

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。

我们的参赛队号为：_____1207_____

所属学校（请填写完整的全名）：_____山东大学_____

参赛队员（打印并签名）： 1、 谭树人_____

2、 田英良_____

3、 户亚青_____

参赛队教练员（打印并签名）：_____无_____

参赛队伍组别：_____本科组_____

日期：_____2011_____年4_____月22_____日

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

赛区评阅编号（请各个参赛队提前填写好）：

1207

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： 基于层次分析法的生物多样性评价指标体系

关 键 词： 生物多样性、层次分析法、模糊一致性矩阵、经验模型

摘 要

随着人类社会的发展不断发展，人类文明在不断进步的过程中生物多样性问题却逐渐浮现出来，保护地球上的生物多样性已经越来越被人类社会所关注。本文针对如何评价被考察区域的生物多样性问题，在合理的假设和生物学知识的背景之下，采用层次分析法建立数学模型。由生物多样性下遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性、景观多样性出发，建立层次结构，引入十六个子层属性指标，应用Matlab软件实现层次分析法。确立子层指标权重的过程中，建立比较矩阵以9度指标法（1-9指标法）为主，同时尝试了指数标度法的求解。得到十六个属性指标的相应的权重后，建立体系，最后得到了一个定量地评价总体生物多样性的指标。完整的进行了模型的误差分析后，提出了几点可以在后续研究中可以选择的思路。

参赛队号： 1207

所选题目： B题

参赛密码：

Abstract

While human society continuously developing and civilization moving on, the problems about the biodiversity arise gradually. People of the world begin to show more concern about how to protect the biodiversity. In order to find the method to measure the biodiversity in some areas, based on reasonable assumptions and some knowledge of biology, this paper builds a mathematical model with the method of analytic hierarchy process. Hierarchical structure is set up with four elements-genetical diversity、species diversity、ecosystem diversity、landscape diversity and their sixteen sub elements. Matlab was used to deal with the way of solving the problem. In the process of identifying each sub element's weight, different indexes were used to establish comparative matrix pairs. After getting the corresponding weight of the sub elements, a system was built to quantitatively appraise the biodiversity. The entire error analysis was carried out, and some optional ideas were offered which can be used in further study.

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：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 假设与符号

2.1 模型的假设

- (1) 各指标之间互不依赖，独立地对上一级指标的数值大小作出贡献。
- (2) 人们同时比较若干对象时，能够区别差异的心理学极限 7 ± 2 个对象并且存在。
- (3) 所研究生物多样性的区域范围为省域以下。

2.2 符号说明

Z :表示生物多样性总分;

C :表示指标层;

C_i :表示指标层的第 i 个因素;

D :表示属性层或亚指标层;

D_i :表示属性层的第 i 个因素;

$T_{M_k}^{N_j}$:表示指标 M_k 下所有亚指标 N_j 组成的判断矩阵;

$W_{M_k}^{N_j}$:表示指标 M_k 下各亚指标 N_j 的相应的权重;

3 问题分析

由题意可知，该问题是半定量半定性、多因素的综合选优排序问题，是一个多目标决策问题，我们主要利用层次分析法对此作出决策。

鉴于原来评价体系指标已被一部人所接受，从某种意义上讲也有一定的合理性。现在提出要充分体现生物多样性的评价指标，但也有必要考虑到原评价指标合理的方面，如遗传多样性中的种型情况，物种多样性中的物种丰度、人类威胁。于是，可以认为相关的众多指标在评价体系中所占权重是不同的，应有轻重缓急之分。因此，可以将遗传多样性(C_1)、物种多样性(C_2)、生态系统多样性(C_3)、和景观多样性(C_4)作为一级指标，下

设16个2级亚指标,从而要求出各个亚指标的权重,再由以上分析可知,各个指标存在不可共度性,故先需要对各指标进行量化,为了区分各档次之间的差异,确定量化原则如图一,至此,就可以得出一套可操作性强的生物多样性评价指标体系。

