

基于模糊综合评判的长春市生态系统健康评价

李茂娟¹, 李天奇², 王欢¹, 王锡魁¹, 刘嘉麒¹

(1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061; 2. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475000)

摘要:城市生态系统的健康程度直接影响着城市居民的生活质量,将长春市城市生态系统划分为自然子系统、经济子系统和社会子系统三部分,构建了城市生态系统健康评价指标体系;运用层次分析法和模糊综合评判法相结合的评价方法,对长春市生态系统健康程度进行了评价。结果表明:(1)长春市城市生态系统的健康程度 2000—2008 年逐渐好转,各子系统改善程度存在差异;(2)自然子系统稳定于很健康的状态,经济子系统和社会子系统状况增长迅速,但仍然有待发展和提高;(3)长春市生态系统健康状况的恢复须走经济集约化、资源节约型发展模式,加强资源、环境、经济、社会四大要素的平衡协调发展,进一步推进长春市的城市生态环境建设和保护。

关键词:生态系统健康;模糊综合评判;长春市

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0254-06

Assessment of Urban Ecosystem Health of Changchun City Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

LI Mao-juan¹, LI Tian-qi², WANG Huan¹, WANG Xi-kui¹, LIU Jia-qi¹

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng, He'nan 475000, China)

Abstract: The life quality of citizens is decided by the health of urban ecosystem. The ecosystem health was divided into the natural, the economical and the social subsystems. Building index system of assessment of ecosystem health, dividing the rating scale into five grades and giving each standard, the AHP-fuzzy synthetic appraisal was applied to evaluate the ecosystem health of Changchun city. The results showed that: (1) the ecosystem of Changchun city transformed from illness level into sub-healthy level gradually from 2000 to 2008, its trends had improved somewhat, but each subsystem should cooperate with the coordinated development; (2) the natural subsystem stabilized a very healthy state, while the economic and social subsystems grew rapidly but still need to develop and improve; (3) the recovery of Changchun ecosystem health should take the economic intensive and resource-efficient development pattern and strengthen the coordinated development of resources, environment, economy and society in order to further promote the ecological environment conservation of Changchun city.

Key words: ecosystem health; fuzzy comprehensive evaluation; Changchun City

城市生态系统是生态系统中最为复杂的生态类型^[1]。作为受人类活动干扰最强烈的地区,它已经演化为一种高度人工化的自然—经济—社会复合的生态系统,具有高度开放性、脆弱性和复合性,城市生态系统的健康不仅强调生态系统的结构合理、功能高效,更强调其对于人类的服务功能^[2]。国外学者对于城市生态系统的研究始于 20 世纪 40 年代,美国学者 Leopold^[3]率先提出了土地健康(land health)的概

念,后来他将此概念进一步升华为景观健康(landscape health);80 年代后期,加拿大学者 Rapport^[4]提出生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力^[5]。Hancock^[6]把生态系统健康的概念构架于经济、环境和社会之间的相互关系的基础之上,归纳出健康的城市生态系统所涉及的 6 个要素。

收稿日期:2012-09-17

修回日期:2012-10-24

资助项目:国家自然科学基金资助“沈阳经济区紧凑空间的形成机制与格局研究”(41201158)

作者简介:李茂娟(1987—),女,贵州福泉人,硕士研究生,主要从事第四纪环境与城市生态研究。E-mail:mika.lee@163.com

通信作者:王锡魁(1955—),男,河北献县人,教授,博士,主要从事第四纪地质研究。E-mail:wangxk@jlu.edu.cn

我国的城市生态系统健康研究始于 21 世纪初。由于我国处于快速城市化时期,许多学者都非常关注生态系统健康这一领域,并对多个大型城市和旅游城市进行了城市生态系统健康状况的评估^[7-11]。由于东北地区地广人稀,长期以来城市的生态压力较小,其城市生态系统的健康程度还未引起普遍重视。

