

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: 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)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： 1222

参赛队员（签名）：

队员 1：施祺

队员 2：王宏伟

队员 3：李娟

参赛队教练员（签名）： 张建勇

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
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）：

1222

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
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

题 目 区域生物多样性发展和优先保护评估

关 键 词 曲线拟合, 相关性分析, 优先评估, 数值归一化, 灰色关联度分析

摘 要:

在第一阶段基础上, 本文通过拟合生物多样性指数曲线、建立加权评估体系并通过合理计算得到权值等方法, 问题一确立了生物多样性发展水平指数, 定量分析、预测了中国各省森林生态系统发展趋势; 问题二得到了自然保护区优先等级评定指数, 定量评测了全国范围内应优先保护的地区。

对于问题一, 建立了两个模型。模型一通过计算多个时间点上的生物多样性指数得到了散点图, 并进行曲线拟合。将生物多样性指数的原始积累量与拟合曲线在一段时间内的积分量作差, 得到了生物多样性发展水平。模型二选取森林生态系统进行评估, 选择活力(V)、组织结构(O)、恢复力或抵抗力(R) 3 个主要指标, 定义生物多样性发展水平指数 $BDDI$ 为三个指标的加权值。分别用森林净初级生产力 NPP 、 $Gleason$ 物种多样性指数、森林生态系统对病虫害的抵抗能力计算出了 V, O, R 指数, 又通过空间相关性分析和归一化处理计算出了权值向量。

利用模型对全国 30 个省市森林生态系统生物多样性发展水平进行了评估和预测, 认为黑龙江、四川、陕西、内蒙古、西藏等省份森林生态系统生物多样性发展趋势较好, 生态系统能自我更新; 山西、福建、青海、广东、广西、湖南、湖北、海南等省份发展趋势较差, 生物多样性退化严重。

对于问题二, 从建立自然保护区这一目的出发, 在综合分析中国自然保护区现状的基础上, 提取濒危物种数量、物种对于栖息地的响应、人口压力、经济开发压力、保护面积、资金投入等 6 个要素建立自然保护区优先等级评定模型。模型由状态指数(IS)、胁迫指数(IP)、保护需求指数(CI) 指数构成指标体系。通过无量纲化、加权平均、数值归一化等方法对收集到的数据进行处理, 突出了自然保护区整体建设发展状态、面临的压力和保护区的管理需求这些重要信息, 为评估结果的得出提供了保证。根据灰色系统的关联度分析理论, 得到 IS, IP, CI 3 个指数对建立自然保护区的优先指标(GPI) 的权重, 从而实现了定量评估应该优先保护哪些区域的目的。

最后, 本文根据各省的相应数据对中国各行政区自然保护区的状况进行了评估。结果显示, 中国西部、北部地区保护区发展状态较好, 而华东地区自然保护区状态比较差。从胁迫指数看, 华东区、华中区、华南区远高于全国整体水平, 面临很大的潜在保护压力; 从保护需求指数看, 这些地区管理需求也相对较大。

参赛队号 1222

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

邮编：010021

网址：www.tzmcm.cn
Email: 2011@tzmcm.cn

Abstract

On the basis of the result of the first stage, in response to the first question, by fitting the biological diversity index curve, establishing weighted assessment system and through the reasonable calculation method such as get weights, we established a biodiversity development level index to analyze quantitatively and forecast the development trend of forest ecological system of Chinese provinces; while in response to the second question, we got nature reserve priority rating index and analyze quantitatively the area which should be given priority to protecting nationwide.

For the first question, we established two models. In the first model, we gained a scatterplot chart by calculating the biodiversity indices on multiple time points and did the curve fitting. Then we did subtraction between biological diversity index of primitive accumulation quantity and product component a period of time inside. Finally we got biodiversity development level. In the second model, we selected forest ecological system for evaluation. In addition, vigor, organization structure and resilience were selected to define biodiversity development level index. Respectively, we used *NPP*, *Gleason* index and the forest ecological system resistance to diseases and pests calculated the three indices. And through the spatial correlation analysis and normalized processing we calculated the weight vector.

Using the model, we took 30 provinces nationwide to evaluate and the forecast the forest ecosystem biodiversity development level. We take the development of forest ecosystem biodiversity in Heilongjiang, Sichuan, Shaanxi, Inner Mongolia and Tibet provinces as good. In these provinces, ecological system is able to update itself; On the other hand, the development trend is poorer in Shanxi, Fujian, Qinghai, Guangdong, Guangxi, Hunan, Hubei and Hainan provinces, their biodiversity degradation are serious.

For the second question: Considering the goal of the establishment of nature reserve, based on the comprehensive analysis of the present situation of natural reserve of China, we selected the amount of endangered species, the responses to the habitat of species, the pressure of population, the pressure of economic development, the reserve area, funding as the six elements to establish an evaluation model of the priority level of natural reserve. Thus an index system is formed by state index, stress index and demand index. In order to highlight the important information of the data and to weaken the secondary information, to make the data processing more simple and effective, and also to provide a guarantee for modeling and evaluation results, we processed the data by using the methods of dimensionless glass transition, weighted average and numerical normalized.etc. According to the relation analysis principle in grey system theory, we get the weights of the 3 indices (*IS*, *IP*, *CI*) to the priority indicator (*GPI*). Thus achieved the goal to analyze quantitatively the evaluation of which area should be reserved.

Finally, according to the corresponding data, each administrative region of China was evaluated. The results showed that the general level of southwest area, northwest area and north China outpaced the national level indicating the current development is in a good condition. But nature reserve status of the east China area is poorer. Look from stress index, the east China district, central region and south China area is far higher than the national overall level, facing great potential protection pressure. From the view of the protection needs index, east China district, central region and south China area are above the national level.

Keywords:

Curve fitting
Preferred assessment
Grey relational analysis

Correlation analysis
Numerical normalization

问题重述

1. 背景

2010 年是联合国约定的生物多样性年。世界各国政府在 2002 年确定了一项目标:“到 2010 年,在全球、区域和国家各级,大幅降低目前生物多样性丧失的速度,促进减贫,造福地球所有生物”,但这个目标至今尚未实现。造成生物多样性丧失的主要压力不仅继续存在,某种情况下还在加剧。这种情况若还不能得到及时纠正,将会严重影响人类的生存与发展。

2. 问题的提出

在目前的科学研究中,不仅需要评价被考察区域的生物多样性,而且需要了解和估计被考察地区的生物多样性发展状况。通过更加综合和全面的评价,不仅可以了解生物多样性的现状与演变过程,而且可以识别主要威胁因素,提高生物多样性保护和可持续利用措施的针对性和有效性。

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。

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。

问题分析

在第一阶段,我们设计了一个能全面而有效地评价生物多样性的指标——生物多样性指数,这个指标虽然能反映被评价区域的生物多样性现状,却不能评估长期以来的发展情况和预测未来的发展趋势。对于问题一,首先应该考虑以何种方式建立评估指标体系。以第一阶段得出的生物多样性指数 BI 作为指标进行进一步计算是很好的思路;此外,还可以考察影响生物多样性发展的因素,建立新的指标体系对发展趋势进行评估和预测。需要注意的是,无论这些因素是什么,它们和 BI 都是有联系的,必要时可挖掘其与 BI 的关系,从而得到更精确、全面的生物多样性发展指标。

对于问题二,要设计综合指标进行定量评估,就要确立具体的评估标准和评估方法。评估标准可以借鉴前人的相关研究和第一阶段成果,并根据被评测区域的实际情况来选定。问题一得到的生物多样性发展趋势也可能对评估自然保护区的优先建立有帮助。评估方法采用加权法,权值的确定上也要综合考虑,避免采用人工打分等主观因素较强的方式,尽量减小误差。

符号说明

BI	生物多样性指数
$BDDI$	生物多样性发展水平指数
$f(t)$	生物多样性指数 BI 对于时间 t 的函数关系
$f_1(t)$	通过插值拟合确定的 $f(t)$ 的近似函数关系
V	生态系统的活力评价指标
O	生态系统的组织结构评价指标
R	生态系统的恢复力或抵抗力评价指标
NPP	自然植被净第一性生产力
NPP_t	根据年均温 ($t, ^\circ\text{C}$) 求得的森林净初级生产力分量
NPP_r	根据年降水 (r, mm) 求得的森林净初级生产力分量
x	林分蓄积量, 指一定面积上生长着的林木总材积
BEF	<i>biomass expansion factor</i> , 生物量换算因子 (生物量与林分蓄积量之间的换算关系)
D_0	调查样地森林群落总体物种 <i>Gleason</i> 多样性指数
B_0	被调查区域森林生态系统的生物总量
S_0	被调查区域森林样地面积
GPI	建立自然保护区的优先指标
IS	状态指数
IP	胁迫指数
CI	保护需求指数

模型假设

1. 假定被评价区域在生物多样性指数评价过程中是相对稳定的, 即认为 BI 的考察过程是针对特定的时间点进行的。
2. 忽略突发的大规模自然灾害等对生态系统和生物多样性发展情况评估和优先建立自然保护区评估造成的影响, 即认为一般情况下不发生自然灾害。

