

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15352

围填海对珠江口南沙湿地资源与生物资源的影响

于杰, 陈作志, 徐姗楠

中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300

摘要: 利用 1989、1994、2004 和 2014 年陆地卫星遥感资料, 采用遥感影像解译手段、GIS 数字化和叠加分析等方法, 分析珠江口南沙湿地围填海开发进程, 并通过对 2002—2003 年和 2013—2014 年两个时期 10 个航次的现场调查资料的对比分析, 研究围填海对南沙周围水域生物的影响。结果表明: (1)4 个时相南沙湿地海岸线长度分别为 213.6 km、230.0 km、232.5 km 和 248.6 km。1989—1994 年、1994—2004 年和 2004—2014 年海岸线长度年增加幅度分别为 3.28 km/a、0.25 km/a 和 1.61 km/a, 海岸线向海推进最大距离分别为 4900 m、1700 m 和 7700 m。(2)1989—2014 年南沙湿地因围填海增加面积约 46.3 km², 增加幅度最大的阶段为 1989—1994 年, 增加面积占总增加面积的 40.60%; 其次是 2004—2014 年, 增加面积占总增加面积的 34.99%; 1994—2004 年围填海占用的滩涂面积最小 (24.41%), 南沙万顷沙和龙穴岛的围填海活动最为剧烈。(3)近 10 年来, 南沙湿地浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、鱼类和头足类等生物资源种类分别减少了 60.34%、73.21%、26.67%、79.78%和 50.00%, 栖息密度分别减少 58.49%、12.38%、79.96%、78.78%和 66.79%, 生物量分别减少了 82.16%、73.23%、15.83%、70.49%和 62.43%。甲壳类的种类数和栖息密度分别减少了 13.33%和 69.85%, 但生物量增加了 114.20%。(4)浮游动物多样性指数增加了 10.24%, 大型底栖动物、潮间带生物、鱼类、甲壳类和头足类等多样性指数分别减少了 71.10%、91.82%、18.18%、66.90%和 73.68%, 优势种更替显著。可见, 南沙湿地围填海不仅改变了海岸线的类型和长度, 占用了湿地资源, 同时也对周边水域的海洋生物产生了不利影响。

关键词: 珠江口; 南沙湿地; 围填海; 生物资源; 遥感

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)03-0661-11

随着沿海地区城市化和工业化的发展, 土地资源不足已成为制约经济发展的重要因素, 围填海通过围海筑堤、填海造地等方式为地区经济发展创造了空间, 成为自 20 世纪 80 年代以来, 中国沿海地区解决土地稀缺与经济发展矛盾的主要方式。围填海侵占了大量湿地资源, 造成原有湿地生态功能变迁, 改变生物资源生存环境, 造成生物资源减少, 特别是破坏了一些渔业资源的产卵场和育苗场, 还会直接导致填海区底栖生物完全

消失^[1-3]。

南沙湿地位于珠江出海口东大四口门交汇处, 近岸和海岸湿地面积约为 51242.57 hm², 处于亚热带季风气候区, 湿地植被如红树林和芦苇等资源丰富, 候鸟种类繁多, 渔业资源生物多样性高。拥有小虎涌、蕉门、洪奇沥和洪奇门等水道, 是珠江口渔业资源种类, 如七丝鲚(*Coilia grayii*)的洄游通道, 而邻近的珠江口又是南海北部非常重要的鱼类天然产卵场、育肥场和作业渔场[如康氏

收稿日期: 2015-09-08; 修订日期: 2015-12-14.

基金项目: 广州市科技计划项目珠江科技新星专项(2014J2200020); 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 广东省自然科学基金项目(2014A030310221, 2015A030313785); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2013TS06); 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室开放基金项目(LSF2012-02).

作者简介: 于杰(1980—), 女, 博士, 助理研究员, 从事海洋遥感与 GIS 研究. E-mail: yujiescs@aliyun.com

通信作者: 徐姗楠, 副研究员. E-mail: xushannan@scsfri.ac.cn

小公鱼 (*Anchoviella commersonii*)、赤鼻棱鯉 (*Thryssa kammalensis*)、粗纹鲷 (*Leiognathus lineolatus*) 和棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 等], 此外, 珠江口海域又是中华白海豚 (*Sousa chinensis*) 和江豚 (*Neophocaena phocaenoides*) 的重要活动区域^[4-8]。

南沙区是广东省和广州市经济发展重点开发地区^[4]。在《广东省海洋功能区划(2011—2020 年)》中, 南沙区被圈定为广东省填海造地的重点区域之一。为了评估围填海对南沙湿地及邻近水域生物资源的影响, 利用 4 个时相的遥感数据评价南沙湿地围填海进程, 并通过对比分析 2 个时期(2002—2003 年和 2013—2014 年)资源调查结果, 初步评价围填海对生物资源造成的影响, 旨在为政府开展围填海管理、生态修复及渔业管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 现场调查数据

2002—2003 年和 2013—2014 年课题组分别对南沙湿地水域进行了 10 个航次的现场调查, 调查时间为 2002 年 12 月、2003 年 2 月、2003 年 5 月、2003 年 8 月、2003 年 11 月、2013 年 8 月、2013 年 12 月、2014 年 2 月、2014 年 5 月和 2014 年 7 月, 调查站位布设如图 1 所示, 2002—2003 年潮间带调查断面有 T3、T4 和 T5, 2013—2014 年潮间带调查断面有 T1、T2、T3、T4 和 T5。两次调查均采集了浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、鱼类、甲壳类和头足类的种类、密度和生物量数据, 采样方法与生物学测定参照海洋监测规范(GB 12763.6-2007)。

1.2 遥感数据

遥感数据采用陆地卫星 Landsat7 和 Landsat8 可见光影像资料, 时相分别为 1989 年 12 月 13 日、1994 年 9 月 28 日、2004 年 11 月 28 日和 2014 年 4 月 20 日, 在 Envi 软件中对 4 幅影像进行配准操作。经图像增强处理合成波段 3、波段 2 和波段 1 及波段 5、波段 4 和波段 3 真假彩色合成影像, 应用计算机目视解译、专家咨询、现场踏勘等方法, 完成岸线类型识别和岸线数字化工作。

