

# 第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会  
电话：0471-5220129

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)  
邮编：010021

Email: 2011@tzmcm.cn

## 第四届“互动出版杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛 承 诺 书

我们仔细阅读了第四届“互动出版杯”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，我们将受到严肃处理。

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：1857

参赛队员（签名）：

队员 1：张大伟

队员 2：苗永建

队员 3：何俊池

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：本科组

# 第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会

电话：0471-5220129

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)

邮编：010021

Email: 2011@tzmcm.cn

## 第四届“互动出版杯”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）：

1857

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）：

# 第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会

电话：0471-5220129

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)

邮编：010021

Email: 2011@tzmcm.cn

## 2011 年第四届“互动出版杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第二阶段

题 目 生物多样性的评估

关 键 词 生物多样性 归一化 层次分析法 模糊优选 加权 FCM

### 摘 要：

第一问估计某个地区的生物多样性的发展情况。针对这个问题我们运用模糊优选的方法进行综合排序，其中权值通过两种方法获得：（1）层次分析，将各个因素之间相互定性的比较转换为对于目标的定量的权重；（2）查阅资料。其中各个因素间的数据用归一化进行处理，使数据标准化。最后用综合排序结果与生物丰富度进行比较分析得出发展情况。若其生物丰富度高，综合排名反而低说明其整个生物多样性在退化，反之则更新扩张。

第二问要求设定保护区标准。求解过程中我们利用模糊 C-均值聚类方法，它不仅能够从给定数据中求出被测对象的指标值，还能够全面分析各种因素（尤其是各指标的数据稳定性）来进行综合评价。我们以安徽各地区提供的生物多样性指标，通过 FCM 算法进行了分析和评价，进而得出普遍性的规律。最后，我们结合本题目得出的结论，完成了递交联合国的生物多样性保护评估报告。

参赛队号 1857

所选题目 B

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

# 第四届数学中国数学建模网络挑战赛

地址：内蒙古数学会

电话：0471-5220129

网址：[www.tzmcm.cn](http://www.tzmcm.cn)

邮编：010021

Email: 2011@tzmcm.cn

## Abstract

The first question estimates the development of a regional biodiversity. To address this problem we use fuzzy comprehensive optimization method for sorting, among whose indexes weights obtained through two ways: (1) Analysis of levels. To convert a qualitative comparison among various factors for quantitative target weights; (2) Access to information. To make data standardization, we do it for normalization between the various factors of data processing. We got the level of development by comparing final results with comprehensive and comparative analysis of biological richness. If their biological richness is higher ranking but is lower on its biodiversity, as a whole in the degradation, while updating expansion.

The second question requires setting the standards for protected areas. We use fuzzy c-means clustering method to tackle it. Not only from the given data can we find the index value of the objects being tested, but also get a comprehensive analysis of various factors (especially the stability of the indicator data) so as to conduct a comprehensive evaluation. Through the FCM algorithm for the analysis and evaluation of our biodiversity indicators to regions of Anhui Province, and thus we come to the law with universality. Finally, we came to the conclusion by combining this subject, and completed assessment reports on biodiversity protection to be submitted of the United Nations.

## 1、问题重述

2010 年是联合国大会确定的国际生物多样性年。保护地球上的生物多样性已经越来越被人类社会所关注，相关的大规模科研和考察计划也层出不穷。为了更好地建立国际交流与专家间的合作，联合国还建立了生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台（IPBES）。但迄今为止，几乎所有的考察计划都面临着一个基本的困难：如何评价被考察区域的生物多样性。传统的方法是清点物种数量，但现在有许多科学家认为这种方法具有很大的局限性。譬如有人提出应当考虑物种的相似程度。有人则提出有一些物种的基因多样性程度远远超过另一些物种，所以应当考虑基因的多样性等。但现在还缺少一种能全面考虑不同因素的对生物多样性进行测定的方法。

问题 1：在生态环境中，虽然某些地区的生物多样性较为丰富，但其整体处于退化的阶段，某些地区的生物多样性则能不断进行自我更新和扩张。请设计一个合理的估计方法，依据可测量的指标，估计某个地区的生物多样性的发展情况。

问题 2：建立自然保护区是保护地球上生物多样性的方法。每年都有许多地理区域申请建立自然保护区，但我们建立保护区的经费和能力有限，不可能建立太大范围的自然保护区。请你依据合理的数学模型，设计一个指标，综合各方面因素，以便评定应该优先保护哪些地区。并请你撰写一份报告，提交联合国环境规划署。要求以非专业人员能够理解的方式，确切阐明评定优先等级的方法及其合理性。报告的长度限制在 A4 纸张两页之内，独立于论文。

## 2、问题分析

第一问是讲某地区生物多样性的发展情况，地区一般比较大所以我们用了全国各省市的数据来建立的模型。而第二问是说保护区建立标准，保护区一般都不大，所以用了安徽省各个县市的数据来建立模型。

第一问中要求设计一种合理的估计方法依据可测量的指标，估计某个地区的生物多样性的发展情况。针对这个问题我们应该运用层次分析将各个因素之间相互定性的比较转换为对于目标的定量的权重，然后再用模糊优选的方法进行综合排序，最后用综合排名与生物丰富度进行比较分析得出发展情况。若其生物丰富度高，综合排名靠后说明其整个生物多样性在退化，反之则更新扩张。

第二问中要求依据合理的数学模型，设计一个指标，综合各方面因素，以便评定应该优先保护哪些地区。针对这个问题我们认为应该利用这样一种算法，它不仅能够从给定数据中求出被测对象的指标值，还能够全面分析各种因素（尤其是各指标的数据稳定性）来进行综合评价。于是我们选择了 FCM 方法，并以第一阶段 1016 队中所给的附录 1——“安徽省 79 个地区各评价因素、已有评分情况以及模糊评价指标”（见本文附录 3）为数据依据进行分析和求解，进而得出普遍性的规律。

## 3、模型假设

1、假设提供数据准确。

2、影响生物多样性的因素只与物种丰富度、生态系统类型、多样性植被垂直层谱的完整性、物种特有性、外来物种入侵度这五个因素有关。

3、问题一中用了两个权值，一个是层次分析所得权值，另一个是专家给定权值（查阅资料），假定对于专家给定权值符合实际情况。

4、层次分析中求权值是偏向于丰富度以及外来物种入侵度这两个因素，假定此偏向符合实际情况。

5、FCM 求生物多样性优良隶属度时，不考虑其他因素，并符合实际情况。

## 4、符号说明

### 1、层析分析中符号说明：

CI表示计算一致性指标

CR表示随机一致性比率

RI表示计算一致性比率

$\lambda_{\max}$  表示最大特征值

### 2、模糊优选数学模型中符号说明：

D表示决策集，包括物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直带谱的完整性等

P表示目标集，省市

X表示目标特征矩阵，m个目标对n个决策

R表示目标相对优属矩阵

$g$  表示最大相对优属度

$b$  表示最小相对优属度

$\omega$  表示目标的权重系数

$\mu_j$  表示决策相对优属值

$d_{jg}$  表示距优距离

$d_{jb}$  表示距劣距离

### 3、模糊 C-均值聚类方法符号说明：

$N$  : 样本集合中的元素个数

$x_i$  : 样本值

$u_{ij}$  : 第j个样本 $x_j$ 属于第i个类别的隶属度

$c_j$  : 第i类中心

$d_{ij}$  : 样本点 $x_j$ 与第i类中心 $c_i$ 之间距离

$m$  : 加权指数。

$w$  : 学分权重

$J_m(X, u, c)$  : 聚类准则函数（目标函数）

## 5、模型建立与求解

### 问题一

#### 5.1 模型建立

##### 5.1.1 归一化模型

各指标之间评价标准不一样，难以进行比较和数据处理，所以得先将数据进行标准化，在本文中我们运用的是归一化原理。

公式：

归一化后的评价指标=归一化前的评价指标×归一化系数，归一化系数=100/A 最大值，A 最大值：指某指标归一化处理前的最大值。

说明：

对于物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直层谱的完整性、物种特有性这四个指标，由于是正向指标，它们的值越大，生物多样性就越好；而对于外来物种入侵度，则是一个负向指标，值越大，生物多样性越不好，应对其做适当转换（100-归一化后的外来



物种入侵度)。

### 5.1.2 层次分析模型

层次分析法在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上，利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化。尤其适合于对决策结果难于直接准确计量的场合。层次分析中很多因素的作用往往无法用定量的方式描述，此时需要将半定性、半定量的问题转化为定量计算问题。层次分析法是解决这类问题的行之有效的方法。层次分析法将复杂的决策系统层次化，通过逐层比较各种关联因素的重要性来为分析、决策提供定量的依据，可以将各个因素之间相互定性的比较转换为对于目标的定量的权重。

