灌木生物量的 Z 分数分别为 3.77766、和 3.98090，第 16 条数据的灌木盖度的 Z 分数为 3.77528，因此剔除以上 3 组数据。

对 10 月开垦时的各因素进行筛选，我们删除了第 4、9、10 这三条数据，可以发现，第 4 条数据的草本生物量的 Z 分数分别为 3.35440，第 9 条数据的灌木生物量的 Z 分数分别为 3.65759，第 10 条数据的草本生物量的 Z 分数为空值，因此剔除以上 3 组数据。

第三章 假设与符号

3.1 模型假设

- (1) 附件中该地区的数据具有真实性、代表性。
- (2) 假设影响生态退化的直接作用因素只包含给定的草本、灌木及啮齿动物变化。
- (3) 假设人类活动造成的荒漠地区生态变化只有给定的草本、灌木及啮齿动物，不包含其他影响因素。

3.2 符号说明

符号	说明	符号	说明	符号	说明
z	标准差	Y_i	权重	$a(r)$	计分函数
x	变量值	W_{ij}	权重	$b(r)$	计分函数
μ	平均数	P_{ij}	实际值	g_x	结的个数
σ	标准差	n_p 、 n_q	第 p 、 q 类中的变量数	$\tau_{x,t}$	结的长度
				$\tau_{y,t}$	

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

λ_{max}	最大特征值	D_{pq}	非对角线中的 最小元素	r_s	秩相关系数
P_r	指标概率	$G_r G_k$	新类元素	$E(r_s)$	期望
$W(n)$	权重累加器	$\bar{x}、\bar{y}$	均值	$D(r_s)$	方差
CI	一致性指标	r	样本相关系数	α	初始权重
CR	相对一致性 指标	n	样本观测量数	p	概率
D	生态系统退化 综合评估值	$n - 2$	自由度		

第四章 模型构建

4.1 基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型

荒漠生态系统退化是由于人为过度活动(如滥垦、樵采及过度放牧)或自然灾害(如干旱、鼠害及虫害等)所造成的原生植被的破坏、衰退甚至丧失,从而引起沙质地表、沙丘等的活化,导致生物多样性减少、生物生产力下降、土地生产潜力衰退以及土地资源丧失的过程。而在本题中,已知的因素有草本高度、草本盖度、草本密度、灌木高度、灌木盖度、灌木密度、三趾跳鼠生物量、子午沙鼠生物量和小毛足鼠生物量等 11 项因素。

为评估人类活动造成的生态系统退化程度,我们建立了基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型,根据已知的影响因素构建出对应的层次体系,利用模糊符号来构建判断矩阵,最后利用蒙特卡洛模拟计算得出权重,克服层次分析的主观性,使模型更具有可操作性以及结果的精确性。

4.1.1 模糊层次分析法基本原理

所谓层次分析法,是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统,将目标分解为多个目标或准则,进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次,通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序,以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。

层次分析法是将决策问题按总目标、各层子目标、评价准则直至具体的备投方案的顺序分解为不同的层次结构,然后得用求解判断矩阵特征向量的办法,求得每一层次各元素对上一层次某元素的优先权重,最后再加权和方法递阶归并各备择方案对总目标的最终权重,此最终权重最大者即为最优方案。这里所谓

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

“优先权重”是一种相对的量度，它表明各备选方案在某一特点的评价准则或子目标，标下优越程度的相对量度，以及各子目标对上一层目标而言重要程度的相对量度。层次分析法比较适合于具有分层交错评价指标的目标系统，而且目标值又难于定量描述的决策问题。其用法是构造判断矩阵，求出其最大特征值。及其所对应的特征向量 W ，归一化后，即为某一层次指标对于上一层某相关指标的相对重要性权值。

该处的模糊层次分析法较传统意义上的层次分析法步骤相似，仅有两点不同：

- 影响因素的重要度以区间数形式给出，并用模糊符号表示；
- 在求解判断矩阵的特征向量时，借助计算功能强大的计算机，采用蒙特卡洛模拟法。

4.1.2 建立分层递阶结构模型

在对系统分析的基础上，建立分层递阶结构模型是模糊 AHP 的核心和关键。分层递阶结构模型由目标层、准则层和方案层组成。目标层有总目标和分目标，总目标是最高目标，一个系统一般只有一个；准则层可以是方案的多层的评价标准；方案层是被评价的方案或措施。

生态退化的递阶层次在本题中大体可以分为三个层次：最高层、中间层和最底层。其中最高层为生态退化程度，中间层指标为草木因子、灌木因子和动物因子，最底层指标为草本高度、草本盖度、草本密度、草本生物量、灌木高度、灌木盖度、灌木密度、灌木生物量、三趾跳鼠生物量、子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量和人为干扰强度等 12 个因素。结构图如下：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

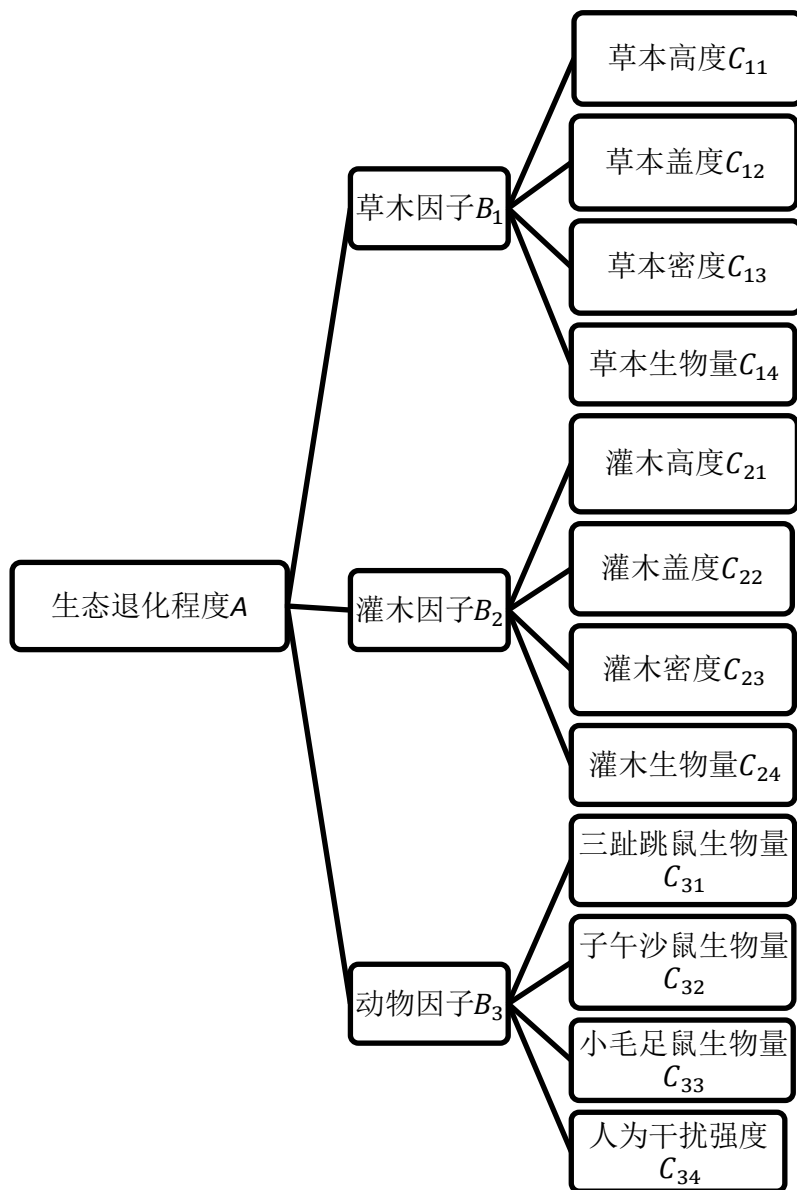


图 4-1 生态退化的结构图

4.1.3 构造模糊判断矩阵

分层递阶结构模型体现了上下层各元素之间的支配和隶属关系，按该关系，以上层中某元素为准则进行下层元素之间的两两对比，在此我们采用如下定义的模糊比较标度来反映两者之间的相对重要性程度，如表 4-1 所示。

表 4-1 A_1 和 A_2 的相对重要性程度

模糊标度记号	模糊比较意义	模糊标度取值范围	输入标记符号
=	A_1 和 A_2 同等重要	1	1

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

> (或<)	A_1 比 A_2 稍微重要 (或稍微不重要)	1~3 (或 $\frac{1}{3} \sim 1$)	2 (或6)
>> (或<<)	A_1 比 A_2 相当重要 (或相当不重要)	3~5 (或 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$)	3 (或7)
>>> (或<<<)	A_1 比 A_2 强烈重要 (或强烈不重要)	5~7 (或 $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{5}$)	4 (或8)
>>>> (或<<<<)	A_1 比 A_2 极端重要 (或极端不重要)	7~9 (或 $\frac{1}{9} \sim \frac{1}{7}$)	5 (或9)

判断矩阵的基本形式为：

$$b_{ij} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \cdots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

判断矩阵是一个特殊的矩阵，其元素满足以下条件：

$$b_{ii} = 1, \quad b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}, \quad b_{ij} = \frac{b_{ik}}{b_{jk}}$$

该条件称为一致性条件，当满足该条件时，有

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \cdots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

可见，满足一致性条件的 n 阶判断矩阵具有唯一非零最大特征值 $\lambda_{\max} = n$ ，其他特征值均为零。

4.1.4 模糊 AHP 的蒙特卡洛模拟

蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟方法也称为随机模拟法(Random simulation)、统计试验法(Random sampling)等。它是一种依据统计理论，利用计算机来研究指标发生概率的数值计算方法。蒙特卡罗模拟方法的基本思想是，若已知描述指标状态的概率分布，根据指标目标或规定的状态函数 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，利用抽样技

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

术，生成符合状态变量概率分布的一组随机量 X_1, X_2, \dots, X_n ，将其代入状态函数 $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，得到状态函数的一个随机量。用如此同样的方法，产生 N 个类似这样的状态函数的随机量。若在 N 个状态函数的随机量中有 M 个小于等于（或大于等于）指标目标或规定的值 X_0 ，当 N 充分大时，由大数定律，此时的频率已接近概率，因而可得指标概率 P_r ：

$$P_r = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{g(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq X_0\} = \frac{M}{N}$$

或

$$P_r = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq X_0\} = \frac{M}{N}$$

（公式 4-1）

得到模糊判断矩阵后，即可利用计算机进行蒙特卡洛模拟来求解模糊矩阵的权重向量，其模拟过程如下：

- （1）输入模糊判断矩阵的符号矩阵 $A(n, n)$ ；
- （2）给定模拟次数 K ，设置权重累加器 $W(n)$ ，并充零；
- （3）依次根据符号矩阵的各个单元的数字产生相应单元的1~9标度值，形成试验矩阵 $B(n, n)$ ；如当单元符号为3时，计算机内部产生一个 $[0, 1]$ 间的随机数 r ，则相应单元的1~9标度值为： $b = 3 + (5 - 3) \times r = 3 + 2r$
- （4）求试验矩阵 $B(n, n)$ 的最大特征值 λ_{max} 和相应的特征向量 $WI(n)$ ；
- （5）根据最大特征根判断矩阵的一致性，如果一致性不好，转3，否则接6；为了检验判断矩阵的一致性，需计算它的一致性指标 CI ：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

