

基于因果网络模型的城市生态安全空间分异 ——以大连市为例

杨 俊¹, 李雪铭¹, 张 云², 孙才志¹, 徐惠民¹, 冀保程¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029; 2. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

摘要:城市生态系统是一个脆弱而不稳定的生态系统,与自然系统相比较具有高能耗物耗、高环境污染、低自然资源储备的特点。同时,其生态安全评价也存在特有的空间特性、非线性和随机性。城市化进程的快速推进引发了众多生态环境问题,而且问题发展日趋严重。生态环境安全在城市中的空间分异现象也日益彰显。分析了 PSR、DSR、DPSIR 因果链结构模型的利弊,提出了一种新的生态安全评价模型-因果网络模型 DPSRC 模型,结合地理信息系统空间分析的方法,研究大连市生态系统健康状况,得到如下结论:①根据城市生态系统的复杂性,分析了以往链式模型的弊端,提出了网络分析模型,并且拟定“驱动力-压力-状态-响应-控制”DPSRC 模型指标体系,运用模糊层次分析法(Fuzzy AHP)和综合比较法赋权并量化计算;②实地调查、收集了关于城市生态安全的数据资料,并将其数字化建立大连市生态安全指数的矢量网格数据库;③运用地理信息系统空间分析方法,揭示了大连城市生态健康状况和城市生态安全空间分异格局。

关键词:DPSRC 框架;城市生态安全;评价指标体系;空间分异;动态网格系统;地理信息系统

文章编号:1000-0933(2008)06-2774-10 中图分类号:Q147, X171, Q988 文献标识码:A

Assessment on urban ecological security spatial differences based on causal network: a case of Dalian City

YANG Jun¹, LI Xue-Ming¹, ZHANG Yun², SUN Cai-Zhi¹, XU Hui-Min¹, JI Bao-Cheng¹

1 School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2774 ~ 2783.

Abstract: The urban ecological system is a fragile and an unstable ecosystem. Compared with the natural ecological system, the urban ecological system has many disadvantages, such as high consumption of energy and material, environmental pollution problems and low amounts of natural resources. Because of rapid urbanization process has resulted in innumerable ecological environmental problems, to make things even more severe, eco-environmental security in the cities of spatial differences is being outlined. The paper analyzes the pros and cons of some causal chain structure model, such as PSR, DSR and DPSIR, and raises a new ecological security assessment model-causal network model of DPSRC model, after while combines GIS spatial analysis method is used, researching the ecosystem health status of Dalian City. The following conclusions are: First, it proposes the network model by way of studying the disadvantages of chain models during the past, according to the complexity of urban ecosystem. It also makes assessment indicators system of the “Driving force-Pressure-

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40471011);国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2006AA09Z169)

收稿日期:2007-04-07; **修订日期:**2007-11-07

作者简介:杨俊(1978~),男,湖北孝昌,博士生,主要从事城市环境生态与地理信息系统应用研究. E-mail: yjd204@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yjd204@126.com

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40471011), National Hi-Tech Research and Development Program (863) of China (No. 2006AA09Z169)

Received date: 2007-04-07; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: YANG Jun, Ph. D. candidate, mainly engaged in urban environment, urban ecology and GIS. E-mail: yjd204@126.com

State-Response-Control” model and applies fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) and indicates weights by a comprehensive compared method for results. Secondly, it does a field survey and collects the detailed data about the urban ecological security system and digitizes the correlative information of urban ecological security. Finally, it expounds the states of ecological health and spatial differences of urban ecological security by spatial analysis of GIS.

Key Words: DPSRC framework; urban ecological security; assessment indicators system; spatial differences; dynamic grid system; Geographical Information System (GIS)

工业化与城市化带来的生态环境问题已成为上世纪以来社会发展中突出问题之一,发展中国家尤为严重。大力提高城市化水平是许多发展中国家的首选战略,但快速城市化引发的生态环境问题却令人担忧。生态环境安全已经引起了国际社会的高度关注,近年来国内外许多学者从不同的学科背景针对不同区域的生态安全进行了热烈的讨论^[1~7],尽管大多数学者在生态健康与生态风险角度趋于共识,但其自身的定义和评价方法与评价模型在不同学者间存在差异^[8~15]。

生态安全的概念有广义和狭义两种,广义是指自然、经济、社会方面的生态安全性;狭义是指在自然或半自然状态下的生态系统安全性。本文研究的城市生态安全既包括资源、经济和社会发展的可持续方面,又包涵生态系统服务功能健全方面。生态安全评价中以生态安全指标为基础,生态安全评价已经成多尺度决策支持、规划和评价的重要工具。国内外学者在 PSR、DSR、DPSIR 模型的框架下,构建因果关系链,结合生态安全驱动力指标,压力指标,状态指标,影响指标以及响应指标来评价生态安全。这种基于因果关系链的框架模型使得生态安全指标之间的关系清晰,决策者能够简洁清楚的获取信息。但是,生态安全指标通常情况是与多重因果关系相联系,现行的生态安全模型分离了生态问题的因果关系链。文章提出一种因果网络模型-DPSRC 模型。DPSRC 模型能够处理现实生活中多重生态指标相互作用、相互联系的因果关系网,表现城市生态安全多重指标之间的相互联系,分析区域的生态安全。

1 城市生态安全评价模型

1.1 当前城市生态评价模型

目前国内外生态评价的模型框架通常有经济合作发展组织 (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 提出来的 PSR 模型 (Pressure-State-Response, 压力-状态-响应)、DSR 模型 (Driving force-State-Response, 驱动力-状态-响应) 以及欧洲环境署 (European Environment Agency, EFA) 提出的 DPSIR 模型 (Driving force-Pressure-State-Impact-Response, 驱动力-压力-状态-影响-响应) 等模型^[16~19]。这些模型都是以因果关系为基础的生态评价模型 (图 1)。

PSR、DSR、DPSIR 模型能够清晰的反应生态指标体系中指标间的因果关系,这些模型都是来源于压力-响应模型。他们的共同点是:生态影响力;生态因子改变的结果;生态改变的社会反应。PSR、DSR、DPSIR 的区别在于他们在因果链上的分级程度不同。

