

# Assessment of Aquatic Ecosystem Function of Liao River Basin of Liaoning Province

Xiping Ma<sup>1</sup>, Lulu Zhao<sup>1</sup>, Dan Wu<sup>1\*</sup>, Chengbin Xu<sup>1</sup>

1. Liaoning University College of Environmental science, Shenyang, China

1. maxiping@163.com

**Abstract:** A system of candidate indices, including 4 classes and 15 factors, was set based on the basic data collected from Liao River Basin of Liaoning province in 1980-2005. Principal component analysis, entropy methods and correlation analysis were used to evaluate the function. The results showed that production function was stronger than habitat function, information function and regulation function, which would provide useful information and foundation for functional division, reasonable use of water and economic development.

**Keywords:** Liao River Basin; aquatic ecosystem function; principal component analysis; entropy; correlation analysis

## 辽宁省辽河流域水生态功能评价

马溪平<sup>1</sup>, 赵璐璐<sup>1</sup>, 吴丹<sup>1\*</sup>, 徐成斌<sup>1</sup>

1. 辽宁大学环境学院, 沈阳, 中国, 110036

1. maxiping@163.com

**【摘要】**以辽宁省辽河流域为研究区, 构建了包括 4 大类 15 个因子的水生态功能评价指标体系, 并结合 1980-2005 年研究区基础数据, 综合运用主成分分析法, 熵权综合指数法和相关性分析法对研究区水生态功能强弱进行识别, 结果表明: 生产功能>生境功能>信息功能>调节功能, 为功能分区和水资源合理利用、地方经济发展提供了参考和依据。

**【关键词】**辽河流域; 水生态功能; 主成分分析; 熵权; 相关性分析

### 1 引言

我国传统的河流及流域管理是在行政单元划分的基础上实行按区管理, 但从生态学角度来讲这并不科学, 所以近年来一些学者试图从生态系统功能角度入手, 按生态系统功能将河流及流域进行分区管理<sup>[1]</sup>, 这就需要将生态系统功能进行分类识别。辽宁省辽河流域作为研究区, 对水生态功能进行分类, 并识别其强弱, 一方面为功能分区提供参考, 另一方面为水资源的合理利用和地方经济发展提供依据。

### 2 研究区概况

辽河流域位于我国东北地区南部, 全流域面积 21.96 万 km<sup>2</sup>, 涉及吉林省、辽宁省、河北省和内蒙古

自治区的部分市域。由辽河及大辽河两个独立水系构成。其辽宁省境内流域面积 6.92 万 km<sup>2</sup>, 占流域总面积的 31.6%<sup>[2]</sup>。

### 3 评价指标与方法

#### 3.1 评价指标体系与数据来源

水生态系统功能是指水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[3]</sup>。基于 Groot 对生态系统功能的定义和 4 种基本类型划分<sup>[4]</sup>, 借鉴 Costanza 等 1997 年关于生态系统服务研究成果<sup>[5-6]</sup>, 结合研究区实际, 依据主导性、科学性和基础数据的可获取性等原则筛选评价指标, 建立评价指标体系见表 1。分析所用数据来源于 1980-2005 年《辽宁统计年鉴》、《辽宁经济统计年鉴》、《辽宁省环境质量报告书》。个别年份缺失数据依实际情况取均值替代或参照临近年份赋值。

资助信息: 辽宁省高校污染控制与环境修复实验室资助项目; 辽宁大学“211”三期重点学科资助项目; 辽宁省科技攻关基金资助项目(2005229003); 辽宁省科技厅项目(20060117-232)。

**Table 1. indicator of assessment of aquatic ecosystem function of Liao River Basin of Liaoning province**  
**表 1. 辽宁省辽河流域水生态功能评价指标体系**

目标层 1	辽宁省辽河流域水生态功能 F													
目标层 2	调节功能 F1				生境功能 F2			生产功能 F3		信息功能 F4				
Costanza 17 类分法	气体调节	气候调节	扰动调节	水调节、水供给	控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成	养分循环	废物处理	传粉	生物控制	避难所	食物生产	原材料	基因资源	休闲娱乐、文化
因子层	空气综合污染指数 F11	年均气温 (°C) F12	年均降水量 (mm) F13	森林覆盖率 (%) F14	水库总容量 (亿立方米) F15	地表水水量 (河川径流量: 辽河) (亿立方米) F16	地下水资源量 (亿立方米) F17	水土流失面积 (万平方公里) F18	水质综合污染指数 F19	藻类多样性指数 F21	底栖动物多样性指数 F22	淡水产品产量 (万吨) F31	农林牧渔业总产值 (亿元) F32	景观水库 (座) F42 公园 (个) F41

