

DOI: 10.5846/stxb202004050806

江伟康, 吴隽宇. 基于地区 GDP 和人口空间分布的粤港澳大湾区生境质量时空演变研究. 生态学报, 2021, 41(5): 1747-1757.

Jiang W K, Wu J Y. Spatio-temporal evolution of habitat quality in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on regional GDP and population spatial distribution. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(5): 1747-1757.

基于地区 GDP 和人口空间分布的粤港澳大湾区生境质量时空演变研究

江伟康¹, 吴隽宇^{1,2,3,*}

1 华南理工大学建筑学院, 广州 510640

2 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640

3 广州市景观建筑重点实验室, 广州 510640

摘要: 经济发展与人口集聚引起的土地利用变化对一个地区的生态环境影响显著, 生境质量评价在一定程度上可以反映区域生物多样性的状况。分析地区生境质量与社会经济、人口密度的关系, 能够为区域生态安全及可持续发展提供科学依据。运用 InVEST 模型, 以粤港澳大湾区 2005、2010、2015、2018 年四期土地利用数据分析生境质量的时空演变特征, 结合社会经济及人口分布数据探究各地区城市发展与生境质量的权衡关系, 并预测 2030 年大湾区不同情景下生境质量状况。结果表明: (1) 2005—2018 年粤港澳大湾区整体生境质量逐年降低, 呈现出中部低、四周高的环状分布, 生境破碎、建设用地增加是生境质量下降的主要原因。 (2) 珠三角九市生境质量与地区总 GDP 呈弱负相关, 与第一产业产值呈中等正相关, 与第二产业产值呈中等负相关, 与第三产业产值呈弱正相关。 (3) 粤港澳大湾区生境质量与人口密度存在较大的不平衡, 最主要的空间为高生境质量-低人口密度、低生境质量-高人口密度两种类型。 (4) 通过空间管制分区, 预测 2030 年大湾区规划保护情景下大湾区平均生境质量较 2018 上升 0.04, 达到 0.599, 生境质量有明显改善。

关键词: 生境质量; 粤港澳大湾区; InVEST 模型; CA-Markov 模型; 人口空间分布; GDP

Spatio-temporal evolution of habitat quality in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on regional GDP and population spatial distribution

JIANG Weikang¹, WU Juanyu^{1,2,3,*}

1 School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

2 State Key Laboratory of Subtropical Building Science, Guangzhou 510640, China

3 Guangzhou Municipal Key Laboratory of Landscape Architecture, Guangzhou 510640, China

Abstract: Land use change caused by economic development and population agglomeration has a significant impact on the ecological environment of a region. Habitat quality assessment can reflect the status of regional biodiversity to a certain extent. Analyzing the relationship between regional habitat quality and socio-economic and population density can provide scientific basis for regionally ecological security and sustainable development. In this study, the InVEST model was used to analyze the spatial and temporal evolution characteristics of habitat quality using four phases of land use data in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in 2005, 2010, 2015 and 2018. The study combined the data of socio-economic and population density to explore the trade-off relationship between urban development and habitat quality in various regions, and predicted the habitat quality of the Bay Area in 2030 under different scenarios. The results show that:

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51978274)

收稿日期: 2020-04-05; **修订日期:** 2020-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wujuanyu@scut.edu.cn

(1) from 2005 to 2018, the overall habitat quality of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area decreased year by year, indicating a ring-shaped distribution with a low central and high surrounding area. (2) The habitat quality of nine cities in the Pearl River Delta has a weakly negative correlation with total regional GDP, a medium positive correlation with the output value of the primary industry, a medium negative correlation with the output value of the secondary industry, and a weakly positive correlation with the output value of the tertiary industry. (3) There is a large imbalance between habitat quality and population density in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. The main spaces are two types: high habitat quality—low population density, low habitat quality—high population density. (4) Through space control zoning, it is predicted that the average habitat quality of the Greater Bay Area will increase by 0.04 to 0.599 under the planned protection of the Greater Bay Area in 2030.

Key Words: habitat quality; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; InVEST Model; CA-Markov Model; population spatial distribution; GDP

快速的经济发展与人口集聚使区域土地利用强度不断增加,以城市和耕地扩张为代表的土地利用变化所造成的生境破碎、退化和丧失,已被认为是生境质量下降和生物多样性丧失的最大驱动力^[1-2]。2019年2月中共中央、国务院印发实施《粤港澳大湾区发展规划纲要》,确立粤港澳大湾区在国家经济发展和对外开放中的支撑引领作用。作为中国开放程度最高、经济活力最强、人口最密集的区域之一,大湾区近年来经历了快速的城镇化和高强度的土地利用变化,生态环境遭受巨大压力,大量林地、草地、耕地转化为建设用地,对人类福祉产生不利影响^[3-4],带来诸如热岛效应^[5]、洪涝灾害^[6]、雾霾^[7]、水质污染^[8]、生物多样性丧失^[9]等一系列环境问题^[10-11]。因此分析粤港澳大湾区生境质量的时空变化特征及其与社会经济发展的关系,探索区域生态环境空间管制分区方法,对于粤港澳大湾区提高人居环境质量、改善生态环境、协同经济发展有重要意义。