1.2 DPSRC^① 模型

DPSRC 模型 (Driving force-Pressure-State-Response-Control, 驱动力-压力-状态-响应-控制) 是一种因果网络模型, DPSRC 模型框架 (图 2)。

一个简单的城市生态安全的因果关系网如图 3 所示, DPSRC 模型能够处理现实生活中多重相互作用、相互联系的因果关系网,表现城市生态安全多重指标之间的相互关系,分析区域的生态安全。DPSRC 模型中突出的强调人在城市生态安全中的重要作用。较好地解决 PSR、DSR、DPSIR 模型中多重生态指标间的相互联系。

① 丁德文、徐惠民、杨俊. 人海关系与海岸带系统科学[报告]. 2005, 大连轻工业学院

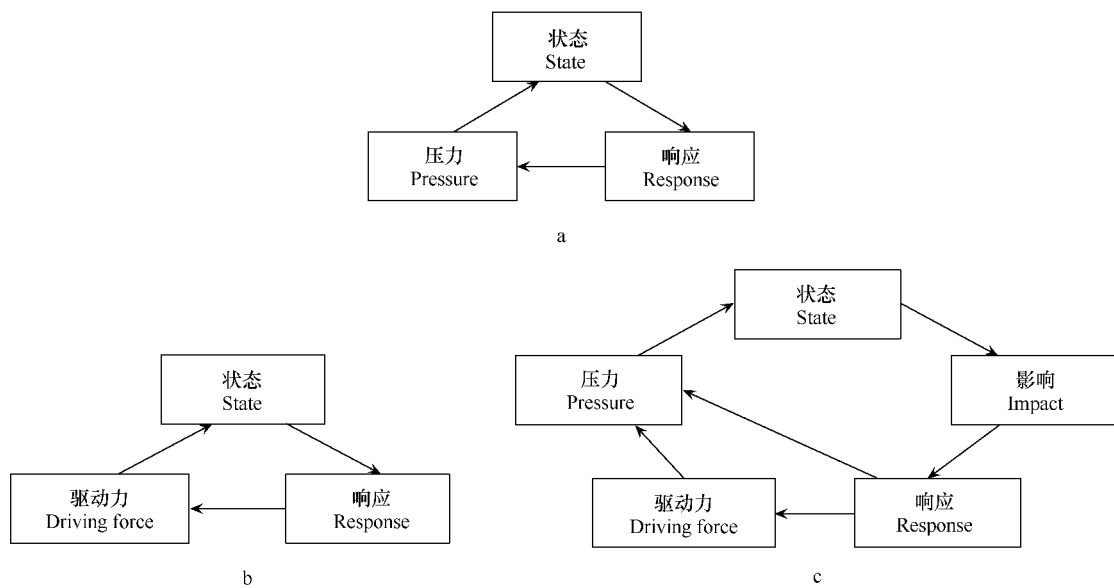


图1 (a)PSR,(b)DSR,(c)DPSIR 框架

Fig. 1 (a)PSR,(b)DSR,(c)DPSIR framework

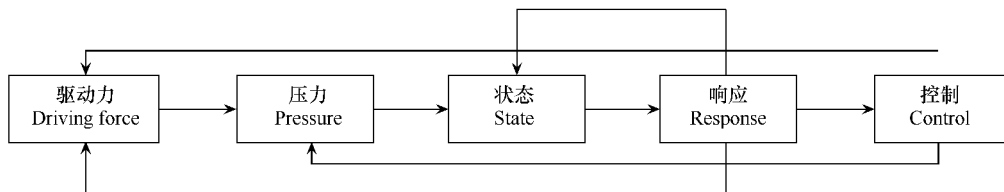


图2 DPSRC 框架

Fig. 2 DPSRC framework

2 基于 DPSRC 模型大连城市生态安全空间特征分异

生态安全具有动态性和地域性,需要引入地理信息和遥感技术。地理信息技术特征是具有空间建模、空间分析、数据处理、成果表达等优势;遥感适于大范围动态监测,但是应用地理信息系统和遥感技术的生态安全评价与预警的研究较少,如徐海根应用地理信息技术、迭代法和线性规划的自然保护区生态安全设计的方法研究;左伟基于遥感、地理信息系统和空间建模的长江三峡库区典型区-重庆市忠县区域生态环境系统安全评价等^[20~22]。基于地理信息系统与 DPSRC 模型的大连城市生态安全评价流程可概括为五个阶段:第1阶段是地理信息基础地图的建立与评价指标体系的确立;第2阶段是城市生态安全指标的量化处理和基于地理信息系统的空间分析;第3阶段是城市生态安全矢量网格数据库的建立和地理信息系统空间分析;第4阶段是城市生态安全综合指数的计算、城市生态空间特征分异与城市生态安全分区;第5个阶段是城市生态安全空间决策与管理(图4)。

2.1 城市生态安全的指标体系

DPSRC 模型框架为城市生态安全评价指标体系的确立奠定了理论基础。城市生态安全状况是人文因子和自然因子共同影响的结果,根据系统性、指标选择的独立性、可比性、真实性和实用性,考虑到资料收集的可能性,在广泛研究国内外城市生态评价指标体系案例基础上,根据2005年大连市野外考察和收集的 latest 资料,按照层次分析法(AHP)的方法构建了基于 DPSRC 模型的大连城市生态安全多层次评价指标体系如表1所示。