模型的建立与求解

问题一

1 模型一：省域生物多样性指数评估模型

1.1 模型综述

【模型建立的依据】第一阶段建立的生物多样性指数 BI 评价体系。

【模型切入点】将 BI 视为基于某一时间点的；对于同一区域，不同时刻 BI 会有变化，即 BI 是时间 t 的函数。

【拟解决的关键问题】通过不同时间的 (t, BI) 散点拟合出 BI 对 t 的函数关系，进而将生物多样性指数的原始积累量与拟合曲线在一段时间内的积分量作差，求出 $BDDI$ 指数。

1.2 生物多样性发展水平指数 $BDDI_t$ 的建立

在第一阶段论文中，我们通过划分评价指标体系，从“生物多样性不同组成部分状况的趋势”、“生物多样性所承受的压力”、“为遏制生物多样性丧失而采取的应对措施”等 3 个评估方面确立了 10 个评价指标，建立了生物多样性综合评价模型^[1]。

在权值的确定上，目前采用的生物多样性综合评价过程多以专家打分方式评定，尚带有一定主观性。为了尽量减少主观判断带来的误差，我们使用了带有多个中间层的层次分析法构造判断矩阵，通过一致性检验验证了权值的合理性和有效性。由此得到的生物多样性指数 BI 在一定程度上可以反映出被评价区域的生物多样性程度。

$$BI = \sum_{i=1}^n B_i \cdot \mu_i \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.1)}$$

式中， B_i 为归一化后的第 i 项评价指标； μ_i 为第 i 项评价指标对应的权值； n 为选定的生物多样性评价指标的总个数 ($n=10$)。

我们看到，生物多样性指数是基于某一时间点的，而现在我们需要反映出某一段时间上的生物多样性。因此可将 BI 看做时间 t 的函数，记作：

$$BI = f(t) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.2)}$$

由于生物多样性是受众多因素影响，经过长期积累而形成的区域生物属性^[2]，因此生物多样性指数变化缓慢，且短时间内不易累积改变生物多样性发展趋势的因素。即认为式图像是单调的。

由假设，忽略自然灾害造成的影响，可认为式是连续变化的。

图 1 为 $f(t)$ 曲线的模式图，由图可知，要判断 $t_1 - t_2$ 范围内的生物多样性发展情况，可采用积分法。

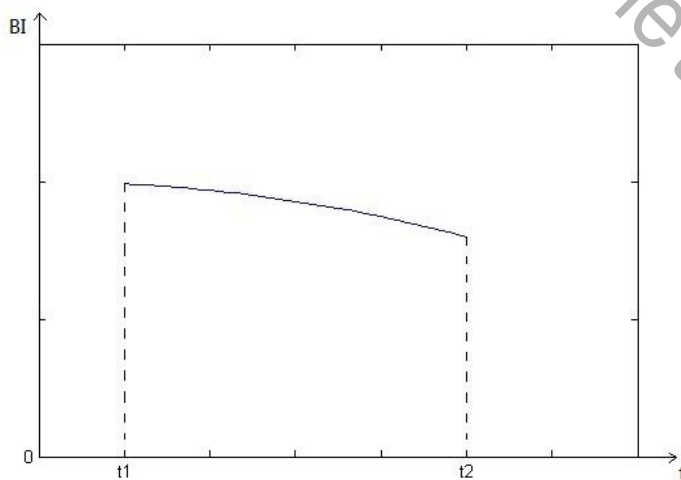


图 1 $f(t)$ 曲线模式图

为利用第一阶段结论, 首先找到不同时间点上中国各省份基于 10 个评价指标的具体数据, 根据经过层次分析法验证的、合理的权值矩阵, 通过加权计算出相应的 BI 。可通过插值拟合确定 $f(t)$ 的近似函数关系, 记为 $f_1(t)$, 然后通过计算区间 t_1-t_2 上对应的积分得到段时间内的生物多样性积累量, 记为 A 。

$$A = \int_{t_1}^{t_2} f_1(t) dt \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.3)}$$

由于要判断被评估区域内生物多样性的发展情况, 即表征其整体处于退化阶段还是自我更新和扩张阶段, 因而仅有生物多样性积累量是没有意义的。由此引入生物多样性发展水平指数 ($BDDI_1$):

$$BDDI_1 = f_1(t_1) \cdot (t_2 - t_1) - A \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.4)}$$

式以 t_1 时刻的生物多样性指数估计值作为基准, 求出生物多样性不变情况下产生的积累量。将这个积累量和实际积累量 A 作差, 可使 $BDDI_1$ 以数据的正负性及其数值大小定量地表征区域生物多样性的发展情况: 若为负值, 则生物多样性退化; 若为正值, 则生物多样性增强或处于能够自我更新的状态。 $|BDDI_1|$ 越大, 表示退化或增强的程度越明显。

遗憾的是, 模型一的思路虽然可取, 但在数据的选取上存在困难。首先, 很难得到多个点时间的评价指标数据从而计算出 BI , 因为现有的研究大多基于相对较小的区域, 难以找到全国各省范围内同一时间的统计数据。

因此, 我们对模型进行了进一步分析和改进。

1.3 生物多样性发展水平指数 $BDDI_2$ 的建立与求解

由前面对于式的分析可知, 对于单调函数 $BI = f(t)$, 考察两个点时间上 BI 的差值仍是有意义的。尽管从一定程度上增大了误差, 但可操作性大大增强, 可以作为反映 $BDDI$ 的指标。

因此有如下定义:

$$BDDI_2 = BI_2 - BI_1 = f(t_2) - f(t_1) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.5)}$$

由此建立了生物多样性指数评估模型。

第一阶段计算出的全国各省份 BI 数据 (2004 年) ^[3] 如表 1 所示:

表 1 全国各省份 BI 数据 (2004 年)							
省份	BI	省份	BI	省份	BI	省份	BI
云南	85.86	重庆	47.85	安徽	39.16	北京	30.79
四川	77.18	广东	46.98	海南	37.90	内蒙古	26.89
广西	67.00	新疆	45.77	河北	37.80	宁夏	26.41
贵州	64.30	河南	45.19	山东	37.79	青海	26.31
湖北	64.15	陕西	44.17	西藏	34.40	上海	25.72
湖南	61.25	甘肃	42.70	辽宁	31.77	黑龙江	21.49
江西	52.28	浙江	42.17	江苏	31.38	天津	15.14
福建	49.36	山西	41.02	吉林	30.90		

由 2007 年评价指标数据计算出的全国各省份 BI 数据如表 2 所示, 省域生物多样性评价指标值及权值向量见附录 1、2。

表 2 全国各省份 BI 数据 (2010 年)

省份	BI	省份	BI	省份	BI	省份	BI
云南	83.46	重庆	46.07	安徽	38.09	北京	29.41
四川	75.23	广东	49.76	海南	36.13	内蒙古	25.36
广西	66.75	新疆	45.54	河北	39.93	宁夏	24.63
贵州	63.01	河南	44.90	山东	38.41	青海	24.42
湖北	63.26	陕西	42.80	西藏	32.57	上海	24.26
湖南	60.51	甘肃	40.71	辽宁	31.34	黑龙江	20.08
江西	49.52	浙江	43.41	江苏	31.61	天津	13.39
福建	45.95	山西	41.25	吉林	29.51		

由式计算出 $BDDI_2$ ，结果如表 3：

表 3 全国各省份 $BDDI_2$ 数据

省份	$BDDI_2$	省份	$BDDI_2$	省份	$BDDI_2$	省份	$BDDI_2$
云南	-2.4	重庆	-1.78	安徽	-1.07	北京	-1.38
四川	-1.95	广东	2.78	海南	-1.77	内蒙古	-1.53
广西	-0.25	新疆	-0.23	河北	2.13	宁夏	-1.78
贵州	-1.29	河南	-0.29	山东	0.62	青海	-1.89
湖北	-0.89	陕西	-1.37	西藏	-1.83	上海	-1.46
湖南	-0.74	甘肃	-1.99	辽宁	-0.43	黑龙江	-1.41
江西	-2.76	浙江	1.24	江苏	0.23	天津	-1.75
福建	-3.41	山西	0.23	吉林	-1.39		

由此得到了生物多样性发展水平指数 $BDDI$ 。

模型结果分析

由 $BDDI_2$ 表达式知，负值表示生物多样性退化，正值表示生物多样性增强，且 $|BDDI_2|$ 表示退化或增强的程度。

从表 3 可看出，全国各省生物多样性在 3 年内普遍降低，其中福建、江西、云南、甘肃、四川、青海、西藏、海南、重庆、宁夏、天津等省市生物多样性退化较为严重；江苏、山西、新疆、广西、河南、辽宁等地区生物多样性基本维持原状，生物多样性处于能够自我更新的状态；只有广东、河北、浙江等少数省份生物多样性保持良好，生态系统处于发展状态。图 2 将表 3 数据绘制成了簇状柱形图，以直观地反映省域生物多样性发展情况。

图 2 由表 3 数据绘制成的 $BDDI_2$ 簇状柱形图

模型一利用第一阶段的成果，将生物多样性指数 BI 延伸到了区域生物多样性发展情况的评估中，得出的结论在一定程度上是有效的。如果有更权威、全面的统计数据， $BDDI_1$ 将是最简单而准确的区域生物多样性发展情况评估、预测指标。

