生态学杂志 Chinese Journal of Ecology 2014,33(2):477-485

DOI:10.13292/j.1000-4890.2014.0032

烟台市城镇空间扩展及区域景观生态风险*

周 迪[1,2] 施 平[1**] 吴晓青[1] 马金卫[3] 梁守真[4]

([1]中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所),山东省海岸带环境过程重点实验室,山东烟台 264003;[2]中国科学院大学,北京 100049;[3]山东省临朐第一中学,山东临朐 262600;[4]中国科学院深圳先进技术研究院,广东深圳 518055)

摘 要 采用遥感、GIS 及数理统计方法,引入城市扩展强度指数研究了烟台市区 1974—2009 年城镇空间扩展时空变化特征,并利用景观指数和生态风险指数,研究了 1990—2009 年在城镇扩展下的烟台市区城镇景观格局动态变化和区域生态风险空间特征。结果表明:1974—2009 年,烟台市区城镇用地面积增幅 189.77 km^2,其中 2004—2009 年城镇用地扩展强度指数是 1974—1990 年的 3.92 倍。城镇和耕地分别是研究区土地利用面积变化最显著的两大类型,土地利用格局景观指数变化反映出该期间人类活动干扰强度逐渐加剧。研究区景观生态风险呈圈层状分布,靠近海岸线的区域生态风险较高,远离海岸线的内陆生态风险则较低。2009 年高生态风险区和较高生态风险区比例是 1990 年的 2.23 倍,城镇扩展强度与区域生态风险之间呈现良好的线性关系。

关键词 城镇扩展;景观格局;生态风险;烟台市

中图分类号 Q149 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)2-0477-09

Urbanization spatial expansion and regional landscape ecological risk of Yantai City.

ZHOU Di[1,2], SHI Ping[1**], WU Xiao-qing[1], MA Jin-wei[3], LIANG Shou-zhen[4] ([1]*Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences; Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Environmental Processes, Yantai* 264003, *China*; [2]*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; [3]*Linqu First Middle School, Linqu* 262600, *Shandong, China*; [4]*Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen* 518055, *Guangdong, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(2): 477-485.

Abstract: By methods of remote sensing, GIS and mathematical statistics, together with urbanization intensity index, the spatial-temporal evolution characteristics of urbanization expansion of a coastal city, Yantai from 1974 to 2009 were studied. Meanwhile, based on landscape pattern metrics and ecological risk index, we studied the landscape pattern dynamic changes and spatial characteristics of landscape ecological risk during 1990-2009 under condition of urban expansion. The results showed that the area of urban land increased by 189.77 km^2 during 1974-2009 and the average annual expansion area was 5.42 km^2. The urbanization intensity index during 2004-2009 was 3.92 times of that during 1974-1990. The most significant changes of land uses were urban land and farmland. The changes of landscape pattern metrics for land use patterns indicated that the intensity of human activities was increasing gradually in this period. The landscape ecological risk pattern of Yantai City appeared as a circle distribution along the coastline. The farther the distance to the coastline, the smaller the ecological risk index was. The ratio of high ecological risk and sub-high ecological risk zones of the study case in 2009 was 2.23 times of that in 1990. A significant linear relationship of urbanization intensity index and regional ecological risk was observed in the study.

Key words: urbanization expansion; landscape pattern; ecological risk; Yantai City.

* 国家自然科学基金项目(30800149)和国家海洋局海洋公益性行业科研专项(201005009)资助。

**通讯作者 E-mail: pshi@yic.ac.cn

收稿日期:2013-07-06 接受日期:2013-11-12

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进入20世纪，随着社会生产力提高，我国城市扩展速度和规模快速发展。国家统计局2012年8月发布报告显示，2002—2011年，我国城镇化率以平均每年1.35个百分点的速度发展。截止2011年，我国城镇人口总数为69079万人，城镇化率达到51.27%，首次超过50%，已经进入了快速发展阶段。2012年我国城镇化发展情况分析报告指出：在今后10年间，我国城镇化率将以平均每年1个百分点的速度递增，至2020年城镇化水平为60.57%，达到中等发达国家水平。据联合国人口基金会预测，2030年我国城市居民将增加到9.1亿，城市化水平将达到64%。目前，我国沿海地区分布着全国40%以上的人口和70%以上的城市（刘兰和韩洪蕾，2007），预计2020年，我国东部沿海各省城市化水平可达60%（周刚华和贾生华，2001）。而城市化带来人类活动的高度集聚，给海岸带生态环境带来越来越大的压力（许学工等，2006）。

从景观角度上看，城市化可理解为一种土地利用/覆被景观转变的过程，即从由水、土、植被等要素组成的自然景观转变为由水泥、沥青、化工材料、金属等要素组成的人工景观。另外，土地利用/覆被空间格局的变化也可看成是景观斑块形状、面积、数量和空间组合的变化，以景观几何特征为基础的景观格局指数可以较好地反映土地利用/覆被的空间格局（Li *et al.*，2010）。随着遥感和GIS技术发展，借助城市扩展与土地利用变化模型，识别潜在的生态环境影响，成为指导城市规划管理，规避区域生态风险的重要手段（吴晓青等，2009；Li *et al.*，2010；秦贤宏等，2010；林燕芬等，2011；张莹等，2012）。