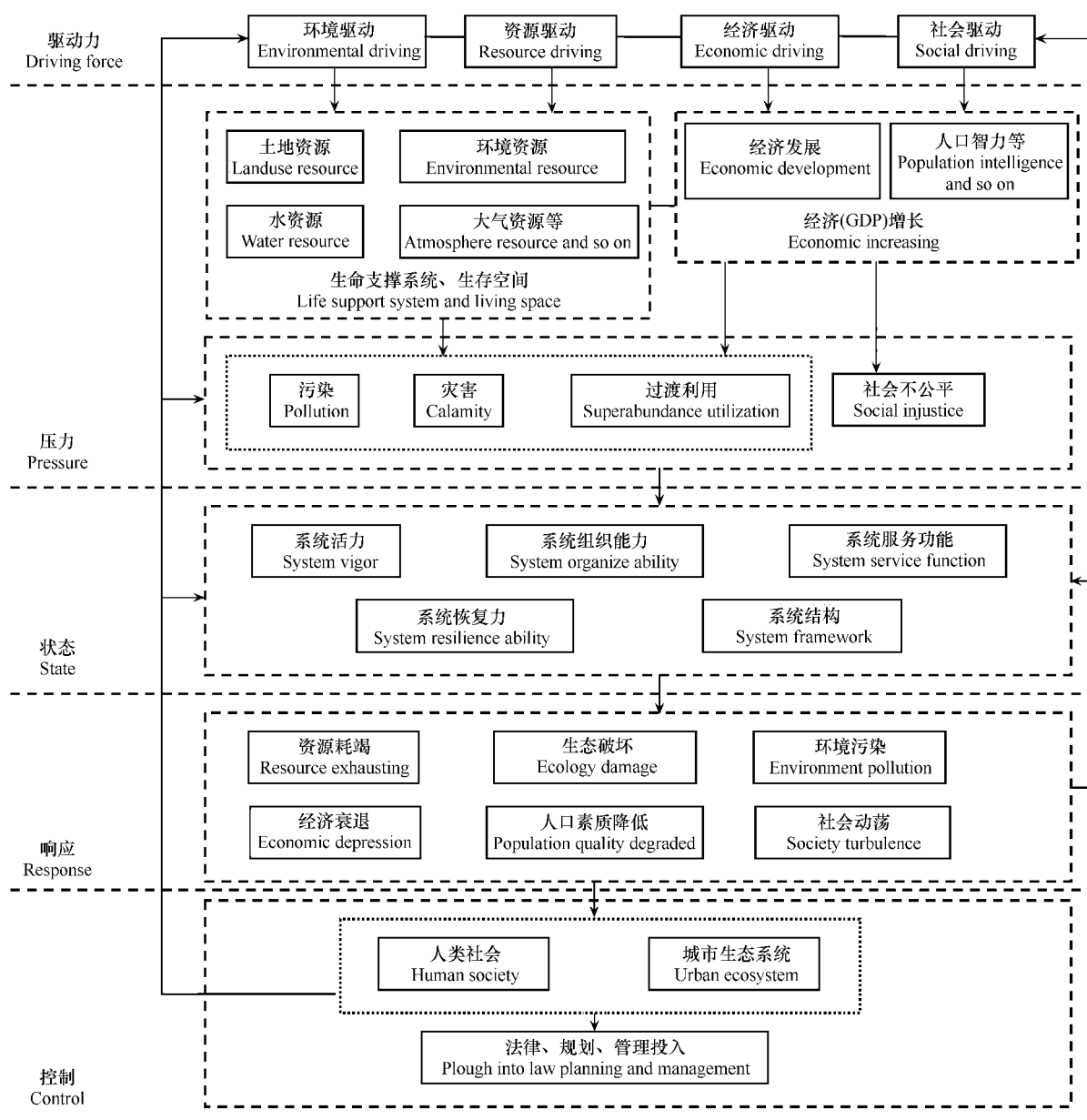


图3 一个简单的城市生态安全因果网

Fig. 3 A simplified causal network of urban ecological security

2.2 图形数据的处理和分析

2.2.1 数据资料及来源

基础图形数据为1998年大连市区地形图,2003年更新大连市区1:10000交通图,2005年更新大连市区行政区划图;2003年大连市区2.5m加10mSPOT5图像;基础社会经济统计数据;外业调查数据^①。

2.2.2 数据处理与分析

基础的图形数据矢量化处理,遥感图像正射处理处理,社会经济数据库建立,外业调查数据库的建立。城市生态安全指标按照相关的模型结合GIS技术实现指标的空间分析,其中的模型有:人口空间离散化模型、反距离权重模型、趋势扩展模型、引力模型、缓冲区模型等,在MapInfo、Vertical Mapper等商业GIS软件包中含有这些分析模型。

