

# 1985-2015年美国坦帕湾流域土地开 利用强度时空变化分析

何改丽<sup>1</sup>, 李加林<sup>1,2</sup>, 刘永超<sup>3,4</sup>, 史小丽<sup>5</sup>, 马静武<sup>6</sup>,  
浦瑞良<sup>7</sup>, 郭乾东<sup>7</sup>, 冯佰香<sup>1</sup>, 黄日鹏<sup>1</sup>

(1. 宁波大学地理与空间信息技术系, 宁波 315211; 2. 宁波大学东海研究院, 宁波 315211; 3. 南京大学地理  
信息科学系, 南京 210023; 4. 南京大学中国南海研究协同创新中心, 南京 210023; 5. 宁波大学学报编辑部,  
宁波 315211; 6. 温州市海洋渔业船舶安全救助信息中心, 温州 325000; 7. 南佛罗里达大学地球科学学院,  
佛罗里达州 坦帕 33620)

**摘要:** 分析土地开发利用强度对提高土地开发利用效率和推动生态环境保护工作具有重要意义。选取美国佛罗里达州坦帕湾流域为研究区, 以1985年、1995年、2005年、2015年4期Landsat TM/OLI遥感影像为数据源, 采用GIS技术构建了基于行为者的土地动态度模型、转移矩阵、土地开发利用强度模型和土地利用结构模型, 对坦帕湾流域土地开发利用强度时空格局进行了分析。结果表明: (1) 研究期间建设用和林地是流域主导土地利用类型; 建设用地面积增加最多, 主要由耕地转换而来, 转换比例为53.74%。(2) 各种土地利用类型相对变化率具有明显的空间差异, 河流与湖泊相对变化最大; 未利用地速度变化最为显著, 单一动态度高达1.11%; 建设用地年均增长较为平缓, 每年增长0.30%左右; 流域北部和南部综合动态度最高, 形成极核中心, 并以圈层形式向外辐射降低, 同时高动态度区逐渐转换为较低动态度区。(3) 信息熵均衡度呈小幅下降趋势, 土地利用结构均质性下降; 土地开发利用面积基本构成为建设用地>林地>耕地与牧场>河流与湖泊>未利用地>滩涂与沼泽。(4) 坦帕湾沿岸皮拉尼斯县与坦帕市土地开发利用强度最高; 流域土地开发利用强度发展期面积高于调整期, 土地开发利用强度增强趋势明显。  
**关键词:** 坦帕湾流域; 土地开发利用强度; 时空变化; 土地利用可持续

作为国际地圈生物圈计划(IGBP)和全球变化人文计划(IHDP)两大国际合作项目共同支撑的核心研究计划, 土地利用变化一直是地球科学研究的热点<sup>[1]</sup>。土地利用变化能反映自然格局、过程与人类社会之间最直接的相互关系, 是人口、资源、环境可持续发展的基本问题<sup>[2]</sup>, 涵盖土地覆被变化和土地利用强度变化等内容<sup>[3]</sup>。21世纪以来, 以城市化和智能化战略为诱导条件的全球范围内人地关系演化、地表格局一过程出现新态势, 人类活动进一步主导地球环境演化<sup>[4]</sup>。海岸带位于海陆交汇地带, 具有脆弱性和敏感性<sup>[5]</sup>, 人地关系矛盾较为突出, 港湾作为海岸带开发的前沿与热点区域, 因独特的区位优势

收稿日期: 2018-08-06; 修订日期: 2018-11-12

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY17G030011); 国家自然科学基金项目(71874091); NSFC-浙江两化融合联合基金项目(U1609203); 浙江省社科基金项目(18NDJC095YB)

作者简介: 何改丽(1993-), 女, 甘肃定西人, 硕士, 主要从事海岸带环境与资源开发研究。

E-mail: gary0322@163.com

通讯作者: 李加林(1973-), 男, 浙江台州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事海岸带环境与资源开发研究。

E-mail: nbj2001@163.com

势进而成为国家战略要地、对外交通枢纽和国家经济发展中心。有关研究主要集中在港湾水文生态<sup>[6-7]</sup>、土地覆被变化<sup>[8-9]</sup>、土壤侵蚀环境影响<sup>[10]</sup>和景观格局<sup>[11]</sup>等方面, 侧重对土地利用变化动态的描述<sup>[12]</sup>。而土地开发利用强度是土地利用现状的综合体现, 也是未来土地可持续发展利用的出发点<sup>[13]</sup>, 目前就海岸带港湾流域土地开发利用强度的研究甚少。已有的较小范围区域土地利用强度研究方法多以问卷调查为主, 而较大范围区域的高分辨率时空表达仍处在探索阶段<sup>[14]</sup>。因此, 需要借鉴相对成熟的内陆土地利用研究成果, 对港湾流域土地开发利用强度做进一步探究。

坦帕湾(Tampa Bay)作为佛罗里达州最大的开放型河口以及美国第十大港口, 自1940年以来, 城市化、航道疏浚与填充、运河建设、空气污染物和海岸线改造等人类活动对海湾可持续发展造成了较大影响。为此, 1991年美国环境保护署推行了“坦帕湾河口保护计划(The Tampa Bay National Estuary Program, TBNEP)”, 在这一措施推动下, 港湾流域环境有较大改善。本文基于美国坦帕湾流域环境背景特征, 借助遥感和GIS空间分析手段, 构建一系列土地空间变化模型, 形成流域土地开发利用强度评价体系, 对美国坦帕湾流域土地开发利用强度从空间格局、时间尺度以及生态效应等方面进行分析, 以期为国内外港湾土地合理开发提供借鉴, 促进海岸带地区可持续发展。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

坦帕湾地处墨西哥湾东岸, 介于27°30′~28°15′N和83°00′~81°445′W, 由旧、中、低坦帕湾和希尔斯堡湾组成, 是佛罗里达州最大的开放型河口, 也是一个大型天然海湾。坦帕湾流域面积约为5700 km<sup>2</sup>, 包括希尔斯伯勒河、阿拉斐亚河、马纳提河和小马纳提河在内的100多条大小河流汇入海湾, 这些河流是该区域淡水资源的主要来源。流域以平原为主, 港湾西部地势较低的区域有山谷发育, 将坦帕湾东部高地与坦帕湾沿海低地切分开来。该区域属于亚热带季风气候, 植物种类繁多, 有硬木松、沙松、橡木和草原等植被, 海湾沿岸红树林茂盛, 建有皮内拉斯和埃格蒙特基野生动物保护区。行政上, 坦帕湾分属希尔斯伯勒县、马纳提县和皮拉尼斯县。海湾贸易、旅游、渔业是坦帕湾经济的主要业态。