此外，模型一的 $BDDI_2$ 评估指标并不能对被评估区域生物多样性发展趋势进行预测，因此我们引入模型二。

2 模型二: 森林生态系统健康评估模型

由于生态系统种类众多且具有特异性, 相同的评价指标在迥异的生态系统中不能保证始终占据生物多样性发展趋势评价的主导地位。在模型二中, 综合考虑指标的可测量性等因素, 我们以森林生态系统为对象, 进行生物多样性发展评估的探索。

2.1

模型综述

【前人研究进展】目前对于森林健康的研究, 从森林生态系统服务功能、森林健康胁迫因子、活力、组织结构、承载力和恢复力等方面开展。

【模型切入点】选择活力(V)、组织结构(O)、恢复力或抵抗力(R) 3 个主要指标, 定义 $BDDI$ 为三个指标的加权值。分别用森林净初级生产力 NPP 、 $Gleason$ 物种多样性指数、森林生态系统对病虫害的抵抗能力测量出 V, O, R 指数, 通过灰色关联度分析计算出权值向量。

【拟解决的关键问题】通过 $BDDI$ 预测森林生物多样性发展水平。 $BDDI$ 越大, 发展态势越好。通过 2000~2003 年度各指标对应数据计算出 $BDDI$, 并验证生物多样性发展趋势是否与得到的 $BDDI$ 对应。

2.2

森林生态系统研究进展概述

世界大多数国家的森林生态系统都有着不同程度的退化, 因此, 森林生态系统健康作为一种有效管理森林资源的方式而产生。关于森林健康的研究, 起初主要对林分胁迫因子影响进行评估和控制; 随着环境污染、木材的过量消耗而造成的森林生态系统的不断退化, 对森林健康的理解也随之发生变化, 逐步从林分逐渐转向了对森林生态系统的考察^[4-7]。

现代森林生态系统健康的概念已逐步发展为包括林分、森林群落、森林生态系统以及森林景观在内的一个复杂的系统概念。目前, 对森林生态系统健康的研究, 一方面强调森林生态系统健康与森林生态系统服务功能的关系; 另一方面, 研究森林健康胁迫因子、活力、组织结构、承载力和恢复力等。随着遥感和 GIS 技术的发展, 森林生态系统健康的监测与评价方法也得到很大提高, 研究方法也逐步从定性化到定量化方向发展。

2.3

评价指标的确立

要设计一个合理的评估方法, 就需要确定评估对象和指标。由于生物多样性是一个内涵十分广泛的概念, 对于应该包括哪些生物组织层次或水平, 不同研究者有不同的见解^[8]。 $Puumalainen$ 等^[9-10]认为森林的组成、结构和功能是解读生物多样性的决定因素, 并成功地用国家水平的统计数据评价了欧洲的生物多样性, 得到了世界各国科学家的一致认可。

指标的选取是一个不断具体化的过程。在生态系统的背景下, 我们选择了“生态系统的活力”(V)、“生态系统的组织结构”(O)和“生态系统的恢复力或抵抗力”(R)作为反映生态系统健康的主要方面^[4]。

在 V, O, R 的选取上, 选择森林生态系统净初级生产力(NPP)来反映生态系统的活力; 选择 $Gleason$ 物种多样性指数(D_0)来反映系统的组织结构; 通过考察森林对病虫害的防御能力, 得到病虫害发生强度(P), 从而反映系统的恢复力和抵抗力。

在估计某个地区的生物多样性的发展情况的过程中, 通过生物多样性发展水平指数($BDDI$)来反映其发展趋势。其评价模型为:

$$BDDI = \omega_1 \cdot V + \omega_2 \cdot O + \omega_3 \cdot R \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.6)}$$

式中, ω_1 、 ω_2 、 ω_3 分别为 V 、 O 、 R 的权重, 且 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ (本文采用均值权重)。

2.3.1

森林生态系统活力 (V) 的估算方法

活力通常是指根据养分循环和生产力所能够测量的能量和物质等, 一般包括生产力 (如初级生产力、净初级生产力)、生物量以及新陈代谢速率等指标。

在本文中, 我们选择森林净初级生产力 NPP 来反映森林生态系统的活力。考虑到数据的获取难度和森林生态系统的特点, 我们使用 *Miami* 模型对 NPP 进行计算^[15]。

Miami 模型是 *H.Lieth* 利用世界 5 大洲约 50 个地点可靠的自然植被 NPP 的实测资料 and 与之相匹配的年均气温及年均降水资料, 根据最小二乘法建立的:

$$\begin{cases} NPP_t = \frac{3000}{1 + e^{1.315 - 0.119t}} \\ NPP_r = \frac{3000}{1 - e^{-0.000664r}} \end{cases} \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.7)}$$

式中, NPP_t 及 NPP_r 分别根据年均温 ($t, ^\circ\text{C}$) 及年降水 (r, mm) 求得 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。根据 *Liebig* 最小因子定律, 选择由温度和降水所计算出的自然植被 NPP 中的较低者即为某地的自然植被的 NPP 。即:

$$NPP = \min(NPP_t, NPP_r) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.8)}$$

我们在人地系统主题数据库中找到了年均气温及降水数据^[11], 代入式中计算得到了 NPP_t 、 NPP_r , 如表 4。年均温及年降水数据见附录。

表 4 各省 NPP_t 、 NPP_r 计算值

省份	NPP_r	NPP_t	省份	NPP_r	NPP_t	省份	NPP_r	NPP_t	省份	NPP_r	NPP_t
北京	13642.43	8277.94	上海	4605.62	10049.39	湖北	5640.76	10205.97	西藏	9191.91	6457.91
天津	14577.93	8233.77	江苏	6110.10	9647.04	湖南	4600.72	10283.26	陕西	10112.46	8932.32
河北	13546.79	8629.10	浙江	4294.55	10205.97	广东	4742.31	12056.73	甘肃	18216.82	7388.26
山西	12917.93	7076.33	安徽	5112.62	9769.30	广西	4578.12	11795.09	青海	16079.15	5311.72
内蒙古	21797.42	5768.89	福建	4466.93	11452.87	海南	4264.26	12651.11	宁夏	19260.24	6898.67
辽宁	10495.39	6589.51	江西	4252.40	10622.51	四川	6451.62	10128.00	新疆	28909.64	5600.85
吉林	10460.70	5726.70	山东	9971.61	8716.17	贵州	5347.16	9146.03			
黑龙江	11749.44	5270.97	河南	9104.77	8975.27	云南	5026.71	9809.77			

由表 4 及式得各省份 NPP 值, 见附录 6。由于得到的活力指数将代入式计算, 为消除量纲, 需要将结果归一化, 归一化函数为:

$$NPP' = \frac{NPP}{NPP_{\max}} \cdot 100 \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.9)}$$

归一化后的 NPP' 数据如表 5:

表 5 归一化后的 NPP' 数据

省份	NPP'	省份	NPP'	省份	NPP'	省份	NPP'
北京	92.23	上海	51.31	湖北	62.85	西藏	71.95
天津	91.74	江苏	68.08	湖南	51.26	陕西	99.52
河北	96.14	浙江	47.85	广东	52.84	甘肃	82.32
山西	78.84	安徽	56.96	广西	51.01	青海	59.18
内蒙古	64.28	福建	49.77	海南	47.51	宁夏	76.86

辽宁	73.42	江西	47.38	四川	71.88	新疆	62.40
吉林	63.81	山东	97.11	贵州	59.58		
黑龙江	58.73	河南	100.00	云南	56.01		

由此得到了森林生态系统活力指数 V 。

2.3.2

森林生态系统组织结构(O)的测量方法

生态系统的组织结构指系统的物种组成结构及其物种间的相互关系,反映生态系统结构的复杂性和多样性。

本文采用 *Gleason* 物种多样性指数来表示森林生态系统的组织结构。*Gleason* 物种多样性指数能够反映群落物种多样性的丰富度,用该多样性指数基本上能够进行全国森林群落物种多样性的空间分布和变化特征的宏观分析^[12]。该指数表达式为:

$$D_0 = \frac{B_0}{\ln S_0} \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.10)}$$

式中, B_0 为省域森林生态系统生物总量, S_0 为省域森林样地面积。

我们所使用的数据来源有两类:森林资源清查资料和文献发表的生物量实测资料。

已有的森林资源清查资料记录了按地区分树种和龄级的面积和蓄积,但没有提供森林生物量信息。因此,如果由森林资源清查资料来推算森林生物量,必须建立生物量与林分蓄积量 x 之间的换算关系,即换算系数,称为生物量换算因子 (BEF)^[13]。从而:

$$B_0 = BEF \cdot x \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.11)}$$

研究表明,一种森林类型的 BEF 随着林龄、立地、林分密度、林分状况不同而异;林分蓄积可以综合反映这些因素的变化,因此可以作为 BEF 的函数,以反映 BEF 的连续变化^[14]。用倒数方程来表示 BEF 与 x 间的关系,即:

$$BEF = a + \frac{b}{x} \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.12)}$$