（公式 4-2）

当 CI 愈大，即 $\lambda_{max} - n$ 愈大时，矩阵的一致性愈差。

此外判断矩阵的一致性还具有随机性，这种随机一致性可用平均随机一致性指标 RI 表示，其值的大小只与矩阵维数大小有关，具体取值如表 4-2 所示。

表 4-2 RI 与矩阵维数大小关系

维数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

检验判断矩阵的一致性是用相对一致性指标 CR ：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

一般而言， CR 愈小，判断矩阵的完全一致性愈好。可以认为当 $CR \leq 0.1$ 时，判断矩阵基本符合完全一致性条件。而当 $CR > 0.1$ 时，一般认为所给出的判断矩阵不能令人满意，需要进行调整修正，直到检验通过为止。此处不需人为调整，仅需重新产生随机数，重新构造试验矩阵。

(6) 将 $WI(n)$ 值送入权重累加器 $W(n)$ 中，并且判断是否进行了 K 次有效的实验，若是则接 7，若否则接 3；

(7) 将权重累加器 $W(n)$ 的值除以 K ，得到 $W'(n)$ ，此即为模拟所取得的权重向量。

4.1.5 总层次排序

如果层次结构有 h 层： $L_1、L_2、\dots、L_h$ ，其中 L_1 为最高层， L_h 为最低层，则相应各层都可用判断矩阵所求得的权重向量表示。若各层的权重分别为： $W_1、W_2、W_h$ ，则总层次排序(或最低层的最终权重向量)可由下式求得：

$$W = W_h \cdot W_{h-1} \Delta W_1 W_2 \quad (\text{公式 4-3})$$

4.2 基于聚类分析的生态退化评估模型

模型一中我们构建了模糊层次分析体系，并应用蒙特卡洛模拟得出了各因素的权重。因此，我们首先在模型一得基础上，利用多目标线性加权计算得到生态退化的评估值，再利用聚类分析对评估值进行聚类，对评估结果进行分类分析。

4.2.1 多目标线性加权法

我们对处理后的数据采用多目标线性加权法，计算生态系统退化综合评估值。多目标线性加权法的计算公式如下：

$$D = \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{j=1}^n W_{ij} P_{ij} \quad (\text{公式 4-4})$$

其中 D 为生态系统退化综合评估值， Y_i 为中间第 i 层的权重， W_{ij} 为中间第 i 层下第 j 个指标的权重， P_{ij} 为中间第 i 层下第 j 个指标的实际值。

D 越大，表示生态系统退化程度越高，生物多样性减少、生物生产力下降、土地生产潜力衰退的程度越高。反之，则表示生态系统的退化程度越低，生物多样性减少、生物生产力下降、土地生产潜力衰退的程度越低。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

4.2.2 聚类分析

我们得到了不同人类活动下的生态系统退化程度，但是没有对结果进行分类处理，因此，我们采用聚类分析，使得相似的生态系统退化程度聚到一起，并给出判定生态系统退化程度的标准。

常用的聚类分析方法有系统聚类、动态聚类等，其中系统聚类是用得最多的一种方法。

系统聚类法的基本思想是：首先，把每个变量看做一类，并规定变量间的相似性测度换算成的距离（ $d_{ij}^2 = 1 - c_{ij}^2$ ，其中 c_{ij} 表示变量 i 和变量 j 之间的相关系数）看做类与类之间的距离，然后将距离最近的两类合成新的一类，每次减少一类，重新计算新类与其他各类的距离，重复进行最近类的合并，直至所有的变量合并成一类。

这里我们采用系统聚类中常用的一种方法：类平均法。

设 d_{ij} 表示变量 i 与变量 j 之间的距离， G_1, G_2, \dots 表示类， D_{ij} 表示 G_i 与 G_j 的距离。定义两类之间的距离平方为这两类元素两两之间距离平方的平均，即

$$D_{pq}^2 = \frac{1}{n_p n_q} \sum_{x_i \in G_i} \sum_{x_j \in G_j} d_{ij}^2 \quad (\text{公式 4-5})$$

式中， n_p, n_q 分别表示第 p, q 类中的变量数。

类平均法聚类的步骤如下：

(1) 定义变量之间的距离，计算 n 个变量之间的距离，得到距离矩阵 $D_{(0)}$ ，它是一个对称矩阵。开始每个变量自成一类，显然，此时 $D_{ij} = d_{ij}$ 。

(2) 找出 $D_{(0)}$ 中非对角线中的最小元素，设它为 D_{pq} ，则将 G_p 与 G_q 合并成一个新类，记为 G_r ，即 $G_r = \{G_p, G_q\}$ 。在 $D_{(0)}$ 中划去 G_p 与 G_q 对应的两行和两列。

(3) 计算新类 G_r 与任一类 G_k 的距离

$$D_{kr}^2 = \frac{n_p}{n_r} D_{kp}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{kq}^2$$

将计算得到的新类 G_r 与剩下的未聚类的各类之间的距离所组成的一行和一列添加到 $D_{(0)}$ 中，其余行和列上的距离值不变，这样可形成 $D_{(1)}$ 。

(4) 对 $D_{(1)}$ 重复上述对 $D_{(0)}$ 的(2)(3)两步得 $D_{(2)}$ ，像这样循环下去，直至所有元素合并成为一类为止。

如果在上述任意一步中， $D_{(k)}$ 非对角线上的最小元素不止一个，称这种现象为结，对应这些最小元素的类可以同时对其合并成一类。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会

电话：0471-4969085

邮编：010021

#4553

网址：www.tzmcm.cn

Email: 2015@tzmcm.cn

4.3 生态恢复模型建立

生态恢复是指对生态系统停止人为干扰，以减轻负荷压力，依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力使其向有序的方向进行演化，或者利用生态系统的这种自我恢复能力，辅以人工措施，使遭到破坏的生态系统逐步恢复或使生态系统向良性循环方向发展；主要指致力于那些在自然突变和人类活动影响下受到破坏的自然生态系统的恢复与重建工作。“生态恢复”是试图重新创造、引导或加速自然演化过程。人类没有能力去恢复出天然系统，但是我们可以帮助自然，把一个地区需要的基本植物和动物放到一起，提供基本的条件，然后让它自然演化，最后实现恢复。因此生态恢复的目标是创造良好的条件，促进一个群落发展成为由当地物种组成的完整生态系统。或者说目标是为当地的各种动物提供相应的栖息环境。生态恢复的方法有物种框架方法和最大多样性方法。

本模型主要分析采用减少人为干扰和增加植被的方法能否有助于生态恢复。我们对各因素进行相关性分析，以便于找出针对生态恢复的有效因素。根据相关性分析结论，构建灰色预测模型，首先对单一因素采取措施，选择逐步增加（减少）的方法，控制该因素的成长。同时对整体个因素的发展趋势利用灰色预测，预测出未来 10 次测量时的值。最终，分别计算未来 10 次测量时的生态系统退化程度，如果出现正常状态，则说明该方法可行。

对单一因素分析过后，我们再对多种因素的综合作用采取措施，同时运用灰色预测未采取措施的各因素未来 10 次测量结果的值。最终，统计未来 10 次测量结果的生态系统退化程度，如果出现正常状态，则说明该多因素控制方法可行。

4.3.1 相关性分析

相关分析（*Correlation Analysis*）是衡量事物或变量之间线性相关程度的强弱并用适当的统计指标表示出来的一种统计方法。通过计算相关系数来研究两个变量间线性关系的程度。用相关系数 r 表示。

4.3.1.1 Pearson（皮尔逊）相关系数

适用于当两个变量 x 与 y 的总体服从或近似服从正态分布的情况。

（1）Pearson 相关系数的计算

Pearson 定义的相关系数计算公式为

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{公式 4-6})$$

其中， \bar{x} 、 \bar{y} 分别是变量 x 、 y 的均值。 x_i 、 y_i 分别是变量 x 、 y 的第 i 个观测值。

不难看出，相关系数值的范围在 $-1 \sim 1$ 之间，相关系数的绝对值越大表明两

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

变量间的线性相关程度越高。

当 $|r| = 1$ 时，表示观察值在直角坐标系中的散点图都在一条直线上，称为完全相关；

当 $r > 0$ 时，称正相关，反之为负相关；

当 $r = 0$ 时，称两个变量间不呈线性关系。

一般地，

$|r| \gg 0.70$ ，称两个变量高度相关；

$0.50 \leq |r| < 0.70$ ，称两个变量中度相关；

$0.30 \leq |r| < 0.50$ ，称两个变量低度相关。

(2) Pearson相关系数的检验

由于据以分析的数据是来自某个总体的样本值，由此算得的相关系数只是总体相关系数 ρ 的一个估计值。所以，从同一个总体中抽取的不同样本中会得到不同的样本相关系数，即样本相关系数之间也存在变异性。因此，必须进行检验。

检验的原假设为 $H_0: \rho = 0$ （总体中两个变量间的线性相关系数为0）。

用来进行检验的统计量为

$$t = \frac{\sqrt{n-2}r}{\sqrt{1-r^2}}$$

在原假设为真时， $t \sim t(n-2)$ 。

其中， r 是样本相关系数， n 是样本观测量数， $n-2$ 是自由度。在原假设下，当观测的显著性水平小于0.05时，拒绝原假设，认为两个变量间存在线性相关；否则不拒绝两变量间相关系数为0的原假设，即认为两个变量间不存在线性相关关系。

4.3.1.2 Spearman（斯皮尔曼）秩相关

(1) Spearman秩相关的适用条件

当成对的两个数值型变量的总体不服从正态分布或总体分布未知时，由于不符合Pearson相关的条件，所以不能用积差相关系数来刻画相关性，此时，可先将两个变量转换成有序变量，计算各自的秩，再用Spearman秩相关系数进行计算。它属非参数统计方法。

同样，两个本身就是成对有序变量之间的相关关系也可用Spearman秩相关进行分析。

(2) Spearman秩相关系数的计算

设有成对数据

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix}$$

记 x_i 在 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中的秩为 R_i , y_i 在 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 中的秩为 Q_i ,

$i = 1, 2, \dots, n$ 。Spearman 定义的秩相关系数的计算公式为

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - S_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (\text{公式 4-7})$$

它相当于用 R_i 和 Q_i 替代原始的 x_i 和 y_i 后的 Pearson 相关系数。

在有结时，即有相等的观察值时，秩取平均值，则 Spearman 定义的秩相关系数的计算公式为

$$r = \frac{12 \sum_{i=1}^n a(R_i)b(S_i) - 3n(n+1)^2}{\sqrt{n(n^2 - 1) - \sum_{t=1}^{g_x} (\tau_{x,t}^3 - T_{x,t})} \sqrt{n(n^2 - 1) - \sum_{t=1}^{g_y} (\tau_{y,t}^3 - T_{y,t})}}$$

其中， $a(r)$, $r = 1, 2, \dots, n$ 为 x_i 在 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中秩 R_i 的计分函数， $b(r)$, $r = 1, 2, \dots, n$ 为 y_i 在 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 中秩 S_i 的计分函数。在结的长度为 1 时， $a(R_i) = R_i$, $b(S_i) = S_i$ ，而结的长度超过 1 时， $a(R_i)$ 、 $b(S_i)$ 等于秩的平均。 g_x 为样本数据 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中的结的个数， $\tau_{x,t}$ 是样本数据 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 中第 t 个结的长度， $t = 1, 2, \dots, g_x$ ；而 g_y 为样本数据 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 中的结的个数， $\tau_{y,t}$ 是样本数据 $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 中第 t 个结的长度， $t = 1, 2, \dots, g_y$ 。

