

基于FY-3D MERISI-II的2019~2021海南岛城市热岛效应特征分析

赵 婷^{1,2}, 甘业星^{1,2}, 林 冲^{1,2}

¹海南省气象科学研究所, 海南 海口

²海南南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口

收稿日期: 2022年10月26日; 录用日期: 2022年11月23日; 发布日期: 2022年11月30日

摘 要

热岛效应是城市发展过程中的重要生态问题, 自2018年海南省建立自由贸易试验区以来, 经济快速发展, 基于自贸港全岛一体化发展的基本原则以及海南省“生态建省”的基本理念, 本文应用FY-3D MERISI-II数据, 基于分裂窗反演算法进行地表温度反演, 结合热岛强度指数与热岛比例指数分析2019~2021年海南岛全岛城市热岛效应变化特征。结果表明: 2019年~2021年, 全岛城市热岛效应面积比例变化不大, 其中2019年为6.77%, 2020年为5.11%, 2021年为5.85%, 总体热岛强度为“轻微”和“较轻”级别。强热岛区域主要分布在北部的海口, 西部的昌江和东方, 中部森林地区常年表现为冷岛, 海口市市区热岛效应常年存在。儋州、昌江、东方、乐东等西部沿海地区受地形及气温影响夏季和秋季热岛效应面积较大、强度较强。本研究对于海南省城市生态文明建设及城市发展规划具一定的参考意义。

关键词

海南岛, 城市热岛效应, 时空分布特征, 遥感反演

Characteristic Analysis of Urban Heat Island Effect in Hainan Island from 2019 to 2021 Based on FY-3D MERISI-II

Ting Zhao^{1,2}, Yexing Gan^{1,2}, Chong Lin^{1,2}

¹Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou Hainan

²Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou Hainan

Received: Oct. 26th, 2022; accepted: Nov. 23rd, 2022; published: Nov. 30th, 2022

文章引用: 赵婷, 甘业星, 林冲. 基于 FY-3D MERISI-II 的 2019-2021 海南岛城市热岛效应特征分析[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(11): 1542-1551. DOI: 10.12677/ag.2022.1211149

Abstract

The heat island effect is an important ecological issue in the process of urban development. Since the establishment of a free trade pilot zone in Hainan Province in 2018, the economy has developed rapidly. Based on the basic principle of integrated development of the whole island of a free trade port and the basic concept of “Construction Eco-province” in Hainan Province, this paper uses split window inversion algorithm to retrieve the surface temperature based on FY-3D MERSI-II data, combined with the heat island intensity index and the heat island proportion index, analyze the change characteristics of urban heat island effect in Hainan Island from 2019 to 2021. The results show that: from 2019 to 2021, the proportion of urban heat island effect area of the island has little change, including 6.77% in 2019, 5.11% in 2020, and 5.85% in 2021. The overall heat island intensity is “slight” and “light”. Strong heat island area is mainly distributed in Haikou in the north, Changjiang in the west and Dongfang. The forest area in the middle of the Hainan Island is cold island all the year round, and the heat island effect in Haikou City exists all the year round. Danzhou, Changjiang, Dongfang, Ledong and other western coastal areas are affected by topography and temperature. The heat island effect in summer and autumn is larger and stronger in those areas. This study has certain reference significance for the construction of urban ecological civilization and urban development planning in Hainan Province.

Keywords

Hainan Island, Urban Heat Island Effect, Space-Time Distribution Characteristics, Remote Sensing Inversion

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城市热岛效应是由于人为原因改变了城市地表的局部温度、湿度、空气对流等因素，造成的城市区域气温高于乡村、郊区的现象[1]。出现热岛效应时，环境气温持续较高，城市上空的云、雾增加，有害气体、烟尘在市区上空累积形成一定的大气污染。人类医学研究表明，环境温度与人的生理活动密切相关，出现热岛效应可能会引发有许多疾病，当环境温度高于 28℃ 时，人们就会体感不适；长期处于高温环境中易出现烦躁、中暑、精神紊乱等症状；环境温度高于 34℃ 时，心脑血管和呼吸系统疾病的发病率上升，死亡率明显增加[2]。年极端高温日数每增加一天，死亡率约上升 0.11% [3]。

