第 14 卷 第 5 期 湿 地 科 学 Vol.14 No.5
2016 年 10 月 WETLAND SCIENCE October 2016
DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2016.05.001

中国沿海湿地变化特征及情景分析

侯西勇[1],徐新良[2],毋 亭[1,3],李晓炜[1]
(1. 中国科学院烟台海岸带研究所,山东 烟台 264003;2. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;
3. 中国科学院大学,北京 100049)

摘要:利用遥感技术,获取了2000年、2005年和2010年的中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)土地利用数据;以湿地为重点,分析土地利用时空动态特征,针对2020年和2030年进行多情景分析和模拟。研究结果表明:①10 a间中国沿海土地利用显著变化,建设用地和人工湿地面积分别增加了13 561 km^{2}和2 592 km^2,耕地和滨海湿地分别减少了9 956 km^{2}和3 288 km^2;②耕地保护政策约束、城市化发展、城乡生活水平提高等因素共同加剧了湿地开垦强度,导致大量天然湿地变为城乡建成区、独立工矿与交通用地、人工湿地,以及大量人工湿地被进一步固化为独立工矿与交通用地、耕地和城镇;③已获批复的沿海省市区海洋功能区划,将会进一步导致沿海湿地的急剧减少,而强调由陆到海进行系统保护和整体保护、优化城乡土地利用格局、实施有限度的围填海开发,则能够同时维持经济较快发展和良好的生态环境。

关 键 词:土地利用;湿地;时空动态;围填海;情景分析;中国沿海
中图分类号:P748 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-5948(2016)05-597-10

受气候变化和经济社会发展等因素的影响,中国沿海区域正处于前所未有的剧烈变化过程中,沿海城乡工矿用地扩展、湿地围垦、围填海等是其中非常重要的方面,不仅影响和制约沿海区域的环境保护和生态功能维持,而且也显著影响沿海经济社会发展的可持续性。新中国成立以来,沿海区域经历了多个围填海高潮阶段,使得沿海湿地面积萎缩、破碎化和质量退化等问题异常突出[1,2],已经引起越来越多的学者的关注。研究表明,在人口压力、围垦政策、法律缺失和经济增长等因素影响下,中国滨海湿地面积大量减少[3]。渤海湾经济社会发展[4]、长江三角洲城市群发展[5]以及普遍存在的港口建设、养殖、盐田和农业开发等围填海活动[6]都占用了大量滨海湿地。20世纪90年代中国滨海湿地大量减少,消失的区域58%以上是潮间带的浅滩和海滩[7];中国沿海湿地在1978年之后呈现加速退化的态势[8],1978～2008年期间减少的面积超过了5 200 km^2[9];围填海对潮滩湿地生态系统服务产生了极为深刻的影响,江苏省[10]、广西壮族自治区[11]的滨海湿地生态系统表现出显著的退化特征;全国沿海28个区段中,严重退化和中度退化状态的分别有4个和14个[12]。

沿海湿地位于陆海之间的过渡带,其围垦和变化的过程与陆域土地利用变化之间存在密切关系,而且沿海湿地类型多样、格局与过程复杂,对整个中国沿海湿地的演化态势进行分析和预测颇具挑战因而鲜有报道。鉴于此,本研究强调陆海集成分析的原则,在中国沿海土地利用分类制图的基础上,以湿地为重点,分析2000～2010年沿海土地利用格局与过程特征,并针对2020年和2030年进行湿地变化多情景分析与模拟,探讨不同的经济社会发展导向对沿海湿地的影响特征。

1 数据和方法

1.1 研究区

研究区为中国沿海地区(未包括其中的海南

收稿日期:2016-02-23;**修订日期**:2016-03-12
基金项目:国家自然科学基金Belmont论坛国际合作项目(NSFC-BF/IGFA, 31461143032)、中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05130703)、中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)和保尔森基金会“中国滨海湿地保护管理战略研究项目”资助。
作者简介:侯西勇(1975-),男,山东省泰安人,博士,研究员,主要从事海岸带土地利用变化与海岸线变化遥感监测、海岸带脆弱性评价与综合管理等方面的研究。E-mail: xyhou@yic.ac.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)，面积约64.64×10^4 km^2。陆域边界采用沿海地级市行政区界，包括辽宁省、河北省、山东省、江苏省、浙江省、福建省、广东省和广西壮族自治区的沿海地级市以及天津市、上海市、香港特别行政区和澳门特别行政区的全部；鞍山市、德州市、临沂市、湖州市、佛山市和玉林市6个地级市虽然不濒海，但辖区距海较近，也被纳入研究区范围(图1)。海域取近海和浅海的并集：利用1∶50万行政区划数据，提取陆海分界线，定义距其10 km以内海域为近海；《湿地公约》定义低潮水深不超过6 m的水域为湿地，中国沿海平均潮差最大值约为5 m[13]。因此，折衷选取10 m等深线作为浅海边界，具体使用英国海洋学数据中心(http://www.bodc.ac.uk/)提供的全球30弧秒数字高程数据，进行10 m等深线信息提取。

