

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2010@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)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。

我们的参赛报名号为：1642

参赛队员（签名）：

队员 1：黄燕燕

队员 2：韦春

队员 3：黄威

参赛队教练员（签名）：郭金

参赛队伍组别：大学组

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email：2010@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

参赛队伍的参赛号码：（请各个参赛队提前填写好）：

1642

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

邮编：010021

Email: 2010@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

题 目 生物多样性的评估关 键 词 生物多样性 评价指标 模糊综合评价模型 SPSS 软件

摘 要：

本文以模糊综合分析方法为基础，根据科学性、代表性和实用性原则，对生物多样性进行可行性分析，得出了较为全面而有效的评价生物多样性的指标。我们对以下方面进行较为详细的讨论分析：

首先，将物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直层谱的完整性和物种特有性作为评价生物多样性的指标中的四个一级主要因素，其下属十五个相关因素作为二级因素，由此建立了模糊综合评价模型。并将云南的十五个相关数据代入模型，经计算，在模糊向量中最大值位于所定义的“良”的位置，故得到其等级为：良。

其次，通过用Excel软件和SPSS软件^[1]对北京、上海、广西等全国具有代表性的20个省市的一级主要因素进行分析，画出柱形图、归一化处理图表和碎石图，由此得出，外来物种入侵对生物多样性的影响是显著的。因而，在加入外来物种入侵的情况下，上述模型才较为实用有效，于是我们就得到了第二个模型的构想。

最后，对第一个模型进行修改，用物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直层谱的完整性、物种特有性及外来物种入侵度这五个元素作为评价生物多样性的一级指标元素，其下属十七个相关因素作为二级因素，最终建立了能较全面评价生物多样性的模糊综合评价模型，然后用模型对北京、上海、广西、重庆、新疆及河南这六个省市进行评价，最后计算得到等级如下：

省（市）	广西	重庆	新疆	河南	北京	上海
等级	优	良	良	中	中下	差

文末还对保护生物多样性提出了建议和号召：（1）制定区域性可持续利用规划。（2）制定区域性适合的政策法规。（3）生物多样性保护知识培训与宣传。（4）地方执法能力建设。

参赛队号 1642参赛密码 _____
(由组委会填写)所选题目 B

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2010@tzmcm.cn

英文摘要（选填）

Abstract

This article is based on fuzzy comprehensive analysis method, according to the principles of representative and practical ,scientific, On a feasibility analysis of biological diversity, draw a more comprehensive and effective evaluation of indicators of biological diversity. We are following a more detailed discussion of:

First, the species richness, diversity of ecosystem types, the integrity of the vertical layers of vegetation and species-specific spectrum of indicators for evaluating the biological diversity of the four-level factors, fifteen of his subordinates as the two factors related factors, thus a fuzzy comprehensive evaluation model. Fifteen of Yunnan and related data into the model, By rating: Good.

Second, by using Excel software and SPSS software for the country's 20 provinces representative of one of the main factors such as Beijing, Shanghai, Guangxi ect. Draw Column, Normalized graph charts and gravel, The resulting, invasive alien species on biological diversity is significant. So, prior to joining the case of invasive species, the model was more practical and effective, then we get the idea of the second model.

Finally, Modification of the first model, by using evaluation of the five elements of biodiversity as elements of a target as the species richness, diversity of ecosystem types, the integrity of the vertical layers of vegetation and species-specific spectrum and degree of alien species invasion, seventeen of his subordinates as the two factors related factors, eventually established the fuzzy comprehensive evaluation method of biological diversity. With the model, Beijing, Shanghai, Guangxi, Chongqing, Xinjiang and Henan provinces to evaluate the six, the final grade calculated as follows:

Province (City)	Guangxi	Chongqing	Xinjiang	Henan	Beijing	Shanghai
Level	Excellent	Good	Good	middle	Lower	Poor

At last, the conservation of biological diversity also made recommendations and called for:

- (1) Development of regional sustainable development planning.
- (2) Development of regional policies and regulations .
- (3) Biodiversity protection knowledge training and advocacy.
- (4) Capacity building of local law enforcement.

参赛队号 # 1642

1. 问题的重述

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了另一些物种，所以应当考虑物种的多样性。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。

1 第一阶段问题：

问题：请你建立合理的数学模型，设计一个全面而有效的评价生物多样性的指标，以利于今后考察和科研工作地开展。

2. 问题的分析

该题是一个开放性问题，具有很大的弹性，方法多样化。为了解决该题，我们通过查找资料，发现生物多样性^[2]主要由遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性和种群多样性四个组成部分，结合实际情况进行分析发现，可以将物种多样性、生态系统多样性、植被垂直层谱的完整性^[3]和物种的特有性作为所需建立模型的第一级元素，即我们可以建立综合分析模型来评价生物多样性。建立了模型之后，我们就可以用网络搜集全国20多个省市的相关数据，利用我们的模型来对生物多样性进行评定等级。