#### 1、递阶层次机构的建立

复杂问题的决策由于涉及的因素比较复杂，通常会比较困难，AHP法第一步就是将问题涉及的因素条理化、层次化，构造一个有层次的结构模型。仔细阅读题目，我们可以认为影响生物多样性发展的因素中：物种丰富度最重要，其次是生态系统类型多样性和外来入侵物种种数，剩下的两个因素相对影响弱一些。如何将这五个要素组织起来得到我们需要的评价呢？我们采用比较传统而又比较便于理解的层次模型进行线性的规划。即从某种意义上说可以表示为下述式子：

$$P = K_1 * X_1 + K_2 * X_2 + \dots + K_i * X_i$$

其中 $i=5$ ， $X_i$ 分别代表五个元素，建立的层次结构如表一。

表一 生物多样性发展测评模型

目标层	指标层
生物多样性发展测评	物种丰富度
	生态系统类型多样性
	植被垂直带谱的完整性
	种子植物中国特有属性
	外来入侵物种种数

#### 2、构造两两比较判断矩阵

判断矩阵的值反映了人们对各因素相对重要性的认识，一般采用1-9比例标度对重要性程度赋值。

表二 层次分析法权重含义表

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有相同重要性
3	表示两个因素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比，前者比后者极端重要
2/4/6/8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 a，那么元素 j 与元素 i 重要性之比为 $a=1/a$

判断矩阵具有  $a_{ij} > 0, a_{ij} = 1/a_{ji}, a_{ii} = 1, i, j = 1, 2, \dots, n$ ，具有这种性质的矩阵 A 称为正

互反矩阵。若判断矩阵  $A$  同时具有性质： $\forall i, j, k \dots a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj}$ ，则称  $A$  为一致性矩阵。

### 3、单一准则下元素相对权重计算

权重计算方法主要有以下几种：

**和法** 去判断矩阵  $N$  个列向量（针对  $N$  阶判断矩阵）的归一化后算术平均值近似作为权重向量，即有：

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, i = 1, 2, \dots, n$$

**根法（几何平均法）** 将  $A$  的各个向量采用几何平均然后归一化，得到的列向量近似作为加权向量，即有：

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{kj})^{\frac{1}{n}}}, i = 1, 2, \dots, n$$

**特征根法（EM）** 求判断矩阵的最大特征值及其对应的右特征向量，分别称为主特征根与右主特征向量，然后将归一化后的右主特征向量作为排序权重向量。

设  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  是  $n$  阶判断矩阵  $A$  的排序权重向量，当  $A$  为一致性矩阵时，

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

可以验证  $Aw = nw$ ，且  $n$  为矩阵  $A$  的最大特征值。

### 4、一致性检验

判断矩阵构造中，并不要求判断矩阵具有一致性，但要求判断有大体上的一致性，所以需要检验，步骤为：

(1) 计算一致性指标  $C.I.$  (Consistent Index):

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

(2) 查找相应的平均随机一致性指标  $R.I.$  (Random Index)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

(3) 计算一致性比率  $C.R.$  (Consistent Ratio):



$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

当  $C.R. < 0.10$  时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则应对判断矩阵作适当修正。

### 5.1.3 模糊优选数学模型

模糊综合评价是模糊决策中的最常用的一种有效方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。其基本原理是从影响问题的诸因素出发，确定被评价对象从优到劣若干等级的评价集合和评价指标的权重，对各指标分别做出相应的模糊评价，确定隶属函数，形成模糊判断矩阵，将其与权重矩阵进行模糊运算，得到定量的综合评价结果。

设决策集  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ，优选是在决策集  $D$  中进行，即在  $D$  中  $n$  个决策之间作优与劣的比较，与  $D$  以外的决策无关。该系统有  $m$  个目标(或指标)组成对决策集  $D$  的评价目标集  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$

#### 1、获得目标特征矩阵

$m$  个目标对  $n$  个决策的评价可用目标特征值矩阵模型求解

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} = (x_{ij})$$

表示  $(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$

#### 2、计算目标相对优属矩阵

用目标对于有的相对隶属度公式(越大越优)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bigvee_j x_{ij} + \bigwedge_j x_{ij}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \bigwedge_j x_{ij}}{\bigvee_j x_{ij} - \bigwedge_j x_{ij}} \quad (2)$$

注：若  $n$  较小且  $\bigvee_j x_{ij}$  与  $\bigwedge_j x_{ij}$  相差也较小，则一般采用公式(1)；若  $n$  较大且  $\bigvee_j x_{ij}$  与  $\bigwedge_j x_{ij}$  相差也较大，则一般采用公式(2)。

$r_{ij}$ —决策  $j$  对目标  $i$  的相对优属度， $\bigwedge \bigvee$ —分别为最小、最大符号；

$\bigvee_j x_{ij}$ ， $\bigwedge_j x_{ij}$ —分别表示就决策集  $j=1, 2, \dots, n$  对目标  $i$  的特征值取大、取小

将目标特征值矩阵  $X$  变换为目标相对优属度矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} = (r_{ij})$$

则最大相对优属度(优等决策的相对优属度)

$$g = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T = (r_{11} \vee r_{12} \vee \dots \vee r_{1n}, \dots, r_{m1} \vee r_{m2} \vee \dots \vee r_{mn})^T$$

最小相对优属度(劣等决策的相对优属度)

$$b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T = (r_{11} \wedge r_{12} \wedge \dots \wedge r_{1n}, \dots, r_{m1} \wedge r_{m2} \wedge \dots \wedge r_{mn})^T$$

#### 3、获得目标的权重系数

设系统中 $m$ 个目标的权重不同，权向量为

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T, \sum_{i=1}^m \omega_i = 1, \omega_i \text{ 为目标 } i \text{ 的权重}$$

#### 4、进行决策的分析

设决策 $j$ 对优的相对隶属度为 $\mu_j$ ，对劣的相对隶属度为 $\mu_j^c$ ，则： $\mu_j^c = 1 - \mu_j$

决策 $j$ 可用向量表示为： $r_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$

其距优距离为：

$$d_{jg} = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m [\omega_i (g_i - r_{ij})]^p}$$

距劣距离为：

$$d_{jb} = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^m [\omega_i (b_i - r_{ij})]^p}$$

（其中 $P$ 为距离参数， $P=1$ 为海明距离， $P=2$ 为欧氏距离）

决策 $j$ 相对隶属度的最优值

$$\mu_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{jg}}{d_{jb}}\right)^2}$$

在满足约束的决策集 $D$ 中，决策相对优属值 $\mu_j$ 最大的决策称为满意决策， $\mu_j$ 从大到小的排列决策称为满意排序。

#### 5.2 模型求解

1、原始数据：（附录一）

2、对原始数据进行归一化处理：

表三 归一化处理结果表

省份	物种丰富度	生态系统类型多样性	植被垂直带谱的完整性	种子植物中国特有属性	外来入侵物种种数
北京	13.801	54.59770 11	60	5.172413 793	91.03448 276
天津	8.8988	9.195402 3	60	4.310344 828	93.10344 828
河北	19.708	63.21839 08	60	11.20689 655	57.93103 448
山西	17.405	63.79310 34	60	13.79310 345	75.86206 897
内蒙古	19.07	30.45977 01	60	7.758620 69	80
辽宁	18.054	48.85057 47	60	6.034482 759	51.72413 793
吉林	17.17	54.02298 85	80	1.724137 931	68.96551 724
黑龙江	12.404	27.01149 43	60	0.862068 966	70.34482 759
上海	15.275	40.80459 77	60	2.586206 897	84.13793 103
江苏	18.693	45.40229 89	60	15.51724 138	33.10344 828

## 参赛队号 #1857

浙江	33.504	51.14942 53	100	34.48275 862	49.65517 241
安徽	23.885	55.74712 64	100	22.41379 31	42.06896 552
福建	35.568	80.45977 01	100	26.72413 793	49.65517 241
江西	27.75	74.71264 37	100	39.65517 241	55.86206 897
山东	21.406	63.21839 08	80	12.93103 448	55.17241 379
河南	24.562	60.91954 02	80	31.03448 276	63.44827 586
湖北	37.708	80.45977 01	80	68.10344 828	66.20689 655
湖南	30.889	83.90804 6	100	52.58620 69	70.34482 759
广东	47.639	51.72413 79	100	42.24137 931	51.03448 276
广西	54.119	80.45977 01	100	64.65517 241	67.58620 69
海南	35.857	40.22988 51	100	18.96551 724	65.51724 138
重庆	36.032	39.08045 98	100	56.89655 172	93.79310 345
四川	61.407	73.56321 84	100	100	45.51724 138
贵州	36.835	83.90804 6	100	68.96551 724	62.75862 069
云南	100	100	100	100	0
西藏	40.099	22.98850 57	100	31.89655 172	84.13793 103
陕西	24.928	51.14942 53	80	40.51724 138	67.58620 69
甘肃	29.317	48.85057 47	80	33.62068 966	73.79310 345
青海	14.009	28.73563 22	60	11.20689 655	81.37931 034
宁夏	12.589	39.65517 24	60	3.448275 862	85.51724 138
新疆	26.5	96.55172 41	60	0.862068 966	75.86206 897

## 3、层次分析

①根据表二我们可以构建一个判断矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 & 5 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 & \frac{5}{2} & \frac{3}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{5}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{5} & \frac{2}{5} & \frac{6}{5} & 1 & \frac{3}{5} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 2 & \frac{5}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

## ②计算权重

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 & 5 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 & \frac{5}{2} & \frac{3}{2} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{5}{6} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{5} & \frac{2}{5} & \frac{6}{5} & 1 & \frac{3}{5} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & 2 & \frac{5}{3} & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{每行乘积}} \begin{bmatrix} 180 \\ 45 \\ 8 \\ 5 \\ 216 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{求五次方根}} \begin{bmatrix} 2.8252 \\ 1.4126 \\ 0.4708 \\ 0.5650 \\ 0.9417 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{标准化}} \begin{bmatrix} 0.454 \\ 0.227 \\ 0.076 \\ 0.091 \\ 0.152 \end{bmatrix}$$