① 数据来源:大连国土资源与房屋局以及大连市统计年鉴

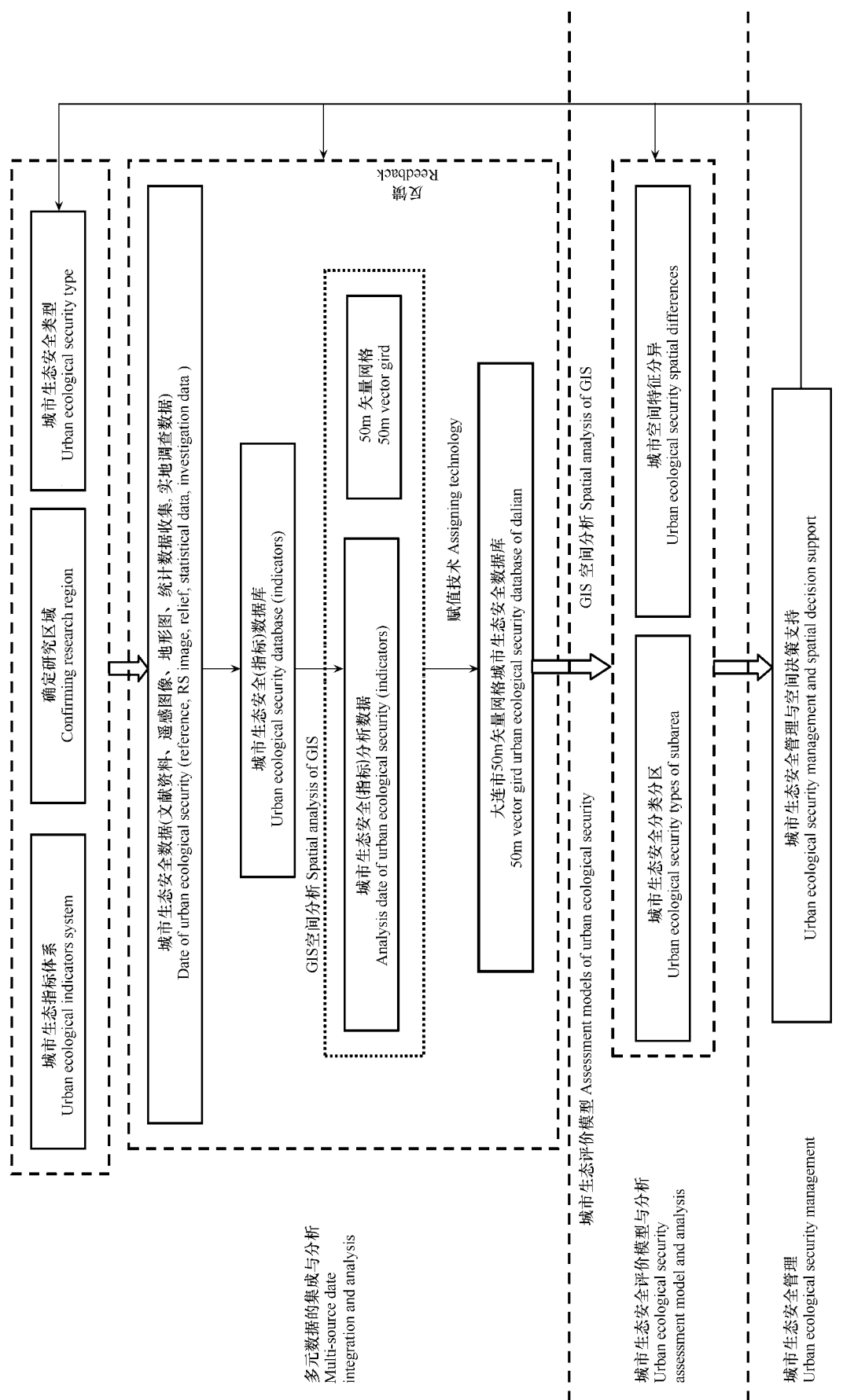


图4 大连城市生态安全评价过程
Fig. 4 Urban ecological security assessment process of Dalian

2.2.3 数据指标标准化

用于测度生态安全状况的指标分为两种情况:越大越安全的指标(如人均绿化面积)和越小越安全的指标(大气环境质量)。为了综合评价,在对不同量纲指标的初始数据进行标准化处理时应把所有的指标数值转换成统一的含义,因此,参评因子的标准化量化公式为:

$$\text{对于越大越安全的指标} \quad X_j = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

$$\text{对于越小越安全的指标} \quad X_j = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min})$$

其中, X_i 为实测值, X_j 为标准化后的数值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为最大值、最小值。标准化后的指标还需要依据相关科学研究成果对参评因子标准化值及其评判等级对量化数据做出相应的修正和调整。

2.3 城市生态网格数据建立

2.3.1 标权重计算

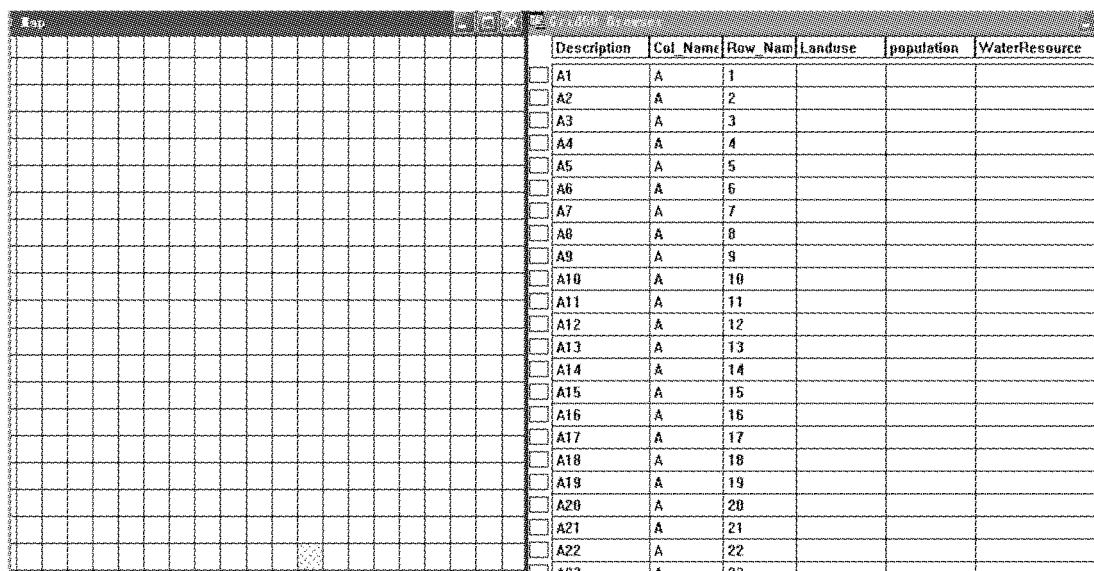
生态安全评价涉及到多级赋权,采用模糊 AHP 法。这种方法是采用模糊数学来改善 AHP 法的判断矩阵尺度,可避免多个指标同时赋权的混乱,并能更好地拟合实际生态环境问题,提高评价的准确性。首先运用层次分析法将任一层次上的各因子两两比较,构造比较判断矩阵,通过专家权衡,两两比较判断各指标之间的相对重要程度,然后用求和法计算权重,其比较结果用 L. Saaty 的 1~9 标度法^[23]。

$$\text{矩阵模型: } A = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nn} \end{pmatrix}, \text{矩阵中 } b_{ii} = 1, b_{ij} = 1/b_{ji}, b_{ij} \in [1/j, j], j \text{ 为整数且 } 1 \leq j \leq n, \text{采用求和}$$

法,计算权重,再将结果归一化处理: $A' = A_i / \sum_{i=1}^n A_i$, i 其中为因子, A' 为层次分析法最终所得权重,大连城市生态安全评价指标权重计算结果如表 1。

