

基于 GIS/RS 的旅顺滨海湿地景观格局 时空动态变化研究^{*}

王方雄^{1,2,3}，王 博^{1,3}，杜 研^{1,3}，徐 坚³

(1. 辽宁师范大学自然地理与空间信息科学辽宁省重点实验室 大连 116029; 2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心 大连 116029; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院 大连 116029)

摘 要：文章以地理信息系统与遥感作为技术支持，以 2000 年和 2009 年两个时相的 ETM/TM 影像为主要数据，以马尔科夫模型为预测方法，对旅顺滨海湿地景观格局的演变趋势进行了分析和预测。研究结果表明，旅顺滨海湿地景观总体呈减少趋势，主要转化为建设用地，滨海湿地景观受到了人类活动的严重干扰。预测到 2020 年海岸湿地将减少 331 hm²，到 2030 年将减少 571 hm²，减幅分别高达 23.6% 和 40.7%，湿地保护形势非常严峻。

关 键 词：滨海湿地景观格局；马尔科夫模型；地理信息系统；旅顺

1 引言

滨海湿地广布于沿海海陆交界、淡咸水交汇区域^[1]，是陆地生态系统和海洋生态系统的交错过渡地带。不仅拥有丰富的生物多样性和极高的生产力，而且蕴藏着珍贵的能源和矿产资源，同时在抵御海洋灾害、控制海岸侵蚀、调节径流、改善气候、降解污染、美化环境、维护区域生态平衡及提供野生动植物生境等方面起着极其重要的作用^[2-3]。景观变化作为一种自然、社会、经济综合现象，表现为复杂的系统演变过程。景观时空动态变化研究着眼于根据生态系统真实的空间分布及其随时间而变化的空间和时间尺度的变量，推论出导致景观变化的原因并预测景观变化趋势^[4]。马尔科夫模型是一种关于时间发生的概率预测模型，它根据事件的目前状况来预测其将来各个时期（或时刻）的变动状况，在景观变化预测中应用广泛。

旅顺口区位于辽东半岛最南端，东临黄海、西濒渤海，南与山东半岛隔海相望，北依大连。陆地南北纵距 26.1 km，东西横距 31.2 km，总

面积 506.8 km²，海岸线长 169.7 km。该区自然生态环境优良^[5]，是龙湖国家湿地公园的所在地，更是冬季迁徙的鸟类必经之地。但是，由于近年来大连经济发展迅猛，生态环境遭受严重破坏。被认为是大连乃至辽东湾地区生态平衡重要保障的大连市旅顺口区滨海湿地，目前正遭受人类活动的严重威胁。近年来这里已有大面积的滨海湿地被人工养殖占用，湿地面积急剧减少，使旅顺蛇岛老铁山国家自然保护区的鸟类和蝮蛇的生存环境受到严重侵害，保护旅顺口区滨海湿地已迫在眉睫。

2 研究方法过程

本研究利用旅顺 2000 年 Landsat ETM 和 2009 年 Landsat TM 两期遥感图像对旅顺滨海湿地景观动态变化进行研究，绘制对应景观分布图，对景观类型变化进行分析，确定相应的湿地类型之间的初始转移概率，然后利用马尔科夫模型对其湿地景观进行动态演变过程的分析 and 未来变化趋势的预测，为今后制定旅顺滨海湿地的利用与保护政策提供科学决策依据。

