

## 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：1721

参赛队员（签名）：

队员 1：方磊

队员 2：戚慧

队员 3：边道海

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：本科组

## 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）：

1721

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）：

# 2011 年第四届“互动出版杯”数学中国 数学建模网络挑战赛

题 目 一种新型的生物多样性评价方法

关 键 词 生物多样性 评价指标 归一化 熵值法 加权求和

## 摘 要：

2002 年召开的生物多样性(biodiversity)公约第六次缔约方大会确定了到 2010 年在全球范围内大幅度降低生物多样性丧失的速度的目标，并要求各国制定生物多样性评价指标，开展生物多样性评估。我们现在需要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。

本文根据科学性、代表性和实用性的原则，提出了生物多样性综合评价的 5 个指标，通过收集资料找到这五个指标对我国 31 个省市的生物多样性的影响。先用归一化方法对所有数据进行归一化，再用熵值法计算出各个指标的权重，最后计算出各省生物多样性指数。

通过参考生物多样性状况的分级标准，我们把各个省市的生物多样性分成了优，良，一般，差四个标准。本模型在选择评价标准时采用了科学性，代表性，实用性原则，计算时采用了归一化，熵值法，加权求和等方法，因此可以全面、有效的对生物多样性进行测定。

但由于我国生物多样性监测工作开展得较晚、不系统，评价数据的采集存在较大困难，所以少数数据的准确性有待进一步提高。

参赛队号 1721

所选题目 B

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

## Abstract

In the sixth Conference of the Parties about the Convention on biodiversity hold in 2002, people got a deal that we should reduce the speed of the loss of biodiversity in a large range. Besides, the conference acquired all countries to set a target to carry out the evaluation of the biodiversity. As a result, we need an appropriate way that can include different factors to evaluate the biodiversity.

Then in this paper, we advanced five targets based on the principles of science, utility and representation; meanwhile, we collected information about their influences on the 31 provinces in our country.

First, we use normalized method to normalize all the data; second, we use entropy method to work out the weight of each target. Then, we can get the biodiversity index of each province.

By means of referencing the grading standards, we divide the biodiversity of each province into four levels: very rich, rich, moderate, poor. While choosing the five targets, we base on the principles of science, utility and representation, and we use the normalized method, entropy method and method of weighted summation, so we can evaluate the biodiversity comprehensively and effectively.

However, as our country carried out this work too late and the work hasn't been carried out systematically, we met many difficulties in collecting the data, so maybe some of the data is not very exact.

Key words: biodiversity targets normalized method entropy method method of weighted summation

## 一、问题的提出

2010年是联合国大会确定的国际生物多样性年。作为人类生存基础的生物多样性受到越来越严重的威胁,世界自然保护联盟(IUCN)发布的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。

## 二、问题的分析

根据科学性代表性和实用性的原则,提出了生物多样性综合评价的5个指标,即物种丰富度、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,以建立综合评价方法来确立了生物的多样性评价指标。

2004年召开的生物多样性公约第七次缔约方大会初步确定了8个生物多样性评价指标,以评价2010年目标的实施进展。2004年欧盟首次确定了由15个指标组成的一套指标体系,其中5个现状指标,1个持续利用指标,3个威胁指标,3个生态系统完整性指标,1个遗传资源获取与惠益分享指标,1个技术转让指标,1个公众意识指标。2006年,英国的英格兰提出了一套由8个指标组成的指标体系,包括4个现状指标,1个压力指标,3个响应指标,并利用这套指标评价了2003年和2006年的生物多样性状况。这套指标体系的不足是:评价时仅就单项指标分别作评价,并没有提出一个综合的评价结论。

生物多样性评价指标的建立是一个十分复杂的过程,需要在科学性与可操作性之间找到平衡点。生物多样性评价需要有监测数据来支撑,但目前生物多样性的监测数据仍十分缺乏本文从国家生物多样性保护与管理的需求出发。我们采用熵值法求权值,加权平均法求综合因数,来确定生物多样性的指标分数,测定生物多样性。