1.2 数据来源与处理

以1985年、1995年、2005年、2015年Landsat TM/OLI遥感影像为基础数据源(表1), 从美国地质调查局(USGS)网站(<https://www.usgs.gov/>)和地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)获取。借助ENVI 5.1, 以坦帕湾1:50000地形图为准并结合GPS野外调查控制点对4期遥感影像数据进行几何校正与配准、假彩色合成、图像拼接等预

表1 遥感影像传感器和拍摄日期  
Table1 Remote sensing image sensor and date

| 卫星        | 传感器 | 行列号   | 日期         | 卫星        | 传感器 | 行列号   | 日期         |
|-----------|-----|-------|------------|-----------|-----|-------|------------|
| Landsat 5 | TM  | 16-41 | 1985-07-03 | Landsat 5 | TM  | 16-41 | 2005-04-20 |
| Landsat 5 | TM  | 17-41 | 1985-07-03 | Landsat 5 | TM  | 17-41 | 2005-04-20 |
| Landsat 5 | TM  | 16-41 | 1995-06-02 | Landsat 8 | OLI | 16-41 | 2015-02-20 |
| Landsat 5 | TM  | 17-41 | 1995-06-02 | Landsat 8 | OLI | 17-41 | 2015-02-20 |

处理。在此基础上,以坦帕湾流域水文矢量边界为基准裁剪得到流域范围。参考坦帕湾河口保护计划官方网站提供的佛罗里达州土地利用/土地覆被矢量数据,利用eCognition Developer 8.7基于样本的分类方式对影像进行初步分类,并结合实际进行目视解译,将研究区土地利用类型分为林地、耕地与牧场、建设用地、未利用地、河流与湖泊、滩涂与沼泽和海域7大类,其中海域面积仅考虑与其他用地存在转换的部分。借助ArcGIS 10.2对分类结果进行校对、更正,并对4期遥感图像的分类结果精度检验,解译精度为0.87,达到研究需求。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 土地开发利用数量变化与综合土地利用动态度

用土地动态度模型分析土地利用类型动态变化,可以反映区域土地利用中土地利用类型的变化剧烈程度<sup>[15]</sup>,值越低说明土地利用状态越稳定。土地开发利用相对变化率可以反映研究区某种土地类型某个区域较整个研究区的数量变化差异<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.2 土地开发利用强度变化

土地利用强度指数反映研究区土地利用现状集约程度,数量化的土地利用综合指数是一个微弗(Weaver)指数,其大小反映了土地利用程度的高低<sup>[17]</sup>。土地利用开发强度指数与王秀兰等<sup>[15]</sup>建立的土地利用生态背景质量指数具有相似性。因此,土地开发利用强度也可反映土地开发利用的生态环境效应。利用土地利用程度上下限对4种土地利用的理想状态定为4种土地利用级并赋值,参考已有成果<sup>[18-20]</sup>并根据研究区实际情况,得到本文分级指数(表2)。土地利用程度变化量和变化率可定量揭示流域内土地开发利用的综合水平和变化趋势<sup>[8]</sup>。

表2 土地利用强度分等分级表

Table 2 The classification values of land use intensity

| 类型     | 未利用地级         | 林、草、水用地级 | 农业用地级 | 城镇聚落地级 |   |
|--------|---------------|----------|-------|--------|---|
| 土地利用类型 | 海域、未利用地、滩涂与沼泽 | 河流和湖泊、林地 | 耕地及牧场 | 建设用地   |   |
| 分级指数   | 1             | 2        | 3     | 4      | 5 |

#### 1.3.3 土地利用结构变化

土地利用的结构特征可以通过信息熵、均衡度、优势度来定量分析。信息熵是土地利用类型演替的有序程度度量指数,熵值越大说明不同职能的用地类型数越多,各职能类型的面积比例相差减少,土地分布越均衡<sup>[21]</sup>。用土地利用变化均衡度和优势度来描述区域土地用地类型之间面积大小的差异及各类型的结构格局<sup>[22]</sup>,优势度和均衡度成反比。

#### 1.3.4 网格样方法

网格样方法是在研究区布置大小均一的网格单元,每个单元用来反映土地利用变化的空间基本单元。由于研究区各个网格单元是不同土地类型以不同组合镶嵌而成,以往研究中用单一的地类计算出的空间度量指数在空间表达中无法均匀精细化。为保证空间变化特征明显,本文将研究区划分为4 km×4 km的网格单元,应用于坦帕湾土地利用动态度和土地开发利用强度在不同时段内的空间特征可视化表达,每一网格由100个栅格构成。

## 2 结果分析

### 2.1 土地利用数量变化特征

#### 2.1.1 流域土地利用分布及面积变化

坦帕湾流域 1985-2015 年各类土地利用类型空间分布差异明显, 具有明显集聚效应。建设用地主要分布在坦帕湾沿岸, 以“圣彼得斯堡—克利尔沃特—坦帕”为中心的城市群建设用地几乎全局覆盖, 城市化程度最高。此外, 建设用地在希尔斯伯勒县南部、帕斯科县东南部和萨拉索塔县北部明显增加, 主要是坦帕湾城市群周边的房地产逐渐兴起, 导致周边配套基础设施增加; 林地主要分布在北部的帕斯科县; 耕地及牧场在流域各处都有分布; 滩涂与沼泽分布在坦帕湾靠海一侧; 河流与湖泊主要分布在波尔克县的温特黑文, 马纳提县的帕里什湖和马纳提湖; 未利用地主要分布在流域东部, 并与大量建设用地相邻呈增加的趋势。可见, 城市建设开发与未利用地增加有直接关系。

30 年来坦帕湾土地利用扩展差异明显, 结构无太大变化 (表 3)。1985-2015 年坦帕湾流域起主导地位的土地利用类型是建设用地和林地, 二者面积占比和接近 70%。根据流域各土地类型面积比例得到基本结构为建设用地>林地>耕地与牧场>河流与湖泊>未利用地>滩涂与沼泽, 其中建设用地、未利用地对流域面积的贡献率持续增加。从数量变化来看, 1985-2015 年建设用地和未利用地面积呈增长态势, 其他土地类型呈减少态势。建设用地面积由 1985 年的 237857.17  $\text{hm}^2$  至 2015 年的 259306.15  $\text{hm}^2$ , 增加了 21448.98  $\text{hm}^2$ , 增加比例为 9.02%; 未利用地由 1985 年的 9218.36  $\text{hm}^2$  至 2015 年的 12301.84  $\text{hm}^2$ , 增加了 3083.48  $\text{hm}^2$ , 增加比例为 33.45%, 由于建设用地基数较大而使增长比例偏小; 耕地与牧场、河流与湖泊、林地、滩涂与沼泽面积分别减少了 13821.75  $\text{hm}^2$ 、502.68  $\text{hm}^2$ 、9770.65  $\text{hm}^2$ 、517.78  $\text{hm}^2$ , 减少比例分别为 9.02%、1.68%、5.23%、4.75%。近几十年来坦帕湾流域港口经济、沙滩旅游、房地产等企业开发程度加强, 因此, 以人类活动为主的人工地貌迅速增多。

