

## 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](http://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：4612**

**参赛队员（签名）：**

队员 1：焦晨璐

队员 2：陈小锋

队员 3：刘景科

**参赛队教练员（签名）：**

**参赛队伍组别（例如本科组）：本科组**

## 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）：

#4612

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）：

# 2015 年第八届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第一阶段论文

题 目 荒漠区动植物关系的研究

关 键 词 动植物关系 生物量 残差分析 灰色模糊模型

## 摘 要:

本文主要针对荒漠区动植物的关系探究不同干扰对这种关系的影响问题,运用层次分析法、灰色模糊评价法、因子分析法、t 检验法、残差分析法等一系列方法,建立了层次分析模型、灰色关联模型、灰色测度模型、结构方程模型(SEM)等数学模型,综合分析了荒漠区的啮齿动物与植物在过牧和轮牧,夏季与秋季等不同干扰下生物量的变化趋势,并通过研究的数据揭示了啮齿动物生物量与植物生物量的变化关系。最终,通过对啮齿动物群落稳定性进行评估,从评估得到的数据再进一步研究不同干扰环境下啮齿动物群落的影响机制。

针对问题一,利用附件一提供的数据,对应不同问题,建立相应数学模型,从而获得不同干扰对植物生长量与啮齿动物生长量的变化趋势,并揭示不同干扰下的变化关系。首先我们将问题一划分成两个小问题。在研究第一小问时,我们对附件一中的数据按不同层次进行处理,运用层次分析模型,通过 EXCEL 建立折线图,进行对比,分析出不同干扰下,植物地上生物量与动物生物量的变化趋势。而在研究第二小问时,建立灰色关联模型,灰色关联分析方法对受多种因素影响的事物和现象从整体观念出发进行综合评价,它是一个被广为接受的方法,所以我们通过建立灰色关联模型,在计算出相应指标权重后,得到植物生物量与动物生物量之间的关联度,从而通过 MATLAB 进行绘图,以获得啮齿动物生物量与植物生物量的变换关系。

针对问题二,要求对啮齿动物群落稳定性进行研究,并揭示干扰对于啮齿动物群落的影响机制。首先,就群落稳定性而言,由于群落内部食物网络关系及天敌的“跟随”现象,当种类数增加时,个体数相应增加。由灰色系统理论知,累加生成可使离乱的原始数据中蕴含的规律充分显露出来,因此我们此处选用灰色测度模型和灰色聚类法来评估群落稳定性,将反映群落稳定性的指标因子纳入该模型,使得群落稳定性的评价更具有科学性和实用性。其次,求解数据和图像数据来总结不同的干扰下不同的因素指标对啮齿动物群落的影响机制。对于这个问题我们利用结构方程模型(SEM)来同时处理多个因变量。再利用 SPSS 软件,建立 SEM 模型的概念模型,运用其中的回归分析,因子分析,t 检验和方差分析来估计整个模型的拟合程度。最后运用模型方法检验不同干扰对啮齿动物优势种的作用途径,即可求得不同干扰对啮齿动物的影响关系产生影响机制。

同时,本文在最后进行了模型的优缺点评价,以及对各模型进行了改进和推广,分析了某些模型在其他领域的广阔应用前景。

参赛队号: 4612

所选题目: C 题

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## Abstract

In this paper, the study focuses on the relationship between plants and animals in the desert to explore the impact of different interferences of this relationship. Using Analytic Hierarchy Process, Grey fuzzy evaluation method, the method of factor analysis, Method of test for t, the residual analysis method and a series of methods. Analytic hierarchy model, the grey correlation model, Grey evaluation model, Structural equation model and some other models have been established, in order to analyse the change biomass of the rodent and plants in the desert under the different interferences of over grazing or rational grazing between summer and autumn. The relationship between rodent biomass and plant biomass were studied by data. Finally, through the assessment of the stability of rodent community, we could get data. With the data we can do further research to get the effect to rodent communities of different environmental interference.

For the first problem, using the data which provided by the first attachment to establish different mathematical models for different kinds of questions, after which can not only help us get the changing trends on the plant growth and the rodent growth in different interferences, but also reveal the change relationship in the same interferences. Above all, we divided the first problem into two small problems. After that, we began to deal with the data in the first attachment in different administrative levels. During this part of work, we use the Analytical Hierarchy Model and the Line chart created by Excel to compare data, so that we can analyze the change trend of the above-ground plant biomass and the animal biomass in different interferences. When we deal with the second problem, we established the Grey Relational Model. We can see that the Grey Relational Analysis can make a comprehensive evaluation for things that affect by a variety of factors from the overall concepts. Because it is a widely accepted method, we established the Grey Relational Model to obtain the associate degree between the plant biomass and the animal biomass after calculating the corresponding index weights. And then, we painted the pictures on the MATLAB to obtain the Transform relationship between the plant growth and the rodent growth.

For the second problem, we were required to study on the stability of the rodent community, and to reveal the effects of interference in rodent community. First of all, in the case of community's stability, for the food network of the community and "enemy follow" phenomenon, when the number of species increases, the number of individuals have a corresponding increase. But the trend is grey, and can not expose completely. By the theory of grey system, the rule contained by original data can be revealed by accumulated generating. So we choose the grey evaluation model and the grey clustering method to evaluate the stability of community. The factor which can reflect the stability of community would be taken into the model, which makes the evaluation of stability of the community more scientific and practical. Secondly, solving data and the data for image summarized the degree of influence to the rodent community with the different inference. For this problem, we use the Structural equation model (SEM) to handle numbers of dependent variables simultaneously. We use SEM to establish conceptual model, using the regression analysis, factor analysis, Model of test for t and variance analysis to estimate the fitting degree of the model. Finally, using the model test method to check the different inference on pathway of rodent species, which can obtain the different effect on the impact mechanism between rodent.

Meanwhile, this article carried out the advantages and disadvantages of all the models and the analysis of the broad application prospects in other areas for some models while each model is improved and promoted in the final evaluation.

# 荒漠区动植物关系的研究

## 目录

1. 问题重述.....	1
1.1. 背景知识.....	1
1.1.1. 荒漠区环境.....	1
1.1.2. 环境与动植物关系.....	1
1.1.3. 荒漠区动植物关系研究的意义.....	1
1.2. 要解决的问题.....	3
1.2.1. 问题一.....	3
1.2.2. 问题二.....	3
2. 问题的分析.....	3
2.1. 对问题的总分析.....	3
2.2. 对具体问题的分析.....	3
2.2.1. 对问题一的分析.....	3
2.2.2. 对问题二的分析.....	3
3. 模型的假设.....	4
4. 名词解释与符号说明.....	4
5. 模型的建立与求解.....	4
5.1. 问题一的分析与求解.....	5
5.1.1. 对问题的分析.....	5
5.1.2. 对问题的求解.....	5
5.2. 问题二的分析与求解.....	10
5.2.1. 对问题二的分析.....	10
5.2.2. 对问题二的求解.....	10
6. 模型的推广与评价.....	31
6.1. 模型的优点.....	31
6.2. 模型的缺点.....	31
7. 模型的改进.....	32
8. 模型的推广.....	32
9. 给政府的一封信.....	33

## 1. 问题重述

### 1.1. 背景知识

#### 1.1.1. 荒漠区环境

干旱区是全球生态系统中的重要类型之一，也是目前全球开发较晚的区域之一。荒漠化是气候变异和人为因素综合作用的结果。随着全球经济的高速发展，人们也以前所未有的规模和强度影响着环境，改变着环境，使全球的生命支持系统受到了严重的创伤，出现了地区荒漠化等严重的环境问题。中国荒漠区大部分以西北地区为主，总面积约占国土的 20%。荒漠区的气候特点是强烈大陆性，降水十分稀少，气温变化极端，日照强烈，冬春多大风沙暴。按基质可分为沙质荒漠、砾质荒漠、壤质荒漠、黏土荒漠和岩石荒漠。不同的基质生物多样性差别较大。中国荒漠区地域宽广，自然环境复杂，而其中生物特征具有独特性。

#### 1.1.2. 环境与动植物关系

动植物之间具有一定的相关联系，其中一种便是动植物之间的捕食关系，可以根据动植物之间的相关关系，例如捕食关系，把动植物紧密地联系起来，形成一个串，就像一条由很多链环组成的锁链一样。虽然动植物之间的关系繁多且复杂，然而动植物的生存状态与其存在生活环境密切相关。动植物生活环境中的生态因素，包括非生物因素和生物因素都能够影响生物的生活，动植物的生存依赖一定的环境，每一种生物必须依赖一定的环境。动植物和它所生存的环境之间的关系是相互影响、相互作用，是密不可分的统一的整体。生物与环境之间相互关系是生态学研究的主要内容，了解生物与环境之间的相互关系，显然是研究生态学和生态文化的基础。

#### 1.1.3. 荒漠区动植物关系研究的意义

荒漠区严酷的气候条件以及日益加剧的人为干扰，使荒漠区生态系统变得更加脆弱。对生态的研究必定伴随着资源的利用问题，我们得知荒漠区是我国典型的温带荒漠和干旱脆弱生态系统。显而易见，荒漠区的动植物生存条件十分严酷，动物的可利用资源在数量和质量上与其他地区存在着较大的差异。而由于日前经济的迅猛发展，人们生活的过度开发与浪费，导致生态环境受人为的干扰越来越严重，并导致荒漠区的扩大，荒漠化问题的日益加重。依赖于环境生产的荒漠区植物受到影响，而依赖于植物生存的动物群落格局必定随之受到影响。荒漠区动植物关系的研究对于荒漠地区的生态环境发展的了解极为重要，其中植物和啮齿动物在荒漠生态系统中占有重要地位。研究这些地区的植物群落以及啮齿动物群落及其优势种对自然和人为干扰的响应对于理解荒漠区的动物多样性维持机理具有重要意义。所以，对荒漠区动植物关系的研究可以更好的帮助人们了解荒漠区生态系统的平衡机制，使荒漠区恶化的问题为人们所关注，有利于了解影响荒漠区动植物生存的主要指标以保护荒漠区与动植物的生态平衡，减缓环境问题。

## 1.2. 要解决的问题

### 1.2.1. 问题一

根据附件一提供的数据，建立数学模型，分析荒漠区不同干扰下植物地上生物量、啮齿动物生物量的变化趋势，并揭示不同干扰下植物生物量与啮齿动物生物量之间的变化关系。

### 1.2.2. 问题二

建立模型对于附件一中给出的地区，进行啮齿动物群落稳定性的研究，揭示干扰对于啮齿动物群落的影响机制，并且给当地政府写一封信，陈述你的观点和主张。

## 2. 问题的分析

### 2.1. 对问题的总分析

有关不同干扰方式下，栖息地破碎化过程中研究群落的变化特征是当前景观生态学和群落生态学研究的前沿。荒漠区动植物关系的研究是用来评估当前荒漠地区环境的变化对当地动物以及植物生存机制的影响程度，其中包括对植物的高度密度，生物量以及动物的生物量等多个维度的影响，从而反应荒漠地区与动植物生态平衡的稳定性，生物群落的稳定性。如果能将影响动植物生存的负面环境合理的控制维护和改进，则可以保护环境条件本身严酷的荒漠地区里动植物的生长生存，维护荒漠区的生态平衡，防止因环境恶化导致的动植物量于该地区贫乏的情况。因此，本文从以上角度运用定性和定量分析以及灰色分析和结构方程来进行荒漠区动植物关系的研究。首先，我们建立合理的数学模型，为本次研究提供了较为简洁合理的动植物与环境关系研究方法。对于数据的描述，我们运用了附件中的数据，另外添加了自己收集的更多的数据，利用选取的模型描述不同干扰下动植物生物量的变化趋势，从而总结出动植物生物量的变化关系和环境中影响动植物生存的主要因素。最终可利用上述数据得出动物群落在荒漠区稳定性的评估。并总结了影响生物量的主要机制，对此向环境部门提出合理的改善环境保护生态平衡的建议。

### 2.2. 对具体问题的分析

#### 2.2.1. 对问题一的分析

利用附件一提供的数据，对应不同问题，建立相应数学模型，从而获得不同干扰对植物生长量与啮齿动物生长量的变化趋势，并揭示不同干扰下的变化关系。综合分析了荒漠区的啮齿动物与植物在过牧和轮牧两种放牧方式下，分别处于夏季和秋季的生物量的变化趋势。