作为我国传统的重工业城市,长春市的城市生态系统健康程度不容乐观,且一直以来缺乏全面而客观的评价。随着我国城市化进程的逐步加快,长春市生态压力与日俱增。一方面,由于长期对自然生态系统的掠夺式开发和经营,市区扩张、农村建设、能源开发和交通网络等占用土地逐年增多,人均耕地逐年减少,造成经济开发和资源供给能力的矛盾。城市生产生活的各种废物以及农业生产中的农药化肥的大量使用,也引发了资源消耗和环境污染的矛盾,都对环境造成了负效应。另一方面,人口日益增长的社会需求和城市社会及自然环境有限的容纳能力间的矛盾、生产与生活的矛盾、城市与乡村间的矛盾等,都对城市的生态健康构成了威胁。

本研究尝试利用模糊综合评价法对长春市 2000—2008 年生态系统健康状况进行评价,探讨长

春市城市生态系统的健康程度及其变化过程,分析影响长春市城市生态系统健康的主要因素,为城市的健康发展提供理论支持。

1 研究方法

1.1 城市生态系统健康内涵

城市生态系统是自然生态系统发展到一定阶段的结果,也是人类生态系统发展到一定阶段的结果,因此,本文将城市生态系统定义为:城市生态系统是以城市居民生活、生产为中心,由自然、经济、社会三个子系统组成的复合人工生态系统。而城市生态系统健康不仅强调从生态学角度出发的生态系统结构合理、功能高效与完整,更强调生态系统能维持对人类的服务功能,以及人类自身健康及社会经济健康不受损害。

1.2 构建评价指标体系

根据城市生态系统健康的内涵,本文将城市生态系统健康作为一个自然—经济—社会复合生态系统,依据科学性、代表性、可操作性、可比性等原则,在三个子系统下分别选择若干评价指标,构成长春市生态系统健康评价指标体系,详见表 1。

表 1 长春市生态系统健康评价分级标准

目标	要素	指标	标准分级					权重
			病态	不健康	亚健康	健康	很健康	
长春市 土地 生态 系统 健康 评价	自然子系统	建成区绿化覆盖率(%)	20	25	30	40	50	0.286
		工业固废综合利用率(%)	30	50	70	90	100	0.286
		SO ₂ 年均浓度(mg/m ³)	1	0.7	0.4	0.06	0.02	0.286
		噪声达标区覆盖率(%)	10	20	30	40	50	0.142
经济子系统		土地产出率(万元/km ²)	500	900	1300	1700	2000	0.4
		人均地区生产总值(万元/人)	0.7	1.5	2	3	3.3	0.2
		第三产业比重(%)	10	20	30	40	50	0.2
		人均财政收入(万元/人)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.2
社会子系统		人口自然增长率(‰)	7	6	5	4	3	0.1
		人均居住面积(m ² /人)	5	10	15	20	25	0.243
		城市恩格尔系数(%)	50	40	35	30	25	0.438
		万人公共车辆拥有量(辆/万人)	1	2	3	4	5	0.219

作为城市生态系统的物质基础和必要条件,资源与环境对生命系统的支撑功能是任何人造资本都无法替代,因此选取建成区绿化覆盖率、工业固废综合利用率、二氧化硫年均浓度、噪声达标区覆盖率 4 项指标反映自然子系统的健康水平;经济发展是城市生态系统健康的基础,是改善区域生态环境的保障,为了描述经济子系统的结构、效益与规模的内在特征与发展状况,选取土地产出率、人均地区生产总值、第三产业比重、人均财政收入 4 项指标来反映经济子系统的健康状况;社会子系统结构是否合理、是否具有持续

的发展力直接影响到城市生态系统的核心——城市居民,故选取人口自然增长率、人均居住面积、万人公共车辆拥有量、城市恩格尔系数 4 项指标进行评价。

1.3 评价指标权重值与分级标准

本文从定量与定性相结合的角度出发,运用层次分析法来确定评价指标的权重。由于层次分析法是一种建立在专家主观判断基础上的分析方法,即与特尔菲法结合,并加以量化计算的一种有效方法,所以在多约束选择、多目标决策中用于判定不同要素对总体目标的重要程度,是一种既简便又具有相当可靠性的方法。