分阶段来看, 1985-1995 年建设用地增加的同时其他用地呈减少趋势, 建设用地面积增加了 7766.12  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 3.27%; 耕地与牧场面积减少最为显著, 减少 3897.29  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 2.54%。1995-2005 年建设用地、未利用地和河流与湖泊增长的同时其他用地呈减少趋势, 其中未利用地增长最为显著, 面积增加 1902.00  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 21.18%; 耕地与牧场减少最为显著, 减少了 5170.98  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 3.46%。2005-2015 年建设用地和未利用地增长的同时其他用地呈减少趋势, 其中建设用地增长最为显著, 增加了 7499.30  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 2.98%; 耕地与牧场减少最为显著, 减少了 4753.48  $\text{hm}^2$ , 变化比例为 3.30%。可见, 不同阶段坦帕流域的土地利用变化与整体变化趋势一致并存在微小差异。

#### 2.1.2 流域土地利用转移特征分析

通过对 4 期土地利用矢量数据融合叠加得到不同阶段的马尔科夫转移矩阵 (表 4)。坦帕湾流域海洋资源丰富, 近海港口经济发展迅速, 周边房地产开发和旅游业发展旺盛, 因此, 海域主要转换为建设用地。同时由于渔业的发展, 导致少量的滩涂和林地转换为海域; 建设用地面积持续增加, 主要由耕地及牧场、林地、河流与湖泊转化而来, 分别为 11525.80  $\text{hm}^2$ 、11956.50  $\text{hm}^2$ 、3278.94  $\text{hm}^2$ , 其中耕地转化占绝对优势。主要因为佛



表3 坦帕湾流域土地利用类型面积及贡献率

Table 3 Area and contribution rate of land use types of Tampa Bay watershed

| 土地利用类型 | 时段                 | 1985      | 1995      | 2005      | 2015      | 1985-1995 | 1995-2005 | 2005-2015 | 1985-2015 |
|--------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 建设用地   | 面积/hm <sup>2</sup> | 237857.17 | 245623.28 | 251806.85 | 259306.15 | 7766.11   | 6183.57   | 7499.30   | 21448.98  |
|        | 贡献率/%              | 37.88     | 39.11     | 40.10     | 41.30     | 3.27      | 2.52      | 2.98      | 9.02      |
| 未利用地   | 面积/hm <sup>2</sup> | 9218.36   | 8981.24   | 10883.24  | 12301.84  | -237.12   | 1902.00   | 1418.60   | 3083.48   |
|        | 贡献率/%              | 1.47      | 1.43      | 1.73      | 1.96      | -2.57     | 21.18     | 13.03     | 33.45     |
| 耕地与牧场  | 面积/hm <sup>2</sup> | 153185.96 | 149288.67 | 144117.69 | 139364.21 | -3897.29  | -5170.98  | -4753.48  | -13821.75 |
|        | 贡献率/%              | 24.39     | 23.77     | 22.95     | 22.19     | -2.54     | -3.46     | -3.30     | -9.02     |
| 河流与湖泊  | 面积/hm <sup>2</sup> | 29858.13  | 29092.60  | 29760.42  | 29355.44  | -765.53   | 667.82    | -404.98   | -502.69   |
|        | 贡献率/%              | 4.75      | 4.63      | 4.74      | 4.68      | -2.56     | 2.30      | -1.36     | -1.68     |
| 林地     | 面积/hm <sup>2</sup> | 186982.40 | 184270.52 | 180626.43 | 177211.75 | -2711.88  | -3644.09  | -3414.68  | -9770.65  |
|        | 贡献率/%              | 29.77     | 29.34     | 28.77     | 28.22     | -1.45     | -1.98     | -1.89     | -5.23     |
| 滩涂与沼泽  | 面积/hm <sup>2</sup> | 10895.18  | 10743.71  | 10722.87  | 10377.40  | -151.47   | -20.84    | -345.47   | -517.78   |
|        | 贡献率/%              | 1.73      | 1.71      | 1.71      | 1.65      | -1.39     | -0.19     | -3.22     | -4.75     |

罗里达是人口大州，各市人口比例为坦帕市>皮尼拉斯县的克利尔沃特>圣彼得堡斯>马纳提县的布雷登顿，快速城市化过程中人口激增增加了对居住、消费、娱乐等空间的需求，近郊的大片耕地林地用于城市扩建，水利设施也会相应增加，而且许多居民区是在旧坦帕湾沿岸希尔斯伯勒河开发起来的，人类向海活动对生态系统的影响最为直接；未利用地面积增加仅次于建设用地，主要由林地、耕地与牧场转换而来，林地和耕地与牧场主要集中在郊区，不合理的农业生产管理使土地开发利用强度较高等级转为较低等级，说明农村的土地生态环境处于恶化状态；耕地及牧场面积减少最多且减少比例最大，耕地主要转换为建设用地、林地和河流与湖泊，其中转换为建设用地最多。耕地是人类生活的食物来源，分布范围最广，耕地进行城市开发易获得且成本低，这是城市化选择的必然结果，退耕还林以及自然气候的变化是耕地转为林地和河流的主要原因。同时耕地也主要由建设用地转换而来，在政府政策引导下，当耕地供需不足时建设用地出现整改为农业用地的趋势。

### 2.1.3 流域土地利用区域差异

土地利用相对变化率可以更为直观地反映土地利用变化的空间差异。由图1可得，各类型土地利用相对变化较全局具有明显的差异性。坦帕湾流域开发潜力大，依托港湾经济形成了城市群，使建设用地动态变化明显。建设用地以马纳提县变化最剧烈，相对变化率为1.76%，帕斯科县和波尔克县较剧烈，其他区域相对变化率小于1，低于全流域平均水平；未利用地以帕斯科县变化最为剧烈，相对变化率为10.60%，希尔伯勒县和马纳提县次之，分别为2.53%、1.19%，其他各县变化率低于全区平均水平；耕地与牧场以萨拉索塔县变化最为剧烈，相对变化率为4.10%，皮拉尼斯县次之，为3.02%；河流与湖泊整个区域变化都较剧烈，达到所有用地变化中最大，为28.40%，主要因为坦帕湾水域资源丰富，由西向东有Lake Tarpon、White Trout Lake、Twin Lake、Egypt Lake、Lake Parrish、Lake Thonotosassa、Manatee River、Lake Manatee等大小湖泊；林地以皮拉尼斯县变化最为剧烈；滩涂与沼泽以帕斯科县和波尔克县变化最为剧烈，相对变化率分别为