## 2.2.2. 对问题二的分析

在问题一观察变化趋势和得出变化关系的模型建立与求解的基础上,对附件中的数据整合归纳,根据问题二的要求得出啮齿动物群落稳定性的评估,评判各个干扰因素对啮齿动物群落的影响机制,对环境部门提出合理的改善意见。首先,我们会运用群落稳定性测度灰色模型,划分出群落稳定的指标因子,将所有的灰色趋势都展露出来。其中用灰色聚类法,累加生成序列生成,求解后评估该群落的稳定性。其次对于第二部分我们首先划分好不同干扰下所有对啮齿动物有影响的因素,运用结构方程模型来同时处理多个因变量,首先要根据数据建立好的概念模型,来检验不同干扰对啮齿动物优势种的作用途径,之后求得不同干扰对啮齿动物的影响关系产生影响机制。最终估计整个模型的拟合程度。

## 3. 模型的假设

1. 假设调查生物量的地方没有自然灾害影响,不考虑除附件一外其他因素。
2. 假设植物生物量的指标均为正向指标,能涵盖植物生物量的数据情况。
3. 假设调查生物量时的调查方法准确无误,误差不大。

## 4. 名词解释与符号说明

序号	符号	符号说明
1	$x_i$	数据指标
2	$H_{ik}$	原始数据
3	$r_{ik}$	规范化处理后的数据
4	$\max_i H_{ik}$	第 $k$ 项指标的最大值
5	$\min_i H_{ik}$	第 $k$ 项指标的最小值
6	$\xi_{ij}$	关系指数
7	$\eta$	分辨细数
8	$p_{ij}$	各评价对象与参考序列的关联关系
9	$W$	赋予指标的权重
10	$S(i)$	第次调查的种类数
11	$m(i)$	第次调查的总个体数
12	$a$	比例系数
13	$m_n$	草本个体总数
14	$m_p$	灌木个体总数
15	$r$	线性相关系数



## 5. 模型的建立与求解

从所要解决的问题和对问题做出的假设出发, 在对问题进行总的分析的基础上, 分别对两个问题进行详细的分析和求解。从而对问题一建立了模型 I, 模型 II, 问题二建立了模型 III, 模型 IV。

### ➤ 模型 I—层次分析模型

本模型针对问题需要, 为了解不同干扰下, 荒漠区植物地上生物量、啮齿动物生物量间的变化趋势。针对本问题就过牧与轮牧两种人为放牧的干扰, 夏季与秋季两种温度季节的干扰, 采用层次分析模型, 控制变量的来进行讨论。

### ➤ 模型 II—灰色关联模型

本模型针对问题需要, 为了解不同干扰下动物生物量与植物生物量间的变化关系, 利用灰色关联分析法, 结合熵权法确定权重, 最后在 MATLAB 上编程作图, 判别出不同干扰下的变化关系。

### ➤ 模型 III—灰色测度模型

本模型在获取了前一变化趋势及变化下, 首先, 运用 MATLAB 软件, 得出拟合的公式, 进行群落稳定性测度, 划分出群落稳定的指标因子, 将所有的灰色趋势都展露出来。其中又用灰色聚类法, 累加生成属灰序列生成, 求解后评估该群落的稳定性。

### ➤ 模型 IV—结构方程模型

本模型使用了两阶段法构建模型。第一阶段为验证性因子法, 第二阶段为全模型构建。由于在不同的干扰下对啮齿动物影响的因素有多种, 而其对啮齿动物具体的作用途径又不是显而易见的, 所以我们可以运用 SEM 模型来检验不同干扰对啮齿动物优势种的作用途径。

## 5.1. 问题一的分析与求解

### 5.1.1. 对问题的分析

问题一要求, 利用附件一提供的数据, 建立合理的数学模型, 从而获得不同干扰对植物生长量与啮齿动物生长量的变化趋势, 并揭示不同干扰下的变化关系。对于这个问题的分析可以将问题一划分成两个小问题。一对附件一中的数据按不同层次进行处理, 通过 excel 建立折线图, 进行对比, 分析出不同干扰下, 植物地上生物量与动物生物量的变化趋势。二是运用灰色关联模型, 进行植物与啮齿动物生物量之间的关联度分析, 从而得出植物生物量与动物生物量之间的变化关系。

## 5.1.2. 对问题的求解

### 5.1.2.1. 模型 I 一层次分析模型

#### I. 建模思路

对于问题一的第一小问，我们在对不同干扰下，植物地上生物量与啮齿动物生物量的变化趋势进行研究分析时，发现整个第一小问的层次结构非常清晰。首先，我们会分别考虑分析过牧情况和轮牧情况下草本植物生物量的变化情况；其次，我们分析的是过牧情况下及轮牧情况下灌木植物生物量的变化情况；最后，我们对啮齿动物分别在过牧及轮牧条件下进行了分析。同时，为了使分析结果更具有说服力，我们在比较的同时针对气温（也就是夏季和秋季）进行了比较，通过绘制图像使整个问题呈现简单化。

#### II. 模型的求解

根据附件 1 中的数据，我们将数据重新划分，进行比对，利用 EXCEL 软件做出折线图如下：



Figure 1 过牧情况下草本变化



Figure 2 轮牧情况下草本变化

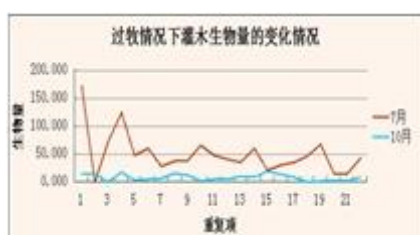


Figure 3 过牧情况下灌木变化



Figure 4 轮牧情况下灌木变化

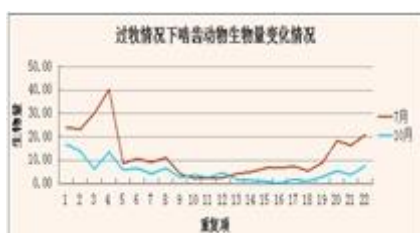


Figure 5 过牧情况下啮齿变化



Figure 6 轮牧情况下啮齿变化

### III. 结论

#### 不同干扰下植物地上生物量的变化趋势:

通过对四幅折线图的观察,可以看出,无论是草本还是灌木的生物量在7月份与10月份有明显的变化,由此可以得知,季节的变化,对植物生物量的变化有一定影响。其中,无论在轮牧抑或过牧的条件下,草本植物生物量7月<10月,而在灌木生物量的研究中:过牧情况下,灌木生物量7月>10月;而在轮牧情况下,灌木生物量7月<10月。除此之外,我们还可以看出过牧情况下与轮牧情况下,草本植物生物量与灌木的生物量具有一定程度的差别,轮牧时测量的草本生物量与灌木的生物量高于放牧情况下的生物量。由此我们可以得出,不同强度的放牧干扰植物的生长和生产力。放牧强度过高,导致植物的生物量下降。

#### 不同干扰下动物生物量的变化趋势:

啮齿动物作为消费者,是陆地生态系统的重要组成部分,不同干扰引起了植物生物量的变化,进而也改变了啮齿动物的栖息环境质量与环境资源,从而对啮齿动物的生物量产生影响。在图5图6的对比中,我们可以得出,啮齿动物的生物量在过牧与轮牧环境中,有一定的差距,在轮牧环境中,啮齿动物的生物量明显高于过牧环境中的生物量。由于不同强度的放牧,对植物的生物量造成了影响,从而影响了啮齿动物的生物量。由于不同季节,植物生物量的不同,导致了啮齿动物生物量的变化。我们可以从图5中看出,在过牧情况下,动物生物量7月>10月;同样,在轮牧环境下,啮齿动物的生物量7月>10月。

#### 5.1.2.2. 模型II—灰色关联模型

##### I. 建模思路

对于问题一的第二小问,要求揭示不同干扰下植物生物量与啮齿动物生物量之间的变化关系。由于我们可以将这种生物之间的变化关系转换成两种生物之间的关联关系,而灰色系统理论告诉我们,应用灰色关联分析方法对受多种因素影响的事物和现象从整体观念出发进行综合评价是一个被广为接受的方法,所以我们想到了通过建立灰色关联模型,在计算出相应权重后,得到植物生物量与动物生物量之间的关联度,从而使问题得到解决。

##### II. 模型准备与模型建立

###### 1. 确定原始的指标数据列

根据研究对象所提供的各种干旱地区植物动物数据资料,我们可以初步选择确定所需要的指标数据。当我们在对植物生物量与啮齿动物生物量之前的变化关系进行揭示时,我们需要选择合适的、恰当的,能够全面反映植物在优势物种不同,时间不同,植物因子不同时的生物量以及啮齿动物生物量的变化的指标数据。此时,我们可以将采用的数据指标以一组一维向量的方式进行存储表现出来,记作

$$x_i = \{x_i(k) | k = 1, 2, \dots, n\}$$

## 2. 原始数据变换

当我们直接对题目给出的数据直接进行使用时,会发现这样实际上是有误的。因此,我们需要对原始数据进行规范化的处理,把原来的数据化为无量纲的、同级的、正向可加的数据,以保证下一步参考数据的选取以及关联度的计算能提供良好的数据基础。数据列中的生物量存在着三种类型,包括有越大越好的正向指标,越小越好的逆向指标以及越接近某值越好的适中型指标。对不同类型的指标进行数据规范化处理的方法是有区别的。设原始数据为 $H_{ik}$ ,规范化处理后的标准数据为 $r_{ik}$ ,第 $k$ 项指标的最大值为 $\max_i H_{ik}$ ,

第 $k$ 项指标的最小值为 $\min_i H_{ik}$ 。那么规范化处理后的公式

由极差变化法可得:

正向指标:

$$r_{ik} = \frac{H_{ik} - \min_i H_{ik}}{\max_i H_{ik} - \min_i H_{ik}}$$

逆向指标:

$$r_{ik} = \frac{\max_i H_{ik} - H_{ik}}{\max_i H_{ik} - \min_i H_{ik}}$$

由给定数值标准化策略可得:

适中型指标:

$$r_{ik} = \begin{cases} H_{ik}/e, & H_{ik} \in [\min_i H_{ik}, e] \\ e/[(\max_i H_{ik})^2], & H_{ik} \in [e, \max_i H_{ik}] \end{cases}$$

## 3. 获取满意度最高的数据列

假设经过规范化后的数据列指标为

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_m \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

根据以上标准化处理后的指标数据列可以构造出最优的满意数据列。最优的数据列指标由各项指标中的最优秀值构成。此处记作 $X_i$ , 则

$$X_i = \max(x_{i1} + x_{i2} + \cdots + x_{in}) \quad i = 1, 2, \cdots, m$$

## III. 模型的求解

### 1. 根据公式

$$\min_m \left\{ \min_n (|H_{ij} - H_{0j}|) \right\}, i = 1, 2, \cdots, m, j = 1, 2, \cdots, n$$

2. 根据公式

$$\max_m \left\{ \max_n (|H_{ij} - H_{0j}|) \right\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

3. 计算每个比较序列与参考数列对应元素的关联系数

$$\xi_{ij} = \frac{\min_m \left\{ \min_n (|H_{ij} - H_{0j}|) \right\} + \eta \max_m \left\{ \max_n (|H_{ij} - H_{0j}|) \right\}}{|H_{ij} - H_{0j}| + \eta \max_m \left\{ \max_n (|H_{ij} - H_{0j}|) \right\}}$$

其中,  $\eta$  为分辨系数, 其值在区间(0,1)之间。 $\eta$ 取值越小, 关联系数间的差异越大, 分辨能力越强, 通常取 $\eta = 0.5$ 。关联系数 $\xi_{ij}$ 是不小于1的正数, 它反映的是第*i*个比较序列 $X_i$ 与参考序列 $X_0$ 在第*j*个属性(指标)上得关联程度。

4. 计算关联度

对各评价对象(比较序列)分别计算其各个指标与参考序列对应元素的关联系数的均值, 以反映各评价对象与参考序列的关联关系(称为关联度), 记为:

$$P = (p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0i}, \dots, p_{0m})^T, i = 1, 2, \dots, m$$

其中,  $p_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_{ij}(j), i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。此外, 为了克服“平均主义”的不足, 还可以对各个指标赋予权重, 记为

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n, j = 1, 2, \dots, n)$$

此时,  $P = (p_{01}, p_{02}, \dots, p_{0i}, \dots, p_{0m})^T, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 成立。

各指标权重满足  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  且  $w_j = [0, 1], j = 1, 2, \dots, n$ 。

5. 根据极值公式

$$p_{Max} = \max_i \max_j \xi_{ij}, p_{min} = \min_i \min_j \xi_{ij}$$

分别可求得  $p_{Max} = 0.684, p_{min} = 0.103$

分别以草本的高、盖、密以及灌木的高、盖、密作为衡量植物生物量的指标, 显然, 该指标属于正向指标。首先将指标进行标准规范化, 将通过对指标计算获得的直接关联情况与植物生物量联立, 获取对植物生物量的拟合衡量; 其次根据题目实际情况, 采取熵权法计算客观权重; 然后根据灰色关联分析模型, 结合公式, 进行绘图。