### 3.2 评价方法

#### 3.2.1 主成分分析法

主成分分析法通过对原始变量相关矩阵内部进行线性变换并舍弃部分信息，得到少数共同因子即主成分，用其代替原始众多因子，达到降维目的，同时尽可能多的保留了原始变量的信息，不影响分析结果。主要步骤有：数据同向化<sup>[7]</sup>、标准化、确定主成分个数、写出主成分表达式、计算综合得分<sup>[8]</sup>。以上计算过程借助 SPSS 软件可以完成，操作过程见参考文献<sup>[9]</sup>。

#### 3.2.2 熵权综合指数法

熵是系统无序程度的度量，某个指标的熵越小，其指标值的变异程度越大，提供的信息量越多，在综合评价中该指标起的作用越大，权重也越大；反之，亦然。故在实际应用时，根据各指标值的变异程度，利用熵来计算各指标的权重，可以得出较为客观的权重值。主要步骤有：数据同向化、计算单一指标比重、

熵值、熵权、综合得分，具体方法步骤见参考文献<sup>[7]</sup>。

#### 3.2.3 相关性分析法

相关分析是研究两个变量相关强度显著性的统计技术，一般采用相关系数来定量描述。主要步骤有：正态分布检验、计算相关系数<sup>[10, 11]</sup>。上述过程在 SPSS 中完成，具体操作见参考文献<sup>[12]</sup>。

## 4 结果与讨论

基于初始的评价指标比较多，首先利用主成分分析法对所选指标进行降维处理。依参考文献<sup>[13]</sup>将数据正向化，然后利用 SPSS12.0 软件进行分析。首先将正向化数据标准化 (z-score 法)，然后分别以 F11-F19, F21-F22, F31-F32, F41-F42 为单位，计算特征值，方差贡献率和累积贡献率(见表 2)。按照累计贡献率大于 85% 的原则确定主成分个数，即 F1 取前 4 主成分，记做 P11、P12、P13、P14。由于 F2、F3 和 F4 取前 2 主成分就可以达到累积贡献率 100% 故均取前 2 主成分，分别记做 P21、P22、P31、P32、P41、P42。

**Table 2. total variance explained**

**表 2. 特征值和方差贡献率**

	P11	P12	P13	P14	P21	P22	P31	P32	P41	P42
特征值	4.081	1.736	1.155	0.753	1.506	0.494	1.99	0.01	1.765	0.235
方差贡献率%	45.342	19.294	12.83	8.362	75.308	24.692	99.491	0.509	88.244	11.756
累积贡献率%	45.342	64.636	77.466	85.828	75.308	100	99.491	100	88.244	100

计算初始因子载荷矩阵见表 3。

**Table 3. component matrix**  
**表 3. 初始因子载荷矩阵**

	Zscore(F11)	Zscore(F12)	Zscore(F13)	Zscore(F14)	Zscore(F15)	Zscore(F16)	Zscore(F17)	Zscore(F18)	Zscore(F19)	Zscore(F21)	Zscore(F22)	Zscore(F31)	Zscore(F32)	Zscore(F41)	Zscore(F42)
1	0.546	-0.701	-0.659	0.955	0.579	0.72	0.297	-0.64	-0.771	0.868	0.868	0.997	0.997	-0.939	0.939
2	-0.088	0.23	-0.418	-0.121	-0.277	0.554	0.866	0.587	0.093	0.497	-0.497	0.071	-0.071	0.343	0.343
3	0.791	0.263	0.011	0.124	-0.466	-0.223	-0.101	0.241	-0.33						
4	-0.067	0.502	0.27	0.04	0.498	-0.019	0.127	0.12	-0.378						