3. 模型假设及符号的说明

3.1 模型的假设

- (1) 搜集到的数据真实可靠，并且短时间内不会有太大变动。
- (2) 我们选取的省市具有代表性，具有信服力。
- (3) 忽略自然灾害造成的不确定因素。

3.2 符号的使用及说明

参赛队号 # 1642

U : 评价要素集

U_i : 一级综合评价子要素

U_{ij} : 二级综合评价子要素

V : 生物多样性的评价集

A : 评价要素集 U 上的权向量

μ_{vm} : 第 m 个评价等级对模糊集 V 的隶属度

a_i : 单独考虑子要素集 U_{ij} 对评价所起作用大小的度量

r_{ijm} : 表示子要素集 U_i 中第 j 个子要素的评价对于第 m 个评价等级的隶属度

B_i : 一级综合评价结果

B_{ij} : 一级综合评价的模糊向量

R : 模糊评价矩阵

R_i : 单要素评价的模糊评价矩阵

B : 二级综合评价的模糊向量

A_i : 子要素集 U_i 中各子要素的权向量

4. 模型的建立与求解

4.1.0 经分析，本文先根据下图所示建立评价要素体系：

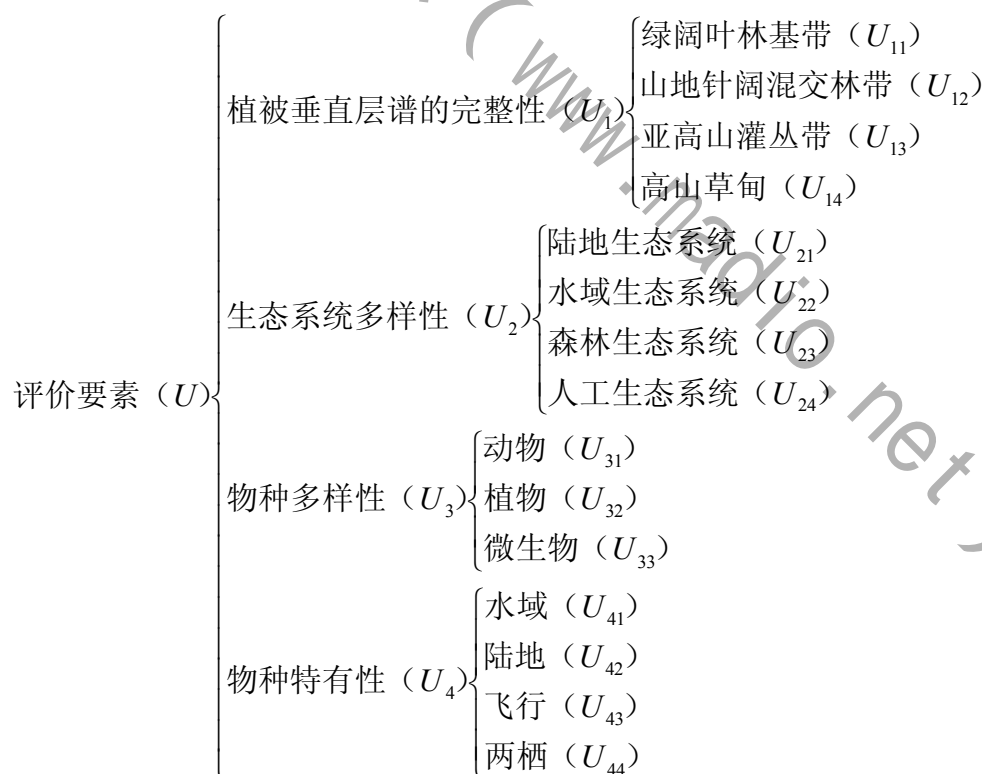


图1 生物多样性评价要素体系

根据图1，我们开始建立模糊综合评价数学模型

4.1.1 确定生物多样性评价的要素集 U ，按照模糊综合评价理论，首先确定生物多样性评价的要素集。根据生物多样性的评价要素体系（如图1所示），其评价要素集 U

参赛队号 # 1642

可由4个子要素集组成。即

$$U = \{U_1(\text{植被}), U_2(\text{生态}), U_3(\text{物种多样}), U_4(\text{物种特有})\} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_1 &= \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\} \\ U_2 &= \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\} \\ U_3 &= \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\} \\ U_4 &= \{U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}\} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： U_{ij} 表示第*i*个子要素集对应的第*j*个子要素（ $i=1, 2, 3, 4$ ； $j=1, 2, 3, \text{或} 4$ ）

4.1.2 确定生物多样性的评价集 V

将生物多样性的评价集 V 分为5个评价等级，即

$$V = \{V1, V2, V3, V4, V5\} = \{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{中下}, \text{差}\} \quad (3)$$

并设评价集 V 的模糊向量为

$$V = \{\mu_{v1}, \mu_{v2}, \mu_{v3}, \mu_{v4}, \mu_{v5}\} \quad (4)$$

式中：

$\mu_{vm} \in [0,1]$ 是第 m 个评价等级对模糊集 V 的隶属度。这里，生物多样性的评价集 V 对

评价要素 U 和子要素集 U_i 均适用。

4.1.3 确定生物多样性评价要素的权向量

考虑评价要素集 U 中诸子要素在评价中所起作用的大小，得到评价要素集 U 上的权向量 A 为

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i) \text{ 且 } \sum_{i=1}^i a_i = 1, a_i \geq 0 \quad (5)$$

式中： a_i 为单独考虑子要素集 U_{ij} 对评价所起作用大小的度量（下同）（ $i=1, 2, 3, 4$ ）

同理，考虑子要素集 U_i 中诸子要素在评价中所起作用的大小，得到 U_i 上的权向量 A_i 为

$$\begin{aligned} A &= (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}) \\ \text{且 } \sum_{j=1}^j a_j &= 1, \quad (j=1, 2, 3, 4), \quad a_{ij} \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