依据国家对健康城市的要求和国家环境保护部关于生态城市建设指标的标准,将城市生态系统健康评价的标准划分为 5 个等级:病态、不健康、亚健康、健康、很健康。将生态市的建议值作为健康的标准值,将《中国城市年鉴》中城市同类指标的全国最低值作为病态的限定值,在健康值的基础上向上浮动 20% 作为很健康级别的标准,再于健康与病态标准值之间平均划分两个等级,分别作为亚健康和亚健康级别的标准。具体的分级标准见表 1。

1.4 数据来源及处理

本文所选取指标的数据均来源于长春市统计年鉴、长春市国民经济和社会发展统计公报和长春市环境状况公报。具体数据值见表 2。

选用模糊综合评价法对长春市 2000—2008 年的生态系统健康状况进行评价。先设计各级评价指标并确定各指标对所属评价要素的权重值;建立城市生态系统健康状况的评价标准;然后建立隶属函数和各指标对各级标准的隶属度集;在此基础上进行模糊矩阵的复合运算,得出评价结果。

对于数值越大级别越高的指标,计算隶属度 r_{ij} 的公式为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{il} \\ \frac{x_{ij} - y_{il}}{y_{ik} - y_{il}} & y_{il} < x_{ij} < y_{ik} \\ 1 & y_{ik} \leq x_{ij} \end{cases}$$

对于数值越大级别越低的指标,计算隶属度 r_{ij} 的公式为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{ik} \\ \frac{y_{il} - x_{ij}}{y_{il} - y_{ik}} & y_{ik} < x_{ij} < y_{il} \\ 1 & y_{il} \leq x_{ij} \end{cases}$$

式中: r_{ij} ——第 i 种评价指标对第 j 级健康标准的隶属程度; y_{il}, y_{ik} ——第 i 种评价指标相邻健康级别的上下限。

当隶属程度 r_{ij} 确定后,生态系统健康评价指标因子与评价标准之间的隶属关系用隶属矩阵 R 表示为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

建立好隶属矩阵之后,利用“先点乘后求大”的模糊预运算法,根据模糊数学最大隶属度原则,按照公式作矩阵的复合运算:

$$H = W \circ R$$

式中: W ——权重向量 $[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]$;" \circ "——模糊

矩阵合成运算符,其运算方法非常类似于普通的矩阵乘法。本文采取 H 中最大值所对应的等级,作为模糊评价中的最终评价等级,作生态系统健康的状态。

表 2 长春市生态系统健康评价指标数据

目标	要素	指标	2000 年	2004 年	2008 年	
长春市 土地 生态 系统 健康 评价	自然子 系统	建成区绿化覆盖率/%	38.1	38	37.9	
		工业固废综合利用率/%	92	97	99.4	
	社会子 系统	SO ₂ 年均浓度/(mg·m ⁻²)	0.012	0.019	0.03	
		噪声达标区覆盖率/%	66.14	66.55	50.15	
	经济子 系统	土地产出率/(万元·km ⁻²)	401	746	1245	
		人均地区生产总值(万元/人)	1.18	2.13	3.42	
	健康 评价	万人公共 车辆拥有量(辆/万人)	第三产业比重/%	41	40.7	40.3
			人均财政收入(万元/人)	0.11	0.21	0.49
	社会子 系统	城市恩格 尔系数/%	人口自然增长率/%	4.83	5.17	7.44
			人均居住面积(m ² /人)	19.53	23.9	27.76
健康 评价	万人公共 车辆拥有量(辆/万人)	万人公共车辆拥有量(辆/万人)	42.1	37.3	32.4	
		万人公共车辆拥有量(辆/万人)	3.96	5.04	5.48	

2 评价结果及分析

本研究按照评价指标体系搜集了长春市 2000—2008 年共 9 a 的数据,通过对这 9 a 的数据的大致分析发现,城市生态系统的发展是渐变的过程,各指标的数据也没有突变的情况,因此,每 4 a 选取其中 1 a 作为评价对象,即选取 2000 年、2004 年、2008 年作为评价对象,各年评价指标数据见表 2。可节省大量的计算过程,也能有效地说明问题。