^{*} 基金项目：教育部人文社会科学研究青年基金项目（11YJC630202）；辽宁省教育厅创新团队项目（WT2010031）。

2.1 湿地景观分类及解译标志

在充分分析旅顺地区湿地资源现状的基础上，借鉴《湿地公约》中的湿地分类系统，参照《全国湿地资源调查与监测技术规程》^[6]所规定的湿地分类方法，结合旅顺湿地类型的实际情况和土地利用状况，并考虑到遥感影像可分辨的最小图斑、人工判读的可能性等^[7]，笔者将研究区内的滨海湿地分为 3 种类型，分别为：① 海岸湿地，指滩涂、河口水域和河口三角洲水域；② 河流、湖泊与库塘，主要指永久性河流和季节性或间歇性河流、湖泊、水库和池塘；③ 盐田与养殖场，指近海区域的水产养殖与滩涂养殖及借助海水蒸发来制盐的沿海湿地^[8]；同时为了反映城市化过程对于湿地景观格局的影响，将建设用地单独作为一类，其他非湿地如耕地、园地、林地、草地等合并为一大类。

2.2 数据来源及技术路线

本研究采用了遥感数据和非遥感信息数据。遥感数据选取了 Landsat 卫星 2000 年、2009 年两个时段的 ETM、TM 影像数据，共 2

景，各景影像的云覆盖率均小于 5%。非遥感信息源主要包括 1：5 万旅顺口区地形图、行政区划图、2009 年土地利用现状矢量数据及野外调查数据等。

旅顺口区滨海湿地景观格局时空动态变化研究的技术流程如图 1 所示，首先将研究区的 1：5 万地形图等进行扫描，应用 ArcGIS 软件进行处理，建立统一的投影坐标，利用 ENVI 4.8 遥感数据处理软件对两个时段的遥感影像进行几何校正，对校正后的影像图进行掩模处理，按照行政区划范围切出两个时相影像的相同范围，再利用 RGB（5，4，3）合成假彩色图像。对合成后的影像进行非监督分类，建立分类模板，依照滨海湿地分类系统的解译标志选择训练样本对模板进行修改，用改后的模板进行监督分类，结合土地利用现状矢量数据、地形图、野外调查数据等非遥感资料对分类结果进行人工目视解译，分类后处理得到两个时相的分类结果。利用 ArcGIS 软件绘制出两个时相的滨海湿地景观分布图如图 2 和图 3 所示。