4 模型的建立

4.1 问题(1):生物多样性评价指标体系模型

问题的层次结构共分为3,第一层是目标层,即生物多样性总分(Z);第二层为准则层(C),即一级指标层;第三层为亚指标层(D),关系如下图:



4.1.1 确定亚指标层(D)对目标层(C)的权重 W_C^D

根据问题的条件和模型的假设,对每个指标的量化亚指标能够充分反映出该指标的综合影响。由此可以分别构造亚指标层(属性层)对指标层 C_k 的比较矩阵。

(1) 对于 $C_k(k=1,2,3,4)$,通过两两比较,得到一个判断矩阵 T_{C_i}

$$T_{C_i} = \begin{matrix} C_i & D_1 & D_2 & \dots & D_n \\ D_1 & d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ D_2 & d_{21} & \dots & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_n & d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{matrix} \quad (1)$$

图 1 生物多样性评价体系量化原则

指标	评分标准	
遗传多样性	古老残遗情况	共 d_1 分。冰期和非冰期残遗植物均为 e_{1-1} 分，只有冰期或只有非冰期残遗植物为 e_{1-2} 分。
	特有情况	共 d_2 分。4 钟特有情况每种各占 $d_2/4$ 分。
	种型情况	共 d_3 分。6 种类型每种各占 $d_3/6$ 分。
物种多样性	人类威胁	共 d_4 分。人类侵扰性活动强度很大，有过分开发利用自然资源的趋势，资源的有效保护受到较大的威胁为 e_{4-1} 分；有少量的人类侵扰性活动存在，开发利用自然资源的强度中等，资源的有效保护受到一定的威胁为 e_{4-2} 分；很少有人类的侵扰，对自然资源开发利用适度，对资源的有效保护不构成威胁为 e_{4-3} 分。
	生物种群稳定性	共 d_5 分。个体数量较少，密度低、最小生存种群很难维持为 e_{5-1} 分；个体数量较多，但密度低，或个体数量少，但密度高，最小生存种群不易维持为 e_{5-2} 分；个体数量多，但密度高，最小生存种群可以维持为 e_{5-3} 分。
	物种濒危程度	共 d_6 分。全球性珍稀濒危物种为 e_{6-1} 分；国家重点保护一、二类职务为 e_{6-2} 分，国家重点保护三类植物为 e_{6-3} 分，区域性珍稀濒危物种为 e_{6-4} 分。
	物种相对丰度	共 d_7 分。调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例相对极高， $\leq 50\%$ 为 e_{7-1} 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例相对较高，达 $30\% \sim 50\%$ 为 e_{7-2} 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例，达 $10\% \sim 29.9\%$ 为 e_{7-3} 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例 $> 10\%$ 为 e_{7-3} 分。
	物种多度	共 d_8 分。物种多样性极丰富，高等植物 ≥ 2000 为 e_{8-1} 分；物种多样性较丰富高等植物 $1000 \sim 1999$ 种为 e_{8-2} 分；物种多样性中等丰富，高等植物 $500 \sim 999$ 种为 e_{8-3} 分；物种多样性较少，高等植物 < 500 种为 e_{8-3} 分。
生态系统多样性	面积适应性	共 d_9 分。研究地有效面积大小适宜，足以维持生态系统的结构和功能为 e_{9-1} 分；研究地有效面积大小较适宜，基本能维持生态系统的结构和功能为 e_{9-2} 分；研究地有效面积大小不太适宜，不易维持生态系统的结构和功能为 e_{9-3} 分。
	生境类型多样性	共 d_{10} 分。生境或生态系统的组成成分与结构极为复杂，并有很多种类型存在为 e_{10-1} 分；生境或生态系统的组成成分与结构比较复杂，类型较为多样为 e_{10-2} 分；生境或生态系统的组成成分与结构比较简单，类型较少为 e_{10-3} 分；生境或生态系统的组成成分与结构简单，类型单一为 e_{10-4} 分。
	生境稀有性	共 d_{11} 分。世界范围内唯一或极重要生境为 e_{11-1} 分；国家或生物地区范围内唯一或极重要生境为 e_{11-2} 分；地区范围内稀有或极重要生境为 e_{11-3} 分；常见类型为 e_{11-3} 分。
	自然性	共 d_{12} 分。未受到人类侵扰或极少侵扰，保持原始状态，自然生境完好为 e_{12-1} 分；已受到轻微侵扰和破坏，但生态系统无明显的结构变化，自然生境基本完好为 e_{12-2} 分；已遭受较为严重的破坏，系统结构发生变化，但尚无大量的引入物种，自然生境退化为 e_{12-3} 分；自然生境全面遭到破坏，原始结构已不复存在，有大量的人为修饰迹象，外源物种被大量引入，自然状态基本已为人工状态所替代为 e_{12-4} 分。
	生态系统稳定性	共 d_{13} 分。生态系统不成熟或结构不完整活不合理，很脆弱为 e_{13-1} 分；生态系统较为成熟或结构较不完整或较不合理，较脆弱为 e_{13-2} 分；生态系统处于顶级状态，结构合理完整，较稳定为 e_{13-3} 分。
景观多样性	景观类型多样性	共 d_{14} 分。分析景观中类型的丰富度和复杂度，给出不同水平的分数。（注意类型多样性和物种多样性关系一般成正态分布，而不是简单的线性关系）
	格局多样性	共 d_{15} 分。格局多样性考虑不同类型的空间分布多样性以及同一类型间空间关系，后者主要用连接度和连通性、相邻板块间的聚集与分散的程度来衡量。
	斑块多样性	共 d_{16} 分。综合考虑斑块的面积、斑块形状（包括边缘与边缘效应）、斑块的构型，斑块相关性的指标：隔离度、可及相互作用总隔离度、可及相互作用，以及破碎化指标：斑块密度、边缘密度等指标，给出分值。