根据建立的隶属函数,需将所有指标进行数据的标准化处理。根据表 1 中各指标的标准分级建立隶属函数,将以上数据代入相应函数处理即可得到 2000 年、2004 年、2008 年各子系统的隶属矩阵。

2.1 自然子系统

各年隶属矩阵分别为:

$$R_{2000}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.19 & 0.81 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_{2004}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.20 & 0.80 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_{2008}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.21 & 0.79 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.60 & 0.40 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由 $W_1 = (0.286 \ 0.286 \ 0.286 \ 0.142)$ 可得长春市生态自然子系统健康状态,见表 3。

表 3 长春市生态自然子系统健康状态

自然子系统	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
H_{2000}^1	0.000	0.000	0.054	0.232	0.286
H_{2004}^1	0.000	0.000	0.057	0.229	0.286
H_{2008}^1	0.000	0.000	0.060	0.226	0.269

按照最大隶属度原则,可知长春市生态自然子系统 2000—2008 年均属很健康状态,见图 1。

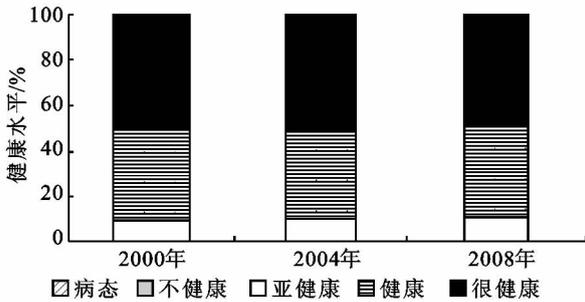


图 1 长春市生态自然子系统健康状态

据图 1,2000—2008 年长春市生态自然子系统均属很健康状态,病态与不健康的比例为 0。这主要是由于 80 年代以来,国内外开始提出建设生态城市的概念,进入 90 年代,国内建设生态城市的呼声越来越高,具备了一定的理论和实践基础。长春市抓住这一机遇,通过重点建设一批不同层次和类型的示范工程,如在市内建设无污染企业示范区等,有力地支持了长春市经济高质量、高效益地发展。

大量的投入换来了长春市生态环境条件的显著改善。截至 2008 年,全市开展生态示范区建设试点面积 1.9 万 km^2 ,达到了幅员面积的 92.4%,国家级生态示范区建成率达到 100%。2008 年,全市工业废水排放达标率和工业固体废物综合治理率分别达到 95.32% 和 99.40%,重点工业污染源实现全面达标排放。全市烟尘控制区面积 327.71 km^2 ,环境噪声达标区面积 142.95 km^2 ,区域环境噪声平均值控制在 56 dB,道路交通噪声平均值控制在 68.6 dB,达到全国文明城市 A 类标准。城市绿化、景点建设以及城市污水和垃圾处理场等环境基础设施建设也取得了明显的进展。

2.2 经济子系统

各年隶属矩阵分别为:

$$R_{2000}^2 = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.4 & 0.6 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.9 & 0.1 \\ 0.9 & 0.1 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_{2004}^2 = \begin{bmatrix} 0.385 & 0.615 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.870 & 0.130 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.930 & 0.070 \\ 0.000 & 0.900 & 0.100 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{2008}^2 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.138 & 0.862 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.970 & 0.030 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.100 & 0.900 \end{bmatrix}$$

由 $W_2 = (0.4 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2)$ 可得长春市生态经济子系统健康状态,如表 4 所示。

表 4 长春市生态经济子系统健康状态

经济子系统	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
H_{2000}^2	0.400	0.120	0.000	0.180	0.020
H_{2004}^2	0.154	0.246	0.174	0.186	0.014
H_{2008}^2	0.000	0.055	0.345	0.194	0.200