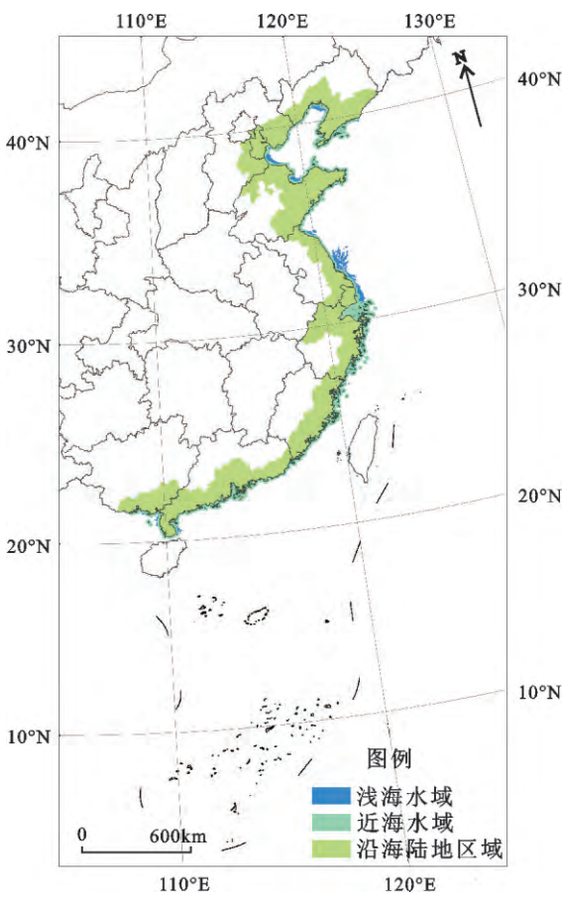

图1 研究区位置与范围示意图

Fig.1 Sketch map of location and boundary of the study area

1.2 土地利用制图

土地利用分类系统。陆海兼顾，建立土地利用遥感分类系统[14,15](表1)。

数据源。包括2000年Landsat 7 ETM+影像59景、2005年Landsat 5 TM影像52景和2010年Landsat 5 TM影像62景，由美国地质勘探局(United States Geological Survey，USGS)提供下载，每个时期影像数据的时相都较为接近，影像无云或少云(云覆盖率＜6%)，整体质量较好。

制图方法。结合大量野外考察资料，对研究区土地利用状况进行目视解译：最小上图面积设定为3个像元覆盖区域；利用2005年Landsat影像，解译获得2005年分类数据；对照2000年(或2010年)Landsat影像，修改2005年分类数据，勾绘变化区域，得到2000年(或2010年)分类数据；地形图、DEM、植被图、水系图、行政区划图、交通网络图等作为土地利用目视解译的辅助资料；对各个时相的解译结果进行空间拼接、逻辑错误检查和修改等处理，采用Albers等积圆锥投影存贮数据。

制图精度。以2010年为例，进行精度分析与评估：空间上较为均匀地选取1.11×10^4个样点，对照Google earth影像建立对比信息，由于是高分辨率影像数据，能够准确地判读出样点位置及其周边区域占优势的土地利用类型；在一级类型层面计算2010年分类结果的总精度和Kappa系数，分别为94.83%和0.930 6，表明土地利用解译数据的精度非常理想，所采取的制图方法有效，能够充分保证其它时相解译数据的精度水平。

1.3 格局与过程特征分析

针对整个研究区，统计不同时期各种土地利用类型的分布面积，计算不同时段土地利用的净变化和不同类型之间的面积转移矩阵，分析土地利用的宏观分布格局、面积结构和净变化等基本特征，以及滨海(天然)湿地被围垦、人工(咸水)湿地被进一步固化为其它土地利用类型的流向和面积数量特征。

在1 km×1 km方格单元层面，利用GIS空间分析技术分别建立土地利用分布面积、不同类型之间相互转换面积的结构性栅格数据集，在此基础上，通过栅格数据地图代数运算对不同的变化类型进行汇总，得到滨海(天然)湿地围垦和人工(咸水)湿地固化的面积强度和空间格局特征数据，即围填海热点分布数据。

1.4 多情景分析与模拟

情景分析方法在土地利用变化、土地资源管理、海洋与海岸带综合管理等领域的应用日渐普遍[16]。本研究综合应用空间分析技术、多目标决

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　中国沿海土地利用遥感分类系统

Table 1　Remote sensing classification system of the coastal land use in China

一级类型		二级类型		一级类型		二级类型	
代码	名称	代码	名称	代码	名称	代码	名称
1	耕地	11	水田	5	内陆水体	51	河渠
		12	旱地			52	湖泊
2	林地	21	有林地			53	水库坑塘
		22	疏林地			54	滩地
		23	灌丛林地	6	滨海湿地(天然咸水湿地)	61	滩涂
		24	其它林地			62	河口水域
3	草地	31	高覆盖度草地			63	河口三角洲
		32	中覆盖度草地			64	沿海潟湖/潟湖
		33	低覆盖度草地			65	浅海水域
4	建设用地	41	城镇用地	7	人工(咸水)湿地	71	盐田
		42	农村居民点			72	养殖水域
		43	独立工矿及交通用地	8	未利用地	81	未利用地

策方法、适宜性评价和数学模型，进行多情景分析与模拟。

情景分析的基本框架。以2000年和2010年土地利用分布为基线，重点分析宏观尺度人类活动(湿地围垦、湿地保护、海岸带综合管理)的影响效应，目标年份设定为2020年和2030年，考虑一切照常情景、政府规划情景和生态保护情景。为了突出湿地，将土地利用数据合并为12个类型：1-耕地(11-水田，12-旱地)；2-林地(21-有林地，22-疏林地，23-灌丛林地，24-其他林地)；3-草地(31-高覆盖度草地，32-中覆盖度草地，33-低覆盖度草地)；4-城镇；5-农村居民点；6-独立工矿和交通用地；7-淡水湿地(51-河渠，52-湖泊，53-水库坑塘，54-滩地)；8-咸水湿地(61-滩涂，62-河口水域，63-河口三角洲，64-沿海潟湖)；9-盐田；10-海水养殖；11-未利用土地；12-浅海水域(65-浅海水域)。

情景分析的技术方法。2000年和2010年的土地利用数据是矢量数据，为了避免名义尺度信息“矢栅转换”导致的精度损失及其对情景分析造成的影响，利用1 km栅格单元层面建立的土地利用分布面积和不同类型之间相互转换面积的结构性栅格数据集，在1 km尺度建立空间化马尔科夫(Spatial-Markov)模型[17]；同时，借鉴相关研究成果[18~21]，采用多目标决策分析、适宜性评价、空间分析技术等修正Spatial-Markov模型的转移概率矩阵，实现不同情景的设定及其定量化和空间化的模拟与表达(图2)。