式中： a_{ij} 为单独考虑子要素集 U_{ij} 对评价所起作用大小的度量（下同）（ $j=1, 2, 3 \text{ 或 } 4$ ）

4.1.4 要素评价

分别对子要素集 U_i 中第 j 个子要素的评价对于第 m 个子要素评价的模糊向量为

参赛队号 # 1642

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ijm})$$

$$\text{且 } \sum_{m=1}^m r_{ijm} = 1, \quad (m=1,2,3,4,5; \text{ 下同}) \quad (7)$$

式中： r_{ijm} 表示子要素集 U_i 中第 j 个子要素的评价对于第 m 个评价等级的隶属度

对于含有 j 个子要素的子要素集 U_i 的单要素模糊评价矩阵 R 为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1m} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \cdots & r_{ijm} \end{bmatrix} = (r_i)_{j \times m} \quad (8)$$

4.1.5 模型的求解

分别按每个子要素集 U_i 进行综合评价，得到一级综合评价的模糊向量为

$$B_{ij} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) = A_i \cdot R_i \quad (9)$$

式中：

$$b_{im} = \vee (a_{ij} \wedge r_{ijm}) = \max \{ \min(a_{i1}, r_{i1m}), \min(a_{i2}, r_{i2m}), \dots, \min(a_{ij}, r_{ijm}) \}$$

这里， $j=1, 2, 3$ ，或4； $m=1, 2, 3, 4, 5$ ；“ \vee ”、“ \wedge ”分别表示“取大”、“取小”运算；符号“0”表示模糊逻辑算子。

4.1.6 二级综合评价

将 U 中4个子要素集看作4个单要素进行二级综合评价，得到由于要素集 U_i 的一级综合评价结果 B_i 组成的模糊评价矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \end{bmatrix} \quad (10)$$

于是，二级综合评价的模糊向量 B 为

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_k) = A \cdot R \quad (11)$$

然后，按最大原则选出二级综合评价模糊向量中最大分量，确定对应的评价等级。若将生物多样性评价要素体系继续细分，同理可得到三级乃至更多级模糊综合评价数学模型。

4.1.7 模型的检验

参赛队号 # 1642

现以贵州为例，采用二级模糊综合评价方法对其进行评价。

确定子要素集 U_i 中各子要素的权向量 A_i

根据实际经验判断子要素集 U_i 中各子集要素的相对重要性，确定权向量分别为

$$A_1 = (0.26, 0.24, 0.30, 0.20)$$

$$A_2 = (0.23, 0.29, 0.27, 0.21)$$

$$A_3 = (0.45, 0.55)$$

$$A_4 = (0.30, 0.25, 0.35, 0.15)$$

确定单要素评价的模糊评价矩阵

本文采用考察人员评分法，确定个要素隶属于评价集 V 中评价等级的隶属度。具体方法是

$$\text{某要素隶属于 } V \text{ 中某一评价等级的隶属度} = \frac{\text{考察人员有 } r \text{ 个人划归该要素为 } V \text{ 中某一评价等级}}{\text{考察成员人数}}$$

将经过考察人员评分，而确定各要素隶属于评价集 V 中评价等级的隶属度，代入式

(8) 得到各单要素（这里为子要素集 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 ）评价的模糊评价矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.24 & 0.08 & 0.45 & 0.23 & 0.00 \\ 0.29 & 0.31 & 0.25 & 0.15 & 0.00 \\ 0.26 & 0.38 & 0.15 & 0.21 & 0.00 \\ 0.20 & 0.18 & 0.57 & 0.05 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.47 & 0.20 & 0.08 & 0.23 & 0.00 \\ 0.35 & 0.28 & 0.10 & 0.27 & 0.00 \\ 0.15 & 0.35 & 0.20 & 0.30 & 0.00 \\ 0.25 & 0.28 & 0.20 & 0.27 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.43 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.30 & 0.24 & 0.23 & 0.00 \\ 0.20 & 0.35 & 0.18 & 0.26 & 0.00 \\ 0.18 & 0.25 & 0.30 & 0.26 & 0.00 \\ 0.21 & 0.22 & 0.23 & 0.34 & 0.00 \end{bmatrix}$$

4.2.0 一级综合评价结果^[4]

根据式 (9) 求得子要素集 U_i 综合评价的模糊向量如下：

$$\begin{aligned} B_1 &= (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}) = A_1 \cdot R_1 \\ &= (0.26 \quad 0.24 \quad 0.30 \quad 0.20) \begin{pmatrix} 0.24 & 0.08 & 0.45 & 0.23 & 0.00 \\ 0.29 & 0.31 & 0.25 & 0.15 & 0.00 \\ 0.26 & 0.38 & 0.15 & 0.21 & 0.00 \\ 0.20 & 0.18 & 0.57 & 0.05 & 0.00 \end{pmatrix} \\ &= (0.2500 \quad 0.2450 \quad 0.3360 \quad 0.1688 \quad 0.0000) \end{aligned}$$

同理，得到子要素集 U_2 、 U_3 、 U_4 综合评价的模糊向量分别为

参赛队号 # 1642

$$B_2 = (b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}, b_{25}) = (0.3026, 0.2805, 0.1434, 0.2689, 0.0000)$$

$$B_3 = (b_{31}, b_{32}, b_{33}, b_{34}, b_{35}) = (0.4765, 0.5235, 0.0000, 0.0000, 0.0000)$$

$$B_4 = (b_{41}, b_{42}, b_{43}, b_{44}, b_{45}) = (0.2135, 0.2980, 0.2565, 0.2760, 0.0000)$$