已有研究表明城市热岛效应在热带地区更为严重[4] [5]。海南地处热带地区北缘，属热带季风气候。自 2018 年海南省建立自由贸易试验区以来，海南省经过多次发展跨越，经济迅速发展，形成了以旅游业、对外贸易等为主的新型支柱产业。根据海南省“十四五”规划和二〇三五年远景目标纲要，“十四五”期间海南的生态环境质量和资源利用效率应居于世界领先水平，成为在国际上展示我国积极参与应对全球气候变化和生态文明建设成果的靓丽名片。目前，海口、三亚城市建设显著提速，“海澄文定”、“大三亚”经济圈一体化发展增强。在“生态立省”的指导思想下，海南将持续开展城市大环境绿化，加强城市生态环境保护，着力城郊一体化绿化体系，缓解城市热岛效应，形成现代化国际化城市品质。基于自贸港建设全岛一体化的发展原则，本研究对海南岛全岛进行城市热岛效应监测，基于 FY-3D MERSI-II 数据，应用分裂窗反演算法获得地表温度遥感数据[6] [7]；采用热岛强度指数与热岛比例指数分析

2019~2021 年海南自由贸易港建设以来海南岛城市热岛效应变化特征, 为海南城市绿化建设遵循因地制宜的原则提供生态学依据, 为各城市的进一步发展提供决策参考[8] [9]。

2. 数据与方法

2.1. 研究区域概况

海南岛位于中国南海西北部, 北纬 $18^{\circ}10' \sim 20^{\circ}10'$, 东经 $108^{\circ}37' \sim 111^{\circ}03'$, 地处热带季风气候, 年平均气温 $22.5^{\circ}\text{C} \sim 25.6^{\circ}\text{C}$, 年光照为 1750~2650 小时, 年平均降雨量约为 1640 毫米。岛屿轮廓呈椭圆形, 四周环海地势低平, 中间高耸, 呈穹隆山地形, 以五指山、鹦哥岭为隆起核心, 向外围逐级下降, 由山地、丘陵、台地、平原构成环形层状地貌, 梯级结构明显。海岸线总长 1944 公里(不含海岛岸线), 自然岸线长度为 1272.61 公里[10]。

2.2. 郊区背景划定

依据中国自然资源部 Globeland 2020 版 30 米海南省地表覆盖数据(图 1)以及海南省最大植被指数数据(图 2), 综合分析得出海南岛郊区农田背景(图 3)。其中 Globeland 2020 版 30 米地表覆盖数据包括耕地、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰川及永久积雪 10 种地表覆盖类型; 按照产品定义的全局分幅, 共有 966 个数据集; 面积覆盖全球陆地表面 1.49 亿平方千米。

(<http://globallandcover.com/>)。

2.3. 地表温度反演

用于地表温度反演的卫星数据主要来自于海南省气象科学研究所实时接收的 FY-3D MERSI-II 数据集, 热红外通道空间分辨率为 250 m, 选取 2019~2021 年的 34 景晴空数据进行地表温度反演, 进而计算热岛强度指数和热岛比例指数[11]对海南岛而开展年际尺度与季节尺度的城市热岛监测, 并分析其时空分布特征。