目前，国际上有关滨海地区土地利用变化和城市扩展的研究较多（Liu *et al.*，2008；Li *et al.*，2010；杜宇飞等，2012；Bhagyanagar *et al.*，2012；Cai *et al.*，2012；Merlotto *et al.*，2012；Paula *et al.*，2013），而我国这方面研究主要集中在黄河（郭笃发，2006；武桂贞，2008）、长江（Ji *et al.*，2001；Yin *et al.*，2011）、珠江三角洲（Hua *et al.*，2010；Li *et al.*，2011）和环渤海地区（李德一等，2008；Guo *et al.*，2009；高宾等，2011）等区域的省市地区或大型城市。针对我国北方滨海地区中小型城市的扩展研究相对较少，研究内容也仅涉及土地利用时空变化特征、城市扩展驱动力机制及区域生态风险等几个方面（张安定等，2007；刘艳芬，2007；张继平等，2008；马金卫等，2012）。本文以我国首批14个沿海开放城市之一的北方滨海城市——烟台市为研究对象，借助遥感、GIS手段和数理统计方法，从景观生态学角度探讨烟台市城镇空间扩展特征及其所导致的城镇景观格局动态变化与生态风险空间特征，分析烟台城镇空间扩展与区域景观生态风险的关系，以期为促进城市建设与生态环境保护的相互协调，正确评价人类活动对滨海城市生态系统的影响，为滨海城市可持续发展和科学管理提供借鉴。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

烟台位于山东半岛东部，北临渤海黄海，东连威海，与潍坊、青岛毗邻，全境面积13746.5 km^2，总人口696万人，作为中国首批14个沿海开放城市之一的北方滨海城市，是环渤海经济圈内以及东北亚地区的重要城市。此次研究选取烟台市辖区（图1）为研究对象，地理坐标为121°15′E—121°56′E，37°04′N—37°38′N，包括芝罘区、莱山区、福山区、烟台经济技术开发区（简称开发区）和牟平区，北临黄海，面积2721.04 km^2，海岸线长167.60 km。地貌属于低山区，区内地形起伏和缓。境内主要河流为大沽夹河、辛安河和沁水河，向北注入黄海。近海自西向东分布有套子湾、芝罘湾和四十里湾。区域气候属暖温带大陆性季风气候，年平均降水量为651.90 mm，年平均气温11.8 ℃。

烟台农业发达，以粮油、果品、蔬菜、畜牧、水产为主要支柱，工业以轻纺、机械、建材、电子、冶金、医药等行业为主，同时作为一个滨海城市，港口经济和旅游业近年来发展迅速，第三产业增长加快。2009年

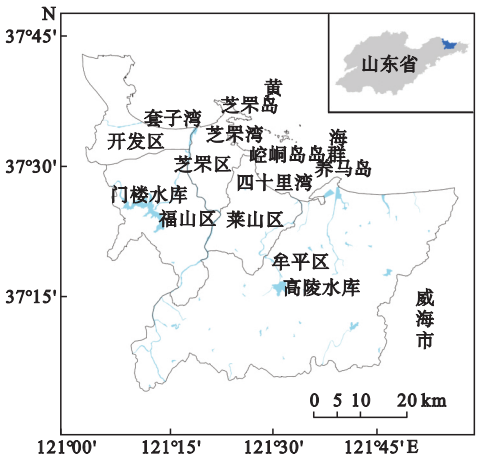

图1 研究区位置示意图
Fig. 1 Location map of the study area

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

烟台市政府工作报告显示,烟台市辖区国民生产总值(GDP)达到1553亿元。同时,研究区加大城镇基础建设,如烟台机场、烟威高速、烟台港西港、青烟威荣城际铁路等建设工程。随着经济发展和交通便利,城镇化率逐年提高,城市人口也快速增长。根据烟台市第六次全国人口普查公报,截至2010年11月,研究区人口已达到222.77万人。

1.2　研究方法

1.2.1　数据源和数据处理　此次研究选取的5个时相的美国陆地卫星影像,成像时间分别为1990年6月2日的Landsat TM影像、1995年9月20日的Landsat TM影像、2000年6月12日的Landsat ETM影像、2004年11月9日的Landsat TM影像和2009年7月15日的Landsat TM影像,轨道号均为P119/R34,影像分辨率为30 m(热红外波段除外)。辅助数据包括烟台市1974年1∶10万地形图、2000年1∶5万地形图,2004年1∶5万DEM,1997—2010年烟台市1∶15万总体规划图、烟台市行政区图和交通图等。统计资料包括烟台市统计年鉴(1986年、1991—2009年)及其他社会经济和人口等数据。其中,土地利用景观格局动态变化和区域生态风险评估采用1990、2000和2009年3个时相的遥感影像。

为减少数据变形误差,并使不同来源和投影坐标的数据具有统一空间参考,对1990、1995、2000、2004、2009年的Landsat遥感影像数据进行辐射校正、几何校正、裁剪、图像增强等预处理,校正误差控制在1个像素以内。处理后的遥感影像在ArcGIS 9.3软件平台下进行人工解译,参考中国科学院地理科学与资源研究所的全国土地利用矢量数据以及1974年地形图,生成研究区1974、1990、1995、2000、2004年和2009年城镇用地图层。此外,结合研究目的和实际情况,以及《土地利用现状分类》国家标准(GB/T 21010—2007),将研究区土地利用类型分成8个一级类:城镇用地、耕地、果园、林地、草地、水域、其他建设用地、其他用地(包括裸地、沙滩等),分别得到研究区1990、2000和2009年三期土地利用图。结合实地调查及野外GPS定点验证,通过分类误差及Kappa系数,总体分类精度在85%以上,满足此次研究要求。