得出权值为：

物种丰富度	0.454
生态系统类型多样性	0.227
植被垂直带谱的完整性	0.076
种子植物中国特有属性	0.091
外来入侵物种种数	0.152

## ③一致性检验

求解矩阵 A 的特征值：

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{2.275}{5 \times 0.454} + \frac{1.1375}{5 \times 0.227} + \frac{0.3792}{5 \times 0.076} + \frac{0.455}{5 \times 0.091} + \frac{0.7583}{5 \times 0.152} = 5$$

由于客观事物的复杂性以及人们对事物认识的模糊性和多样性，所给出的判断矩阵不可能完全保持一致，有必要进行一致性检验，计算一致性指标  $C.I. = 0$ ，所以  $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = 0$ ，

所以判断矩阵是合理的。

## 4、模糊优选处

目标矩阵 X：

13.8010	54.5977	60.0000	5.1724	91.0345
8.8988	9.1954	60.0000	4.3103	93.1034
19.7080	63.2184	60.0000	11.2069	57.9310
17.4050	63.7931	60.0000	13.7931	75.8621
19.0700	30.4598	60.0000	7.7586	80.0000
18.0540	48.8506	60.0000	6.0345	51.7241
17.1700	54.0230	80.0000	1.7241	68.9655
12.4040	27.0115	60.0000	0.8621	70.3448

## 参赛队号 #1857

15.2750	40.8046	60.0000	2.5862	84.1379
18.6930	45.4023	60.0000	15.5172	33.1034
33.5040	51.1494	100.0000	34.4828	49.6552
23.8850	55.7471	100.0000	22.4138	42.0690
35.5680	80.4598	100.0000	26.7241	49.6552
27.7500	74.7126	100.0000	39.6552	55.8621
21.4060	63.2184	80.0000	12.9310	55.1724
24.5620	60.9195	80.0000	31.0345	63.4483
37.7080	80.4598	80.0000	68.1034	66.2069
30.8890	83.9080	100.0000	52.5862	70.3448
47.6390	51.7241	100.0000	42.2414	51.0345
54.1190	80.4598	100.0000	64.6552	67.5862
35.8570	40.2299	100.0000	18.9655	65.5172
36.0320	39.0805	100.0000	56.8966	93.7931
61.4070	73.5632	100.0000	100.0000	45.5172
36.8350	83.9080	100.0000	68.9655	62.7586
100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	0
40.0990	22.9885	100.0000	31.8966	84.1379
24.9280	51.1494	80.0000	40.5172	67.5862
29.3170	48.8506	80.0000	33.6207	73.7931
14.0090	28.7356	60.0000	11.2069	81.3793
12.5890	39.6552	60.0000	3.4483	85.5172
26.5000	96.5517	60.0000	0.8621	75.8621

目标相对优属度矩阵 R:

0.1267	0.5000	0.3750	0.0513	0.9706
0.0817	0.0842	0.3750	0.0427	0.9926
0.1810	0.5789	0.3750	0.1111	0.6176
0.1598	0.5842	0.3750	0.1368	0.8088
0.1751	0.2789	0.3750	0.0769	0.8529
0.1658	0.4474	0.3750	0.0598	0.5515
0.1577	0.4947	0.5000	0.0171	0.7353
0.1139	0.2474	0.3750	0.0085	0.7500
0.1403	0.3737	0.3750	0.0256	0.8971
0.1717	0.4158	0.3750	0.1538	0.3529
0.3077	0.4684	0.6250	0.3419	0.5294
0.2193	0.5105	0.6250	0.2222	0.4485
0.3266	0.7368	0.6250	0.2650	0.5294
0.2548	0.6842	0.6250	0.3932	0.5956
0.1966	0.5789	0.5000	0.1282	0.5882
0.2255	0.5579	0.5000	0.3077	0.6765
0.3463	0.7368	0.5000	0.6752	0.7059
0.2836	0.7684	0.6250	0.5214	0.7500
0.4375	0.4737	0.6250	0.4188	0.5441
0.4970	0.7368	0.6250	0.6410	0.7206
0.3293	0.3684	0.6250	0.1880	0.6985
0.3309	0.3579	0.6250	0.5641	1.0000
0.5639	0.6737	0.6250	0.9915	0.4853
0.3382	0.7684	0.6250	0.6838	0.6691

## 参赛队号 #1857

0.9183	0.9158	0.6250	0.9915	0
0.3682	0.2105	0.6250	0.3162	0.8971
0.2289	0.4684	0.5000	0.4017	0.7206
0.2692	0.4474	0.5000	0.3333	0.7868
0.1286	0.2632	0.3750	0.1111	0.8676
0.1156	0.3632	0.3750	0.0342	0.9118
0.2433	0.8842	0.3750	0.0085	0.8088

最大相对优属度：

$$g = (0.9183 \quad 0.9158 \quad 0.6250 \quad 0.9915 \quad 1)^T$$

最小相对优属度：

$$b = (0.0817 \quad 0.0842 \quad 0.3750 \quad 0.0085 \quad 0)^T$$

4.1 利用自定义权值进行进一步求解

$$\omega = (0.50 \quad 0.15 \quad 0.10 \quad 0.15 \quad 0.10)^T$$

最优值：

北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林
0.0828	0.0211	0.0967	0.1126	0.0662	0.0557	0.0812
黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西
0.0266	0.0604	0.0497	0.2502	0.1404	0.3311	0.2918
山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南
0.1213	0.1933	0.5136	0.4335	0.4257	0.7099	0.23
重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃
0.4178	0.8119	0.54	0.9808	0.301	0.2053	0.2298
青海	宁夏	新疆				
0.0502	0.0513	0.2178				

最优质标准化结果：

北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林
8.442088	2.151305	9.859299	11.48042	6.749592	5.679038	8.278956
黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西
2.712072	6.158238	5.067292	25.50979	14.31485	33.75816	29.75122
山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南
12.36746	19.7084	52.36542	44.19861	43.40334	72.37969	23.45024
重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃
42.59788	82.77936	55.0571	100	30.68923	20.93189	23.42985
青海	宁夏	新疆				
5.118271	5.230424	22.20636				

4.2 利用层次分析结果的权值进行进一步求解

$$\omega = (0.454 \quad 0.227 \quad 0.076 \quad 0.091 \quad 0.152)^T$$

最优值：

北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江
0.1829	0.0495	0.1737	0.2128	0.1186	0.1022	0.1567	0.0587
上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南
0.1288	0.0743	0.2825	0.1823	0.4223	0.3691	0.1964	0.2677
湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州
0.5748	0.5293	0.4386	0.7445	0.28	0.4574	0.7679	0.5942



## 参赛队号 #1857

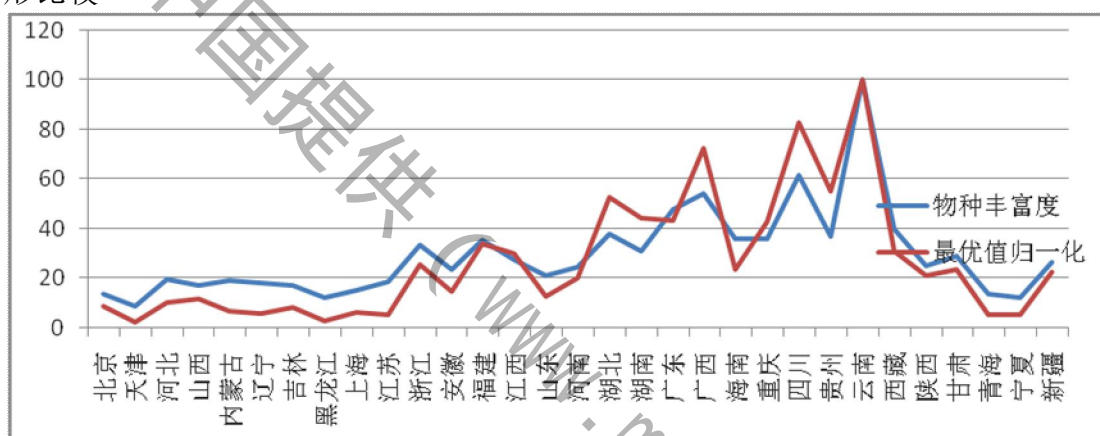
云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	
0.952	0.3305	0.2607	0.2962	0.0953	0.1149	0.4124	