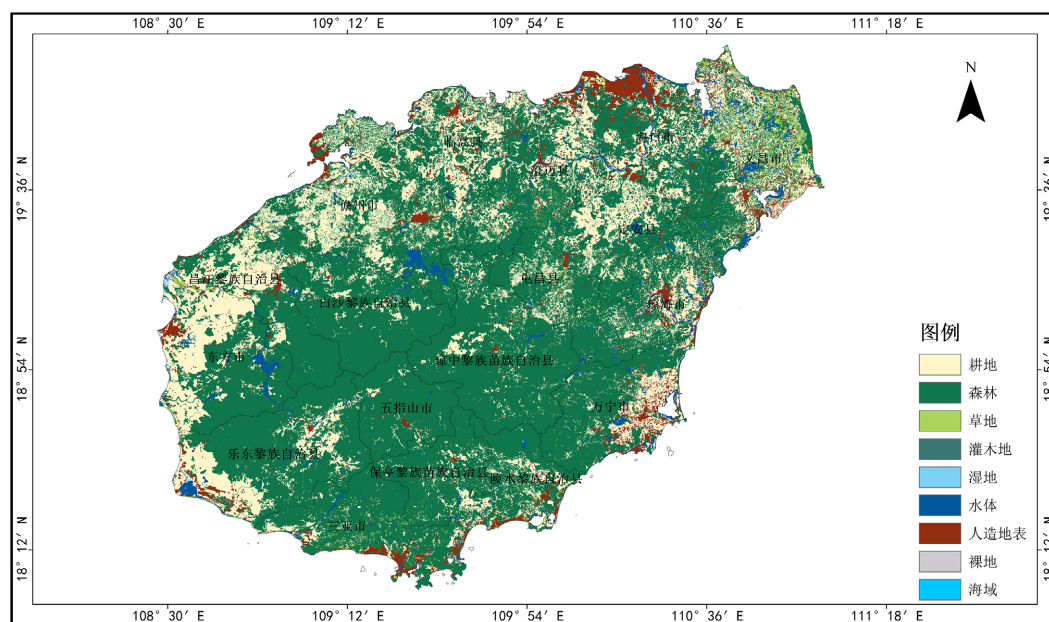


Figure 1. Map of land cover types in Hainan Province

图 1. 海南省地表覆盖类型图

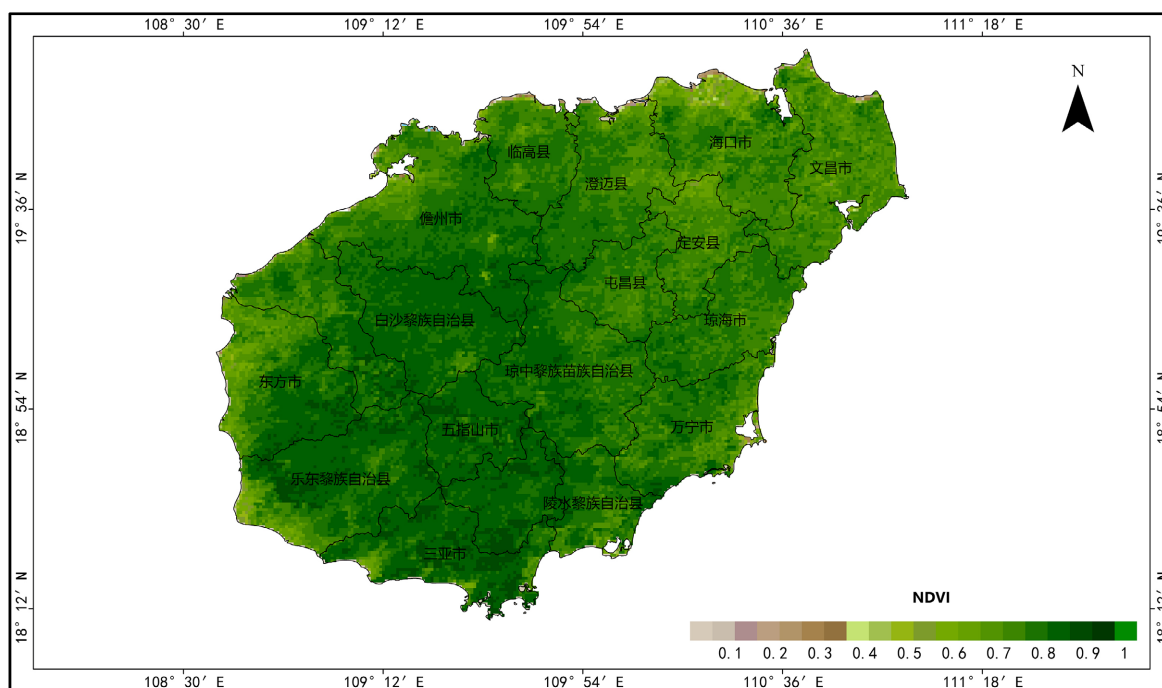


Figure 2. NDVI distribution of Hainan province
图 2. 海南省 NDVI 分布图

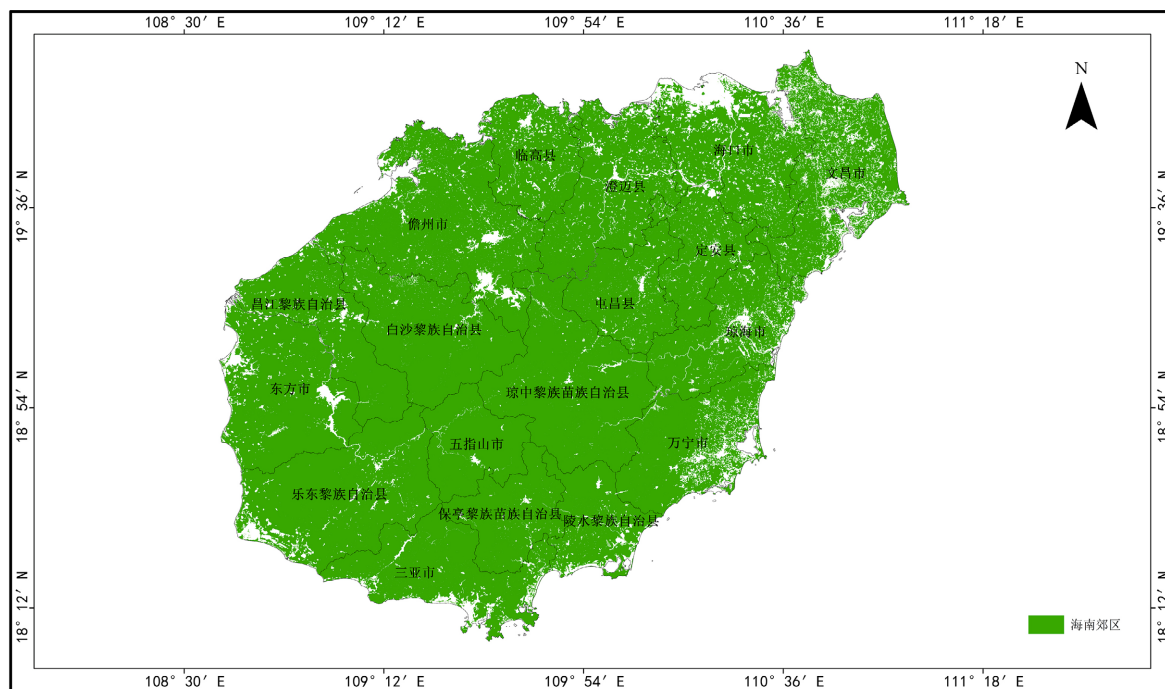


Figure 3. Distribution of Hainan suburbs
图 3. 海南省郊区背景分布图

本研究所用的算法为国家气象卫星中心下发的基于 NDVI 的地表比辐射率估算方法[12]。在参考了已有的地表温度反演模式的基础上，结合大气辐射传输模拟得到如下地表温度 T_s 反演算法[13] [14]

$$T_s = a_0 + a_1 T_{24} + a_2 \left(\frac{T_{24} + T_{25}}{2} \right)^2 + a_3 (T_{24} - T_{25}) + a_4 (T_{24} - T_{25})^2 + a_5 (1 - \varepsilon) + a_6 \Delta \varepsilon \quad (1)$$

其中 T_{24} 和 T_{25} 分别为中心波长在 10.8 μm 和 12.0 μm 的两个热红外通道亮温; $\varepsilon = (\varepsilon_{24} + \varepsilon_{25})/2$, 是两个热红外通道的平均比辐射率。当 $\text{NDVI} < 0.2$ 时, 像元被认为是裸土像元, ε_{24} 为 0.9547, ε_{25} 为 0.9709; 当 $\text{NDVI} > 0.5$ 时, 像元被认为是完全被植被覆盖, 这时通常假定两个热红外通道的地表比辐射率均为 0.99; 当 $0.2 \leq \text{NDVI} \leq 0.5$ 时, 认为像元是由裸土和植被所构成的混合像元, 地表比辐射率根据下式来估算[14] [15]

$$\varepsilon_i = \varepsilon_V P_V + \varepsilon_{S,i} (1 - P_V) + d\varepsilon_i \quad (2)$$