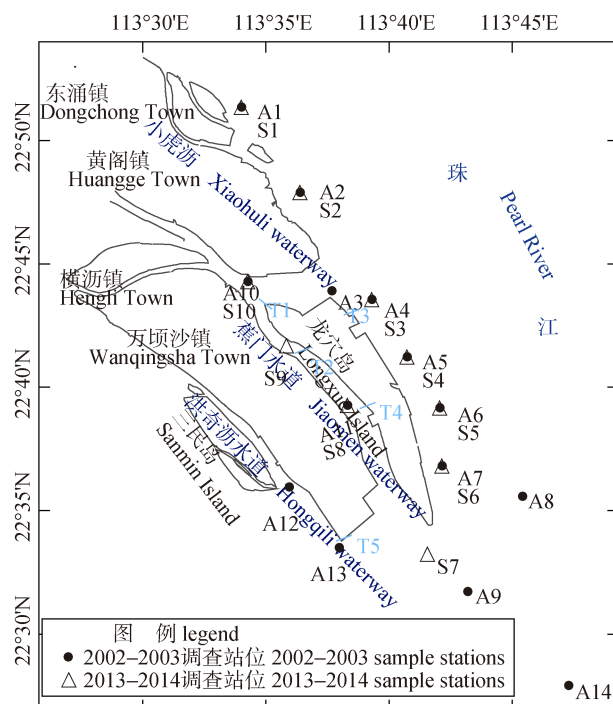


图 1 调查站位图

Fig. 1 Distribution of survey stations

2 结果与分析

2.1 南沙湿地海岸年际变化分析

人类围填海及工程建设活动将原先较为平直的岸线变得更加曲折, 导致岸线长度发生变化。1989 年、1994 年、2004 年和 2014 年 4 个时期, 南沙湿地海岸线长度分别为 213.6 km、230.0 km、232.5 km 和 248.6 km。3 个时间段(1989—1994 年、1994—2004 年和 2004—2014 年)岸线年增加幅度分别为 3.28 km/a、0.25 km/a 和 1.61 km/a。

1989—1994 年南沙海岸线变迁剧烈的地区有 5 处, 分别位于黄阁镇东岸(A)、龙穴岛西(B)、龙穴岛南(C)、万顷沙南(D)和三民岛西南(E), 其中, A 处岸线变迁是由于城镇建设填海造成, 海岸线向外海推进最大距离约为 410 m; B 和 E 两处是受到围海种植的影响, B 处中间区域由于自然或人为因素, 自然海岸向陆地推进最大距离约 360 m, 南端和北端区域由于种植填海岸线外推最大距离约 120 m 和 370 m, E 处岸线向海推进最大距离约 250 m; C 和 D 两处是由于围海种植养殖活动导致, C 处岸线向南推移了约 4900 m, D 岸线向南推移

了约 2900 m(图 2a, 3a 和 3b)。

1994—2004 年海岸线变迁的区域与 1989—1994 年类似, 同样在黄阁镇东 A 和 B、龙穴岛东南 C、万顷沙东南 D 存在岸线变迁, 此外在三民岛南端的 E 也有一处变化(图 2b)。A 和 B 处的变迁是由于城镇建设导致, A 处岸线向海方向推进最大距离约 370 m, B 处岸线向海推进最大距离约 165 m, C 处由城镇和企业建设及养殖活动导致, 岸线向东推移约 1700 m; D 处和 E 处由于围海种植导致的海岸线变化, D 处向南推移约 1400 m, E 处由 1994 年的平直岸线向南推进, 与 2004 年的岸线围成一个三角形, 平直岸线到三角形最南部顶点的最大距离约 900 m(图 2b, 3b 和 3c)。

2004—2014 年剧烈的岸线变迁有两处, 如图 2(c)的 A 和 B, A 和 B 均位于龙穴岛上。A 处岸线变化受到龙穴岛东部企业和码头建设的围填海活动导致, 向东推进最大距离约 890 m; B 处岸线变化北部是由于企业建设, 南部由于人工堤坝建设导致海岸线外推, 2004 年平直岸线到 2014 年岸线最南端的距离约为 7700 m(图 2c, 3c 和 3d)。

2.2 南沙及重点区域围填海状况

南沙地区 1989—1994 年、1994—2004 年和 2004—2014 年 3 个阶段围填海面积分别为 18.8 km²、11.3 km²、16.2 km², 围填海活动以 1989—1994 年最为剧烈, 1994—2004 年围填海程度较第一阶段降低, 到 2004 年后围填海程度再次增加, 南沙的围填海主要发生在万顷沙和龙穴岛(表 1)。

万顷沙 1989—1994 年围填海面积 10.9 km², 位于东南海岸; 1994—2004 年围填海面积 2.6 km², 较 1989—1994 年发生变化不大, 主要位于万顷沙东海岸和东南海岸; 两个时期的围填海活动均是由于养殖业发展所致; 2004—2014 年万顷沙未有显著的围填海活动(表 1)。

龙穴岛 1989—1994 年围填海面积 7.6 km², 位于龙穴岛西海岸和东南海岸, 由养殖业发展所致; 1994—2004 年围填海面积 7.6 km², 分布在龙穴岛东海岸, 由养殖业发展和企业建设所致; 2004—2014 年围填海面积 15.9 km², 较之前 2 个阶段变化幅度达 2 倍, 分布在东部和东南海岸,

由企业建设所致(表 1)。

表 1 珠江口南沙围填海面积
Tab. 1 Reclamation area of Nansha in Pearl River Estuary km²

区域 area	年代 year		
	1989—1994	1994—2004	2004—2014
万顷沙 Wanqingsha Island	10.9	2.6	—
龙穴岛 Longxue Island	7.6	7.6	15.9
南沙 Nansha	18.8	11.3	16.2

2.3 南沙湿地邻近海域生物资源变动情况

与 2002—2003 年相比, 2013—2014 年南沙湿地邻近海域生物资源发生了较大的变化, 除甲壳类外, 浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、鱼类和头足类在种类、栖息密度和生物量都有显著降低的现象, 其中种类数分别减少了 60.34%、73.21%、26.67%、79.78%和 50.00%, 栖息密度分别减少 58.49%、12.38%、79.96%、78.78% 66.79%, 生物量分别减少 82.16%、73.23%、15.83%、70.49%和 62.43%。甲壳类的种类数和栖息密度分别减少了 13.33%和 69.85%, 但生物量增加了 114.20%(表 2)。