最优值归一化结果：

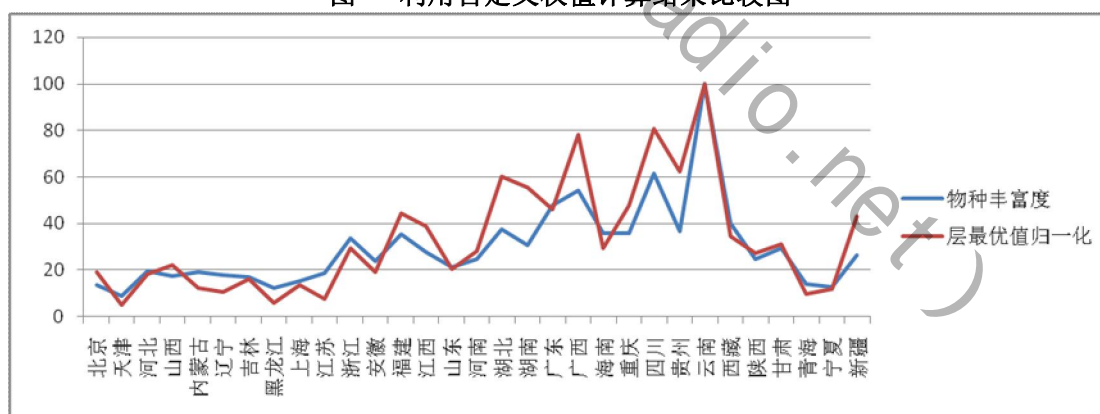
北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江
19.21218	5.19958	18.2458	22.35294	12.45798	10.73529	16.46008	6.165966
上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南
13.52941	7.804622	29.67437	19.14916	44.35924	38.77101	20.63025	28.11975
湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州
60.37815	55.59874	46.07143	78.20378	29.41176	48.04622	80.66176	62.41597
云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	
100	34.71639	27.38445	31.11345	10.0105	12.06933	43.31933	

## 5、结论简述

图形比较



图一 利用自定义权值计算结果比较图



图二 利用层次分析所得权值计算结果比较图

图中蓝线部分代表的是各地区生物多样性的物种丰富度情况（各地区丰富度归一化后的结果），图中红线部分代表的是综合评价后的结果（模糊优化最优值归一化后的结果），当红线部分高于蓝线部分时，表示此地区当前物种丰富度未达到经过评价后的水平，所以在未来的一段时间内，此地区生物多样性会向着红线所在水平靠拢，也就是进行不断地自我更新与扩张，而当蓝线部分高于红线部分，则情况相反，生物多样性整体处于退化状态。

【图一】

更新扩张省市：

江西	重庆	广西	四川	湖北	湖南	贵州
----	----	----	----	----	----	----

退化省市：

黑龙江	天津	江苏	辽宁	内蒙古	青海	上海	宁夏
吉林	河北	山东	安徽	北京	海南	山西	浙江
西藏	甘肃	河南	新疆	陕西	广东	福建	

【图二】

更新扩张省市：

甘肃	陕西	河南	福建	山西	四川	重庆
北京	江西	广西	湖北	新疆	贵州	湖南

退化省市：

江苏	黑龙江	天津	辽宁	内蒙古	青海	安徽	海南
西藏	浙江	上海	河北	吉林	宁夏	山东	广东

## 问题二

## 5.3 用模糊 C-均值聚类方法得出评价指标

## 5.3.1 基本的模糊 C-均值算法

设待分类的样本集为  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ,  $n$  是样本集合中的元素个数, 每个样本点包含  $q$  个属性,  $c$  为分类数。如果要样本集  $X$  划分为  $c$  个类别, 那么  $n$  个样本分别属于  $c$  个类别的隶属度矩阵记为  $U = [u_{ij}]_{c \times n}$  (模糊划分矩阵): 其中  $u_{ij}$  ( $1 \leq i \leq c, 1 \leq j \leq n$ ) 表示第  $j$  个样本  $X_j$  属于第  $i$  个类别的隶属度, 显然  $u_{ij}$  满足如下条件:

$$\sum_{i=1}^c u_{ij} = 1, 1 \leq j \leq n \quad (1)$$

$$0 \leq u_{ij} \leq 1, 1 \leq i \leq c, 1 \leq j \leq n$$

模糊  $c$  均值聚类算法采用误差平方和函数, 作为聚类准则函数 (目标函数):

$$J_m(X, u, c) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (2)$$

式中  $C = (c_1, c_2, \dots, c_c)$  为  $q \times c$  矩阵,  $c_j$  ( $j=1, 2, \dots, c$ ) 为第  $j$  类中心;  $(d_{ij})^2 = \|x_j - c_i\|_A^2 = (x_j - c_i)^T A (x_j - c_i)$  表示样本点  $x_j$  与第  $i$  类中心  $c_i$  之间距离的一般表达式, 如果  $A$  取单位矩阵  $I$  时, 对应的距离是欧式距离。欧式距离准则适合于类内数据点位超球形分布的情况,  $d_{ij}$  采用不同的距离定义, 可将聚类算法用于不同分布类型数据的聚类问题。  $m \in [1, \infty)$  是一个加权指数。

构造如下新的目标函数, 可求得使 (2) 式达到最小值的必要条件:

$$\begin{aligned}
 \bar{J}(U, c_1, \dots, c_c, \lambda_1, \dots, \lambda_n) &= J(U, c_1, \dots, c_c) + \sum_{j=1}^n \lambda_j (\sum_{i=1}^c u_{ij} - 1) \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij}^m d_{ij}^2 + \sum_{j=1}^n \lambda_j (\sum_{i=1}^c u_{ij} - 1)
 \end{aligned} \quad (3)$$

这里  $\lambda_j$ ,  $j=1$  到  $n$ , 是 (1) 式的  $n$  个约束式的拉格朗日乘子。对所有输入参量求导, 使式 (2) 达到最小的必要条件为:

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (4)$$

和

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{d_{ij}}{d_{kj}} \right)^{2/(m-1)}} \quad (5)$$

由上述两个必要条件, 模糊 C-均值聚类算法是一个简单的迭代过程。在批处理方式运行时, FCM 用下列步骤确定聚类中心  $c_i$  和隶属矩阵  $U$ :

步骤 1: 用值在 0, 1 间的随机数初始化隶属矩阵  $U$ , 使其满足式 (1) 中的约束条件

步骤 2: 用式 (4) 计算  $c$  个聚类中心  $c_i$ ,  $i=1, \dots, c$ 。

步骤 3: 根据式 (2) 计算价值函数。如果它小于某个确定的阈值, 或它相对上次价值

函数值的改变量小于某个阈值, 则算法停止。

步骤 4: 用 (5) 计算新的  $U$  矩阵。返回步骤 2。

上述算法也可以先初始化聚类中心, 然后再执行迭代过程。由于不能确保 FCM 收敛于一个最优解。算法的性能依赖于初始聚类中心。因此, 我们要么用另外的快速算法确定初始聚类中心, 要么每次用不同的初始聚类中心启动该算法, 多次运行 FCM。

### 5.3.2 加权模糊 C-均值算法

目前, 各个决策因素拥有不同权重。因此考虑到这一因素, 所以将每个因素权重加入到 FCM 算法中, 使之改进为加权模糊 C-均值算法, 进而取得较好的分类结果, 使得评分更加公平公正。

加权模糊  $c$  均值聚类算法的目标函数:

$$J_m(X, u, c, w) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n w_j u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (6)$$

使得目标函数  $J_m(X, u, c, w)$  达到极小值，根据拉格朗日乘数法求得  $c_i$  和  $u_{ij}$  得：

$$c_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_j u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n w_j u_{ij}^m} \quad (7)$$

和

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{d_{ij}}{d_{kj}} \right)^{2/(m-1)}} \quad (8)$$

从上述的公式可以看到，加权模糊 C-均值算法和模糊 C-均值算法的模糊划分矩阵  $u_{ij}$  的计算相同，聚类中心  $c_i$  计算不同，因此加权模糊 C-均值算法主要对聚类中心位置进行调整，使其更接近实际的聚类中心，达到正确分类的目的。

### 5.3.3 FCM 聚类算法中模糊加权指数 m 的取值

模糊 c-均值 (FCM) 算法是目前最受欢迎和应用最广泛的聚类分析方法之一，它是一种调整划分方法，通过目标函数  $J_m$  极小化的必要条件之间的 Pickard 迭代来实现，其中 m 称为加权指数。当  $m = 1$  时， $J_1$  是著名的类内加权均方误差和目标函数，经常被用来定义硬 c-均值 (HCM, Hard c-means) 和 ISODATA 算法。

首先把  $J_1$  扩展到  $J_2$ ，后来又把  $J_2$  推广了一个 m 的无限族  $J_m(U, c)$ ， $m \in (1, \infty)$ 。关于 FCM 算法目标函数  $J_m$  中加权指数 m 对 FCM 算法性能的影响，参数 m 控制着模糊类间的分享程度  $\forall$ ，但没有给出严格的证明。要实现 FCM 算法就必须选择一个合适的 m 值，然而如何选取一个最佳 m 尚缺乏理论指导。

有关文献中给出的经验范围为  $1.1 \leq m \leq 5$ ；得到了  $m = 2$  时 FCM 算法的物理解释，认为 m 取 2 最合适；从汉字识别的应用背景得出 m 的最佳取值应在  $1.25 \sim 1.75$  之间；从算法收敛性角度着手，得出 m 的取值与样本数目 n 有关的结论，建议 m 的取值要大于等于  $n / (n - 2)$ ，其中 n 为待分析样本数目；在聚类有效性方面的实验研究得到 m 的最佳选取区间为  $[1.5, 2.5]$ ，在不做特殊要求下可取区间中值  $m = 2$ ；通过计算证明了如何选取模糊指标 m 理论上依赖于数据本身，并给出了理论上选取模糊指标 m 的规则。有人提出了基于模糊决策的 m 值的优选方法。这些有关 m 的取值方法，实际上可以看成是对分类结果的评价。