4.2.1 二级综合评价结果

根据实际经验判断评价要素集 U 中各个子要素集的相对重要性，确定权向量 A 为

$$A = (0.50, 0.15, 0.10, 0.15)$$

根据式 (10) 求得评价要素集 U 二级综合评价的模糊评价矩阵如下

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.2450 & 0.3360 & 0.1688 & 0.0000 \\ 0.3026 & 0.2805 & 0.1434 & 0.2689 & 0.0000 \\ 0.4765 & 0.5235 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2135 & 0.2980 & 0.2565 & 0.2760 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

根据式 (11) 可得到评价要素集 U 二级综合评价的模糊向量如下

$$\begin{aligned} B_1 &= (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}) = A \cdot R \\ &= (0.50 \quad 0.15 \quad 0.10 \quad 0.15) \cdot \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.2450 & 0.3360 & 0.1688 & 0.0000 \\ 0.3026 & 0.2805 & 0.1434 & 0.2689 & 0.0000 \\ 0.4765 & 0.5235 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2135 & 0.2980 & 0.2565 & 0.2760 & 0.0000 \end{bmatrix} \\ &= (0.2501 \quad 0.2617 \quad 0.2280 \quad 0.1661 \quad 0.0000) \end{aligned}$$

按最大原则选出最大分量，即 B 中 0.2617 为最大，故对应的评价等级是：良。说明云南的生物多样性的综合评价等级为良。

然而，通过查阅相关生物环境专业背景资料，我们了解到，云南是世界十大生物多样性热点地区之一东喜马拉雅地区的核心区域，生物种类及特有类群之多居全国之首以上所建立的模型是不够全面的，由于外来入侵物种生命力强，适应性强，繁殖力强，抗逆行强，性成熟早，能与当地物种竞争食物资源和生存空间，使原有物种的种群数量和结构发生改变，分布区不断减小，种群数量下降，甚至消失，原有生态系统遭到严重破坏，给人类的生产生活带来新的威胁。

由Excel软件对所搜集到的全国20个省市的相关数据进行分析，得到了如下图形(a)，

参赛队号 # 1642

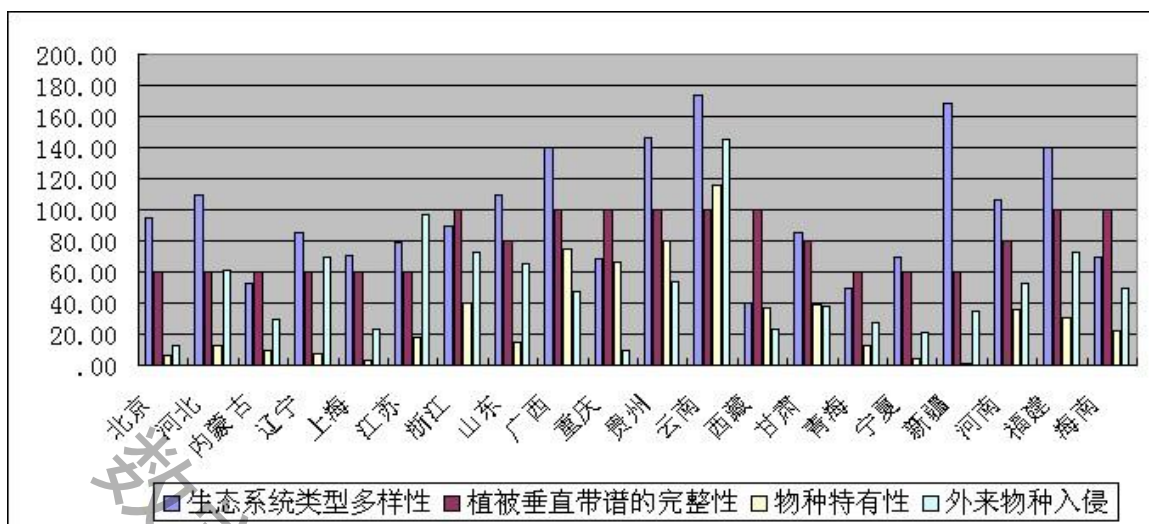


图 (a) 四元素柱形图

由图 (a), 我们可以看出, 外来物种入侵与生态系统多样性、植被垂直层谱的完整性、物种特有性这三个元素对生物多样性的影响水平相当。

又由SPSS软件对数据进行处理, 得出如下图 (b)、图 (c)

Component Matrix^a

	Component				
	1	2	3	4	5
归一化处理后的物种多样性	.987	.034	-.067	-.139	.019
归一化处理后的生态系统多样性	.652	.693	.306	.017	-.005
归一化处理后的植被垂直层谱的完整性	.793	-.572	.197	.076	.021
归一化处理后的物种特有性	.940	-.337	-.011	-.019	-.039
归一化处理后的外来物种入侵	.888	.320	-.315	.094	.005

Undefined error #11401 - Cannot open text file "C:\Program

Files\SPSSInc\SPSS16\lang\en\spss.err": N

a. 5 components extracted.