将初始因子载荷矩阵的值除以对应主成分的特征值的平方根可求得主成分的系数，进而写出主成分表达式如下：

$$\begin{aligned}
 P11 &= 0.270 \times ZF11 - 0.347 \times ZF12 - 0.326 \times ZF13 + 0.473 \times ZF14 + 0.287 \times ZF15 + 0.356 \times ZF16 + 0.147 \times ZF17 - 0.317 \times ZF18 - 0.382 \times ZF19 \\
 P12 &= -0.067 \times ZF11 + 0.175 \times ZF12 - 0.317 \times ZF13 - 0.092 \times ZF14 - 0.210 \times ZF15 + 0.420 \times ZF16 + 0.657 \times ZF17 + 0.446 \times ZF18 + 0.071 \times ZF19 \\
 P13 &= 0.736 \times ZF11 + 0.245 \times ZF12 + 0.0107 \times ZF13 + 0.115 \times ZF14 - 0.434 \times ZF15 - 0.207 \times ZF16 - 0.094 \times ZF17 + 0.224 \times ZF18 - 0.307 \times ZF19 \\
 P14 &= -0.077 \times ZF11 + 0.579 \times ZF12 + 0.311 \times ZF13 + 0.046 \times ZF14 + 0.574 \times ZF15 - 0.022 \times ZF16 + 0.146 \times ZF17 + 0.138 \times ZF18 - 0.436 \times ZF19 \\
 P21 &= 0.707 \times ZF21 + 0.707 \times ZF22
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P22 &= 0.707 \times ZF21 - 0.707 \times ZF22 \\
 P31 &= 0.707 \times ZF31 + 0.707 \times ZF32 \\
 P32 &= 0.710 \times ZF31 - 0.710 \times ZF32 \\
 P41 &= -0.707 \times ZF41 + 0.707 \times ZF42 \\
 P42 &= 0.708 \times ZF41 + 0.708 \times ZF42
 \end{aligned}$$

以方差贡献率为主成分权重则综合得分为：

$$\begin{aligned}
 T1 &= 0.45342 \times P11 + 0.19294 \times P12 + 0.12830 \times P13 + 0.08362 \times P14 \\
 T2 &= 0.75308 \times P21 + 0.24692 \times P22 \\
 T3 &= 0.99491 \times P31 + 0.00509 \times P32 \\
 T4 &= 0.88244 \times P41 + 0.11756 \times P42
 \end{aligned}$$

将标准化数据带入上式得 F1、F2、F3、F4 各个年份的综合得分记做 T1、T2、T3、T4。由于指标数量相对较少，接下来选取熵权综合指数法对 T1、T2、T3、T4 进行客观赋权。见表 4。

**Table 4. the results of entropy**  
**表 4. 熵值和权重结果**

	T1	T2	T3	T4
熵值 H	0.915937	0.930415	0.848138	0.864285
权重 w	0.191	0.158	0.344	0.308

以熵权综合指数法计算结果赋权重得综合得分：

$$T = 0.191 \times T1 + 0.158 \times T2 + 0.344 \times T3 + 0.308 \times T4$$

将 T1、T2、T3、T4 数据带入上式得 F 各个年份

综合得分，记做 T。见表 5。

**Table 5. total scores of entropy method**  
**表 5. 熵权综合指数法综合得分**

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
T	0.308	0.309	0.313	0.353	0.400	0.290	0.334	0.355	0.350	0.350	0.183	0.267	0.266

(续表 5)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
T	0.325	0.388	0.419	0.435	0.477	0.386	0.458	0.485	0.484	0.481	0.537	0.593	0.662

利用 SPSS12.0 对 T 与 T1、T2、T3、T4 进行相关性分析，得到 F1、F2、F3、F4 强弱排序。SPSS12.0 非参数分析中的 K-S 法正态分布检验结果表明，T、

T1、T2、T3 符合正态分布，采用 pearson 相关系数，T4 不符合正态分布，采用 spearman 相关系数。结果见表 6。

**Table 6. the results of correlation analysis**  
**表 6. 相关分析结果**

	T1	T2	T3	T4
与 T 相关系数	0.500	0.768	0.887	-0.654

如表 6 相关系数绝对值大小可知,  $T_3 > T_2 > T_4 > T_1$ , 即研究区水生态功能强弱排序为: 生产功能 > 生境功能 > 信息功能 > 调节功能。又  $T_3$  相关系数大于 0.8, 从统计学角度讲, 说明其与  $T$  呈显著相关。