1.2.2　城镇空间扩展定量分析方法　此次研究采用城镇扩展强度指数对研究区1974—2009年的城镇用地扩展情况进行定量分析。城镇扩展强度指数(urbanization intensity index,I_{ue})是指用空间单元的土地面积对其年平均扩展速度进行标准化处理,从而使不同时期的城镇扩展速度具有一定的可比性。研究中采用该指数来比较分析烟台市区各历史时期城镇扩展的强度和快慢,其表达式如下:

$$I_{ue} = \frac{\Delta U_i \times 100}{TLA \times \Delta t} \tag{1}$$

式中,I_{ue}代表扩展强度指数,$\triangle U_i$为某一研究时段城镇用地扩展面积,TLA为研究区土地总面积,$\triangle t$为某一研究时段的跨度。

1.2.3　土地利用景观格局分异特征分析方法　景观格局定量分析主要有景观格局指数分析法、转移矩阵、空间统计学等。其中,景观指数分析法是目前使用较多的一种定量研究方法。此次选取最大斑块(largest patch index,LPI)、平均斑块面积(patch area mean,AREA_MN)、边界密度(edge density,ED)、平均分维数(mean fractal dimension index,FRAC_MN)、多样性(Shannon's diversity index,SHDI)、均匀度(Shannon's evenness index,SHEI)、优势度(dominance)、蔓延度(contagion index,CONTAG)8种景观格局指数来分析研究区1990—2009年城镇化过程中的土地利用格局景观组成特征及演变规律。利用ArcGIS 9.3软件将研究区1990、2000和2009年土地利用图转为Grid格式,空间粒度大小为60 m,然后在Fragstats 3.3软件平台下进行景观指数计算。其中,各景观指数含义及计算方法如下:

(1)最大斑块指数表示某一类型的最大斑块在整个景观中所占比例:

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100\% \tag{2}$$

式中,LPI为最大斑块指数,A为景观总面积,a_{ij}为第i类景观要素中第j个斑块。

(2)平均斑块面积是反映某类景观要素斑块规模的平均水平:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N_i} A_{ij} \tag{3}$$

式中,$\bar{A}_i$为平均斑块面积,N为斑块总数,N_i为第i类景观要素的斑块总数,A_{ij}为第i类景观要素中第j个斑块的面积。

(3)边界密度指景观范围内单位面积上异质景观要素斑块间的边缘长度。景观中所有斑块边界(m)总长度除以景观总面积(m^2)。其公式为:

$$ED = \frac{E}{A} \times 10^{-6} \tag{4}$$

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

式中：ED 为边界密度，E 为斑块边界，A 为景观总面积。

(4) 分维数指数表达式为：

$$D=2\ln(p/4)/\ln A \quad (5)$$

式中，D 为分维数，p 为斑块周长，A 为斑块面积。D 值理论范围为 1.0～2.0，其值越大，表示斑块形状越复杂。

(5) 景观多样性指数反映景观类型的丰富度和复杂度，其公式为：

$$H=-\sum_{k=1}^{n}(p_k\ln p_k) \quad (6)$$

式中，H 为景观多样性指数，p_k 为第 k 类景观元素所占的面积比例，n 为景观中斑块类型的总数（王宪礼等，1997）。

(6) 景观均匀度指数是用于描述某一景观类型中由少数几个主要景观类型控制程度的指标。其公式为：

$$E=H/H_{\max}=-\sum_{k=1}^{n}(p_k\ln p_k)/\ln n \quad (7)$$

式中，E 为景观均匀度指数，p_k 为 k 斑块的面积与整个景观面积之比，$H_{\max}$ 为各类斑块面积相等时的最大多样性，n 为该类景观斑块总数。E 越大，均质性越强。当 E 趋于 1 时，景观中斑块分布的均匀程度最大（王秋霞和郑苏明，2008）。

(7) 景观优势度指数：表达公式为：

$$D_o=H_{\max}+\sum_{k=1}^{n}(p_k\ln p_k) \quad (8)$$

式中，D_o 为景观优势度指数，$H_{\max}$ 为各类斑块面积相等时的最大多样性，p_k 为 k 斑块的面积与整个景观面积之比，当研究区内各类景观所占比例相等时，$H_{\max}$ 为景观最大的多样性指数（孙娟等，2006）。

(8) 景观蔓延度指数是描述景观中不同斑块类型的团聚程度或延展趋势。其值越高，说明景观中的某种优势拼块类型形成了良好的连接性；反之则表明景观的破碎化程度较高（邬建国，2000）。

1.2.4 区域生态风险及与城镇空间扩展强度关系分析方法 为分析城镇扩展所导致的景观生态风险空间差异，研究引入生态风险指数（ecological risk index，ERI）来描述不同历史时期的烟台市景观生态风险值。其计算公式为：

$$ERI=\sum_{i=1}^{N}\frac{A_i}{A}w_i \quad (9)$$

式中，ERI 为生态风险指数，i 为土地利用类型数，A_i 为研究区域内第 i 种土地利用类型的总面积，A 为研究区总面积，w_i 为第 i 种土地利用类型所反映的综合生态风险强度参数。

研究采用层次分析法（AHP）确定各类用地的权重 w_i，城镇建设用地为 0.2909，耕地为 0.1344，果园为 0.1158，林地为 0.0339，草地为 0.0528，水域为 0.0413，其他建设用地为 0.1981，其他用地为 0.0695。经验证，判断矩阵的一致性检验均合格，且层次总排序后，判断矩阵的总体一致性指标为 0.0170（<0.1）。因此，判断矩阵具有良好的一致性。