## 三、模型的假设

1. 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。
2. 模型中使用到的权重符合实际情况。

## 四、 符号说明

$BI$	生物多样性指标
$n$	评价对象个数
$m$	评价指标个数
$X_{ij}$	为第 $i$ 个评价对象的第 $j$ 个指标的数值
$p_{ij}$	第 $j$ 项指标下第 $i$ 个评价对象占该指标的比重
$e_j$	第 $j$ 项指标的熵值
$g_j$	第 $j$ 项指标的差异系数
$w_j$	权值
$S_i$	各类对象的综合得分
$W$	归一化后的物种丰富度
$S$	归一化后的生态系统类型多样性
$Z$	归一化后的植被垂直层谱的完整性
$T$	归一化后的物种特有性
$Q$	归一化后的外来物种入侵度

## 五、 模型的分析与建立求解

### 一) 模型分析

#### 1. 建立模型时用到的评价指标的遴选原则

生物多样性评价指标的遴选应遵循下列原则：

(1) 科学性原则指标的选取，应建立在对生物多样性充分认识，深入研究的基础上选取的指标，应目的明确定义准确，必须能客观真实地反映生物多样性的基本特征变化规律和保护现状

(2) 代表性原则选择指标时，应选取最能直接反映生物多样性本质特征的指标，排除一些与主要特征关系不密切的从属指标，使指标体系具有较高的代表性

(3) 实用性原则包括四层含义：一是所选指标的数据容易采集；二是便于更新；三是指标体系简明，综合性强；四是指标体系的应用具有较强的可操作性

#### 2. 评价指标的涵义与计算方法

选定了5个指标，即：物种丰富度，生态系统类型，多样性植被垂直层谱的完整性，物种特有性和外来物种入侵度。

##### 2.1 各评价指标的涵义

(1) 物种丰富度，指被评价区域内已记录的野生高等动植物物种数，用于比较物种的多样性

(2) 生态系统类型多样性，指被评价区域内生态系统的类型数，用于比较生态系统的类型多样性分类体系参照中国植被(吴征镒，1980)，以群系为分类单位

(3) 植被垂直层谱的完整性，指被评价区域内植被群落垂直分层结构的完整程度，用于比较生态系统的稳定性

## 植被垂直层谱完整性系数

植被垂直层谱完整性	系数
有五个以上(含五个)植被分布层	100
有四个植被分布层	80
有三个植被分布层	60
有两个植被分布层	40
只有一个植被分布层	20
无植被分布	0

(4) 物种特有性, 指被评价区域内特有物种的数量, 用于比较生态系统的特殊价值。然而特有种数目前系统地采集数据较困难, 表2列出了部分省份中国高等植物特有种数与中国种子植物特有属数:

省份	中国高等植物特有种数	种子植物中国特有属数
山东	321	15
河南	1605	36
海南	1110	22
四川	4523	116
云南	5047	116
西藏	1198	37
青海	434	13
新疆	400	1
相关系数 $R=0.989(P<0.1)$		

分析表明两者相关性显著 ( $P<0.01$ )。因此, 本文中以中国种子植物特有属数来代替物种特有性。

物种特有性 = (被评价区域内中国特有的野生高等动物种数/635 + 被评价区域内中国特有的野生维管束植物种数/3662) / 2。

(5) 外来物种入侵度, 指被评价区域内外来入侵物种数与本地高等动植物种数之比, 用于比较生态系统的潜在受干扰程度

## 2.2 评价指标的归一化处理

评价指标的归一化方法为: 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 =  $100/A_{\text{最大值}}$ ,  $A_{\text{最大值}}$ : 指某指标归一化处理前的最大值。

相关评价指标的最大值

指标	最大值
物种丰富度	635
生态系统类型多样性	124
植被垂直层谱的完整性	3662
物种特有性	0.3340

## 3. 生物多样性指数计算方法与评价分级

## 3.1 生物多样性指数(BI)计算方法

生物多样性指数(BI)是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5个评价指标的加权求和其中外来物种入侵度为成本型指标，即指标的属性值越小越好，应对其作适当转换