## 5 结论

(1) 将辽宁省辽河流域水生态功能分为调节、生境、生产、信息 4 大类。其中调节功能选取空气综合污染指数、年均气温、年均降水量等 9 个因子; 生境功能选取藻类多样性指数和底栖动物多样性指数 2 个因子; 生产功能选取淡水产品产量和农林牧渔业总产值 2 个因子; 信息功能选取公园个数和景观水库座数 2 个因子作为评价指标。构建出辽宁省辽河流域水生态功能评价指标体系。

(2) 利用 1980-2005 年基础数据, 综合运用主成分分析法、熵权综合指数法和相关性分析法, 识别出辽宁省辽河流域水生态功能强弱, 即生产功能 > 生境功能 > 信息功能 > 调节功能。其中生产功能不仅是 4 项功能中最强的一项, 而且因其相关系数大于 0.8 可判断其与辽宁省辽河流域水生态功能呈显著相关关系, 故在地方经济发展和决策中应给予充分的重视和发展。

(3) 功能分类和功能强弱的识别结果, 为从生态系统功能角度进行河流及流域分区管理提供了依据。可将研究区按照生态系统 4 大类功能分区, 依据地理空间上生态系统功能强弱制定不同的地方发展战略, 扬长避短, 使管理更加科学, 同时达到生态效益, 经济效益和社会效益的最大化。

## References (参考文献)

- [1] Meng Wei, Zhang Yuan, Zheng Binghui. Aquatic ecological region approach and its application in China[J]. *Advances in water science*, 2007, 18(2): 293-300(Ch).  
孟伟,张远,郑丙辉.水生态区划方法及其在中国的应用前景[J].*水科学进展* 2007,18(2):293-300.
- [2] Bi Tong, et al. Environmental quality report of Liaoning province[R]. Liaoning: Environmental Protection Bureau of Liaoning Provincial, 2006: 4(Ch).  
毕彤等.2001-2005 辽宁省环境质量报告书[R].辽宁:辽宁省环境保护局,2006:4.
- [3] Daily G. C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D.C: Island Press, 1997a.
- [4] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [5] Seidl A F, Moraes A S. Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolandia, Brazil[J]. *Ecological Economics*, 2000, 33(http://211. 82. 164. 129 /kns50 /detail.aspx? QueryID=99&CurRec=31): 1-6.
- [6] Liu Limei. Analysis and Evaluation of the Tourism Development in Inner Mongolia[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(1), 62-67(Ch).  
刘丽梅.内蒙古旅游业发展的实践分析及总体评价[J].*干旱区资源与环境*,2006, 20(1), 62-67.
- [7] Zhang Ruilong. Performance Evaluation of Listed Companies based on Entropy and AHP-- take Road and Bridge as an example[D]. Nanjing: Nanjing University of Science, 2007: 29, 26-42(Ch).  
张瑞龙.基于熵权与 AHP 的上市公司经营绩效评价——以路桥类上市公司为例[D].南京:南京理工大学,2007:29,26-42.
- [8] Ma Wenming. Complex evaluation of the index of fund based on Principal Component Analysis and Entropy method [D]. Hunan:Central South University, 2007: 34-52(Ch).  
马文明.基于主成分分析法和熵值法的我国指数基金综合评价[D].湖南:中南大学,2007:34-52.
- [9] He Zhiyun. Application of SPSS on the Water Quality Assessment of Nanning City[J]. *Silicon Valley*: 106-107(Ch).  
何志云.SPSS 软件在南宁市内河水质综合评价中的应用[J].*硅谷*:106-107.
- [10] Zheng B H, Zhang Y, Li Y B. Study of indicators and methods for river habitat assessment of Liao River Basin [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 27(6): 928-936(Ch).  
郑丙辉,张远,李英博.辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J].*环境科学学报*,2007,27(6):928-936.
- [11] Zhang Nan, Meng Wei, Zhang Yuan, Zheng Binghui. Multi-Variable Assessment of River Ecosystem Health in Liao River Basin[J]. *Research of Environmental Science*, 2009, 22(2): 162-170(Ch).  
张楠,孟伟,张远,郑丙辉.辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J].*环境科学研究*,2009,22(2):162-170.
- [12] Zhang Hongbing, Jia Laixi, Li Lu. SPSS Collection[M]. Beijing, 2007: 226-228, 240-243(Ch).  
张红兵,贾来喜,李璐.SPSS 宝典 [M]. 北京,2007:226-228,240-243.