由于生态风险指数本身是一种空间变量，可以利用地统计学方法进行空间特征分析。按照 3 km×3 km 单元网格对研究区进行系统采样，共分成 370 个网格，分别计算每个采样网格的生态风险值，以此作为采样网格中心点的生态风险值。然后，基于经典统计学方法，充分考虑到空间变量的变化特征，以半变异函数作为工具，运用 ArcGIS 地统计分析（Geostatisical Analyst）模块，计算出实验变异函数，并运用球状模型进行拟合检验，再利用普通 Kriging 法进行内插，从而分析研究区 1990—2009 年的区域生态风险情况。

在此基础上，结合各网格内的城镇扩展强度和景观生态风险变化值，选择有值网格进行回归分析，以定量分析城镇空间扩展与区域生态风险之间的关系。

2 结果与分析

2.1 烟台城镇空间扩展时空演变特征

从研究区 1974—2009 年城镇用地扩展分布（图 2）可以看出，受海岸线地域限制，研究区城镇用地主要沿海岸线条带状分布，呈西延东扩趋势，并逐渐向南扩展。烟台作为一个港口城市（1861 年正式开埠），1974 年城镇用地主要集中在芝罘区的烟台港地区，芝罘区西南部的只楚地区和牟平区主城区仅有零星的城镇用地分布。1974—1990 年，受改革开放政策影响，经济快速发展，芝罘区城镇面积大幅增长，向西部扩展，原来非城镇热点地区（幸福街道、世回尧街道地区）已变为城镇热点用地。进入 1990 年，芝罘区已成为烟台市的绝对中心城区，但此后受地域发展限制，开始向北部芝罘岛扩展，同时按照烟台市提出的南部滨河生态智慧新城总体战略规划，芝罘区南部的黄务镇也逐渐成为新的城镇用地热点区。在此期间，福山区（福新街道）和牟平区主城区

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

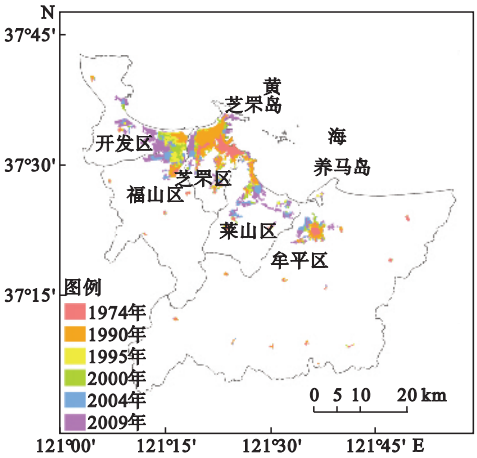

图 2　研究区 1974—2009 年城镇用地空间分布示意图

Fig. 2　Spatial distribution of urbanization expansion in the study area (1974–2009)

有较大幅度的城镇面积增长。莱山区在此阶段发展不明显。2000—2009 年,研究区城镇面积迅速扩大,芝罘区和开发区东部、福山区西北部已接壤。莱山区受烟台市政府迁址、交通(荣乌高速、烟海高速、莱山机场等)及沿海岸带一系列规划带动影响,城镇用地迅猛发展,出现了"初家-莱山机场"增长极和多个组团增长区(滨海路街道、解甲庄街道、院格庄街道等),并沿海岸线逐渐向牟平区靠拢。此外,开发区东部的城镇用地与芝罘区和福山区交接,同时受烟台港西港区规划政策带动,西北部地区(八角街道和古现街道)的城镇面积扩张明显。福山区的城镇用地增长主要集中在福山区政府地区,向北扩展并跨过内夹河,与开发区形成交接之势。而牟平区主要集中在牟平区主城区,南部(如大窑镇、观水镇、高陵镇、姜格庄镇等地)有零星城镇用地分布。

借助城镇扩展强度指数定量分析(表1)可知,

表 1　研究区各历史时段城镇扩展情况

Table 1　Urbanization extension of the study area in different historical periods

年份	扩展面积 (km^2)	扩展贡献率 (%)	年均扩展速率 ($km^2 \cdot a^{-1}$)	扩展强度指数
1974—1990	52.81	27.83	3.30	0.12
1990—1995	21.64	11.40	4.33	0.16
1995—2000	23.12	12.18	4.62	0.17
2000—2004	28.20	14.86	7.05	0.26
2004—2009	64.00	33.73	12.80	0.47
1974—2009	189.77	100.00	5.42	0.20
1990—2000	44.76	32.68	4.48	0.16
2000—2009	92.20	67.32	10.24	0.38
1990—2009	136.96	100.00	7.21	0.26

1974 年烟台市区城镇用地面积仅为 29.43 km^2,到 1990 年迅速增加到 82.24 km^2,是 1974 年的 2.79 倍。此后,经过 19 年的城市发展,到 2009 年城镇用地面积再次翻番,达到 219.20 km^2。1974—2009 年,研究区城镇用地面积从 29.43 km^2 增长到 219.20 km^2,增幅达 189.77 km^2,年均扩展强度 5.42 km^2。从不同时段的城镇用地扩展情况来看,1974—1990、1990—1995 和 1995—2000 年的年均扩展速率保持平稳,扩展强度指数均在 0.15 左右,呈增长趋势。从 2000 年开始,研究区城镇扩展进入快速发展期,尤其是进入 2004—2009 年,城镇用地面积增加 64.00 km^2,速度扩展速率达 12.80 km^2,扩展强度指数达到 0.47,是 1974—1990 年间的 3.92 倍。这些数据表明研究区城镇化扩展强度逐渐加强,城镇化进程速度明显加快。