(3) Spearman 秩相关系数的检验

在 X 与 Y 相互独立的原假设为真时，秩相关系数 r_s 服从对称分布，对称中心为原点 0。它的期望和方差分别为

$$E(r_s) = 0, D(r_s) = \frac{1}{n-1}$$

可以证明，在 $n \rightarrow \infty$ 时，秩相关系数 r_s 有渐近正态性

$$\sqrt{n-1} r_s \xrightarrow{L} N(0,1), n \rightarrow \infty$$

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会

电话：0471-4969085

邮编：010021

#4553

网址：www.tzmcm.cn

Email: 2015@tzmcm.cn

由此，在大样本情况下，可用正态分布原理对其进行检验。

小样本时，*Spearman* 秩相关系数的检验方法，同 *Pearson* 相关系数的检验。

4.3.2 灰色预测分析

灰色系统是指系统信息不完全被确知,即知道一些,但又不完全明白的系统,基于这一认识建立的模型就是灰色模型。灰色模型用灰色数、灰色方程、灰色矩阵来描述。在预测技术中,选择预测对象的量化指标是重要的。邓聚龙依据 1982 年提出的灰色系统理论,使用累加生成概念作为灰色量“白化”的工具,用以构造趋势模型。其中 $GM(1,1)$ 模型就是取得显著成效的灰色动态模型。累加生成可使原数据序列的随机性减弱(累加滤波)。累加生成数据的趋势较明显,一般近似于指数趋势。

然而在使用 $GM(1,1)$ 模型进行预测的过程中,也会出现预测模型精度较低的情况。本研究选用改进后的方法,即在分析了 $GM(1,1)$ 模型预测公式的形成过程后,使用自动寻优定权对背景值进行选择,使用最小二乘法原理对 $GM(1,1)$ 模型的初始值进行改进,提高了 $GM(1,1)$ 模型的预测精度。 $GM(1,1)$ 模型是一个连续的时间函数,是以现在的时间之前的反映系统特性的数据为基础建立起来的动态数学模型。

建立 $GM(1,1)$ 模型要求原始数据序列满足非负性、动态随机性以及离散性三个条件,白洋淀蓄水量的序列显然是满足的。

(2) $GM(1,1)$ 模型的建立

如果原始数据序列为不等时距序列,可采用 *Lagrange* 插值多项式进行分段插值计算,得到等时距序列

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$$

作一阶累加生成 $I-AGO$

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

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

一次累加数据系列弱化了原始数据序列的随机性,增强了规律性。灰色系统理论把上述经过一定处理后的数据序列(生成列)称为“模块”,认为由已知的白数据构成的模块是白色模块,而由白色模块外推到未来的模块,即由预测值构成的模块是灰色模块。对 $1-AGO$ 建立下述白化形式的微分方程

$$\begin{cases} \frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = b \\ X^{(1)}(1) = X^{(0)}(1) \end{cases}$$

对 $X(l)$ 作紧邻均值生成,令:

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

$$z^{(1)}(k) = ax^{(1)}(k) + (1-a)x^{(1)}(k-1)$$

$$a \in [0,1], k = 2, 3, \dots, n$$

采用自动寻优定权的方法，先确定模型预测精度检验指标，给定一接近于零的初始权值 $\alpha \approx 0$ ，计算出在该权值下的模型预测精度，然后令权值增加 $\Delta\alpha$ ，重复上述过程，直到 $\alpha \approx 1$ 。然后选取预测精度最高时的权值作为背景取值时的最佳权值。得：

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$$

利用最小二乘法求解参数 a 、 b ：

设 $\hat{a} = (a, b)^T$ 为参数列,且

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$
$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

则方程的解(也称时间响应函数)为：

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

由此可知, $X(1)$ 的灰色预测模型为:

$$\hat{x}^1(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a}; k = 1, 2, \dots, n$$
$$\beta = \frac{b}{1 + 0.5a}, \alpha = \frac{a}{1 + 0.5a}$$

可得 $\hat{x}^1(1)$ 的还原值即 $x^{(0)}$ 的灰色预测模型为：

$$\hat{X}^{(0)}(k) = \beta - \alpha x^{(1)}(k-1); k = 1, 2, \dots, n \quad (\text{公式 4-8})$$

然后通过误差检验、关联度检验、后验差检验等模型精度检验方法判断模型精度是否可以用于预测，其中平均相对误差 Δ 和模拟误差都要求越小越好，关联度 r 要求越大越好，均方差比值 C 越小越好,以及小误差概率 p 越大越好。对于 Δ, γ, C, p 的一组取值，查表 4-3 就能确定检验模型模拟精度的一个等级。

表 4-3 精度检验等级参照表

	相对误差	关联度	均方差比值	小误差概率
一级好	0.01	0.9	0.35	0.95
二级合格	0.05	0.8	0.50	0.80
三级勉强	0.1	0.7	0.65	0.70

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

四级不合格	0.2	0.6	0.80	0.60
-------	-----	-----	------	------

第五章 模型求解

5.1 基于蒙特卡洛的模糊层次分析模型

5.1.1 判断矩阵与指标权重

按照模糊比较意义将比较因素与被比较因素进行比较，把相应的模糊标度记号标在下表的方格中。以中间层 B 为例，建立 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 指标间的模糊判断矩阵，如表 5-1 所示。

表 5-1 B 层的模糊判断矩阵

A	B_1	B_2	B_3
B_1	=	<	<<
B_2	>	=	<
B_3	>>	>	=

根据表中的模糊标度记号及意义，将表 5-1 的模糊判断矩阵改写为相应的标记符号矩阵 $A(3,3)$ 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 7 \\ 2 & 1 & 6 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

根据上述蒙特卡洛模拟步骤，并结合功能强大的计算机，采用 *Matlab* 语言编制蒙特卡洛模拟求解矩阵特征向量的应用程序。当模拟次数为 10000 次时，解得 $WB = (0.5714, 0.2857, 0.1429)$ ，此时根据式(1)可得 $CR = \frac{CI}{RI} = 0 \leq 0.1$ ，满足要求。

由于人为干扰强度在给定的数据中没有具体的量化值，因此经查阅相关资料后设定过牧区人为干扰强度因子为 0.75，开垦区人为干扰强度为 0.5，轮牧区人为干扰强度为 0.25。同理可以求得 3 个中间因子层的各个影响因子间的标记符号矩阵及其各自的权重向量如下。

(1) 草本因子 B_1 最底层的标记符号矩阵为：

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 6 & 8 \\ 3 & 1 & 6 & 7 \\ 2 & 2 & 1 & 6 \\ 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

其权重为： $WC_1 = (0.0902, 0.0744, 0.267, 0.5873)$, $CR = 0.0941 \leq 0.1$

(2) 灌木因子 B_2 最底层的标记符号矩阵为：

$$B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 6 & 8 \\ 3 & 1 & 6 & 7 \\ 2 & 2 & 1 & 6 \\ 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

其权重为： $WC_1 = (0.0744, 0.2007, 0.1207, 0.6042)$, $CR = 0.0244 \leq 0.1$

(3) 动物因子 B_3 最底层的标记符号矩阵为：

$$B_3 = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 1 & 9 \\ 2 & 1 & 6 & 8 \\ 1 & 6 & 1 & 9 \\ 5 & 4 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

其权重为： $WC_1 = (0.269, 0.4356, 0.2434, 0.052)$, $CR = 0.0256 \leq 0.1$

5.1.2 各影响因素的总层次排序

由表 5-2 可得到生态退化的 12 个影响因素按照权重从小到大的排列顺序。

表 5-2 生态退化 12 个影响因子的总层次排序

排序	因素	权重
1	C_{12}	0.01
2	C_{11}	0.01
3	C_{21}	0.02
4	C_{31}	0.03
5	C_{23}	0.03
6	C_{13}	0.04
7	C_{22}	0.06
8	C_{14}	0.08
9	C_{32}	0.14
10	C_{34}	0.15
11	C_{24}	0.17
12	C_{33}	0.25

由于模糊给出法将 *AHP* 中的点判断(即清晰判断)改为区间判断(模糊判断), 这样更接近实际判断过程, 也易于充分借助现有的计算功能强大的计算机, 可降低工作强度, 节省劳动成本。该模糊层次分析法具有简单、有效和实用的特点, 易应用于工程实际。运用该方法对生态退化各影响因子的相对重要性进行权重大小排序, 根据排序结果可见, 在生态退化中小毛足鼠生物量影响最大, 其次是灌木密度, 最不重要的是草本高度跟草本覆盖面积。如表 5-2 所示。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