万顷沙是受围填海影响较大的地区之一, 与 2002—2003 年相比, 2013—2014 年万顷沙周围的生物资源显著减少, 尤其没有捕捞到头足类资源, 浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、鱼类和甲壳类种类数上分别减少了 50.00%、73.33%、42.31%、79.45%、11.11%, 栖息密度分别减少了 67.55%、9.26%、72.30%、83.91%、76.40%, 生物量分别减少了 53.73%、69.91%、40.99%、80.54%、13.43%(表 2)。

龙穴岛也是受围填海影响较大的区域, 与 2002—2003 年相比, 2013—2014 年龙穴岛浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、鱼类和头足类的种类数、栖息密度和生物量都有降低的现象, 种类数分别降低了 55.77%、79.49%、65.22%、78.82%、33.33, 栖息密度分别减少了 75.76%、16.74%、80.75%、79.79%、72.68%, 生物量分别减少了 87.97%、85.88%、38.20%、72.64%、71.59%, 而甲壳类的种类数没有变化, 栖息密度和生物量分别减少了 82.82%和 8.47%(表 2)。

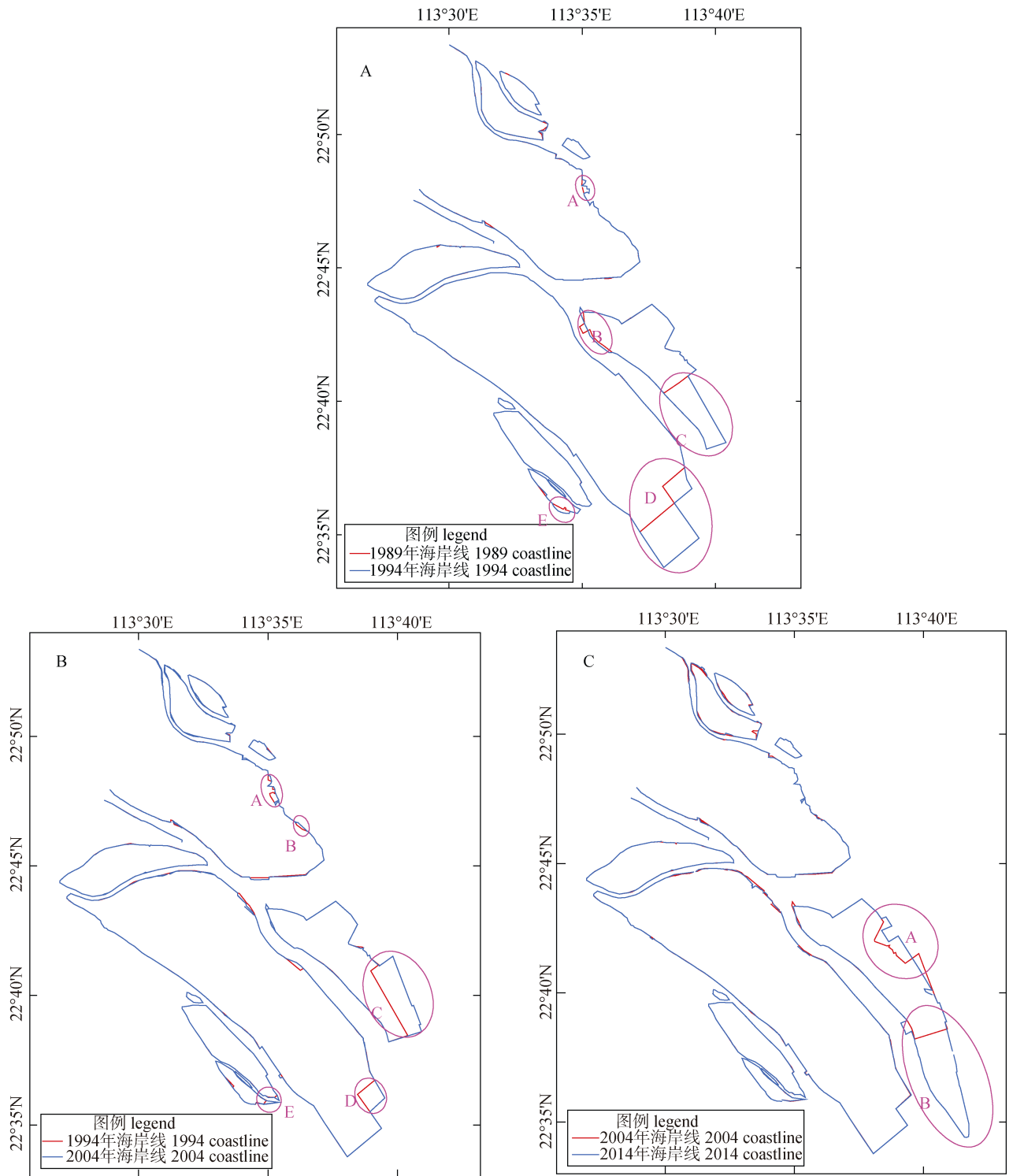


图 2 珠江口南沙湿地海岸线变迁

A. 1989—1994 年; B. 1994—2004 年; C. 2004—2014 年.

Fig. 2 Changes in the coastline of Nansha wetland in Pearl River Estuary

A. 1989—1994; B. 1994—2004; C. 2004—2014.

2.4 南沙湿地邻近海域生物多样性和优势种变动情况
与 2002—2003 年相比, 2013—2014 年南沙湿

地邻近海域浮游动物的多样性指数有小幅度增加
高, 增加量为 0.17, 而大型底栖生物和潮间带生

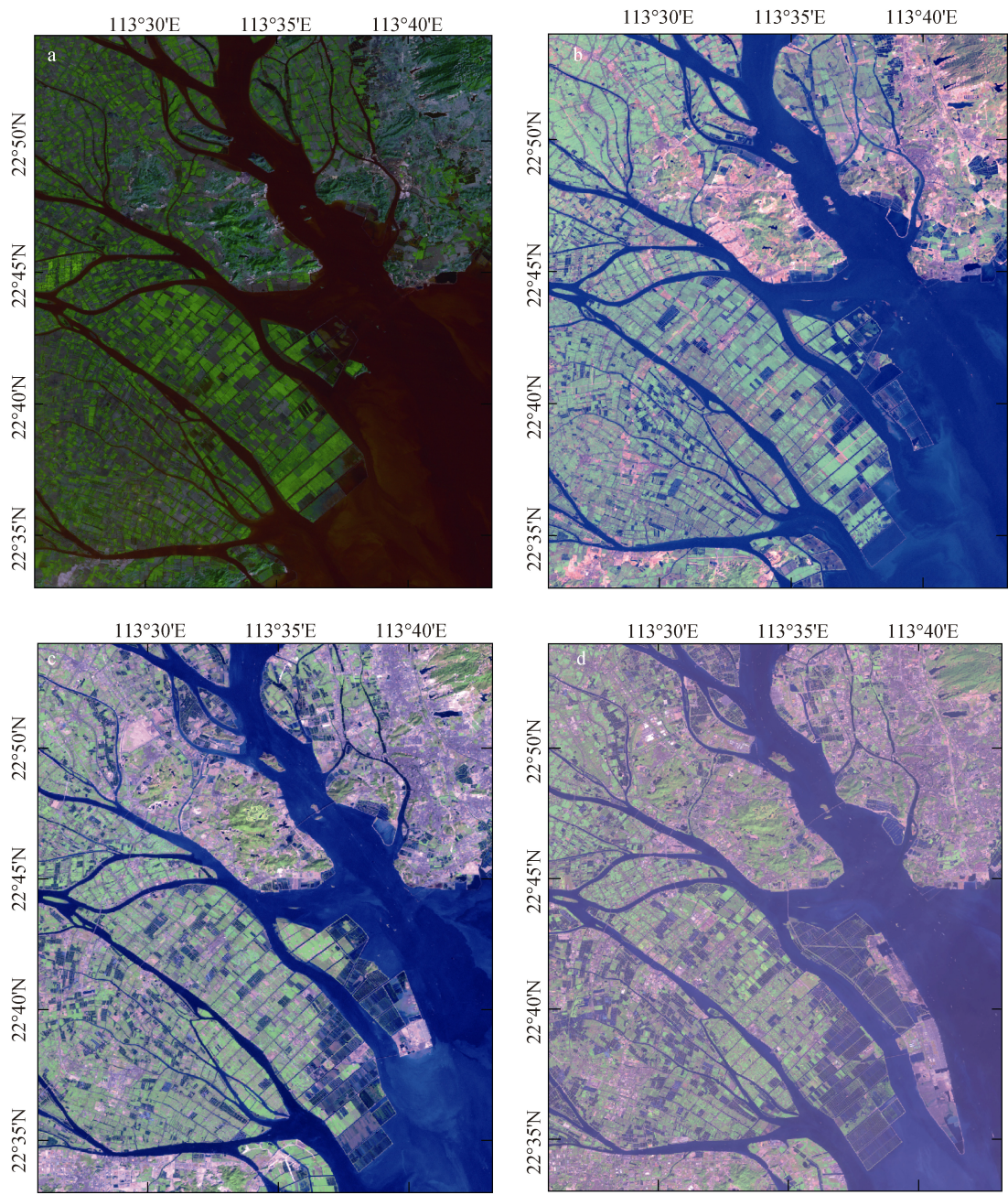


图 3 珠江口南沙湿地遥感影像图