2.2　烟台城镇土地利用景观格局动态变化

图 3 可以看出,研究区主要土地利用类型为耕地,随着城镇化进程推进,城镇用地扩展迅速,耕地面积逐步减少。耕地面积从 1990 年的 1318.33 km^2 减少到 2009 年的 1081.05 km^2(降幅 237.28 km^2),比重从 48.45% 降低到 39.73%。城镇用地增幅最快,达到 136.96 km^2,果园和其他建设用地面积增加,耕地、草地和其他用地面积减少,林地和水域面积变化不大。

分时段来看,1990—2000 年,耕地面积大幅减少,果园和城镇用地面积增幅明显,林地、水域和其他建设用地面积略有增加,其他用地面积略有减少。造成这一期间土地利用变化的主要原因是随着经济发展和人口增长,耕地作为一种较易被转化的土地类型逐步被开发为城镇用地。同时,随着城乡土地市场日益发育,土地价值差异逐渐显现,不同土地利用类型的价格差别较大,受经济利益驱动,有部分耕地逐渐向经济价值高的果园(如苹果园、葡萄园等)转移。而其他用地(裸地、沙滩等)作为一种闲置用地且靠近海边,极易转化为水域(用于养殖)和其他建设用地等用地类型。2000—2009 年,城镇建设用地面积继续保持增长状态,所占面积比重由 2000 年的 4.67% 迅速上升到 2009 年的 8.06%。耕地面积继续下降,其作为第一主导土地利用类型的优势地位显著降低。果园面积继续增加,增幅为 32.95 km^2。林地、草地和其他用地面积减少,其原因主要是受经济政策影响,特别是 2000 年以后,滨海城市的房地产业逐渐向海岸带地区(尤其是濒海地带)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

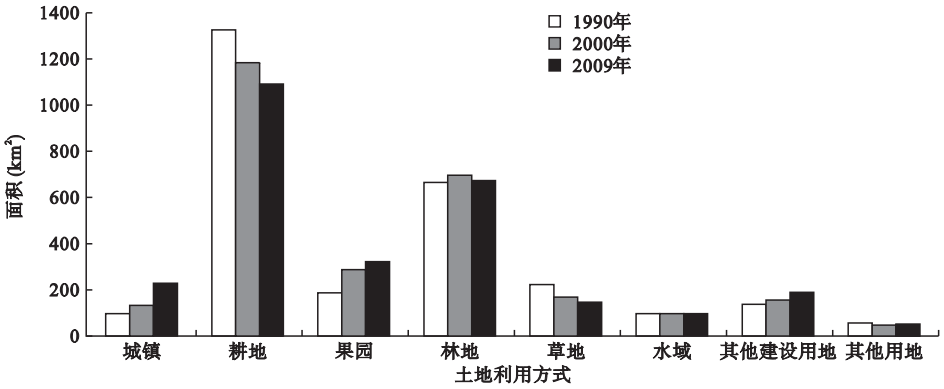

图 3 1990、2000 和 2009 年研究区土地利用结构状况

Fig. 3 Comparison of land use structure of the study area in 1990, 2000 and 2009

发展,大批近岸沙滩、裸地等被开发为海岸住宅区。同时,由于城镇化导致的人类活动影响日益明显,林地砍伐等环境破坏现象增多,造成水土流失等生态问题。

通过对研究区进行土地利用景观格局指数分析(表 2),可以看出,1990—2009 年研究区土地利用格局景观指数变化明显,最大斑块优势明显降低,平均斑块面积增加,边界密度和斑块复杂性增加,景观破碎化较为明显。各种土地利用类型之间相互聚集,景观连通性降低,景观多样性增加,优势度降低,说明城镇化过程中的人类活动干扰强度逐渐加剧。

2.3 烟台城镇景观区域生态风险空间特征

按照自然断裂点法将区域生态风险值划分为五级,Ⅰ表示低生态风险、Ⅱ表示较低生态风险、Ⅲ表示中等生态风险、Ⅳ表示较高生态风险、Ⅴ表示高生态风险,从而得到研究区 1990、2000 和 2009 年的景观生态风险空间分布情况(图 4)。可以看出,研究区景观生态风险总体布局沿海岸线逐层向内,呈圈层状分布。靠近海岸线的区域,生态风险较高;远离海岸线的内陆,生态风险则较低。1990 年,研究区以中低生态风险区为主,面积可占 84.12%,高生态风险区和较高生态风险区主要集中在芝罘区周边地区,面积分别为 37.39 和 300.94 km^2,所占面积分别为 1.39% 和11.07%。随着城市快速发展,城镇建

表 2 1990—2009 年土地利用格局景观指数动态变化

Table 2 Dynamic change of landscape metrics from 1990 to 2009

年份	LPI	AREA_MN	ED	FRAC_MN	SHDI	SHEI	Dominance	CONTAG
1990	23.32	87.38	32.79	1.0671	1.55	0.71	0.29	54.49
2000	22.20	89.04	33.25	1.0679	1.62	0.74	0.26	52.72
2009	20.35	89.86	33.25	1.0682	1.68	0.76	0.24	51.26