注： $\sum d_i=100$ ，任一 e_{ij} 满足 $e_{ij} \leq d_i$ ，对任一 i ， e_{ij} 分数确定依据其在因素对生物多样性贡献的大小按 j 均匀递增或递减，即：若 $d_4=6$ ，则可取 $e_{4-1}=2$ ， $e_{4-2}=4$ ， $e_{4-3}=6$ ；若 $d_7=7$ ，则可取 $e_{7-1}=7$ ， $e_{7-2}=5$ ， $e_{7-3}=3$ ， $e_{7-4}=1$ 。

其中, d_{ij} 是采用9标度(如图一)规则确定的。 d_{ij} 表示第*i*单位(D_i)的重要性是第*j*个单位(D_j)的重要性,即

$$d_{ij} = \frac{D_i \text{的重要性分数}}{D_j \text{的重要性分数}} = \frac{W_{C_k}^{D_i}}{W_{C_k}^{D_j}}$$

显然有: $d_{ij} > 0, d_{ii} = 1, d_{ij} = \frac{1}{d_{ji}}$ 。

4.1.2 确定指标层(C)对目标层(Z)的权重 W_Z^C

(1) 对于 Z ,通过两两比较,得到一个判断矩阵 T_Z

$$T_Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} Z & C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & \dots & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

其中, c_{ij} 是采用9标度(如图一)规则确定的。 c_{ij} 表示第*i*单位(C_i)的重要性是第*j*个单位(C_j)的重要性,即

$$c_{ij} = \frac{C_i \text{的重要性分数}}{C_j \text{的重要性分数}} = \frac{W_Z^{C_i}}{W_Z^{C_j}}$$

显然有: $c_{ij} > 0, c_{ii} = 1, c_{ij} = \frac{1}{c_{ji}}$ 。

AHP - 9 标度评分标准

重要性分数 a_{ij}	意义
1	一样重要
3	略为重要
5	明显重要
7	强烈重要
2, 4, 6, 8	介于相邻两者之间
上述各数的倒数	上述 <i>j</i> 与 <i>i</i> 比较即

4.2 矩阵的一致性检验

以上两步计算,比较矩阵都是由经验和Satty的心理学理论建立的,需要一致性检验,根据Satty判断矩阵一致性理论,需要计算 $C.I$:

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

式中 $C.I$ 即为举证一致性指标,而 $R.I$ 为同阶次的平均随机一致性指标(通过 $Matlab$ 模拟即可给出)。而只要 $C.I$ 不超过10%时,就可认为 T 是好的,否则,认为 T 中的一致性较严重,尤其当 $C.I$ 超出了20%,必须调整 T 以重构 W 。

4.2.1 生物多样性总分函数

由以上计算可知,亚指标 D_i 所占的 Z 权重 $W_Z^{D_i}$ 可以表示为:

$$W_Z^{D_i} = W_Z^{C_k} W_{C_k}^{D_i}$$

故可以将 $Z(x_i)$ 生物多样性总分函数表示为:

$$Z(x_i) = 100 \sum_{i=1}^n W_Z^{D_i} D_i(x_i)$$

其中 $D_i x_i$ 为归一化函数。

4.2.2 指数标度层次分析法

根据以上分析,标度的选择会对最终权重($W_Z^{D_i}$)产生影响,故考虑指数标度层次分析法

假设因素A比B相比极端重要,其重要性程度之比为 m ,则由 $a^k = m$ 可得参数 $a = \sqrt[k]{m}$ 。通常情况下,考虑到两两比较中的因素重要性程度应当在同一数量级上才容易比较,所以大多数学者都认为9是重要性之比的极限。则本文以9为重要性之比的极限,将重要性程度分成9级,即 k 取作8,得出参数为 $a = 9^{\frac{1}{8}}$,则可根据指数标度表(如下表):

AHP 比例指数标度的评分标准

(取 $a = 9^{\frac{1}{8}}, k = 1 \sim 9$)

重要性分数 $a_{ij} = a^{k-1}$	意义
1.0000	i 比 j 一样重要
1.3161	介于相邻两者之间
1.7321	i 比 j 略为重要
2.2795	介于相邻两者之间
3.0000	i 比 j 明显重要
3.9482	介于相邻两者之间
5.1962	i 比 j 强烈重要
6.8385	介于相邻两者之间
9.0000	i 比 j 极端重要
上述各数的倒数	上述 j 与 i 的比较, 即 a_{ji}

如同9度标度法,可由 $Matlab$ 程序运算,得出相应的 $R.I_a$,从而进行比较矩阵的一致性检验。

5 模型的求解

利用 $Matlab$ ，可以分别得出指数标度和9标度下16个指标所占权重。

(1)9度标度法.

对于判断矩阵 $T_Z : c_{11} = 1, c_{21} = 3, c_{22} = 1, c_{31} = 3, c_{32} = \frac{1}{2}, c_{33} = 1, c_{41} = 2,$
 $c_{42} = \frac{1}{3}, c_{43} = \frac{1}{2}, c_{44} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C1} : d_{11} = 1, d_{21} = 3, d_{22} = 1, d_{31} = 5, d_{32} = 3, d_{33} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C2} : d_{11} = 1, d_{21} = 1, d_{22} = 1, d_{31} = 3, d_{32} = 3, d_{33} = 1, d_{41} = 2,$
 $d_{42} = 2, d_{43} = \frac{1}{2}, d_{44} = 1, d_{51} = 3, d_{52} = 3, d_{53} = 1, d_{54} = 2, d_{55} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C3} : d_{11} = 1, d_{21} = 6, d_{22} = 1, d_{31} = 4, d_{32} = \frac{1}{4}, d_{33} = 1, d_{41} = 5,$
 $d_{42} = \frac{1}{3}, d_{43} = 2, d_{44} = 1, d_{51} = 3, d_{52} = \frac{1}{5}, d_{53} = \frac{1}{2}, d_{54} = \frac{1}{3}, d_{55} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C4} : d_{11} = 1, d_{21} = 3, d_{22} = 1, d_{31} = 4, d_{32} = 3, d_{33} = 1.$

则可得权重为:

$$\begin{aligned} w(D_1) &= 1.11\%, w(D_2) = 2.74\%, w(D_3) = 6.75\%, w(D_4) = 4.41\%, \\ w(D_5) &= 4.41\%, w(D_6) = 14.02\%, w(D_7) = 7.89\%, w(D_8) = 14.02\%, \\ w(D_9) &= 1.32\%, w(D_{10}) = 13.69\%, w(D_{11}) = 4.12\%, w(D_{12}) = 6.54\%, \\ w(D_{13}) &= 2.62\%, w(D_{14}) = 1.71\%, w(D_{15}) = 4.23\%, w(D_{16}) = 10.42\%. \end{aligned}$$

(2)指数标度法.