a. 1989 年; b. 1994 年; c. 2004 年; d. 2014 年.
Fig. 3 Remote sensing images of Nansha wetland in Pearl River Estuary
a. 1989; b. 1994; c. 2004; d. 2014.

物多样性指数显著降低, 分别减少了 1.55 和 2.92。2002—2003 年浮游动物优势种有火腿许水蚤、中华异水蚤、右突歪水蚤、刺尾纺锤水蚤、鸟喙尖头蚤、肥胖箭虫和亨生莹虾, 2013—2014 年优势种有肥胖箭虫、球形侧腕水母、诺氏僧帽溞、中华异水蚤、瘦歪水蚤和刺尾纺锤水蚤。2002

—2003 年底栖生物优势种有鼓虾、被角樱蛤、狭颚绒螯蟹、异蚓虫、软疣沙蚕、光滑河蓝蛤和蚬, 2013—2014 度优势种仅有光滑河蓝蛤、异蚓虫、梳鳃虫、双鳃内卷齿蚕和杂色巢沙蚕。2002—2003 年潮间带生物优势种有异蚓虫、蚬、紫游螺、泥藤壶、须鳃虾虎鱼、软疣沙蚕、河蚬、刀

明樱蛤、蜥形副平牙虾虎鱼和带偏顶蛤, 2013—2014 年优势种有软疣沙蚕、变化短齿蛤、截形鸭嘴蛤、锥形滩栖螺、单叶沙蚕、紫游螺和泥藤壶(表 3)。

与 2002—2003 年相比, 鱼类、头足类和甲壳类的多样性指数均明显降低, 分别减少了 0.48、0.95 和 0.42。2002—2003 年鱼类优势种有广东鲂、棘头梅童鱼、凤鲚、七丝鲚、花鲈、花鲢、银鲳、鳙、带鱼和斑鲷, 2013—2014 年优势种有红狼牙虾虎鱼、棘头梅童鱼、舌虾虎鱼、皮氏叫姑鱼、

七丝鲚、凤鲚、花鲢、孔虾虎鱼、短吻鲷和锤头虾虎鱼。2002—2003 年甲壳类优势种有狭颚绒螯蟹、脊尾白虾、球形拳蟹、亨氏仿对虾、墨吉对虾、宇纹弓蟹和巨指长臂虾, 2013—2014 年优势种有脊尾白虾、近缘新对虾、日本蟳、锯齿长臂虾、口虾蛄、贪食鼓虾、锯缘青蟹、亨氏仿对虾、黑斑口虾蛄和广东长臂虾。2002—2003 年头足类的田乡枪乌贼和杜氏枪乌贼, 2013—2014 年优势种为杜氏枪乌贼(表 3)。

表 2 与 2002—2003 年相比 2013—2014 年南沙湿地邻近海域生物资源种类数、栖息密度和生物量变化情况
Tab. 2 Changes of biological organisms in the survey of 2013—2014 compared with 2002—2003