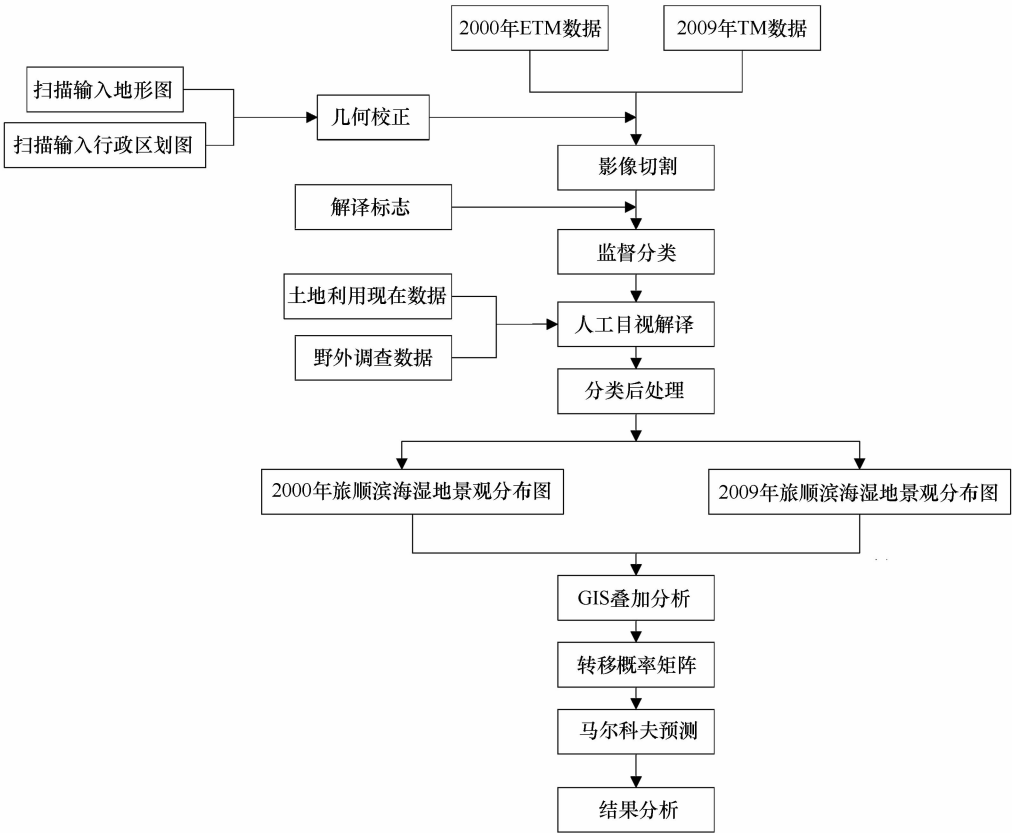


图 1 技术流程

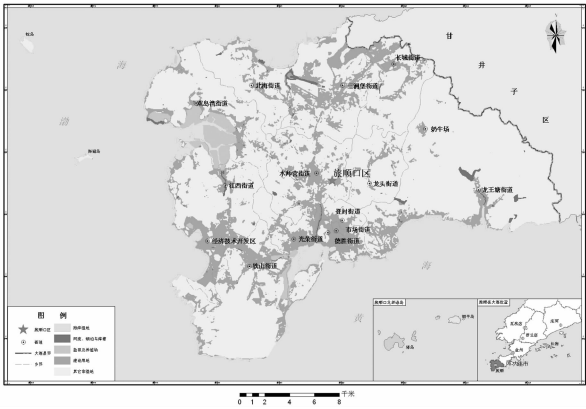


图 2 旅顺口区 2000 年滨海湿地分布

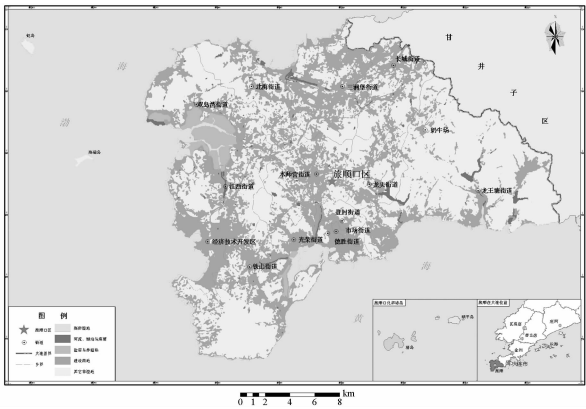


图 3 旅顺口区 2009 年滨海湿地分布图

根据 2000 年和 2009 年研究区的两个时相遥感影像解译结果,对 2000 年和 2009 年两期滨海湿地分类结果数据进行 GIS 叠加分析,得到各类型之间的面积转移矩阵(表 1),根据转移概率矩阵进行旅顺口区滨海湿地景观的马尔科夫预测,最终得到变化结果并进行分析。

3 马尔科夫预测

马尔科夫预测是以俄国数学家马尔科夫的名字命名的数学方法,是一种预测事件发生的概率的方法。它是基于马尔科夫链,根据事件的目前状况状态,预测该事件未来各个时期(或时刻)的变动状况^[9-10]。目前,马尔科夫预测法被广泛应用于景观格局变化的预测。

马尔科夫模型的基本概念包括系统的状态和状态的转移。当系统完全由定义状态的变量所取的值来描述的时候,则称系统处于一个状态;如果系统状态描述变量从一个状态的特定值变化到另一个状态的特定值,则称系统发生了状态转移。马尔科夫过程描述的是具有“无后效性”的特殊随机过程^[11],即某随机过程在 T+1 时刻的状态和 T 时刻的状态有关,而和以