早期学者对生境的研究多为静态分析,如 Valero 等^[12]用河岸带植被指数和河流生境指数评估河流生境状况,Tang 等^[13]采用综合指标法评估鄱阳湖地区土地利用变化对水鸟迁徙生境适宜性的影响。而动态分析则一般通过建构模型进行量化分析,常见的评估模型有 HIS 模型^[14-15]、ARIES 模型^[16]、MIMES 模型^[17]和 InVEST 模型^[18]等,其中 InVEST 模型相比于其他模型,具有数据较易获取、评估准确度高、空间可视化能力强的特点^[19-20]。目前已有不少学者应用 InVEST 模型对生境质量进行分析,如吴健生等用 InVEST 模型基于 2000—2010 的土地利用变化对京津冀地区的生境质量进行评估^[21];钟莉娜等基于 InVEST 模型发现大安市土地整治前中后期项目区生境质量经历了先下降后上升的过程^[22];此外也有学者将 InVEST 模型结合其他方法复合评估,如邓越等将 InVEST 模型与景观指数法结合,研究发现京津冀总体生境质量下降的同时,生境斑块破碎度加剧^[23];褚琳等对 2000—2015 年武汉市景观时空格局和生境质量变化进行分析,并将 CA-Markov 模型模拟得到的土地利用数据输入 InVEST 模型,预测 2020 年武汉生境质量将进一步下降^[24],复合评估将生境质量研究拓展到更深层次。目前关于大湾区的研究包括大湾区生态系统服务价值评估^[25]、生态环境脆弱性评价^[26]、生态风险指数变化^[27]、大湾区景观格局和生态系统服务时空变化^[28]、大湾区生态系统服务分类制图^[29]等。

综上,当前研究多从生态学角度分析生境质量时空变化,缺乏生境质量与人口分布、城市经济发展的相关关系研究,不能很好指导生态环境保护与经济协调发展^[30],而生境质量和经济发展的权衡是难以回避的重要问题,综合这两个因素的讨论对湾区未来发展有很大意义。鉴于此,本文以粤港澳大湾区为例,运用 InVEST 模型与 CA-Markov 模型研究大湾区 2005—2030 年生境质量时空演变特征,结合社会经济数据和人口空间分布,探究粤港澳大湾区生态环境质量的变化趋势、存在问题及原因,提出有针对性的生态环境建设对策与建议,为大湾区的区域国土空间规划、空间管制分区与生物多样性保护提供方法的参考和数据支持。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

粤港澳大湾区位于我国华南沿海(21°25'N—24°30'N, 111°12'E—115°35'E), 由香港、澳门两个特别行政区和广东省广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆九个城市组成, 总面积 5.6 万 km², 亚热带季风气候为主, 植被类型为亚热带常绿阔叶林, 年均温达 22.5℃, 年均降水量在 1500—2500mm 之间, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨。2018 年末总人口已达 7000 万人, GDP 生产总值达 10 万亿元, 是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一。

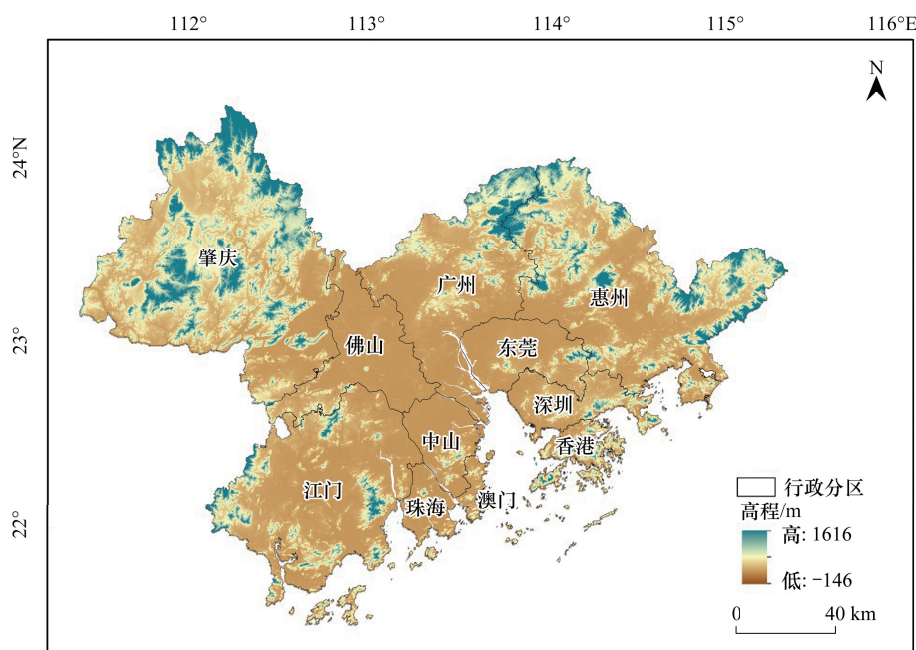


图1 粤港澳大湾区行政边界及高程图

Fig.1 Administrative boundary and elevation map of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

1.2 数据来源

粤港澳大湾区 2005、2010、2015、2018 年四期的 30m 土地利用数据, 2015 年的人口空间分布 1km 栅格数据^[31]来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>)。研究区土地利用一级类有 6 大类, 分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地, 二级类有 22 个类型^[32], 用作 InVEST 模型输入参数之一; 人口空间分布用于空间管制分区叠加制图。大湾区各地市 2005—2018 年 GDP 数据及三产产值来源于广东省统计年鉴 (<http://stats.gd.gov.cn/>), 用于分析生境质量变化与经济发展权衡关系。

1.3 研究方法

1.3.1 生境质量分析

研究采用的 InVEST 模型是一套用于评估生态系统服务物质量、支持生态系统管理和决策的模型系统, 具有快速检验生境质量变化及图示化表达的优点, 具体原理参见 INVEST 3.7.0 用户指导手册^[33]。

分析首先需对生境进行划分: 城镇用地、农村居民点、其他建设用地为人工表面; 沙地、裸土地基本无植被覆盖, 环境恶劣; 水田、旱地等耕地人为干扰严重, 生物多样性极低, 因此将城镇用地、农村居民点、其他建设用地、水田、旱地、沙地、裸土地定义为非生境。结合粤港澳大湾区空间特征, 将林地、草地、水域、海洋等自然生态生态系统定义为生境^[29]。模型中需要根据研究区具体情况进行调整的参数主要包括威胁源的最大影响距离及相对影响权重、各土地利用类型的生境值及其对威胁源的敏感程度。一方面参考了国内外学者的研