按照最大隶属度原则,可知长春市生态经济子系统 2000 年、2004 年、2008 年分别为病态、不健康、亚健康状态,见图 2。

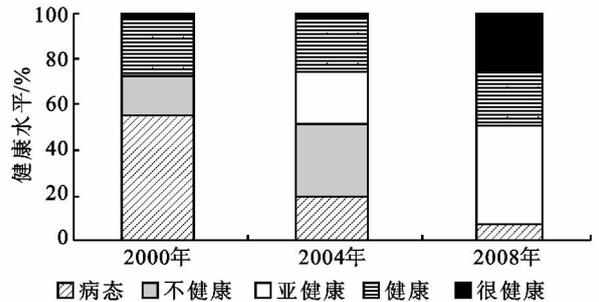


图 2 长春市经济子系统健康状态

图 2 表明,2000—2008 年长春市生态经济子系统从病态逐渐转变为亚健康的状态,经济子系统健康状况呈现快速增长的趋势。这是由于从 20 世纪 80 年代后期开始,长春市从实际出发,进一步拓展改革的范围,相继出现了私营经济、股份制经济成分,陆续提出了“以商推工,工商并举”、“商贸兴区”、“退二(产)进三(产)”的发展战略。90 年代后期开始,长春市经济在经历了总量的积累和结构方面的初步变化之后,进入了经济形态、产业结构和功能完善的更高层次的发展阶段,城区致力于经济增长质量和效益的提高,凸显了发展集约型经济的要求。人均地区生产总值从 2000 年的 1.18 万元增加到 2008 年的 3.42 万元,超过了长春市生态系统健康评价分级标准中的很健康标准。另一方面,由于长春市土地集约利用的程度还不够,土地产出率虽然大幅增长但始终低于生态健康的目标值,导致经济子系统健康状态虽有好转但仍处于亚健康的状态。

2.3 社会子系统

各年隶属矩阵分别为:

$$R_{2000}^3 = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.830 & 0.170 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.094 & 0.906 & 0.000 \\ 0.210 & 0.790 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.040 & 0.960 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$R_{2004}^3 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.17 & 0.83 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.22 & 0.78 \\ 0.00 & 0.46 & 0.54 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$R_{2008}^3 = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.48 & 0.52 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

由 $W_3 = (0.1 \ 0.243 \ 0.438 \ 0.219)$ 可得长春市生态社会子系统健康状态, 见表 5。

表 5 长春市生态社会子系统健康状态

社会子系统	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
H_{2000}^3	0.092	0.346	0.083	0.220	0.000
H_{2004}^3	0.000	0.201	0.237	0.053	0.219
H_{2008}^3	0.100	0.000	0.210	0.228	0.243

按照最大隶属度原则, 可知长春市生态社会子系统 2000 年、2004 年、2008 年分别为不健康、亚健康、很健康状态, 见图 3。

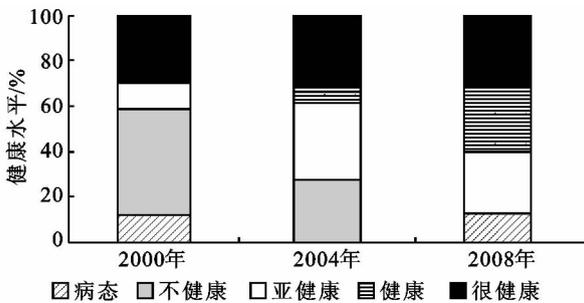


图 3 长春市生态社会子系统健康状态

由图 3 可见, 从 2000—2008 年, 长春市生态社会子系统从不健康转变为很健康状态, 总体上呈现增长的趋势。这是由于经济的快速发展使城市人口的生活水平得到改善, 城市人均住宅面积和万人公共车辆拥有辆两项指标不断增大并超过了很健康的标准, 且恩格尔系数逐渐减小。同时, 在 2000—2004 年的区间内病态的比例减小为 0, 但在 2004—2008 年间又出现了一个衰退, 这说明社会子系统健康状况存在健康隐患。这是由于不断增加的人口总量导致城市用地日益紧张, 21 世纪开始的 10 a 是我国城镇化率大幅增加的 10 a, 2000 年长春市城区人口总量为 292.8 万人, 到 2008 年增长到 360.8 万人, 且人口的自然增长率逐年增大。一直以来东北地区的城市均以地广人稀而著称。这为长春市建立生态城市提供了较好的基础。但是建设生态城市存在满足人们健康发展及生态良性循环的前提下城市人口的最大限量。人口规模及其增长速度应与经济发展水平、环境承载能力相适应。人口过快增长会引起一系列威胁生态健康的问题。首先, 人口膨胀影响了可持续发展。土地不