表 1 2009 年旅顺口区滨海湿地各景观类型转化情况 hm²/a

项目	海岸湿地	河流湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地	总计
海岸湿地	1 400.52	5.07	184.38	176.92	29.87	1 796.76
河流湖泊与库塘	3.77	295.89	0.00	58.90	32.12	390.68
盐田与养殖场	0.00	19.08	1 177.75	105.62	0.00	1 302.45
建设用地	0.00	57.73	0.00	8 804.53	980.00	9 842.26
其他非湿地	0.00	203.79	0.00	8 909.30	28 192.62	37 305.71
总计	1 404.29	581.56	1 362.13	18 055.27	29 234.61	50 637.86

前的状态无关,这一点用于湿地景观格局变化的预测是适合的^[12]。

3.1 转移概率矩阵的确定

景观类型之间相互转化的初始转移矩阵是使用马尔科夫模型的关键,其数学表达式为:

$$P = (p_{ij}) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

式中: p_{ij} 为初始到末期时由类型 i 转化为类型 j

的概率, p_{ij} 为满足两个条件: $0 \leq p_{ij} \leq 1$ 和 $\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1$ 。

根据马氏理论,年平均概率(p_{ij})的计算方法有两种:① 年均等面积转移概率:指的是以 A 类湿地景观转化为 B 类湿地景观的年均面积值不变为条件,来确定景观单元的转移概率,即 m 年到 n 年的各湿地转化面积除以年代间隔($n-m$)得到平均每年的转化面积占原有该类湿地的面积百分比。例如,2000 年海岸湿地面积为 1 796.76 hm²,2000—2009 年海岸湿地转化

为盐田养殖场的面积为 184.38 hm²，即有 $k = (184.38/9) / 1\,796.76 = 0.011\,402$ 。② 年均等概率转移概率：指的是以 m 年到 n 年的 A 类湿地景观转化为 B 类湿地景观的年均转移概率不变为条件，来确定景观单元的转移概率，即 $S_A = (S_A - \Delta S_{AB}) \times (1 + k)^{(n-m)}$ ， S_A 为 m 年的 A 类湿地类型面积， ΔS_{AB} 为 $m \sim n$ 年 A 类湿地类型转为 B 类湿地类型的面积， k 即为 A 类湿地类型转化为 B 类湿地类型的年均转移概率。例如，

2000 年海岸湿地面积为 1 796.76 hm²，2000—2009 年海岸湿地转化为盐田养殖场的面积为 184.38 hm²，即有 $1\,796.76 = (1\,796.76 - 184.38) \times (1 + k)^9$ ，所以 $k = 0.012\,103$ 。

根据 GIS 叠加分析统计出的旅顺口区滨海湿地各景观类型面积转化状况，利用上述两种计算平均概率的方法，可以得到各类景观类型的年平均转移概率矩阵（时间步长为 1 年），该矩阵即为初始状态转移概率矩阵（表 2 和表 3）。

表 2 2000—2009 年旅顺口区滨海湿地景观类型年均等面积转移概率矩阵（ $n=1$ ）

k	$k+1$				
	海岸湿地	河流、湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地
海岸湿地	0.975 497	0.000 313	0.011 402	0.010 941	0.001 847
河流、湖泊与库塘	0.001 072	0.973 042	0	0.016 750	0.009 136
盐田与养殖场	0	0.001 628	0.989 362	0.009 011	0
建设用地	0	0.000 652	0	0.988 285	0.011 063
其他非湿地	0	0.000 607	0	0.026 535	0.972 858

表 3 2000—2009 年旅顺口区滨海湿地景观类型年均等概率转移概率矩阵（ $n=1$ ）

k	$k+1$				
	海岸湿地	河流、湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地
海岸湿地	0.974 135	0.000 314	0.012 103	0.011 584	0.001 865
河流、湖泊与库塘	0.001 078	0.971 021	0	0.018 322	0.009 580
盐田与养殖场	0	0.001 641	0.988 917	0.009 441	0
建设用地	0	0.000 654	0	0.987 624	0.011 722
其他非湿地	0	0.000 609	0	0.030 785	0.968 606