生物资源 biological organism	南沙 Nansha			万顷沙 Wanqingsha			龙穴岛 Longxue Island		
	种类数 individual number	栖息密度 habit density	生物量 biomass	种类数 individual number	栖息密度 habit density	生物量 biomass	种类数 individual number	栖息密度 habit density	生物量 biomass
浮游动物 zooplankton	-60.34	-58.49	-82.16	-50.00	-67.55	-53.73	-55.77	-75.76	-87.97
大型底栖动物 macrobenthos	-73.21	-12.38	-73.23	-73.33	-9.26	-69.91	-79.49	-16.74	-85.88
潮间带生物 intertidal organism	-26.67	-79.96	-15.83	-42.31	-72.30	-40.99	-65.22	-80.75	-38.20
鱼类 fish	-79.78	-78.78	-70.49	-79.45	-83.91	-80.54	-78.82	-79.79	-72.64
甲壳类 shellfish	-13.33	-69.85	114.20	-11.11	-76.40	-13.43	0.00	-82.82	-8.47
头足类 cephalopod	-50.00	-66.79	-62.43	-100.00	-100.00	-100.00	-33.33	-72.68	-71.59

3 讨论

3.1 南沙湿地海岸线变迁分析

南沙湿地是广州市面积最大的滨海湿地, 也是广州城市空间向南发展的重点区域^[9], 南沙区自 1993 年经国务院批准设立广州南沙经济技术开发区以来, 一直是广州市投资开发的重点地区, 经济快速发展加大了对土地的需求, 使南沙成为珠江口沿岸海岸线变化最快的地区之一^[10]。南沙地区海岸线变化以人工围填海造地和海岸开发产生的向海延伸为主, 1989 年以前, 南沙湿地岸线开发主要用于水产养殖业发展, 沿岸的城镇和企业所占岸线长度很小。至 1994 年城镇和企业所占岸线大幅度增加, 说明这一时期南沙地区围填海更多用于城镇规模扩大、工业发展和码头建设。

1994—2004 年期间, 岸线长度变化不大, 池塘岸线和人工堤坝岸线几乎无变化, 这与珠江口伶仃洋的结果一致, 贾培宏等^[11]认为这一情况表明由于污染或海岸工程的原因, 珠江口已不太适宜发展养殖, 2004 年以后, 岸线变化主要位于龙穴岛南端, 从 2014 年遥感影像上可以看到人工堤坝包围的海域。

3.2 南沙湿地围填海进程及驱动力分析

珠江口沿岸是广东省经济发展最为迅速和集中的地区, 也是海岸带资源开发最为活跃的区域, 沿海地区人口增加和区域经济发展需要大量土地, 因而对滩涂进行开发用于农业种植、水产养殖、城镇企业建设、港口码头等^[10]。邓培雁等^[12]最早于 2004 年应用 Landsat 卫星数据分析了珠江口海岸湿地退化情况, 指出 1998—2002 年期间, 广东省

表 3 2002—2003 和 2013—2014 年南沙湿地邻近海域多样性和优势种
Tab. 3 Shannon-Wiener diversity index and dominant species in 2002—2003 and 2013—2014

生物资源 biological organism	2002—2003		2013—2014	
	多样性指数 diversity index	优势种(优势度) dominant species(dominance)	多样性指数 diversity index	优势种(优势度) dominant species(dominance)
浮游动物 zooplankton	1.66	火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i> (0.15), 中华异水蚤 <i>Acartiella sinensis</i> (0.15), 右突歪水蚤 <i>Tortanus dextrilobatus</i> (0.13), 刺尾纺锤水蚤 <i>Acartia spinicauda</i> (0.10), 鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i> (0.04), 肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> (0.03), 亨生莹虾 <i>Lucifer hansenii</i> (0.02)	1.83	肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> (0.066), 球形侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> (0.053), 诺氏僧帽蚤 <i>Evadne nordmanni</i> (0.042), 中华异水蚤 <i>Acartiella sinensis</i> (0.038), 瘦歪水蚤 <i>Tortanus gracilis</i> (0.036), 刺尾纺锤水蚤 <i>Acartia spinicauda</i> (0.023)
大型底栖动物 Macrobenthos	2.18	鼓虾 Alpheidae(0.083), 被角樱蛤 <i>Angulus vestalioides</i> (0.083), 狭颚绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i> (0.083), 异蚓虫 <i>Heteromastus filliformis</i> (0.079), 软疣沙蚕 <i>Tylonereis bogoyawleskyi</i> (0.0515), 光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i> (0.494), 蜆 <i>Corbiculidae</i> (0.039)	0.63	光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i> (0.05), 异蚓虫 <i>Heteromastus filliformis</i> (0.427), 梳鳃虫 <i>Terebellides stroemii</i> (0.037), 双鳃内卷齿蚕 <i>Aglaophamus dibranchis</i> (0.035), 杂色巢沙蚕 <i>Diopatra variabilis</i> (0.033)
潮间带动物 intertidal organism	3.18	异蚓虫 <i>Heteromastus filliformis</i> (0.123), 蜆 <i>Corbiculidae</i> (0.053), 紫游螺 <i>Neritina violacea</i> (0.048), 泥藤壶 <i>Balanus uliginosus</i> (0.047), 须鳃虾虎鱼 <i>Taenioides cirratus</i> (0.036), 软疣沙蚕 <i>Tylonereis bogoyawleskyi</i> (0.033), 河蜆 <i>Corbicula fluminea</i> (0.031), 刀明樱蛤 <i>Moerella culter</i> (0.028), 蜥形副平牙虾虎鱼 <i>Parapocryptes serperaster</i> (0.026), 带偏顶蛤 <i>Modiolus comptus</i> (0.025)	0.26	软疣沙蚕 <i>Tylonereis bogoyawleskyi</i> (0.064), 变化短齿蛤 <i>Brachidontes variabilis</i> (0.051), 截形鸭嘴蛤 <i>Laternula truncata</i> (0.047), 锥形滩栖螺 <i>Batillaria sordida</i> (0.045), 单叶沙蚕 <i>Namalycastis abiuma</i> (0.036), 紫游螺 <i>Neritina violacea</i> (0.033), 泥藤壶 <i>Balanus uliginosus</i> (0.030)
鱼类 fish	2.64	广东鲂 <i>Megalobrama hoffmanni</i> (0.192), 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> (0.063), 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> (0.053), 七丝鲚 <i>Coilia grayii</i> (0.05), 花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i> (0.044), 花鲮 <i>Clupanodon thrissa</i> (0.041), 银鲳 <i>Pampus argenteus</i> (0.036), 鳙 <i>Ilisha elongate</i> (0.029), 带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i> (0.022), 斑鲮 <i>Clupanodon punctatus</i> (0.020)	2.16	红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> (0.056), 棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i> (0.047), 舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i> (0.039), 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> (0.038), 七丝鲚 <i>Coilia grayii</i> (0.035), 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> (0.035), 花鲮 <i>Clupanodon thrissa</i> (0.030), 孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i> (0.029), 短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i> (0.021), 锤馗虾虎鱼 <i>Triaenopogon barbatus</i> (0.020)
甲壳类 shellfish	1.42	狭颚绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i> (0.366), 脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i> (0.129), 球形拳蟹 <i>Philyra globulosa</i> (0.047), 亨氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hungerfordi</i> (0.036), 墨吉对虾 <i>Penaeus merguensis</i> (0.022), 宇纹弓蟹 <i>Varuna litterata</i> (0.022), 巨指长臂虾 <i>Palaemon macrodactylus</i> (0.020)	0.47	脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i> (0.045), 近缘新对虾 <i>Metapenaeus affinis</i> (0.042), 日本螯 <i>Charybdis japonica</i> (0.035), 锯齿长臂虾 <i>Palaemon serrifer</i> (0.032), 口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i> (0.030), 贪食鼓虾 <i>Alpheus rapacida</i> (0.024), 锯缘青蟹 <i>Scylla serrata</i> (0.024), 亨氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hungerfordi</i> (0.024), 黑斑口虾蛄 <i>Oratosquilla kempii</i> (0.023), 广东长臂虾 <i>Palaemon guangdongensis</i> (0.023)
头足类 cephalopod	0.57	田乡枪乌贼 <i>Loligo tagoi</i> (0.028), 杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i> (0.022)	0.15	杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i> (0.023)