式中, a 、 b 为常数。成熟林的 a 值趋于恒定,幼龄林的 a 值较大^[14]。

利用森林资源清查资料的面积和蓄积量数据及式的参数,计算全国森林生态系统生物总量,公式如下:

$$B = \sum_{i=1}^{30} \left[a \left(\frac{x}{S} \right) + b \right] \cdot S \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.13)}$$

或

$$B = \sum_{i=1}^{30} BEF \cdot x_i \cdot S_{0i} = a \cdot \sum_{i=1}^{30} x_i \cdot S_{0i} + b \cdot S \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.14)}$$

式中, B 和 S 分别为全国森林生态系统生物总量和总面积, S_{0i} 和 x_i 分别是第 i 省的森林面积和平均林分蓄积量。

这一过程可以得到证明:

式可改写为下式:

$$B_0 = a \cdot x + b \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.15)}$$

在野外生物量实测资料中,全国森林是由 n 个省份组成,其面积、林分平均蓄积和平均生物量分别为 S_{0i} , x_i 和 B_0 ,那么该类型森林的总生物量 B 可以写成:

$$\begin{aligned} B &= S_{01} \cdot B_{01} + S_{02} \cdot B_{02} + \dots + S_{0n} \cdot B_{0n} \\ &= S_{01} \cdot (ax_1 + b) + S_{02} \cdot (ax_2 + b) + \dots + S_{0n} \cdot (ax_n + b) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.16)} \\ &= a \cdot \sum_{i=1}^n S_{0i} \cdot x_i + b \cdot S \end{aligned}$$

另一方面, 在森林资源清查资料中, 某一森林类型的总面积和总蓄积量分别为 S 和 X , 则有:

$$x = \frac{X}{S} = \frac{1}{S} \cdot \sum S_{0i} \cdot x_i \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.17)}$$

$$\begin{aligned} B &= S \cdot B_0 = S \cdot (ax + b) \\ &= S \cdot \left[a \left(\frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^n S_{0i} \cdot x_i \right) + b \right] \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.18)} \\ &= a \cdot \sum_{i=1}^n S_{0i} \cdot x_i + b \cdot S \end{aligned}$$

这就是说, 式和式是相等的。这就证明了生物量换算因子法的合理性。

为提供森林资源清查资料中对应的生物量换算因子, 前人曾利用各种文献上发表的生物量资料, 建立了相应的数据库^[13]。

由于森林资源清查资料中只有 1977~1981 年、1984~1988 年、1989~1993 年和 1994~1998 年等时段的数据, 没有本文所选取的 2000~2003 年的生物量统计资料, 因此我们根据中国各省市的森林总面积和林分蓄积量数据, 通过回归分析及差值拟合, 估算出了 2000~2003 年的总平均生物量。各时段生物量和林分蓄积量的数据见附录 3。

分析表明, 各时段各省区的总平均生物量与总平均林分蓄积量之间呈良好的线性关系, 并且此关系不随时段不同而发生变化。

运用 Excel 作各个时间段 (x, B_0) 的散点图如图 3:

图 3 各个时间段 (x, B_0) 的散点图

各时段的回归结果如下:

$$\begin{cases} B_0 = 0.5923x + 38.952 (R^2 = 0.901), 1977 \sim 1981 \\ B_0 = 0.5760x + 39.829 (R^2 = 0.832), 1984 \sim 1988 \\ B_0 = 0.5735x + 37.563 (R^2 = 0.810), 1989 \sim 1993 \\ B_0 = 0.5648x + 38.841 (R^2 = 0.871), 1994 \sim 1998 \end{cases} \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.19)}$$

求得上述 4 个时段总回归方程为:

$$B_0 = 0.5767x + 38.704 \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.20)}$$

图 4 为拟合的总线性回归方程, 表征了不同时段各省总平均生物量 B_0 与总平均蓄积量 x 的关系。

图 4 不同时段各省总平均生物量 B_0 与总平均蓄积量 x 的关系

尽管这种处理为各省区的总生物量带来一定的误差, 但对于全国来说, 误差很小。利用式计算上述 1977 年以前时段各省区的生物量的结果表明, 全国总生物量的误差小于 3%。

根据 2000~2003 年数据, 利用式求得拟合的森林生态系统生物总量。经过计算得到的 2000~2003 年森林生态系统生物总量估测值如表 6 所示。

表 6 2000~2003 年森林生态系统生物总量 (万)

省份	生物总量	省份	生物总量	省份	生物总量	省份	生物总量
北京	4.7	上海	3.8	湖北	24.0	西藏	29.9
天津	4.0	江苏	4.9	湖南	30.9	陕西	32.4
河北	14.3	浙江	19.3	广东	37.5	甘肃	13.4
山西	10.5	安徽	15.4	广西	37.8	青海	5.2
内蒙古	81.8	福建	30.4	海南	8.3	宁夏	4.2
辽宁	21.4	江西	37.1	四川	67.1	新疆	10.5
吉林	45.5	山东	6.9	贵州	18.8		
黑龙江	100.0	河南	11.7	云南	58.9		

将表 6 数据和省域森林面积数据代入式, 求得 *Gleason* 物种多样性指数 D_0 , 如表 7 所示。由于上海市森林面积太少, 求得的 D_0 为负值, 说明其森林物种多样性很小, 在这里将其置 0。

表 7 2000~2003 年省域 *Gleason* 物种多样性指数 D_0

省份	D_0	省份	D_0	省份	D_0	省份	D_0
北京	17.23	上海	0	湖北	41.91	西藏	90.35
天津	29.63	江苏	16.74	湖南	51.28	陕西	95.59
河北	28.06	浙江	35.21	广东	60.22	甘肃	53.01
山西	22.48	安徽	29.65	广西	60.56	青海	32.50
内蒙古	116.11	福建	50.64	海南	19.46	宁夏	29.99
辽宁	38.28	江西	59.63	四川	98.00	新疆	45.93
吉林	70.67	山东	17.67	贵州	34.50		
黑龙江	137.91	河南	24.24	云南	87.84		

由于 D_0 将作为生物多样性发展评估的一个指标代入式计算, 因而需要进行归一化处理。归一化方程为:

$$D_0' = \frac{D_0}{D_{0_{\max}}} \cdot 100 \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.21)}$$

归一化后的省域 *Gleason* 物种多样性指数记为 D_0' , 其值见表 8:

表 8 归一化后的省域 *Gleason* 物种多样性指数

省份	D_0'	省份	D_0'	省份	D_0'	省份	D_0'
北京	12.49	上海	0.00	湖北	30.39	西藏	65.52
天津	21.48	江苏	12.14	湖南	37.18	陕西	69.31
河北	20.35	浙江	25.53	广东	43.66	甘肃	38.44
山西	16.30	安徽	21.50	广西	43.92	青海	23.57
内蒙古	84.19	福建	36.72	海南	14.11	宁夏	21.75
辽宁	27.76	江西	43.24	四川	71.06	新疆	33.30
吉林	51.25	山东	12.81	贵州	25.02		
黑龙江	100.00	河南	17.57	云南	63.69		

由此得到了森林生态系统组织结构指标 O 。

2.3.3 森林生态系统恢复力和抵抗力 (R) 的测定方法

恢复力指系统在外界压力消失的情况下逐步恢复的能力, 而抵抗力是系统抵抗外力干扰的能力。

直接测定恢复力和抵抗力是很困难的, 一般都要通过间接的方法来测定。我们选用中国森林生态系统对病虫害的抵抗能力来作为 R 的评估指标。

一般地, 健康程度高的森林生态系统对病虫害的抵抗能力强, 病虫害发生频度和强度都小, 而健康程度较低的森林生态系统就容易受到病虫害的危害, 其抵抗病虫害就弱。因此, 在评价中国森林生态系统的健康状况时, 我们选择森林病虫害胁迫干扰因子, 也就是森林生态系统对病虫害发生的抵抗能力来评估 R 。

针对某一个研究对象, 设病虫害发生强度为 P , ($0 \leq P \leq 1$), 则其抵抗力 R 为:

$$R = (1 - P) \cdot 100 \quad (0 \leq R \leq 100) \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.22)}$$

在 2000~2003 年中国森林病虫害防治情况统计中 (见附录 5), 病虫害发生强度可用灾害发生面积表征, 但由于各省防治力度普遍较大, 削减了灾害强度, 因此改用平均防治率 ($F\%$) 作为抵抗力 R 的指标:

$$R = 100 \cdot (\text{森林病害防治率}(F_1\%) + \text{森林虫害防治率}(F_2\%) + \text{森林鼠害防治率}(F_3\%)) / 3 \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.23)}$$

由已知数据得到的各省森林生态系统抵抗力 R 如表 9 所示:

表 9 各省森林生态系统抵抗力 R							
省份	R	省份	R	省份	R	省份	R
北京	87	上海	100	湖北	46	西藏	83
天津	94	江苏	88	湖南	44	陕西	70
河北	76	浙江	96	广东	34	甘肃	63
山西	42	安徽	85	广西	39	青海	42
内蒙古	72	福建	35	海南	67	宁夏	50
辽宁	81	江西	63	四川	94	新疆	89
吉林	76	山东	69	贵州	81		
黑龙江	82	河南	73	云南	81		