图 (b) 归一化处理图表

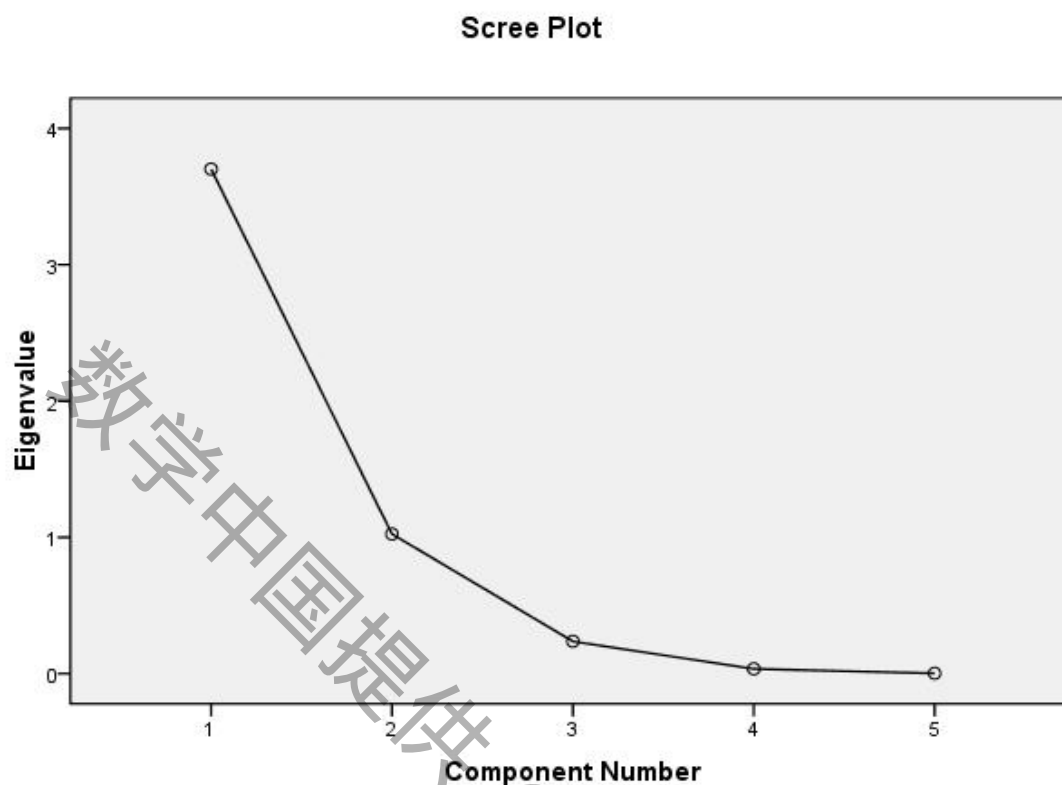


图 (c) 碎石图

从图 (b)、图 (c) 这两个图中的数据和图像可以发现，外来物种的入侵对生物多样性是具有一定影响的，故而有必要将生物的入侵这一因素纳入我们所建立的模型中。

5. 模型的改进

上一小节建立了模糊综合评价模型，并分析了其不足之处，本小节中提出了以物种多样性、生态系统多样性、植被垂直层谱的完整性、物种的特有性及外来物种入侵物种要素为第一级要素的模糊综合评价模型，并检验模型的可行性和科学性。