湿地总面积减少了 7.66%(减少面积为 798.28 km²), 积减少了 10.9%^[13], 2002—2008 年南沙湿地面积
还有研究指出 1996—2000 年南沙万顷沙湿地面 减少了 13.78%^[14], 本研究结果也表明自 1989 年

开始,南沙湿地围填海活动一直持续至今。从选取的 3 个研究阶段来看,1989—2004 年间南沙湿地围填海活动最为频繁,1994—2004 年期间略有缓和,2004 年之后又有回升,三个阶段湿地面积退化幅度分别为 $3.76 \text{ km}^2/\text{a}$ 、 $1.13 \text{ km}^2/\text{a}$ 和 $1.62 \text{ km}^2/\text{a}$,围填海的原因主要是用于发展水产养殖业、城镇、企业和码头建设。

1989 年以来,南沙地区大概有 90 km^2 的土地由滩涂围垦开发而成,与广东省其他沿海湿地开发模式类似,南沙湿地开发从最初以养殖业开发为主,变化为近年来城镇和企业建设开发比重增大的态势^[13, 15]。南沙湿地围填海以万顷沙和龙穴岛最显著,万顷沙 1989—2000 年面积增加幅度达 $1.76 \text{ km}^2/\text{a}$,龙穴岛所属的鸡抱沙 1979—2003 年面积增加幅度达 $2.44 \text{ km}^2/\text{a}$ ^[10],本研究结果显示,1989—2014 年面积增加幅度为分别是 $0.54 \text{ km}^2/\text{a}$ 和 $1.24 \text{ km}^2/\text{a}$,面积增加幅度差异一方面是由于统计年份不同,另一方面是制图人对海岸线的判别差异引起的。

3.3 围填海对生物的影响

有研究表明,围填海可以造成附近海区浮游动,植物生物多样性降低,及优势种和群落结构的变化^[1, 16-17]。本研究结果也表明,围填海后南沙周围海域生物资源在种类数、栖息密度和生物量出现了明显降低,围填海尤为剧烈的万顷沙和龙穴岛降低更为显著,整个南沙周围海域生物资源呈现种类数减少,栖息密度降低,生物量降低,多样性指数下降,优势种更替的现象。从种类数变化程度来看,南沙周围海域鱼类种类数减少最为显著,其次是大型底栖动物、浮游动物、头足类、潮间带生物和甲壳类。从栖息密度变化程度来看,降低幅度由高到低依次是潮间带生物、鱼类、甲壳类、头足类、浮游动物和大型底栖动物。从生物量变化程度上看,降低幅度由高到低依次是浮游动物、大型底栖动物、鱼类、头足类和潮间带生物。从多样性指数变化程来看,下降幅度由高到低依次是潮间带动物、头足类、大型底栖动物、甲壳类和鱼类。

围填海对生物的影响比较复杂,直接影响主

要是通过填埋的方式覆盖生物栖息地,另外,在施工过程中产生大量悬浮泥沙,导致水体混浊、溶解氧浓度降低,直接对生物的呼吸和消化系统造成影响,尤其会影响生物幼体的存活率^[18]。除此之外,围填海对生物资源的间接影响更大,围填海导致海岸线外推,迫使生物迁移,围填海造成河口、海湾的潮流形态和动力减弱,引起水体和底质理化性质改变,影响生物生理及生活史过程^[1]。本研究中,围填海改变了珠江西岸附近水域、蕉门水道和洪奇沥水道水流的流向和强度,造成水动力环境变化,此外,又将高初级生产力的滩涂资源直接覆盖,使很多生物丧失了重要的栖息地、产卵场和繁殖场。

理化环境的变化引起生物做出相应的行为反应,鱼类空间移动性较强,可以更快更早对围填海做出响应,鱼类的种类数、栖息密度和生物量下降幅度均超过了 70%,但多样性指数下降幅度最小,从优势种变化来看,广东鲂、凤鲚、花鲈、银鲳、鳙、带鱼、斑鲷等传统经济鱼类优势度降低,经济价值偏低的虾虎鱼类优势性显著,而棘头梅童鱼、七丝鲚和花鲢仍然为优势种,表明围填海对鱼类群落多样性的影响小于对生物量和资源量的影响。万顷沙周围水域鱼类种类数、栖息密度和生物量的下降幅度高于南沙周围水域平均水平,靠近珠江水道的龙穴岛鱼类资源下降幅度小于万顷沙。除围填海的影响外,鱼类资源变化还受捕捞、水域环境污染及气候变化等多重因素影响^[19-22]。