表 4 1985-2015 年坦帕湾流域土地利用转移矩阵

Table 4 The transfer matrix of land use in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015 (hm<sup>2</sup>)

| 时段        | 转移前<br>转移后 | 建设用地      | 未利用地     | 耕地与牧场     | 河流与湖泊    | 林地        | 海域    | 滩涂与沼泽    |
|-----------|------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-------|----------|
| 1985-1995 | 建设用地       | 233494.00 | 488.45   | 1918.69   | 416.87   | 1522.70   | —     | 16.27    |
|           | 未利用地       | 625.20    | 6972.38  | 1.82      | 39.48    | 1579.48   | —     | —        |
|           | 耕地与牧场      | 4217.22   | 161.01   | 145959.00 | 233.24   | 2605.41   | 0.59  | —        |
|           | 河流与湖泊      | 419.51    | 501.26   | 285.15    | 28169.60 | 482.57    | —     | —        |
|           | 林地         | 6787.83   | 806.53   | 1100.24   | 226.56   | 178051.00 | 1.11  | 8.83     |
|           | 海域         | 1.61      | 0.33     | —         | —        | —         | —     | 10.91    |
|           | 滩涂与沼泽      | 74.96     | 51.28    | 23.32     | 6.81     | 29.49     | 1.61  | 10707.70 |
| 1995-2005 | 建设用地       | 238495.00 | 717.01   | 2542.15   | 853.53   | 3003.57   | 1.95  | 8.24     |
|           | 未利用地       | 68.25     | 8469.57  | 25.63     | 244.91   | 89.31     | 7.57  | —        |
|           | 耕地与牧场      | 6427.37   | 293.88   | 140759.00 | 899.64   | 896.88    | —     | 12.28    |
|           | 河流与湖泊      | 2316.86   | 95.19    | 43.23     | 26574.80 | 62.00     | —     | 0.50     |
|           | 林地         | 4471.58   | 1307.59  | 744.33    | 1147.12  | 176572.00 | 0.45  | 17.08    |
|           | 海域         | 4.63      | —        | —         | —        | 0.27      | —     | 0.45     |
|           | 滩涂与沼泽      | 13.21     | —        | 3.72      | 40.40    | 2.05      | —     | 10684.30 |
| 2005-2015 | 建设用地       | 251087.00 | 54.07    | 163.86    | 475.74   | 26.29     | —     | —        |
|           | 未利用地       | 28.62     | 10784.00 | 43.90     | 16.85    | 9.84      | —     | —        |
|           | 耕地与牧场      | 3799.00   | 810.04   | 138516.00 | 165.73   | 827.26    | —     | —        |
|           | 河流与湖泊      | 824.94    | 122.06   | 315.65    | 28466.00 | 31.74     | —     | —        |
|           | 林地         | 3472.09   | 363.71   | 325.92    | 224.24   | 176233.00 | 0.27  | 6.10     |
|           | 海域         | —         | —        | —         | —        | —         | —     | —        |
|           | 滩涂与沼泽      | 94.60     | 167.94   | —         | 4.86     | 83.72     | 0.45  | 10371.30 |
| 1985-2015 | 建设用地       | 232250    | 635.18   | 1707.57   | 1412.61  | 1797.09   | 3.95  | 0.67     |
|           | 未利用地       | 61.05     | 7605.71  | 20.11     | 97.42    | 1411.67   | 22.39 | —        |
|           | 耕地与牧场      | 11525.80  | 1204.59  | 136138.00 | 1296.67  | 3010.62   | 9.59  | —        |
|           | 河流与湖泊      | 3278.94   | 452.50   | 524.98    | 25016.70 | 515.38    | 39.63 | —        |
|           | 林地         | 11956.50  | 2204.96  | 878.72    | 1480.46  | 170380.00 | 33.59 | 18.21    |
|           | 海域         | 19.12     | 0.33     | —         | —        | —         | —     | 10.91    |
|           | 滩涂与沼泽      | 184.71    | 202.96   | 14.77     | 51.57    | 91.95     | 1.61  | 10347.60 |

注：“—”表示未发生转化。

5.93%和4.92%，可见内陆地区沼泽逐渐增多。

2.2 流域土地利用变化动态度时空分析

土地利用动态度可表示不同土地类型变化速度的差异。由表 5 可得，整个研究阶段土地利用综合动态度为 0.246%，介于最小值和最大值之间较合理。各土地利用类型单一动态度有明显差异，其中未利用地单一动态度最大，为 1.11%，坦帕湾流域未利用地主要是盐碱地，水溶性盐从高海拔地区流向低海拔盆地积聚，以及沿海地区海水浸渍都可以形成盐碱地，针对未利用地快速增加的现状，政府在积极调控城市淡水供给的同时应增加盐碱地水分，优化土壤成分种植适应盐度高的植物，带动地区农作物经济。

分阶段来看，1995-2005 年流域土地综合动态度相对于其他阶段发生剧烈变化，土地

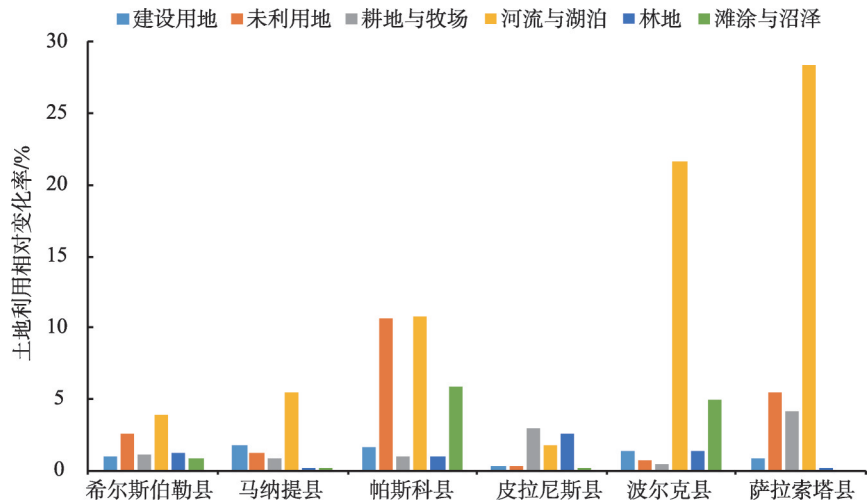


图1 1985-2015 坦帕湾流域年土地利用相对变化率

Fig. 1 Relative change rate of land use in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015

