

基于 PSR 模型的郑州市生态环境质量灰色预警

吴克宁¹, 关小克², 冯新伟², 吕巧灵²

(1. 中国地质大学 土地科学技术系, 北京 100083; 2. 河南农业大学 资源与环境学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 在分析 PSR 模型、广泛听取专家意见的基础上, 建立了生态环境评价指标体系。对评价因子量化分级, 利用层次分析法确定权重后对郑州市的生态环境进行评价, 并利用灰色系统理论, 建立了灰色系统的 GM(1, 1) 预测模型, 对郑州市的生态环境质量做了短期预测分析。结果表明, 郑州市的生态环境质量比较低, 接近中度警情的值域。最后对评价结果做了分析, 提出了改善郑州市生态环境的建议。

关键词: 生态; 预警; 环境质量; 灰色系统; 郑州

中图分类号: X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004—3268(2007)06—0083—04

The Ecological Environment Quality Warning of Zhengzhou Using Gray System Based on the PSR Model

WU Ke-ning¹, GUAN Xiao-ke², FENG Xin-wei², LU Qiao-ling²

(1. Department of Land Science and Technology, China University of Geosciences Beijing 100083, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Based on the model of PSR (Pressure-Sate-Response) and the advice of experts, an ecological evaluation index system was set up. Zhengzhou ecological environment quality was evaluated by grading the evaluation factors and using the AHP to determine the weight. The gray system theory was used to establish a GM(1, 1) earning model. Based on the model, a short-term forecast analysis of ecological environment in Zhengzhou was done. The result indicated that the Zhengzhou ecological environment quality is not very good, near the value field of middle-grade warning. Finally, the result of evaluation was analyzed and some suggestions about improving the Zhengzhou ecological environment were put forward.

Key words: Ecological; Early warning; Environment quality; Gray system; Zhengzhou

生态环境是人类生存和社会发展的基础, 它为人类提供了必不可少的生命维护系统和所必需的最基本的物质资源。当前, 由于不合理的人类活动, 使生态环境遭受到前所未有的压力与干扰, 而人们对于生态环境的危急状况往往缺少必要的评估和预警能力, 常常处于疲于应付的被动地位。

所谓生态环境预警, 就是对生态环境质量和生态系统进化演替、退化、恶化的即时报警。预警评价

与一般环境预测和一般评价有着密切的联系, 其关注的核心都是生态系统和环境质量的演化和变化, 先有评价才有预测, 有了预测才有预警, 前者是后者的基础, 后者是前者的深化和发展。在生态环境系统的演变过程中, 可以通过对相对稳定的质量特征指标对系统进行定量测定和识别, 以确定生态环境的质量状况、演化趋势和演化速度, 在此基础上实现生态预警^[1]。

收稿日期: 2006—12—27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471060)

作者简介: 吴克宁(1963—), 男, 河南郑州人, 教授, 博士, 主要从事土地利用规划和土地资源评价研究。

1 研究区域概况

郑州是河南省的省会, 处于河南省的中北部, 位于北纬 $34^{\circ}36' \sim 34^{\circ}57'$ 和东经 $113^{\circ}27' \sim 113^{\circ}51'$ 之间, 境内东西宽 $33 \sim 36\text{km}$, 南北长 $35 \sim 38\text{km}$, 该区域属于暖温半湿润季风气候区, 干湿季节分明, 年降雨量 640mm , 森林覆盖率为 18.5% 。境内主要河流有贾鲁河、东风渠、金水河以及主要的饮用水源地黄河。本研究区域主要包括郑州市的金水区、二七区、中原区、管城区、惠济区, 总面积为 $1\,010.3\text{km}^2$ 。2005 年末市区总人口为 296 万人。

2 郑州市生态环境质量评价

2.1 PSR 模型

目前, 国内外生态评价的模型框架较为典型的是联合国经济合作发展组织(OECD)于 1994 年提出的 PSR 模型^[2] (Pressure-State-Response Model)。P(压力)指人类经济社会活动引起的资源环境及社会的压力因素; S(状态)指资源环境及社会经济当前所处的状态或趋势; R(响应)指人类在环境、社会经济活动中的主观能动性的反映, 资源的部分可恢复性以及环境本身对污染的吸纳能力, 它是动态变化的。资源受到的压力有人口的增加而导致的资源过度开采, 城市扩张引起的水、耕地等资源的不足; 环境的压力主要有废弃物大量排放引起的空气质量下降, 河流、土壤污染等; 社会的压力有消费结构的变化构成的一系列问题。在这个模型中可以将人口、资源、环境等各生态系统要素之间相互作用、相互制约的因果逻辑关系反映出来。郑州市生态环境变化的主导因子是人口的急剧增加而引起的用地、用水等一系列矛盾, 从而导致的生态环境压力和变化。