围填海对底栖生物群落的影响较为明显,相关研究也较多^[23-26],底栖动物空间移动性较差,与鱼类相比,对底栖动物威胁最大的是围填海填埋栖息地,直接造成生物损失。底栖动物种类数、生物量和多样性指数下降显著,栖息密度变化相对较小,优势种中空间移动性相对强的鼓虾和狭颚绒螯蟹优势度降低。龙穴岛底栖生物变化幅度高于南沙周围水域平均水平,也高于万顷沙底栖生物变化幅度,这与龙穴岛围填海占有的滩涂面积最大有关。

浮游动物比鱼类更靠近食物链底层,也是某

些鱼类的饵料生物, 它们的资源量既受到围填海的影响, 也与捕食者鱼类的资源情况相关。浮游动物的种类数、栖息密度和生物量下降明显, 但多样性指数增加, 重要鱼类饵料莹虾不再是优势种, 水母成为优势种, 这将对资源的可持续产生不利影响。龙穴岛周围水域浮游动物变化幅度大于万顷沙, 尤其生物量下降幅度比万顷沙多 30% 以上。

甲壳类空间移动性差, 南沙周围海域甲壳类种类数和生物量变化不大, 特别是龙穴岛周围海域甲壳类种类数无变化, 生物量下降幅度也较小。尽管南沙周围水域甲壳类的种类数、栖息密度和生物多样性下降, 但生物量增加显著, 这可能与捕食者鱼类显著降低有关, 优势种以虾类为主, 蟹类优势性不复存在。

南沙周围水域头足类种类不多, 2002—2003 年仅有田乡枪乌贼和杜氏枪乌贼两个优势种, 2013—2014 年优势种为杜氏枪乌贼, 栖息密度和生物量的下降幅度高于种类数下降幅度。万顷沙周围头足类资源枯竭, 靠近珠江的龙穴岛周边头足类资源下降显著。

潮间带生物的种类数和生物量下降程度较小, 但栖息密度下降显著, 多样性指数下降幅度达到了 90% 以上, 这与大量潮间带滩涂资源被覆盖密切相关, 围填海剧烈的万顷沙和龙穴岛的潮间带生物种类数、栖息密度和生物量的下降幅度高于整个南沙的平均水平。

本研究表明围填海对该区域的渔业资源也有明显的负面效应。由于不同生物种类生理习性的差异, 对生态环境扰动的响应不同, 使得量化围填海对生物资源的影响的研究十分困难, 目前国内外均缺少针对围填海影响生物资源的基础研究。因此, 在今后的研究工作中, 需要加强对围填海区域生态环境和生物资源的长期跟踪监测, 逐步认识围填海对不同类型生物资源的影响机理。

参考文献:

- [1] Zhang M H, Chen C P, Suo A N, et al. International advance of sea areas reclamation impact on marine environment[J]. Ecology and Environmental Science, 2012, 21(8): 1509—1513.[张明慧, 陈昌平, 索安宁, 等. 围填海的海洋环境影响国内外研究进展[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8): 1509—1513.]
- [2] Cai L P. Reclamation impacts on sediments and macrobenthos in eastern Liuheng Island[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2012.[蔡丽萍. 六横岛东部围填海对沉积物和底栖生物的影响[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2012.]
- [3] Zhang Y X. Evaluation on wetland ecosystem services value in Nansha fishery wetland[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2014.[张永雪. 南沙渔业湿地生态系统服务价值评估[D]. 大连: 大连海洋大学, 2014.]
- [4] Xiao Y Z, Wang R, Zheng Y J, et al. Species composition and abundance distribution of ichthyoplankton in the Pearl River Estuary[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2013, 32(6): 80—87.[肖瑜璋, 王蓉, 郑琰晶, 等. 珠江口鱼类浮游生物种类组成与数量分布[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(6): 80—87.]
- [5] Li W, Chen G Z, Peng Y G. The biodiversity of wetland and its prevention measures in Nansha wetland[J]. Protection Forest Science and Technology, 2009, 90(3): 46—48.[李玟, 陈桂珠, 彭友贵. 广州南沙湿地生物多样性现状及其保护[J]. 防护林科技, 2009, 90(3): 46—48.]
- [6] Shuai F M, Li Z Q, Liu G W, et al. Resource status of Japanese eel (*Anguilla japonica*) in the Pearl River Estuary[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(2): 85—89.[帅方敏, 李智泉, 刘国文, 等. 珠江口日本鳗鲡种苗资源状况研究[J]. 南方水产科学, 2015, 11(2): 85—89.]
- [7] Xu Y, Zheng X T, Jin P X, et al. Discussion for ecological benefits of Nansha wetland eco-tourism resources in national new district[J]. Guangdong Agriculture Science, 2013, 17: 189—192.[徐越, 郑晓彤, 金佩欣, 等. 国家新区南沙湿地旅游资源生态效益探讨[J]. 广东农业科学, 2013, 17: 189—192.]
- [8] Chang H, Peng Y G. Structure and diversity and protective strategies of bird community in Nansha wetland, Guangzhou[J]. Ecology and Environment, 2005, 14(2): 242—246.[常弘, 彭友贵. 广州南沙湿地鸟类群落组成、多样性和保护策略[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 242—246.]
- [9] Peng Y G, Chen G Z, Xia B C, et al. Service and conservation functions of wetland ecosystem in Nansha District, Guangzhou City[J]. Wetland Science, 2004, 2(2): 81—87.[彭友贵, 陈桂珠, 夏北成, 等. 广州南沙地区湿地生态系统的服务功能与保护[J]. 湿地科学, 2004, 2(2): 81—87.]
- [10] Li X J. Application of the remote sensing method in the analysis of the shoreline change and its environmental impact in the Lingdingyang Bay, Pearl River estuary, Guangdong, China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(2):