利用综合动态度最大，为0.421%，2005-2015年最小为0.198%，主要是1991年《坦帕湾河口保护计划》、1996年《渔业保护和管理法》等系列法律法规的提出使海域管理得到加强，土地动态变化较明显。近30年流域不同阶段不同地类的单一动态度呈明显差异。1985-1995年各类土地变化较为缓慢，建设用地变化最快，年均增长率为0.33%；未利用地和河流与湖泊次之，为-0.26%；滩涂与沼泽变化最慢，为-0.14%。1995-2005年未利用地变化最快，年均增长率为2.12%；建设用地和耕地次之，年均增长率分别为0.25%、0.35%；滩涂与沼泽变化最慢，为-0.02%，未利用地变化最为活跃，其他用地较为稳定，这与该阶段海域管理加强直接相关。2005-2015年与前一阶段变化一致，未利用地变化最活跃，年均增长率为1.30%，建设用地和耕地次之，年均增长率为0.30%、-0.33%。可以看出，整个阶段建设用地保持稳定的增长，城市建设在有规划合理的进行中，同时未利用地变化起伏最大，说明郊区的生态有恶化趋势。滩涂作为重要的土地后备资源，面积一直在减少，减少速率在后期达到最大，主要转换为建设用地和未利用地，说明坦帕湾流域滩涂资源利用速度在不断加快的同时带有破坏性，以后的管理中应尽量减少滩涂转换为未利用地的规模，强化湿地生态系统完整性。

通过网格样法，计算出流域的各网格单元土地利用综合动态度，并进行空间克里金插值、掩膜提取得到流域土地利用综合动态度空间分布图。由图2可得，土地利用动态度由高到低形成集聚区向外辐射，且高动态度极核中心发生转移。结合土地利用类型空

表5 1985-2015年坦帕湾流域土地利用动态度

Table 5 Dynamic degree of land use in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015 (%)

| 时段        | 单一动态度 |       |       |       |       |       | 综合动态度 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 建设用地  | 未利用地  | 耕地与牧场 | 河流与湖泊 | 林地    | 滩涂与沼泽 |       |
| 1985-1995 | 0.33  | -0.26 | -0.25 | -0.26 | -0.15 | -0.14 | 0.392 |
| 1995-2005 | 0.25  | 2.12  | -0.35 | 0.23  | -0.20 | -0.02 | 0.421 |
| 2005-2015 | 0.30  | 1.30  | -0.33 | -0.14 | -0.19 | -0.32 | 0.198 |
| 1985-2015 | 0.30  | 1.11  | -0.30 | -0.06 | -0.17 | -0.16 | 0.246 |

间分布可知, 建设用地越集中的地区土地利用动态度越低, 耕地分布越集中的地区土地利用动态度越高, 说明土地利用动态度的高低与土地类型直接相关。分阶段来看, 1985-1995年土地利用动态变化较明显的地区集中在流域北部帕斯科县和南部马纳提县, 其中韦斯利礼拜堂达到0.78%以上; 1995-2005年土地利用动态变化较为明显的地区集中在希尔斯伯勒县和帕斯科县的交界区、萨拉索塔县以及波尔克县的温特黑文, 较前一阶段高动态度极核中心一直向南移动; 2005-2015年土地利用动态高的地区主要集中在希尔斯伯勒县东南部, 其他地区零散分布, 相较于前一阶段高动态度区域面积减少, 可见坦帕湾流域土地动态变化逐渐趋于稳定。

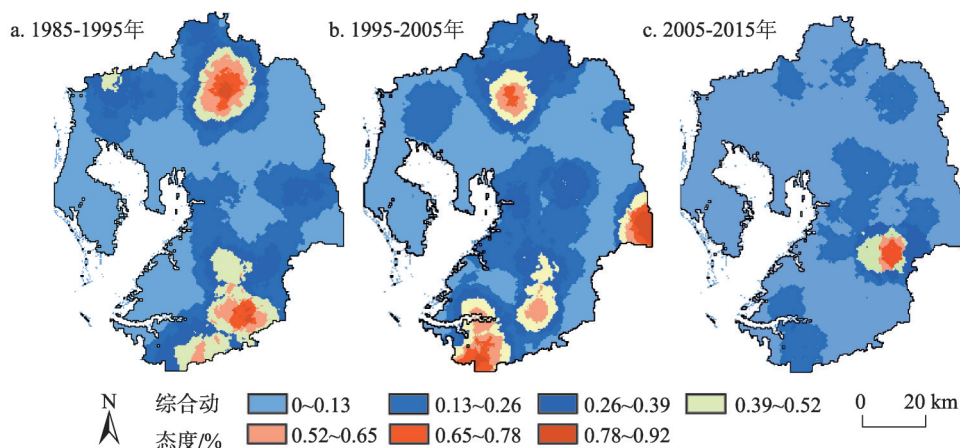


图2 坦帕湾流域土地利用综合动态度空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of land use integrated dynamic degree in Tampa Bay watershed

## 2.3 流域土地利用结构分析

由表6可得, 坦帕湾流域土地利用信息熵、均衡度呈小幅下降趋势, 说明土地结构越来越有序化, 不同职能的土地类型面积相差越来越大, 土地均衡性在下降。流域土地结构信息熵由1985年的1.3495到2015年的1.3444, 减少了0.0051, 相对于标准信息熵1.7918, 熵值整体偏中上, 说明流域整体土地利用程度较高, 结构较合理。均衡度与信息熵变化趋势一致, 由1985年的0.7532下降到2015年的0.7503。此外, 在保持整体下降趋势的同时, 2005年土地结构信息熵反增大了0.0059, 同时均衡度也随之增加0.0033, 主要是2005年美国佛罗里达州连续受到飓风威尔玛、伊玛的连续袭击, 飓风由墨西哥沿岸侵入引起坦帕湾流域景观发生剧变, 人类活动突然减少, 建设用地扩张减缓, 随之土地均衡性提高。与信息熵均衡度变化相反, 整个阶段优势度呈增加趋势。由上文可得, 建设用地和林地在整个流域中贡献率最大, 且建设用地在整个研究期间面积直线增加, 说明建设用地逐渐主导坦帕湾流域土地利用结构的均衡性。1995年的优势度达到最大, 为0.2516, 主要是1985-1995年期间流域东部房地产兴起, 导致建设用地优势瞬间提高, 城市职能增强, 自此城市化是流域发展的主要方向。

## 2.4 土地开发利用强度时空变化分析

由于土地利用/土地覆被的变化涉及因素繁多, 过程错综复杂, 因而以减化和抽象化



为特征的各种模型对于理解和预测土地利用的格局有着不可替代的作用<sup>[23]</sup>。将计算出的每个格网单元的土地利用程度指数利用ArcGIS进行空间克里金插值纠正以后得到坦帕湾流域土地利用强度空间的分布图(图3)。由弱到强划分为5个等级,低( $I \leq 300$ )、较低( $300 < II \leq 350$ )、中( $350 < III \leq 400$ )、较高( $400 < IV \leq 450$ )、高( $450 < V \leq 500$ )。

对各等级栅格数据进行汇总得到面积及比例,由表7可得,中强度等级流域土地利用面积最大,较高强度次之,低强度所占的面积最少,高强度面积比例保持稳定增长。可见坦帕湾土地开发利用水平中等偏上。