2.2 生态环境评价指标体系的建立

在分析 PSR 模型的基础上, 本着具有概括性、可持续性、可量化、可比性的原则, 在听取专家意见的基础上选取资源、环境、社会等方面的评价指标, 建立评价指标体系(表 1)。

2.3 评价指标体系的量化分级

依照生态环境预警的一般标准, 复合型生态系统预警指数分为 5 个等级, 用连续的实数区间 $[0, 10]$ 表示, 质量处于最理想状态时, 其值为 10, 最恶劣状态时, 其值为 0。在量化的过程中, 根据评价因子程度分级分别确定其相应的强度指数分级标准。同样, 按照评价模型所求出的复合型生态系统的质

表 1 生态环境评价指标体系及其权重

准则层	权重	指标层	权重
资源状况	0.122	人均耕地面积	0.23
		人均地下水水资源量	0.648
		森林覆盖率	0.122
环境状况	0.648	空气质量	0.527
		固体废弃物产生强度	0.068
		土壤质量	0.151
		河流水质	0.254
社会经济状况	0.23	人口密度	0.54
		人均 GDP	0.297
		恩格尔系数	0.163

注: 人均地下水水资源量 = 地下水总量 / 人口总数; 空气质量为环境中空气中 SO_2 、 NO_2 、可吸入颗粒物; 固体废弃物产生强度 = 固体废弃物产生量 / 区域面积; 土壤质量为对土壤中重金属含量的评价; 河流水质为地表水综合污染指数; 恩格尔系数为居民食品消费占整体消费支出的比重

量优劣综合指数的值域也在 $[0, 10]$ 中, 并以综合指数的计算数值把生态环境综合质量指数分为 5 个等级标准。具体分级情况如表 2。

表 2 生态环境综合质量指数分级

项目	最优状态	良好状态	一般状态	中度警告	严重警告
区间值	$[10 \sim 8]$	$[8 \sim 6]$	$[6 \sim 4]$	$[4 \sim 2]$	$[2 \sim 0]$
区间代表值	9	7	5	3	1

2.4 层次分析法确定权重

在郑州市生态环境评价中, 由于各评价指标对生态环境的影响程度不同, 定量评价各指标对生态环境的作用是准确评价的基础。通过征询多位专家的意见, 利用层次分析法, 得到该指标体系各指标的权重值(表 1)。

2.5 评价指标数据的标准化处理

数据来源于《郑州市统计年鉴》(2000 ~ 2005)、《郑州市环境质量报告书》(2000 ~ 2005)和国家基金项目“城市化过程对土地质量影响的研究”, 此外还有大量的统计资料。收集的数据一般都具有自身的量纲和分布区间, 无法直接比较和运算, 必须对数据进行标准化处理。其中质量型的指数参考国家标准, 如: 空气质量评价采用 GB3095—1996《环境空气质量标准》二级标准; 土壤质量评价标准为 GB151618—1995《土壤环境质量标准》中二级标准, 评价方法采用单因子污染指数法; 河流水质为地表水综合污染指数, 参考历年郑州市环境质量报告书, 具体评价因子强度指数根据实际值利用内插法在相应的分级中求取。其他指标值标准化的方法, 对于具有正功效的指标采用: $X'_i = 10(X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$; 对于具有负功效的指标采用: $X'_i = 10(X_{i\max} - X_i) / (X_{i\max} - X_{i\min})$ 。

式中 X'_l 为 X_l 的强度指数; X_l 为第 l 个评价指标值的原始值; $X_{l\min}$ 为第 l 个评价指标的最小值; $X_{l\max}$ 为第 l 个评价指标的最大值; l 为各评价指标的序号, $l = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