3.2 动态模拟与预测

根据马尔科夫随机过程理论，利用初始状态概率矩阵，在景观转移概率不变，即外界作用力不变的情况下，可以推导出马尔科夫模型的基本方程，即第 n 期景观类型的转移概率：

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{m-1} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)} = \sum_{k=0}^{m-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj}$$

式中， m 表示转移概率矩阵的行列数，而任意第 n 分期的转移概率矩阵等于初始转移概率矩阵的 n 次方。若设第 1 期转移概率矩阵为 P

(1)，初始矩阵为 $A(0)$ ，则第 n 期的矩阵为 $A(n) = A(0) \times P(n) = A(0) \times Pn$ ，以此公式可以预测得到各分期各景观类型的面积，从而实现景观格局变化预测的目的。

已知 $A(0) = \begin{bmatrix} \text{海岸湿地} & \text{河流、湖泊与库塘} & \text{盐田与养殖场} & \text{建设用地} & \text{其他非湿地} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1\,796.76 & 390.68 & 1\,302.45 & 9\,842.26 & 37\,305.71 \\ 50\,637.87 \end{bmatrix}$ ，并应用两种方法计算出的转移概率矩阵分别预测 2009 年的湿地景观格局，并与 2009 年实际值进行对比分析，预测结果如表 4 和表 5 所示。

表 4 年均等面积转移概率矩阵预测结果

2009 年	海岸湿地	河流、湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地
解译数据 X	1 404.29	581.57	1 362.12	18 055.26	29 234.61
预测数据 Y	1 441.37	563.68	1 343.18	16 916.20	30 373.44
相对误差/% (Y-X) /X	2.64	-3.08	-1.39	-6.31	3.90

表 5 年均等概率转移概率矩阵预测结果

2009 年	海岸湿地	河流、湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地
解译数据 X	1 404.29	581.57	1 362.12	18 055.26	29 234.61
预测数据 Y	1 423.38	557.11	1 347.02	17 958.46	29 351.88
相对误差/% (Y-X) /X	1.36	-4.21	-1.11	-0.54	0.40

通过对上述结果的对比分析，可以看出总体上等概率转移矩阵预测出的误差值明显小于等面积转移矩阵预测出的误差值，且概率转移矩阵预测出的误差值都在 5% 以内，其中只有河流、湖泊与库塘一种景观类型的相对误差较大，但是由

于影像的分辨率造成解译中的误差，由此可见等概率转移矩阵的马尔科夫预测更加科学，准确。综上所述，最终决定采取年平均等概率转移矩阵对旅顺口区未来 20 年滨海湿地景观格局动态变化进行马尔科夫预测。预测结果如表 6 所示。

表 6 旅顺口区未来 20 年滨海湿地景观变化预测预测结果

hm²

年份	海岸湿地	河流、湖泊与库塘	盐田与养殖场	建设用地	其他非湿地
2009	1 423.38	557.11	1 347.02	17 958.46	29 351.88
2010	1 387.17	573.24	1 349.32	18 679.21	28 648.92
2015	1 219.90	647.61	1 354.19	21 848.61	25 567.56
2020	1 073.54	712.45	1 349.40	24 400.44	23 102.03
2025	945.47	768.89	1 336.66	26 456.62	21 130.22
2030	833.40	817.96	1 317.42	28 114.91	19 554.18

4 结果与分析

从 2000—2009 年滨海湿地景观转化情况表可见，研究区内滨海湿地景观变化较大的有海岸湿地、库塘、建设用地和其他非湿地。其中，9 年内海岸湿地面积缩小了 392.47 hm² 公顷，其他非湿地缩小了 8 071.09 hm²，而人工湿地库塘增加了，190.89 hm²，建设用地的面积增加最多，达到 8 213 hm²。由此可看出 2000 年后旅顺口区滨海湿地景观格局的变化趋势：天然湿地减少，人工湿地增加，非湿地中，建设用地面积增长最快，而耕地、园地、林地、草地等的面积则下降幅度较大。