5.2 基于聚类分析的生态退化评估模型

5.2.1 不同人类干扰下生态退化程度

根据模糊层次分析结果，得出不同干扰下生态退化程度指数图。指数越高表明生态抵抗退化能力越强，反之越低表明生态退化能力越强。

(1) 过牧区生态退化程度

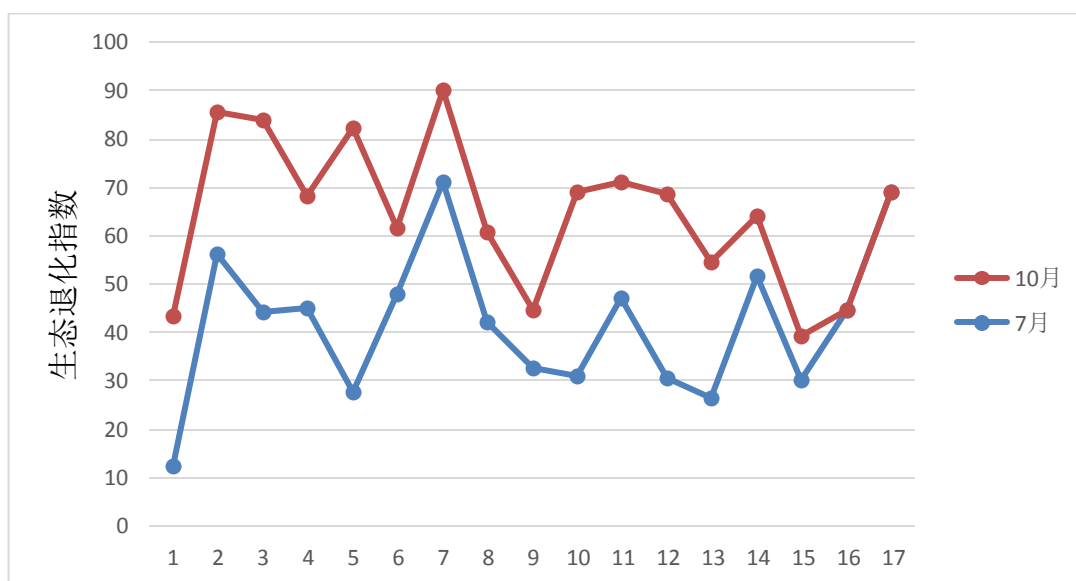


图 5-1 过牧区生态退化指标

由表可得过牧干扰下生态退化较为严重的分别有 7 月份的区域 1。

(2) 轮牧区生态退化程度

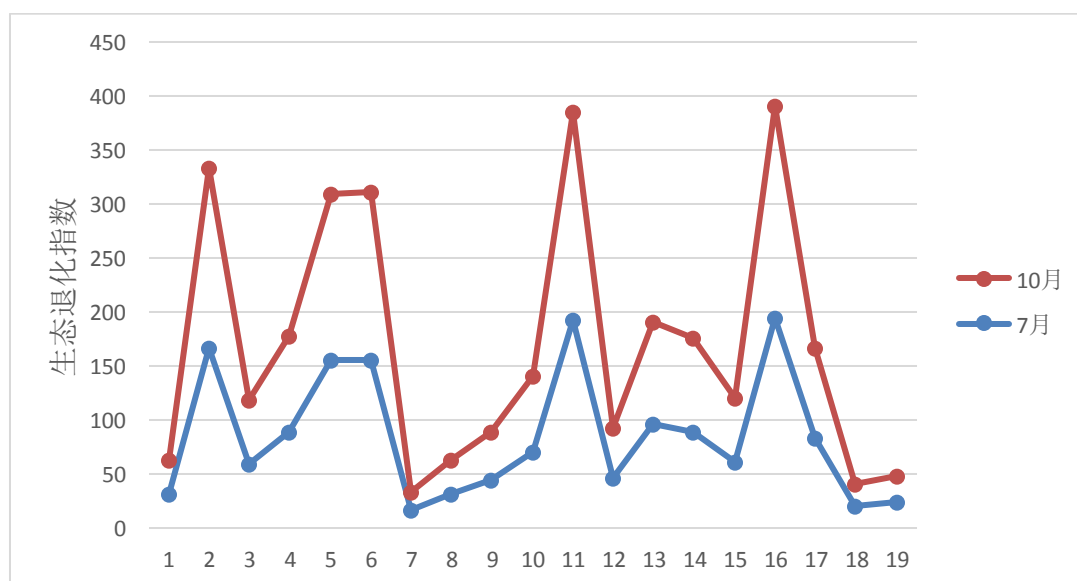


图 5-2 轮牧区生态退化指标

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

由表可得轮牧干扰下生态退化较为严重的分别有 7 月份的区域 7，区域 8 以及 10 月份的区域 7，区域 8，区域 18。

(3) 开垦区生态退化程度

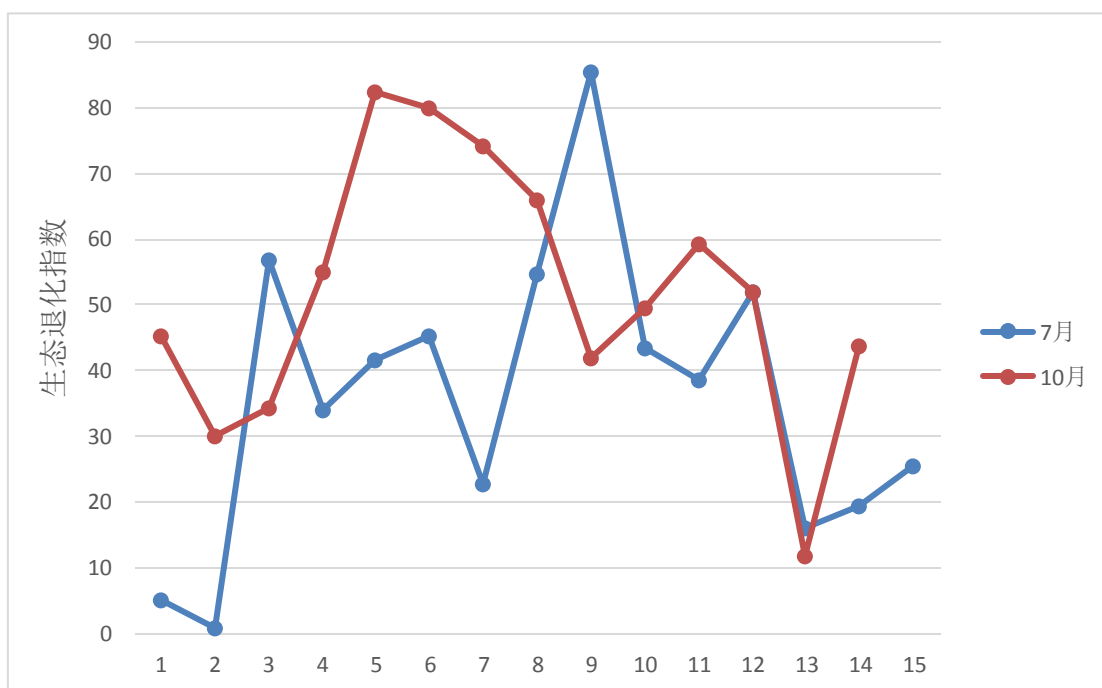


图 5-3 开垦区生态退化指标

由表可得开垦区干扰下生态退化较为严重的分别有 7 月份的区域 2，区域 13 以及 10 月份的区域 13。

5.2.2 生态退化程度聚类

利用 SPSS 中的样品 (Q 型) 聚类，对总体生态系统退化得分进行聚类分析。我们将生态退化程度分为 4 类，分别为正常状态、轻度退化状态、中度退化状态和严重退化状态。

(1) 聚类结果分析

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会

电话：0471-4969085

邮编：010021

#4553

网址：www.tzmcm.cn

Email: 2015@tzmcm.cn

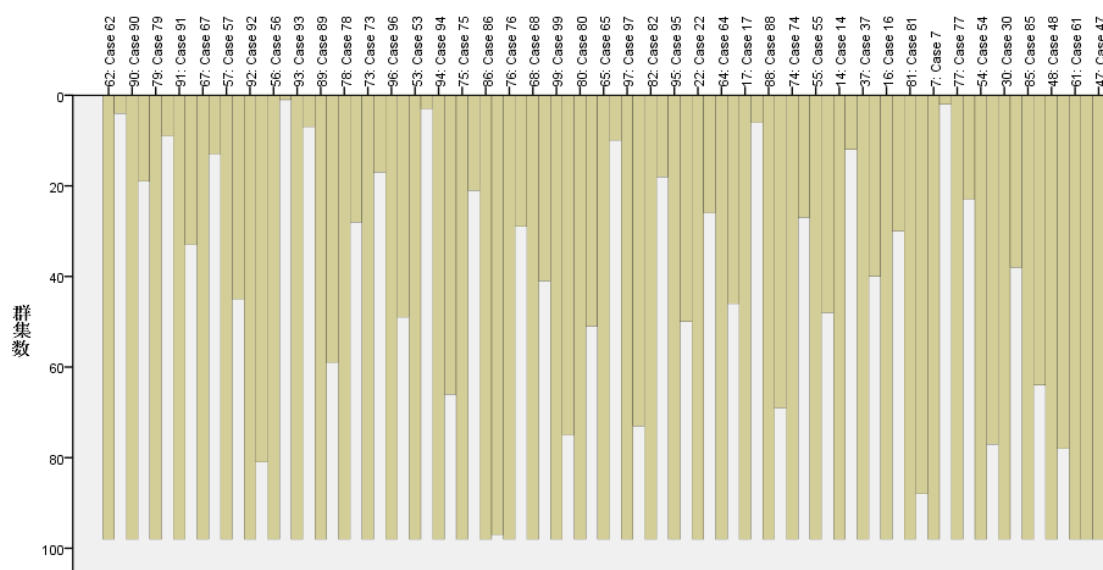


图 5-4 聚类结果的冰状图

以上为部分聚类结果冰状图，从中我们可以发现前面部分都为开垦区的得分，轮牧区处于中间位置，而过牧区处于末尾，说明开垦区生态得分普遍较高，处于较为稳定的状态，而过目去生态系统退化程度最高，处于最不稳定的状态。

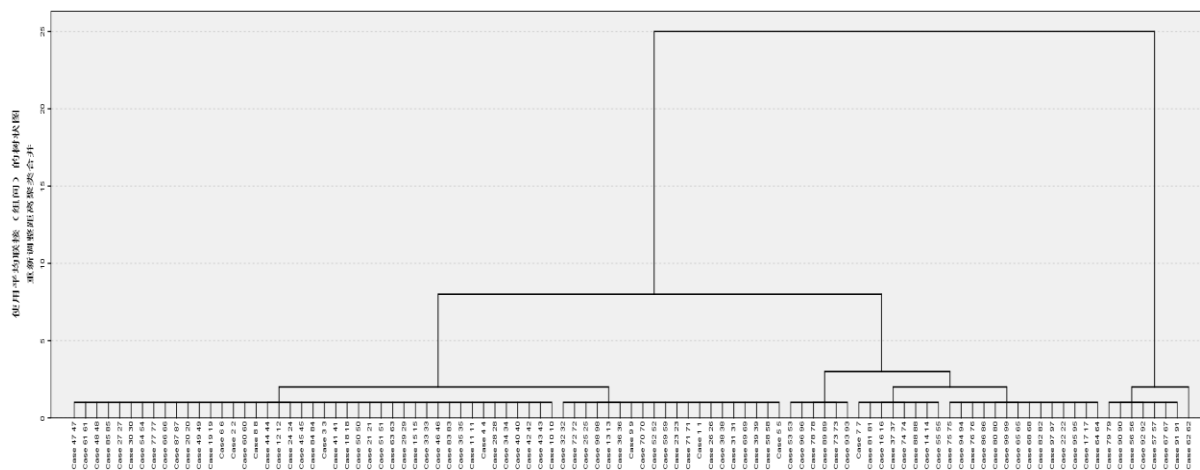


图 5-5 聚类结果的树状图

图 5-5 为聚类结果的树状图，从图中不难发现过牧与轮牧大部分处于严重退化状态，开垦区则一部分处于轻度退化状态，一部分处于中度退化状态，极少部分处于正常状态与严重退化状态，这与之前的研究保持一致。

(2) 过牧区生态系统退化程度分析

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

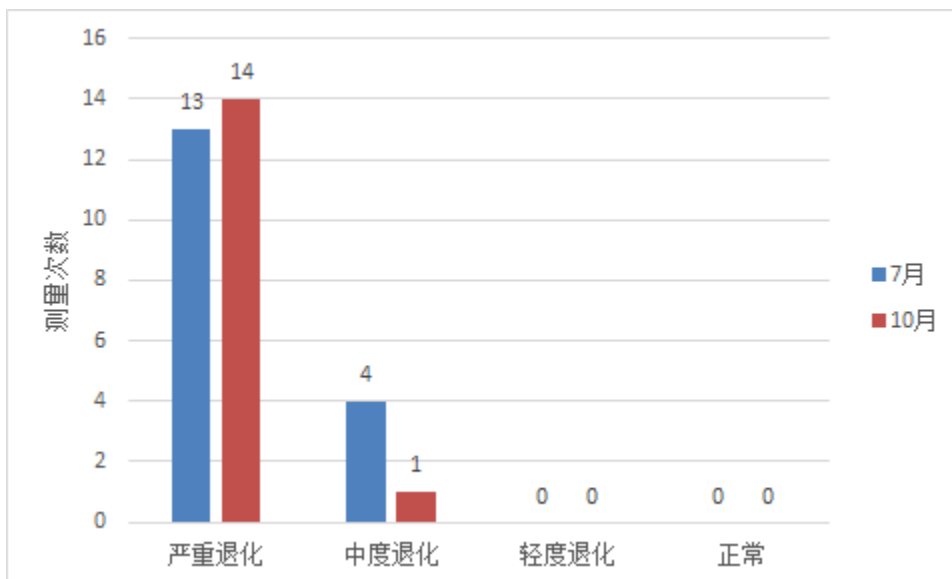


图 5-6 过牧区生态退化统计

我们对过牧区的生态退化得分进行聚类后，根据月份对每一种退化类型进行统计，并绘制出条形统计图。从上图我们可以知道，处于退化状态的次数为 27 次，所占比例为 84.37%，处于半退化状态的次数为 5 次，所占比例为 15.63%，没有处于轻微退化状态和正常状态。因此，我们可以得出，过牧区对生态系统破坏性强，长时间过牧会使生态系统长期处于严重退化的状态，建议避免过牧的发生，减少过牧区的数量。