一切照常情景。一切照常(business as usual，BAU)情景是指目前趋势继续发展的情景，即土地利用变化按照既有趋势发展变化。土地利用变化是典型的无后效应随机过程，非常适合应用马尔科夫(Markov)理论进行历史特征和未来趋势的分析，其对未来趋势的分析符合一切照常情景的理论特征。

在ArcGIS环境中，编写AML(Arc Macro Language)程序，建立Spatial-Markov模型，预测2020年和2030年土地利用分布。中国沿海土地利用变化受经济发展和政策因素等的强烈驱动，实验表明，在微观空间单元应用Markov方法，与宏观尺度的应用相比，模型在刻画经济和政策的强力驱动作用方面存在不足，表现为扩张类型空间增长的停滞现象。因此，本研究对状态转移概率矩阵进行适当变换，采用邻域算法，检测变化热点的边缘，允许变化热点的变化过程向邻域扩张，从而使得模型能够充分反映经济发展和政策因素驱动下某些地类的扩张过程。

政府规划情景。截至2012年10月，国务院先后批复沿海11个省市区的海洋功能区划(http://www.gov.cn)，获批的至2020年建设用围填海规模指标合计达2 469.03 km^2，这将是当前及未来一段时期内对中国沿海湿地变化影响最显著的政府规划。因此，将国务院批复的建设用围填海面积作为政府规划情景目标(表2)，通过围填海适宜性评价，确定围填海“源区”及其相应的转换方式和转

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

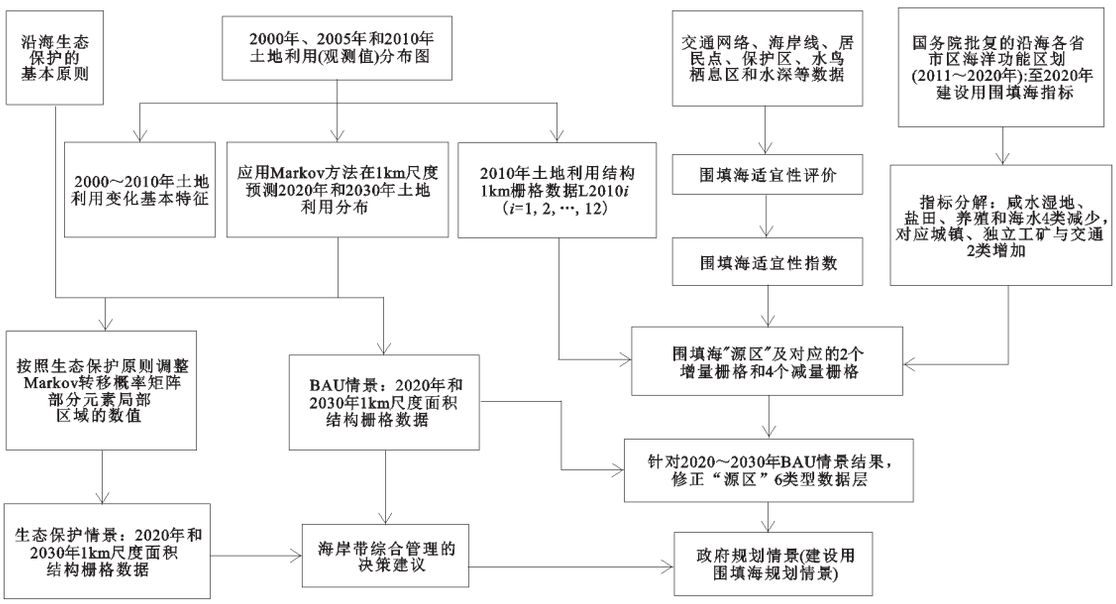

图2 沿海土地利用变化情景分析与模拟的技术途径

Fig.2 Technical approach of scenario analysis and modeling of coastal land use change

换规模，将其与BAU情景分析结果集成，得到2020年建设用围填海规划情景；假定沿海各省市区2020～2030年建设用围填海面积与2010～2020年相同，采用同样方法得到2030年建设用围填海规划情景。

表2 中国沿海各省市区(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)规划的至2020年建设用围填海面积

Table 2 Reclamation areas for construction purpose planned in various provinces (cities or regions) of the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) by 2020

行政区	规划	国务院批复的建设用围填海面积(km^2)
辽宁省	《辽宁省海洋功能区划》(2011-2020)	≤253
河北省	《河北省海洋功能区划》(2011-2020)	≤149.5
天津市	《天津市海洋功能区划》(2011-2020)	≤92
山东省	《山东省海洋功能区划》(2011-2020)	≤345
江苏省	《江苏省海洋功能区划》(2011-2020)	≤264.5
上海市	《上海市海洋功能区划》(2011-2020)	≤23
浙江省	《浙江省海洋功能区划》(2011-2020)	≤506
福建省	《福建省海洋功能区划》(2011-2020)	≤333.5
广东省	《广东省海洋功能区划》(2011-2020)	≤230
广西壮族自治区	《广西壮族自治区海洋功能区划》(2011-2020)	≤161

围填海适宜性评价。选择水深、与交通网络距离、与城乡建成区距离、与人工海岸线距离、与自然海岸线距离、与自然保护区距离、与沿海鸟区距离7个指标；前4个属于成本型或区位型指标，特点是水越深或距离越大则围填海成本越高(围填海适宜性越小)，后3个为阻力型指标，特点是距离越小则围填海代价越高(围填海适宜性越小)；将2类要素进行数值变换和标准化，利用简单算数平均值模型，计算围填海适宜性综合指标；在省市区层面进行标准化处理，使得各省市区综合指标的值域分布在0～1 000之间。