究^[21-24]和模型指导手册^[33],另一方面则基于对自然地理学、生态学等领域专家的访谈。

表 1 威胁源及其最大威胁距离、权重及衰减类型

Table 1 Threat sources and their maximum threat distances, weights, and attenuation types

胁迫因子 Stress Parameters	最大影响距离/km Maximum influence distance/km	权重 Weight	衰退方式 Way of decline
水田 Paddy field	8	0.6	线性
旱地 Upland field	8	0.6	线性
城镇用地 Urban land	10	0.9	指数
农村居民点 Rural settlement	8	0.8	指数
其他建设用地 Construction land	10	1	线性
沙地 Sand	10	0.3	指数
裸土地 Bare ground	5	0.2	指数

表 2 生境适宜度及其对不同威胁源的相对敏感程度

Table 2 Habitat suitability and relative sensitivity to different threat sources

	适宜性 Suitability	水田 Paddy field	旱地 Upland field	城镇用地 Urban land	农村居点 Rural settlement	其他建设 设用地 Construction land	沙地 Sand	裸土地 Bare ground
1 水田 Paddy field	0	0	0	0	0	0	0	0
2 旱地 Upland field	0	0	0	0	0	0	0	0
3 有林地 Forest	1	0.6	0.6	0.8	0.7	0.9	0.4	0.3
4 灌木林 Shrubbery	1	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	0.2	0.2
5 疏林地 Sparse woodland	1	0.5	0.5	0.8	0.7	0.8	0.1	0.1
6 其它林地 Other woodland	0.6	0.4	0.4	0.7	0.6	0.7	0.1	0.1
7 草地 Grassland	1	0.3	0.3	1	0.8	1	0.3	0.3
8 河渠、湖泊 Rivers, lakes	1	0.8	0.7	0.9	1	0.9	0.2	0.2
9 水库坑塘 Reservoir	1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2
10 滩涂、滩地 Tidal flat	1	0.6	0.6	0.7	0.65	0.8	0.4	0.4
11 城镇用地 Urban land	0	0	0	0	0	0	0	0
12 农村居点 Rural settlement	0	0	0	0	0	0	0	0
13 其他建设用地 Construction land	0	0	0	0	0	0	0	0
14 沙地 Sand	0	0	0	0	0	0	0	0
15 沼泽地 Wetlands	1	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1
16 裸土地 Bare ground	0	0	0	0	0	0	0	0
17 海洋 Ocean	1	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.1	0.1

1.3.2 生境质量模拟

采用 CA-Markov 模型模拟大湾区 2030 年的土地利用变化。CA-Markov 模型综合了 CA 模型的空间模拟能力和 Markov 模型的数量变化预测优势,对空间和数量的变化都有较好的模拟效果^[24]。操作过程如下:

1)在 Markov 模块输入 2015、2018 年粤港澳大湾区土地利用数据,得到土地利用类型转移概率矩阵、转移面积矩阵和一系列条件概率图像。

2)以研究区 2015—2018 年土地利用类型转移概率矩阵为基础,将 2018 年作为土地利用预测的起始时刻,每 3 年迭代一次,迭代次数取 4,分别模拟当前发展情景下和规划保护情景下粤港澳大湾区 2030 年土地利用变化。

研究采用 Kappa 系数对模型土地利用预测的准确性进行检验,kappa 系数是一种衡量分类精度的指标,也可用于一致性检验,操作通过 IDRISI 软件的 CROSTAB 模块计算完成。利用得到的 2015—2018 年土地利

用类型转移概率矩阵,以 2015 年土地利用为底图,设置迭代次数为 1,得到 2018 年土地利用预测图,与 2018 年土地利用现状图进行对比分析,得到 Kappa 系数为 0.92,表明预测结果与实际一致性较高,可利用该模型进行预测。

1.3.3 空间管制分区

将 2018 年粤港澳大湾区人口密度和生境质量指数分别按自然间断点分级法,结合区域特征对间断点进行微调,分为低、中、高三个区间,在 ArcGIS 中进行地图代数栅格叠加,得到 9 种人口密度-生境质量空间类型:低生境质量-低人口密度(11);中生境质量-低人口密度(21);高生境质量-低人口密度(31);低生境质量-中人口密度(12);中生境质量-中人口密度(22);高生境质量-中人口密度(32);低生境质量-高人口密度(13);中生境质量-高人口密度(23);高生境质量-高人口密度(33)。

管制分区依据各类空间适宜发展策略,将 9 种空间划分为适度开发区、生境恢复区、生境保护区。适度开发区包含 21、22、32,生境恢复区包含 11、12、13、23,生境保护区包含 31、33。适度开发区是指在满足相应人口需求下,可进行适度的城市扩张区域;生境恢复区则为生境质量较差,人口对高质量人居环境的需求得不到满足的地区;生境保护区是重要的生态功能区,是粤港澳大湾区的生态屏障,也是多种动植物的栖息地。

1.3.4 情景设置

将 2015、2018 年的土地利用数据输入 IDRISI 软件,利用 Markov 模块和 CA-Markov 模块运行模拟当前发展情景、规划保护情景下,粤港澳大湾区 2030 年土地利用变化。当前发展情景是延续 2015—2018 年的土地利用变化趋势,不对土地利用类型转移概率矩阵做任何干预;规划保护情景下,依据空间管制分区,适度开发区按当前发展模式进行土地利用转化,生境恢复区采用 2015—2018 的转移概率逆矩阵,生境保护区维持其现有生境,据此模拟出 2030 年土地利用变化。