从宏观角度分析土地利用强度空间变化,由图3可得,4期土地利用强度分布具有相似性,土地利用强度等级呈区域化集聚分布,高强度土地利用集中在墨西哥湾、旧坦帕湾向陆一侧。其原因在于沿岸地区人类开发利用活动较大,建设用地分布最广,加上建设用地土地利用强度等级指数最高,因此以高强度土地利用为主;希尔斯伯勒县的首府坦帕市临近坦帕湾,具有良好的气候、物价,加上坦帕湾是全美首选的度假活动场所,导致这一区域土地利用强度最高,可见行政中心以及自然资源对土地强度变化有直接影响;土地利用强度较强的区域主要沿着四号州际公路周边分布,交通带动沿线经济的发展;土地利用较低的区域主要分布在马纳提县东南部,以林地和耕地为主;土地利用强度低的地区集中在流域沿岸南部坦帕湾河口生态系统的岩池区、克鲁克德湖和马纳提下湖流域。随着时间的推移,克鲁克德湖土地利用强度逐渐增强,希尔伯勒县的布莱登土地利用强度也在逐渐增强且高强度面积增加。布莱登远离海岸,是坦帕的“后花园”,20世纪80年代以后迅速发展,大量人口移居到这里,交通的快速发展使社区经济直线上升,建设用地快速增加导致其高强度土地利用面积增加。在土地利用演变过程中自然环境因素对土地利用的区域分布有强烈影响作用<sup>[24]</sup>,然而坦帕湾流域地处沿海平原,整体海拔都低于35 m,因此,地貌等自然因素影响较小。综合分析,影响流域土地利用强度分布主要因素是地理区位、人口迁移、行政中心以及自然保护区。

在土地利用强度综合指数的基础上计算出不同阶段每个格网单元的土地利用程度变化指数,并进行空间插值得到土地利用强度变化率分布图(图4)。通过分析流域土地利用程度的变化趋势,可以发现坦帕湾流域土地开发利用处于发展期的面积一直大于调整期的面积,且发展期比例在大幅增加,说明坦帕湾流域土地利用一直处于快速开发状态,土地利用程度增强趋势明显。其中坦帕湾城市群土地利用变化指数几乎都大于0,都处于发展期,主要因为该区域经济水平本身较高,发展起点高,城市化进程处于领先水平。土地利用变化指数小于0的地区处在调整期或衰退期,主要分布在北部野生动植物保护区、自然保护区以及国家公园缓冲区内,说明佛罗里达州生态保护在逐渐加强且有成效。

分阶段来看,1985-1995年土地利用程度增强的地区主要集中于墨西哥湾一侧,由沿海一侧向陆地递减,这与城市化发展一般以资源较为丰富的区域先开始的现象相对应。1995-2005年流域北部发展期面积增大,土地利用强度增强,南部调整期面积增大,土地

表6 坦帕湾流域1985-2015年土地利用结构  
信息熵、均衡度及优势度

Table 6 Land use structure information entropy, equilibrium and dominant of Tampa Bay watershed from 1985 to 2015

| 年份   | 信息熵    | 均衡度    | 优势度    |
|------|--------|--------|--------|
| 1985 | 1.3495 | 0.7532 | 0.2468 |
| 1995 | 1.3410 | 0.7484 | 0.2516 |
| 2005 | 1.3469 | 0.7517 | 0.2483 |
| 2015 | 1.3444 | 0.7503 | 0.2497 |

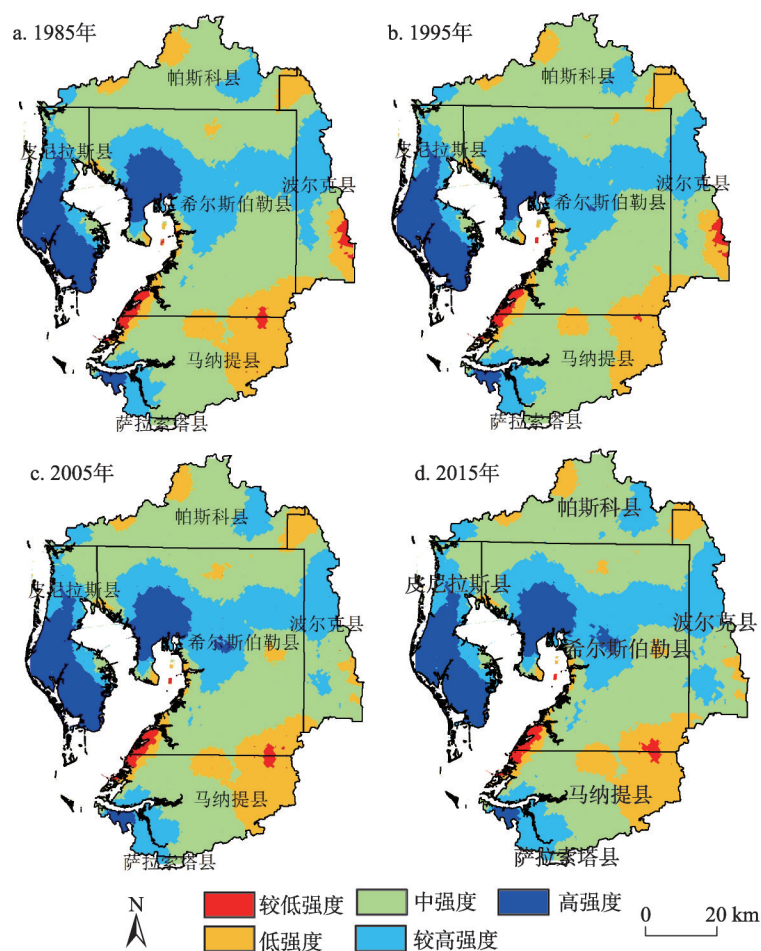


图3 坦帕湾流域 1985-2015 年土地利用程度综合指数图

Fig. 3 Comprehensive index of land use intensity in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015

表 7 各时期强度水平划分、面积及比例

Table 7 The intensity level division, area and proportion of each period

| 强度等级 | 1985 年             |       | 1995 年             |       | 2005 年             |       | 2015 年             |       |
|------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|      | 面积/hm <sup>2</sup> | 比例/%  | 面积/hm <sup>2</sup> | 比例/%  | 面积/hm <sup>2</sup> | 比例/%  | 面积/hm <sup>2</sup> | 比例/%  |
| 低强度  | 8656.00            | 1.38  | 7515.00            | 6.67  | 6898.00            | 1.10  | 7155.00            | 1.14  |
| 较低强度 | 88007.00           | 14.06 | 76614.00           | 13.33 | 86155.00           | 13.77 | 82996.00           | 13.26 |
| 中强度  | 317553.00          | 50.74 | 331053.00          | 20.00 | 313524.00          | 50.09 | 303466.00          | 49.49 |
| 较高强度 | 147816.00          | 23.62 | 145546.00          | 26.67 | 152140.00          | 24.31 | 162526.00          | 25.97 |
| 高强度  | 63787.80           | 10.19 | 65219.00           | 33.33 | 67151.00           | 10.73 | 69724.00           | 11.14 |