在省市区层面确定围填海"源区"。将围填海适宜性综合指标与围填海的"源"(2010年的8-咸水湿地、9-盐田、10-海水养殖、12-浅海水域4种类型的和)组成一个数据序列，按照围填海适宜性降序排列，绘制"源"面积累加曲线(图3)，由该曲线确定与国务院批复的面积数据及其2倍数据相匹配的"适宜性"阈值，≥两个阈值的区域分别对应至2020年和2030年围填海的"源区"。

根据"源区"湿地面积分配类型4(城镇)和类型6(独立工矿与交通用地)的增量并对"源区"湿地面积进行相应的削减处理。针对2010年已含有类型4或与其相邻的源区(像元)，"源区"湿地面积直接归入类型4(体现城市化的特点)，其它位置的"源区"湿地面积归入类型6(与类型6的定义相符)；由于"源区"中类型8、类型9、类型10和类型12的分布面积是建设用围填海的"来源"，已经全

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

部转化为类型4或类型6，相应的需要对这4种类型的面积进行归零化处理。将获得“增量”的类型4、类型6和归零处理的类型8、类型9、类型10、类型12共6个类型的数据替换至BAU情景模拟结果，得到“建设用围填海规划情景”的12个数据层。

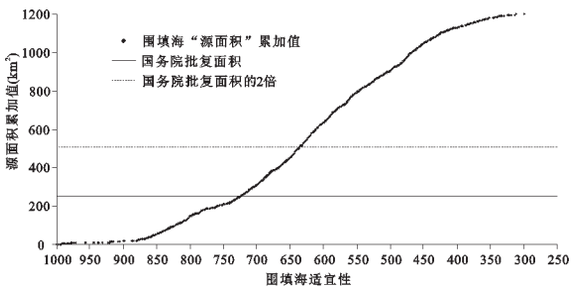

图3　至2020年、2030年围填海“源区”确定的方法示意图(以辽宁省为例)

Fig.3　Sketch map of Method of reclamation area delineation by 2020 and 2030 (taking Liaoning province as an example)

生态保护情景。生态保护情景是指以生态系统保护为重要目标的土地利用数量结构与空间分布，强调由陆到海进行系统保护和整体保护：大力保护耕、林、草、淡水湿地和咸水湿地；维持相对较高的城镇化速度，但强调与城乡结合部农村居民点、工矿用地的整治等密切结合，并充分挖掘和利用城镇边缘的未利用土地以及沿海城镇毗邻的人工湿地资源。

具体目标和原则包括：坡度≥15°且仅有林地和耕地的像元内退耕还林、城乡结合部耕地变为城镇的概率削减75%；林地向耕地、草地、建设用地的转出概率减半；仅有耕地和草地的平坦区域允许继续开垦为耕地，仅有林地和草地的区域植树造林，仅有草地和城镇的区域草地变为城镇的概率减半，草地变为农村居民点的概率减半等。城镇区域保持不能变为其它各种类型的特征；与大片城镇相邻的农村居民点城镇化(城乡结合部的农村居民点被吞并)；与大片城镇相邻的独立工矿与交通用地允许变为城镇。淡水湿地、咸水湿地和浅海水域的转出概率不同程度地降低；允许盐田(或养殖区)恢复为开敞水域，仅有城镇和盐田(或养殖区)的像元允许城镇化。与城镇毗邻的未利用土地允许城镇化，允许农村居民点、独立工矿和交通用地侵占毗邻的未利用土地。

在GIS中，应用空间分析技术，修改BAU情景的1 km分辨率转移概率图像集，以体现上述的目标和原则；在1 km栅格单元应用Markov模型，得到生态保护优先情景的模拟结果。

2　结果与分析

2.1　土地利用变化的基本特征

图4显示，2000～2010年期间，中国沿海耕地分布表现出突出的南水北旱格局特征；林地广泛分布在杭州湾以南和辽宁省沿海；草地分布较为分散和破碎化；城镇呈现为离散的斑块分布格局，农村居民点呈现为离散的点分布格局，独立的交通与工矿多分布于城镇周边及沿海区域；河渠、湖泊、水库坑塘和河漫滩等淡水湿地在南方沿海更为普遍；泥质滩涂主要分布在北方沿海，河口水域、河口三角洲以辽河口、黄河口、长江口、钱塘江口、珠江口、闽江口等最为典型；沿海潟湖的数量较少，较为分散；盐田、海水养殖等人工湿地在北方沿海更为普遍。

由表3可知，耕地、林地和滨海湿地广泛分布，2000～2010年期间，其面积比例分别维持在34%、25%和22%以上，合计则大于82%；耕地、林地、草地和滨海湿地的面积分别减少了9 956 km²、693 km²、1 569 km²和3 288 km²；城乡与工矿用地面积增长迅速，由3.86×10^4 km²扩张到5.21×10^4 km²，增加了1.36×10^4 km²，所占比例由不足5.90%上升为7.93%；内陆水体和未利用土地都表现出前5 a减少、后5 a略增、但10 a间总体减少的特征，其中，内陆水体面积减少了378 km²，未利用地面积减少了269 km²；人工湿地增速惊人，面积增加了2 592 km²，所占比例由1.37%上升为1.77%；内陆水体和滨海湿地是最重要的2大类湿地，10 a间二者面积合计减少了3 666 km²，反映了中国沿海湿地资源的总体变化特征；沿海土地利用变化表现出突出的阶段性特征，2005～2010年期间各类型面积的变化量都显著低于2000～2005年期间。

2.2　沿海湿地变化特征

在沿海的淡水湿地中，河渠的面积及比例波动变化显著，由2000年的7 350 km²变为2005年的7 310 km²和2010年的7 997 km²，反映了入海河流径流变化及河口潮汐等因素影响下沿海河渠面积具有不稳定性；湖泊面积及比例持续降低，10 a间减少了41 km²，所占比例则由2000年的6.00%下降为2010年的5.64%；水库坑塘面积波动变化，2000～2005年经历了急剧萎缩的过程，2005～