(3) 轮牧区生态系统退化程度分析

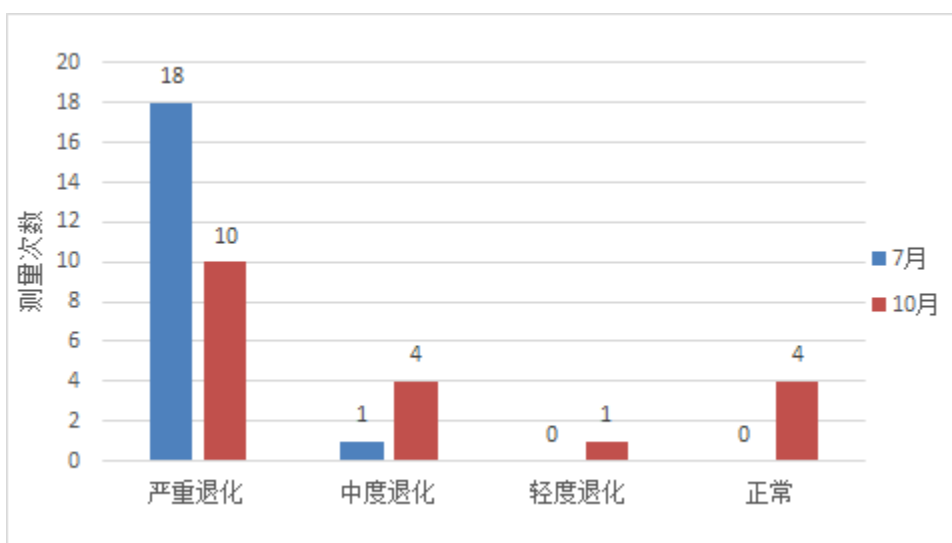


图 5-7 轮牧区生态退化统计

我们对轮牧区的生态退化得分进行聚类后，根据月份对每一种退化类型进行

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

统计，并绘制出条形统计图。从上图我们可以知道，处于退化状态的次数为 28 次，所占比例为 73.68%，处于半退化状态的次数为 5 次，所占比例为 13.16%，处于轻微退化状态和正常状态为 5 次，所占比例为 13.16%。因此，我们可以得出，7 月份轮牧区的退化程度较严重，而 10 月份轮牧区的退化程度较 7 月份相对低，所以 7 月份轮牧对生态系统破坏性强，长时间轮牧会使生态系统长期处于严重退化的状态，建议避免 7 月份时的轮牧，在 10 月份进行合理轮牧。

(4) 开垦区生态系统退化程度分析

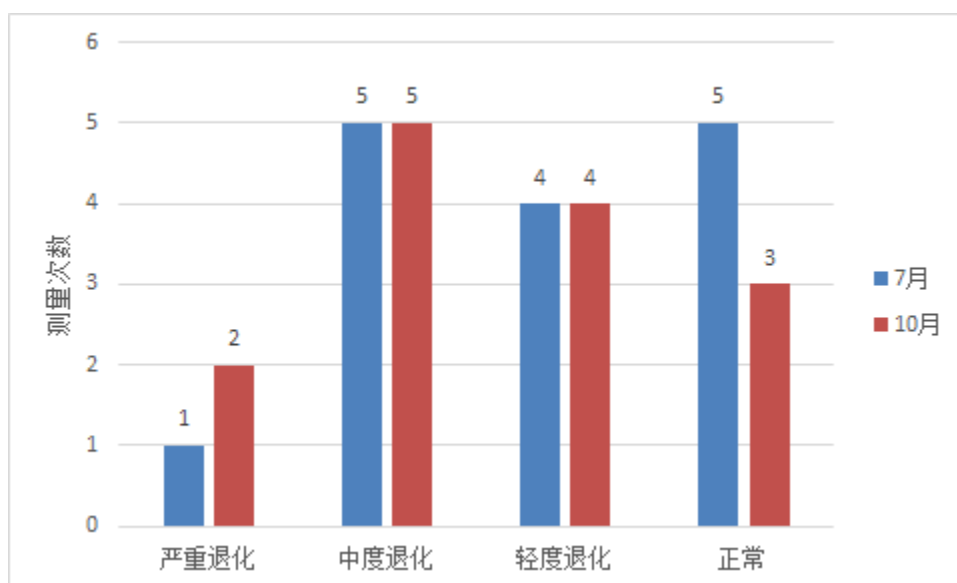


图 5-8 开垦区生态退化统计

我们对开垦区的生态退化得分进行聚类后，根据月份对每一种退化类型进行统计，并绘制出条形统计图。从上图我们可以知道，处于退化状态的次数为 3 次，所占比例为 10.34%，处于半退化状态的次数为 10 次，所占比例为 34.48%，处于轻微退化状态和正常状态的次数为 16 次，所占比例为 55.17%。因此，我们可以得出，开垦区对生态系统破坏性低，长时间开垦对生态系统退化影响不大，建议继续发展。

经过观察我们可以发现，处于退化状态的生态系统得分区间为 0~31.71，即生态系统退化得分在此区间内则系统处于退化转态；处于半退化状态的生态系统得分区间为 31.71~55.16，即生态系统退化得分在此区间内则系统处于半退化转态；处于轻微退化状态的生态系统得分区间为 55.16~74.27，即生态系统退化得分在此区间内则系统处于轻微退化转态；最后处于正常状态的生态系统得分为 74.27 以上，本题中最高得分为 85.53。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

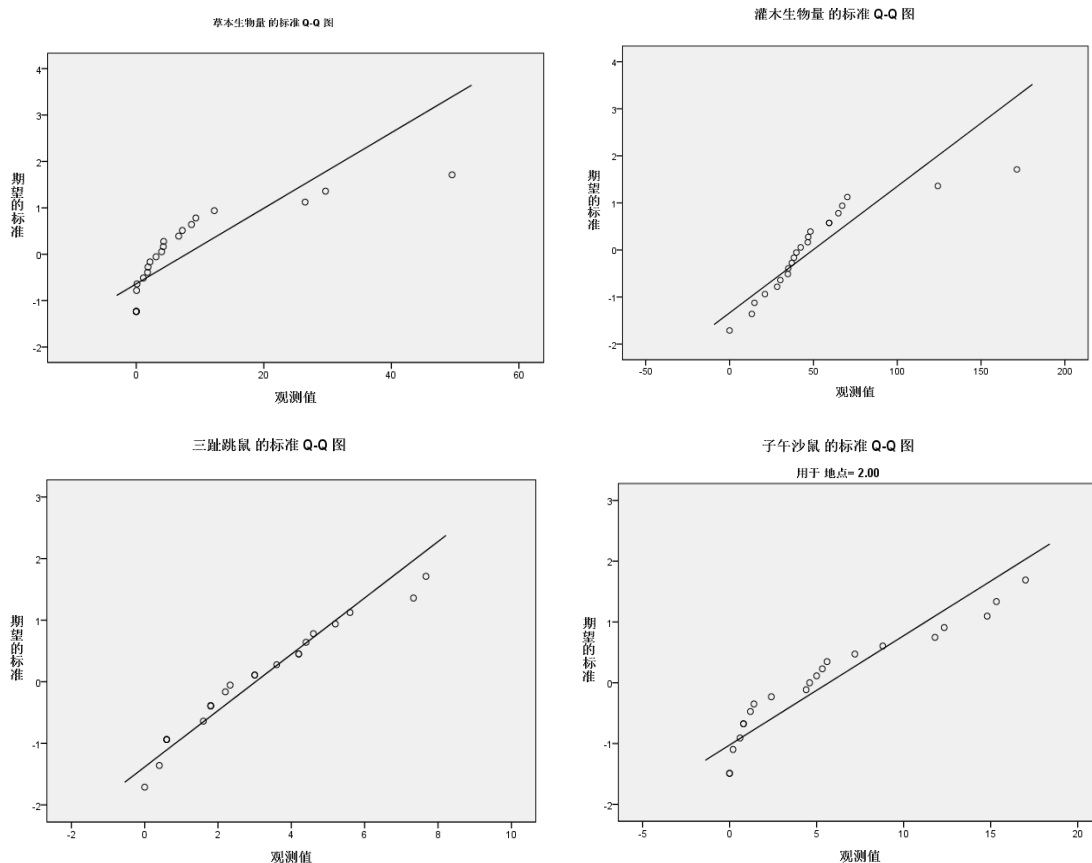
5.3 生态恢复模型

5.3.1 相关性分析

(1) 正态性检验

在进行相关性检验之前，我们需要对数据进行正态性检验，以便于确定选择 *Pearson*（皮尔逊）相关系数或者 *Spearman*（斯皮尔曼）相关系数。如果数据呈正态分布，则选择 *Pearson*（皮尔逊）相关系数进行计算；不符合正太分布，则选择 *Spearman*（斯皮尔曼）相关系数进行计算。

运用SPSS中的探索性分析，可以得到不同干扰下各个月份的正态分布情况，各月份的正态分布情况如下：



第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085
邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

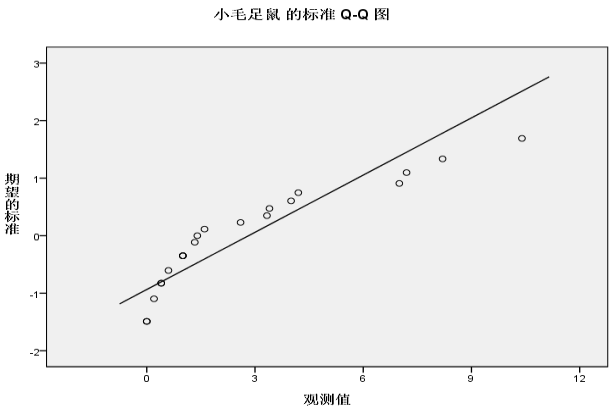


图 5-9 过牧区正态分布图

这里给出了过牧区域的正态分布图，图中的斜线是正态分布的标准型，散点图是实际数据的取值，散点图组成的曲线月接近直线，表示数据越接近正态分布。由此可知，动植物生物量的变化基本符合正态分布

(2) 相关性检验

由上部分分析结果可知，各数据基本符合正太分布，因此选取Pearson（皮尔逊）相关系数进行相关性分析，过牧区各因素与生态退化程度相关性分析结果如下：

表 5-3 过牧区各因素与生态退化程度相关性分析结果

影响因素	检验值	生态退化程度	影响因素	检验值	生态退化程度
草本高度	Pearson 相关性	.153	灌木高度	Pearson 相关性	-.363 [*]
	显著性（双侧）	.403		显著性（双侧）	.041
	N	32		N	32
草本盖度	Pearson 相关性	.544 ^{**}	灌木盖度	Pearson 相关性	-.177
	显著性（双侧）	.001		显著性（双侧）	.333
	N	32		N	32
草本密度	Pearson 相关性	.926 ^{**}	灌木密度	Pearson 相关性	.112
	显著性（双侧）	.000		显著性（双侧）	.543
	N	32		N	32
草本生物量	Pearson 相关性	.444 [*]	灌木生物量	Pearson 相关性	.168
	显著性（双侧）	.011		显著性（双侧）	.358
	N	32		N	32
三趾跳鼠生物量	Pearson 相关性	.214	小毛足鼠生物量	Pearson 相关性	-.103
	显著性（双侧）	.240		显著性（双侧）	.574
	N	32		N	32
子午沙鼠生	Pearson 相关性	.256			

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

物量	显著性（双侧）	.158
	N	32

*. 在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

**. 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

由表可知草本盖度、草本密度以及草本生物量与生态系统退化程度显著相关，相关系数分别为0.544、0.926、0.444，显著性分别为0.001、0.000、0.011，而其他影响因素与生态退化虽然有一定的相关性，但没有达到显著相关，故可以不予考虑。因此，对于制定措施时，我们只需考虑草本盖度、草本密度以及草本生物量这三种因素的控制即可。