下面从分类结果的变权划分熵角度出发，提出了一种新的基于模糊决策的加权指

数  $m$  的优选方法。

性质 当  $1 < c < n$  时, 有:

$$(1) 0 \leq WH_m(U^*, c) \leq -\log_z(1/c)$$

$$(2) WH_m(U^*, c) = 0 \iff U \text{ 是硬划分}$$

$$(3) WH_m(U^*, c) = -\log_a(1/c) \iff U = [1/c]$$

在扩展的 FCM 算法中, 加权指数  $m$  是一个重要的参数。一方面, 它影响着目标函数的凹凸性, 另一方面又控制聚类的模糊性, 即控制着样本在模糊类间的分享程度。因此  $m$  的取值必然会对模糊聚类的性能产生重要的影响。

定理 1 对于  $m \in [1, \infty]$  的 FCM 算法有:  $m = 1$  时, FCM 算法变成硬  $c$  均值(HCM)聚类算法; 当  $m \rightarrow 1^+$  时, FCM 算法以概率 1 退化为 HCM 算法; 当  $m \rightarrow \infty$  时, FCM 算法失去划分特性, 有  $U = [U_{ij}] = [1/c]$ 。

由定理 1 可知在加权指数  $m$  可行解的两端, FCM 算法功能已经退化。

由性质 1 和定理 1 可知, 加权指数  $m$  对模糊聚类的性能有着重要的影响, 如果  $m$  取值不合适, 不仅会影响 FCM 算法的收敛性, 而且会影响模糊聚类的分类性能。因此, 要得到好的模糊划分效果, 就必须选择合适的加权指数  $m$ 。

下面以模糊决策理论为基础, 给出一种最优加权指数  $m^*$  的选取方法。

模糊决策理论是 Bellman 和 Zadeh 提出的一种决策分析工具。假定给定一个模糊目标  $G$  和一个模糊约束  $C$ , 那么, 一个决策  $D$  由  $G$  和  $C$  的交集形成, 即:

$$D = G \cap C \quad (9)$$

当  $G$  和  $C$  作为模糊集处理时, 它们分别由其隶属度函数来刻画, 模糊决策的隶属度函数可表示为:

$$\mu_D(x) = \min\{\mu_G(x), \mu_C(x)\} \quad (10)$$

最终的决策结果为满足 (11) 式的决策空间中的备选解。

$$\mu_D(A_i) = \max\{\mu_D(A_j)\} \quad (11)$$

因此, 利用模糊决策解决问题的关键在于构造合适的模糊目标、模糊约束以及他们的隶属函数。

众所周知, 一个好的聚类结果应当是类内加权均方误差小, 而且类间的可分性要好。因此定义确定最佳加权指数  $m^*$  的模糊目标  $G$  为极小化的模糊聚类目标函数  $J_m(U, c)$ , 定义模糊约束  $R$  为极小化的模糊聚类的变权划分熵  $WH_m(U^*, c)$ 。这样, 关于  $m^*$  的模糊决策可表示为:

$$m^* = \left\{ \begin{array}{l} \arg \min\{J_m(U, v)\} \\ \forall m \text{ s.t. } WH_m(U^*, v) \rightarrow \min \end{array} \right\} \quad (12)$$

即: 将最佳加权指数  $m^*$  的确定转化为一个带约束的非线性规划问题。如此就能通过模糊决策来确定最佳取值。

要进行模糊决策, 还需要定义模糊目标  $G$  和模糊约束  $C$  的隶属度函数, 为了使模糊目标  $G$  和模糊约束  $C$  的隶属度函数具有相同的增减幅度, 可定义模糊目标  $G$  的模糊隶



属度函数为：

$$\mu_c(m) = \exp \{ -1.5 \times J_m(U, v) / \max(J_m(U, v)) \} \quad (13)$$

定义模糊约束 R 的模糊隶属度函数为：

$$\mu_c(m) = 1 / \{ 1 + 10 \times WH_m(U, c) / \max[WH_m(U, c)] \} \quad (14)$$

最后，最优加权指数  $m^*$  的模糊决策取为模糊目标和模糊约束所对应的模糊子集的交集中最大隶属度所对应的  $m$  值，即为模糊目标和约束的隶属函数的交点所对应的  $m$ 。这个  $m$  值同时满足极小化模糊聚类的目标函数和变权划分熵。因此，最优加权指数  $m^*$  按下式选取：

$$m^* = \arg \{ \max \{ \min \{ \mu_c(m), \mu_c(m) \} \} \} \quad (15)$$

式(15)得到的  $m^*$  既以较大的隶属度极小化聚类目标函数，又以较大的隶属度极小化模糊聚类的变权划分熵，使FCM算法得到的模糊聚类既能表达类内样本间的相似信息，又能保证类间样本的好的可分性，因此，也必然对应于好的聚类结果。

#### 5.3.4 利用 FCM 分析安徽省各市县的生物多样性

下面我们采用加权模糊 C-均值算法通过 Matlab 中 fcm 函数求得其学习聚类结果如下：

(1) 聚类中心：将各地区生物多样性分为好、中、差 3 类，得到聚类中心（见表 x）。

表四 生物多样性聚类中心

类	好	中	差
(A1) 种型情况	4.1173	3.1717	2.1179
(A2) 特有情况	4.5612	3.8370	1.9325
(A3) 古老残遗情况	4.5575	3.8211	1.9281
(B1) 物种多度	4.1136	3.1557	2.1134
(B2) 物种相对丰度	4.1136	3.1557	2.1134
(B3) 物种濒临危度	4.7799	3.7372	2.9764
(B4) 物种群稳定性	4.6864	3.4599	1.8179
(B5) 人类因素	4.1273	3.5667	3.9888
(C1) 生境类型多样性	3.6972	2.8004	1.1441
(C2) 生境稀有性	4.5502	3.7892	1.9192
(C3) 自然性	4.9163	4.7355	2.0670



## 参赛队号 #1857

(C4)面积适应性	1.5574	3.3132	3.9512
(C5)生态系统稳定性	4.6828	3.4440	1.8135

(2) 求得隶属度矩阵如下表五。

表五 生物多样性隶属度矩阵

县市	好	中	差	加权分	县市	好	中	差	加权分
合肥市	0.0723	0.8772	0.0504	65.8021	天长市	0.7505	0.189	0.0605	92.4427
长丰县	0.826	0.1492	0.0248	83.5554	明光市	0.6492	0.3136	0.0372	78.1719
月巴东	0.6482	0.314	0.0378	77.2121	阜阳市	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
肥西县	0.0723	0.8772	0.0504	65.8021	临泉县	0.7975	0.1537	0.0488	95.8090
芜湖市	0.2568	0.6691	0.074	72.6058	太和县	0.7975	0.1537	0.0488	95.8090
芜湖县	0.2568	0.6691	0.074	72.6058	阜南县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
繁昌县	0.6876	0.2581	0.0543	77.3297	颍上县	0.9395	0.051	0.0095	84.8032
南陵县	0.2589	0.6552	0.0859	70.6778	界首市	0.7975	0.1537	0.0488	95.8090
蚌埠市	0.9405	0.0502	0.0093	84.5407	宿州市	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
怀远县	0.9405	0.0502	0.0093	84.5407	场山县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
五河县	0.9405	0.0502	0.0093	84.5407	萧 县	0.9493	0.0426	0.0081	87.6639
固镇县	0.7977	0.1535	0.0487	95.5465	灵璧县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
淮南市	0.9405	0.0502	0.0093	84.5407	泗 县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
凤台县	0.9503	0.0418	0.0079	87.1841	巢湖市	0.0418	0.9388	0.0194	69.8094
马鞍山	0.8186	0.1567	0.0247	80.4884	庐江县	0.0418	0.9388	0.0194	69.8094
当涂县	0.2246	0.6803	0.0951	69.6628	无为县	0.8306	0.1465	0.0229	81.2757
淮北市	0.9503	0.0418	0.0079	87.1841	含山县	0.7977	0.1535	0.0487	95.5465
濉溪县	0.9503	0.0418	0.0079	87.1841	和 县	0.256	0.6703	0.0737	73.3481
铜陵市	0.7751	0.1918	0.0331	78.9953	六安市	0.0985	0.7664	0.135	63.4855
铜陵县	0.7751	0.1918	0.0331	78.9953	寿 县	0.6517	0.3111	0.0372	78.2168
安庆市	0.2204	0.6848	0.0947	69.6482	霍邱县	0.8048	0.1686	0.0266	80.8975
怀宁县	0.8054	0.1682	0.0264	80.6350	舒城县	0.3299	0.5536	0.1165	72.6498
机阳县	0.6319	0.3288	0.0392	77.3700	金寨县	0.0999	0.7792	0.1208	63.5228
潜山县	0.4919	0.4171	0.091	76.9468	霍山县	0.0999	0.7792	0.1208	63.5228
太湖县	0.1827	0.6818	0.1355	68.5843	亳州市	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
宿松县	0.6319	0.3288	0.0392	77.3700	涡阳县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
望江县	0.6319	0.3288	0.0392	77.3700	蒙城县	0.9494	0.0425	0.0081	87.4465
岳西县	0.1025	0.7368	0.1607	61.5498	利辛县	0.7975	0.1537	0.0488	95.8090
桐城市	0.4999	0.411	0.0891	77.5312	池州市	0.1016	0.245	0.6534	39.2877
黄山市	0.0424	0.1051	0.8525	42.8688	东至县	0.022	0.0537	0.9243	36.8366
黄山区	0.077	0.15	0.7731	24.3376	石台县	0.1256	0.3209	0.5535	50.2922
歙 县	0.0187	0.0419	0.9394	35.1633	青阳县	0.0124	0.0289	0.9587	38.6085
休宁县	0.0418	0.1108	0.8474	40.2950	宣城市	0.0377	0.0946	0.8678	45.6430