2.3.2 网格系统

网格系统是通过程序设计生成的一种正方形图形,是一种完全矢量的格式。正方形的大小可以根据研究区域的大小以及研究的尺度来决定。网格可以根据用户的需求设计多个字段,这些字段可以接受多源数据的属性值。



Description	Col Name	Row Name	Landuse	population	WaterResource
☐ A1	A	1			
☐ A2	A	2			
☐ A3	A	3			
☐ A4	A	4			
☐ A5	A	5			
☐ A6	A	6			
☐ A7	A	7			
☐ A8	A	8			
☐ A9	A	9			
☐ A10	A	10			
☐ A11	A	11			
☐ A12	A	12			
☐ A13	A	13			
☐ A14	A	14			
☐ A15	A	15			
☐ A16	A	16			
☐ A17	A	17			
☐ A18	A	18			
☐ A19	A	19			
☐ A20	A	20			
☐ A21	A	21			
☐ A22	A	22			

图 5 动态网格结构

Fig. 5 Structure of the dynamic grid

如图所示:用户根据自己的需求设计多个字段,用于接受多源数据的属性。这些属性的字段的选取是根

据用户的需求设计的,是个中开放的系统,所以网格的是一种动态变化的网格。

表 1 大连城市生态安全的指标体系以及权重(城市社区为统计单元)

Table 1 Urban ecological security indicators and weight of Dalian (statistical cell of urban community)

目标 Object	项目 Items	因素 Factors	指标 Indicators
城市生态安全(A) Urban Ecological Security	资源安全(B ₁) Resource Security 0.352	人口资源(C ₁) Population Resource 0.293	人口密度(D ₁)0.266 Population Density(D ₁)0.266 从业人口比例(D ₂)0.226 The Working Population Ratio(D ₂)0.226 人均期望寿命(D ₃)0.271 Average Life Expectancy(D ₃)0.271 专业、技术人员比例(D ₄)0.237 Professional, Technical Staff Ratio(D ₄) 0.237
		土地资源(C ₂) Land Resource0.364	建设用地指数(D ₅)0.215 Construction Land Index(D ₅)0.215 人均建筑面积(D ₆)0.185 The per Capita Floor Area(D ₆)0.185 人均道路面积(D ₇)0.199 The per Capita Road Area (D ₇)0.199 人均绿地面积(D ₈)0.223 The per Capita Green Area (D ₈)0.223 绿化率(D ₉)0.178 Green Rate (D ₉)0.178
		水资源(C ₃) Water Resource 0.343	人均用水量(D ₁₀)0.447 The per Capita Consumption of Water (D ₁₀) 0.447 单位水资源效益(D ₁₁)0.553 Water Efficiency Units (D ₁₁)0.553
	环境安全(B ₂) Environment Security 0.317	自然环境(C ₅) Natural Environment 0.376	水环境质量(D ₁₂)0.271 Water Quality(D ₁₂)0.271 大气环境质量(D ₁₃)0.245 Atmospheric Environment Quality(D ₁₃)0.245 噪声环境质量(D ₁₄)0.232 Noise Environmental Quality (D ₁₄)0.232 固体废弃物再利用(D ₁₅)0.252 Another Solid Waste Utilization(D ₁₅) 0.252
		经济环境(C ₄) Economy Environment 0.332	人均收入(D ₁₆)0.343 The per Capita Income(D ₁₆)0.343 公共服务设施投入(D ₁₇)0.330 Public Services Facilities(D ₁₇)0.330 科教投入指数(D ₁₈)0.327 Science and Technology Input Index (D ₁₈) 0.327
		社会环境(C ₆) Human Environment 0.292	平均文化水平(D ₁₉)0.527 Average Literacy(D ₁₉)0.527 文化活动中心覆盖率(D ₂₀)0.473 Coverage of Cultural Activities Center (D ₂₀)0.473
	调控(B ₃) Control 0.331	政策调控(C ₇) Policy and Control 0.523	法律、规划、管理(D ₂₁)0.486 Legal, Planning, Management(D ₂₁)0.486 环保投资指数(D ₂₂)0.514 Environmental Investment Index(D ₂₂)0.514
		公众参与(C ₈) Public Participation 0.477	公众环境满意率(D ₂₃)0.523 Public Satisfaction Ratio of Environment (D ₂₃)0.523 居民环境知识普及和参与率(D ₂₄)0.477 Residents of Environmental Literacy and Participation Ratio (D ₂₄)0.477

2.3.3 单元网格生态安全指数

MapInfo 中的 GridMaker 工具只能够在地理坐标下创建网格数据,需要运用 MapBasic 开发一个 GridMaker 程序能够在平面坐标系统下创建网格数据的程序。在 GridMaker 程序下创建 50m×50m 的标准网格,其网格的单元大小,要根据研究区域范围大小而定,大连城区共生成 490000 个单元格。城市生态安全数据库中的各个指标数据库是独立的,需要把他们的属性数据赋值给网格系统。采用 MapBasic 开发一个单元赋值程序 Assign,它能够实现生态安全指标数据赋值给 50m 的矢量网格系统。已知 DPSRC 体系中各城市生态安全指标层权重值,运用模糊综合比较法分别计算每个单元生态安全指数^[24,25],并通过标准化生成生态安全百分值。模糊综合比较方法:对于一个评价体系,假设有 n 个评价因素,则建立评价集合 $(u_1, u_2, \dots, u_n)$, m 个评价单元,每个因素 u_n 都有一个隶属度 $R = (r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1m})$,对于 n 个因素就有单因子评价矩阵 R ,则 $R =$

$\begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}$, 已知因子的权重分配 A' , $A' = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$, 其中 $a_i \geq 0$ 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 有 A 与 R 求模糊矩