对轮牧区各影响因素和生态退化程度进行相关性分析，结果如下：

表 5-4 轮牧区各因素与生态退化程度相关性分析

影响因素	检验值	生态退化程度	影响因素	检验值	生态退化程度
	Pearson 相关性	.065		Pearson 相关性	.333*
草本高度	显著性（双侧）	.699	灌木密度	显著性（双侧）	.041
	N	38		N	38
	Pearson 相关性	.571**		Pearson 相关性	.609**
草本盖度	显著性（双侧）	.000	灌木生物量	显著性（双侧）	.000
	N	38		N	38
	Pearson 相关性	.888**	三趾跳鼠生物量	Pearson 相关性	-.233
草本密度	显著性（双侧）	.000		显著性（双侧）	.160
	N	38		N	38
	Pearson 相关性	.558**	子午沙鼠生物量	Pearson 相关性	-.121
草本生物量	显著性（双侧）	.000		显著性（双侧）	.468
	N	38		N	38
	Pearson 相关性	-.312	小毛足鼠生物量	Pearson 相关性	-.280
灌木高度	显著性（双侧）	.057		显著性（双侧）	.088
	N	38		N	38
	Pearson 相关性	.265			
灌木盖度	显著性（双侧）	.108			
	N	38			

*. 在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

**. 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

由上可知草本高度、草本盖度、草本密度以及灌木密度与生态系统退化程度显著相关，相关系数分别为0.571、0.888、0.558、0.609，显著性分别为0.699、0.000、0.000、0.333，而其他影响因素与生态退化虽然有一定的相关性，但没有达到显著相关，故可以不予考虑。因此，对于制定措施时，我们只需考虑草本高

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

度、草本盖度、草本密度以及灌木密度这四种因素的控制即可。

对开垦区各影响因素和生态退化程度进行相关性分析，结果如下：

表 5-5 开垦区各因素与生态退化程度相关性分析

影响因素	检验值	生态退化程度	影响因素	检验值	生态退化程度
草本高度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.284 .135 29	灌木密度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	-.052 .787 29
草本盖度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.548** .002 29	灌木生物量	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.036 .853 29
草本密度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.752** .000 29	三趾跳鼠生物量	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	-.155 .421 29
草本生物量	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.524** .004 29	子午沙鼠生物量	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	-.576** .001 29
灌木高度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.160 .408 29	小毛足鼠生物量	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	-.408* .028 29
灌木盖度	Pearson 相关性 显著性（双侧） N	.295 .120 29			

*. 在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

**. 在 .01 水平（双侧）上显著相关。

由上可知草本高度、草本盖度、草本密度与生态系统退化程度显著相关，相关系数分别为0.548、0.752、0.524，显著性分别为0.284、0.002、0.000，而其他影响因素与生态退化虽然有一定的相关性，但没有达到显著相关，故可以不予考虑。因此，对于制定措施时，我们只需考虑草本高度、草本盖度、草本密度的控制即可。

5.3.2 灰色预测分析

根据根据相关性分析结论，构建灰色预测模型，首先对单一因素采取措施，选择逐步增加（减少）的方法，控制该因素的成长。同时对整体个因素的发展趋势利用灰色预测，预测出未来 10 次测量时的值。最终，分别计算未来 10 次测量时的生态系统退化程度，如果出现正常状态，则说明该方法可行。

对单一因素分析过后，我们再对多种因素的综合作用采取措施，同时运用灰

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

色预测未采取措施的各因素未来 10 次测量结果的值。最终，统计未来 10 次测量结果的生态系统退化程度，如果出现正常状态，则说明该多因素控制方法可行。

(1) 轻度生态退化恢复

在模型二中，我们分析得出开垦区大部分时间是处于轻度生态退化状态，极少数时间处于严重退化状态或正常状态。因此，我们选取 10 月开垦区作为轻度生态退化恢复作为恢复样本，并采取不同的措施使其恢复到正常水平。

对于开垦区，对生态退化程度具有显著性相关性的因素有：草本盖度、草本密度、草本生物量、子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量以及人为干扰强度。但是子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量控制不可取，随不考虑其影响。已知人为干扰强度与生态退化程度成反比，所以对人为干扰强度逐步减 5%，一直到其减少到 0 为止。其余因素都与生态退化程度成正比，所以逐步加强 10%。对于其余不显著相关的因素，则利用灰色预测预测其未来 10 次的测量值。

对于控制的影响因素，我们将其未来 10 次的测量结果绘制成折线图，具体结果如下：

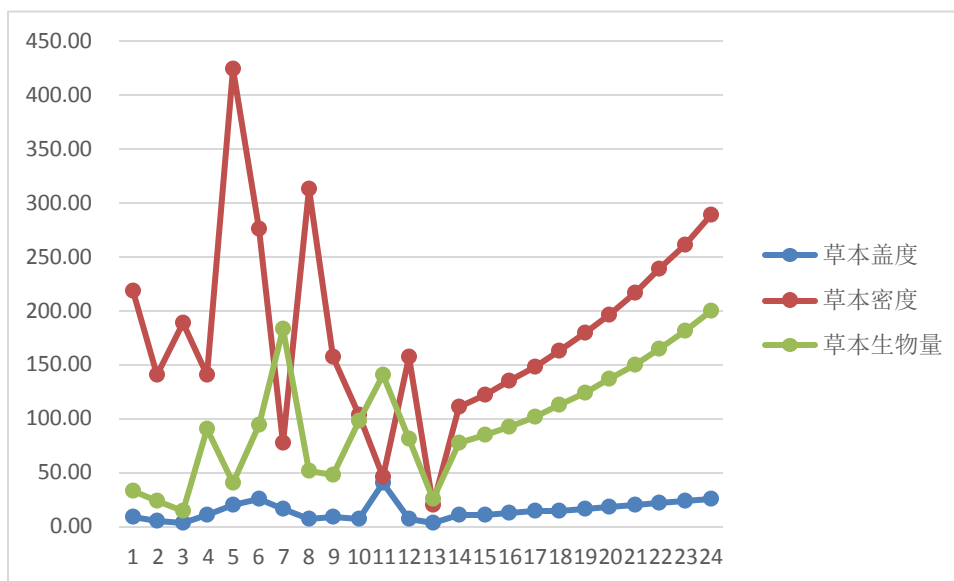


图 5-10 控制因素变化趋势

对于未控制的影响因素，我们将其未来 10 次的预测结果绘制成折线图，具体结果如下：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

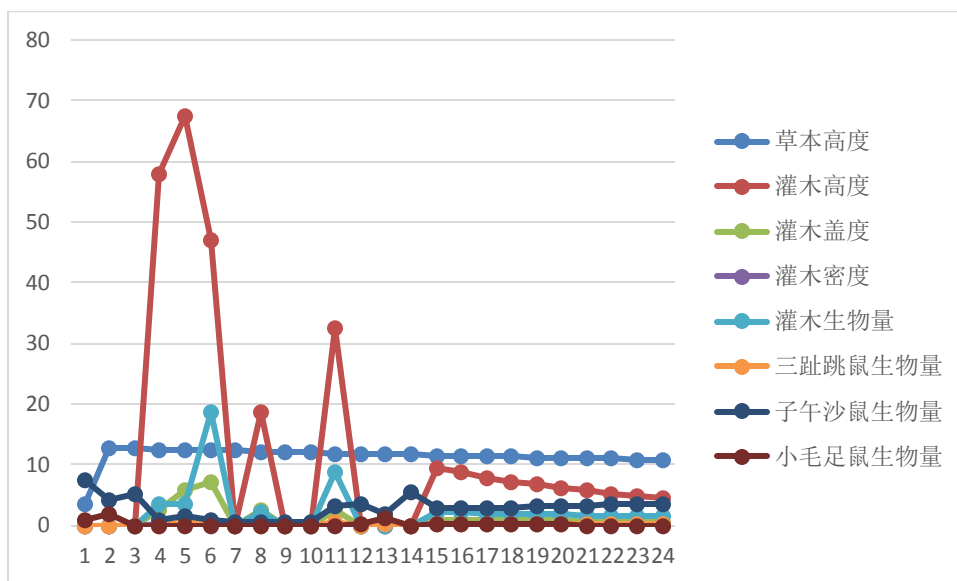


图 5-11 未控制因素预测

同时，我们利用第一问中的两个模型，对未来 10 次测量的生态退化程度进行计算，并将总体变化趋势绘制成折线图，结果如下：

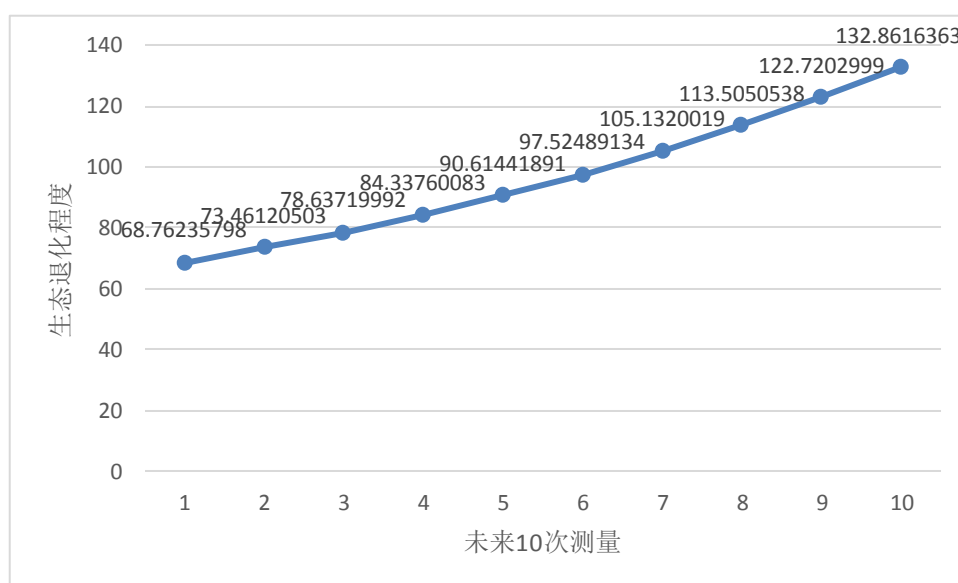


图 5-12 轻度退化恢复效果

由图可知，未来第一次测量为 68.7623，处于轻度退化状态；在第 3 次测量时生态退化程度为 78.6371，已经恢复为正常状态。所以，对有效因子草本盖度、草本密度、草本生物量每次测量之前增加 10%，对人为干扰强度每次减少 5%，可以使得轻度退化在未来第 3 次测量时恢复为正常状态。

(2) 中度生态退化恢复

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

在模型二中，我们分析得出轮牧区大部分时间是处于中度生态退化状态，极少数时间处于严重退化状态或正常状态。因此，我们选取 10 月轮牧区作为中度生态退化恢复作为恢复样本，并采取不同的措施使其恢复到正常水平。

对于轮牧区，对生态退化程度具有显著性相关性的因素有：草本盖度、草本密度、草本生物量、灌木密度、灌木生物量以及人为干扰强度。但是子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量控制不可取，随不考虑其影响。已知人为干扰强度与生态退化程度成反比，所以对人为干扰强度逐步减 5%，一直到其减少到 0 为止。其余因素都与生态退化程度成正比，所以逐步加强 13%。对于其余不显著相关的因素，则利用灰色预测预测其未来 10 次的测量值。