将公式代入, 经编程运算可绘图如下:

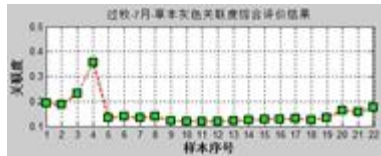


Figure 7 过牧-7月-草本

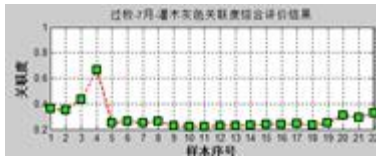


Figure 8 过牧-7月-灌木

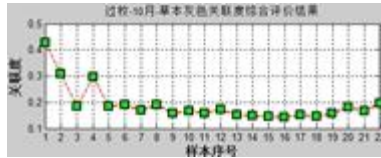


Figure 9 过牧-10月-草本

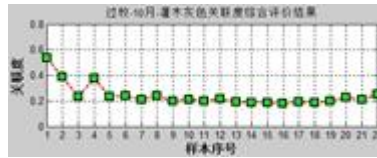


Figure 10 过牧-10月-灌木

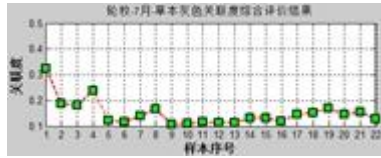


Figure 11 轮牧-7月-草本

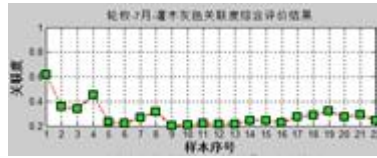


Figure 12 轮牧-7月-灌木

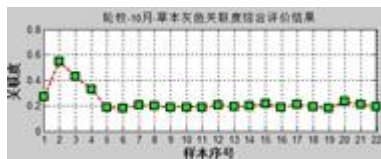


Figure 13 轮牧-10月-草本

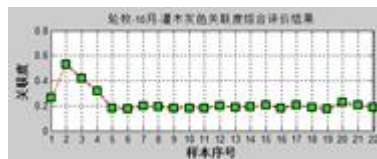


Figure 14 轮牧-10月-灌木

## IV. 总结

根据上图所示绘制结果，当同处于同一区域、同一时间段即同处于相同放牧区域、相同月份时，植物生物量与啮齿动物生物量的关联度曲线的变化趋势是一样的，不同之处在于，处于灌木植物因子条件下的啮齿动物生物关联度明显高于处于草本植物因子条件下的啮齿动物生物关联度。现在比较过牧与轮牧干扰下植物生物量与啮齿动物生物量之间的变化关系。因此，我们可以得出啮齿动物对于灌木植物因子的关联性明显大于对草本植物因子的关联性，无论是在该区域的夏季（7月）还是秋季（10月），该关联性大小关系均存在；在草本植物因子条件下，无论人为干扰因素是过牧还是轮牧，啮齿动物秋季对草本的关联性明显大于夏季；在灌木植物因子条件下，数据显示，除了个别数据，其他大多都处于稳定的状态。

## 5.2. 问题二的分析与求解

### 5.2.1. 对问题二的分析

问题二要求在得到问题一中植物动物在不同干扰下生物量变化趋势和关系的结论后，根据结论加数据建立合适的数学模型对于附件一中给出的地区，进行啮齿动物群落稳定性的研究，揭示干扰对于啮齿动物群落的影响机制，并且给当地政府写一封信，陈述你的观点和主张。我们可以将问题二划分为两个小问题：一是根据数据和模型来评估啮齿动物群落在西北荒漠区的稳定性成度。对这个问题我们将采用灰色测度模型，通过灰色模型的灰色聚类法比较啮齿动物群落稳定性。而为了适应啮齿动物这一个群落，我们只考虑三、四个物种的群落研究，即附件数据中的三趾跳鼠，子午沙鼠和小毛足鼠。基于灰色模型的群落稳定性评价体系模型将反映群落稳定性的指标因



子纳入该模型, 将所有的灰色趋势都展露出来, 使得群落稳定性的评价更具有科学性和实用性。二是根据模型求解数据和图像数据来划分不同的干扰下不同的因素指标对啮齿动物群落的影响程度, 总结不同干扰下产生的影响机制。对于这个问题我们利用结构方程模型 (SEM) 来同时处理多个因变量, 并且该模型容许自变量和因变量间所含的测量误差, 所以可以用来估计因子结构和因子关系。之后我们再利用 SEM 模型建立概念模型, 运用其中的回归分析, 因子分析, t 检验和方差分析来估计整个模型的你和程度。最终运用模型方法检验不同干扰对啮齿动物优势种的作用途径, 之后求得不同干扰对啮齿动物的影响关系产生影响机制。

## 5.2.2. 对问题二的求解

### 5.2.2.1. 模型 III—灰色测度模型

#### I. 建模思路

对啮齿动物群落在该西北荒漠区的群落稳定性的研究时, 应考虑由于啮齿动物该群落存在多种物种, 其中附件的资料中就已经包含了三个物种, 分别为三趾跳鼠, 子午沙鼠和小毛足鼠。也就是说, 大多数生态群落都包含着许多物种, 而对于具有多物种的群落而言, 要用种群之间和种群之内的相互作用的语言对单个的种群动态进行描述是非常困难的。由于群落内部食物网络关系及天敌的“跟随”现象, 当种类数增加时, 个体数相应增加。但该趋势是灰的, 并不一定完全显露出来。由灰色系统理论知, 累加生成可使离乱的原始数据中蕴含的规律充分显露出来。所以, 可考虑应用累加生成原理建立其线性比例模型。因此我们此处选用灰色测度模型和灰色聚类法来评估群落稳定性, 将反映群落稳定性的指标因子纳入该模型, 使得群落稳定性的评价更具有科学性和实用性。并且该模型能够将较少物种群落的稳定性分析体现于群落结构的全局稳定性之上, 提高结果的准确性。另外, 灰色模型是从动态过程考虑, 比较符合稳定性中的时间过程稳定这一要求, 并可根据线性相关系数值检验其可信度。

#### II. 理论准备与模型建立

在此, 我们运用灰色测度模型, 其中考虑应用累加生成原理建立其线性比例模型。

定理 1 设向量  $X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ ,  $Y^{(0)} = (y_1^{(0)}, y_2^{(0)}, \dots, y_n^{(0)})$ , 其元素序列为单调增加的正数序列; 向量  $X^{(1)} = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)})$ ,  $Y^{(1)} = (y_1^{(1)}, y_2^{(1)}, \dots, y_n^{(1)})$ , 其元素序列分别是  $X^{(0)}$ ,  $Y^{(0)}$  中元素序列的依次累加生成, 即

$$x_i^{(1)} = \sum_{k=1}^i x_k^{(0)}, y_i^{(1)} = \sum_{k=1}^i y_k^{(0)}, i=1, 2, \dots, n, \text{ 则有 } \text{cov}(X^{(1)}, Y^{(1)}) > \text{cov}(X^{(0)}, Y^{(0)}).$$

上述定理表明:

两个单调增序列, 通过累加生成处理, 可增大它们之间的协方差系数, 从而有可能增大它们之间的线性相关系数, 达到建立线性模型的要求。

为叙述方便, 以种类数 $S$  和总个体数 $m$  的关系为例, 其中 $S$  作为自变量,  $m$  作为因变量。设共进行  $n$  次调查,  $S(i), m(i)$  为第 $i$ 次调查的种类数和总个体数,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。首先将各次调查所获得的自变量序列 $S(i)$ 按递增排列, 因变量序列 $m(i)$ 作相应变更; 若序列 $S(i)$ 中有几项相同时, 序列 $m(i)$ 中对应的项按递增排列, 使变更后的序列 $S(i)$ 为非减序列。而序列 $m(i)$ , 由上述讨论知, 在一般情况下近似为一个非减序列。为了与灰色系统理论中的记号一致, 变更后的序列记为 $S^{(0)}(i), m^{(0)}(i)$ , 其中  $i$  为变更后的序

号,  $i = 1, 2, \dots, n$ 。对  $S^{(0)}(i), m^{(0)}(i)$  作一次累加生成。一次累加生成序列记为

$$S^{(1)}(i), m^{(1)}(i),$$

$$\text{即 } S^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i S^{(0)}(k), m^{(1)}(i) = \sum_{k=1}^i m^{(0)}(k), i = 1, 2, \dots, n. \text{ 由定理 1 知, 序列}$$

$S^{(1)}(i)$ 和 $m^{(1)}(i)$  的相关系数可能增大, 当达到线性模型拟合要求时, 便可以 $S^{(1)}(i)$ 为自变量,  $m^{(1)}(i)$  为因变量建立一元线性回归模型

$$m^{(1)}(i) = aS^{(1)}(i) + b, i = 1, 2, \dots, n$$

然后累减还原:

$$S^{(0)}(i) = S^{(1)}(i) - S^{(1)}(i-1), m^{(0)}(i) = m^{(1)}(i) - m^{(1)}(i-1)$$

得 $m^{(0)}(i)$ 与 $S^{(0)}(i)$ 比例估计式:

$$m^{(0)}(i) = aS^{(0)}(i), i = 1, 2, \dots, n$$

$a$  的倒数 $\frac{1}{a}$  即为 $S^{(1)}(i)$ 和 $m^{(1)}(i)$   $i = 1, 2, \dots, n$ 的近似比值, 可作为测度群落稳定性的指标。

### III. 数据来源

本次研究采用附件中的数据, 将数据划分为过牧区 7 月, 过牧区 10 月, 轮牧区 7 月和轮牧区 10 月调查所获得数据作为应用。对数据进行整理统计, 其中 $s$ 表示啮齿动物种类数,  $m$ 表示总个体数,  $m_n$ 表示草本个体总数,  $m_p$ 表示灌木个体总数。四个干扰下群落参数见下表:



Table 1 过牧区重复项

干 扰 重 复项	过牧区 7 月				过牧区 10 月			
	S	$m$	$m_n$	$m_p$	S	$m$	$m_n$	$m_p$
1	3	24.20	0.00	171.38	3	17.00	8.28	13.83
2	3	23.20	0.00	0.00	3	13.80	7.00	15.98
3	3	30.20	0.12	70.26	3	6.20	20.96	0.00
4	3	40.20	0.00	124.20	3	13.40	28.31	17.54
5	3	8.80	1.12	48.20	3	6.00	4.34	2.58
6	3	10.80	1.77	59.40	3	6.60	11.86	4.81
7	3	9.00	2.16	28.38	3	4.20	7.20	6.31
8	3	11.00	0.00	37.08	3	6.60	13.24	15.30
9	3	4.20	9.34	38.42	3	2.60	2.51	11.63
10	3	2.20	12.24	64.92	3	4.00	6.38	2.04
11	3	2.20	7.23	46.95	3	2.80	5.93	5.86
12	3	2.80	0.05	39.85	3	4.60	3.67	4.14
13	3	4.20	3.98	35.06	3	1.80	15.42	10.71
14	3	5.00	4.25	59.40	3	1.40	4.72	9.32
15	3	6.60	6.66	21.13	3	1.20	18.40	19.89
16	3	6.80	1.85	30.30	3	0.40	13.61	14.68
17	3	7.40	29.68	34.79	3	1.80	19.91	8.04
18	3	5.40	49.52	46.67	3	1.00	51.42	0.00
19	3	9.20	26.48	67.24	3	3.00	83.36	0.82
20	3	18.33	8.66	14.87	3	5.67	3.58	4.03
21	3	16.33	3.11	13.28	3	4.00	0.00	2.07
22	3	20.67	4.30	42.41	3	7.33	0.00	9.19