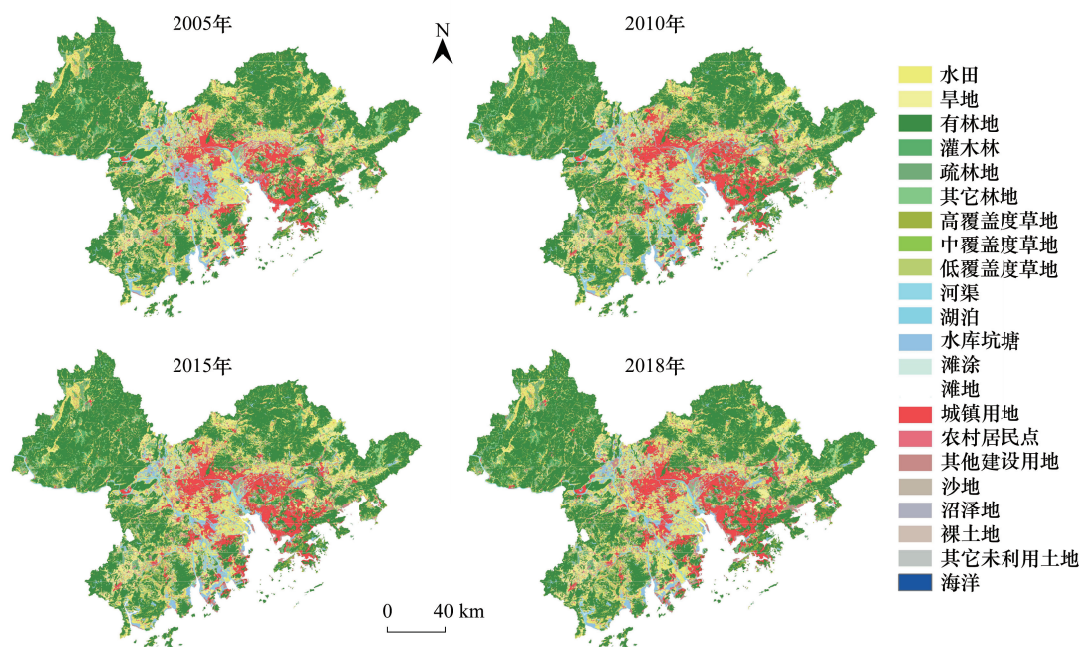


图 2 粤港澳大湾区 2005—2018 年土地利用分布图

Fig. 2 Distribution of land use in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2005 to 2018

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

2005—2018 年期间,粤港澳大湾区林地面积占比均超过 53%,耕地占比超过 22%,即粤港澳大湾区 75%

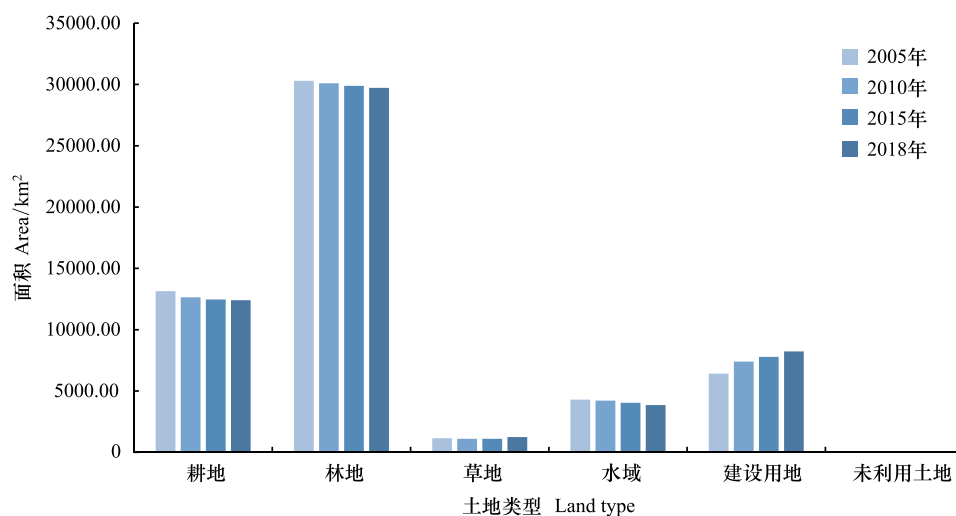


图3 粤港澳大湾区2005—2018年各地类面积变化

Fig. 3 Changes in the area of various regions in Guangdong, Hong Kong and Macau Greater Bay Area from 2005 to 2018

以上的土地为耕地和林地,具有良好的生态基础。随着2005—2018年间的城市建设,耕地、林地、水域、未利用土地均呈现不同程度的减少趋势,耕地减少了5.6%,水域减少了10.3%,未利用土地减少了55.8%,生态用地中仅有草地增加了8.5%,而建设用地增加了28.3%,广州、深圳、东莞、佛山是土地利用变化最为显著的四个城市。