对于控制的影响因素，我们将其未来 10 次的测量结果绘制成折线图，具体结果如下：

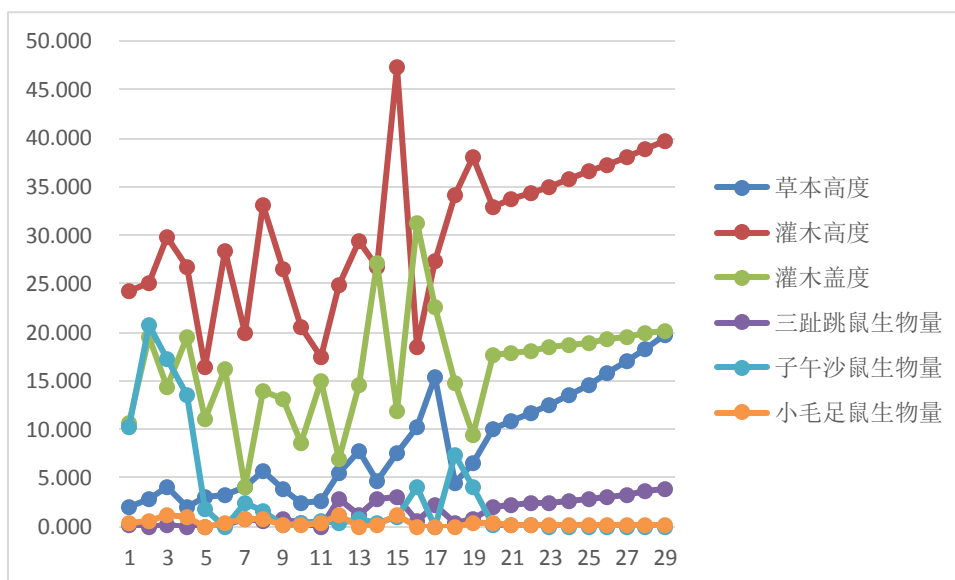


表 5-13 未控制因素预测

对于未控制的影响因素，我们将其未来 10 次的预测结果绘制成折线图，具体结果如下：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

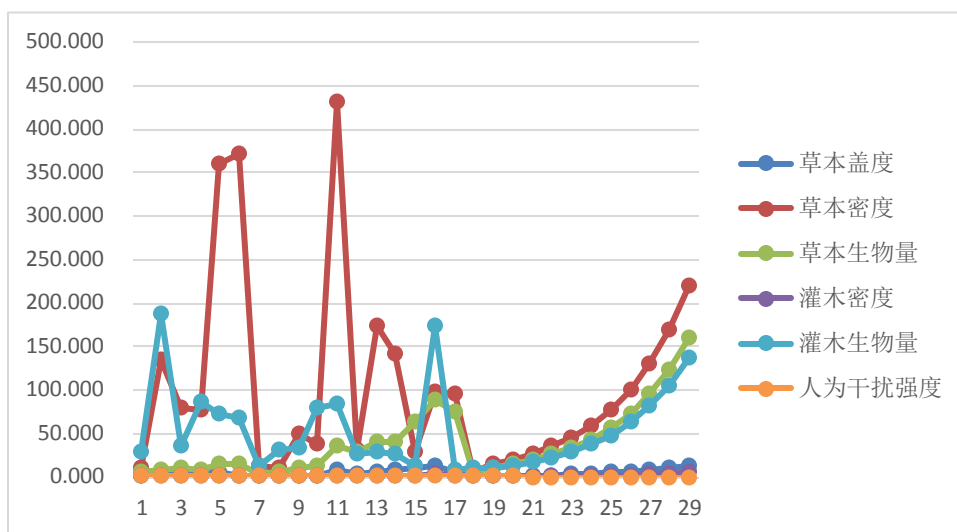


图 5-14 控制因素变化趋势

同时，我们利用第一问中的两个模型，对未来 10 次测量的生态退化程度进行计算，并将其变化趋势绘制成折线图，结果如下：

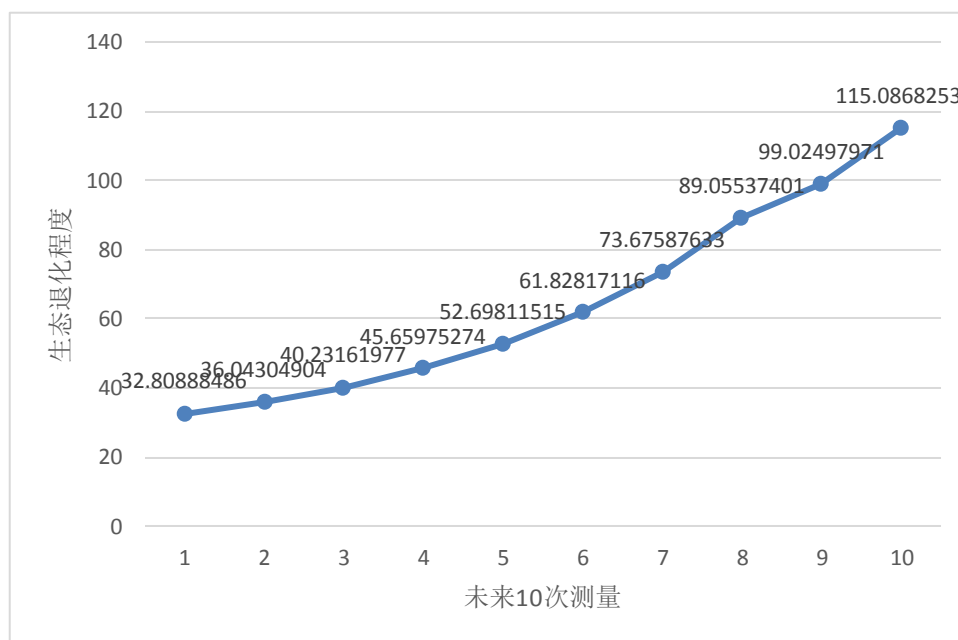


图 5-15 中度退化恢复效果

由图可知，在第 5 次测量时，生态退化程度为 52.698，已经恢复成轻度退化，在第 8 次测量时，生态退化程度为 89.055，正式恢复为正常水平。所以，对于中度退化状态的生态系统，对有效因子草本盖度、草本密度、草本生物量、灌木密度、灌木生物量每次测量之前增加 13%，对人为干扰强度每次降低 10%，在未来第 8 次测量时即可恢复为正常状态。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

(3) 严重生态退化恢复

在模型二中，我们分析得出过牧区大部分时间是处于严重生态退化状态，少数时间处于中度退化状态。因此，我们选取 10 月过牧区作为严重生态退化恢复作为恢复样本，并采取不同的措施使其恢复到正常水平。

对于开垦区，对生态退化程度具有显著性相关性的因素有：草本盖度、草本密度、草本生物量、子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量以及人为干扰强度。但是子午沙鼠生物量、小毛足鼠生物量控制不可取，随不考虑其影响。已知人为干扰强度与生态退化程度成反比，所以对人为干扰强度逐步减 5%，则第 10 次检测是，人为干扰强度为 25%。其余因素都与生态退化程度成正比，所以逐步加强 15%。对于其余不显著相关的因素，则利用灰色预测预测其未来 10 次的测量值。