利用强度下降，主要因为南部城市分布较少，以林地和耕地为主，农业发展水平高，农业用地相对于建设用地土地利用强度等级较低，并且部分建设用地转换为耕地。2005-2015 年流域土地利用强度整体达到最高，发展期面积增加达到最大，只有南部 Fort Lonesome 农业区和北部动植物保护区少量区域处于调整期，主要因为这个阶段马纳提河

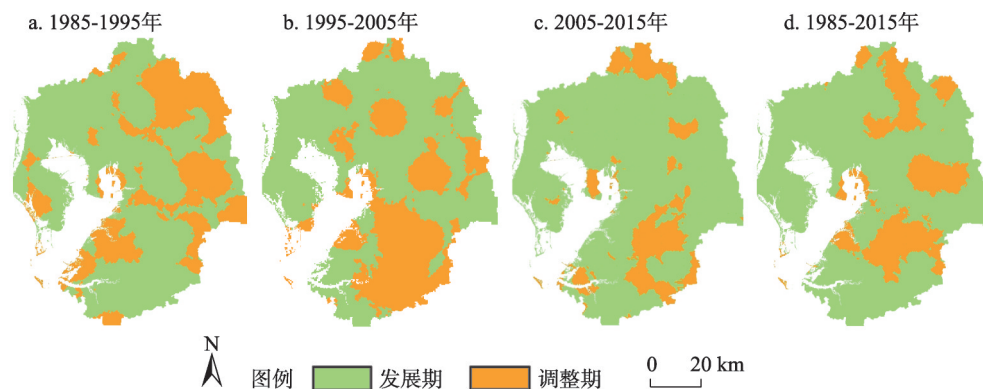


图4 土地利用强度变化率分布

Fig. 4 The change rate of land use intensity map

流域沿岸旅游、商业、娱乐休闲开发基本完成，房地产开发也基本竣工。

### 3 结论

本文利用坦帕湾流域1985-2015年4期遥感影像为基础数据源，结合已有内陆土地利用研究成果，采用土地利用动态度、土地利用结构和土地利用强度等空间指数模型，通过GIS网格空间可视化表达，对坦帕湾流域土地开发利用强度进行了时空分析，主要结论如下：

(1) 近30年坦帕湾流域土地利用时空分异特征明显，建设用地和林地是流域主要用地类型，面积贡献率达70%，且建设用地和未利用地规模增大的同时其他用地减少，耕地及牧场减少9.02%，幅度最大；建设用地以皮内拉斯县和坦帕为代表，主要分布在近海城市群区域；河流与湖泊则主要分布在波尔克县温特黑文附近。

(2) 坦帕湾流域土地转移以建设用地为主并以此带动城市扩展有序进行。建设用地大量增加主要由耕地、林地转换而来，大量农业用地转为非农用地。未利用地大量增加主要由林地、耕地转换而来，坦帕湾郊区的生态环境逐渐恶化。滩涂因开发潜力大是港口城市主要的后备土地资源，快速城市化过程中主要转换为建设用地和未利用地。为了坦帕湾流域土地可持续发展应合理进行滩涂围垦，发展水产养殖和农业生产。建设用地相对变化率较高区域为马纳提县、未利用地为帕斯科县、耕地为萨拉索塔县、林地为皮拉尼斯县、滩涂为帕斯科县，由于独特的地理区位，所有土地类型中河流与湖泊土地利用相对变化最大。

(3) 坦帕湾流域土地利用综合动态度先增大后减少，整体呈减少趋势，动态度由高到低形成极核分布，且极核中心向南移动，同时大量高动态度区转换为较低动态度区，土地变化逐渐平稳化。坦帕湾流域土地信息熵、均衡度逐渐下降的同时优势度上升，土地结构有序性增强、均衡性下降，建设用地逐渐主导流域的均衡性，土地利用结构趋向稳定，符合美国城市郊区化发展模式。

(4) 坦帕湾流域土地开发以中高强度为主，高强度土地主要集中在墨西哥湾与坦帕湾包围的区域，其中以行政中心坦帕最为明显。四号州际公路交通沿线以较高强度土地

利用为主, 土地利用较低的区域主要集中在生态资源保护区。坦帕湾流域发展期与调整期规模比例持续增大, 土地利用程度增强趋势明显, 除生态保护区与农业区外, 其他区域均处在发展期。

### 参考文献(References):

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558. [LI X B. A review of the international researches on land use/land cover change. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6): 553-558.]
- [2] 刘彦随, 陈百明. 中国可持续发展问题与土地利用/覆被变化研究. 地理研究, 2002, 21(3): 324-330. [LIU Y S, CHEN B M. The study framework of land use/cover change based on sustainable development in China. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 324-330.]
- [3] ERB K, NIEDERTSCHEIDER M. Conceptual and empirical approaches to mapping and quantifying land-use intensity // FISCHER KOWALSKI M, REENBERG A, SCHAFFARTZIK A. Ester Boserup's Legacy on Sustainability. New York: Springer, 2014: 61-68.
- [4] 李加林, 刘永超. 人工地貌学学科体系框架构建初探. 地理研究, 2016, 35(12): 2203-2215. [LI J L, LIU Y C. Framework establishment of disciplinary system of anthropogenic geomorphology. *Geographical Research*, 2016, 35(12): 2203-2215.]
- [5] BHANDARI B S, M. G. Analysis of livelihood security: A case study in the Kali-Khola watershed of Nepal. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(1): 17-26.
- [6] 李艳, 于澎涛, 王彦辉, 等. 柔远川小流域土地利用强度变化对径流的影响. 中国水土保持科学, 2013, 11(3): 40-46. [LI Y, YU P T, WANG Y H, et al. Effects of land use change on runoff in Rouyuanchuan small basin. *Science of Soil and Water Conservation*, 2013, 11(3): 40-46.]
- [7] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响. 生态学报, 2001, 17(7): 1041-1049, 1217. [SHI P J, YUAN Y, CHEN J. The effect of land use on runoff in Shenzhen city of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 17(7): 1041-1049, 1217.]
- [8] 谢芳, 邱国玉, 尹婧, 等. 泾河流域40年的土地利用/覆盖变化分区对比研究. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1354-1365. [XIE F, QIU G Y, YIN J, et al. Comparison of land use/land cover change in three sections of the Jinghe River Basin between the 1970-2006. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1354-1365.]
- [9] 张晓明, 余新晓, 武思宏, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/土地覆被变化水文动态响应. 生态学报, 2007, 23(2): 414-423. [ZHANG X M, YU X X, WU S H, et al. Response of land use/land cover change to hydrological dynamics in typical watershed in loess gullied-hilly region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 23(2): 414-423.]
- [10] 王思远, 王光谦, 陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32-37. [WANG S Y, WANG G Q, CHEN Z X. Relationship between land use and soil erosion in Yellow River Basin. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(1): 32-37.]
- [11] 杜清, 徐海量, 赵新风, 等. 新疆喀什噶尔河流域1990-2010年土地利用/覆被及景观格局的变化特征. 冰川冻土, 2014, 36(6): 1548-1555. [DU Q, XU H L, ZHAO X F, et al. Changing characteristics of land use/cover and landscape pattern from 1990 to 2010 in the Kaxgar River Basin, Xinjiang. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(6): 1548-1555.]
- [12] 李帅, 顾艳文, 陈锦平, 等. 宁夏黄河流域土地利用时空变化特征分析. 西南大学学报: 自然科学版, 2016, 38(4): 42-49. [LI S, GU Y W, CHEN J P, et al. Spatio-temporal dynamical changes of land use in Ningxia Yellow River valley. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2016, 38(4): 42-49.]
- [13] 周炳中, 包浩生, 彭补拙. 长江三角洲地区土地资源开发强度评价研究. 地理科学, 2000, 20(3): 218-223. [ZHOU B Z, BAO H S, PENG B Z. Evaluation on exploitative intensity of land resources in the Yangtze River Delta region. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20(3): 218-223.]