$BI = \text{归一化后的物种丰富度} \times 0.5 + \text{归一化后的生态系统类型多样性} \times 0.15 + \text{归一化后的植被垂直层谱的完整性} \times 0.10 + \text{归一化后的物种特有性} \times 0.15 + (100 - \text{归一化后的外来物种入侵度}) \times 0.10$

## 二) 模型准备

在充分理解题目的基础上，通过查阅大量的资料，我们对问题进行了定量和定性分析。为了能够定量的对生物多样性进行评价，我们综合考虑各种因素后，将评价标准分为以下五类：物种丰富度（Species richness）、生态系统类型多样性（Diversity of ecosystem types）、植被垂直层谱的完整性（Completeness of vertical stratification of vegetation）、物种特有性（Species endemism）和外来物种入侵度（Extent of biological invasions）。其中前四种属于正向指标，第五种属于负向指标。

在确定这五个评价指标之后，下面我们要做的就是通过这五个指标计算出生物多样性指数（将生物多样性数字化）。

为了计算，我们首先要解决如下两个问题：

1.将五个评价指标数字化，这个我们已经从各省(市区)的植物志、动物志、环境公报、生态环境调查报告以及公开发表的期刊中，查询到相关数据，经汇总得到各省(市区)5个评价指标值，见表1。

2.考虑到每个评价指标对生物多样性的影响力的大小是不一样的，所以我们有必要先确定一下各项指标的所占的权重。

省域生物多样性评价指标值

表 1

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数	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
⑩	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

### 三) 算法模型

#### 1.原理

对于物种丰富度 (Species richness)、生态系统类型多样性 (Diversity of ecosystem types)、植被垂直层谱的完整性 (Completeness of vertical stratification of vegetation)、物种特有性 (Species endemism) 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 (Extent of biological invasions), 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。因此我们可以将归一化后的各个评价指标和其对应的权重比进行加权求和, 就得到我们要求的生物多样性指数BI。

这里我们用到了归一化这个概念。归一化是一种简化计算的方式, 即将有量纲的表达式, 经过变换, 化为无量纲的表达式, 成为纯量。在多种计算中都经常用到这种方法。通过引入归一化这个概念, 我们可以简化计算。

#### 2.计算步骤

##### (1) 评价指标的归一化处理

评价指标的归一化方法为:

归一化后的评价指标=归一化前的评价指标 $\times$ 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

将表1中的各评价指标值进行归一化处理后得到表2:

表 省域生物多样性评价指标值

表 2

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	物种特有性	外来物种入侵度
1	北京	13.80	54.60	60	5.17	18.15
2	天津	8.90	9.20	60	4.31	21.66
3	河北	19.71	63.22	60	11.21	59.65
4	山西	17.40	63.79	60	13.79	38.75
5	内蒙古	19.07	30.46	60	7.76	29.31
6	辽宁	18.05	48.85	60	6.03	74.72

7	吉林	17.17	54.02	60	1.72	50.51
8	黑龙江	15.13	27.01	60	0.86	54.76
9	上海	15.28	40.80	60	2.59	29.02
10	江苏	18.69	45.40	60	15.52	100.00
⑩	浙江	33.50	51.15	100	34.48	41.99
12	安徽	23.88	55.75	100	22.41	67.78
13	福建	35.57	80.46	100	26.72	39.55
14	江西	27.75	74.71	100	39.66	44.45
15	山东	21.41	63.22	80	12.93	58.52
16	河南	24.56	60.92	80	31.03	41.58
17	湖北	37.71	80.46	80	68.10	25.04
18	湖南	30.89	83.91	100	52.59	26.83
19	广东	47.64	51.72	100	42.24	28.72
20	广西	54.12	80.46	100	64.66	16.74
21	海南	35.86	40.23	100	18.97	26.87
22	重庆	36.03	39.08	100	56.90	4.81
23	四川	61.41	73.56	100	100.00	24.79
24	贵州	36.83	83.91	100	68.97	28.25
25	云南	100.00	100.00	100	100.00	27.94
26	西藏	40.10	22.99	100	31.90	⑩.05
27	陕西	24.93	51.15	80	40.52	36.34
28	甘肃	29.32	48.85	80	33.62	24.98
29	青海	14.01	28.74	60	11.21	37.14
30	宁夏	12.59	39.66	60	3.45	32.15
31	新疆	26.50	96.55	60	0.86	25.45