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

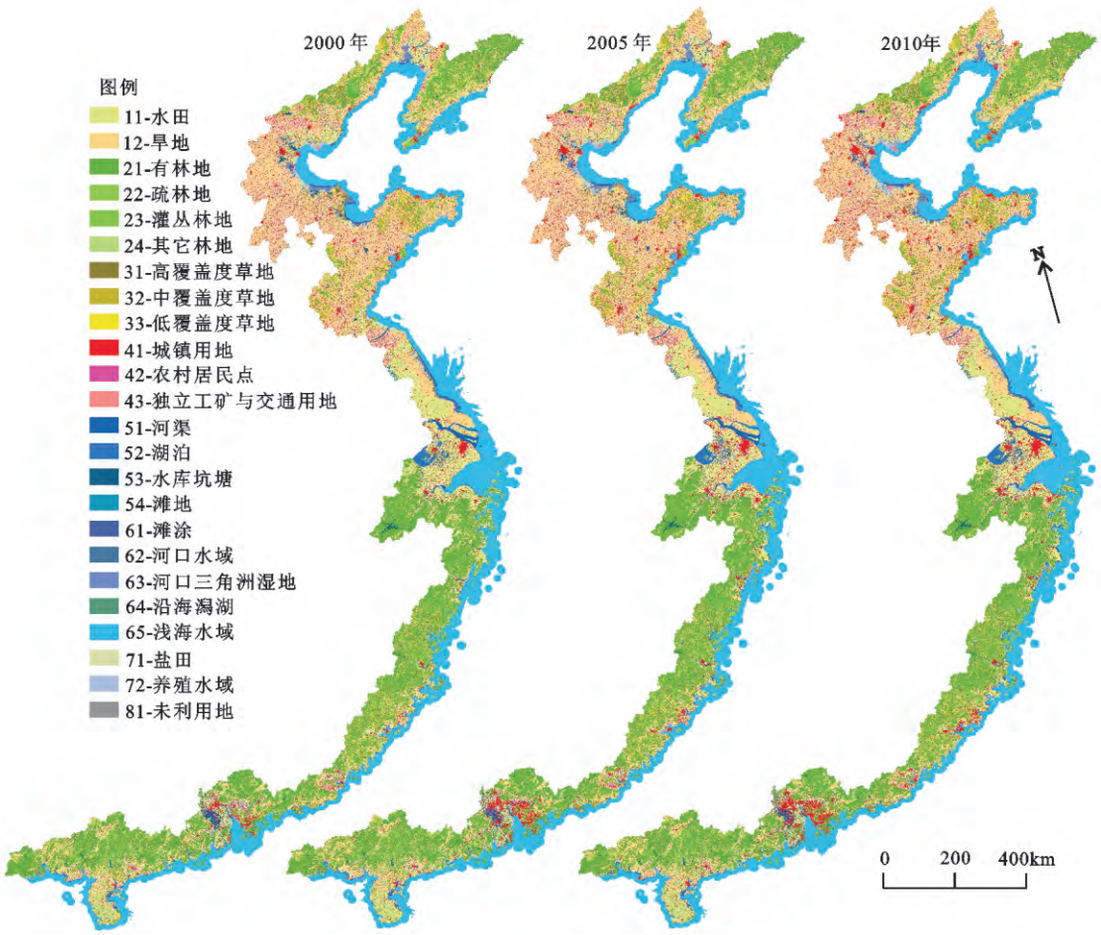

图4 2000年、2005年和2010年中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)土地利用图

Fig.4 Map of land use in the coast in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) in 2000, 2005 and 2010

表3 3个时期中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)土地利用分布面积及其净变化

Table 3 Areas and their net changes of land use in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) for 3 periods

代码	类型	面积(km²)			面积比例(%)			不同时段面积净变化(km²)		
		2000年	2005年	2010年	2000年	2005年	2010年	2000～2005年	2005～2010年	2000～2010年
1	耕地	229 776	224 104	219 820	35.55	34.67	34.01	−5 672	−4 283	−9 956
2	林地	167 841	167 421	167 147	25.96	25.90	25.86	−420	−274	−693
3	草地	30 081	28 979	28 513	4.65	4.48	4.41	−1103	−466	−1 569
4	建设用地	38 565	46 704	52 126	5.97	7.22	8.06	8 138	5 422	13 561
5	内陆水体	22 320	21 659	21 942	3.45	3.35	3.39	−661	283	−378
6	滨海湿地	146 473	144 755	143 185	22.66	22.39	22.15	−1 717	−1 570	−3 288
7	人工湿地	9 028	10 754	11 621	1.40	1.66	1.80	1 725	867	2 592
8	未利用地	2 336	2 045	2 066	0.36	0.32	0.32	−291	22	−269
总面积		646 420	646 420	646 420	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00

2010年则有所增长，但幅度有限，所占比例呈下降趋势，由2000年的23.22%下降为2010年的21.80%；河漫滩分布在河流两侧区域，分布面积急剧降低，10 a间减少了818.36 km²，所占比例由2000年的8.84%降低为2010年的6.46%。

沿海咸水湿地包括滩涂、河口水域、河口三角洲湿地、潟湖等，其中，滩涂、河口水域和潟湖的面积都呈波动变化特征，而河口三角洲的面积则持

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续减少；滩涂面积在天然沿海咸水湿地面积中所占的比例较高，一直维持在60%左右，其次是河口三角洲的面积，所占比例在36%左右。盐田和养殖水域是沿海最典型的人工湿地，2000～2010年，其分布面积都持续增加，盐田面积由2000年的3 774 km²增加为2005年的3 860 km²和2010年的3 907 km²，但占沿海所有湿地(不含水田和浅海水域)面积的比例则由9.60%(2000年和2005年)下降为9.50%(2010年)；养殖水域面积由2000年的5 254 km²增加为2005年的6 893 km²和2010年的7 714 km²，10 a间面积扩张了2 460 km²，所占比例由2000年的13.36%增加为2005年的17.14%和2010年的18.76%。