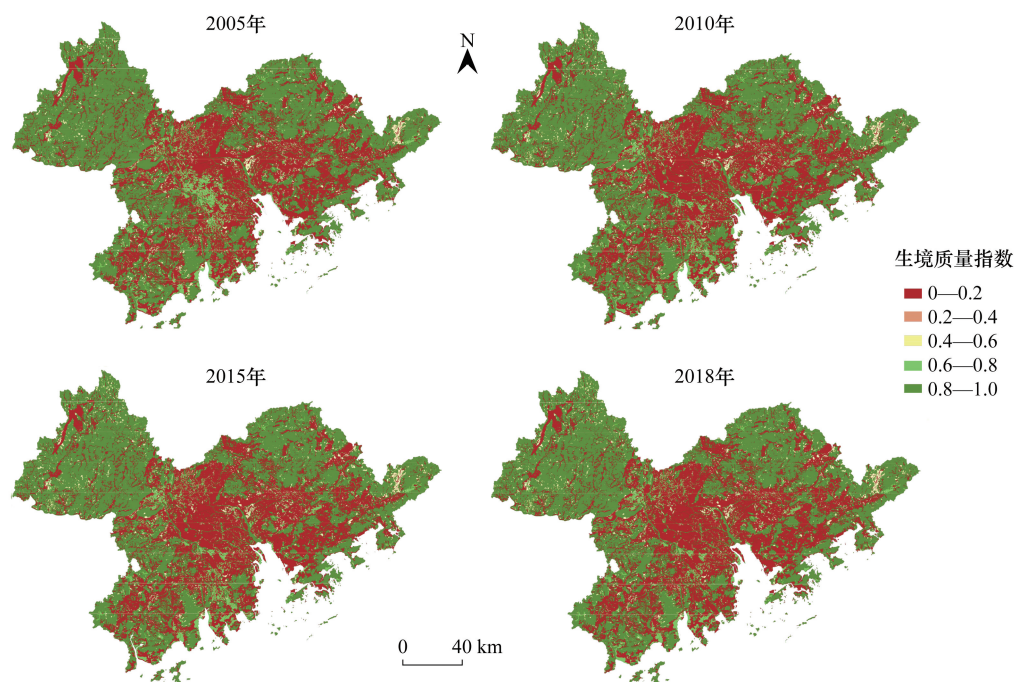


图4 2005—2018 粤港澳大湾区生境质量分布

Fig. 4 Habitat quality distribution of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2005 to 2018

2.2 生境质量变化分析

生境质量指数是生态栖息地的环境质量相对大小,取值范围为0—1,可有效反映地区生物多样性的。将数据输入 InVEST 模型生境质量模块得到粤港澳大湾区2005、2010、2015、2018年四期的生境质量分布

图,运用 ArcGIS 统计得到大湾区各年份平均生境质量,分别为 0.613、0.604、0.600、0.595,呈现逐年下降,趋势渐缓。

空间分布上,大湾区生境质量呈现中部低、四周高的环状分布,以广州、佛山、东莞为代表的中心城市群生境质量最低,均值为 0.35,紧邻中心的深圳、中山等地区生境质量为 0.40。粤港澳大湾区以广、深为发展核心,离心式的城市扩张模式下,佛山、东莞、中山等紧邻广深的城市受到较大的辐射影响,生境破坏较为严重;此外,生境质量还呈现出南部低,北部高,沿海向内陆降低的趋势,沿海多为经济发达地区,如香港、澳门、深圳等,国家提出“一带一路”、“海上丝绸之路”等战略决策后,极大促进了江门、珠海等地城市建设,导致耕地、水域转为建设用地,未利用土地大量开发,使生境质量降低。而北部肇庆与惠州则由于大面积的山地保留了较高的生境质量,是大湾区的北部生态屏障,但局部地区也出现了低生境质量斑块、生境破碎化、生境质量降低的现象。

时间变化上,粤港澳大湾区 2005—2018 年整体生境质量降低,其中生境质量不变的区域占比 70.7%,生境质量降低的区域占比 24.7%,生境质量升高的区域占比 4.6%。生境质量降低的土地中,有 79.1%降低了 0—0.3,7.1%降低了 0.3—0.6,14.8%降低了 0.6 以上,表明这期间有超过 20% 的高质量栖息地丧失了生态功能。生境质量降低较为严重的区域主要集中在佛山、中山等紧邻大湾区中心的城市群。通过对土地利用变化的分析,佛山、中山等地区大量滩涂、坑塘被开垦为水田、鱼塘,随后逐渐被城市侵占,转为城市建设用地,并架设高速公路,对生态造成了极大的破坏;深圳、珠海、江门等地则存在有将沿海滩涂转为建设用地、填海造陆等破坏海洋生态环境的行为;惠州则主要将林地、草地、耕地等转化为城市建设用地,造成了部分区域生境质量的急剧下降。

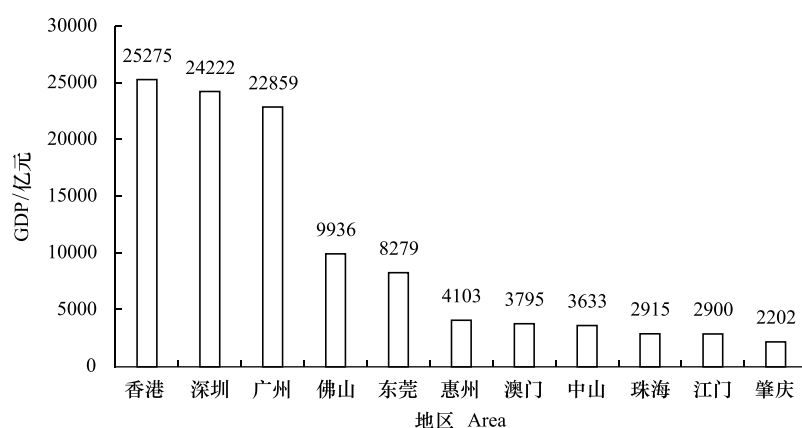


图5 粤港澳大湾区 2018 年 GDP 对比

Fig. 5 Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area GDP Comparison in 2018

2.3 粤港澳大湾区各地区生境质量与社会经济分析

总体来说,2005—2018 年间粤港澳大湾区经济发展极为迅速,除香港外各地区 GDP 年平均增长率均超过 10%,其中惠州、肇庆发展最为迅速,增速达 13.3%。珠三角九市生境质量与 GDP 的 Pearson 相关系数为 -0.32 , $P < 0.05$,表明有弱负相关关系。此外,粤港澳各地区生境质量与其第一、第二、第三产业产值的 Pearson 相关系数分别为 0.49、 -0.37 、0.21,表明生境质量与第一产业产值呈中等正相关,与第二产业产值呈中等负相关,与第三产业产值呈弱正相关。