5.1.0 建立生物多样性的模糊综合评价模型

根据下图建立模糊综合评价模型：

参赛队号 # 1642

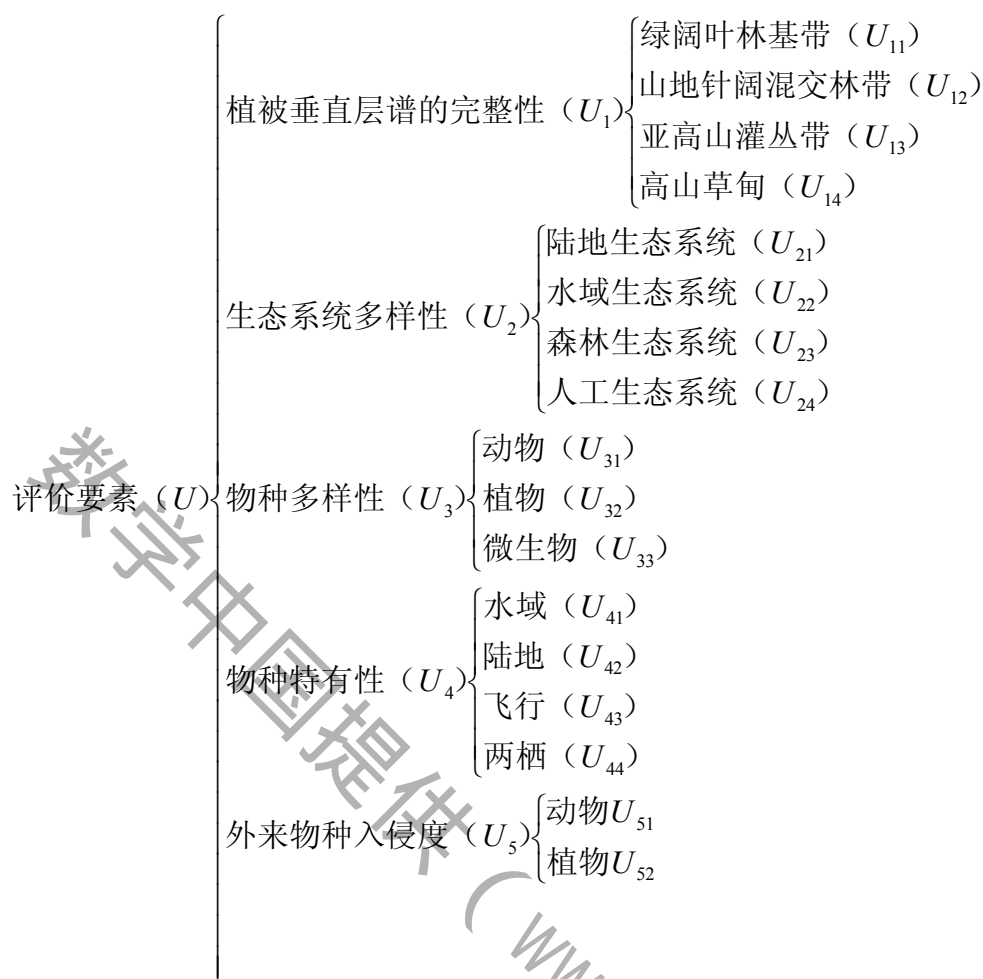


图2 生物多样性评价要素体系

5.1.1 确定生物多样性评价的要素集 U ，按照模糊综合评价理论^[3~4]，首先确定生物多样性评价的要素集。根据生物多样性的评价要素体系（如图1所示），其评价要素集 U 可由5个一级子要素集组成。即

$$U = \{U_1(\text{植被}), U_2(\text{生态}), U_3(\text{物种多样}), U_4(\text{物种特有}), U_5(\text{外来物种入侵度})\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} U_1 &= \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\} \\ U_2 &= \{U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}\} \\ U_3 &= \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\} \\ U_4 &= \{U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}\} \\ U_5 &= \{U_{51}, U_{52}\} \end{aligned} \quad (13)$$

式中： U_{ij} 表示第 i 个子要素集对应的第 j 个子要素（ $i=1, 2, 3, 4, 5$ ； $j=1, 2, \text{或} 3, \text{或} 4$ ）

5.1.2 确定生物多样性的评价集 V

将生物多样性的评价集 V 分为5个评价等级，即

$$V = \{V1, V2, V3, V4, V5\} = \{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{中下}, \text{差}\} \quad (14)$$

参赛队号 # 1642

并设评价集 V 的模糊向量为

$$V = \{\mu_{v1}, \mu_{v2}, \mu_{v3}, \mu_{v4}, \mu_{v5}\} \quad (15)$$

式中：

$\mu_{vm} \in [0,1]$ 是第 m 个评价等级对模糊集 V 的隶属度。这里，生物多样性的评价集 V 对评价要素 U 和子要素集 U_i 均适用。

定生物多样性评价要素的权向量

考虑评价要素集 U 中诸子要素在评价中所起作用的大小，得到评价要素集 U 上的权向量 A 为

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_i) \text{ 且 } \sum_{i=1}^i a_i = 1, a_i \geq 0 \quad (16)$$

式中： a_i 为单独考虑子要素集 U_{ij} 对评价所起作用大小的度量（下同）（ $i=1, 2, 3, 4, 5$ ）。

同理，考虑子要素集 U_i 中诸子要素在评价中所起作用的大小，得到 U_i 上的权向量 A_i 为

$$A = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}) \quad (17)$$

$$\text{且 } \sum_{j=1}^j a_j = 1, (j=1,2,3,4,5), a_{ij} \geq 0$$

式中： a_{ij} 为单独考虑子要素集 U_{ij} 对评价所起作用大小的度量（下同）（ $j=1, 2, 3, 4$ 或 5）

5.1.3 要素评价

分别对子要素集 U_i 中第 j 个子要素的评价对于第 m 个子要素评价的模糊向量为

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ijm}) \quad (18)$$

$$\text{且 } \sum_{m=1}^m r_{ijm} = 1, (m=1,2,3,4,5; \text{ 下同})$$

式中： r_{ijm} 表示子要素集 U_i 中第 j 个子要素的评价对于第 m 个评价等级的隶属度

对于含有 j 个子要素的子要素集 U_i 的单要素模糊评价矩阵 R 为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1m} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \dots & r_{ijm} \end{bmatrix} = (r_i)_{j \times m} \quad (19)$$

5.1.4 模型的求解

分别按每个子要素集 U_i 进行综合评价，得到一级综合评价的模糊向量为

参赛队号 # 1642

$$B_{ij} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) = A_i \cdot R_i \quad (20)$$

式中：

$$b_{im} = \vee(a_{ij} \wedge r_{ijm}) = \max\{\min(a_{i1}, r_{i1m}), \min(a_{i2}, r_{i2m}), \dots, \min(a_{ij}, r_{ijm})\}$$

这里， $j=1, 2, 3, 4$ 或 5 ； $m=1, 2, 3, 4, 5$ ；“ \vee ”、“ \wedge ”分别表示“取大”、“取小”运算；符号“ 0 ”表示模糊逻辑算子。

5.1.5 二级综合评价

将 U 中4个子要素集看作4个单要素进行二级综合评价，得到由子要素集 U_i 的一级综合评价结果 B_i 组成的模糊评价矩阵 R 为

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} \end{bmatrix} \quad (21)$$

于是，二级综合评价的模糊向量 B 为

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_k) = A \cdot R \quad (22)$$