## 参赛队号 #1857

黔 县	0.1264	0.3255	0.5481	54.8073	郎溪县	0.0939	0.8144	0.0917	66.7056
祁门县	0.0124	0.0289	0.9587	38.6085	广德县	0.1762	0.4373	0.3866	59.0614
滁州市	0.0407	0.9399	0.0195	69.2250	径 县	0.1459	0.5158	0.3383	59.9018
来安县	0.8319	0.1442	0.0239	84.0802	绩溪县	0.1367	0.3655	0.4979	53.0851
全椒县	0.8319	0.1442	0.0239	84.0802	族德县	0.3291	0.4892	0.1817	70.9449
定远县	0.8091	0.1647	0.0262	81.6543	宁国市	0.3437	0.465	0.1913	63.7106
凤阳县	0.8114	0.1627	0.0259	81.4369					

表六 生物多样性隶属度矩阵

(3) 聚类结果见下表六。

表七 生物多样性隶属度矩阵

好	2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 60, 61, 65, 66, 67, 68
中	1, 4, 5, 6, 8, 16, 21, 25, 28, 36, 54, 55, 58, 59, 62, 63, 64, 74, 75, 76, 78, 79
差	30, 31, 32, 33, 34, 35, 69, 70, 71, 72, 73, 77

## 5.4 结论简述

通过 FCM 算法，可以求得以下几个市县急需建立生态保护区：黄山市，黄山区，歙县，休宁县，黔县，祁门县，池州市，东至县，石台县，青阳县，宣城市，绩溪县。

以下是这 12 县的相关情况：

地区	种型	特有	古老	物种多度	物种丰富度	物种濒危度	生物种群稳定性	人类威胁	生态系统类型	物种特有性	生境自然度	外来物种入侵度	物种受威胁程度
黄山市	4	5	5	4	4	2	3	2	5	5	3	2	3
黄山区	5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	5	1	5
歙县	4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	5	2	5
休宁县	4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	2	2	5

黔 县	3	3	3	3	3	2	3	2	5	3	4	2	3
祁 门 县	4	4	4	4	4	3	4	2	5	4	5	2	4
池 州 市	4	4	4	4	4	5	5	2	5	4	1	2	5
东 至 县	4	4	4	4	4	4	5	2	5	4	4	2	5
石 台 县	3	4	4	3	3	3	4	2	4	4	5	2	4
青 阳 县	4	4	4	4	4	3	4	2	5	4	5	2	4
宣 城 市	4	3	3	4	4	2	4	2	5	3	4	2	4
绩 溪 县	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3	5	5	3

从以上情况来看这些地区的多项指标等级相对较低（第1等为最高），故其从实际角度来考虑也应该优先纳入生态自然保护区。

从全国范围来看，我们可以利用以上理论来进行评估和分析，凡是被评为“好”的基本不需要再投资建立自然生态保护区，而等级为“中”的可以根据当地实际经济等各种情况来考虑是否建立自然生态保护区，等级被评为“差”的表示其区域环境较为严峻，应优先考虑自然保护区的建立。

最后，通过计算我们发现被评为“差”等的地区大多数集中于省内的某些区域，故而在这些地方不仅要加强生物多样化保护区的建立，而且也要注重政府的生物多样性理念的宣传和监管的力度。

## 6、模型评价

### 6.1 科学性

在本文中，我们的思路、方法及数学模型的合理性主要体现在以下几个方面：

#### (1) 假设的合理性

问题1中我们应用两个权值计算综合排名大体吻合，中间数据有所差异，从此可看出模型的合理性。在模型中的数据归一化是合理的，科学的。

#### (2) 方法的科学性

本文针对不同问题，使用了各种可靠的科学的建模方法，其间我们运用了模糊优化数学模型，层次分析等。

### (3) 求解方法的可靠性

在对模型进行求解时，我们运用了模糊优化的数学模型时运用了两种权值，并且有大体一致的结果，说明我们求解模型的方法是可靠的，结果是可信的。

## 6.2 评价

在上述问题的解决过程中，模型的求解能够达到一个较为不错的公平性、灵活性，该模型能够很好地解决生物多样性发展情况的问题，比较复杂的评价类问题也能够在一程度上得以解决，能够比较准确的对于每一个省市的各个方面进行评估，对实际的生产和生活有比较高的指导意义。但是模型毕竟还是一个理论上的求解，与实际情况还是有差别的。为此，我们在此提出了一个修正方案，即在模型求解过程中，不用认为判断的方法，而是通过进行大量的数据搜索来对各个指标的权重进行确定。这样在替代时可以避免了一些不必要的误差和错误，从而使结果可以达到很高的精度。模型的实际应用就可以扩展到很广的面上去。对实际生产的知道意义有很大的帮助。因此，在这样的假设下，此模型对求解生物多样性发展情况有一定的帮助。

模糊 C-均值聚类 (FCM) 是用隶属度确定每个数据点属于某个聚类的程度的一种聚类算法。1973 年，Bezdek 提出了该算法，作为早期硬 C 均值聚类 (HCM) 方法的一种改进。F 个给定数据点用值在 FCM 与 HCM 的主要区别在于 FCM 用模糊划分，使得每  $[0, 1]$  间的隶属度来确定其属于各个组的程度。与引入模糊划分相适应，隶属矩阵  $U$  允许有取值在  $0, 1$  间的元素。不过，加上归一化规定，一个数据集的隶属度的和总等于 1。它比一般的加权平均值的算法更优秀之处在于它不仅能够进行合理的模糊聚类，而且在聚类的过程中还综合考虑了各方面因素的稳定性，因而结论的参考价值更高。

## 参考文献

- 【1】 高月 王永贵，加权 FCM 算法在奖学金评定中的应用
- 【2】 石海霞 叶水生，FCM 聚类算法中模糊加权指数  $m$  的优化，计算机应用与软件，第 26 卷第五期：62—73，2009 年
- 【3】 戈国华 肖海波 张敏，基于 FCM 的数据聚类分析及 Matlab 实现，福建电脑，2007 年第 4 期：89 126，2007 年
- 【4】 陈云新，彭贤玉，《奖学金的评定与模糊优选数学模型》，数学理论与应用，第 21 卷第 2 期：121-124，2001 年 6 月
- 【5】 万本太，徐海根，丁晖，刘志磊，王捷，《生物多样性综合评价犯法研究》，生物多样性 *Biodiversity Science*，2007，15（1）： P97-106
- 【6】 苒顷，《实用模糊数学》，北京，科技大学出版社 1989.4
- 【7】 彭祖增，孙温玉.《模糊数学及其应用》 0.武汉大学出版社，2001.21
- 【8】 何仁斌，《MATLAB 6》，重庆，重庆大学出版社，2001.1
- 【9】 邬学军，周凯，宋军全，《数学建模竞赛辅导教程》，浙江大学出版社，杭州，2009
- 【10】 张兴永，《数学建模简明教程》，中国矿业大学理学院，徐州，2003
- 【11】 方磊，戚慧，边道海，第一阶段 B 题论文（1721 队），第 3-5 页，2011



# 生物多样性评估报告

我们在进行生物多样性的评估过程中，不仅分析了各因素在生物多样性评价体系中的权重和地位，而且还对其生态环境的变化趋势及优良性（是否急需建立保护区）等进行了详细的讨论和建模求解。

对于各个地区生物多样性的发展预测，是建立在我国提出的环境保护标准中提出的生物多样性评价标准的基础上的。首先对各个地区的要求指标进行测量，建立一个地域生物多样性评价指标值的表格，然后运用合理有效地数学方法，例如：模糊优化、层次分析等，对所建立的表格中的数据进行归一化处理，其中包括数据的归一化，将不同影响因素对生物多样性影响程度进行数据标准化，通过这些步骤，可以将不相关的数字相关化，这样在最后可以利用模糊优化的方法进行具体求解，这样就可以从数据上对于各个地区的生物多样性的发展进行说明。

在层次分析方法中，利用影响因素的影响程度的不同建立判断矩阵  $A$ ，并且利用层次分析法中的求根法进行求解，把影响因素的程度层次进行数据化。根法具体步骤为：根法（几何平均法）将  $A$  的各个向量采用几何平均然后归一化，得到的列向量近似作为加权向量，然后利用特征根法（EM）进行判断矩阵的特征值求解，步骤如下：设  $w$  是  $n$  阶判断矩阵  $A$  的排序权重向量，当  $A$  为一致性矩阵时，可以验证  $Aw=nw$ ，且  $n$  为矩阵  $A$  的最大特征值。特征值求解后进行一致性检验，保证所得数据的合理性。这种方法可以将影响因素中的感性部分转变成理性的数据，避免了一些评价人员主观因素带来的误差，而且我们对此问题是从多方面多角度进行了考虑，分析问题合理全面，且有很好的推广价值，评估方法优点明显，适用性强。

模糊综合评价是模糊决策中的最常用的一种有效方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。其基本原理是从影响问题的诸因素出发，确定被评价对象从优到劣若干等级的评价集合和评价指标的权重（通过层次分析理论得到），对各指标分别做出相应的模糊评价，确定隶属函数，形成模糊判断矩阵，将其与权重矩阵进行模糊运算，得到定量的综合评价结果。