对于控制的影响因素，我们将其未来 10 次的测量结果绘制成折线图，具体结果如下：

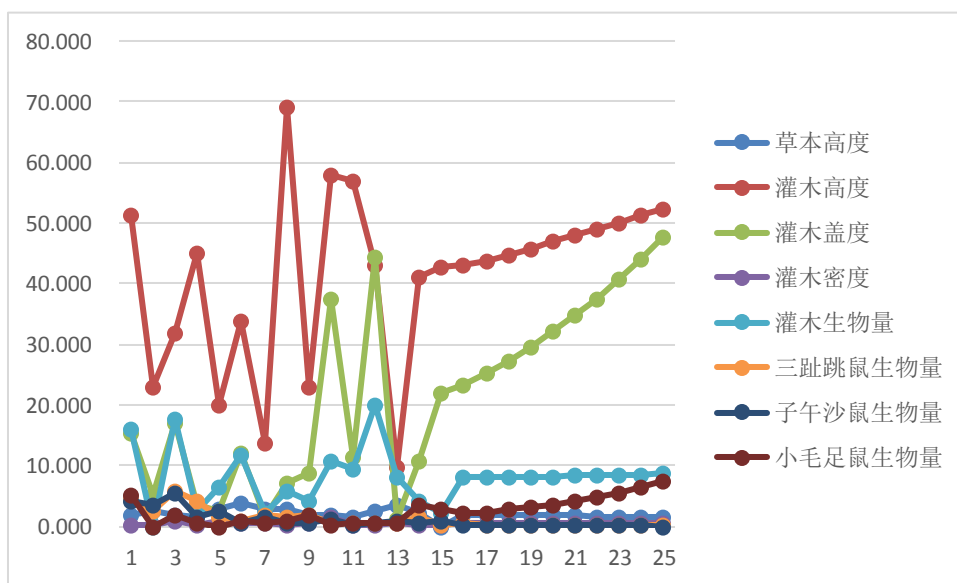


图 5-16 未控制因素预测

对于未控制的影响因素，我们将其未来 10 次的预测结果绘制成折线图，具体结果如下：

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

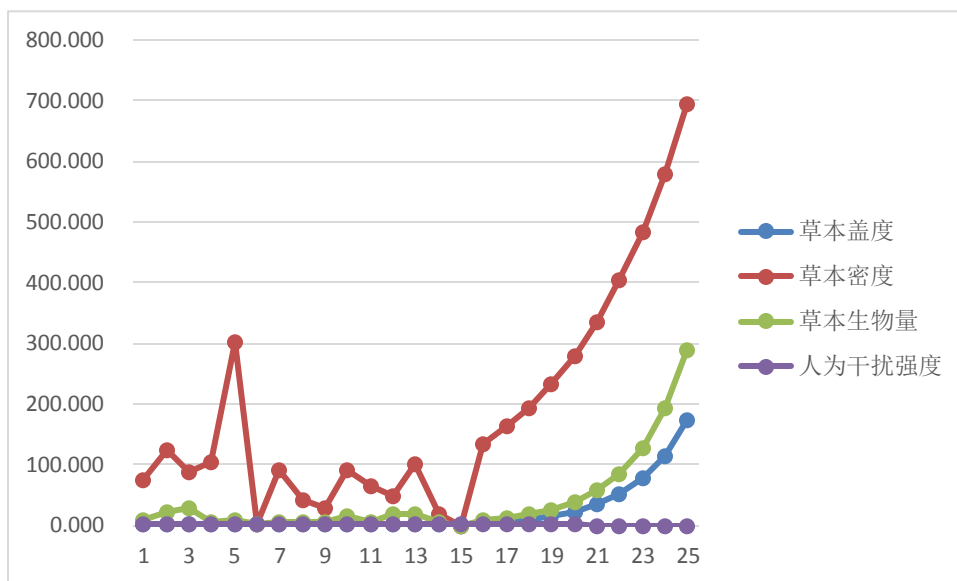


图 5-17 控制因素变化趋势

同时，我们利用第一问中的两个模型，对未来 10 次测量的生态退化程度进行计算，并将其变化趋势绘制成折线图，结果如下：

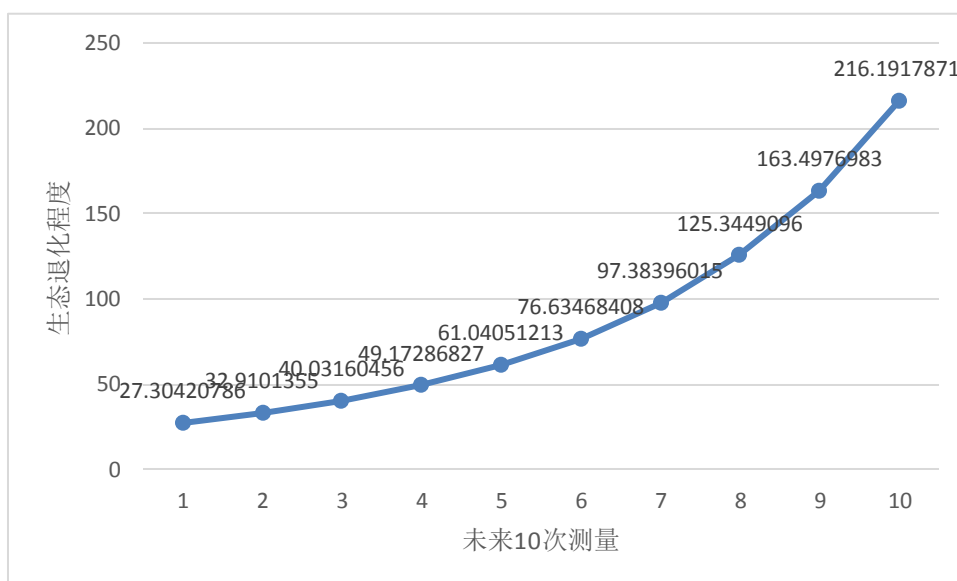


图 5-18 严重退化恢复效果

由图可知，在第3次测量时，生态退化程度为40.0316，已经恢复成中度退化；在第5次测量时，生态退化程度为61.04051，恢复为轻度退化状态；在第6次测量时，生态退化程度为76.6346，正式恢复为正常水平。所以，对于中度退化状态的生态系统，对有效因子草本盖度、草本密度、草本生物量、灌木密度、灌木生物量每次测量之前增加15%，对人为干扰强度每次降低15%，在未来第6次测量时即可恢复为正常状态。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

第六章 模型评价

6.1 模型的优点

- (1) 模型一选用优化后的蒙特卡洛的模糊层次分析法构建模型，较为准确的估计出了各项指标对环境退化的影响度进行了排序。
- (2) 同时根据聚类分析对生态退化评估构建了模型，完成了对不同干扰下生态环境的退化程度评估，具有较高的可信度。
- (3) 模型二通过相关性分析得出有效因数，对数据进行优化筛选，提高了模型的准确度。
- (4) 通过构建灰色预测模型，对人为干扰以及人工植被影响生态恢复的能力有了量化的渠道，总结出了具有一定可靠性的生态恢复方法。

6.2 模型的不足

- (1) 在构建模糊层次分析时最底层因子中的人为干扰因素没有具体可量化的值，因此在定义其值上具有一定的主观性。
- (2) 由于构建的模型为连续性灰色预测模型，而数据中可能包含离散性数据，因此在结果预测中可能有一定偏差。

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

参考文献

- [1] 陈庆诚、赵松岭、杨凤翔，针茅草原放牧演替中种群消长的数学模型，植物学报，第 23 卷第 4 期，2-4, 1981
- [2] 王让会，西部干旱区退化生态系统模式研究，中国生态农业学报，第 9 卷第 3 期，2-4, 2001
- [3] 王仁忠、李建东，羊草草地放牧退化演替中种群消长模型的研究，植物生态学报，第 19 卷第 2 期，3-5, 1995
- [4] 王娇、魏忠平，我国西部荒漠退化生态系统的治理技术研究，防护林科技，第 5 期，1-3, 2009
- [5] 赵振勇、王让会、张慧芝、孙洪波，塔里木河下游荒漠生态系统退化机制分析，中国沙漠，第 26 卷第 2 期，5-6, 2006
- [6] 杜晓军、高贤明、马克平，生态系统退化程度诊断，植物生态学报，第 27 卷第 5 期，6-8, 2003
- [7] 王兵、郭浩、王燕，森林生态系统健康评估研究进展，中国水土保持科学，第 5 卷第 3 期，4-5, 2007
- [8] 许建国、李好好、吴静，全国各地区经济发展水平比较——基于改进层次分析法的模糊综合评价模型，中国管理科学，第 13 卷，2-4, 2005
- [9] 张子楠，基于 *AHP-FCM* 的大型工程项目管理成熟度模型构建与评价，项目管理技术，第 13 卷第 2 期，2-3, 2015
- [10] 李志辉、罗平，PASW/SPSS 统计分析教程，北京，电子工业出版社，2001
- [11] 鲁迪、梁亚红，基于熵权法的平顶山市生态退化测度评价，中国矿业，第 23 卷第 8 期，3-4, 2014
- [12] 卢昌义、吝涛、叶勇，红树林生态退化机制评估指标体系构建与漳江河口案例研究，台湾海峡，第 30 卷第 1 期，4-6, 2011

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

附录

部分数据标准化结果（7月过牧）

Z 草本高度	Z 草本盖度	Z 草本密度	Z 草本生物量	Z 灌木高度	Z 灌木盖度	Z 灌木密度	Z 灌木生物量	Z 三趾跳鼠	Z 子午沙鼠	Z 小毛足鼠
-.925	-.69	-.92	-.64	2.41	1.13	.01	-1.34	.26	1.87	.60
.192	-.67	-.76	-.63	-.43	2.27	2.66	.55	.54	.91	2.35
-.488	-.66	-.21	-.55	.52	-.31	-.68	-.04	-.01	-.06	-.55
-.051	-.51	-.71	-.49	-.02	-.37	-.10	.26	.54	.05	-.48
-.925	-.69	-.92	-.64	-.13	-.51	-.68	-.34	1.00	-.33	-.38
.313	-.15	.33	.12	.39	.11	-.45	-.30	-.65	-.97	-.52
.216	.39	.96	.36	-.42	.05	-.10	.41	-1.20	-1.02	-.62
.216	.03	-.48	-.05	-.47	.09	-.45	-.07	-1.11	-1.02	-.66
-.051	-.66	-.88	-.63	2.44	-.65	-.79	-.27	-1.11	-.81	-.69
-.051	-.33	-.52	-.31	-.76	-.83	-.33	-.39	-.56	-.70	-.73
.386	-.51	-.68	-.29	.92	-.49	-.45	.26	-1.11	-.70	-.38
.331	-.15	-.08	-.10	.10	-.48	-.33	-.77	-.38	-.70	-.38
-.452	-.62	-.78	-.49	-.54	-.21	.47	-.52	-.56	-.81	-.20
.313	1.11	.23	1.78	-.77	.76	-.33	-.40	-.01	-.70	-.38
-.561	.03	.15	.07	.14	-.51	-.82	-.94	1.97	.74	-.17
-.634	1.11	1.97	-.39	-1.11	-1.49	-.79	-.98	-.32	1.46	-.11
-.634	.39	2.42	-.29	-.07	-1.39	-.67	-.20	2.13	1.28	-.17

模糊层次分析法 matlab 求解代码：

```
clear;
clc;
E=input('输入计算精度 e:');
Max=input('输入最大迭代次数 Max:');
F=input('输入优先关系矩阵 F:');
%计算模糊一致矩阵
N=size(F);
r=sum(F');
for i=1:N(1)
    for j=1:N(2)
        R(i,j)=(r(i)-r(j))/(2*N(1))+0.5;
```

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

```
end
end
E=R./R';
% 计算初始向量 -----
% W=sum(R')./sum(sum(R)); % 和行归一法
%-----
for i=1:N(1)
    S(i)=R(i,1);
    for j=2:N(2)
        S(i)=S(i)*R(i,j);
    end
end
S=S^(1/N(1));
W = S./sum(S);% 方根法 %-----
% a=input('参数 a=?');
% W=sum(R')./(N(1)*a)-1/(2*a)+1/N(1); % 排序法
% 利用幂法计算排序向量----V(:,1)=W'/max(abs(W)); % 归一化
for i=1:Max
    V(:,i+1)=E*V(:,i);
    V(:,i+1)=V(:,i+1)/max(abs(V(:,i+1)));
    if max(abs(V(:,i+1)-V(:,i)))
        k=i;
        A=V(:,i+1)./sum(V(:,i+1));
        break
    else
        end
end
end
```

蒙特卡洛法 matlab 求解代码如下：

```
Randn('seed',0);% 设定初始随机变量 seed 为 0
nuT=(r-0.5*sigma^2)*T;% 计算过程，计算 nuT= (r-0.5*sigma^2) *T
Sit=sigma*sqrt(T);% 给 T 开方后乘以 sigma 等于 Sit
Discpayoff=exp(-r*T)*max(0,s0*exp(nuT+sit*randn(Nu,1))-K);% 0 和 s0 乘以 e 的
nuT+sit*randn(Nu,1))-K 的最大值乘以 e 的 -r*T 次方
[eucall,varorice,ci]=normfit(discpayoff)% 返回给定数据 discpayoff 的正太分布参数估计
Randn('seed',0);% 设定初始随机变量 seed 为 0
nuT=(r-0.5*sigma^2)*T;% 计算过程，计算 nuT= (r-0.5*sigma^2) *T
Sit=sigma*sqrt(T);% 给 T 开方后乘以 sigma 等于 Sit
Rand=randn(Nu,1);% 产生 Nu 个随机数，列矩阵
discpayoff=exp(-r*T)*max(0,s0*exp(nuT+sit*rand)-K);% 0 和 s0 乘以 e 的 nuT+sit*rand-K
```

第八届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：数学中国数学建模网络挑战赛组委会
电话：0471-4969085 邮编：010021
#4553

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2015@tzmcm.cn

的最大值乘以 e 的 $-r \cdot T$ 次方

`Discpayoff1=exp(-r*T)*max(0,s0*exp(nuT+sut*-rand)-K);`% 仍然是乘法运算，`max` 的意思是在括号中取他们的最大值

`[eucall,varproce,ci]=normfit([discpayoff;discpayoff1])`% 返回给定数据的正太分布参数估计
% `eucall` 是给定数据的正太分布均值 `mu`，`varproce` 是标准差 `sigma`，95% 置信区间

`Dt=T/NSteps;`% 计算 `Dt`

`Nudt=(r-0.5*sigma^2)*dt;`% 计算过程，计算 `nuT=(r-0.5*sigma^2)*dt`

`Sidt=sigma*sqrt(dt);`% `dt` 的开方然后乘以 `sigma`

`Randn('seed',0);`% 设定初始随机变量 `seed` 为 0

`Rand=randn(NRep1,NSteps);`% 产生 `NSteps` 列，每列 `NRep1` 个随机变量

`% Rand1=nudt+sidt*rand;`

`% Rand1=nudt+sidt*rand;`

`% Rand2=cumsum(rand1,2);`% 这三行都是产生随机变量，

`Path=s0*exp(rand2);`% `Path` 是 e 的 `Rand2` 次方和 `s0` 的乘机

`Payoff=zeros(NRep1,1);`% 产生 4 行 1 列 0 矩阵

`For i=1:Nrep1`% 循环，`i` 从 1 到 `Nrep1`

`Payoff=max(0,mean(path(i,:))-k);`% `payoff` 的值等于 0 和 `path` 的第 `i` 行-`k` 的最大值

`End`% 结束

`[p.aux,CI]=normfit(exp(-r*T)*payoff)`% 返回 `payoff` 乘以 e 的 $(-r \cdot T)$ 次方的正态分布均值 `mu` 和 `sigma`

`% P.aux=mu, CI=sigma`