然后，按最大原则选出二级综合评价模糊向量中最大分量，确定对应的评价等级。若将生物多样性评价要素体系继续细分，同理可得到三级乃至更多级模糊综合评价数学模型。

5.2.0 模型的应用

现以云南省为例，采用二级模糊综合评价方法对其进行评价。

5.2.1 确定子要素集 U_i 中各子要素的权向量 A_i

根据实际经验判断子要素集 U_i 中各子集要素的相对重要性，确定权向量分别为

$$A_1 = (0.26, 0.24, 0.30, 0.20)$$

$$A_2 = (0.23, 0.29, 0.27, 0.21)$$

$$A_3 = (0.45, 0.55)$$

$$A_4 = (0.30, 0.25, 0.35, 0.15)$$

$$A_5 = (0.46, 0.54)$$

5.2.2 确定单要素评价的模糊评价矩阵

本文采用考察员评分法，确定个要素隶属于评价集 V 中评价等级的隶属度。具体方法是

参赛队号 # 1642

某要素隶属于 V 中某一评价等级的隶属度 =

$\frac{\text{考察人员中有}r\text{个人划归该要素为}V\text{中某一评价等级}}{\text{考察成员人数}}$

考察成员人数

将经过考察员评分，而确定各要素隶属于评价集 V 中评价等级的隶属度，代入式

(19) 得到各单要素（这里为子要素集 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 ）评价的模糊评价矩阵为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.24 & 0.08 & 0.45 & 0.23 & 0.00 \\ 0.29 & 0.31 & 0.25 & 0.15 & 0.00 \\ 0.26 & 0.38 & 0.15 & 0.21 & 0.00 \\ 0.20 & 0.18 & 0.57 & 0.05 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} 0.47 & 0.20 & 0.08 & 0.23 & 0.00 \\ 0.35 & 0.28 & 0.10 & 0.27 & 0.00 \\ 0.15 & 0.35 & 0.20 & 0.30 & 0.00 \\ 0.25 & 0.28 & 0.20 & 0.27 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.43 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix} \quad R_4 = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.30 & 0.24 & 0.23 & 0.00 \\ 0.20 & 0.35 & 0.18 & 0.26 & 0.00 \\ 0.18 & 0.25 & 0.30 & 0.26 & 0.00 \\ 0.21 & 0.22 & 0.23 & 0.34 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.79 & 0.21 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.35 & 0.65 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

5.2.3 一级综合评价结果

根据式 (20) 求得子要素集 U_i 综合评价的模糊向量如下：

$$B_1 = (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}) = A_1 \cdot R_1$$

$$= (0.26 \quad 0.24 \quad 0.30 \quad 0.20) \begin{pmatrix} 0.24 & 0.08 & 0.45 & 0.23 & 0.00 \\ 0.29 & 0.31 & 0.25 & 0.15 & 0.00 \\ 0.26 & 0.38 & 0.15 & 0.21 & 0.00 \\ 0.20 & 0.18 & 0.57 & 0.05 & 0.00 \end{pmatrix}$$

$$= (0.2500 \quad 0.2452 \quad 0.3360 \quad 0.1688 \quad 0.0000)$$

同理，得到子要素集 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_5 综合评价的模糊向量分别为

$$B_2 = (b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}, b_{25}) = (0.3026, 0.2805, 0.1434, 0.2689, 0.0000)$$

$$B_3 = (b_{31}, b_{32}, b_{33}, b_{34}, b_{35}) = (0.4765, 0.5235, 0.0000, 0.0000, 0.0000)$$

$$B_4 = (b_{41}, b_{42}, b_{43}, b_{44}, b_{45}) = (0.2135, 0.2980, 0.2565, 0.2760, 0.0000)$$

$$B_5 = (b_{51}, b_{52}, b_{53}, b_{54}, b_{55}) = (0.5840, 0.4160, 0.0000, 0.0000, 0.0000)$$

5.2.4 二级综合评价结果

根据实际经验判断评价要素集 U 中各个子要素集的相对重要性，确定权向量 A 为

参赛队号 # 1642

$$A = (0.50, 0.15, 0.10, 0.15, 0.10)$$

根据式 (21) 求得评价要素集 U 二级综合评价的模糊评价矩阵如下

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.2452 & 0.3360 & 0.1688 & 0.0000 \\ 0.3026 & 0.2805 & 0.1434 & 0.2689 & 0.0000 \\ 0.4765 & 0.5235 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2135 & 0.2980 & 0.2565 & 0.2760 & 0.0000 \\ 0.5840 & 0.4160 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

根据式 (22) 可得到评价要素集 U 二级综合评价的模糊向量如下

$$\begin{aligned} B &= (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}) = A \cdot R \\ &= (0.5, 0.15, 0.1, 0.15, 0.1) \cdot \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.2452 & 0.3360 & 0.1688 & 0.0000 \\ 0.3026 & 0.2805 & 0.1434 & 0.2689 & 0.0000 \\ 0.4765 & 0.5235 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.2135 & 0.2980 & 0.2565 & 0.2760 & 0.0000 \\ 0.5840 & 0.4160 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \end{bmatrix} \\ &= (0.3085, 0.3033, 0.2280, 0.1661, 0.0000) \end{aligned}$$