对于判断矩阵 $T_Z : c_{11} = 1, c_{21} = 9^{\frac{1}{8}}, c_{22} = 1, c_{31} = c_{21} = 9^{\frac{1}{8}}, c_{32} = 1, c_{33} = 1,$
 $c_{41} = 1, c_{42} = 9^{\frac{1}{8}}, c_{43} = 9^{-\frac{1}{8}}, c_{44} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C1} : d_{11} = 1, d_{21} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{22} = 1, d_{31} = 9^{\frac{2}{8}}, d_{32} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{33} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C2} : d_{11} = 1, d_{21} = 1, d_{22} = 1, d_{31} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{32} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{33} = 1, d_{41} = 9^{\frac{2}{8}},$
 $d_{42} = 9^{\frac{2}{8}}, d_{43} = 1, d_{44} = 1, d_{51} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{52} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{53} = 1, d_{54} = 1, d_{55} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C3} : d_{11} = 1, d_{21} = 9^{\frac{3}{8}}, d_{22} = 1, d_{31} = 9^{\frac{2}{8}}, d_{32} = 9^{-\frac{1}{8}}, d_{33} = 1,$
 $d_{41} = 9^{\frac{3}{8}}, d_{42} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{43} = 1, d_{44} = 1, d_{51} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{52} = 9^{-\frac{2}{8}}, d_{53} = 9^{-\frac{1}{8}}, d_{54} = 9^{-\frac{1}{8}}, d_{55} = 1;$

对于判断矩阵 $T_{C4} : d_{11} = 1, d_{21} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{22} = 1, d_{31} = 9^{\frac{2}{8}}, d_{32} = 9^{\frac{1}{8}}, d_{33} = 1.$

则可得权重为:

$$\begin{aligned} w(D_1) &= 5.33\%, w(D_2) = 7.02\%, w(D_3) = 9.24\%, w(D_4) = 4.48\%, \\ w(D_5) &= 4.48\%, w(D_6) = 6.23\%, w(D_7) = 6.98\%, w(D_8) = 6.23\%, \\ w(D_9) &= 3.32\%, w(D_{10}) = 6.07\%, w(D_{11}) = 7.98\%, w(D_{12}) = 6.43\%, \\ w(D_{13}) &= 4.61\%, w(D_{14}) = 5.33\%, w(D_{15}) = 7.02\%, w(D_{16}) = 9.24\%. \end{aligned}$$

从而得到下表:

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8
9 度标度法	0.0111	0.0274	0.0675	0.0441	0.0441	0.1402	0.0789	0.1402
指数标度法	0.0533	0.0702	0.0924	0.0448	0.0448	0.0623	0.0698	0.0623
	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}
9 度标度法	0.0132	0.1369	0.0412	0.0654	0.0262	0.0171	0.0423	0.1042
指数标度法	0.0332	0.0798	0.0607	0.0643	0.0461	0.0533	0.0702	0.0924

由此，我们可以对图一中的各个指标进行赋值，得到一套可操作性强的生物多样性评价指标体系，最终结果如下图3：

6 模型的优缺点

6.1 模型的优点

- (1) 该模型考虑了生物多样性的四个最重要的指标和其相关的亚指标，结合权威数据给出了评价标准；
- (2) 该模型可以推广到任意一个单目标多决策参数的评价系统；
- (3) 评价函数是线性的，未涉及高等数学知识，容易为大众所理解。