- 215–222.[李学杰. 应用遥感方法分析珠江口伶仃洋的海岸线变迁及其环境效应[J]. 环境地质, 2007, 26(2): 215–222.]
- [11] Jia P H, Xia Z, Zhu D K, et al. Dynamic analyses of coastal land use structure in the inner Lingdingyang frith of the Pearl River Estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(3): 66–72.[贾培宏, 夏真, 朱大奎, 等. 珠江口内伶仃洋沿岸土地利用动态分析[J]. 海洋通报, 2007, 26(3): 66–72.]
- [12] Deng P Y, Chen G Z, Sun H Y. Degradation of the coastal wetland in Guangdong province and Countermeasures[J]. Tropical Geography, 2004, 24(2): 159–162.[邓培雁, 陈桂珠, 孙海燕. 广东海岸湿地退化现状及保护对策[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 159–162.]
- [13] Li Y H, Yang Z F, Cui B S. An analysis on the present wetland ecological characters of Nansha area in Guangzhou[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2004, 40(4): 534–539.[李英华, 杨志峰, 崔保山. 广州南沙地区湿地生态特征现状分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(4): 534–539.]
- [14] Xu W A, Hu Y H, Zeng Q W, et al. Current status and conservation strategy of the wetland in Nansha District, Guangzhou[J]. Wetland Science and Management, 2009, 5(3): 40–43.[许文安, 胡喻华, 曾绮微, 等. 广州南沙区湿地现状和保护策略[J]. 湿地科学与管理, 2009, 5(3): 40–43.]
- [15] Yu J, Chen G B, Huang Z R, et al. Changes in the coastline of three typical bays in Guangdong during recent 10 years revealed by satellite image[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2004(3): 91–96.[于杰, 陈国宝, 黄梓荣, 等. 近 10 年间广东省 3 个典型海湾海岸线变迁的遥感分析[J]. 海洋湖沼通报, 2004(3): 91–96.]
- [16] Hu C Y, Xu H, Shui B N, et al. Community structure and biodiversity of nekton near Oufei Beach of Wenzhou[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(3): 7–15.[胡成业, 徐衡, 水柏年, 等. 温州瓯飞滩邻近海域春季游泳动物群落结构及多样性[J]. 南方水产科学, 2015, 11(3): 7–15.]
- [17] Koo B J, Shin S H, Lee S. Changes in benthic macrofauna of the Saemangeum tidal flat as result of a drastic tidal reduction[J]. Ocean Polar Res, 2008, 30: 373–545.
- [18] Guo X F, Wang C, Chen C H, et al. Numerical simulation of the transport diffusion of suspended matter during the construction of Fengwei reclamation project at Meizhou Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2014, 33(1): 125–132.[郭晓峰, 王翠, 陈楚汉, 等. 湄洲湾峰尾围垦工程施工期间海水悬浮泥沙输移扩散的数值模拟[J]. 应用海洋学学报, 2014, 33(1): 125–132.]
- [19] Jin X S, Dou S Z, Shan X J, et al. Hot spots of frontiers in the research of sustainable yield of Chinese inshore fishery[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(1): 124–131.[金显仕, 窦硕增, 单秀娟, 等. 我国近海渔业资源可持续产出基础研究的热点问题[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 124–131.]
- [20] Lotze H K, Lenihan H S, Bourque B J, et al. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas[J]. Science, 2006, 312: 1806–1809.
- [21] Worm B, Barbier E B, Beaumont N, et al. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services[J]. Science, 2006, 314: 787–790.
- [22] Courrat A, Lobry J, Nicolas D, et al. Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species[J]. Estu Coast Shelf Sci, 2009, 81(2): 179–190.
- [23] Yuan X Z, Lu J J. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of the Changjiang Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 21(10): 1642–1647.[袁兴中, 陆健健. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1642–1647.]
- [24] Ge B M, Bao Y X, Zheng X. Macrobenthic community ecology of a tidal flat in different habitats and creeks dyked in different years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 446–453.[葛宝明, 鲍毅新, 郑祥. 灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落生态学研究[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 446–453.]
- [25] Chen C J. The impact of reclamation on benthic resource and environment[J]. Marine Science, 1990, 14(6): 48–50.[陈才俊. 围垦对潮滩动物资源环境的影响[J]. 海洋科学, 1990, 14(6): 48–50.]
- [26] Wu J H, Fu C Z, Fan L, et al. Changes in free-living nematode community structure in relation to progressive land reclamation at an intertidal marsh[J]. Appl Soil Ecol, 2005, 29(1): 47–58.

Land reclamation and its impact on fisheries resources in the Nansha wetland of Pearl River Estuary

YU Jie, CHEN Zuozhi, XU Shannan

Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources & Environments, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: In this study, Landsat data for 1989, 1994, 2004, and 2014 were used to evaluate the process of land reclamation in the Nansha wetland area, using methods including remote sensing imagery interpretation, geographic information system (GIS) digital methods, and spatial overlay analysis. The data obtained from two in situ surveys during the periods 2002–2003 and 2013–2014 were also used to compare the changes in the biological resources of organisms. The results were as follows: (1) The lengths of the coastline during the four periods of 1989, 1994, 2004, and 2014 were 213.6 km, 230.0 km, 232.5 km, and 248.6 km, respectively, with increase rates of 3.28 km/a, 0.25 km/a, and 1.61 km/a during 1989–1994, 1994–2004, and 2004–2014, respectively; the maximum distance of the seaward extension from the coastline during these three periods were about 4900 m, 1700 m, and 7700 m, respectively. (2) The total increase in land area was 46.3 km² in 1989–2014; the proportional increases in area relative to the total increase were 40.6% in 1989–1994, 24.41% in 1994–2004, and 34.99% in 2004–2014; reclamation activities were more frequent on Wanqingsha Island and Longxue Island than those at other sites in the Nansha wetland. (3) The numbers of zooplankton, macrozoobenthos, intertidal organisms, fish, and cephalopods decreased by 60.34%, 73.21%, 26.67%, 79.78%, and 50.00%, respectively. Their densities decreased by 58.49%, 12.38%, 79.96%, 78.78%, and 66.79%, respectively. Their biomasses decreased by 82.16%, 73.23%, 15.83%, 70.49%, and 62.43%, respectively. The numbers and densities of shellfish decreased by 13.33% and 69.85%, respectively, whereas their biomass increased by 114.20%. (4) The Shannon–Wiener diversity index for zooplankton increased by 10.24%, whereas the indices for the macrozoobenthos, intertidal organisms, fish, shellfish, and cephalopods decreased by 71.10%, 91.82%, 18.18%, 66.90%, and 73.68%, respectively. The dominant species changed markedly between 2002–2003 and 2013–2014. Land reclamation of Nansha wetland not only changes the type and length of coastline, occupies valuable wetland resource, but also leads passive effect on the around marine animals.

Key words: Pearl River Estuary; Nansha wetland; reclamation; biological resources; remote sensing

Corresponding author: XU Shannan. E-mail: xushannan@scsfri.ac.cn