阵 B , $B = \sum_{i=1}^n A' \cdot R$, 求出 $B = \sum_{i=1}^n (b_1, b_2, \cdots, b_m)$, 其中 $b_i = \sum_{j=1}^n (a_i, b_{ij})$, 对于多个体系的计算, 可以分别求出 B 的值, 然后进行比较, 最后对 B 的值作归一化处理, 计算成百分比及单元格生态安全指标综合得分, 得到指标的综合指数。建立大连城市生态安全 50m 矢量格网数据库。

3 大连城市生态安全分区

3.1 城市生态安全等级的判别确定

城市生态安全综合指数值需要采用极差标准化的方法, 将城市生态安全综合指数值转换为等级值。城市生态系统的结构、活力、组织能力、恢复力以及系统服务功能的机制极为复杂, 在实际研究工作中, 通常在较大范围和较大程度上采用定性的、模糊的和模拟的表征方法。根据大连城市生态安全数据库, 利用通过 GIS 空间叠置分析等 GIS 空间分析功能, 对各单元格不同分值进行分类, 生态安全指数越大, 生态安全程度就越高。依生态安全指数最小值与最大值就可确定生态安全等级的判别指标。大连城市生态安全按照 DPSRC 框架各因子综合指数分成 5 个类型区: 当 $0 \leq S \leq 10$, 评价单元为不安全区; 当 $10 < S \leq 20$, 评价单元为较不安全区; 当 $20 < S \leq 30$, 评价单元为生态安全过渡区; 当 $30 < S \leq 40$, 评价单元为次安全区; 当 $S > 40$, 评价单元为安全区。

3.2 大连城市生态安全空间差异与分析

在 MapInfo 下创建大连城市生态安全空间差异分布图, 如图 6 所示。大连城市生态安全空间差异分析: 生态安全区是沿大连市东部海岸, 这里的自然植被保护较好, 建筑物较少, 交通和公共服务设施较完善; 生态

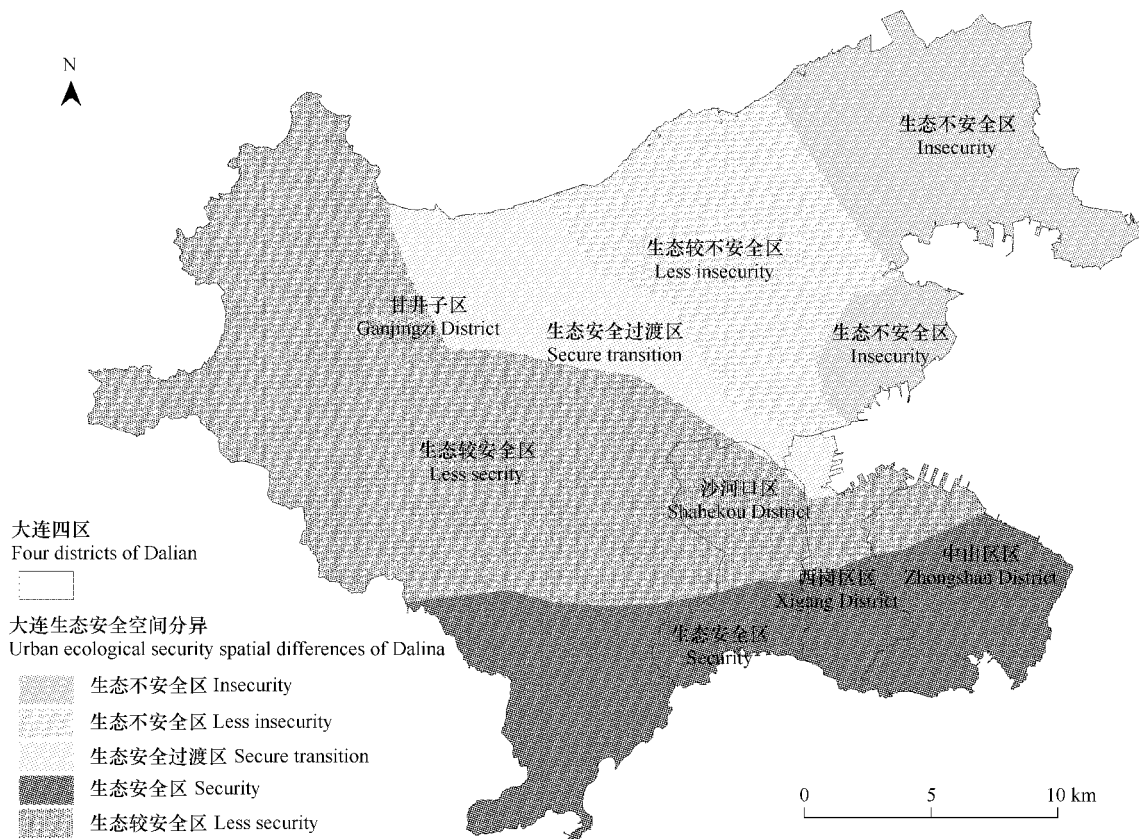


图 6 大连城市生态安全空间差异分布

Fig. 6 Urban ecological security spatial differences of Dalian

较安全区域是东部的商业发达区,交通和公共服务设施完善,但人口较稠密以及自然环境较好,交通和公共服务设施较欠缺的西部生态区;生态安全过渡区是交通和公共服务设施较欠缺,人口较稠密,有些小的工厂;生态较不安全区主要是交通和公共服务设施较欠缺,人口较稠密,交通条件较差,工厂较多;生态不安全区主要是东北部大型的石化工厂以及垃圾处理场,人口较稠密,交通条件较差。

4 结论与讨论

以 PSR、DSR、DPSIR 模型研究城市生态系统安全简单直接,可以为城市生态系统管理提供依据,但是由于此方法更强调人类因素,忽视了自然界的灾害因素(如气象灾害、洪水等),而且它更强调线性关系,却忽视了在现实世界中实际存在的复杂性(一对多、多对一和多对多的关系)问题。文章用 DPSRC 模型较好的解决多重生态指标间的相互联系,突出人在城市生态系统中的核心调节作用,为城市决策者正确分析与决策城市生态化发展方向提供更科学而直观的依据。