(2) 各评价指标权重的计算。

A. 方法：熵值法。

B. 熵值法原理：在信息论中，熵是对不确定性的一种度量。信息量越大，不确定性越小，熵值也就越小；信息量越大，不确定性越大，熵值也就越大。根据熵的特性，我们可以通过计算熵值来判断一个事件的随机性和无序程度，也可以用熵值来判断某个指标的离散程度，指标的离散程度越大，该指标对综合评价的影响越大。

C. 熵值法步骤

a. 选取 $n(n=31)$ 个评价对象， $m(m=5)$ 个指标，则 $X_{ij}$ 为第 $i$ 个评价对象的第 $j$ 个指标的数值，其中 $(i=1, 2, \dots, 31, j=1, 2, 3, 4, 5)$ 。

b. 数据的标准化处理

由于数据具有不同的特征，我们需要标准化，具体标准化处理如下：

$$x_{ij} = \ln(X_{ij}) / n + 1 \quad (i = 1, 2, \dots, 31, j = 1, 2, \dots, 5)$$

c. 计算第 $j$ 项指标下第 $i$ 个评价对象占该指标的比重：

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \text{ 其中 } (i=1,2,3\cdots 31, j=1,2,3,4,5)$$

d. 计算第j项指标的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \text{ 其中, } (k > 0, k = 1/\ln(n), e_j \geq 0)$$

e. 计算第j项指标的差异系数。对第j项指标，指标值的差异越大，对方案评价的左右也就越大，熵值就越小，定义差异系数为：

$$g_j = \frac{1-e_j}{n-E_e} \quad \text{其中, } (E_e = \sum_{j=1}^m e_j, 0 \leq g_j \leq 1, \sum_{j=1}^m g_j = 1)$$

f. 求权值

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad \text{其中, } (j=1,2\cdots m)$$

g. 计算各类对象的综合得分

$$s_i = \sum_{j=1}^m w_j p_{ij} \quad \text{其中, } (i=1,2\cdots n)$$

D. 熵值法结果

通过以上步骤可得各项指标的权重值。

评价权重

表 3

评价指标	权重
物种丰富度	0.50
生态系统类型多样性	0.15
植被垂直层谱的完整性	0.10
物种特有性	0.15
外来物种入侵度	0.10

(3)生物多样性指数计算方法

生物多样性指数BI=  $W*0.5 + S*0.15 + Z*0.10 + T*0.15 + (100-Q)*0.10$ 。

计算得到各省生物多样性指数值，如表4：

表4

省份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江
BI	30.05	20.31	31.05	32.46	28.34	25.79	29.90	22.27	27.24	24.48	45.40

表 4 续 1

省份	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南
BI	36.89	49.91	46.59	34.27	39.92	56.63	53.24	55.04	67.15	44.12

表 4 续 2

省份	重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
BI	51.93	74.26	58.52	97.21	47.18	40.58	42.53	25.28	25.55	41.32

## (2) 生物多样性状况的分级

根据生物多样性指数 (BI) 值, 将生物多样性状况分为四级, 即: 优、良、一般和差。划分标准见表4:

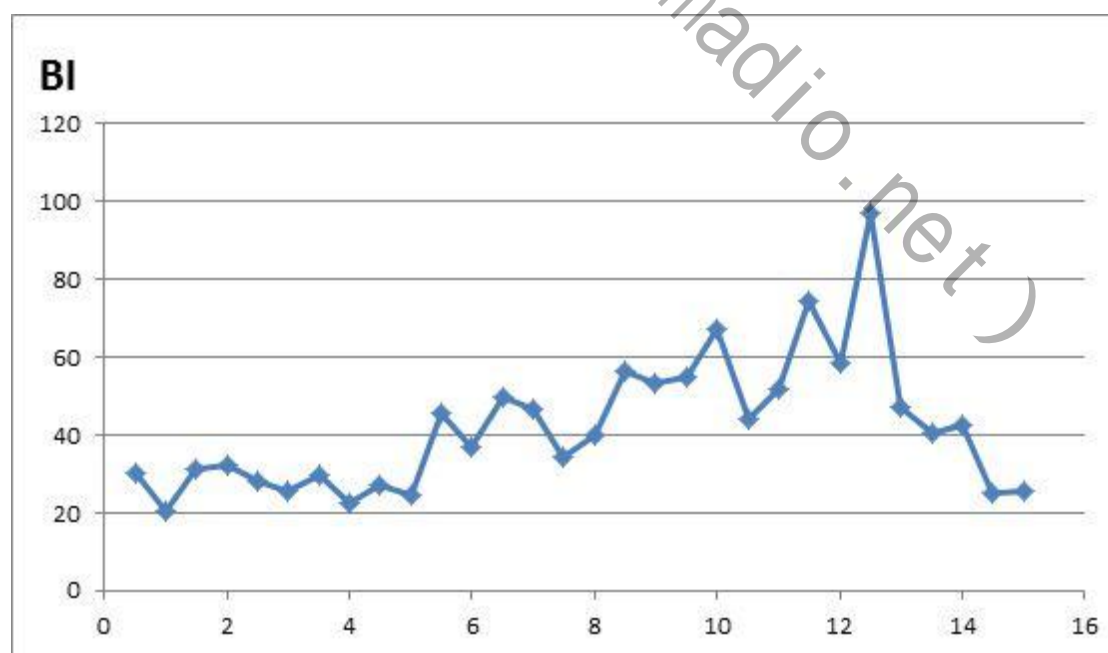
生物多样性状况的分级

生物多样性等级	生物多样性指数	生物多样性状况
优	$BI \geq 65$	物种高度丰富, 特有属、种繁多, 生态系统丰富多样
良	$40 \leq BI < 65$	物种较丰富, 特有属、种较多, 生态系统类型较多, 局部地区生物多样性高度集中
一般	$30 \leq BI < 40$	物种较少, 特有属、种不多, 局部地区生物多样性较丰富, 但生物多样性总体水平一般
差	$BI < 30$	物种贫乏, 生态系统类型单一、脆弱, 生物多样性极低

排名	地区	BI	评价结果	排名	地区	BI	评价结果
1	云南	97.21	优	17	河南	39.32	一般
2	四川	74.26	优	18	安徽	36.89	一般
3	广西	67.15	优	19	山东	34.27	一般
4	贵州	58.52	良	20	山西	32.46	一般
5	湖北	56.63	良	21	河北	31.05	一般
6	广东	55.04	良	22	北京	30.05	一般
7	湖南	53.24	良	23	吉林	29.90	差
8	重庆	51.93	良	24	内蒙古	28.34	差
9	福建	49.91	良	25	上海	27.24	差
10	西藏	47.18	良	26	辽宁	25.79	差
11	江西	46.59	良	27	宁夏	25.55	差
12	浙江	45.40	良	28	青海	25.28	差
13	海南	44.12	良	29	江苏	24.48	差
14	甘肃	42.53	良	30	黑龙江	22.27	差
15	新疆	41.32	良	31	天津	20.31	差
16	陕西	40.58	良				

通过以上计算，我们便得到了基于生物多样性指数 (BI) 的全国生物多样性状况评价结果。如下表：

用散点图可以更加直观的显示出各个省的生物多样性情况，如下图所示：



上图中的横坐标说明如下：

省份	北京	天津	河北	山西	内蒙	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江
横坐标	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5