由此得到森林生态系统抵抗力 R 。

2.3.4 权值 ω 的分析和计算

在三项指标权重的选取上, 我们结合了第一阶段成果, 运用相关性分析得到了 V 、 O 、 R 参数对生物多样性指数 (BI) 的相关性。

通过空间相关性分析, 森林生态系统健康指数与森林净第一性生产力相关性系数为 0.64; 与中国森林物种多样性指数的相关性系数为 0.76; 与森林生态系统的抵抗力的相关性系数为 0.81。其影响力大小依次是: 抵抗力 > 组织结构 > 活力。

由于使用均值权重, 我们计算出了三个相关系数占总和的比重, 作为权值 ω :

$$\begin{cases} \omega_1 = 0.290 \\ \omega_2 = 0.344 \\ \omega_3 = 0.367 \end{cases} \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.24)}$$

2.4 BDDI 的计算

对本文 2.3 节得到的 V 、 O 、 R 及 ω 代入式进行加权平均处理, 最终得到了生物多样性的发展水平指数 $BDDI$, 结果如表 10 所示。

表 10 生物多样性的发展水平指数 $BDDI$							
省份	$BDDI$	省份	$BDDI$	省份	$BDDI$	省份	$BDDI$
北京	62.97	上海	51.58	湖北	45.56	西藏	73.87
天津	68.49	江苏	56.22	湖南	43.80	陕西	78.39
河北	62.77	浙江	57.89	广东	42.82	甘肃	60.22
山西	43.88	安徽	55.11	广西	44.21	青海	40.68
内蒙古	74.03	福建	39.91	海南	43.22	宁夏	48.12
辽宁	60.57	江西	51.74	四川	79.79	新疆	62.21
吉林	64.03	山东	57.89	贵州	55.61		
黑龙江	81.53	河南	61.84	云南	67.88		

由此得到了对全国各省生物多样性水平的预测和评估。

模型结果分析

图 5 为根据表 10 数据作出的条形统计图，可以此直观地反映省域生物多样性发展水平：



图 5 根据表 X 数据作出的森林 $BDDI$ 条形统计图

再由表 10 求出各省 $BDDI$ 平均值：

$$\overline{BDDI} = 57.89 \quad \backslash * \text{MERGEFORMAT (1.25)}$$

以各省 $BDDI$ 减去平均值，得到了 $BDDI$ 相对发展水平，如图 6：

图 6 各省森林 $BDDI$ 相对发展水平

由表 10 及图 5、图 6 可知，黑龙江、四川、陕西、内蒙古、西藏等省份森林生态系

统生物多样性发展趋势较好, 山西、福建、青海、广东、广西、湖南、湖北、海南等省份发展趋势较差, 生物多样性退化严重。

模型比较

对图 2 和图 6 进行比较, 可发现二者结论差距较大。我们认为模型一在数据选择上较粗糙、计算上较简单, 相比之下模型二更具有科学性和说服力。

模型的改进方向

模型一

模型一中, 第一阶段得到的 BI 指数是基于 10 个指标得出的, 所需数据量大, 利用其计算 $BDDI_1$ 虽合理有效却缺少数据支持; 利用已有的数据计算 $BDDI_2$ 带来的误差又相对较大。为提高准确性, 我们提出改进方案。

在第一阶段的分析和求解中, 我们发现, 生物多样性指数 BI 的计算有很多种方法。其中, 基于物种多样性指数计算的评价方法可用简单的数值表示群落内种类多样性的程度, 用来判断群落或生态系统的稳定性指标。常用的物种多样性指数有: *Patrick* 指数、*Menhinick* 指数、*Margalef* 指数等^[16]。

我们考虑利用物种多样性指数计算出 BI , 再进行 $f_1(t)$ 的拟合和 $BDDI_1$ 的计算。由于时间关系, 具体操作未能完成。

模型二

模型二主要采用了加权法计算生物多样性发展指数 $BDDI$, 其指标的选择和处理上可再优化。

对于活力评价指标 V , 由于所研究的是大尺度森林生态系统, 可采用遥感技术方法来更准确地估算中国森林生态系统的 NPP 分布格局。

植被的 NPP 与叶面积指数 LAI 有密切关系, 而归一化植被指数 ($NDVI$) 又能够灵敏地反应叶面积指数的变化。通过对中国典型森林分布区的叶面积指数、净初级生产力以及 $NDVI$ 资料的研究, 得出如下关系:

$$LAI = -4.9332 - 86.2904 \cdot \ln(1 - NDVI)$$

NPP 与 LAI 的线性关系为:

$$NPP = 3.1951 + 0.7773LAI$$

因而 NPP 与 $NDVI$ 的线性关系为:

$$NPP = 0.6394 - 67.064\ln(1 - NDVI)$$

则由 $NDVI$ 可计算出更准确的 NPP 数据。

另外, 在权值 ω 的确定上, 可采用灰色关联度分析确定。也可利用层次分析法, 通过一致性检验验证权值的合理性, 降低和避免由于数据偶然出错和主观因素造成的误差。

问题二

自然保护区优先等级评定模型

1 模型综述

【理论基础】灰色关联度分析

【模型切入点】由状态指数 (IS)、胁迫指数 (IP)、保护需求指数 (CI) 指数构成指标体系, 评估建立自然保护区的优先指标 (GPI) 的大小。

【拟解决的关键问题】权值 ω 的计算; 利用 GPI 评估建立自然保护区的优先程度。

2 相关理论基础

经过讨论、实验, 最终采用了灰色系统理论的关联分析作为建立数学模型的主要方法^[17]。有关灰色系统理论的一些概念定义如下, 这些定义将在之后的建模过程中使用。

定义1: 设: 有序列

$$x = (x(1), x(2), \dots, x(k)) \quad (2.1)$$

则称以下映射为序列 x 到序列 y 的数据变换:

1) 称(2.2)式 $f(x(k))$ 为初值化变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{x(1)} = y(k), x(1) \neq 0 \quad (2.2)$$

2) 称(2.3)式 $f(x(k))$ 为均值化变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{\bar{x}} = y(k), \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x(k) \quad (2.3)$$

3) 称(2.4)式 $f(x(k))$ 为百分比变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{\max x(k)} = y(k) \quad (2.4)$$

4) 称(2.5)式 $f(x(k))$ 为倍数变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{\min x(k)} = y(k), \min x(k) \neq 0 \quad (2.5)$$

5) 当(2.6)式其中 x_0 为大于零的某个值, 称 $f(x(k))$ 为归一化变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{x_0} = y(k) \quad (2.6)$$

6) 称(2.7)式 $f(x(k))$ 为极差最大值化变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k) - \min x(k)}{\max x(k)} = y(k) \quad (2.7)$$

7) 称(2.8)式 $f(x(k))$ 为区间值化变换:

$$f(x(k)) = \frac{x(k) - \min x(k)}{\max x(k) - \min x(k)} = y(k) \quad (2.8)$$

3 模型建立

3.1 模型准备

在现代科技迅速发展的时代，物种灭绝的速度是原来的几十倍，环境日益恶化，所以防止物种绝灭和生物多样性消失是当前重要的话题。建立自然保护区是保护地球上生物多样性的方法，但是由于经费跟能力有限，我们只能在局部地区建立自然保护区，于是我们得评定应该优先保护的地区，最大化的保护灭绝物种。

保护区建立前，首先必须对预选地点进行保护评估，确定地点保护值的大小。有较大保护值的地点建保护区是我们的目的。保护评估包括对预选地点确定保护特征、标准和计算保护值。

生物多样性程度高，物种和栖息地稀有，地点的面积越大，生态系统的自然程度越高，其地区的保护价值也越大。在综合分析自然保护区现状的基础上，我们提取濒危物种数量、物种对于栖息地的响应、人口压力、经济开发压力、保护面积、资金投入等 6 个要素建立评定自然保护区优先等级的模型。

3.2 模型构成

模型由状态指数（ IS ）、胁迫指数（ IP ）、保护需求指数（ CI ）指数构成指标体系。3 个指数用于评估建立自然保护区的优先指标（ GPI ）的大小^[18]。

$$GPI = \omega_1 IS + \omega_2 IP + \omega_3 CI \quad (2.9)$$

式中 ω_1 ， ω_2 ， ω_3 分别为三个指标所占的权重。

3.2.1 胁迫指数 IP 的评价依据

自然保护区与周边社区有着密切的关系，已有的研究表明，自然保护区周边地区的人类活动是影响自然保护区内保护对象生存的重要因素。这种影响一方面来自人群对环境资源的需求，另一方面来自人类经济活动对自然的破坏，所以现分别以区域人口密度和区域单位面积国民生产总值来分别评价这两种人为胁迫的强度。该指数反映了区域自然保护区建设面临的压力，其值越高说明其面临的压力越高，意味着进一步投入建设的潜在需求越高，可分别从人口和经济密度两个角度查找原因^[19]。

$$IP_j = \ln(PD_j \times PE_j); \quad PP_j = \frac{PD_j}{AP} \times 100; \quad PE_j = \frac{DD_j}{AD} \times 100 \quad (2.10)$$