Table 2 轮牧区重复项

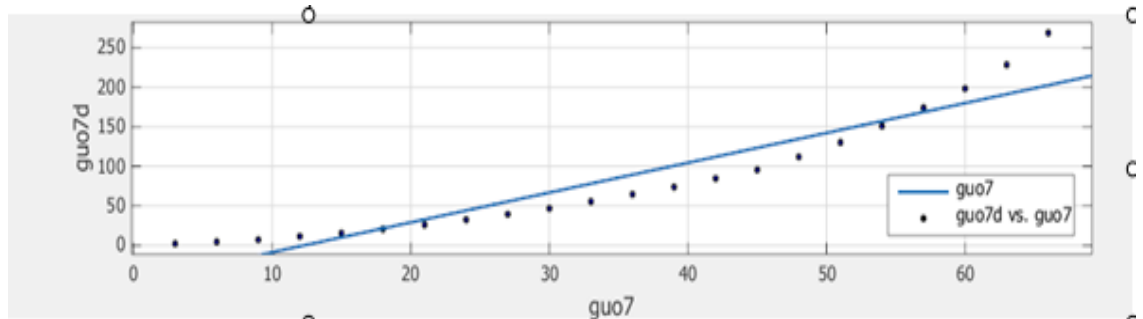
干 扰 重 复项	轮牧区 7 月				轮牧区 10 月			
	S	$m$	$m_n$	$m_p$	S	$m$	$m_n$	$m_p$
1	3	36.00	0.09	78.56	3	10.80	5.59	29.19
2	3	23.00	0.02	67.15	3	21.40	7.98	188.0
3	3	21.60	0.90	44.80	3	18.60	9.99	34.84
4	3	29.40	0.04	45.97	3	14.60	8.74	86.73
5	3	6.20	4.99	26.85	3	1.80	15.71	73.64
6	3	3.20	10.06	40.88	3	0.60	14.10	69.11
7	3	12.60	3.86	13.25	3	4.00	2.91	12.38
8	3	18.80	0.00	29.35	3	3.00	5.02	30.06
9	3	0.00	10.33	28.58	3	1.20	9.77	33.29
10	3	0.60	11.35	22.04	3	1.00	13.03	78.64
11	3	3.40	3.99	54.19	3	1.00	35.85	83.58

12	3	3.00	9.64	49.76	3	4.40	28.13	26.02
13	3	2.60	7.70	25.94	3	2.00	40.75	29.96
14	3	9.00	15.98	22.77	3	3.40	41.23	26.6
15	3	9.00	14.12	15.90	3	5.20	62.51	12.59
16	3	5.00	10.00	31.19	3	1.60	44.15	56.27
17	3	13.60	23.19	27.32	3	4.60	89.75	174.1
18	3	15.60	22.19	5.15	3	2.20	75.77	7.98
19	3	19.40	88.76	33.28	3	0.80	66.41	17.55
20	3	13.67	17.27	14.23	3	7.67	5.05	10.43
21	3	16.33	17.77	33.73	3	5.00	11.62	9.98
22	3	8.67	14.43	16.69	3	2.00	49.97	17.21

#### IV. 数据处理

运用上述定理可以用 **MATLAB** 画出不同干扰下（共分为四种干扰，分别是过牧区 7 月，过牧区 10 月，轮牧区 7 月，轮牧区 10 月）的线性拟合回归模型，从而求出四种干扰下的群落稳定性指标  $m^{(0)}(i) = aS^{(0)}(i)$ 。如下图：

Figure 15 过牧区 7 月



Linear model Poly1:

$$f(x) = p1*x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

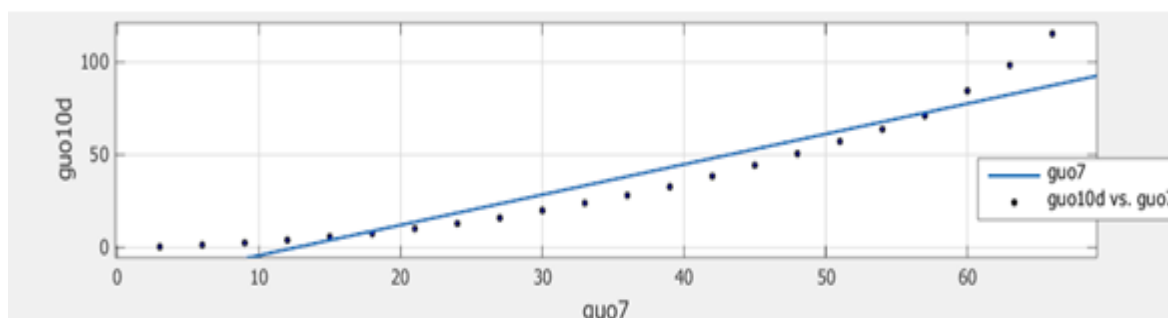
$$\begin{aligned} p1 &= 3.772 \quad (3.156, 4.388) \\ p2 &= -46.36 \quad (-70.63, -22.09) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 1.39e+04  
R-square: 0.8908  
Adjusted R-square: 0.8853  
RMSE: 26.36

其中，运用线性回归模型可以算得  $a$  的值为  $p1=3.772$ ； $r$ （线性相关系数）为 Adjusted R-square=0.8853。

Figure 16 过牧区 10 月



Linear model Poly1:

$$f(x) = p1*x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = 1.638 (1.385, 1.89)  
p2 = -20.57 (-30.52, -10.62)

Goodness of fit:

SSE: 2337

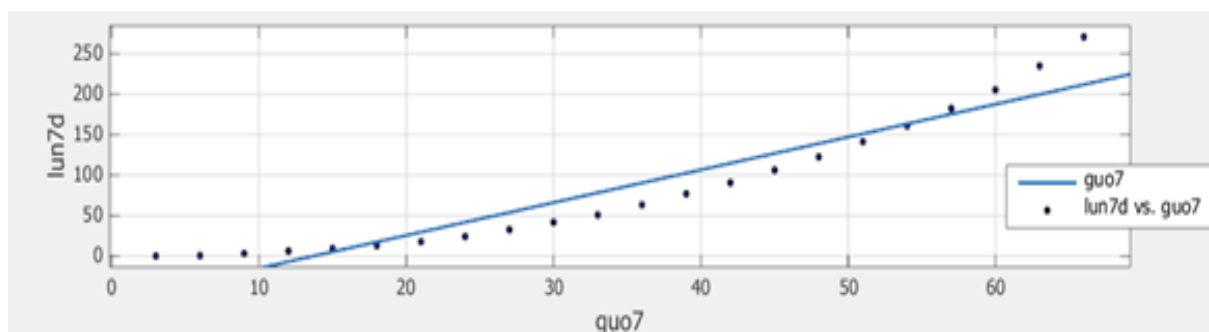
R-square: 0.9014

Adjusted R-square: 0.8965

RMSE: 10.81

a 的值为 p1=1.638; r (线性相关系数) 为 Adjusted R-square=0.8965。

Figure 17 轮牧区 7 月



Linear model Poly1:

$$f(x) = p1*x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = 4.049 (3.438, 4.66)  
p2 = -55.45 (-79.52, -31.39)

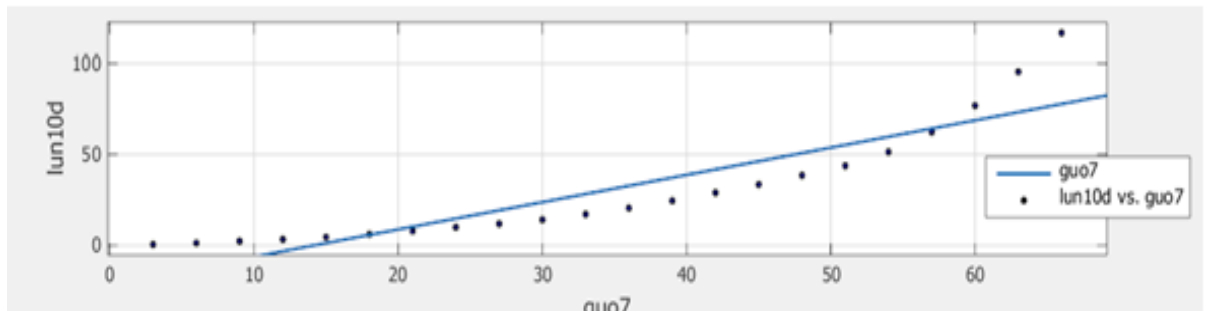
Goodness of fit:

SSE: 1.366e+04

R-square: 0.9053  
Adjusted R-square: 0.9006  
RMSE: 26.13

a 的值为  $p1=4.049$ ; r (线性相关系数) 为 Adjusted R-square=0.9006。

Figure 18 轮牧区 10 月



Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$p1 = 1.498$  (1.168, 1.829)  
 $p2 = -21.1$  (-34.14, -8.06)

Goodness of fit:

SSE: 4011

R-square: 0.8169

Adjusted R-square: 0.8077

RMSE: 14.16

a 的值为  $p1=1.498$ ; r (线性相关系数) 为 Adjusted R-square=0.8077。

应用上述群落稳定性测度灰色模型计算各荒漠区啮齿动物群落稳定性指标, 结果见下表。

Table 3 灰色侧度模型预测

模型类型	灰色测度模型 (Grey model)			
干扰	$r(S^{(1)}, M^{(1)})$	$r(Mn^{(1)}, Mp^{(1)})$	$S^{(0)} / M^{(0)}$	$Mn^{(0)} / Mp^{(0)}$
过牧区 7 月	0.8965	0.8713	0.0111	0.1577
过牧区 10 月	0.9006	0.9639	0.0260	1.8467
轮牧区 7 月	0.8169	0.9550	0.0110	0.3940
轮牧区 10 月	0.8077	0.9952	0.0257	0.5811

其中  $r(x, y)$  表示序列  $x$  与  $y$  的线性相关系数

## V. 模型的求解

从上述模型的建立与分析可得, 应用种类数与总个体数的比值及草本植物生物量与灌木植物生物量的比值作为测度群落稳定性的指标, 所得结果不完全一致, 说明这两个指标是从不同侧面反映群落的抗干扰能力。而这两个指标并不是全部代表啮齿动物群落的稳定性。而相对于四种干扰下群落稳定性指标  $1/a$  的值分别为

过牧区 7 月: 0.2651 ; 过牧区 10 月: 0.6105

轮牧区 7 月: 0.2470 ; 轮牧区 10 月: 0.6676

所以此处将 1、2、3、4 分别代表过牧 7 月、过牧 10 月、轮牧 7 月、轮牧 10 月这 4 个干扰环境; 以灰色模型所得的两个比值为聚类指标; 聚类灰数为“好”、“中”、“差”, 即灰类  $k$  取值为: 1、2、3。测度群落稳定性的两个指标的极性一致, 即愈大表明群落愈稳定。

计算得:

$e_1 = (0.8965, 0.6321, 0.2651)$ ;  $e_2 = (0.9006, 0.7500, 0.6105)$

$e_3 = (0.8169, 0.4952, 0.2470)$ ;  $e_4 = (0.8077, 0.6313, 0.6676)$

则可以由不同的干扰环境判断不同干扰下啮齿动物群落的稳定性, 我们从数据看出, 过牧区 10 月和轮牧区 10 月的啮齿动物群落稳定性为“好”, 而过牧区 7 月和轮牧区 7 月啮齿动物群落的稳定性为“中”。所以, 总体来说西北地区荒漠区啮齿动物群落是趋于渐进稳定的, 其稳定性程度必定受当地环境等多种因素的影响, 所以是一个动态变化的指标。但大体来说, 该群落在此地区仍是有稳定的趋势, 稳定性也较好。

## VI. 总结

从灰色测度法模型和灰色聚类分析结果看, 荒漠区周围生态环境较复杂、基本没有过强度的自然环境恶化对啮齿动物群落生态的影响, 群落稳定性相对较好。而通过对比我们可以看出, 不管是轮牧区还是过牧区, 十月份的灰色聚类明显处于“好”类。而七月份或许周围生态环境较单一、气候不适宜啮齿动物的生存或繁殖, 相对稳定性较低, 其灰色聚类明显处于“中”类。说明保护荒漠区周围生态环境的复杂性, 提供啮齿动物适宜生长的气候温度, 降水量等条件可在一定程度上提高荒漠区啮齿动物群落的相对稳定性, 这与生物多样性可导致群落稳定性的假说相吻合。但我们也可以看到, 不管轮牧还是过牧, 其对稳定性  $1/a$  值指标基本没有多大影响, 说明我们对复杂性要有一个正确的理解, 并不是树木、草本或植被越多、生态环境就越复杂。复杂性可导致稳定性, 是指群落中的能流路线趋于复杂时, 如果某一条能流路线受干扰被堵塞, 就可能有其他的能流路线予以补偿, 从而群落系统趋于更稳定。所以只有当荒漠区周围的生态环境有助于啮齿动物群落内能流路线的增加, 使食物链和食物网更加趋于复杂, 才有利于提高啮齿动物群落的相对稳定性。