- [14] 刘芳, 闫慧敏, 刘纪远, 等. 秦元伟. 21 世纪初中国土地利用强度的空间分布格局. 地理学报, 2016, 71(7): 1130-1143. [LIU F, YAN H M, LIU J Y, et al. Spatial pattern of land use intensity in China in 2000. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1130-1143.]
- [15] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 83-89. [WANG X L, BAO Y H. Study on the methods of land use dynamic change research. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 83-89.]
- [16] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析. 地理学报, 2001, 56(3): 253-260. [ZHU H Y, LI X B, HE S J, et al. Spatio-temporal change of land use in Bohai Rim. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 253-260.]
- [17] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 12. [LIU J Y. The Macro Investigation and Dynamic Research of the Resource and Environment in China. Beijing: Science and Technology Press, 1996: 12.]
- [18] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. 自然资源学报, 1997, 12(2): 10-16. [ZHUANG D F, LIU J Y. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 10-16.]
- [19] 许艳, 濮励杰. 江苏海岸带滩涂围垦区土地利用类型变化研究: 以江苏省如东县为例. 自然资源学报, 2014, 29(4): 643-652. [XU Y, PU L J. The variation of land use pattern in tidal flat reclamation zones in Jiangsu coastal area: A case study of Rudong county of Jiangsu province. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(4): 643-652.]
- [20] 叶梦姚, 史小丽, 李加林, 等. 快速城镇化背景下的浙江省海岸带生态系统服务价值变化. 应用海洋学报, 2017, 36(3): 427-437. [YE M Y, SHI X L, LI J L, et al. Changes of ecosystem service value under the rapid urbanization in the coastal zone of Zhejiang province. *Journal of Applied Oceanography*, 2017, 36(3): 427-437.]
- [21] 杨晓娟, 杨永春, 张理茜, 等. 基于信息熵的兰州市用地结构动态演变及其驱动力. 干旱区地理, 2008, 31(2): 291-297. [YANG X J, YANG Y C, ZHANG L Q, et al. Dynamic evolution and driving force of the land structure in Lanzhou city based on the information entropy. *Arid Land Geography*, 2008, 31(2): 291-297.]
- [22] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152. [CHEN Y G, LIU J S. An index of equilibrium of urban land-use structure and information dimension of urban form. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 146-152.]
- [23] 史培军, 宫鹏, 李小兵, 等. 土地利用/土地覆盖变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000: 99-105. [SHI P J, GONG P, LI X B, et al. Methods and Practice of Land Use/ Cover Change. Beijing: Science Press, 2000: 99-105.]
- [24] 张丽, 杨国范, 刘吉平. 1986-2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析. 地理科学, 2014, 34(2): 185-191. [ZHANG L, YANG G F, LIU J P. The dynamic changes and hot spots of land use in Fushun city from 1986 to 2012. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(2): 185-191.]

## Spatio-temporal analysis of land development and utilization intensity in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015

HE Gai-li<sup>1</sup>, LI Jia-lin<sup>1,2</sup>, LIU Yong-chao<sup>3,4</sup>, SHI Xiao-li<sup>5</sup>, MA Jing-wu<sup>6</sup>, PU Rui-liang<sup>7</sup>,  
GUO Qian-dong<sup>7</sup>, FENG Bai-xiang<sup>1</sup>, HUANG Ri-peng<sup>1</sup>

(1. Department of Geography & Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China; 2. East China Sea Institute of Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China; 3. Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 4. Collaborative Innovation Center of South China Sea Studies, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 5. Editorial Department of Journal of Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China; 6. Wenzhou ocean and fishery vessel safety rescue information center, Wenzhou 325000, Zhejiang, China; 7. School of Geosciences, University of South Florida, Tampa 33620, USA)

**Abstract:** The analysis on the intensity of land development and utilization is of great significance to improving the efficiency of land development and utilization and promoting ecological and environmental protection work. Taking the Tampa Bay watershed of Florida, USA as the study area, based on the information of four TM/OLI remote sensing images of 1985, 1995, 2005 and 2015, this paper constructs a series of models of land-use dynamics, conversion matrix, land development and utilization intensity and land-use structure with GIS technology. Then, it conducts research on spatial and temporal pattern of land development and utilization intensity in Tampa Bay watershed. The results showed that: (1) Construction land and woodland are the dominant types of land use in the watershed. The area of construction land mainly converted from cultivated land increased most, with the ratio being 53.74%. (2) The relative change rates of all types of land use have obvious spatial differences and those of rivers and lakes have the greatest. The change speed of unused land is the largest, with the highest single dynamic degree of up to 1.11%. The average annual growth rate of construction land is steady at about 0.30%. The size with the highest dynamic degree was decreasing from the northern and southern polar nuclei outward, and the areas with higher dynamic degrees were gradually converted into the lower dynamic areas. (3) Information entropy slightly decreased, the land use structure heterogeneity constantly decreased. Area of the land-use composition is listed in the order of Construction Land>Wood>Cultivated Land and Pasture>Rivers and Lakes>Tidal Flat and Marsh> Unused Land. (4) The intensity of land development and utilization is the highest in the Coastal Pinellas county and Tampa city. The area of development is much larger compared with the adjustment period, and the intensity of land development and utilization was obviously strengthened.

**Keywords:** Tampa Bay watershed; land development and utilization intensity; spatio-temporal change; sustainable land use