文章根据网络评价模型,构建的指标评价体系,并以大连市生态安全的数据代入,计算分析得到了大连市城市生态环境安全状况,根据城市生态环境安全警度判断得到大连市生态安全的五个类别,包括生态安全评价不安全单元;生态安全评价较不安全单元;生态安全评价过渡单元;生态安全评价次安全单元;生态安全评价安全单元。然后结合地理信息系统手段绘制出大连市城市生态安全空间差异分布图。

所建评价模型具有一般性,可用于不同区域生态安全因子的评价与比较,但是有些环节处理不太理想:一是城市生态安全评价中存在的最大问题是安全级别标准的科学判定,对于某些指标,可以依据相关研究成果确立其安全级别的最高值和最低值,但是还有大量的指标仍然需要多学科的深入研究;二是在城市生态安全的评价过程中,可以依据景观生态学的方法,充分利用地理信息系统技术和遥感图像以空间的形式表达评价结果,并可对其影响因子进行动态监测和动态评价,进行生态安全的预测与预警分析,构建起城市生态安全评价、预测和预警的完整体系。

References:

- [1] Kongjian Yu. Security Patterns and Surface Model in Landscape Ecological Planning. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 36(1): 1—17.
- [2] Harold C Relyea. Homeland Security and Information. *Government Information Quarterly*, 2002, 19(3): 213—223.
- [3] Shi X Q, Zhao J Z, OUYANG Z Y. Urban eco-security and its dynamic assessment method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3237—3243.
- [4] Lingxian Zhang, Qing Liu, Nigel W. Hall, *et al.* An environmental accounting framework applied to green space ecosystem planning for small towns in China as a case study. *Ecological Economics*, 2007, 60(3): 533—542.
- [5] Mörtberg U M, Balfors B, Knol W C. Landscape ecological assessment: A tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. *Journal of Environmental Management*, 2007, 82(4): 457—470.
- [6] Xiao D N, Cheng W B, Meng F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 354—358.
- [7] Ma K M, Fu B J, Li X Y, *et al.* The regional pattern for ecological security (RPES): the concept and theoretical basis. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 761—768.
- [8] Bell M, Dean C, Blake M. Forecasting the Pattern of Urban Growth with PUP: a Web-based Model Interfaced with GIS and 3D Animation. *Computers. Environment and Urban Systems*, 2000, 24(6): 559—581.
- [9] Pew K L, Larsen C P S. GIS Analysis of Spatial and Temporal Patterns of Human-caused Wildfires in the Temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2001, 140(1): 1—18.
- [10] Pirrone N, Trombino G, Cinnirella S, *et al.* The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Regional Environmental Change*, 2005, 5(2): 111—137.
- [11] Karageorgis A P, Skourtos M S, Kapsimalis V, *et al.* An integrated approach to watershed management within the DPSIR framework: Axios River catchment and Thermaikos Gulf. *Regional Environmental Change*, 2005, 5(2): 138—160.
- [12] Xiaoqing Shi, Jingzhu Zhao, Ouyang Zhiyun. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment. *Journal of Systems and Software*, 2006, 79(2): 246—252.
- [13] Kong H M, Zhao J Z, Ji L Z, *et al.* Assessment method of ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 13(4): 486—490.

- [14] Liu J J, Wang W J, Li C L. Study Evolution of Ecosystem Health. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15(1): 41—44.
- [15] Li X Y, Ma K M, Fu B J, *et al.* The regional pattern for ecological security (RPES): designing principles and method. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1055—1062.
- [16] Bakkes J A, van den Born G J, Helder J C, *et al.* An overview of environmental indicators: State of the art and perspectives, Report nr UNEP/EATR. 94-01; RIVM/.402001001. Nairobi/Bilthoven: UNEP/RIVM.
- [17] David Niemeijer, Rudolf S. de Groot. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. *Environment, Development and Sustainability*, 2006.
- [18] Han Y P, Ruan B Q. Research on Evaluation Index System of Water Safety. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(2): 267—272.
- [19] ZHAO Y Z, Bao C L, Zou X Y, *et al.* Ecological Security Assessment and Eco-environment Construction of Xigazê Prefecture on Tibetan Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(1): 33—39.
- [20] Xu H G, Bao H S. On the methods of ecological security design for nature reserves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1266—1270.
- [21] Zuo W, Zhang G L, Wan B W, *et al.* Study of Determining the GIS Raster Size in Mid-scale Ecological Assessment Research. *Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica*, 2003, 23(3): 267—271.
- [22] Zuo W, Zhou H Z, Zhu X H, *et al.* Integrated evaluation of ecological security at different scales using remote sensing: a case study of Zhongxian County, the Three Gorges area, China. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 456—464.
- [23] Yang J, Li X M, Wang L, *et al.* Assigning Technology Based Terrain Analysis and Its Application. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005, 1: 61—62.
- [24] Zhao H C, Xu S B, He J S. *Analytic Hierarchy Process*. Beijing: Science Press, 1986. 3—5.
- [25] Wang G, Wang L. Study on City Eco-environmental Quality and Effect Evaluation Based on MapInfo — A Case of Chaoyang. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(1): 13—6.
- [26] Wei Q Y. *Mathematical Models (Second Edition)*. Beijing: Higher Education Press, 1993. 305—335.