LPI 为最大斑块指数,AREA_MN 为平均斑块面积指数,ED 为边界密度指数,FRAC_MN 为平均分维数指数、SHDI 为多样性指数,SHEI 为均匀度指数、Dominance 为优势度指数,CONTAG 为蔓延度指数。

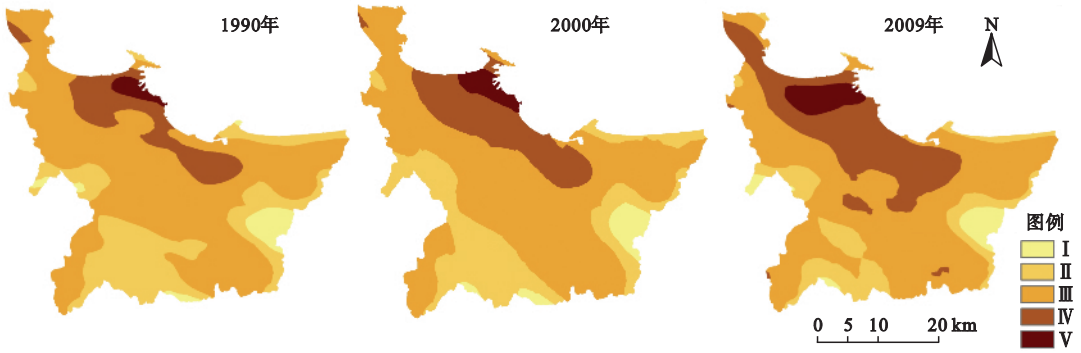

图 4 1990—2009 年研究区景观生态风险空间分布示意图

Fig. 4 Spatial distribution of ecological risk from 1990 to 2009

Ⅰ. 低生态风险; Ⅱ. 较低生态风险; Ⅲ. 中等生态风险; Ⅳ. 较高生态风险; Ⅴ. 高生态风险。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

设用地面积不断增加，到 2009 年高生态风险区和较高生态风险区比例上升，两者合计比例占到 27.76%，是 1990 年的 2.23 倍。较低生态风险区面积减少至 388.21 km^2，减幅达 266.47 km^2。

从不同时段来看，1990—2000 年变化较大的是中等生态风险区和较高生态风险区，变化值分别为 -82.14 和 85.27 km^2; 2000—2009 年，变化较大的是较低生态风险区和较高生态风险区，变化面积达到-241.16 和 264.43 km^2。不同时段所表现出来的生态风险差异，与研究区城镇扩展趋势一致，后一时段的城镇扩展强度明显高于前一时段。1990—2009 年，经济发展和人口增加带来的城镇化使得高生态风险区不再局限于芝罘区的芝罘港地区，开始逐渐向西部和南部的内陆地区延伸，到 2009 年已扩展到西侧的开发区; 而芝罘区北部沿海原来的高生态风险区由于海岸带生态保护规划的实施而进行了岸线整治及生态修复，从而生态风险有所降低。同样，较高生态风险区不仅限制于近岸线区域，呈现沿海岸线向内陆区扩展。受经济利益驱动，1990—2000 年有大量耕地转化为果园(如苹果园、葡萄园等) ，西北部开发区原有的较高生态风险区出现了位置偏移和面积缩小，但此后进入 2000 年，受烟台港西港建设，开发区的较高生态风险区范围再次大面积扩展，逐渐与芝罘区连成一片。中等生态风险区和较低风险区主要存在于内陆地区，近年来随着人类活动开发加强，环境受保护强度不够，西南部和南部的低生态风险区面积不断减少。低生态风险区主要位于昆嵛山地区。由于高城镇化伴随着高生态风险，研究区虽以中低生态风险区为主，但优势已明显下降，高生态风险区和较高生态风险区面积增幅明显，并且不再限制于芝罘区的近岸线区域，开始向内陆区扩展。

2.4　烟台市区城镇空间扩展与区域景观生态风险关系

从上述分析可以看出，不同等级景观生态风险的空间分布与城镇扩展趋势基本一致。1990—2000 年，城镇扩展主要集中在芝罘区、开发区东部和福山区东北部，其他地区的城镇扩展速度相对较小。2000—2009 年，芝罘区芝罘港周围、开发区西北部和莱山区中心区域的城镇扩展强度最高，开发区东部、福山区北部、莱山区东部和牟平区中心区域的城镇扩展强度次之。因此，高生态风险区域和较高生态风险区域也随着城镇扩展强度的外推而扩大，使得中低生态风险区面积逐渐缩小。只有牟平区内陆的昆嵛山森林公园区域受环境政策保护和地形地势因素限制，较少受到城镇化进程影响，生态风险始终保持较低水平。

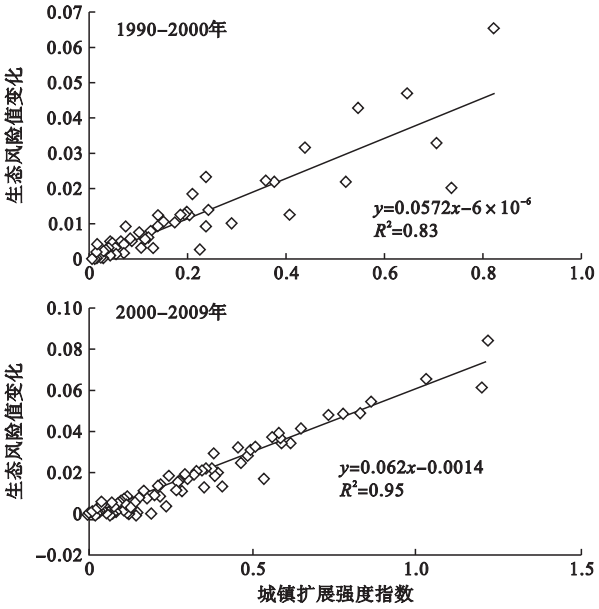

图 5　不同时期城镇扩展强度指数与景观生态风险的关系

Fig. 5　Relationship between urbanization intensity index and landscape ecological risk in different historical periods