2.6 郑州市生态环境质量评价结果

采用加权之和计算复合生态系统的生态环境质量分, 具体计算步骤如下: 根据制定出强度指数值, 然后对应出相应的评价因子权重值; 各指标层评价因子的权重值乘以其强度指数值之积的和为相对应准则层的质量分, 各准则层的分值乘以其对应的权重后的总和即为郑州市生态环境综合质量指数。根据以上计算方法得出 2000~2005 年郑州市的生态环境综合分值分别为: 4.479, 4.535, 4.339, 4.634, 4.593, 4.604。

3 对郑州市生态环境质量的灰色预测

灰色数列预测主要利用 GM(1, 1) 模型, 该法将杂乱无章的数据列进行整理、生成, 将空缺的数据通过计算加以补充。用整理过的数据列建立模型并通过它进行决策和预测, 将结构、关系、机制不清楚的对象、过程、系统作灰色预测以进行提前控制。建立 GM(1, 1) 模型的步骤如下^[3]。

第 1 步: 对数据序列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N)\}$ 做一次累加生成, 得到 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(N)\}$, 其中, $X^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t X^{(0)}(k)$ 。

第 2 步: 构造累加矩阵 B 与常数项向量 Y_N , 即

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(N-1) + X^{(1)}(N)] & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_N = [X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(N)]^T。$$

第 3 步: 用最小二乘法解灰参数 $\hat{\alpha}$

$$\hat{\alpha} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N。$$

第 4 步: 将灰参数代入时间函数

$$X^{(1)}(t+1) = \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha}。$$

第 5 步: 对 $X^{(1)}$ 求导还原得到 $X^{(0)}(t+1) = -\alpha \left[X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha t}$, 或 $X^{(0)}(t+1) = X^{(1)}(t+1) -$

$X^{(1)}(t)$ 。

第 6 步: 计算 $X^{(0)}(t)$ 与 $X^{(0)}(t)$ 之差 $\epsilon^{(0)}(t)$ 及相对误差 $e(t)$, $\epsilon^{(1)}(t) = X^{(0)}(t) - X^{(0)}(t)$, $e(t) = \epsilon^{(0)}(t)/X^{(0)}(t)$ 。

第 7 步: 模型诊断及应用模型进行预报。

为了分析模型的可靠性, 必须对模型进行诊断。目前通用的诊断方法是对模型进行后验差检验, 即先计算观察数据离差 S_1 , $S_1^2 = \sum_{t=1}^m [X^{(0)}(t) - \bar{X}^{(0)}(t)]^2$,

$$\text{及残差的离差 } S_2, S_2^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{t=1}^{m-1} [q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}(t)]^2,$$

再计算后验比 $C = \frac{S_1}{S_2}$, 及小误差概率 $P = \{ |q^{(0)}(t) - \bar{q}^{(0)}| < 0.6745 S_1 \}$ 。

根据后验比 C 和小误差概率 P 对模型进行诊断, 当 $P > 0.95$ 和 $C < 0.35$ 时, 模型可靠, 这时可根据模型对系统行为进行预测。

上述 7 步为整个建模、预测的分析过程。当所建立的模型残差较大、精度不够理想时, 为提高精度, 一般可以对其残差 GM(1, 1) 模型建模分析, 以修正模型。

依据已经得到的 2000~2005 年郑州市生态环境综合指数数据, 利用数据分析软件来预测, 输入计算出的历年生态环境综合指数进行预测分析。经过 2 次残差序列分析, 预测公式为: $X(t+1) = -0.141690e^{-0.707021t} + 0.174454$

分析结果: 精确度检验值为 $P = 1.0000$ (很好); $C = 0.24699$ (很好) 符合要求。

根据上述公式计算得到 2006 年、2007 年、2008 年郑州市生态环境综合指数为 4.61591, 4.65135, 4.68789。

4 讨论

郑州市在城市化进程中, 城市及其郊区的土壤、水、大气等环境指标受到了不同程度的影响。通过历年的数据资料建立的生态环境评价体系与灰色预测法相结合, 基本上能够反映郑州市的生态环境发展趋势。2001~2005 年, 研究区域的空气平均污染指数在 0.75~0.85 之间, 2002 年的综合指数比较低主要是由于当年的大气质量属于污染状态。在土地质量方面, 污水灌溉是造成土壤污染的主要原因。郑州市由于近年以引黄河水和地下清水灌溉为主, 土壤环境质量有了明显的改观。根据郑州市环境质量报告书的报告说明, 2004 年 II 类 (下转第 89 页)