其中 ε_V 为纯植被的比辐射率即 $\varepsilon_V = 0.99$, $\varepsilon_{S,i}$ 为通道的裸土的平均比辐射率; $d\varepsilon_i$ 为自然表面的几何分布和内部反射效应。 P_V 为植被覆盖度, 可以通过下式来计算

$$P_V = \left[\frac{\text{NDVI} - 0.2}{0.3} \right]^2 \quad (3)$$

$\Delta \varepsilon = \varepsilon_{24} - \varepsilon_{25}$, 是两个热红外通道比辐射率的差; $a_0 \sim a_6$ 是算法回归系数, 详情见表 1 [16]。

Table 1. The coefficients of the land surface temperature inversion algorithm of FY-3D/MERSI-II

表 1. FY-3D/MERSI-II 的地表温度反演算法的系数

传感器	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
FY3D/MERSI-II	-204.1781	2.5512	-0.0029	2.3468	0.1376	39.9991	-170.1487

城区平均地表温度与郊区平均地表温度的差值即定义为热岛强度(UHII), 是城市热岛效应监测的重要指标[11] [17]。

$$UHII_i = T_i - \frac{1}{n} \sum_1^n T_s \quad (4)$$

其中, $UHII_i$ 为图像上第 i 个像元所对应的热岛强度, T_i 是第 i 个像元地表温度, n 为郊区内的有效像元数, T_s 为郊区内的地表温度。热岛强度共 7 个等级[17], 日热岛强度 $\leq -7^\circ\text{C}$, 强冷岛; $-7^\circ\text{C} < \text{日热岛强度} \leq -5^\circ\text{C}$, 较强冷岛; $-5^\circ\text{C} < \text{日热岛强度} \leq -3^\circ\text{C}$, 弱冷岛; $-3^\circ\text{C} < \text{日热岛强度} \leq 3^\circ\text{C}$, 无热岛; $3^\circ\text{C} < \text{日热岛强度} \leq 5^\circ\text{C}$, 弱热岛; $5^\circ\text{C} < \text{日热岛强度} \leq 7^\circ\text{C}$, 较强热岛; 日热岛强度 $> 7^\circ\text{C}$, 强热岛。