参考文献:

- [3] 施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. *生态学报*, 2005, 25(12): 3237—3243.
- [6] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354—358.
- [7] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761—768.
- [13] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 等. 生态系统健康评价方法初探. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 486—490.
- [14] 刘建军, 王文杰, 李春来. 生态系统健康研究进展. *环境科学研究*, 2002, 15(1): 41—44.
- [15] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 等. 区域生态安全格局: 设计原则与方法. *生态学报*, 2004, 24(5): 1055—1062.
- [18] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究. *环境科学学报*, 2003, 23(2): 267—272.
- [19] 赵延治, 张春来, 邹学勇, 等. 西藏日喀则地区生态安全评价与生态环境建设. *地理科学*, 2006, 26(1): 33—39.
- [20] 徐海根, 包浩生. 自然保护区生态安全设计的方法研究. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1266—1270.
- [21] 左伟, 张桂兰, 万必文, 等. 中尺度生态评价研究中的格网空间尺度的选择与确定. *测绘学报*, 2003, 23(3): 267—71.
- [23] 杨俊, 李雪铭, 王利, 等. 基于赋值技术地形分析及应用. *测绘通报*, 2005, 1: 61—62.
- [24] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. *层次分析法*. 北京: 科学出版社, 1986. 3—5.
- [25] 王耕, 王利. 基于 MapInfo 的城市生态环境质量与影响评价研究. *水土保持研究*, 2004, 11(1): 13—6.
- [26] 姜启源. *数学模型 (第2版)*. 北京: 高等教育出版社, 1993. 305—335.

$$\begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix}$$
, 已知因子的权重分配 A' , $A' = (a_1, a_2, \cdots, a_n)$, 其中 $a_i \geq 0$ 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 有 A 与 R 求模糊矩

阵 B , $B = \sum_{i=1}^n A' \cdot R$, 求出 $B = \sum_{i=1}^n (b_1, b_2, \cdots, b_m)$, 其中 $b_i = \sum_{i=1}^n (a_i, b_{ij})$, 对于多个体系的计算, 可以分别求出 B 的值, 然后进行比较, 最后对 B 的值作归一化处理, 计算成百分比及单元格生态安全指标综合得分, 得到指标的综合指数。建立大连城市生态安全 50m 矢量格网数据库。

3 大连城市生态安全分区

3.1 城市生态安全等级的判别确定

城市生态安全综合指数值需要采用极差标准化的方法, 将城市生态安全综合指数值转换为等级值。城市生态系统的结构、活力、组织能力、恢复力以及系统服务功能的机制极为复杂, 在实际研究工作中, 通常在较大范围和较大程度上采用定性的、模糊的和模拟的表征方法。根据大连城市生态安全数据库, 利用通过 GIS 空间叠置分析等 GIS 空间分析功能, 对各单元格不同分值进行分类, 生态安全指数越大, 生态安全程度就越高。依生态安全指数最小值与最大值就可确定生态安全等级的判别指标。大连城市生态安全按照 DPSRC 框架各因子综合指数分成 5 个类型区: 当 $0 \leq S \leq 10$, 评价单元为不安全区; 当 $10 < S \leq 20$, 评价单元为较不安全区; 当 $20 < S \leq 30$, 评价单元为生态安全过渡区; 当 $30 < S \leq 40$, 评价单元为次安全区; 当 $S > 40$, 评价单元为安全区。

3.2 大连城市生态安全空间差异与分析

在 MapInfo 下创建大连城市生态安全空间差异分布图, 如图 6 所示。大连城市生态安全空间差异分析: 生态安全区是沿大连市东部海岸, 这里的自然植被保护较好, 建筑物较少, 交通和公共服务设施较完善; 生态

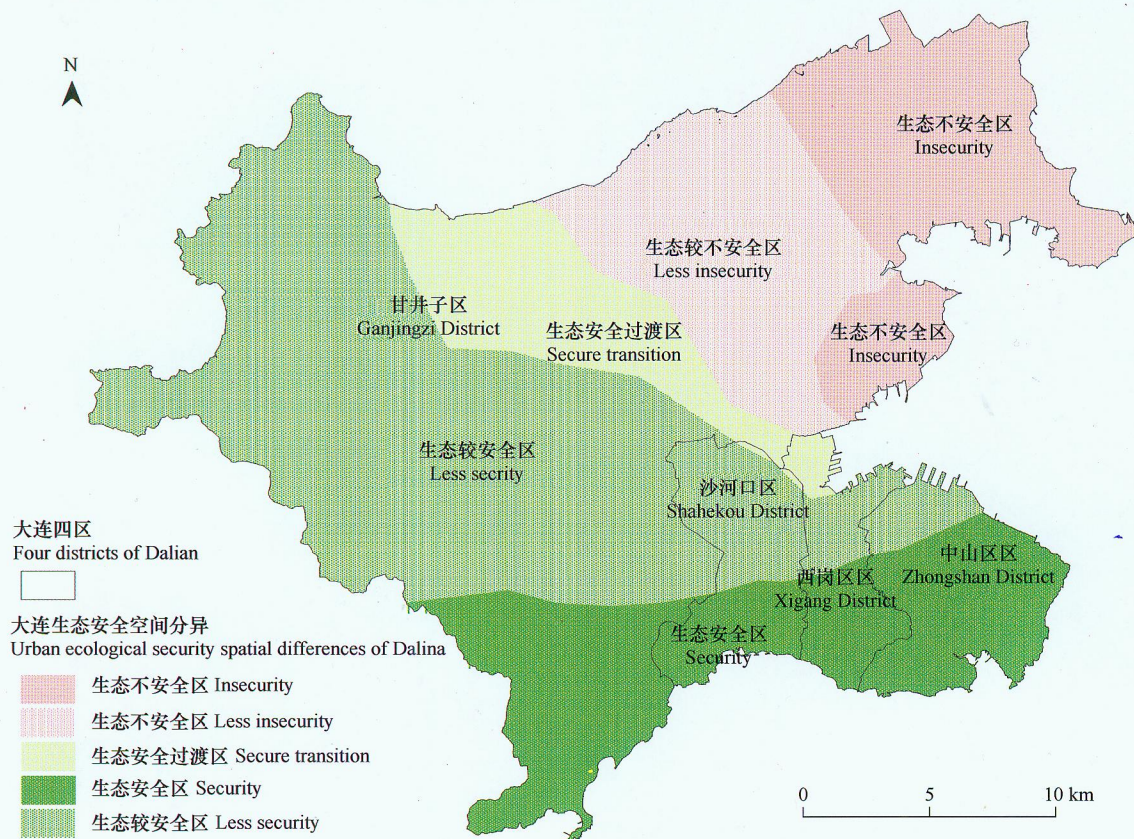


图 6 大连城市生态安全空间差异分布

Fig. 6 Urban ecological security spatial differences of Dalian