这种景观态势的形成说明研究区内滨海湿地景观受到了人类活动的强烈干扰。随着人口的增加和经济的发展，人们对于湿地的开发利用程度加剧了，城市建设速度的加快更导致许多天然湿地丧失。大量的海岸湿地被开发为人工水库和池塘及水产养殖和盐田工业，其中水产养殖和盐田工业转化比率达到 1.21%。库塘的增加反映了渔业发展较快。非湿地景观方面，建设用地增长剧烈，增幅达 83.4%。其他非湿地的减少主要是被建设用地占用。

从研究区域内预测结果来看，滨海湿地景观总体呈减少的趋势，非湿地景观中建设用地不断增长，其他非湿地不断下降。对比 2009 年

模拟结果和实测结果基本吻合，误差均低 5%，说明利用马尔科夫模型研究预测区域滨海湿地景观动态变化的可行性。对旅顺口区滨海湿地景观的未来预测结果表明：在保持 2000—2009 年干扰强度的情况下，湿地景观将急剧减少，尤其是海岸湿地，对比 2009 年的实测结果到 2030 年海岸湿地将减少 570.89 hm²，减幅达到 40.65%。非湿地景观中建设用地急速增长，增幅达到 55.72%。本次研究预测的前提是按现有的发展趋势，不考虑任何其他的诸如政策、自然灾害等因素对于湿地景观变化趋势的调整，这样，随着时间的无限延伸，就可能出现建设用地极度扩张、而其他用地日益萎缩的现象。这对于保持研究区内的生物多样性和区域的生态功能具有一定负面作用，值得引起重视。为保护旅顺口区的滨海湿地，需要政府制定更详细的滨海湿地保护政策，务必做到在生态环境的可持续发展基础上进行湿地资源的开发利用，平衡湿地的保护与开发。务必做好保护湿地重要性的宣传，使政府决策者和当地居民深刻认识到“湿地绝非是荒地”，一经破坏将难以挽回，定要落实保护原始湿地景观政策。

参考文献

[1] WERG (Wetland Ecosystems Research Group). Wetland Functional Analysis Research Program [M]. London: College Hill Press, 1999.

[2] 张华, 张丽媛, 伏捷, 等. 辽宁省滨海湿地类型及生

态服务价值研究[J]. 湿地科学, 2009, 7(4): 342—349.

[3] 张华, 苗苗, 孙才志, 等. 辽宁省滨海湿地资源类型及景观格局分析[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 139—146.

[4] 付春雷, 宋国利, 鄂勇. 马尔科夫模型下的乐清湾湿地景观变化分析[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(9): 117—119.

[5] 薛大波, 宋鹤鹏, 张东明. 旅顺开发区: 辽东半岛新崛起的海滨城区[N]. 大连日报, 2008—04—10 (T02).

[6] 张弘. 遥感技术在大连湿地资源调查中的应用研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.

[7] 宁龙梅, 王学雷, 胡望斌. 利用马尔科夫过程模拟和预测武汉市湿地景观的动态演变[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2004, 38(2): 255—258.

[8] 姜玲玲, 熊德琪, 张新宇, 等. 大连滨海湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2008, 38(4): 670—675.

[9] 吴瑾. 基于 GIS 和马尔科夫模型的湿地景观格局动态研究: 以饶河县境内挠力河流域为例[D]. 长春: 东北师范大学, 2010.

[10] 胡腾波, 叶建栲. 马尔科夫链模型在 GIS 数据预测中的应用[J]. 计算机系统应用, 2008, 17(8): 90—93.

[11] 杨命青. 基于马尔柯夫模型的土地利用变化趋势预测[J]. 山西建筑, 2010, 36(17): 3—4.

[12] 边延辉, 张光辉, 包洪福, 等. 马尔柯夫模型在洪河湿地景观变化研究中的应用[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(3): 53—57.