采用热岛比例指数(UHPI)对城市热岛效应的强度进行评估[18]。

$$\text{UHPI} = \frac{1}{100m} \sum_1^n w_i p_i \quad (5)$$

m 为热岛强度等级数, i 为城区温度高于郊区温度等级序号, n 为城区温度高于郊区温度的等级数, w_i 为第 i 级的权重, p_i 为第 i 级所占面积百分比, 结合 UHII 定义可知 $m = 7$, $n = 3$, i 为热岛强度等级序号值 5、6、7。UHPI 介于 0~1 之间, 数值越大, 热岛现象越严重。

3. 结果分析

研究表明, 2019~2021 年海南省年平均气温均较高, 其中 2019 年全省年平均气温 25.7°C , 比常年偏高 1.2°C , 位居历史第一位高值; 2020 年全省年平均气温 25.4°C , 比常年偏高 0.9°C , 与 2015 年并列位居历史第二位高值; 2021 年全省年平均气温 25.1°C , 较常年偏高 0.6°C , 列位历史第四位高值。1951~2021 年海南省平均气温如图 4 所示。

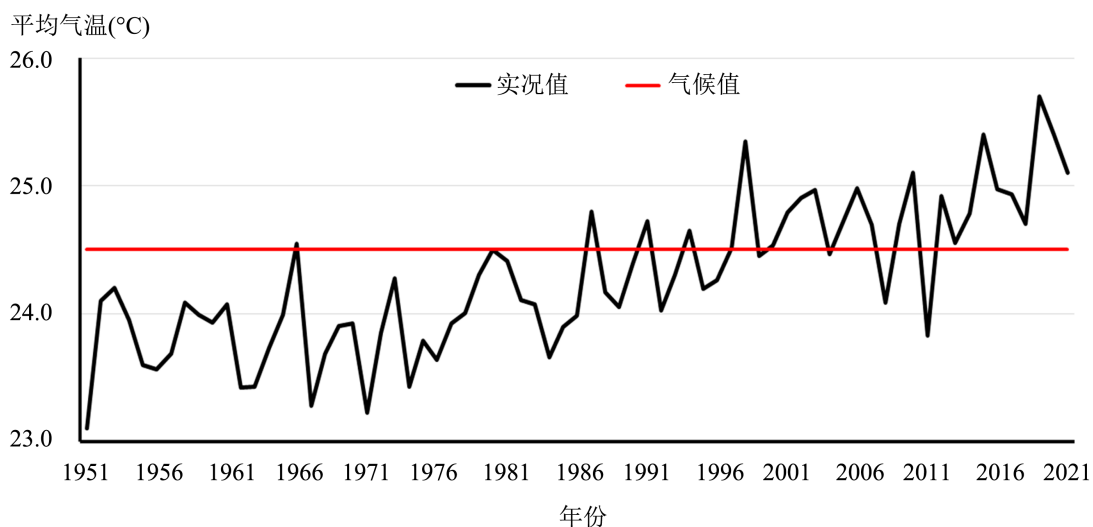
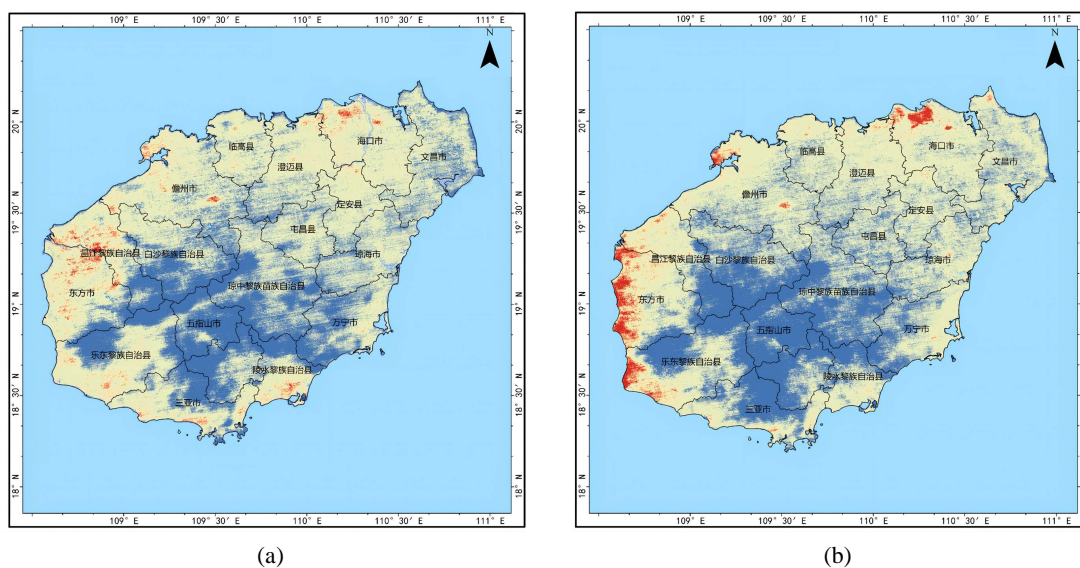