通过交叉分析各地区的 GDP 与生境质量,采取自然断裂法分类得到高、中、低三个区间,可得到下表:由表可知,高 GDP 与高生境质量并不是互相矛盾的,地区可以实现经济与生态协同发展,城市政策及发展战略很大程度上会影响生境质量。香港作为全球最富裕、经济最发达和生活水准最高的地区之一,是大湾区高生境质量-高 GDP 的典范,其自 1970 年代开始,便通过立法保护了约占全香港总面积 40% 的郊野公园,维持了

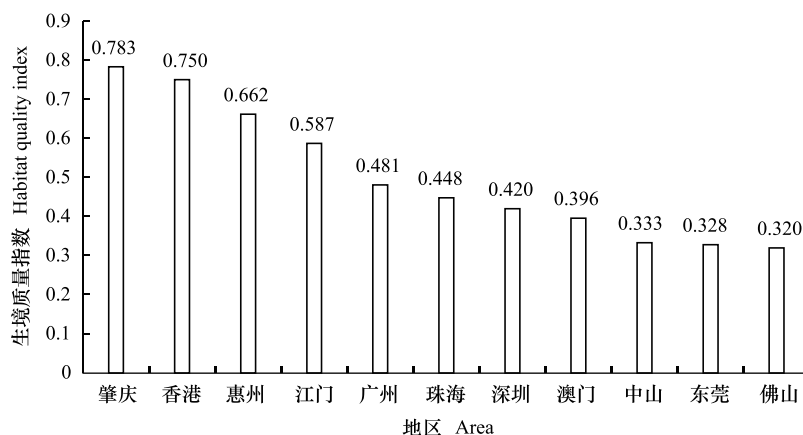


图6 粤港澳大湾区2018年生境质量对比

Fig. 6 Comparison of Habitat Quality in Guangdong, Hong Kong and Macau Greater Bay Area in 2018

较高的生境质量;此外,广州、深圳是中生境质量-高 GDP 的城市代表;东莞、佛山属于低生境质量-中 GDP,是2005—2018 年大湾区土地利用变化最为剧烈的两个地区,其区位优势带来大量产业和人口的迁移,具有良好的经济发展潜力,但亟需加强环境保护和治理;惠州和肇庆为典型的高生境质量-低 GDP 城市,是大湾区的北部生态屏障;中山处在低生境质量-低 GDP 的不良发展模式,有大量滩涂、坑塘被开垦为规整的水田、鱼塘,后逐渐被城市侵占,转为城市建设用地,对地区生态造成极大破坏。

表3 GDP 与生境质量交叉分析表

Table 3 Cross-analysis of GDP and habitat quality

		生境质量 Habitat qualit		
		高 High	中 Medium	低 Low
GDP	高 High	香港	广州/深圳	/
	中 Medium	/	/	东莞/佛山
	低 Low	肇庆/惠州	江门/珠海/澳门	中山

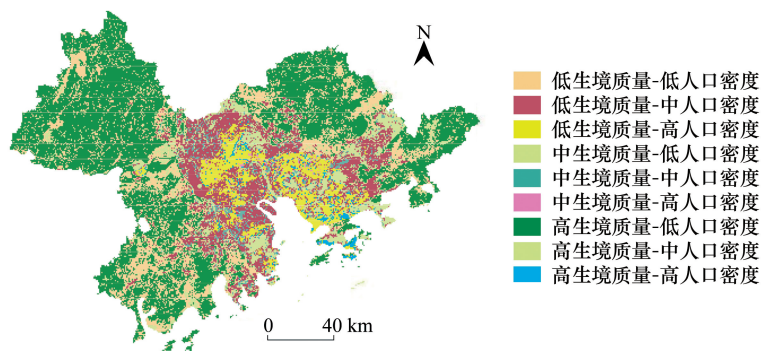


图7 粤港澳大湾区人口密度与生境质量叠加分析

Fig. 7 Overlay analysis of population density and habitat quality in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

2.4 基于人口密度与生境质量分布的空间管制分区

粤港澳大湾区人口密集,密度最高的地方达到41401.2 人/km²。从地区分布来看,人口主要集中在广州、佛山、东莞、深圳、香港等中部地区与伶仃洋沿岸。叠加得到的9 种空间类型中,高生境质量-低人口密度(31) 区域面积占比45.2%,是大湾区最主要的空间类型,主要分布在北部、西南部等边缘区域,这是由于肇庆、惠

州、江门西南部、广州东北部有大量林地、草地,而人口稀疏;低生境质量-低人口密度(11)、低生境质量-中人口密度(12)、低生境质量-高人口密度(13)三种空间类型占比 37.4%,以大湾区中部为核心,类型 13、类型 12、类型 11 逐层向外呈环状分布,这是大湾区人口密度中部向边缘降低、生境质量中部向边缘升高叠加的结果;中生境质量-低人口密度(21)占比 4.6%,中生境质量-中人口密度(22)占比 2.6%,中生境质量-高人口密度(23)占比 0.5%,主要分布在肇庆东部、中山北部、江门和珠海南部沿海区域。

空间管制分区结果如图 8 所示:适度开发区主要分布在大湾区南部及东部地区,未来可向伶仃洋两侧沿岸及东莞、惠州中部发展,西面向肇庆适当扩张,南面向珠海、江门东部建设;生境恢复区集中在大湾区中部区域,分散在适度开发区外围,佛山、广州、东莞、深圳、中山是生境恢复重点城市;生境保护区分布在大湾区北部与西南部,主要为肇庆、惠州、江门三市。