式中， PD_j 为 j 区域人口密度，即区域人口数与国土面积的比值， AP 为所有被评价区域人口密度的平均值， DD_j 为 j 区域单位国土面积国民生产总值， AD 为所有被评价区域单位国土面积国民生产总值的平均值。胁迫指数 IP 相关数据如表 11。

表 11 胁迫指数 IP 相关数据

省份	自然保护区 面积（公顷）	各省面积(万 平方公里)	自然保护区占 国土面积比例	人口密度 (人/平方公里)	区域的国民生 产总值（亿元）
北京	8367	1.68078	0.004978	823	6814.5
天津	2025	1.1305	0.0017912	886	3663.86
河北	22000	18.7	0.0011765	355	10116.6
山西	56699	16.69	0.0033972	212	4063.3
内蒙古	1521560	118.3	0.0128619	20	3822.77
辽宁	11062	14.81	0.0007469	291	8005
平均值				431.16667	6081.005

IP 表达式为:

$$IP_j = \ln(PP_j \times PE_j) \quad (2.11)$$

计算出各区域的胁迫指数 (IP) 如图 7:

图 7 各区域的胁迫指数 (IP)

3.2.2 状态指数 IS 的评价依据

该指数反映了区域当前自然保护区整体建设发展状态, 指数值越高说明区域保护区整体状态越好。反之则可以从保护区平均面积、区域保护生境破碎程度(占国土面积、保护区数量)等方面查找区域保护区建设现状不佳的原因。

$$IS_j = \ln\left(\frac{AA_j \times PS_j}{NE_j}\right) \quad (2.12)$$

式中 AA_j 和 PS_j 分别为 j 区域有效保护区的平均面积和占国土面积的比例, NE_j 为 j 区域有效保护区的数量。

表 12 为人地系统主题数据库^[1]公布的自然保护区公布的相关数据:

编号	自然保护区名称	自然保护区代码	省份	地理分布	面积(公顷)
1	松山自然保护区	110101	北京	延庆县	6667
2	百花山自然保护区	110102	北京	门头沟区	1700
3	八仙桌子自然保护区	120101	天津	蓟县,义隆县	414
4	盘山自然保护区	120401	天津	蓟县	711
5	地质剖面自然保护区	120501	天津	蓟县	800
6	贝壳堤自然保护区	120601	天津	滨海沿线	100
7	小五台山自然保护区	130101	河北	涿鹿县,蔚县	22000
8	历山自然保护区	140101	山西	垣曲,沁水,翼城,阳城县	24800
9	芦芽山自然保护区	140201	山西	宁武,五寨,苛岚县	21453
10	庞泉沟自然保护区	140202	山西	交城,方山县	10446
11	锡林郭勒草原自然保护区	150101	内蒙古	锡林浩特市	1078600
12	达赉湖自然保护区	150201	内蒙古	新巴尔虎右旗	400000
13	努登自然保护区	150301	内蒙古	乌拉特后旗	28040

归一化公式为:

$$f(x(k)) = \frac{x(k)}{x(k)_{\max}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

利用式(2.13)对表 12 数据进行统计和归一化得表 13。

表 13 表 X 数据统计和归一化后的结果				
省份	自然保护区个数	自然保护区面积 (公顷)	各省面积(万平方 公里)	自然保护区占国土 面积比例
北京	2	0.005499	0.014208	0.387035
天津	4	0.001331	0.009556	0.139264
河北	1	0.014459	0.158073	0.091472
山西	3	0.037264	0.141082	0.264129
内蒙古	4	1	1	1
辽宁	5	0.00727	0.12519	0.058071

最后得到状态指数 IS_j 如表 14:

表 14 省域状态指数 IS					
省份	IS	省份	IS	省份	IS
北京	3.0361856	河北	3.2535614	内蒙古	8.4954647
天津	-0.097815	山西	4.1620911	辽宁	0.5022911

图 8 为表 14 数据绘制的省域状态指数 IS 二维条形统计图:

图 8 表 14 数据绘制的省域状态指数 IS 二维条形统计图

3.2.3 保护需求指数 CI_j 的评价依据

对于保护区位置的选取得综合评定多种因数, 估算出保护区所需的管理需求, 保护区的自然状况, 为保护区以后的可持续发展做出正确的估计。

$$CI_j = \frac{IP_j}{IS_j} \quad (2.14)$$

式中 IP_j 为 j 区域自然保护区的胁迫指数, IS_j 为 j 区域自然保护区状态指数。

该指数综合反映了保护区的管理需求, 区域 N 自然保护区的状态越好、受到的胁迫越小, 则进一步加大投入加强管理的需求相对也越小, 反之亦然。

4 模型分析与求解

现取北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁 5 省的相关数据, 计算出五个省份分别对应的状态指数 IS , 胁迫指数 IP , 保护需求指数 CI 的数值, 用 5 省的自然保护区的个数和面积、各省人口密度、区域国民生产总值以及各省的面积作为关联分析的基本数据, 对状态指数 (IS)、胁迫指数 (IP)、保护需求指数 (CI) 3 个指数进行关联分析^[20], 计算出其对优先指标的 GPI 中所占的权重值 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 。

选取参考数列

$$x_0 = \{x_0(k) | k=1, 2, \dots, n\} = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)) \quad (2.15)$$

其中: k 表示不同的省份, 有 m 个比较数列 (在此即三个指标)

$$x_i = \{x_i(k) | k=1, 2, \dots, n\} = (x_i(1), x_i(2), x_i(n)), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (2.16)$$

则称

$$\xi_i(k) = \frac{\min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)| + \rho \max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)|} \quad (2.17)$$

为比较数列 x_i 对于参考数列 x_0 在 k 省份的关联系数, 其中 $\rho \in [0, 1]$ 为分辨系数。称式(2.17)中 $\min_s \min_t |x_0(t) - x_s(t)|$, $\max_s \max_t |x_0(t) - x_s(t)|$ 分别为两级最小差及两级最大差。

一般来讲, 分辨系数 ρ 越大, 分辨率越大; ρ 越小, 分辨率越小。在这里, 我们取 $\rho = 0.5$ 。

定义 2:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (2.18)$$

定义式(2.18)为数列 x_i 对参考数列 x_0 的关联度。

综上, 各省的 BI 、 IS 、 IP 、 CI 指标计算值如表 15 所示:

表 15 各省的相关指标						
	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁
BI	30.05	20.31	31.05	32.46	28.34	25.79
IS	3.04	-0.10	3.25	4.16	8.50	0.50
IP	9.97	9.42	9.53	8.10	5.68	9.09
CI	3.28	-96.35	2.93	1.95	0.67	18.10

采用灰色系统理论的关联分析得各参数的权重如图 9。对应计算过程的 MATLAB 程序见附录 7。

图 9 各参数的权重

根据图 9 可将评估建立自然保护区的优先指标（ GPI ）的三种因素归一加权，方程如下：

$$GPI = 0.3457IS + 0.3548IP + 0.2996CI \quad (2.19)$$

区域	自然保护区面积	保护区占国土面积的比例	胁迫指数	状态指数	优先指标
华北区	13800583.50	8.86	7.76	7.75	1.00
东北区	8466712.59	10.56	8.23	7.56	1.09
华东区	2997456.04	3.80	10.99	4.82	2.28
华中区	2447270.32	4.34	9.94	6.23	1.59
华南区	6022982.59	13.20	10.13	6.87	1.48
西南区	52978143.07	22.51	6.61	8.80	0.75
西北区	52699502.87	17.00	4.83	10.82	0.45
全国	138412650.98	14.47	9.21	6.50	1.42

表 16 为经过式(2.19)计算出建立自然保护区的优先指标（ GPI ）。至此，模型已求解完毕。

模型结果分析

对表 16 中的优先指标数据建立柱形图以直观展现自然保护区建设优先程度。如图 10。

图 10 地区自然保护区建立的优先程度柱形图

为比较各地区优先程度差异，计算出优先程度平均值并用每列数据和平均值作差，得到了图 11。

图 11 自然保护区建立的优先程度地区差异图

表 16、图 10 和图 11，可清晰的反映出各地区自然保护区建立优先程度：

中国西部和北部地区保护区建设状况良好，而东部经济发达省份，特别是华东地区的保护区当前状态低于全国整体水平；同时，东部各省面临更大的潜在保护压力。应首先调整华东、华中、华南省份的保护区建设规划，同时加大投入、加强管理，加强西部省份经济活动对保护区管理和功能的影响的监测。

模型评价与推广

灰色系统理论是 1982 年由中国学者邓聚龙提出的，目前许多国家和组织的知名学者都参与到灰色系统理论与应用的研究当中。灰色系统理论由于其适用性，已经广泛应用到工业、农业、社会、经济、能源、交通、气象、水利等研究中，发挥了巨大的作用。

灰色模型是从灰色系统中抽象出来的模型。本文以大量的资料、数据查询为基础，确定了评估上海世博会影响力的综合和细化指标，并创新型地将灰色模型应用到世博会影响力的评估中，使得评估简单有效。