利用综合评价结果的归一化值与丰富度归一化的值进行比较，若综合评价结果的归一化值高于丰富度归一化的值，则说明生物多样化



在扩展，反之则退化。

接下来针对生态保护区建立的讨论，我们采用了 FCM 算法。它比一般的加权平均值的算法更优秀之处在于它不仅能够进行合理的模糊聚类，而且在聚类的过程中还综合考虑了各方面因素的稳定性，因而结论的参考价值更高。

具体而言，FCM 算法是一种基于划分的聚类算法，它的思想就是使得被划分到同一簇的对象之间相似度最大，而不同簇之间的相似度最小。模糊 C 均值算法是普通 C 均值算法的改进，普通 C 均值算法对于数据的划分是硬性的，而 FCM 则是一种柔性的模糊划分。模糊 C 均值聚类 (FCM)，即众所周知的模糊 ISODATA，是用隶属度确定每个数据点属于某个聚类的程度的一种聚类算法。1973 年，Bezdek 提出了该算法，作为早期硬 C 均值聚类 (HCM) 方法的一种改进。

FCM 把  $n$  个向量  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 分为  $c$  个模糊组，并求每组的聚类中心，使得非相似性指标的价值函数达到最小。FCM 与 HCM 的主要区别在于 FCM 用模糊划分，使得每个给定数据点用值在 0, 1 间的隶属度来确定其属于各个组的程度。与引入模糊划分相适应，隶属矩阵  $U$  允许有取值在 0, 1 间的元素。不过，加上归一化规定，一个数据集的隶属度的和总等于 1。

通过求解我们可以看到，其算法最终得出的结论和实际情况基本相同，同时也对各地区的生物多样性进行了分类评价。这种方法可靠性强，在多种工程中得以很好的运用，也完全适用于地区性的生物多样性评价及建立自然生态环境保护区的依据。

## 参赛队号 #1857

## 附录 1

原始数据表：

序号	省份	物种丰富度	生态系统类型多样性	植被垂直带谱的完整性	种子植物中国特有属性	外来入侵物种种数
1	北京	2528	95	60	6	13
2	天津	1630	16	60	5	10
3	河北	3610	110	60	13	61
4	山西	3188	111	60	16	35
5	内蒙古	3493	53	60	9	29
6	辽宁	3307	85	60	7	70
7	吉林	3145	94	80	2	45
8	黑龙江	2272	47	60	1	43
9	上海	2798	71	60	3	23
10	江苏	3424	79	60	18	97
11	浙江	6137	89	100	40	73
12	安徽	4375	97	100	26	84
13	福建	6515	140	100	31	73
14	江西	5083	130	100	46	64
15	山东	3921	110	80	15	65
16	河南	4499	106	80	36	53
17	湖北	6907	140	80	79	49
18	湖南	5658	146	100	61	43
19	广东	8726	90	100	49	71
20	广西	9913	140	100	75	47
21	海南	6568	70	100	22	50
22	重庆	6600	68	100	66	9
23	四川	11248	128	100	116	79
24	贵州	6747	146	100	80	54
25	云南	18317	174	100	116	145
26	西藏	7345	40	100	37	23
27	陕西	4566	89	80	47	47
28	甘肃	5370	85	80	39	38
29	青海	2566	50	60	13	27
30	宁夏	2306	69	60	4	21
31	新疆	4854	168	60	1	35

## 附录 2

模糊优化中程序说明

Step1.m

%求最大相对优属度和最小相对优属度

a=[13.801 54.5977011 60 5.172413793 91.03448276

8.8988 9.1954023 60 4.310344828 93.10344828

19.708 63.2183908 60 11.20689655 57.93103448

17.405 63.7931034 60 13.79310345 75.86206897

19.07 30.4597701 60 7.75862069 80

18.054 48.8505747 60 6.034482759 51.72413793

17.17 54.0229885 80 1.724137931 68.96551724

12.404 27.0114943 60 0.862068966 70.34482759

15.275 40.8045977 60 2.586206897 84.13793103

18.693 45.4022989 60 15.51724138 33.10344828

33.504 51.1494253 100 34.48275862 49.65517241

23.885 55.7471264 100 22.4137931 42.06896552

35.568 80.4597701 100 26.72413793 49.65517241

27.75 74.7126437 100 39.65517241 55.86206897

21.406 63.2183908 80 12.93103448 55.17241379

24.562 60.9195402 80 31.03448276 63.44827586

37.708 80.4597701 80 68.10344828 66.20689655

30.889 83.908046 100 52.5862069 70.34482759

47.639 51.7241379 100 42.24137931 51.03448276

54.119 80.4597701 100 64.65517241 67.5862069

35.857 40.2298851 100 18.96551724 65.51724138

36.032 39.0804598 100 56.89655172 93.79310345

61.407 73.5632184 100 100 45.51724138

36.835 83.908046 100 68.96551724 62.75862069

100 100 100 100 0

40.099 22.9885057 100 31.89655172 84.13793103

24.928 51.1494253 80 40.51724138 67.5862069

29.317 48.8505747 80 33.62068966 73.79310345

## 参赛队号 #1857

14.009 28.7356322 60 11.20689655 81.37931034

12.589 39.6551724 60 3.448275862 85.51724138

26.5 96.5517241 60 0.862068966 75.86206897

];

c=[108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

## 参赛队号 #1857

```
108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;
108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;
108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345];
```

```
b=a./c;
```

```
d=b';
```

```
disp('g 为: ')
```

```
for i=1:5
```

```
    m=max(d(i,:));
```

```
    disp(m);
```

```
end
```

```
disp('%%%%%%%%%%%%%%')
```

```
disp('b 为: ')
```

```
for j=1:5
```

```
    n=min(d(j,:));
```

```
    disp(n);
```

```
end
```

```
Step2.m
```

```
%求优距离和劣距离
```

```
a=[13.801 54.5977011 60 5.172413793 91.03448276
```

```
8.8988 9.1954023 60 4.310344828 93.10344828
```

```
19.708 63.2183908 60 11.20689655 57.93103448
```

```
17.405 63.7931034 60 13.79310345 75.86206897
```

```
19.07 30.4597701 60 7.75862069 80
```

```
18.054 48.8505747 60 6.034482759 51.72413793
```

```
17.17 54.0229885 80 1.724137931 68.96551724
```

```
12.404 27.0114943 60 0.862068966 70.34482759
```

```
15.275 40.8045977 60 2.586206897 84.13793103
```

```
18.693 45.4022989 60 15.51724138 33.10344828
```

```
33.504 51.1494253 100 34.48275862 49.65517241
```

```
23.885 55.7471264 100 22.4137931 42.06896552
```

```
35.568 80.4597701 100 26.72413793 49.65517241
```

## 参赛队号 #1857

27.75 74.7126437 100 39.65517241 55.86206897  
 21.406 63.2183908 80 12.93103448 55.17241379  
 24.562 60.9195402 80 31.03448276 63.44827586  
 37.708 80.4597701 80 68.10344828 66.20689655  
 30.889 83.908046 100 52.5862069 70.34482759  
 47.639 51.7241379 100 42.24137931 51.03448276  
 54.119 80.4597701 100 64.65517241 67.5862069  
 35.857 40.2298851 100 18.96551724 65.51724138  
 36.032 39.0804598 100 56.89655172 93.79310345  
 61.407 73.5632184 100 100 45.51724138  
 36.835 83.908046 100 68.96551724 62.75862069  
 100 100 100 100 0  
 40.099 22.9885057 100 31.89655172 84.13793103  
 24.928 51.1494253 80 40.51724138 67.5862069  
 29.317 48.8505747 80 33.62068966 73.79310345  
 14.009 28.7356322 60 11.20689655 81.37931034  
 12.589 39.6551724 60 3.448275862 85.51724138  
 26.5 96.5517241 60 0.862068966 75.86206897

];

c=[108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;



## 参赛队号 #1857

108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345;  
 108.8988 109.1954023 160 100.862069 93.79310345];

$b=a./c;$

$d=b';$

$w=[0.5 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.15 \ 0.1];$

$g=[ \ 0.9183$

0.9158

0.6250

0.9915

1];

$h=[ \ 0.0817$

0.0842

0.3750

0.0085

0];

```
disp('djg:')
for i=1:31
    m=w*(d(:,i)-g);
    disp(m);
end %得到 djg
disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
disp('djb')
for i=1:31
    n=w*(d(:,i)-h);
    disp(n);
end%得到 djb
```

Step3.m

%求最优值

djg=[ -0.6271

-0.7111

-0.6145

-0.6013

-0.6440

-0.6561

-0.6286

-0.6999

-0.6505

-0.6637

-0.5169

-0.5808

-0.4787

-0.4967

-0.5946

-0.5475

-0.4022

-0.4350

-0.4382  
-0.3180  
-0.5273  
-0.4415  
-0.2650  
-0.3914  
-0.1000  
-0.4924  
-0.5407  
-0.5274  
-0.6630  
-0.6617  
-0.5338  
];  
djb=[  
0.1884  
0.1044  
0.2010  
0.2142  
0.1715  
0.1594  
0.1869  
0.1156  
0.1650  
0.1518  
0.2986  
0.2347  
0.3368  
0.3188  
0.2209  
0.2680  
0.4133