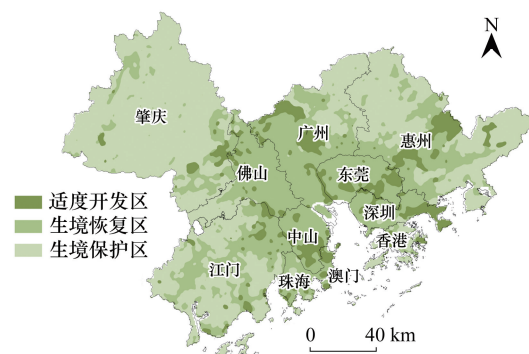


图 8 粤港澳大湾区生态空间管制分区

Fig. 8 Ecological Space Controlled Zoning of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

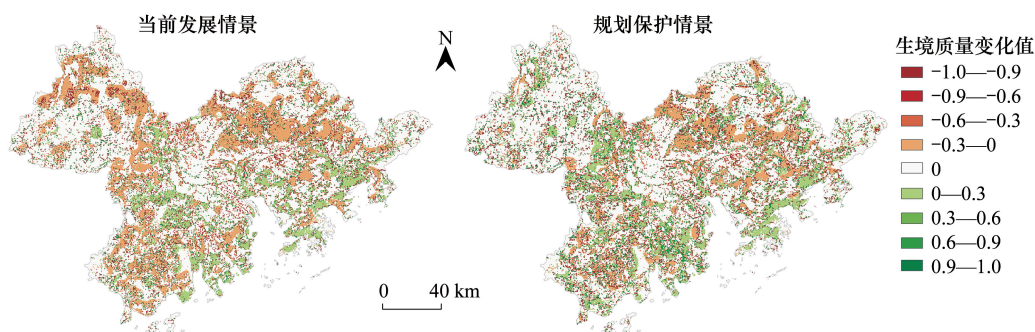


图 9 不同情景下 2030 粤港澳大湾区生境质量变化

Fig. 9 Habitat quality changes of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area under different scenarios

2.5 2030 年生境质量模拟

当前发展情景下,惠州、东莞、广州、佛山等地区建设用地、耕地显著增加,肇庆北部山区林地转为旱地,珠海和中山部分区域坑塘被开垦为水田或在滩涂区域围海造田,对生境质量造成负面影响,该情景下 2030 年大湾区平均生境质量为 0.579,较 2018 年下降了 0.016,与 2005 年至 2018 年下降趋势一致。生境质量不变的区域占比 56.6%,生境质量降低的区域占 27.5%,生境质量升高的区域占 16.0%。空间分布上,生境质量降低区域主要集中在北部的肇庆、惠州、广州、和南部的中山、江门等区域,新一轮的建设开发主要由大湾区中部向四周扩张,因此中部区域生境质量稳定、边缘区域生境质量下降。作为生态屏障的肇庆北部和惠州西北部,生境质量均有不同程度下降,大面积林地转为建设用地或耕地,在人群聚居点零星出现低生境质量斑块,导致高质量生境破碎化。若不加以管控,生境质量将进一步下降,因此利用生态空间管制分区对大湾区生境进行保护与修复是一项必要措施与方法。

在规划保护情景下,城市扩张主要发生在大湾区中部区域,如广州、佛山、东莞等地,且整体扩张范围有所控制;大湾区西北部与东北部的林地得到了较好的保护,未发生大面积的土地性质转变,保留了较好的生态屏障作用。该情景下 2030 年大湾区平均生境质量较 2018 年有所上升,达到 0.599,且肇庆、惠州等北部区域,珠海、江门、深圳、香港等南部区域有一定的生境恢复。整体来说,生境质量不变的区域占 59.1%,生境质量降低的区域占 20.8%,生境质量升高的区域占 20.1%。相比于当前发展情景,规划保护情景下大湾区 10.8% 的

土地生境质量得到改善,整体生境质量较 2018 年上升 0.04,是自 2005 年来首次上升,表明该情景下,经济发展与生态保护达到一定平衡,基于空间管制分区的生态规划对于改善大湾区的生境质量有显著作用。

3 结论与展望

(1)2005—2018 年粤港澳大湾区整体生境质量逐年降低,呈现出中部低、四周高的环状分布,生境破碎、建设用地增加是生境质量下降的主要原因。

(2)珠三角九市生境质量与地区总 GDP 呈弱负相关,与第一产业产值呈中等正相关,与第二产业产值呈中等负相关,与第三产业产值呈弱正相关。

(3)粤港澳大湾区生境质量与人口密度存在较大的不平衡,最主要的空间为高生境质量-低人口密度、低生境质量-高人口密度两种类型。通过空间管制分区,预测 2030 年大湾区城市扩张有所控制,北部林地得到了较好保护,生境质量上升。

综上,粤港澳大湾区未来发展应着重保护沿海滩涂与坑塘湖泊,发挥北部肇庆、惠州地区林地生态屏障作用,防止生境破碎;积极利用各地区优势互补,发展第三产业,平衡不同地区的生境与人口压力,从而实现经济与生态协同发展。

参考文献 (References):