在数据的处理方面，本文使用了无量纲化、加权平均、数值归一化等思想，突出了数据的重要信息，弱化了次要信息，使得对数据的处理更加简单有效，也为结果的得出提供了有力的保证。在数据和结果表现方面，本文采用了文字、图表相结合的形式，简洁而生动。

对于保护区的优先保护的评估，实际设计到的因素多而复杂，而且前人的具体研究也还是相对较少，很多地区的数据在保护前基本没有，很难从总体上得出量化的评估，于是本文着重于从保护区的目的，人类对于保护区的影响出发来评估优先保护值的大小。文中所使用的方法和所建立的模型并没有局限于某一地区，其实具有很强的可推广性。稍作调整和改进就可以应用于诸如自然灾害对于一个地区的影响，或者是新技术对于一个地区环境的影响等方方面面的评估与研究中。

当然，由于时间有限，本文所建立的模型存在进一步改进、优化的空间，由于数据的缺失，所以只取了 5 个省份的国家级的保护区作为代表进行分析的，对于全球的具体研究还不够细致，有待进一步深入。

参考文献

- [1] 施祺,王宏伟,李娟,基于层次分析法的生物多样性综合评价,2011年第四届“互动出版杯”数学中国数学建模网络挑战赛第一阶段论文。
- [2] 中国的生物多样性保护与自然保护区,
<http://www.hnforestry.gov.cn/listinfo.aspx?ID=123938>, 2011年5月21日。
- [3] 万本太,徐海根,丁晖,刘志磊,王捷,生物多样性综合评价方法研究,生物多样性,2007, 15(1): 97-106, 2007年。
- [4] 肖风劲,欧阳华,傅伯杰,牛海山,森林生态系统健康评价指标其在中国的应用,地理学报,第58卷第6期: 803-809, 2003年。
- [5] Regens J L, Hodges D G, Perspectives on valuing forest ecosystem health, Ecosystem Health, 1996, 2: 3-4。
- [6] Yazvenko S, Rapport D J, Framework for assessing forest ecosystem health, Ecosystem Health, 1996, 2: 40-51。
- [7] O'Laughlin, Forest ecosystem health assessment issues: definition, measurement and management implications, Ecosystem Health, 1996, 2: 19-39。
- [8] 王伯荪,余世孝,施苏华,王艇廖,文波,金建华,海南岛热带林生物多样性及其物种进化,中国科,2005。
- [9] Puumalainen J, Kennedy P, Folving S, Monitoring forest biodiversity:a European perspective with reference to temperate and boreal forest zone, Journal of Environmental Management, 67:5-14, 2003。
- [10] Puumalainen J Structural, compositional and functional aspects of forest biodiversity in Europe, Geneva Forest and Timber Discussion Papers No.22:87, 2001。
- [11] 人地系统主题数据库, <http://www.data.ac.cn/index.asp>, 2011年5月22日
- [12] 马克平,生物群落多样性的测度方法——多样性的测度方法(上),生物多样性,1994, 2(3): 162-168, 1994年。
- [13] 方精云,陈安平,中国森林植被碳库的动态变化及其意义,植物学报,2001, 43(9): 967-973, 2001年。
- [14] 张骏,葛滢,江波,常杰,袁位高,朱锦茹,戚连忠,浙江省杉木生态公益林碳储量效益分析,林业科学,2010(6)。
- [15] 周广胜,郑元润,陈四清,自然植被净第一性生产力模型及其应用,林业科学,第34卷第5期: 2-11,1998。
- [16] 陈廷贵,张金屯,十五个物种多样性指数的比较研究,河南科学,17卷 专辑: 55-57, 1999。
- [17] 高红梅,黄清,试论建立自然保护区价值估价方法体系,商业研究,第362期: 95,2007。
- [18] 戎可,马建章,赵丹,吴庆明,中国自然保护区区域评价模型的建立与应用,生态学报,第28卷第6期: 2738, 2008。
- [19] 李义明,李典谟,自然保护区设计的主要原理和方法,生物多样性,第1期: 32, 1996。
- [20] 刘会玉,林振山,张明阳,物种演化对人类活动作用下不同性质栖息地毁坏的响应,植物生态学报,第29卷: 429, 2005。

附录

1. 2007年省域生物多样性评价指标值

2007年省域生物多样性评价指标

省份	物种丰富度	生态系统类型多样性	植被垂直分布的完整性	物种特有性	外来物种入侵度	气候变化	年能源消费	环境污染排名	生境的消失和退化	有效自然保护区占国土面积比例
北京	2528	95	3	6	13	43.61661	739.15	29	4756	6.61
天津	1630	16	3	5	10	42.25306	550.16	27	3556	5.05
河北	3610	110	3	13	61	43.36982	2343.85	2	10945	2.5
山西	3188	111	3	16	35	32.98191	1267.54	1	5389	6.57
内蒙古	3493	53	3	9	29	26.14409	1287.93	10	4177	10.26
辽宁	3307	85	3	7	70	38.59032	1488.17	7	6496	16.11
吉林	3145	94	4	2	45	30.84667	515.25	22	2339	11.03
黑龙江	2772	47	3	1	43	27.53298	688.67	17	5595	8.65
上海	2798	71	3	3	23	71.30285	1153.38	26	7242	14.64
江苏	3424	79	3	18	97	66.81231	3313.99	6	21217	6.93
浙江	6137	89	5	40	73	80.10519	2471.44	11	17343	1.12
安徽	4375	97	5	26	84	65.56582	952.31	13	7848	2.71
福建	6515	140	5	31	73	83.81577	1134.92	18	5789	3.54
江西	5083	130	5	46	64	85.60858	609.22	15	4353	4.17
山东	3921	110	4	15	65	49.48475	2941.07	3	22653	3.83
河南	4499	106	4	36	53	48.77474	2081.38	4	11764	4.27
湖北	6907	140	4	79	49	78.57817	1135.13	14	5096	4.31
湖南	5658	146	5	61	43	79.96404	1010.57	9	3974	4.41
广东	8726	90	5	49	71	96.04167	3609.64	12	8390	12.39
广西	9913	140	5	75	47	86.51564	856.35	8	5014	5.41
海南	6568	70	5	22	50	99.64302	133.77	30	420	71.73
重庆	6600	68	5	66	9	62.76095	533.80	21	5238	8.89
四川	11248	128	5	116	79	61.94352	1324.61	5	11228	15.05
贵州	6747	146	5	80	54	64.76072	750.30	25	4069	3.91
云南	18317	174	5	116	145	60.12365	891.19	19	6396	9.37
西藏	7345	40	5	37	23	28.97621	17.70	31	242	33.24
陕西	4566	89	4	47	47	45.76138	740.11	16	4836	4.25
甘肃	5370	85	4	39	38	29.36569	705.51	20	1861	19.47
青海	2566	50	3	13	27	24.71635	337.24	28	902	28.96
宁夏	2306	69	3	4	21	24.50534	462.96	24	1589	7.38
新疆	4854	168	3	1	35	24.09426	547.88	23	2742	12.95

经过归一化处理后的 2007 年省域生物多样性评价指标值

省份	物种丰富度	生态系统类型多样性	植被垂直分布的完整性	物种特有性	外来物种入侵度	气候变化	年能源消费	环境污染排名	生境的消失和退化	有效自然保护区占国土面积比例
北京	13.80	54.60	60	5.17	8.97	43.77	20.47	21	93.55	9.22
天津	8.90	9.20	60	4.31	6.90	42.40	15.24	15.70	87.10	7.04
河北	19.71	63.22	60	11.21	42.07	43.53	64.93	48.32	6.45	3.49
山西	17.40	63.79	60	13.79	24.14	33.10	35.11	23.79	3.23	9.16
内蒙古	19.07	30.46	60	7.76	20	26.24	35.68	18.44	32.26	14.30
辽宁	18.05	48.85	60	6.03	48.28	38.73	41.22	28.68	22.58	22.46
吉林	17.17	54.02	80	1.72	31.03	30.96	14.27	10.33	70.97	15.38

黑龙江	15.13	27.01	60	0.86	29.66	27.63	19.07	24.70	54.84	12.06
上海	15.28	40.80	60	2.59	15.86	71.56	31.95	31.97	83.87	20.41
江苏	18.69	45.40	60	15.52	66.90	67.05	91.80	93.66	19.35	9.66
浙江	33.50	51.15	100	34.48	50.34	80.39	68.46	76.56	35.48	1.56
安徽	23.88	55.75	100	22.41	57.93	65.80	26.38	34.64	41.94	3.78
福建	35.57	80.46	100	26.72	50.34	84.12	31.44	25.56	58.06	4.94
江西	27.75	74.71	100	39.66	44.14	85.92	16.87	19.22	48.39	5.81
山东	21.41	63.22	80	12.93	44.83	49.66	81.47	100	9.68	5.34
河南	24.56	60.92	80	31.03	36.55	48.95	57.66	51.93	12.90	5.95
湖北	37.71	80.46	80	68.10	33.79	78.86	31.44	22.50	45.16	6.01
湖南	30.89	83.91	100	52.59	29.66	80.25	27.99	17.54	29.03	6.15
广东	47.64	51.72	100	42.24	48.97	96.39	100	37.04	38.71	17.27
广西	54.12	80.46	100	64.66	32.41	86.83	23.72	22.13	25.81	7.54
海南	35.86	40.23	100	18.97	34.48	100	3.70	1.85	96.77	100
重庆	36.03	39.08	100	56.90	6.21	62.99	14.78	23.12	67.74	12.39
四川	61.41	73.56	100	100	54.48	62.17	36.69	49.57	16.13	20.98
贵州	36.83	83.91	100	68.97	37.24	64.99	20.78	17.96	80.65	5.45
云南	100	100	100	100	100	60.34	24.68	28.23	61.29	13.06
西藏	40.10	22.99	100	31.90	15.86	29.08	0.49	1.07	100	46.34
陕西	24.93	51.15	80	40.52	32.41	45.93	20.50	21.35	51.61	5.92
甘肃	29.32	48.85	80	33.62	26.21	29.47	19.54	8.22	64.52	27.14
青海	14.01	28.74	60	11.21	18.62	24.80	9.34	3.98	90.32	40.37
宁夏	12.59	39.66	60	3.45	14.48	24.59	12.82	7.01	77.42	10.29
新疆	26.50	96.55	60	0.86	24.14	24.18	15.17	12.10	74.19	18.05