### 5.2.2.2. 模型 IV—结构方程模型（SEM 模型）

#### I. 建模思路

本次对影响机制的研究运用到的是结构方程模型，即所谓的 SEM 模型。该模型使用了两阶段法构建整个模型。第一阶段为验证性因子法，第二阶段为全模型构建。由于在不同的干扰下对啮齿动物影响的因素有多种，而其对啮齿动物具体的作用途径又不是显而易见的，所以我们可以运用 SEM 模型来检验不同干扰对啮齿动物优势种的作用途径。由于结构方程模型可以同时处理多个因变量，并且容许自变量和因变量含有测量误差，同时可以估计因子结构和因子关系，容许更大弹性的测量模型，所以适合本次影响机制的研究。其中我们在使用两阶段策略前需要进行概念模型的构建，而参数估计则使用极大似然法。运用回归分析，因子分析和 t 检验来评判数据，估计模型的拟合程度。由于本次研究的是不同的干扰下啮齿动物群落的影响机制，且过牧和轮牧是两个不同的干扰环境，所以应当分开过牧区和轮牧区两个干扰状态来建模。

#### II. 过牧区 SEM 模型的理论准备与模型建立

过牧啮齿动物的 SEM 模型：

SEM 模型的构建

从上一阶段研究的影响因素我们可以得出，啮齿动物种群可能受到来自季节气候（月份），土壤硬度和植物密度和种内竞争等方面的影响，但数据中并没有给出多方的调查记录，因此，我们在本次研究中选择衡量动物优势种群数量（即三趾跳鼠，子午沙鼠和小毛足鼠数量）、季节月份、植物隐蔽和植物生物量 12 个惯用指标进行结构方程模型的构建。由于附件无具体数据，所以我们根据从网络上获取的信息，将七月平均气温定义为夏季平均气温，十月平均气温定义为冬季平均气温，详细数据见下表 2 与表 3：

表 3 西北地区冬季气温的年代平均值及变化(℃)

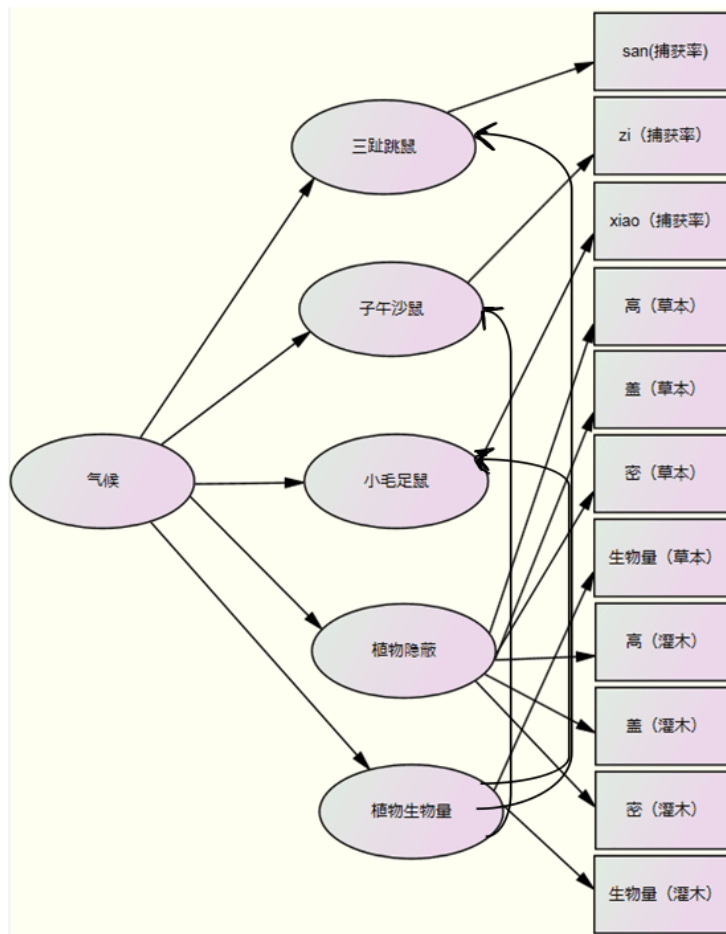
年代	50	60	70	80	60—50	70—60	80—70	80—50	1960—1990 平均
I 区	-11.39(1953)	-10.96	-10.84	-9.70	0.43	0.12	1.14	1.69	-10.50
II 区	-5.71(1951)	-5.41	-5.07	-4.48	0.30	0.34	0.59	1.23	-4.99
III 区	-11.30(1957)	-12.30	-11.00	-10.00	-1.00	1.30	1.00	1.30	-11.10
IV 区	-12.9(1956)	-12.71	-12.80	-12.18	0.19	0.63	-0.10	0.72	-12.30

表 2 西北地区夏季气温的年代平均值及变化(C)

年代	50	60	70	80	60-50	70-60	80-70	80-50	1960--1990 平均
I 区	24.74(1953)	24.55	24.62	24.68	-0.19	0.07	0.06	-0.06	24.6
II 区	21.35(1951)	20.84	20.62	20.39	-0.51	-0.22	-0.23	-0.96	20.6
III 区	13.70(1957)	13.90	14.00	14.20	0.20	0.10	0.20	0.50	14.0
IV 区	7.65(1956)	7.72	7.78	8.08	0.07	0.06	0.30	0.43	7.9

### 一、概念模型的构建

假设这三种啮齿动物的捕获率会受到季节气候, 植物隐蔽和生物量的影响, 而同时植物隐蔽和植物生物量也会受到气候季节的影响。所以我们可以将三趾跳鼠, 子午沙鼠, 小毛足鼠作为内生潜变量, 而气候季节作为外源潜变量。外源潜变量条件则由月平均气温来代表, 此处分为过牧区七月和过牧区十月的月平均气温。内生潜在量三趾跳鼠, 子午沙鼠, 小毛足鼠分别由单一指标即三者分别的捕获率来说明。内生潜变量植物隐蔽则由指标灌木高度, 盖度, 密度; 草本高度, 盖度, 密度来说明。内生潜变量植物生物量由灌木生物量和草本生物量来说明。根据上述假设以及各变量的测量指标构建概念模型, 结果图如下:



该模型共有 12 个测量变量，模型设定条件如下：

- 1、模型中有 1 个外源测量变量和 11 个内生测量变量，12 个测量变量残差；
- 2、模型中有 1 个外源潜变量和 5 个内生潜变量，5 个解释残差被自由估计；
- 3、每个测量变量仅受单一潜变量影响
- 4、外源潜变量使用固定方差法，内生潜变量使用固定载荷法。

注：san（捕获率）：三趾跳鼠捕获率；zi（捕获率）：子午沙鼠捕获率； xiao（捕获率）：小毛足鼠捕获率； 方框：测量指标； 圆圈：潜变量； 单箭头：单向影响

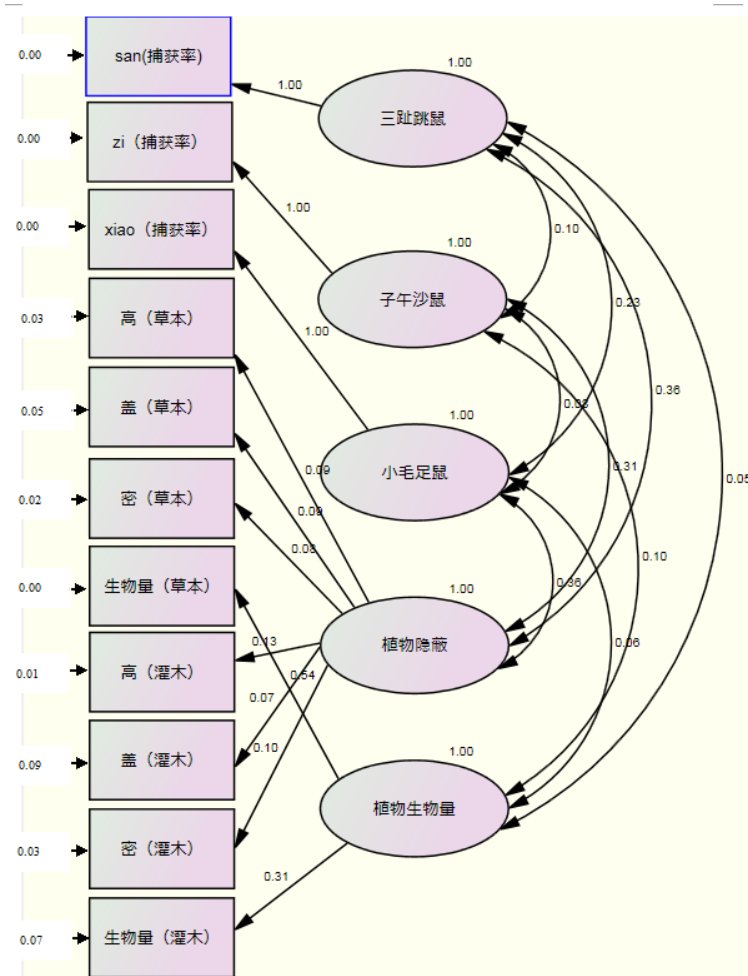
## 二、 验证性模型拟合及修正

首先对原始数据进行正态转换，然后输入转换后得到的数据，使用协方差矩阵来进行验证性模型分析，用两阶段法进行全模型的构建，第一阶段为验证性模型构建，另一阶段为全模型构建，相关矩阵数据如下表所示。

相关矩阵												
	高(草本)	盖(草本)	密(草本)	生物量(草本)	高(灌木)	盖(灌木)	密(灌木)	生物量(灌木)	三趾跳鼠	子午沙鼠	小毛足鼠	
相关 高(草本)	1.000	.135	.276	.169	-.415	-.159	-.098	-.189	-.179	-.417	-.306	
盖(草本)	.135	1.000	.488	.648	-.321	.014	-.053	-.091	-.196	-.159	-.170	
密(草本)	.276	.488	1.000	.405	-.502	-.499	-.348	-.294	.078	.048	-.300	
生物量(草本)	.169	.648	.405	1.000	-.368	.048	-.080	-.083	-.369	-.368	-.195	
高(灌木)	-.415	-.321	-.502	-.368	1.000	.227	-.092	-.002	.000	.228	.162	
盖(灌木)	-.159	.014	-.499	.048	.227	1.000	.689	.494	.064	.293	.788	
密(灌木)	-.098	-.053	-.348	-.080	-.092	.689	1.000	.717	.105	.300	.689	
生物量(灌木)	-.189	-.091	-.294	-.083	-.002	.494	.717	1.000	.107	.222	.582	
三趾跳鼠	-.179	-.196	.078	-.369	.000	.064	.105	.107	1.000	.680	.383	
子午沙鼠	-.417	-.159	.048	-.368	.228	.293	.300	.222	.680	1.000	.691	
小毛足鼠	-.306	-.170	-.300	-.195	.162	.788	.689	.582	.383	.691	1.000	

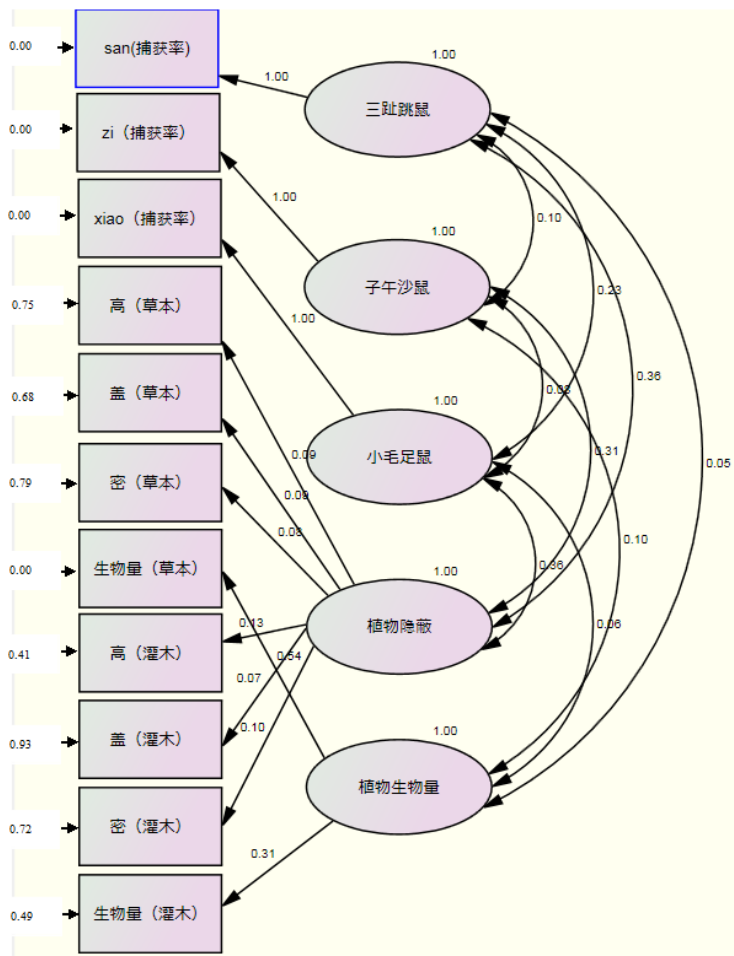
正态化最小平方加权卡方值达到 1079.56 (df=126, p=0.00)，卡方自由度之比大于 5（2—5 之间为可接受模型）。RMSEA 为 0.128，大于 0.1，NNFI 和 CFI 分别为 0.54 和 0.67，相对较小，模型拟合并不理想，所以有待于进一步修正。