能被大面积地用于公共设施、绿化、交通等的建设, 造成城市公共空间短缺、城市中心区建筑密度过高、交通拥挤、生态环境恶化等问题。其次, 人口膨胀使城市出现环境、市政管理、社会治安和贫富分化等诸多问题。第三, 人口规模过度膨胀引发就业困难, 影响社会、经济和政治稳定。

2.4 生态系统健康总体评价

由各子系统评价的结果可得长春市生态系统健康总模糊矩阵为:

$$R_{2000} = (H_{2000}^1, H_{2000}^2, H_{2000}^3)^T$$

$$R_{2004} = (H_{2004}^1, H_{2004}^2, H_{2004}^3)^T$$

$$R_{2008} = (H_{2008}^1, H_{2008}^2, H_{2008}^3)^T$$

由要素层权重 $W = (0.333 \ 0.333 \ 0.333)$ 可得长春市生态系统健康状态, 见表 6。

表 6 长春市生态系统健康状态

	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
H_{2000}	0.133	0.115	0.028	0.077	0.095
H_{2004}	0.051	0.098	0.079	0.076	0.095
H_{2008}	0.033	0.018	0.115	0.076	0.090

按照最大隶属度原则, 可知长春市生态系统 2000 年、2004 年、2008 年分别为病态、不健康、亚健康状态(图 4)。

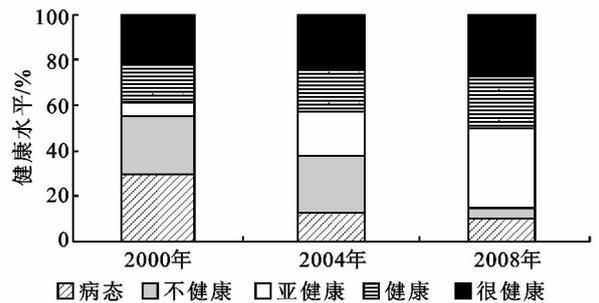


图 4 长春市生态系统健康状态

根据图 4 显示的长春市生态系统健康评价结果, 2000—2008 年, 长春市生态系统从病态逐渐转变为亚健康状态, 且健康与很健康的比例逐年增加, 但近年来增加的幅度不大, 病态与不健康的比例总体上逐年降低。自然子系统处于稳定的状态, 建成区绿化覆盖率、工业固废综合利用率和噪声达标区覆盖率等指标均达到生态城市指标建设的标准, 二氧化硫浓度年均值虽然出现增长趋势但目前仍然能够达到国家二级标准的要求。经济子系统和社会子系统健康状况均呈现出明显改善的趋势, 但经济子系统受土地集约利用程度的制约, 土地产出率较低, 导致该系统不能达到健康状态。社会子系统虽然已达到很健康状态, 但人口的快速增长使系统内部压力增大, 并逐渐成为该系统的健康隐患。

由上述分析可知,人口数量的快速增加是长春市城市生态系统的最大制约条件。人口数量的变化直接影响了经济子系统和社会子系统的健康状况。这就需要城市管理者正确看待长春市城市化快速发展的现实,在城市政策的规划和制定方面体现出一定的前瞻性。同时,各子系统的发展在同步性和协调性方面也存在一些问题。自然子系统的健康状况较为稳定,而经济和社会子系统则呈现出逐渐好转趋势。这是由于一直以来东北地区的地广人稀,较低的人口密度给自然环境带来的压力相对较小。但是应当注意的是,随着城市化的发展,自然子系统所受到的压力必然会逐步增大,切不可降低对自然子系统的投入力度。