进一步对研究区不同时段(1990—2000、2000—2009 年) 的城镇扩展强度和区域生态风险变化进行定量分析可知，两者呈现良好的线性关系(图 5) ，决定系数(R^2) 分别达到 0.831、0.951。因此，说明了随着城镇化进程推进和城镇扩展强度不断加强，区域生态风险也呈现增大趋势，城镇扩展强度与区域生态风险的正效应关系明显。

3　讨论与结论

城镇空间扩展及格局变化受地理区位、人口、经济政策、资源交通等诸多因素影响(Liu *et al.* ,2008; Yin *et al.* ,2011) 。受海岸线地域限制，研究区城镇用地扩展主要沿海岸线条带状分布(图 2) 。1974—1990 年，临港经济结构决定了烟台市城镇空间结构形态为单核集中点状结构，这与世界上很多沿海国家以港口和工业化的经济活动作为主要驱动力的城市化进程相似(Hua *et al.* 2010; Bhagyanagar *et al.* , 2012) 。随着社会经济发展和人口快速增长，城镇化进程加速，城镇用地迅速扩张，烟台市城镇空间结构形态呈轴向发展态势，这种变化与我国重要的沿海城市——上海市在 1979—2000 年城市呈南北中

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

轴线方向扩张相类似(Yin *et al.*,2011)。此后,随着意识形态从执行市区建设政策逐渐转变到营造高品质的生活宜居城市(Xu *et al.*,2007),加之海岸带区位和交通影响(Yin *et al.*,2011),促使研究区城镇空间扩展沿岸线成带状结构分布,呈"T"字型,逐渐向内陆扩展,目前呈现出多核组团式结构的扩展模式。

城市化加速是导致在农田和绿化用地的面积大大减少的主要驱动力之一(张安定等,2007; Liu *et al.*,2008; Merlotto *et al.*,2012)。研究区主要土地利用类型为耕地,1990—2009年的城镇化扩展已导致耕地比重从48.45%降低到39.73%,这一结果接近于沿海城市——龙口市近10年城乡用地变化率(张安定等,2007)。有研究表明:在1996—2005年,我国沿海地区耕地损失17087 km^2,平均每年递减1709 km^2,其中建筑侵占耕地占比为34.03%(Liu *et al.*,2008)。研究区耕地面积从1990年的1318.33 km^2减少到2009年的1081.05 km^2,年降幅11.86 km^2(图3),城镇扩张面积达136.96 km^2(表1),烟台市城市扩张所造成的耕地损失对我国沿海地区耕地损失的贡献值约为0.7%。此外,一系列海岸开发利用活动和围填海工程建设,也使得研究区海岸线附近的养殖用地、盐田、裸地等逐渐被临港工业、旅游度假设施用地等所取代,土地利用变化明显,人类活动干扰强度逐渐加剧。

海岸带城镇扩展及土地利用变化在很大程度上影响着海岸带生态安全(卢亚灵等,2012; 马金卫等,2012)。随着城市化进程的推进,烟台市区高生态风险区和较高生态风险区范围不断扩大,主要分布在靠近海岸线地区,不断向东、西两个方向延伸,条带状分布日益明显;中低生态风险区面积减小,呈下降趋势(图4)。这种变化趋势,尤其是高生态风险区范围的增加趋势在辽宁省锦州湾沿海经济开发区和苏盐城海滨区生态风险研究中也表现比较突出(高宾等,2011; 孙贤斌和刘红玉,2011)。作为海陆交错带的敏感区——烟台市处于环渤海区域的综合高生态风险区(卢亚灵等,2012),本研究结果也体现出了靠近海岸带地区的景观生态风险较高,内陆地区风险较低的特征。相关预测研究结果表明:烟台市区在未来近40年城镇化过程加速将有更多的耕地资源和近岸海域被侵占,而鼓励海岸带开发利用与适度围填海的城镇发展政策势必使得海岸带区域生态风险增大(马金卫等,2012)。本研究得出的烟台市区域景观生态风险空间分布和变化与城镇扩展强度之间存在明显的正效应这一结果(图5)也显著支持上述预测研究观点。总之,滨海城市的城镇扩展演变和土地利用景观格局变化受海岸带区位影响较大,不合理的岸线开发会造成海岸资源损失,加重区域生态风险程度。因此,只有实施科学的城市发展规划和合理的海岸带管理保护措施,才能降低城镇化带给滨海城市的生态环境风险。

参考文献

杜宇飞,李小玉,高 宾,等. 2012. 辽宁沿海城市带生态风险综合评价. 生态学杂志,**31**(11): 2877-2883.

高 宾,李小玉,李志刚,等. 2011. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析. 生态学报,**31**(12): 3441-3450.

郭笃发. 2006. 近代黄河三角洲段渤海海岸线缓冲带土地利用时空特征分析. 农业工程学报,**22**(4): 53-57.

李德一,张安定,张树文. 2008. 山东半岛北部海岸带城乡聚落扩展变化特征与驱动力分析. 自然资源学报,**23**(4): 612-618.