6.2 模型的误差分析

该模型的建立基于系统模型的层次分析法理论，模型的误差来源于层次分析方法的合理性程度与方法实施过程中内部的误差。对于前者，该方法是广大数学建模教材中常有的方法，从这一点可以看出其经典性、合理性以及为广大师生和编者所接受的事实。这也就减少了方法选择上造成的误差。对于后者，可以从两个方面来分析。

第一，建立比较矩阵，首先要考虑的是比例标度的选取，这是影响模型误差的重要因素，由模型的求解可以看出，采用1 - 9的比例标度与指数型比例标度所得的结果误差很大，同时指数型标度使用中 a 的选择也是难以确定的[10]；其次是层中各因素对上一层的影响程度或重要性的确立，任意两因素（如 D_i 与 D_j ）的重要性的评价过程中，人的主观因素的作用很大，这就使得决策结果可能难以为众人接受当然，采取专家群体判断的办法是克服这个缺点的一种途径[2]，由相关专家依据其深厚的专业知识以及经验做出，比如组织专家团进行讨论、会谈等，请若干专家每人构造成对比较阵，通过一定方法[3]进行处理，最终得出最合适的成对比较矩阵。

第二，模型是简化后的，根据假设，模型中对层次的确定采用的递阶层次结构[2]，模型假设层次内部因素之间不存在相互影响或支配作用，层间也没有反馈或者循环，然而在生物学中，由遗传多样性导致物种多样性，而物种不同形式的组合则决定了生物群落、生态系统乃至景观的多样性[12]，从这方面来看，模型中 C_i 与 C_j 之间也存在相互联系，同时，D层的个因素之间也可能存在联系，如果模型中加入这一方面的考虑，还需要更加

图 2 生物多样性评价标准

指标	评分标准	
遗传多样性	古老残遗情况	共 1.11 分。冰期和非冰期残遗植物均为 1.11 分，只有冰期或只有非冰期残遗植物为 0.555 分。
	特有情况	共 2.74 分。4 种特有情况每种各占 0.685 分。
	种型情况	共 6.75 分。6 种类型每种各占 1.125 分。
物种多样性	人类威胁	共 4.41 分。人类侵扰性活动强度很大，有过分开发利用自然资源的趋势，资源的有效保护受到较大的威胁为 1.47 分；有少量的人类侵扰性活动存在，开发利用自然资源的强度中等，资源的有效保护受到一定的威胁为 2.94 分；很少有人类的侵扰，对自然资源开发利用适度，对资源的有效保护不构成威胁为 4.41 分。
	生物种群稳定性	共 4.41 分。个体数量较少，密度低、最小生存种群很难维持为 4.41 分；个体数量较多，但密度低，或个体数量少，但密度高，最小生存种群不易维持为 2.94 分；个体数量多，但密度高，最小生存种群可以维持为 1.47 分。
	物种濒危程度	共 14.02 分。全球性珍稀濒危物种为 14.02 分；国家重点保护一、二类职务为 10.515 分，国家重点保护三类植物为 7.01 分，区域性珍稀濒危物种为 3.505 分。
	物种相对丰度	共 7.89 分。调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例相对极高， $\leq 50\%$ 为 7.89 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例相对较高，达 $30\% \sim 50\%$ 为 5.9175 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例，达 $10\% \sim 29.9\%$ 为 3.945 分；调查区域内的物种数占其所在生物地理区或行政省内物种总数的比例 $> 10\%$ 为 1.9725 分。
	物种多度	共 14.02 分。物种多样性极丰富，高等植物 ≥ 2000 为 14.02 分；物种多样性较丰富高等植物 $1000 \sim 1999$ 种为 10.515 分；物种多样性中等丰富，高等植物 $500 \sim 999$ 种为 7.01 分；物种多样性较少，高等植物 < 500 种为 3.505 分。
生态系统多样性	面积适应性	共 1.32 分。研究地有效面积大小适宜，足以维持生态系统的结构和功能为 1.32 分；研究地有效面积大小较适宜，基本能维持生态系统的结构和功能为 0.88 分；研究地有效面积大小不太适宜，不易维持生态系统的结构和功能为 0.44 分。
	生境类型多样性	共 13.69 分。生境或生态系统的组成成分与结构极为复杂，并有很多种类型存在为 13.69 分；生境或生态系统的组成成分与结构比较复杂，类型较为多样为 10.2675 分；生境或生态系统的组成成分与结构比较简单，类型较少为 6.845 分；生境或生态系统的组成成分与结构简单，类型单一为 3.4225 分。
	生境稀有性	共 4.12 分。世界范围内唯一或极重要生境为 4.12 分；国家或生物地区范围内唯一或极重要生境为 2.68 分；地区范围内稀有或极重要生境为 2.747 分；常见类型为 1.37 分。
	自然性	共 6.54 分。未受到人类侵扰或极少侵扰，保持原始状态，自然生境完好为 6.54 分；已受到轻微侵扰和破坏，但生态系统无明显的结构变化，自然生境基本完好为 4.905 分；已遭受较为严重的破坏，系统结构发生变化，但尚无大量的引入物种，自然生境退化为 3.27 分；自然生境全面遭到破坏，原始结构已不复存在，有大量的人为修饰迹象，外源物种被大量引入，自然状态基本已为人工状态所替代为 1 分。
	生态系统稳定性	共 2.62 分。生态系统不成熟或结构不完整活不合理，很脆弱为 0.87 分；生态系统较为成熟或结构较不完整或较不合理，较脆弱为 1.64 分；生态系统处于顶级状态，结构合理完整，较稳定为 2.62 分。
景观多样性	景观类型多样性	共 1.71 分。分析景观中类型的丰富度和复杂度，给出不同水平的分数。（注意类型多样性和物种多样性关系一般成正态分布，而不是简单的线性关系）
	格局多样性	共 4.23 分。格局多样性考虑不同类型的空间分布多样性以及同一类型间空间关系，后者主要用连接度和连通性、相邻板块间的聚集与分散的程度来衡量。
	斑块多样性	共 10.42 分。综合考虑斑块的面积、斑块形状（包括边缘与边缘效应）、斑块的构型，斑块相关性的指标：隔离度、可及相互作用总隔离度、可及相互作用，以及破碎化指标：斑块密度、边缘密度等指标，给出分值。