2.3　沿海湿地围填海时空动态特征

围填海是威胁沿海湿地分布面积及其生态状况的重要原因，体现为6-滨海(天然)湿地和7-人工(咸水)湿地分别向其它土地类型的变化(表4)；而“6-滨海(天然)湿地”转变为“7-人工(咸水)湿地”的过程也具有围填海性质，往往是围填海开发将海域变为建设用地的初始阶段。

沿海天然湿地围垦。2000～2005年，共有1 841.24 km²的滨海(天然)湿地被开垦，其流向以人工湿地为主(盐田和养殖水域面积所占比例合计44.56%)，其次是独立工矿与交通用地面积(占24.47%)，再次是草地面积(占16.27%)。2005～2010年，共有1 541.84 km²的滨海(天然)湿地被开垦，其流向结构与前5 a相比变化显著，是以城乡和工矿用地为主(城镇、农村居民点、独立工矿与交通用地面积合计达813.67 km²，占52.77%，其中，尤以独立工矿与交通用地的比例最高)，其次是人工湿地(盐田和养殖水域面积所占比例合计27.09%)，再次是未利用地(占12.15%)。2000～2010年，共有3 259.40 km²的滨海(天然)湿地被开垦，其流向以城乡和工矿用地为主(城镇、农村居民点、独立工矿与交通用地面积合计达1 332.24 km²，占40.87%)，其次是人工湿地(盐田和养殖水域面积合计1 248.59 km²，占38.31%)；再次是草地(305.40 km²，占9.37%)。

沿海人工湿地固化。2000～2005年，共有566.91 km²的人工湿地进一步固化为其它类型，其流向以独立工矿与交通用地、耕地、城镇为主，三者面积分别占48.49%、29.09%和10.43%。2005～2010年，共有632.41 km²人工湿地被进一步固化为其它类型，其主要流向保持不变，独立工矿与交通用地、耕地和城镇面积分别占41.99%、27.06%和11.63%。2000～2010年，共有1 034.67 km²人工湿地进一步固化为其它类型，其流向以独立工矿与交通用地、耕地、城镇为主，其面积分别占38.83%、24.97%和20.50%。

2.4　围填海热点空间分布

在1 km尺度分别统计2000～2010年天然湿地围垦和人工湿地固化的面积强度特征(图5)。可见，围填海开发表现出范围广、强度高等特点，热点区域广泛分布，但以天然湿地围垦更为突出，而且北方沿海被围垦天然湿地的分布范围和强度比南方沿海更为突出。

2.5　土地利用变化的基本机制

通过2000～2010年不同地类之间主要的流向关系刻画中国沿海土地利用变化的基本机制：工业化和城市化是沿海土地利用变化的基本驱动力，

表4　3个时期中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)天然湿地围垦和人工湿地固化面积

Table 4　Areas of reclaimed natural wetlands and solidified artificial wetlands in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) during periods of 2000-2005，2005-2010, and 2000-2010

项目	时段	耕地	林地	草地	城镇用地	农村居民点	独立工矿与交通用地	盐田	养殖水域	未利用地	合计
天然湿地围垦面积(km²)	2000～2005年	83.63	51.57	299.60	45.81	11.48	450.46	166.25	654.24	78.19	1 841.24
	2005～2010年	26.11	15.33	81.75	124.19	8.34	681.14	93.04	324.63	187.30	1 541.84
	2000～2010年	111.88	58.94	305.40	268.43	20.03	1 043.77	289.43	959.16	202.36	3 259.40
人工湿地固化面积(km²)	2000～2005年	164.93	17.78	21.88	59.12	22.33	274.89	—	—	5.98	566.91
	2005～2010年	171.12	8.38	38.56	73.58	15.35	265.53	—	—	59.90	632.41
	2000～2010年	258.39	18.14	49.11	212.15	42.11	401.73	—	—	53.05	1 034.67

注：数据反映天然湿地或人工湿地单方向转变为其它土地利用类型的面积；2个5 a面积之和并不等同于10 a面积的整体变化。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

城镇扩张和工矿区发展占用大量耕地，而滨海建成区扩展则直接通过围填海等过程占用沿海湿地；耕地占补平衡政策驱动了沿海滩涂开垦为农业用地，以弥补内陆区域城市化和工业化导致的耕地流失；经济社会发展和生活水平改善促进了海产品需求量的上升，成为沿海养殖区迅速扩展的重要原因；由于时间尺度较短，气候变化、海平面上升等的影响作用并不显著(图6)。

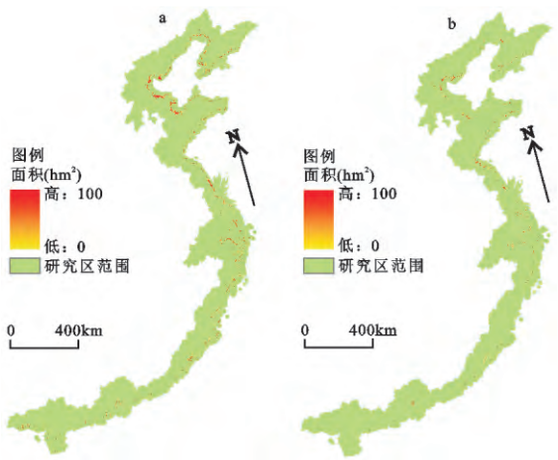

图5 中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)湿地2000～2010年围垦开发的空间范围及强度(a：滨海湿地围垦；b：人工湿地固化)

Fig.5 Extent and intensity of wetlands reclamation in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) from 2000 to 2010 (a: natural wetlands; b: artificial wetlands)