Figure 4. Annual average temperature in Hainan Province from 1951 to 2021 ($^{\circ}\text{C}$)

图 4. 1951~2021 年海南省年平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$)

2019~2021 年海南省年平均气温均偏高, 高温天气频繁, 同时也是城市化建设高速发展的三年, 开展全岛城市热岛效应监测十分必要。对 2019~2021 年展开季节尺度(春季 3~5 月、夏季 6~8 月、秋季 9~11 月、冬季 12 月~次年 2 月)的城市热岛效应监测结果表明: 海南岛中部地区由于地表下垫面森林茂密, 山脉地形特征等因素影响常年表现为冷岛。春季全岛热岛效应面积比例较小, 热岛强度级别以较强热岛为主, 多分布在西部及南部的儋州、昌江、东方、乐东、三亚、陵水等地的沿海地区。上述地区受季风影响每年 4~5 月气温快速升高, 故热岛效应出现时间较早。夏季全岛热岛强度较强, 范围有所减小, 主要分布在北部及西部地区的文昌、海口、儋州、昌江、东方、乐东等地, 强热岛区域主要分布在海口、昌江、东方、乐东。秋季全岛热岛强度较夏季有所减弱, 东部及南部沿海地区出现弱热岛或较强热岛, 海口、东方、乐东、三亚、陵水等地存在较强的热岛区域。冬季海南岛气候宜人, 全岛热岛效应减弱, 大部分地区无热岛, 北部、西部、南部沿海地区的部分市县存在弱热岛或较强的热岛。海口作为海南省省会、政治经济文化中心, 城市化建设水平较高, 主城区常年存在热岛效应(图 5)。



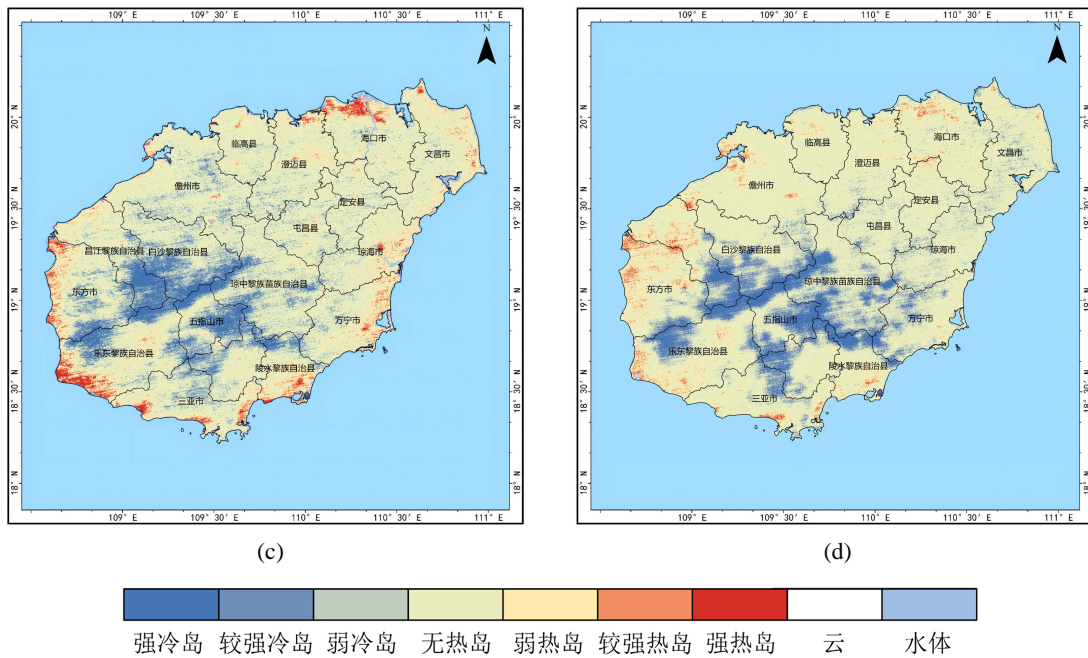


Figure 5. 2019~2021 Hainan Island Spring (a) Summer; (b) Autumn; (c) Winter; (d) Spatial Distribution of Heat Island Intensity