省份	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南
横坐标	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5

省份	重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
横坐标	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5

由此表中的结果我们可以得出以下结论：

(1) 云南、四川、广西物种高度丰富，特有属种繁多，生态系统丰富多样，生物多样性评价结果为优

(2) 贵州、湖北、广东、湖南、重庆、福建、西藏、江西、浙江、海南、甘肃、新疆、陕西物种较丰富，特有属种较多，生态系统类型较多，局部地区生物多样性高度丰富，生物多样性评价结果为良。

(3) 河南、安徽、山东山西、河北、北京物种较少，特有属种不多，局部地区生物多样性较丰富，生物多样性总体水平一般。

(4) 吉林、内蒙古、上海、辽宁、宁夏、青海、江苏、黑龙江、天津物种贫乏，生态系统类型单一脆弱，生物多样性较差。

## 六、模型评价

模型的优点

1、基于归一化后的原始数据矩阵，找出有限方案中的最优方案和最劣方案然后分别计算诸评价对象与最优方案和最劣方案的距离，获得各评价对象与最优方案的相对接近程度，以此作为评价优劣的依据。最后对得到的一系列数据，我们再进行加权求和，从一个综合的角度来科学的评价物种多样性。

2、我们对此问题的建模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，模型优点明显，适用性强。

模型的缺点

1、用物种丰富度来度量物种多样性，虽然简单方便，但由于它忽略了各物种个体数量对群落多样性贡献的差异，因此，在样地面积不定或不可控制的情况下，应用物种丰富度测度方法是难以给群落研究提供有价值的可比信息的。

2、由于能采用的数据有限，并且没有一个归一化标准值，导致了模型中熵值法的优点不能完全的发挥出来。

## 七、模型改进和推广

本模型还是基于物种进行的多样性分析，以物种的相对多度作为群落多样性测度的变量，因而其计算结果在某种程度上就不可避免的存在着某些不合理性。因而我们可以考虑从群落的角度在进行一次分析，最后综合二者的结果作一个综合的评价。

综合多样性指数修正模型不仅解决了抽样面积不能小于 $1\text{ hm}^2$ 的限制，而且还可表达多样性的丰富度、均匀度两个不同方面。另外也适用于各种不同比例尺的遥感数据分析。

用熵值法求每种作用的权值大小，然后用加权求和来决定某种因素的的最终得分来确定其排名地位的方法是很具有推广价值的！可以很方便的移植到多因素综合影响某项指标的实际问题中，如政策变动，自然灾害等对某地经济的影响大小模型。

## 八、 参考文献

- [1]姜启源，谢金星等，数学模型. 北京市西城区 . 高等教育出版社. 2003 年；
- [2]薛定宇，陈阳泉等. 高等应用数学问题的 MATLAB 求解 . 北京清华大学. 清华大学出版社. 2008 年；
- [3]宋丁全，生物多样性基本概念及其数学方法，金陵科技学院学报 2004 年第 2 期 20 卷
- [4]《全球生物多样性展望》第三版
- [5]生物多样性评价标准，环境保护部

## 附录

### 1、熵值法模型程序

```
x=zeros(1,m);
for j=1:m
    for i=1:n
        x(j)=X(i,j)+x(j);
    end
end
for j=1:m
    for i=1:n
        P(i,j)=X(i,j)/x(j);
    end
end
p=zeros(1,m);
for j=1:m
    for i=1:n
        p(j)=P(i,j).*log(P(i,j))+p(j);
    end
end
E=0;
for j=1:m
    e(j)=-1/log(n).*p(j);
    E=e(j)+E;
end
G=0;
for j=1:m
    g(j)=(1-e(j))/(m-E);
    G=G+g(j);
end
for j=1:m
    w(j)=g(j)/G;
end
S=zeros(1,n);
for i=1:n
    for j=1:m
        S(i)=S(i)+w(j)*P(i,j);
    end
end
```



数学中国提供 (www.madio.net)