深入的生物学专业知识的引导和更加严密的数学分析方法。通过以上的误差分析，也给出了我们可以在之后的研究中采取的方法和思路。专家群体判断无疑是非常好的减小误差的方法，这里再引入已经存在的一种简便可靠的定性预测方法——德尔菲法（Delphi technique）[6]，为避免集体讨论存在的屈从与权威或盲目服从多素的缺陷、消除成员间相互影响，参加的专家可以互不了解，它运用匿名方式反复多次征询意见和进行背靠背的交流，以充分发挥专家们的智慧、知识和经验，最后汇总得出一个能比较反映群体意志的预测结果。

参考文献

- [1] 卢卡斯(Lucas,W.F)(美)，离散与系统模型，长沙:国防科技大学出版社，1996.12
- [2] 姜启源谢金星，数学模型，北京:高等教育出版社,2003
- [3] 韩中庚，数学建模方法及其应用，北京:高等教育出版社，2005.6
- [4] 丁晖，秦卫华，生物多样性评估指标及其案例研究，北京:中国环境科学出版社，2009.03
- [5] 第四章景观多样性及其保护，[http://http://wenku.baidu.com/view/10af4e0016fc700abb68fc9d.html](http://wenku.baidu.com/view/10af4e0016fc700abb68fc9d.html)，2011.04.22
- [6] 马克明傅伯杰周华锋，景观多样性测度：格局多样性的亲和度分析，生态学报，Vol.18 No.1:76-81,1998.01
- [7] 傅伯杰陈利顶，景观多样性的类型及其生态意义，地理学报，Vol.51 No.5:454-462，1996.09
- [8] 曾志新罗军颜立红邹建文肖绿田，物种多样性的评价指标和评价标准，湖南林业科技，Vol.26 No2:26-29,1999.06
- [9] 张峥刘爽朱琳冯颖，湿地生物多样性评价研究——以天津古海岸与湿地自然保护区为例，中国生态农业学报，Vol.10 No.1:76-78，2002.03
- [10] 吕跃进，指数标度在AHP标度系统中的核心作用，第6届全国青年管理科学与系统科学学术会议论文集，2001年大连
- [11] 杜栋，论AHP的标度评价，运筹与管理，Vol.9 No.4:42-45，2000.12
- [12] 舒康梁振韩，AHP中的指数标度法，系统工程理论与实践，第一期，1990.01
- [13] 肖金学王文强廉振民，中国生物多样性研究现状分析，安徽农业科学，Vol 35 No.34:111172-111174，2007
- [14] 吕跃进，指数标度在AHP标度系统中的核心作用，第6届全国青年管理科学与系统科学学术会议论文集，2001年大连
- [15] 舒康梁振韩，AHP中的指数标度法，系统工程理论与实践，第一期，1990.01