图 5. 2019~2021 年海南岛春季(a) 夏季; (b) 秋季; (c) 冬季; (d) 热岛强度空间分布

综合各季节的海南岛的热岛强度占比, 综合分析 2019~2021 年海南岛年均热岛强度分布(图 6), 结果表明: 2019 年~2021 年, 全岛城市热岛效应面积比例变化不大, 其中 2019 年为 6.77%, 2020 年为 5.11%, 2021 年为 5.85%, 总体热岛强度为“轻微”和“较轻”级别(表 2)。强热岛区域主要分布在北部的海口, 西部的昌江和东方, 较强热岛和弱热岛除分布在以上地区以外, 在儋州、临高、澄迈、屯昌、文昌、琼海、三亚、陵水也有零星分布。由于季风以及海南岛中部山脉地形阻挡等因素的影响, 海南岛西部的儋州、昌江、东方、乐东等地存在大面积持续时间大于 7 天以上的城市强热岛效应。

Table 2. Proportion of heat island area in Hainan Province from 2019 to 2021

表 2. 2019~2021 年海南省热岛面积比例

年份	热效应程度	面积	面积比率
2019	无热岛	13203.83	0.2102
	弱热岛	1799.82	0.0287
	较强热岛	1179.79	0.0188
	强热岛	1267.45	0.0202
	弱冷岛	5413.44	0.0862
	较强冷岛	3988.35	0.0635
	强冷岛	7023.15	0.1118
2020	无热岛	14265.45	0.2512
	弱热岛	2039.44	0.0359
	较强热岛	1280.13	0.0225
	强热岛	1076.78	0.019
	弱冷岛	5463.39	0.0962

Continued

2021	较强冷岛	3883.67	0.0684
	强冷岛	6050.96	0.1066
	无热岛	8461.77	0.149
	弱热岛	1208.99	0.0213
	较强热岛	749.93	0.0132
	强热岛	1360.2	0.024
	弱冷岛	4545.02	0.08
	较强冷岛	4794.79	0.0844
	强冷岛	12921.99	0.2276