注：图中所有路径的系数均为完全标准化系数，“-”表示负效应。

修订结果如下图所示，允许误差相关。根据模型修正指数结果，发现由于灌木生物量以及灌木多样性的计算过程中均涉及到灌木的密度，因此允许其误差相关。同理设定草本多样性、草本生物量及草本密度误差相关。对第一阶段的模型进行数据误差分析，之后对该模型进行修正，修正结果如下图所示。计算数据后得，卡方达到 359.22 ( $df=115$ ,  $p=0.00$ )，卡方自由度比小于 5，则可视为可接受模型。RMSEA=0.079 也小于 0.1。NNEI 也较小。由于计算后得知载荷量大致合理且直观，所以，上述拟合指标表明验证模型拟合基本思想，由此可进入第二阶段全模型构建。



注：图中所有路径的系数均为完全标准化系数，“-”表示负效应。

三、 SEM 全模型拟合及修正

第二阶段全模型最终的拟合结果如下图所示，卡方达到 359.22（df=115，p=0.00），卡方自由度比小于 5，则可视作为可接受模型。RMSEA=0.079 也小于 0.1。NNEI 也较小。以上指标表明拟合基本思想。各指标对潜变量的载荷量和残差如下表和下图所示，所有测量指标载荷均达到统计显著。其中过牧 7 月干扰下，草本盖度因子载荷在植物隐蔽中最高（0.95）；植物生物量中草本生物量的因子载荷也是最大（0.93）；七月在气候中载荷最低（-0.61）。而过牧 10 月干扰下，灌木盖度在和最多（0.69）；草本生物量仍最多（0.90）；而十月气候载荷较高（0.70）。

Table 4 潜变量

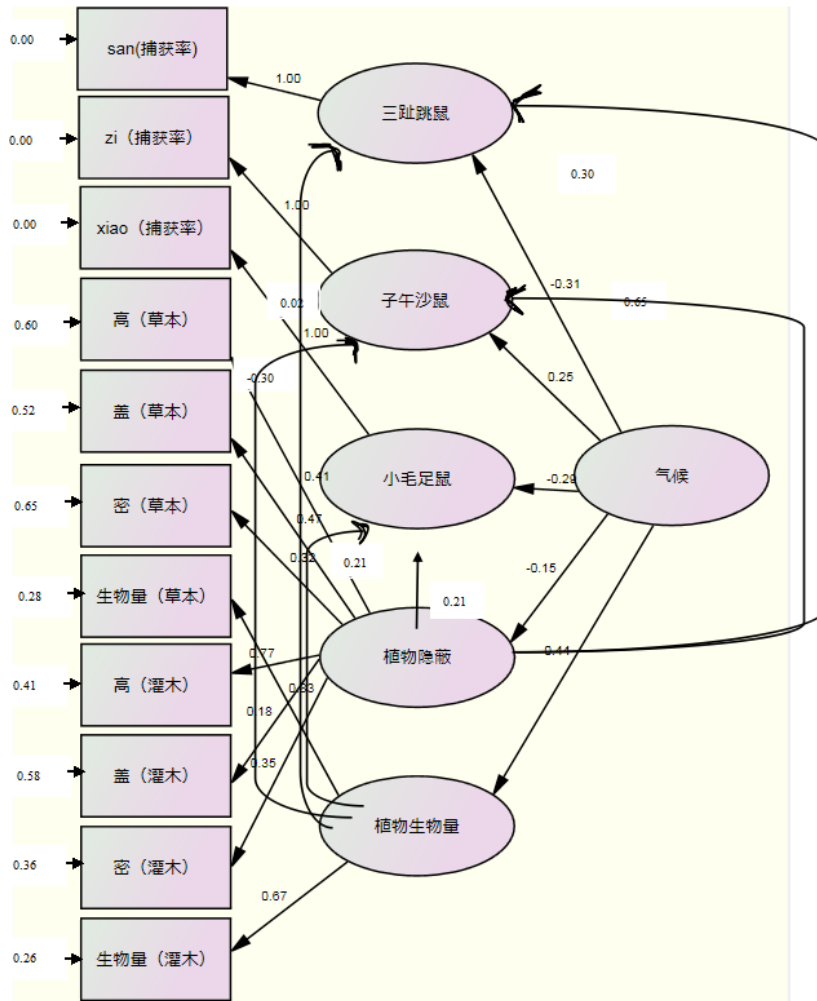
潜变量	指标	因子载荷	残差	t 值
三趾跳鼠	三趾跳鼠捕获率	1.00	0.00	--
子午沙鼠	子午沙鼠捕获率	1.00	0.00	--
小毛足鼠	小毛足鼠捕获率	1.00	0.00	--
植物隐蔽	灌木高度	-0.79	0.38	-1.51
	灌木盖度	-0.87	0.85	1.14
	灌木密度	-0.58	0.44	-0.25

	草本高度	0.89	0.74	0.39
	草本盖度	0.95	0.48	-1.11
	草本密度	0.92	0.81	0.16
植物生物量	灌木生物量	-0.82	0.52	1.80
	草本生物量	0.93	0.30	0.09
季节气候	7月平均气温	-0.61	0.88	0.63

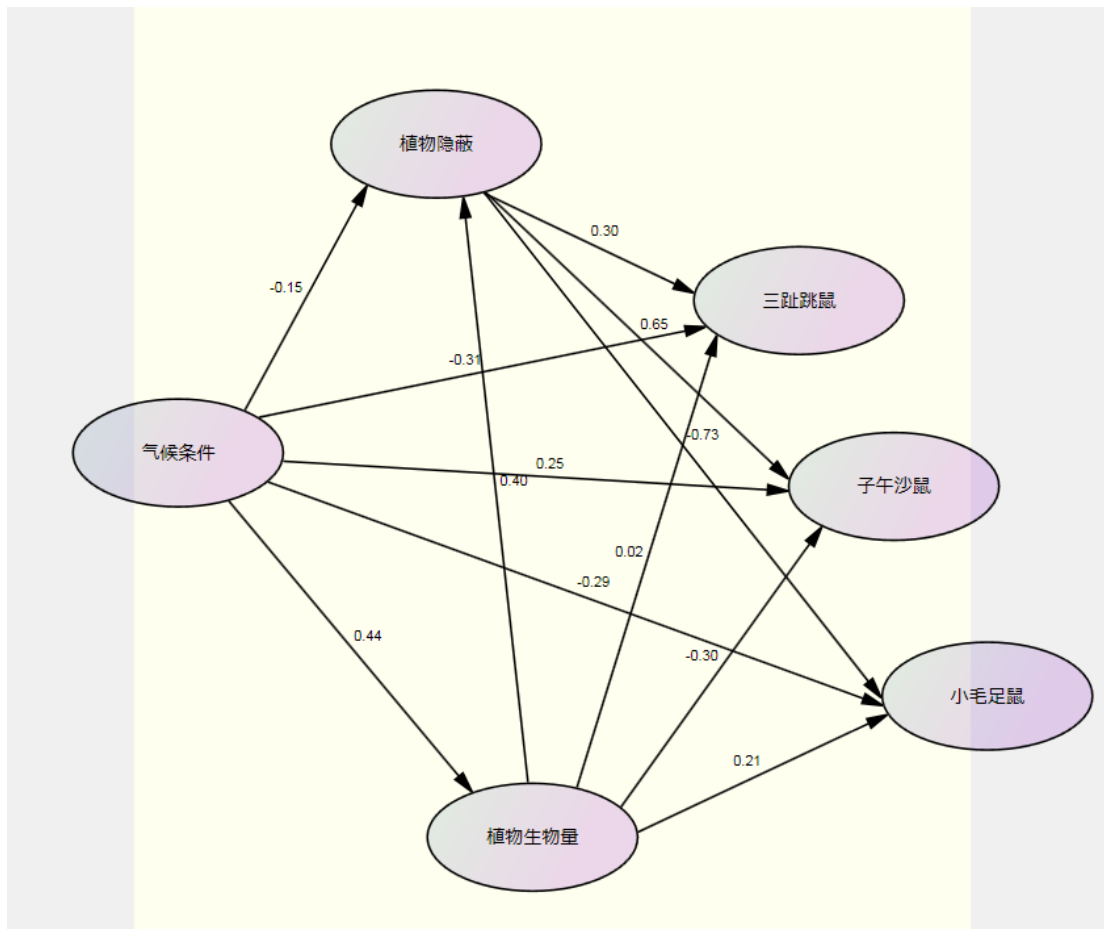
  

潜变量	指标	因子载荷	残差	t 值
三趾跳鼠	三趾跳鼠捕获率	1.00	0.00	--
子午沙鼠	子午沙鼠捕获率	1.00	0.00	--
小毛足鼠	小毛足鼠捕获率	1.00	0.00	--
植物隐蔽	灌木高度	0.10	0.35	-0.40
	灌木盖度	0.69	0.76	-0.67
	灌木密度	0.53	0.35	-0.66
	草本高度	-0.41	0.74	1.38
	草本盖度	0.28	0.41	0.15
	草本密度	0.23	0.64	-1.41
植物生物量	灌木生物量	0.85	0.12	0.76
	草本生物量	0.90	0.08	3.36
季节气候	10月平均气温	0.70	0.34	2.21

从上表潜变量的数据显示,在过牧区七月份的季节,植物隐蔽和植物生物量对三趾跳鼠,子午沙鼠和小毛足鼠的捕获率直接影响都较大。而其中灌木对其影响为显著负相关,表示阻碍影响大,影响较大的为草本植物,数据显示此时草本植物高盖密指标的因子载荷都非常高。植物生物量中灌木的生物量为负相关,草本的生物量为显著正相关。而七月的气候条件对啮齿动物的影响也较大,也是负影响的。相反的,在过牧区10月季节里,植物隐蔽和植物生物量对啮齿动物的影响非常弱,且统计数据不显著。同时10月的气候条件的因子载荷对其影响也较低。



注：图中所有路径的系数均为完全标准化系数，“-”表示负效应。



注：圆圈：潜变量； 单箭头：单向效应； 双箭头：相关效应； 实体黑线：统计显著； 虚线：统计不显著； 途中所有路径的系数均为完全标准化系数，“-”：负效应

### III. 过牧区影响机制总结

通过上述分析各潜变量之间的效应，数据表示，在过牧区不同的月份也是不同的干扰指标。就过牧区 7 月而言，对啮齿动物群落影响最大的为植物隐蔽和植物生物量。而气候条件对其有显著的影响，从数据可知就过牧区 10 月而言，对啮齿动物群落影响最大的反而是气候条件。因为 7 月的气候载荷（-0.61），而 10 月的气候载荷（0.70），两者载荷绝对值都偏高，但是其中 7 月是负相关，即对啮齿动物群落的影响是负向的，而 10 月是正相关，说明对啮齿动物的影响是正向的，并且在 10 月植物隐蔽和植物生物量对啮齿动物的影响都不高。这表示啮齿动物在不同气候的干扰下群落的影响机制不同。