按最大原则选出最大分量，即 B 中 0.3085 为最大，故对应的评价等级是：优。说明云南的生物多样的综合评价等级为优。

通过网络搜索，得到北京、上海、广西、重庆、新疆、河南的相关数据，如下表：

省份	植被垂直层谱的完整性				生态系统多样性				物种多样性		物种的特有性				外来入侵物种种数	
	绿阔叶林基带	山地针阔混交林带	亚高山灌丛带	高山草甸	陆地生态系统	水域生态系统	森林生态系统	人工生态系统	动物	植物	水域生物	陆地生物	飞行类生物	两栖类生物	动物	植物
北京	5	9	15	36	65	12	35	26	150	600	36	78	60	65	2	8
上海	2	3	5	10	25	12	5	20	65	524	10	21	13	8	1	20
广西	5	14	26	301	200	30	50	65	920	9420	1700	2500	1800	2000	12	60
重庆	5	9	23	210	160	23	37	45	811	4560	1359	2600	1820	2010	2	7
新疆	2	3	15	86	150	8	40	35	32	156	1	12	5	7	1	30

参赛队号 # 1642

河南	5	10	18	45	78	15	40	30	120	750	450	900	500	150	30	30
----	---	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

将查到的数据本别代入我们所建立的第二个模型中，计算得到各个省市的等级，如下表：

省（市）	广西	重庆	新疆	河南	北京	上海
等级	优	良	良	中	中下	差

6. 模型评价及改进方向

6.1 模型的优点

- (1) 建立起的模型考虑问题全面，不同元素都考虑在内。
- (2) 建立起的模型是经过了检验，不断改进之后得到的，具有严谨性。

6.2 模型的缺点

我们在建模的时候所用到的元素只是取了相对影响显著的那些元素，影响力微弱的元素没考虑进去，从资源最大化的角度来说，我们的模型在这一点上来说是不够的。

6.3 模型的改进方向

模型应该要对难以量化的因素有一个较为明显的评定标准，这样的模型才能更详细细腻地对事物进行评定。

7. 模型推广

该模型出了可以用来评价生物多样性之外，还可以用来进行相关评价类工作，如对学生优秀与否的综合评定、公司职员的评优方案、产品的满意度综合评价等。

8. 关于“保护生物多样性”的建议书

尊敬的人类：

你们好！你们可知道多种多样的生物是全人类共有的宝贵财富。生物多样性为人类的生存与发展提供了丰富的食物、药物、燃料等生活必需品以及大量的工业原料。生物多样性也维护了自然界的生态平衡，并为人类的生存提供了良好的环境条件。同时，生物多样性是生态系统不可缺少的组成部分，人们依靠生态系统净化空气、水，并丰腴土壤。自然界的所有生物都是互相依存，互相制约的。每一种物种的绝迹，都预示着很多物种即将面临死亡。生物多样性更是人类社会赖以生存和发展的基础。

(1) 制定区域性可持续利用规划。生物多样性包含两个重要的层次就是物种多样性和景观多样性，具有很高的开发利用价值和旅游价值，制定一个科学的生物多样性可持续利用规划将有助于为社区开拓一条可持续的增收渠道，有助于普及生物多样性知识和环境保护意识，直接减轻生物多样性面临的威胁。

(2) 制定区域性适合的政策法规。我们过大多数自然保护区普遍缺乏单区管理办法，使得在实施《中华人民共和国自然保护区条例》第6条过程中，具体操作困难。

(3) 生物多样性保护知识培训与宣传。毫无疑问，我们国家的生物多样性是丰富的，但广大的相关群体对生物多样性保护在经济社会可持续发展中的作用却知之甚少。因此，针对性地在各相关群体中开展生物多样性保护知识培训是非常必要的。

(4) 地方执法能力建设。生物多样性保护工作包括预防和治理两方面，预防是主要的，治理也是必不可少的。加强地方执法能力建设，建立一支高素质的执法队伍，完善执法网络，改善执法条件，及时查处一切破坏森林，非法捕猎国家和地方重点保护野生动物，非法采挖国家和地方重点保护野生植物的违法犯罪行为，以维护生物多样性

参赛队号 # 1642

保护的正常的法律秩序。

为了我们美丽的地球，为了我们的子孙后代，请保护好生物多样性吧！

9. 参考文献

[[1]吴喜之，因子分析，《统计学：从数据到结论》，2009 年第一版。

[2]蒙特利尔，概述，《全球生物多样性展望》，2010 年第三版。

[3]吴征镒，植被垂直层谱的完整性系数，《中国植被》，1980 年。

[4]刘琮荪，何中市，数值运算，《数学实验》，2004 年第四版。

10. 附录

省域生物多样性表格：

	省份	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
1	北京	2528	95.00	60.00	6.00	13.00
2	河北	3610	110.00	60.00	13.00	60.00
3	内蒙古	3493	53.00	60.00	9.00	29.00
4	辽宁	3307	85.00	60.00	7.00	70.00
5	上海	2798	71.00	60.00	3.00	23.00
6	江苏	3424	79.00	60.00	18.00	97.00
7	浙江	6137	89.00	100.00	40.00	73.00
8	山东	3921	110.00	80.00	15.00	65.00
9	广西	9913	140.00	100.00	75.00	47.00
10	重庆	6600	68.00	100.00	66.00	9.00
11	贵州	6747	146.00	100.00	80.00	54.00
12	云南	18317	174.00	100.00	116.00	145.00
13	西藏	7345	40.00	100.00	37.00	23.00
14	甘肃	5370	85.00	80.00	39.00	38.00
15	青海	2566	50.00	60.00	13.00	27.00
16	宁夏	2306	69.00	60.00	4.00	21.00
17	新疆	4854	168.00	60.00	1.00	35.00
18	河南	4499	106.00	80.00	36.00	63.00
19	福建	6515	140.00	100.00	31.00	73.00
20	海南	6568	70.00	100.00	22.00	50.00