- [16] 熊立王国华等, 层次分析法中数字标度的选择与评价方法研究, 系统工程理论与实践, 第三期, 2005.03
- [17] 胡伟等, $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$ 完全学习手册, 北京: 清华大学出版社, 2011, 1
- [18] 吴鹏等, Matlab 高效编程技巧与应用: 25 个案例分析

7 附录

关键matlab程序

```
function [W,ahpResult] = ahp(C)
%层次分析法建模
%C: n*1的cell型数组, n+1等于建立的层次模型的层。C存储层次分析建模法所需要的输入信息,
%Ck里面存储的也是一个cell数组, 假设第k层有m_k个元素, 从左到右依次编号1,2,...,m_k,
%Ck1,j存储的是第k+1层各元素对第k层j元素的成对比较矩阵(j=1,2,...,m), Ck2,j
%存储的是一m_k+1*1的逻辑数组, 1表示第k+1层相应位置的元素受第k层j元素的支配, 0表示不受
%支配。
%W: 方案层对目标层的最终权重
%ahpResult:n*1的cell型数组。ahpResult存储层次分析建模法各层的结果信息, ahpResultk
%里面返回的也是一个cell数组, ahpResultk1,j返回的是k+1层所有元素相对k层j元素的
%权重, k+1层元素不受k层j元素支配的权重为0;ahpResultk2,j返回的是Ck1,j中成对比
%较矩阵的最大特征值;ahpResultk3,j返回的是相应的一致性比率C.R.
RI=[0 0 0.58 0.90 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49 1.51];%平均随机一致性指标
n = length(C);%得到C的长度n, 于是知道层数为n+1
ahpResult = cell(n,1);%存储各层结果信息
for k = 1:n
    m_k = size(Ck,2);%k层的元素个数
    ahpResultk = cell(m_k,1);
    for kk = 1:m_k
        %求第k+1层各元素对第k层kk元素的成对比较矩阵的特征值和特征向量
        [V,D] = eig(Ck1,kk);
        [maxD,ind] = max(diag(D));%求最大特征值和其位置
        %为存储第k+1层所有元素相对k层kk元素的权重预留出空间, 长度应等于Ck2,kk的长度
        ahpResultk1,kk = zeros(length(Ck2,kk),1);
        %将相应正互反矩阵属于最大特征值的特征向量归一化后赋给ahpResultk1,kk中相应
        %位置, 这些位置由逻辑数组Ck2,kk决定
```

```

    ahpResultk1,kk(Ck2,kk) = V(:,ind)/sum(V(:,ind));
    ahpResultk2,kk = maxD;%Ck1,kk正互反矩阵的最大特征值
    nn = size(Ck1,kk,1);%Ck1,kk的阶数
    ahpResultk3,kk = (maxD-nn)/(nn-1)/RI(nn);%相应的一致性比率C.R.
end
end
W = ahpResult11,1;
for k = 2:n
    %cat(2,ahpResultk1,:)把k+1层所有元素相对k层各个元素的权重向量横向排在一起生成
    %权重矩阵，即书中（11-7）式
    W = cat(2,ahpResultk1,:)*W;
end

```