林燕芬,陈蔚镇,余 琦,等. 2011. 上海城市拓展及其环境影响的模拟研究. 环境科学学报,**31**(1): 206-216.

刘 兰,韩洪蕾. 2007. 海岸带管理相关对策研究. 海洋开发与管理,(6): 51-55.

刘艳芬. 2007. 基于遥感的连云港市城区海岸带土地利用变化研究(硕士学位论文). 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所.

卢亚灵,徐丽芬,马宗文,等. 2012. 环渤海五省市生态风险评价. 生态学杂志,**31**(1): 227-234.

马金卫,吴晓青,周 迪,等. 2012. 海岸带城镇空间扩展情景模拟及其生态风险评价. 资源科学,**34**(1): 185-194.

秦贤宏,段学军,杨 剑. 2010. 基于GIS的城市用地布局多情景模拟与方案评价——以江苏省太仓市为例. 地理学报,**65**(9): 1121-1129.

孙 娟,蓝崇钰,夏汉平,等. 2006. 基于QuickBird卫星影像的贵港市城市景观格局分析. 生态学杂志,**25**(1): 50-54.

孙贤斌,刘红玉. 2011. 江苏盐城市海滨土地利用对景观生态风险的影响. 国土资源遥感,(3): 140-145.

王秋霞,郑苏明. 2008. 基于GIS的合肥市近50年来城市景观格局演变研究. 安徽农业科学,**36**(23): 10112-10115.

王宪礼,肖笃宁,布仁仓,等. 1997. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. 生态学报,**17**(3): 317-323.

邬建国. 2000. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社.

吴晓青,胡远满,贺红士,等. 2009. 沈阳市城市扩展与土地利用变化多情景模拟. 地理研究,**28**(5): 1264-1275.

武桂贞. 2008. 河北省海岸带土地利用变化驱动力的定量研

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

究(硕士学位论文). 石家庄: 河北师范大学.

许学工, 彭慧芳, 徐勤政. 2006. 海岸带快速城市化的土地资源冲突与协调——以山东半岛为例. 北京大学学报(自然科学版), **42**(4): 527-533.

张安定, 李德一, 王大鹏, 等. 2007. 山东半岛北部海岸带土地利用变化与驱动力——以龙口市为例. 经济地理, **27**(6): 1007-1010.

张继平, 常学礼, 宋彦华. 2008. 山东烟台市套子湾海岸带土地利用及景观格局变化研究. 地域研究与开发, **27**(3): 108-112.

张　莹, 雷国平, 林　佳, 等. 2012. 扎龙自然保护区不同空间尺度景观格局时空变化及其生态风险. 生态学杂志, **31**(5): 1250-1256.

周刚华, 贾生华. 2001. 城市土地利用要追求最佳效益——论城市化加速阶段土地资源的配置. 中国土地, (12): 19-22.

Bhagyanagar R, Kawal BM, Dwarakish GS, *et al*. 2012. Land use/land cover change and urban expansion during 1983-2008 in the coastal area of Dakshina Kannada district, South India. *Journal of Applied Remote Sensing*, **6**, DOI: 10.1117/1.JRS.6.063576.

Cai YB, Zhang H, Pan WB, *et al*. 2012. Urban expansion and its influencing factors in natural wetland distribution area in Fuzhou City, China. *Chinese Geographical Science*, **22**: 568-577.

Guo LY, Wang DL, Qiu JJ, *et al*. 2009. Spatio-temporal patterns of land use change along the Bohai Rim in China during 1985-2005. *Journal of Geographical Sciences*, **19**: 568-576.

Hua LZ, Li XQ, Tang LN, *et al*. 2010. Spatio-temporal dynamic analysis of an island city landscape: A case study of Xiamen Island, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, **17**: 273-278.

Ji CY, Liu QH, Sun DF, *et al*. 2001. Monitoring urban expansion with remote sensing in China. *International Journal of Remote Sensing*, **22**: 1441-1455.

Li XH, Lin T, Zhang GQ, *et al*. 2011. Dynamic analysis of urban spatial expansion and its determinants in Xiamen Island. *Journal of Geographical Sciences*, **21**: 503-520.

Li YF, Zhu XD, Sun X, *et al*. 2010. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lianyungang, China. *Landscape and Urban Planning*, **94**: 218-227.

Liu YS, Wang LJ, Long HL. 2008. Spatio-temporal analysis of land-use conversion in the eastern coastal China during 1996-2005. *Journal of Geographical Sciences*, **18**: 274-282.

Merlotto A, Piccolo MC, Bertola GR. 2012. Urban growth and land use/cover change at Necochea and Quequen cities, Buenos Aires province, Argentina. *Revista De Geografia Norte Grande*, **53**: 159-176.

Paula DP, Dias JMA, Ferreira O, *et al*. 2013. High-rise development of the sea-front at Fortaleza (Brazil): Perspectives on its valuation and consequences. *Ocean & Coastal Management*, **77**: 14-23.

Xu JG, Liao BG, Shen Q, *et al*. 2007. Urban spatial restructuring in transitional economy—Changing land use pattern in Shanghai. *Chinese Geographical Science*, **17**: 19-27.

Yin J, Yin ZE, Zhong HD, *et al*. 2011. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979—2009) in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, **177**: 609-621.

作者简介　周　迪,女,1983 **年生,博士研究生,主要从事海岸带信息方面的研究工作**。E-mail: dzhou@yic.ac.cn

责任编辑　张　敏

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net