植物作为重金属污染的修复生物在土壤重金属污染治理中已取得了显著效果^[3]。本研究用它来处理猪粪一是通过植物吸收进一步降低猪粪 Cu, Zn 的含量,再则是将收获的植物联同蚯蚓一起再循环用于动物饲养以减少饲料添加剂中 Cu, Zn 的使用量。这样通过动物—植物间的生物循环可减少重金属进入环境的量。因此这种将蚯蚓与植物联合消除重金属污染的方法不失为一种较为理想的消除畜禽粪便中重金属污染的处理方法。

参考文献:

[1] 王余丁, 赵国先, 卢艳敏, 等. 微量元素锌与畜禽营养研究进展 [J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(1): 110—114.

[2] 张文丽, 韦汉琼. 微量元素锌在动物营养上的应用 [J]. 西昌师范高等专科学校学报, 2003, 15(1): 105—106.

[3] Menzi H, Kessler J. Heavy metal content of manures in Switzerland [R]. // Proceedings of the Eighth International Conference of the FAO Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 1998: 26—29.

[4] Dong M Z, Hao X Z, Wang Y J, *et al.* Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures [J]. Chemosphere, 2005, 59: 167—175.

[5] Kornegay E T, Hedges J D, Martens D C, *et al.* Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents [J]. Plant and Soil, 1976, 45: 151—162.

[6] Dai J, Becquer T, Rouiller J H, *et al.* Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA—extractable metals in soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36: 91—98.

[7] 戈峰, 刘向辉, 潘卫东, 等. 蚯蚓在德兴铜矿废弃地生

态恢复中的作用 [J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1790—1795.

[8] 高岩, 骆永明. 蚯蚓对土壤污染的指示作用及其强化修复的潜力 [J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 140—148.

[9] Bansal S, Kapoor K K. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida* [J]. Bioresource Technology, 2000, 73: 95—98.

[10] Baker A J M, McGrath S P, Sidoli C M D, *et al.* The possibility of insitu heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants [J]. Resource, Conservation and Recycling, 1994, 11: 41—49.

[11] Ebbs S D, Kochian L V. Phytoextraction of Zinc by oat (*Avena sativa*), Barley (*Hordeum vulgare*), and Indian Mustard (*Brassica juncea*) [J]. Environmental Science & Technology, 1998, 32(6): 802—806.

[12] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, *et al.* Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales [J]. Bioresources Technology, 1999, 70: 23—31.

[13] Fleming G A, Mordenti A. The Production of Animal Wastes [M]. European Conference on Environment and Agriculture, Stock Farming in Europe, Mantua, Italy, 1991: 15—19.

[14] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, *et al.* Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province [J]. Journal of Environmental Science, 2004, 16(3): 371—374.

[15] Marin A F, Morgan A J. The time-course of metal (Ca, Cd, Cu, Pb, Zn) accumulation from a contaminated soil by three populations of the earthworm, *Lumbricus rubellus* [J]. Applied Soil Ecology, 1999, 12: 169—177.

(上接第 85 页)

水质占河流总长度的 44.09%, 劣 V 类水质占河流总长度的 48.84%, 评价级别计算结果属于中污染, 但是按照年际变化分析, 2004 年研究区域的地表水质综合污染程度明显减轻。2000 以来的 6 年间, 郑州市的人口迅速增加, 人均资源量逐年减少, 资源环境的压力增大, 但是由于社会发展技术的进步和人们对环境的重视, 加上对环境改造投入的加强, 整体环境质量并没有严重恶化, 近年来还有所改善。

从评价结果来看, 郑州市的生态环境质量指数比较低, 接近中度警情的值域。由于城市生态的脆弱性、不稳定性, 所以要加强对环境治理的投入力度, 加大工业污染治理资金的投入、提高固体废弃物

的综合利用率; 加快郑州森林生态城建设, 把森林生态城建设作为解决水、土壤、生物多样性问题的重要手段; 同时加强对郑州生态环境的监测, 以便及时做出预警, 防止由于生态恶化而引起的更大的损失。

参考文献:

[1] 刘振波. OFEPIS 的理论与方法 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2002.

[2] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究 [J]. 土壤, 2003(1): 3—8.

[3] 唐启义, 冯光明. DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 919—920.