3 结论及建议

长春市生态系统 2000—2008 年从病态逐渐转变为亚健康状态,其趋势虽有好转,但各子系统协调发展还有待配合。自然子系统稳定于很健康的状态,经济子系统和社会子系统状况增长迅速但仍然有待发展和提高。因此,长春市生态系统健康状况的恢复须走经济集约化、资源节约型发展模式,切实转变经济增长方式,把发展动力转到依靠产业结构调整、科技进步和政府管理水平上来,加强资源、环境、经济、社会四大要素的平衡协调发展,进一步推进长春市的城市生态环境建设和保护。

参考文献:

[1] 郭秀锐,杨居荣,毛显强.城市可持续发展的生态学分

(上接第 249 页)

- [14] 张富刚,刘彦随,王介勇.沿海快速发展地区区域系统耦合状态分析[J].资源科学,2007,29(1):16-20.
- [15] 李智国,杨子生,王伟.西南边疆山区耕地资源利用与粮食生产耦合态势:以云南省为例[J].山地学报,2008,26(4):410-417.
- [16] 李宏,王红梅.黑龙江省耕地数量变化及驱动因子分析[J].农机化研究,2007(12):12-15.

(上接第 253 页)

- [7] 钟贤烈.农村沼气[M].北京:农业出版社,1983.
- [8] 腾传钧,汪国英.沼气节能综合利用技术[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.
- [9] 徐曾符.沼气工艺学[M].北京:农业出版社,1981.
- [10] 张全国.沼气技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2005:71-73.
- [11] 马洪儒.家用沼气池稳定产气的技术要点[J].可再生

析:以广州市为例[J].城市环境与城市生态,2002,15(5):26-28.

- [2] 刘明华,董贵华.城市生态系统健康评价指标体系的构建:以秦皇岛市生态系统为例[J].中国疗养医学,2005,14(3):161-164.
- [3] 周申立,杨位飞,薛宗保.邛海水生生态系统健康评价[J].中国环境监测,2006,22(5):78-81.
- [4] Rapport D J, Whitford W G. How ecosystems respond to stress: common properties of arid and aquatic system [J]. BioScience,1989,49:193-203.
- [5] 李春晖,郑小康,崔崑,等.衡水湖流域生态系统健康评价[J].地理研究,2008,27(3):565-571.
- [6] Hancock. Urban ecosystem and human health: a paper pre-pared for the Seminar on CIID-IDRC and urban development in Latin America, Montebideo, Uruguay, April 6-7. 2000[C/OL]. [2007-11-05]. <http://www.idrc.ca/locro/docs/conferencias/hancock.html>.
- [7] 郭秀锐,杨居荣,毛显强.城市生态系统健康评价初探[J].中国环境科学,2002,22(6):525-529.
- [8] 周文华,王如松.基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J].2005,25(12):3244-3251.
- [9] 苏美蓉,杨志峰,王红瑞,等.一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J].环境科学学报,2006,26(12):2072-2079.
- [10] 徐志嫻,刘维,张建丰,等.基于流域不同特征的产瀾河生态系统健康评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(8):215-223.
- [11] 李双江,罗晓,胡亚妮.快速城市化进程中石家庄城市生态系统健康评价[J].水土保持研究,2012,19(3):245-249.

[17] 李茂.河南省耕地和粮食灰色关联分析[J].地理科学进展,2002,21(2):163-172.

- [18] 周慧秋,李效忠.影响黑龙江省粮食综合生产能力的因素分析[J].黑龙江粮食,2005(6):16-17.
- [19] 倪超,雷国平.资源枯竭型城市土地综合承载力评价研究[J].水土保持研究,2011,18(2):164-168.
- [20] 马彩虹,赵先贵.陕西省人口—耕地—粮食系统耦合态势研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):217-221.

- 能源,2003,108(2):29-30.
- [12] 林聪.沼气技术理论与工程[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [13] 宋洪川.农村沼气实用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [14] 黄广思.地温遥感预报地震的原理和方法[J].地壳形变与地震,1993,13(1):23-29.