### IV. 轮牧区 SEM 模型的理论准备与模型建立

过牧啮齿动物的 SEM 模型：

SEM 模型的构建

轮牧区测量指标与过牧区均相同。

#### 一、概念模型的构建

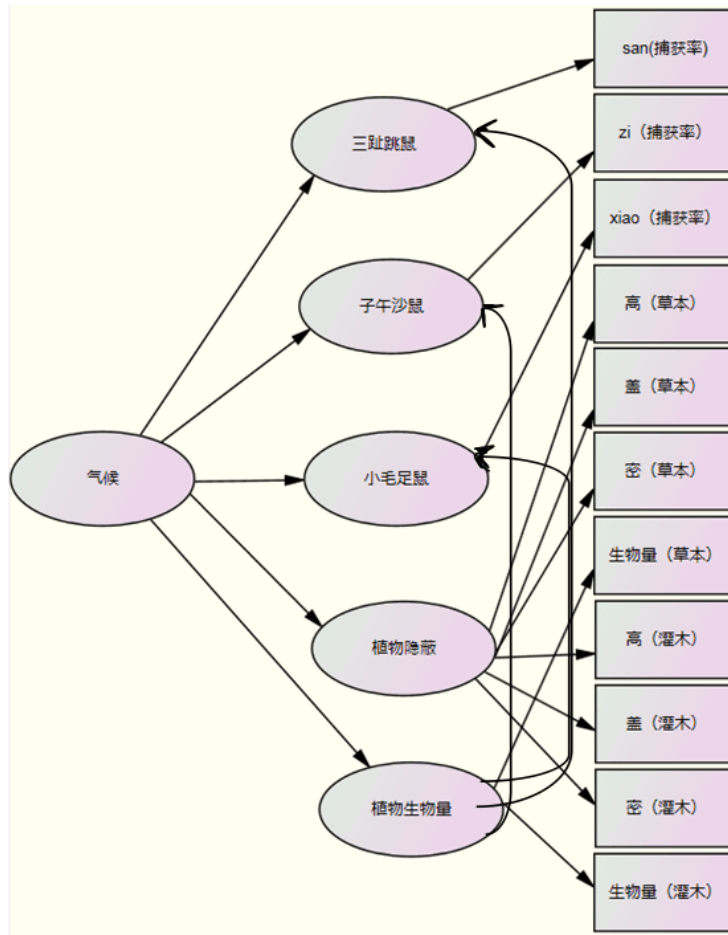
所以相同的，假设这三种啮齿动物的捕获率会受到季节气候，植物隐蔽和生物量的影响，而同时植物隐蔽和植物生物量也会受到气候季节的影响。所以我们可以将三

趾跳鼠，子午沙鼠，小毛足鼠作为内生潜变量，而气候季节作为外源潜变量。外源潜变量条件则由月平均气温来代表，此处分为过牧区七月和过牧区十月的月平均气温。内生潜在量三趾跳鼠，子午沙鼠，小毛足鼠分别由单一指标即三者分别的捕获率来说明。内生潜变量植物隐蔽则由指标灌木高度，盖度，密度；草本高度，盖度，密度来说明。内生潜变量植物生物量由灌木生物量和草本生物量来说明。

该模型共有 12 个测量变量，模型设定条件如下：

- 1、模型中有 1 个外源测量变量和 11 个内生测量变量，12 个测量变量残差；
- 2、模型中有 1 个外源潜变量和 5 个内生潜变量，5 个解释残差被自由估计；
- 3、每个测量变量仅受单一潜变量影响
- 4、外源潜变量使用固定方差法，内生潜变量使用固定载荷法。

根据上述假设以及各变量的测量指标构建概念模型，结果图如下：

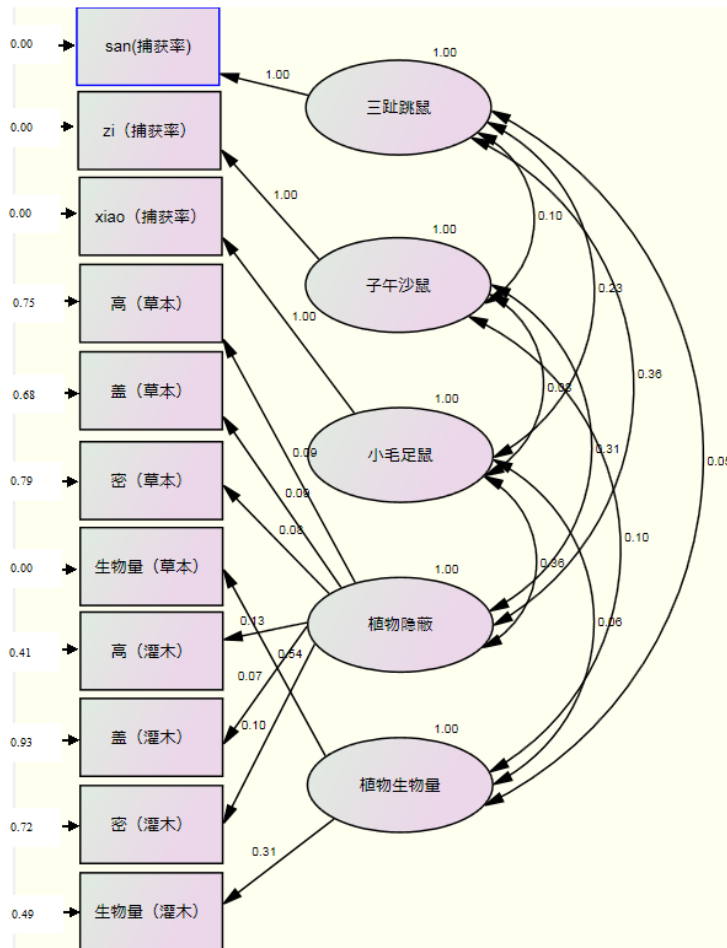


所得的结果与过牧区均相同，所以此处省略具体数据的描述。

## 二、验证性模型的拟合与修正

根据模型修正指数结果，发现由于灌木生物量以及灌木多样性的计算过程中均涉及到灌木的密度，因此允许其误差相关。同理设定草本多样性、草本生物量及草本密

度误差相关。对第一阶段的模型进行数据误差分析，之后对该模型进行修正，修正结果如下图所示。计算数据后得，卡方达到 359.22 (df=115, p=0.00)，卡方自由度比小于 5，则可视为可接受模型。RMSEA=0.079 也小于 0.1。NNEI 也较小。由于计算后得知载荷量大致合理且直观，所以，上述拟合指标表明验证模型拟合基本思想，由此可进行结构模型分析。



### 三、 SEM 全模型拟合与修正

第二阶段全模型最终的拟合结果如下图所示，卡方达到 359.22 (df=115, p=0.00)，卡方自由度比小于 5，则可视为可接受模型。RMSEA=0.079 也小于 0.1。NNEI 也较小。以上指标表明拟合基本思想。各指标对潜变量的载荷量和残差如下表和下图所示，所有测量指标载荷均达到统计的要求。其中轮牧 7 月干扰下，草本盖度因子载荷在植物隐蔽中最高 (0.91)；植物生物量中草本生物量的因子载荷也是最大 (0.95)；七月在气候中载荷最低 (-0.56)。而过牧 10 月干扰下，灌木盖度在和最多 (0.84)；草本生物量仍最多 (0.81)；而十月气候载荷不是很高 (0.20)。

Table 5 潜变量

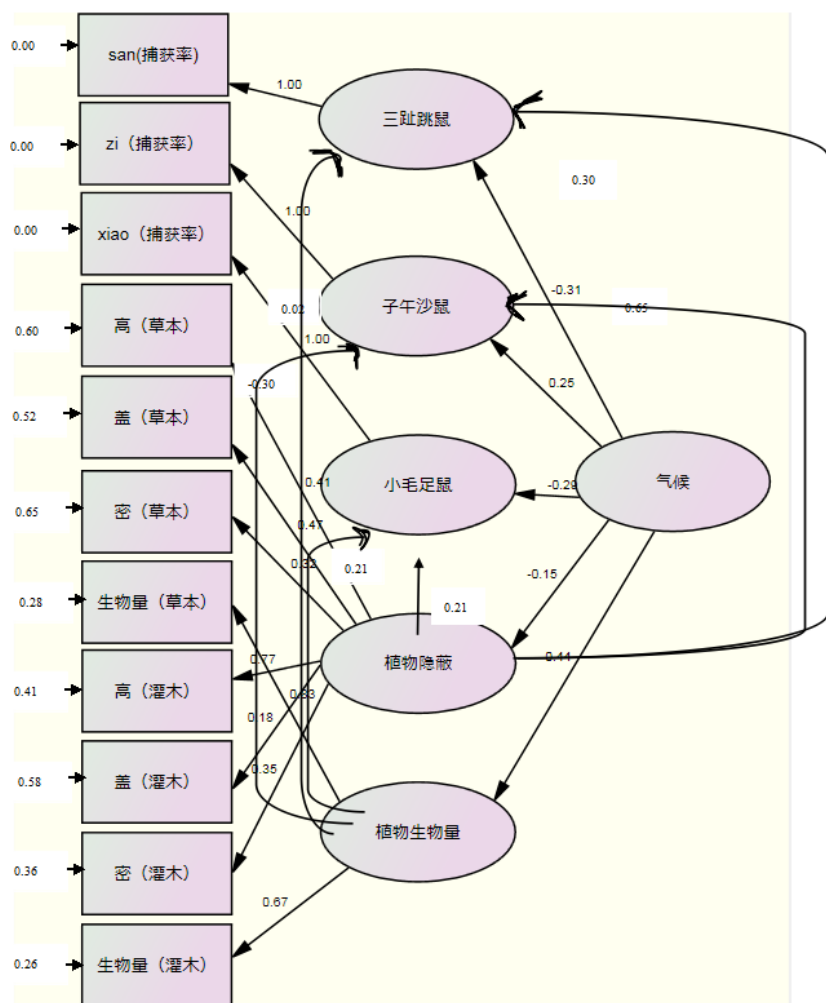
潜变量	指标	因子载荷	残差	t 值
-----	----	------	----	-----

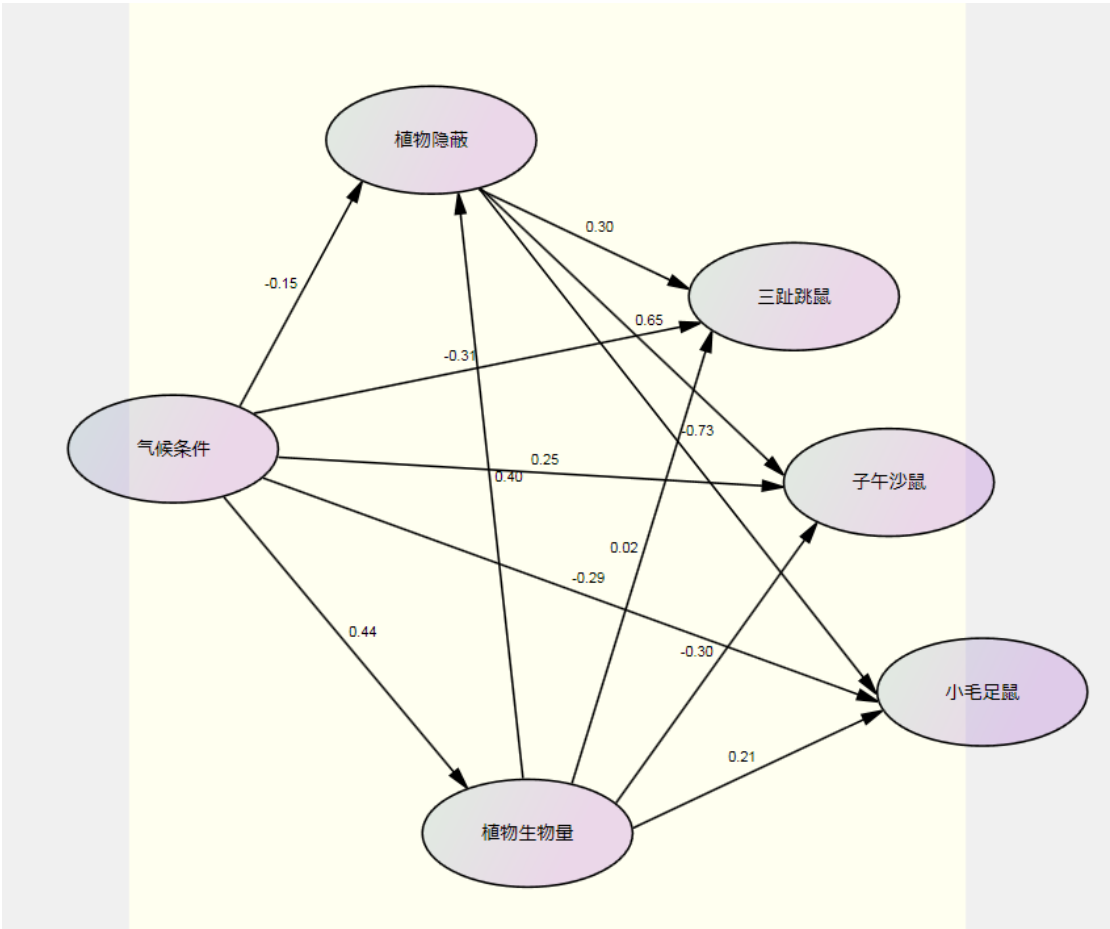
三趾跳鼠	三趾跳鼠捕获率	1.00	0.00	--
子午沙鼠	子午沙鼠捕获率	1.00	0.00	--
小毛足鼠	小毛足鼠捕获率	1.00	0.00	--
植物隐蔽	灌木高度	-0.06	0.38	5.53
	灌木盖度	-0.07	0.85	3.27
	灌木密度	-0.35	0.44	2.17
	草本高度	0.73	0.15	-3.27
	草本盖度	0.91	0.52	-4.22
	草本密度	0.33	0.66	-4.81
植物生物量	灌木生物量	-0.67	0.08	6.21
	草本生物量	0.95	0.35	3.36
季节气候	7月平均气温	-0.56	0.77	2.25