2. BI 计算过程中各指标对应的权值 (记为 θ)

$$\theta = \{0.1115, 0.3334, 0.0222, 0.3334, 0.0432, 0.0057, 0.0259, 0.0084, 0.0597, 0.0567\}$$

3. 生物量和林分蓄积量统计表 (生物量单位: 万公吨; 林分蓄积量单位: 万立方米)

	1977-1981		1984-1988		1989-1993		1994-1998	
	生物量	林分蓄积量	生物量	林分蓄积量	生物量	林分蓄积量	生物量	林分蓄积量
北京	2.9	6.5	9.1	13.1	6.6	14.6	8.0	14.4
天津	0.2	0.9	3.0	3.6	4.1	4.6	3.2	3.5
河北	52.0	116.1	73.5	123.5	84.6	152.5	92.4	164.6
山西	41.2	71.0	49.2	88.8	63.5	109.7	66.8	104.6
内蒙古	989.9	1288.6	973.0	1294.3	1013.2	1320.0	1025.0	1219.2
辽宁	175.1	241.0	211.3	277.0	216.7	271.3	233.9	276.1
吉林	839.0	603.0	780.9	618.8	881.0	630.5	867.3	651.7
黑龙江	1706.7	1526.3	1501.7	1555.2	1544.8	1610.9	1516.0	1503.1
上海	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
江苏	10.3	16.9	11.1	21.8	11.7	22.9	9.0	17.7
浙江	86.9	232.0	101.1	284.4	100.4	296.0	96.4	242.1
安徽	76.6	150.6	112.1	176.5	91.2	164.2	105.4	181.6
福建	286.5	357.4	239.3	382.8	255.2	467.6	330.0	415.7
江西	251.5	402.3	208.6	435.7	230.5	504.6	237.1	520.4
山东	21.1	57.0	37.6	73.0	35.0	64.2	32.6	49.6
河南	65.3	110.2	74.0	123.6	63.5	131.1	76.8	123.5
湖北	186.4	317.0	199.9	321.8	130.1	333.0	149.3	316.5

湖南	188.9	395.5	183.7	381.1	157.6	417.6	176.6	423.0
广东	291.7	478.4	217.1	402.5	277.7	532.0	310.0	527.2
广西	298.4	434.4	294.0	426.2	228.5	479.2	274.0	531.3
海南			47.8	54.5	71.4	60.6	88.1	71.4
四川	755.2	642.9	1052.0	983.9	1086.2	1034.6	1109.9	988.7
贵州	169.4	206.7	156.5	195.5	120.6	219.5	147.8	234.4
云南	920.5	871.8	1007.8	859.3	1041.8	860.3	995.3	861.7
西藏	605.7	311.4	605.7	311.4	770.7	396.3	793.9	408.1
陕西	368.2	416.1	376.5	434.7	393.1	433.7	414.5	446.8
甘肃	173.7	173.5	180.9	195.0	186.6	174.4	172.9	150.5
青海	16.7	19.0	26.7	26.0	25.9	24.7	24.7	22.9
宁夏	7.8	8.5	8.4	10.7	6.9	8.3	5.4	6.2
新疆	162.1	107.0	153.8	143.8	152.0	124.9	147.1	105.5

4. 各省年均温及年降水数据

省份	年均温 (°C)	年降水量 (mm)	省份	年均温 (°C)	年降水量 (mm)
北京	12.8	374	河南	14.4	602
天津	12.7	347	湖北	17.4	1143
河北	13.6	377	湖南	17.6	1590
山西	10.1	398	广东	22.9	1508
内蒙古	7.1	223	广西	22.0	1604
辽宁	9.0	507	海南	25.2	1831
吉林	7.0	509	四川	17.2	942
黑龙江	5.9	444	贵州	14.8	1240
上海	17.0	1587	云南	16.4	1368
江苏	16.0	1017	西藏	8.7	595
浙江	17.4	1806	陕西	14.3	530
安徽	16.3	1331	甘肃	10.8	271
福建	20.9	1677	青海	6.0	311
江西	18.5	1841	宁夏	9.7	255
山东	13.8	539	新疆	6.7	165

5. 中国森林病虫害防治情况统计(2000--2003)

地区	森林病害			森林虫害			森林鼠害		
	发生面积 (公顷)	防治面积 (公顷)	防治率 (%)	发生面积	防治面积 (公顷)	防治率 (%)	发生面积 (公顷)	防治面积 (公顷)	防治率 (%)
北京	33444	31039	93	5087	3735	73	28357	27304	96
天津	18293	16676	91	948	948	100	17345	15728	91
河北	395559	325742	82	35286	21186	60	356589	302256	85
山西	407196	146690	36	770	425	55	393814	142246	36
内蒙古	720660	512664	71	22885	17883	78	632728	428923	68
辽宁	589786	480576	81	40170	31673	79	547354	447144	82
吉林	257343	179749	70	49511	48269	97	199503	123529	62
黑龙江	595132	513438	86	52028	40408	78	262219	214247	82
上海	18660	31171	100	3428	7058	100	15232	24113	100
江苏	79919	87412	100	30650	19381	63	49269	68031	100

浙江	77155	74133	96	27750	27211	98	49405	46922	95
安徽	271741	225799	83	30357	27639	91	241248	198067	82
福建	174603	60498	35	6544	2247	34	168059	58251	35
江西	215863	135140	63	29225	18882	65	186638	116258	62
山东	431788	294624	68	92945	64948	70	338843	229676	68
河南	485229	348422	72	59576	44574	75	425653	303848	71
湖北	246379	123987	50	15202	5306	35	228244	118681	52
湖南	256009	87066	34	3089	1946	63	252920	85120	34
广东	644562	40777	6	21790	20549	94	622772	20228	3
广西	205744	93088	45	44407	9096	20	161337	83992	52
海南	24026	16000	67	8921	5559	62	14630	10348	71
四川	709027	673768	95	56801	51608	91	618728	590008	95
贵州	215358	166998	78	16974	14625	86	191057	148491	78
云南	314619	257304	82	24652	19120	78	281587	230639	82
西藏	135821	115735	85	10408	7768	75	105346	94767	90
陕西	404432	276955	68	20251	14978	74	334182	226643	68
甘肃	182801	136326	75	19727	9346	47	95607	65379	68
青海	267662	122354	46	21267	8981	42	137345	51840	38
宁夏	291372	75876	26	1066	1067	100	56308	14007	25
新疆	217179	179180	83	5741	6045	100	172298	146662	85

6. 各省份自然植被净第一性生产力 (NPP)

各省份自然植被净第一性生产力 (NPP)							
省份	NPP	省份	NPP	省份	NPP	省份	NPP
北京	8277.94	上海	4605.62	湖北	5640.76	西藏	6457.91
天津	8233.77	江苏	6110.10	湖南	4600.72	陕西	8932.32
河北	8629.10	浙江	4294.55	广东	4742.31	甘肃	7388.26
山西	7076.33	安徽	5112.62	广西	4578.12	青海	5311.72
内蒙古	5768.89	福建	4466.93	海南	4264.26	宁夏	6898.67
辽宁	6589.51	江西	4252.40	四川	6451.62	新疆	5600.85
吉林	5726.70	山东	8716.17	贵州	5347.16		
黑龙江	5270.97	河南	8975.27	云南	5026.71		

7. 问题二 MATLAB 程序代码: 关联度计算

```

data=xlsread('data.xls');
n=size(data,1);
ck=data(1,:);
bj=data(2:n,:);
m2=size(bj,1);
for j=1:m2
t(j,:)=bj(j,:)-ck(1,:);
end
jc1=min(min(abs(t')));
jc2=max(max(abs(t')));
rho=0.5;
ksi=(jc1+rho*jc2)./(abs(t)+rho*jc2);
rt=sum(ksi)/size(ksi,2);
r(1,:)=rt;

```



```
r
[rs,rind]=sort(r,'descend')    %对关联度进行排序
z=sum(r);
for k=1:3
    y=r(1:k)/x;
end
y
```

数学中国提供 (www.madio.net)