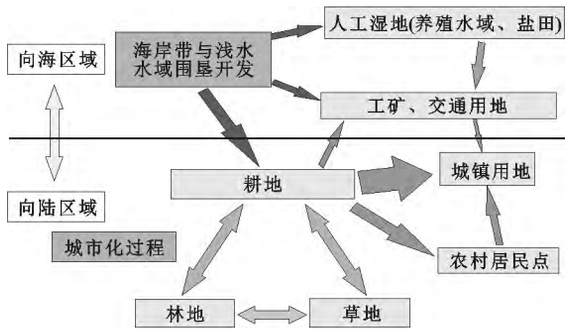

图6 中国沿海土地利用变化的基本机制

Fig.6 Underlying mechanisms of land use change in the coast of China

3 情景分析与模拟结果

3.1 情景模拟结果

情景模拟的初始结果是以比率尺度信息(面积)为属性值的栅格数据集，每个情景包含12个栅格数据层，在像元尺度，将其按照最大值合成，可得到以名义尺度信息(地类)为属性值的数据层。基于情景模拟的初始结果，统计各类型的面积(表5)。

3.2 不同情景之间的对比特征

与2000～2010年观测到的土地利用变化态势相比，BAU情景模拟结果能够很好地反映耕地、林地、草地、城镇、独立工矿与交通、养殖、未利用、浅海水域等的变化态势，而且总体上衔接较为自然：耕地、林地、草地的面积继续减少；城镇、独立工矿与交通用地面积继续快速扩张；淡水湿地面积小

表5 不同情景下的中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)土地利用面积

Table 5 Areas of land use in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) under various scenarios

代码	类型	观测值(km²)			BAU情景(km²)		政府规划情景(km²)		生态保护情景(km²)	
		2000年	2005年	2010年	2020年	2030年	2020年	2030年	2020年	2030年
1	耕地	229 776	224 104	219 820	214 563	210 980	214 563	210 980	219 475	219 156
2	林地	167 841	167 421	167 147	166 582	166 159	166 582	166 159	167 157	167 062
3	草地	30 081	28 979	28 513	28 196	27 993	28 196	27 993	28 233	28 075
4	城镇用地	9 725	15 292	20 439	23 001	24 431	23 473	25 598	22 662	24 059
5	农村居民点	26 061	26 227	25 866	27 622	29 077	27 622	29 077	25 692	25 672
6	独立工矿与交通用地	2 779	5 185	5 821	7 265	8 189	9 047	11 447	5 618	5 723
7	淡水湿地	22 320	21 659	21 942	22 453	22 911	22 453	22 911	21 902	21 842
8	咸水湿地	7 986	7 794	7 565	7 543	7 564	7 135	6 814	7 501	7 461
9	盐田	3 774	3 860	3 907	3 900	3 893	3 804	3 674	3 399	3 019
10	养殖水域	5 254	6 893	7 714	8 220	8 495	7 757	7 520	7 339	7 079
11	未利用地	2 336	2 045	2 066	2 047	2 035	2 047	2 035	1 965	1 921
12	浅海水域	138 487	136 961	135 620	135 029	134 693	133 741	132 212	135 478	135 350

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

幅增长，咸水湿地面积小幅波动，盐田面积减少，养殖区面积大幅提高，未利用土地面积不断减少，浅海水域面积大幅减少。

与2000～2010年观测值和2020年、2030年BAU情景模拟结果相比，规划情景模拟结果很好地反映了建设用围填海过程驱动下可能带来的土地利用变化特征，尤其是沿海城镇、独立工矿与交通用地面积的急剧增长，以及咸水湿地、盐田、养殖和浅海水域的面积减少，其中，浅海水域面积的减少特征格外突出。

与BAU情景和政府规划情景相比，生态保护情景很好地处理了经济社会发展与生态保护之间的关系，既维持了相对高速的城市化过程以及独立工矿与交通用地面积的增长速度，又能保证耕地、林地、草地、淡水湿地、咸水湿地、浅海水域等类型面积的恢复、保持，或者流失速度得到放缓，较好地体现了经济发展与生态保护“双赢”的原则和目标。

4 结论与展望

4.1 结 论

2000～2010年间，中国沿海(未包括其中的海南省、钓鱼岛、南海诸岛和台湾省)土地利用变化显著，建设用地和人工湿地面积分别增加了13 561 km^2和2 592 km^2，耕地和滨海湿地面积分别减少了9 956 km^2和3 288 km^2；围填海和湿地面积减少在北方沿海尤为突出；耕地保护政策约束、城市化发展、城乡生活水平提高等因素，共同加剧了沿海土地利用变化，导致大量滨海湿地被开垦为城乡建成区、独立工矿与交通用地、人工湿地，以及大量人工湿地被进一步固化为独立工矿与交通用地、耕地和城镇；已经获批复的沿海省市区海洋功能区划，将会进一步导致沿海湿地的急剧减少；而强调由陆到海进行系统保护和整体保护、优化城乡土地利用格局、实施有限度的围填海开发，则能够同时维持经济较快发展和良好的生态环境。

4.2 展 望

生态保护情景强调较为和缓的城市化和工业化进程，并强调城市化和工业化过程中充分利用城镇周边现有的农村居民点、独立工矿、人工湿地(盐田和养殖水域)、未利用土地等空间资源，从而减轻对耕地、林地、草地、湿地、浅海水域等的压力，分析这种“优化目标”得以实现的客观条件，主要包括：①城市化进程不断“吞并”城乡结合部的农村居民点和工矿建成区，这是长期以来已经存在的客观特征，而且，随着中国人口城市化水平的不断提高以及东部沿海“空心村”现象的进一步发展，对农村居民点用地进行优化整理，将更为必要和重要；②海岸带滨海城市建成区扩展或新增工矿与交通用地更多地占用毗邻的盐田和养殖区(而不是占用农田、林地、淡水湿地、咸水湿地或浅海水域等)，科技进步能够促进其现实可能性，例如，美国加利福尼亚州已经采用了新的盐业生产技术，使得仅用以往2/3的盐田面积即能维持原盐的产量不变；开放性海域养殖技术也在不断发展，不仅具有生态化、产量高、抗灾害等优点，而且海域使用不具有明显的排他性，同样有助于海域空间的保护和优化利用。

参考文献

[1]马田田, 梁晨, 李晓文, 等. 围填海活动对中国滨海湿地影响的定量评估[J]. 湿地科学, 2015, **13**(6): 653-659.