潜变量	指标	因子载荷	残差	t 值
三趾跳鼠	三趾跳鼠捕获率	1.00	0.00	--
子午沙鼠	子午沙鼠捕获率	1.00	0.00	--
小毛足鼠	小毛足鼠捕获率	1.00	0.00	--
植物隐蔽	灌木高度	-0.58	0.65	0.38
	灌木盖度	-0.84	0.77	0.45
	灌木密度	-0.62	0.51	0.88
	草本高度	0.55	0.42	0.30
	草本盖度	0.84	0.52	0.13
	草本密度	0.81	0.72	0.89
植物生物量	灌木生物量	0.31	0.48	0.48
	草本生物量	0.81	0.61	0.23
季节气候	10月平均气温	0.20	0.34	-0.30

从上表潜变量的数据显示，在轮牧区七月份的季节，植物隐蔽和植物生物量对三趾跳鼠，子午沙鼠和小毛足鼠的捕获率直接影响不是很稳定。而其中灌木对其影响为负相关，且载荷绝对值较低，表示影响不大，影响较大的为草本植物，数据显示此时草本植物高盖密指标的因子载荷都较高。植物生物量中灌木的生物量为负相关，草本的生物量为显著正相关。而七月的气候条件对啮齿动物的影响也较大，也是负影响的。相反的，在过牧区10月季节里，植物隐蔽和植物生物量对啮齿动物的影响非常强，且其中灌木植物隐蔽表现为显著的负相关，即阻碍影响较大，而草本植物隐蔽载荷为正，且载荷值非常高，表示为正向影响很强。而灌木生物量于草本生物量均为正相关，草本生物量影响较大。同时10月的气候条件的因子载荷对其影响也较低。







V. 轮牧区影响机制总结

通过上述分析各潜变量之间的效应，数据表示，在轮牧区不同的月份也是不同的干扰指标。就轮牧区 7 月而言，植物隐蔽和植物生物量对啮齿动物群落的直接影响不是很稳定，不同的植物种类的高盖密指标对其影响都是不确定的，有些正向有些负向。而不同的气候条件对其同样有显著的影响，从数据可知就轮牧区 10 月而言，对啮齿动物群落影响较大的反而是气候条件。因为 7 月的气候载荷（-0.56），虽然 10 月的气候载荷（0.20）不是特别高，但相对于 7 月的负向影响所体现出的两个不同季节对啮齿动物群落的影响的截然不同，即 7 月为阻碍，10 月为促进。但不同于过牧区的是，在过牧区 10 月，植物隐蔽和植物生物量对啮齿动物的影响非常强。

III. 总结

在本次研究中，我们将干扰因素划分为过牧区，轮牧区，7 月与 10 月的组合。从数据可以看出，不同干扰情况下某些影响机制对啮齿动物群落的影响有相同之处也有不同之处。

不同干扰下对啮齿动物群落的影响机制总结如下表：  
Table 6 啮齿动物群落影响

干扰	影响	7 月	强度	10 月	强度
过牧	灌木植物隐蔽	负向	强	正向	弱

	草本植物隐蔽	正向	强	正向	弱
	灌木生物量	负向	强	正向	强
	草本生物量	正向	强	正向	强
轮牧	灌木植物隐蔽	负向	弱	负向	强
	草本植物隐蔽	正向	强	正向	强
	灌木生物量	负向	强	正向	强
	草本生物量	正向	强	正向	强

而针对不管是轮牧还是过牧的情况，真正对啮齿动物群落影响较大的不仅是植物的影响机制，还包括季节气候的影响机制，由于季节气候同样影响着植物的生长。就季节气候影响机制而言，7月是负向的，10月是正向的，且强度较强。

## 6. 模型的推广与评价

### 6.1. 模型的优点

1. 本文巧妙运用流程结构，将文章思路完整清晰的展现出来。
2. 利用 EXCEL 对数据进行处理，建立出折线图，使数据更加直观，更加快捷、简便地看清数据间的差别。
3. 运用多种数学软件（如 SPSS、MATLAB），使得各个软件之间取长补短，让最后计算结果更加准确。
4. 对问题进行切实的分析，用准确适合的模型来解决实际问题。
5. 联系现实，建立模型，使本文中的模型更贴近实际，通用性强。

### 6.2. 模型的缺点

1. 除了附件 1 中的数据，另外使用了一些相关的数据，使得数据的关联度不是很大。另外对数据进行了一些必要的处理，会带来一定的误差。
2. 为了使计算简便，让所得的数据更为理想，忽略了不服不是很重要的影响因素。
3. 由于人为活动对荒漠系统的干扰，使得一些数据不一定准确，使得数据结果不一定与实际相符。

## 7. 模型的改进

1、层次分析法和一般评价过程相比，客观性较高，当因素为多个时，标度工作量太大，可能会引起判断混乱。对于这样的问题，在因素过多的情况下，我们可以适当剔除一下次要因素，从而缩小标度工作量，尽量避免判断混乱。

2、灰色关联模型存在一定缺陷，使得模型可能不能反应序列时间的正负相关关系，不满足规范性或不满足保序性。对于这样的问题，我们可以按照因素的时间序列曲线的平均相对变化态势的接近程度来计算关联度。

3、灰色测度模型虽然避免了统计假设，简便易行，但也存在不足之处，灰色测度模型着重考虑环境对品种的影响，而品种与环境的交互作用考虑较少，所以当我们得到结果后，不能片面强调其稳定性好坏，还应考虑其平均表现。把研究植物的平均产量或者动物的平均数量与稳定性进行对比，综合评定稳定性。

4、结构方程（SEM）模型使用的方法要求数据必须满足多元正态分布，并且需要足够大的样本，前提假设过于严格。相对 SEM 模型，神经网络的主要优势在于它强大的非线性模拟能力。对此，我们可以将 SEM 模型与神经网络进行适当融合，达到优势互补的效果。

## 8. 模型的推广

1、在问题一中，层次分析法不止适用于探究荒漠区不同干扰下植物生物量、啮齿动物生物量的变化趋势，还是和用于一些其他需要探究干扰影响指标的情况。如：不同季节不同地区玫瑰花的生长情况，由于气温、降雨量、土壤（干扰）的不同使得玫瑰的生长情况不同。可以利用层次分析，对数据进行分析，从而得出不同干扰下，玫瑰的生长情况。

2、灰色模型可以通过少量、不完全的信息，建立灰色微分预测模型，对事物发展规律做出模糊性的长期描述。灰色模型的计算量小，样本不需要有规律性分布，而且灰色预测准确度高。在预测物种之间的关系、联系或者预测某一植物品种动物品种的稳定性时皆可使用到灰色模型。

3、结构方程模型（SEM）在本文中应用于揭示干扰对于啮齿动物群落的影响机制，作为一种验证性的方法，在心理学、社会学、行为学等领域均得到广泛的应用。在心理学领域，SEM 可以应用于检验心理测量的信度，效度及揭示测量中的一些问题，为检验观察数据与基本行为结构之间的关系提供了一种有效的方法。结构模型的特性使其在市场研究领域也有着广泛应用，例如：消费者满意度研究、对产品或服务的偏好以及购买行为研究、行为和态度动机的探索、生活方式研究等。

## 9. 给政府的一封信

尊敬的政府领导:

您好!

针对本次对荒漠区动植物关系的研究,我们发现了西北内陆干旱区生态环境存在着一些问题,对此,我们特意分析了其动物群落生态系统的演变趋势。本信件的内容在于向您概述西北荒漠区环境现状,生物在此环境下的生态关系,描述未来荒漠区生态系统的演变趋势,以及我们发现的该环境下破坏生物群落的影响机制。对此,我们会提出一些合理的建议。首先,我想对西北荒漠区当前的环境现状做一个综述。

西北内陆干旱区地处内陆腹地,干旱少雨,其生态基础本底脆弱,自然生态对水分的依赖极强,大规模的水资源开发加速了区域性的生态环境演变。随着全球经济的高速发展,人们以较的强度影响着环境,改变着环境,使全球的生命支持系统受到了严重的创伤。荒漠区严酷的气候条件以及日益加剧的人为干扰,使荒漠区生态系统变得更加脆弱。从维护生态系统的稳定性角度来看,最合理的途径无疑是将人工生态融合到自然生态中去,减少人为对环境的破坏性干扰,加大人工设备的维护。

下面,针对我们这次的研究,我们简要分析一下当前西北荒漠区生物群落的稳定性,和影响生物群落平衡的影响机制。首先我们依据本次研究将西北荒漠区分为两个特征地区,分别为轮牧区和过牧区。由根据季节气候的不同分为7月和10月来研究该地区啮齿动物群落的稳定性和不同干扰下对该群落的影响机制。从研究结果来看,荒漠区周围生态环境较复杂、基本没有过强度的自然环境恶化对啮齿动物群落生态的影响,群落稳定性相对较好。然而问题在于群落的稳定性受到荒漠区气候变化的影响程度比植物量的要大。不管是轮牧区还是过牧区,10月份群落稳定性都比7月份的要好。我认为或许是由于荒漠区气候条件差异大,不同的季节降水量,平均气温变化幅度也大。这种气候的变化影响动物群落稳定性的原因不单单体现在动物本身对气候的适应性,更多的或许是气候对动物的能量来源,食物来源的影响。所以,我认为要保持动物群落在该地区的稳定生存,必须要加大人为的控制,改善荒漠区的恶劣生态环境。例如,政府可以加大对该地区生态保护区的建设,种植更多的生物食物来源。并且可以在不同的季节做好对不同生物防患恶劣环境的措施,例如对啮齿动物在夏季增加降温措施,人为为其挖洞造窝,减少天敌的数量等。所以,只有当荒漠区周围的生态环境有助于啮齿动物群落内能流路线的增加,使食物链和食物网更加趋于复杂,才有利于提高啮齿动物群落的相对稳定性。

针对于我们所研究的啮齿动物群落不同干扰下的影响机制,我们同样如上一个稳定性研究中,将不同的干扰划分为过牧,轮牧,7月,10月这四个指标的组合。由研究结果我们发现,同一个群落中,不同的物种的影响因素都会有偏差。原因也许是即使同一群落,不同物种的习性都会大不相同。例如在过牧区内,啮齿动物群落的研究内,对三趾跳鼠生存影响最大的整体效应是季节气候条件;而对于子午沙鼠种群数量来说最大的影响则来自于植物生物量和植物隐蔽。而通过研究我们发现在轮牧区的影响跟过牧区大致雷同,所以轮牧区和过牧区这两种不同的干扰会对啮齿动物群落产生大似相同的影响机制。针对于啮齿动物而言,其影响机制总结为季节气候的变化,表现为月平均气温或降雨量等因素的变化,平均气温较低时(10月)对其群落影响是正向的,而到达7月气温升高对其影响则是负向的。而植物的生物量和隐蔽对部分啮齿动物的是有一定影响的,灌木的高度和密度影响不大,但草本植物生物量大对部分动物是正向影响。所以我认为要根据不同的影响机制来维护荒漠区物种的生态平

衡。政府可以在某个季度针对某种动物增大人为了的维护，这个所谓的某个季度是适应于某种动物的繁殖与活动的，换句话说，就是某种动物活跃的时期，根据其影响机制加大正向影响机制量，相应的减少负向影响机制的量。例如，政府可以在冬季加大草本植物的种植，适当降低灌木的高度，以适应子午沙鼠的繁殖与捕食。

以上，便是我们通过本次研究发现的西北荒漠区动植物关系中动物群落的基本现状以及一些问题，并针对这些问题提出了一些个人建议，希望领导可以针对我们提出的意见进行讨论和分析，并采取一定的措施，来共同致力于西北荒漠区的生态环境保护工作。

此致

敬礼！

2015 年 4 月 19 日

### 参考文献

- [1] 陈晓东, 不同干扰下荒漠啮齿动物群落与植物群落、土壤相关性分析[M], 2010.
- [2] 袁帅, 荒漠区啮齿动物群落优势种对不同干扰的响应机制[M], 2013.
- [3] 陈超英, 节肢动物群落稳定性测度的灰色模型及其应用[R], 福州农林大学, 2005.
- [4] 王利清, 不同干扰方式下荒漠啮齿动物群落生物量与生境因子的关系[M], 2006.