0.3805

0.3773

0.4975

0.2882

0.3740

0.5505

0.4241

0.7155

0.3231

0.2748

0.2881

0.1525

0.1538

0.2817

];

$u = 1. / (1 + (djg. / djb). ^2);$

disp(u);

## 附录 3

地区	种型	特有	古老	物种多度	物种丰富度	物种濒危度	生物种群稳定性	人类威胁	生态系统类型	物种特有性	生境自然度	外来物种入侵度	物种受威胁程度
合肥市	3	2	2	3	3	3	3	4	3	2	1	3	3
长丰县	2	1	1	2	2	1	1	4	3	1	1	4	1
月巴东	2	2	2	2	2	2	2	4	3	2	1	5	2
肥西县	3	2	2	3	3	3	3	4	3	2	1	3	3
芜湖市	3	2	2	3	3	2	2	4	2	2	1	3	2
芜湖县	3	2	2	3	3	2	2	4	2	2	1	3	2
繁昌县	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	3	4	2
南陵县	3	2	2	3	3	2	2	4	2	2	2	4	2
蚌埠市	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	5	1
怀远县	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	5	1
五河县	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	5	1
固镇县	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	5	1

## 参赛队号 #1857

淮南市	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	5	1
凤台县	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	5	1
马鞍山市	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	1	4	2
当涂县	3	2	2	3	3	3	2	5	2	2	1	3	2
淮北市	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	5	1
濉溪县	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	5	1
铜陵市	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	3	2
铜陵县	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	3	2
安庆市	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	1	3	3
怀宁县	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	1	4	2
机阳县	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	1	3	3
潜山县	2	2	2	2	2	1	3	2	4	2	1	2	3
太湖县	3	2	2	3	3	1	3	2	4	2	1	2	3
宿松县	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	1	3	3
望江县	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	1	3	3



## 参赛队号 #1857

岳西县	3	3	3	3	3	2	3	2	4	3	2	2	3
桐城市	2	2	2	2	2	1	2	2	4	2	1	3	2
黄山市	4	5	5	4	4	2	3	2	5	5	3	2	3
黄山区	5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	5	1	5
歙县	4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	5	2	5
休宁县	4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	2	2	5
黔县	3	3	3	3	3	2	3	2	5	3	4	2	3
祁门县	4	4	4	4	4	3	4	2	5	4	5	2	4
滁州市	3	2	2	3	3	2	3	2	3	2	1	2	3
来安县	2	1	1	2	2	1	1	2	3	1	1	4	1
全椒县	2	1	1	2	2	1	1	2	3	1	1	4	1
定远县	2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	1	3	1
凤阳县	2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	1	4	1
天长市	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	4	1
明光市	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	3	2

## 参赛队号 #1857

阜阳市	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
临泉县	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
太和县	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
阜南县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
颍上县	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	5	1
界首市	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
宿州市	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
场山县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
萧县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	4	1
灵璧县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
泗县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
巢湖市	3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	2
庐江县	3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	2
无为县	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2
含山县	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	5	1

## 参赛队号 #1857

和县	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2
六安市	3	2	2	3	3	3	3	1	4	2	1	2	3
寿县	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2	1	4	2
霍邱县	2	2	2	2	2	1	2	1	3	2	1	4	2
舒城县	2	2	2	2	2	3	2	1	4	2	1	2	2
金寨县	3	3	3	3	3	2	3	1	4	3	1	2	3
霍山县	3	3	3	3	3	2	3	1	4	3	1	2	3
亳州市	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
涡阳县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
蒙城县	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
利辛县	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
池州市	4	4	4	4	4	5	5	2	5	4	1	2	5
东至县	4	4	4	4	4	4	5	2	5	4	4	2	5
石台县	3	4	4	3	3	3	4	2	4	4	5	2	4
青阳县	4	4	4	4	4	3	4	2	5	4	5	2	4

## 参赛队号 #1857

宣城市	4	3	3	4	4	2	4	2	5	3	4	2	4
郎溪县	3	2	2	3	3	2	2	2	4	2	1	2	2
广德县	3	2	2	3	3	2	3	2	4	2	5	2	3
泾县	3	2	2	3	3	3	3	2	5	2	1	2	3
绩溪县	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3	5	5	3
旌德县	2	2	2	2	2	2	3	2	5	2	1	2	3
宁国市	2	2	3	3	3	5	2	4	2	5	2	5	3

## 附录 4

```
clc
```

```
weigh = [ 0.735190, 0.199419, 0.065391, 0.402094, 0.117085, 0.402094, 0.039363,  
          0.039363, 0.498192, 0.131690, 0.256587, 0.032616, 0.080915] * 1/3;
```

```
w_sum = sum(weigh);
```

```
data0 = [ 3  2  2  3  3  3  3  4  3  2  1  3  3  
          2  1  1  2  2  1  1  4  3  1  1  4  1  
          2  2  2  2  2  2  2  4  3  2  1  5  2  
          3  2  2  3  3  3  3  4  3  2  1  3  3  
          3  2  2  3  3  2  2  4  2  2  1  3  2  
          3  2  2  3  3  2  2  4  2  2  1  3  2  
          2  2  2  2  2  2  2  4  2  2  3  4  2  
          3  2  2  3  3  2  2  4  2  2  2  4  2  
          2  2  2  2  2  1  1  2  2  2  1  5  1  
          2  2  2  2  2  1  1  2  2  2  1  5  1  
          2  2  2  2  2  1  1  2  2  2  1  5  1  
          1  1  1  1  1  1  1  2  2  1  1  5  1  
          2  2  2  2  2  1  1  2  2  2  1  5  1  
          2  1  1  2  2  1  1  2  2  1  1  5  1  
          2  2  2  2  2  2  2  5  2  2  1  4  2  
          3  2  2  3  3  3  2  5  2  2  1  3  2  
          2  1  1  2  2  1  1  2  2  1  1  5  1  
          2  1  1  2  2  1  1  2  2  1  1  5  1  
          2  2  2  2  2  2  2  5  2  2  2  3  2  
          2  2  2  2  2  2  2  5  2  2  2  3  2  
          3  2  2  3  3  3  3  2  2  2  1  3  3  
          2  2  2  2  2  1  2  2  3  2  1  4  2  
          2  2  2  2  2  2  3  2  3  2  1  3  3  
          2  2  2  2  2  1  3  2  4  2  1  2  3  
          3  2  2  3  3  1  3  2  4  2  1  2  3  
          2  2  2  2  2  2  3  2  3  2  1  3  3  
          2  2  2  2  2  2  3  2  3  2  1  3  3]
```

## 参赛队号 #1857

3	3	3	3	3	2	3	2	4	3	2	2	3
2	2	2	2	2	1	2	2	4	2	1	3	2
4	5	5	4	4	2	3	2	5	5	3	2	3
5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	5	1	5
4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	5	2	5
4	5	5	4	4	3	5	2	5	5	2	2	5
3	3	3	3	3	2	3	2	5	3	4	2	3
4	4	4	4	4	3	4	2	5	4	5	2	4
3	2	2	3	3	2	3	2	3	2	1	2	3
2	1	1	2	2	1	1	2	3	1	1	4	1
2	1	1	2	2	1	1	2	3	1	1	4	1
2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	1	3	1
2	2	2	2	2	1	1	2	3	2	1	4	1
1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	4	1
2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	3	2
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	5	1
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	5	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	4	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	1	5	1
3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	2
3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	1	3	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2
1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	5	1
3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2
3	2	2	3	3	3	3	1	4	2	1	2	3



## 参赛队号 #1857

```

2  2  2  2  2  2  2  1  3  2  1  4  2
2  2  2  2  2  1  2  1  3  2  1  4  2
2  2  2  2  2  3  2  1  4  2  1  2  2
3  3  3  3  3  2  3  1  4  3  1  2  3
3  3  3  3  3  2  3  1  4  3  1  2  3
2  1  1  2  2  1  1  1  2  1  1  5  1
2  1  1  2  2  1  1  1  2  1  1  5  1
2  1  1  2  2  1  1  1  2  1  1  5  1
1  1  1  1  1  1  1  1  2  1  1  5  1
4  4  4  4  4  5  5  2  5  4  1  2  5
4  4  4  4  4  4  5  2  5  4  4  2  5
3  4  4  3  3  3  4  2  4  4  5  2  4
4  4  4  4  4  3  4  2  5  4  5  2  4
4  3  3  4  4  2  4  2  5  3  4  2  4
3  2  2  3  3  2  2  2  4  2  1  2  2
3  2  2  3  3  2  3  2  4  2  5  2  3
3  2  2  3  3  3  3  2  5  2  1  2  3
3  3  3  3  3  3  3  2  4  3  5  5  3
2  2  2  2  2  2  3  2  5  2  1  2  3
2  2  3  3  3  5  2  4  2  5  2  5  3 ];

data1 = ones(79, 1) * 6;
dataw = ones(79, 13);
for index1 = 1: 13
    dataw(:, index1) = (data1 - data0(:, index1)) * weigh(index1);
end
%把等级转换为分数制，权重不变
[center,U,obj_fcn] = fcm(dataw, 3);
for index2 = 1: 13
    centre(:, index2) = center(:, index2) / weigh(index2);
end
centre
U
sum(dataw') / w_sum * 20

```