- [1] Sala O E, Chapin III F S, Armesto J J, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke L F, Jackson R B, Kinzig A, Leemans R, Lodge D M, Mooney H A, Oesterheld M, Poff N L, Sykes M T, Walker B H, Walker M, Wall D H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 2000, 287(5459): 1770-1774.
- [2] Falcucci A, Maiorano L, Boitani L. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*, 2007, 22(4): 617-631.
- [3] Haddad N M, Brudvig L A, Clobert J, Davies K F, Gonzalez A, Holt R D, Lovejoy T E, Sexton J O, Austin M P, Collins C D, Cook W M, Damschen E I, Ewers R M, Foster B L, Jenkins C N, King A J, Laurance W F, Levey D J, Margules C R, Melbourne B A, Nicholls A O, Orrock J L, Song D X, Townshend J R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 2015, 1(2): e1500052.
- [4] Newbold T, Hudson L N, Hill S L L, Contu S, Lysenko I, Senior R A, Börger L, Bennett D J, Choimes A, Collen B, Day J, De Palma A, Díaz S, Echeverria-Londoño S, Edgar M J, Feldman A, Garon M, Harrison M L K, Alhussaini T, Ingram D J, Itescu Y, Kattge J, Kemp V, Kirkpatrick L, Kleyer M, Correia D L P, Martin C D, Meiri S, Novosolov M, Pan Y, Phillips H R P, Purves D W, Robinson A, Simpson J, Tuck S L, Weiher E, White H J, Ewers R M, Mace J M, Scharlemann J P W, Purvis A. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 2015, 520(7545): 45-50.
- [5] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. *地球物理学报*, 2005, 48(1): 39-45.
- [6] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 邹铭. 土地利用变化对城市洪涝灾害的影响. *自然灾害学报*, 2003, 12(3): 6-13.
- [7] 何枫, 马栋栋. 雾霾与工业化发展的关联研究——中国 74 个城市的实证研究. *软科学*, 2015, 29(6): 110-114.
- [8] 闫佰忠, 肖长来, 刘泓志, 危润初, 梁秀娟. 吉林市城区土地利用对地下水污染空间分布的影响. *中国环境科学*, 2015, 35(3): 934-942.
- [9] 戚仁海. 生境破碎化对城市化地区生物多样性影响的研究——以苏州为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [10] 涂小松, 濮励杰. 苏锡常地区土地利用变化时空分异及其生态环境响应. *地理研究*, 2008, 27(3): 583-593.
- [11] 黄忠华, 杜雪君. 快速城市化地区土地利用变化的生态环境效应——以杭州市中心城区为例. *水土保持通报*, 2015, 35(6): 223-229.
- [12] Valero E, Álvarez X, Picos J. An assessment of river habitat quality as an indicator of conservation status. A case study in the Northwest of Spain. *Ecological Indicators*, 2015, 57: 131-138.
- [13] Tang X G, Li H P, Xu X B, Yang G S, Liu G H, Li X Y, Chen D Q. Changing land use and its impact on the habitat suitability for wintering Anseriformes in China's Poyang Lake region. *Science of the Total Environment*, 2016, 557-558: 296-306.
- [14] 王志强, 陈志超, 郝成元. 基于 HSI 模型的扎龙国家级自然保护区丹顶鹤繁殖生境适宜性评价. *湿地科学*, 2009, 7(3): 197-201.
- [15] 金龙如, 孙克萍, 贺红土, 周宇飞. 生境适宜度指数模型研究进展. *生态学杂志*, 2008, 27(5): 841-846.
- [16] Bagstad K J, Villa F, Johnson G W, Voigt B. ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): a Guide to Models and Data, Version 1.0. Aries Report Series, Bilbao: The ARIES Consortium, 2011.

- [17] Boumans R, Costanza R. The multiscale integrated Earth Systems model (MIMES): the dynamics, modeling and valuation of ecosystem services. *Issues in Global Water System Research*, 2007, 2: 104-107.
- [18] Kareiva P, Tallis H, Ricketts T H, Daily G C, Polasky S. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- [19] 马良, 金陶陶, 文一惠, 吴秀芹, 刘桂环. InVEST 模型研究进展. *生态经济*, 2015, 31(10): 126-131, 179-179.
- [20] 黄从红, 杨军, 张文娟. 生态系统服务功能评估模型研究进展. *生态学杂志*, 2013, 32(12): 3360-3367.
- [21] 吴健生, 曹祺文, 石淑芹, 黄秀兰, 卢志强. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. *应用生态学报*, 2015, 26(11): 3457-3466.
- [22] 钟莉娜, 王军. 基于 InVEST 模型评估土地整治对生境质量的影响. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 250-255.
- [23] 邓越, 蒋卫国, 王文杰, 吕金霞, 陈坤. 城市扩张导致京津冀区域生境质量下降. *生态学报*, 2018, 38(12): 4516-4525.
- [24] 褚琳, 张欣然, 王天巍, 李朝霞, 蔡崇法. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的城市景观格局与生境质量时空演变及预测. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4106-4118.
- [25] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *热带地理*, 2010, 30(6): 603-608, 621-621.
- [26] 徐庆勇, 黄玫, 刘洪升, 闫慧敏. 基于 RS 和 GIS 的珠江三角洲生态环境脆弱性综合评价. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2987-2995.
- [27] 叶长盛, 冯艳芬. 基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价. *农业工程学报*, 2013, 29(19): 224-232.
- [28] 林媚珍, 周汝波, 钟亮. 基于景观格局变化的粤港澳大湾区生态系统服务变化研究. *广州大学学报: 自然科学版*, 2019, 18(2): 87-95.
- [29] 李婧贤, 王钧. 粤港澳大湾区生态系统服务识别、分类及制图. *生态学报*, 2019, 39(17): 6393-6403.
- [30] 常巧素. 区域生态环境与经济协调发展——评《生态文明建设与区域协调发展战略研究》. *广东财经大学学报*, 2020, 35(1): 113-113.
- [31] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统. [2020-03-10]. <http://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=32>.
- [32] Liu J Y, Liu M L, Deng X Z, Zhuang D F, Zhang Z X, Luo D. The land use and land cover change database and its relative studies in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, 12(3): 275-282.
- [33] Sharp R, Tallis H T, Ricketts T. InVEST 3.7.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2018 [2020-03-10]. <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html#>