[2]宋红丽, 刘兴土. 围填海活动对我国河口三角洲湿地的影响[J]. 湿地科学, 2013, **11**(2): 297-304.

[3]安树青, 李哈滨, 关保华, 等. 中国的天然湿地：过去的问题、现状和未来的挑战[J]. AMBIO-人类环境杂志, 2007, **36**(4): 317-324.

[4]朱高儒, 许学工. 渤海湾西北岸1974～2010年逐年填海造陆进程分析[J]. 地理科学, 2012, **32**(8): 1006-1012.

[5]王毅杰, 俞慎. 长江三角洲城市群区域滨海湿地利用时空变化特征[J]. 湿地科学, 2012, **10**(2): 129-135.

[6]靳宇弯, 杨薇, 孙涛, 等. 围填海活动对黄河三角洲滨海湿地生态系统的影响评估[J]. 湿地科学, 2015, **13**(6): 682-689.

[7]宫鹏, 牛振国, 程晓, 等. 中国1990和2000基准年湿地变化遥感[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, **40**(6): 768-775.

[8]He Q, Bertness M D, Bruno J F, *et al*. Economic development and coastal ecosystem change in China[J]. Scientific Reports, 2014, **4**: 5995.

[9]牛振国, 张海英, 王显威, 等. 1978～2008年中国湿地类型变化[J]. 科学通报, 2012, **57**(16): 1400-1411.

[10]肖建红, 陈东景, 徐敏, 等. 围填海对潮滩湿地生态系统服务影响评估——以江苏省为例[J]. 海洋湖沼通报, 2010, (4): 95-100.

[11]杨晨玲, 李军伟, 田华丽, 等. 广西滨海湿地生态系统退化评价指标体系研究[J]. 湿地科学与管理, 2014, **10**(1): 53-56.

[12]张晓龙, 刘乐军, 李培英, 等. 中国滨海湿地退化评估[J]. 海洋通报, 2014, **33**(1): 112-119.

[13]杨同军, 王义刚, 黄惠明, 等. 我国东部沿海地区理论最低潮面与平均潮差关系研究[J]. 海洋与湖沼, 2013, **44**(3): 557-562.

[14]邸向红, 侯西勇, 吴莉. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究[J]. 资源科学, 2014, **36**(3): 463-472.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[15]Di X H, Hou X Y, Wang Y D, *et al*. Spatial-temporal characteristics of land use intensity of coastal zone in China during 2000-2010[J]. Chinese Geographical Science, 2015, **25**(1): 51-61.
[16]云雅如, 王淑兰, 胡君, 等. 情景分析法在我国环境保护相关领域管理决策中的现状与展望[J]. 中国人口•资源与环境, 2012, **22**(11): 131-135.
[17]吴莉, 侯西勇, 徐新良, 等. 山东沿海地区土地利用和景观格局变化[J]. 农业工程学报, 2013, **29**(5): 207-216.
[18]张永民, 赵士洞, Verburg P H. 科尔沁沙地及其周围地区土地利用变化的情景分析[J]. 自然资源学报, 2004, **19**(1): 29-37.
[19]除多, 张镱锂, 郑度. 拉萨地区土地利用变化情景分析[J]. 地理研究, 2005, **24**(6): 869-877.
[20]何丹, 金凤君, 周璟. 基于Logistic-CA-Markov的土地利用景观格局变化—以京津冀都市圈为例[J]. 地理科学, 2008, **31**(8): 903-910.
[21]陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 等. 基于CLUE-S和Markov复合模型的土地利用情景模拟研究——以江苏省环太湖地区为例[J]. 地理科学, 2009, **29**(4): 577-581.

Change Characteristics and Scenario Analysis of Coastal Wetlands in China

HOU Xiyong[1], XU Xinliang[2], WU Ting[1, 3], LI Xiaowei[1]

(1. *Yantai Institute of Coastal Zone Research*, *Chinese Academy of Sciences*, *Yantai* 264003, *Shangdong*, *P.R.China*;
2. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100101, *P.R.China*;
3. *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *P.R.China*)

Abstract: Land use in the coast of China (not including Hainan province, Diaoyu Islands, the South China Sea Islands, and Taiwan province) in 2000, 2005 and 2010 were mapped by remote sensing techniques, and characters of the coastal wetlands change from 2000 to 2010 were profoundly revealed, furthermore, multiple scenarios of wetlands change by 2020 and 2030 were analyzed and simulated. It turned out that, from 2000 to 2010, coastal land use changed acutely, built-up area and artificial wetland increased by 13 561 km^2 and 2 592 km^2 respectively, while farmland and natural wetlands decreased by 9 956 km^2 and 3 288 km^2 respectively. Restrictions from farmland protection policy, urbanization, improvement of living standards have been the primary driving forces of coastal wetlands reclamation, as the result, lots of natural coastal wetlands have changed into urban space, rural settlement, isolated industrial and transport land, artificial wetlands, meanwhile, lots of artificial wetlands have changed into isolated industrial and transport land, farmland and urban space. Sea reclamation and wetlands disappearing were more serious in northern coastal area than in southern. Scenario analysis and simulation confirms that, Marine Functional Zoning by 2020 that have been approved by the central government in each coastal provinces, cities or autonomous regions would make it more worsen by accelerating the decrease of coastal wetlands; however, relatively fast economic development and fairly good ecological environment could be achieved simultaneously on conditions that integrated and comprehensive protection between land and sea is stressed, optimization measures for urban and rural land use pattern are adopted, and moderate sea reclamation policy is implemented. This research is committed to give supports to policy decisions of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) in China.

Keywords: land use; wetlands; spatial-temporal dynamic; sea reclamation; scenario analysis; coast of China

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net