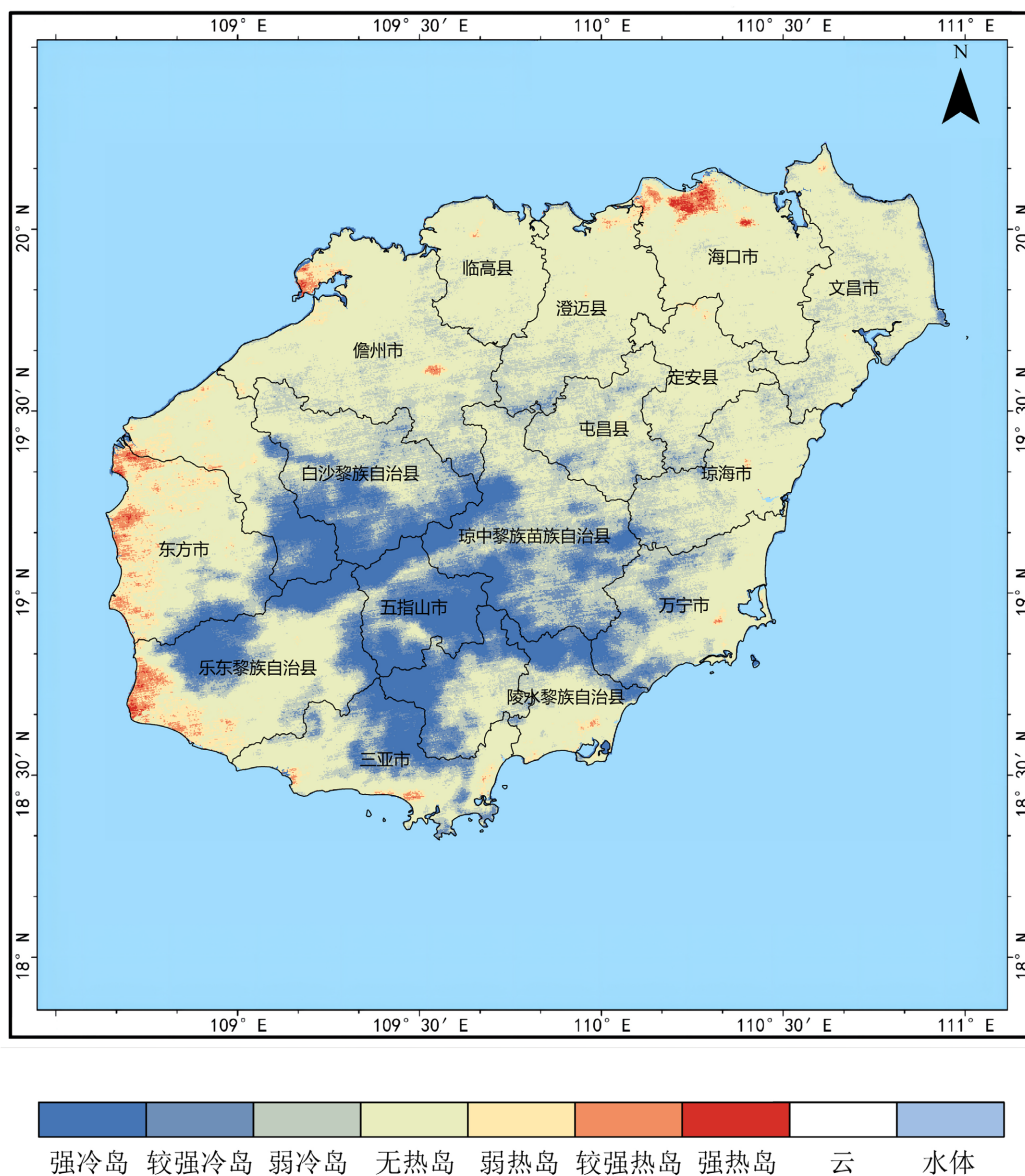


Figure 6. Annual average distribution of urban heat island effect in Hainan Island from 2019 to 2021
图 6. 2019~2021 海南岛年均城市热岛效应分布

4. 结论与讨论

本文对海南自由贸易港成立之后 2019~2021 年海南岛城市热岛效应的时空分布特征进行了分析, 研究表明海南岛热岛效应主要受植被覆盖度和气温影响, 强热岛区域主要集中在春季及夏季的昌江、东方、乐东、海口等地区, 全岛热岛强度总体表现为“轻微”和“较轻”级别, 中部森林地区常年表现为冷岛。由于海南岛城市沿海发展的规划特点, 沿海市县的热岛强度要高于中部市县。昌江、东方、乐东等地区由于地处海南岛西部沿海, 受季风影响全年气温较高, 热岛强度较强。本文对海南岛全岛进行了大范围的季节尺度及年际尺度的城市热岛效应监测, 获得了一些初步结论, 为海南省城市规划与城市生态建设提供了一定的参考依据[19]。但依然存在监测时间序列较短不具备代表性, 仅 FY-3D MERSI-II 数据源较为单一等问题[17] [18], 应进一步开展长时间多源卫星热岛监测, 结合人口分布等因素进一步分析海南岛热岛效应的影响因素, 助力于全岛同城化发展, 优化城市空间布局, 塑造彰显海南特色和时代气息的城市风貌。

致 谢

感谢国家卫星气象中心的技术支持。

参考文献

- [1] 刘学锋, 于长文, 任国玉. 河北省城市热岛强度变化对区域地表平均气温序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 763-770.
- [2] 程义斌, 金银龙, 李永红, 等. 武汉市高温对心脑血管疾病死亡的影响[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(3): 224-225.
- [3] Deschenes, O. (2012) Temperature, Human Health, and Adaptation: A Review of the Empirical Literature. National Bureau of Economic Research, Inc., Cambridge. <https://doi.org/10.3386/w18345>
- [4] 杜尧东. 粤港澳大湾区城市热岛时空特征及驱动因素[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2671-2677.
- [5] 范绍佳, 董娟, 郭璐璐, 等. 城市发展对广州温度场影响的分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(6): 623-627.
- [6] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 粟娟. 城市热岛效应研究进展[J]. 生态环境, 2005(4): 574-579. <https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2005.04.024>
- [7] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133+185.
- [8] 寿亦萱, 张大林. 城市热岛效应的研究进展与展望[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 338-353.
- [9] Cenedese, A. and Monti, P. (2003) Interaction between an Inland Urban Heat Island and a Sea-Breeze Flow: A Laboratory Study. *Journal of Applied Meteorology*, **42**, 1569-1583. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<1569:IBAIUH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<1569:IBAIUH>2.0.CO;2)
- [10] 海南史志网-首页. 海南省志[Z/OL]. <https://hnszw.org.cn>
- [11] 叶彩华, 刘勇洪, 刘伟东, 等. 城市地表热环境遥感监测指标研究及应用[J]. 气象科技, 2011, 39(1): 95-101.
- [12] 俞宏, 石汉青. 利用分裂窗算法反演陆地表面温度的研究进展[J]. 气象科学, 2002, 22(4): 494-500.
- [13] 权维俊, 韩秀珍, 陈洪滨. 基于 AVHRR 和 VIRR 数据的改进型 Becker “分裂窗”地表温度反演算法[J]. 气象学报, 2012, 70(6): 1356-1366.
- [14] Becker, F. (1987) The Impact of Spectral Emissivity on the Measurement of Land Surface Temperature from a Satellite. *International Journal of Remote Sensing*, **8**, 1509-1522. <https://doi.org/10.1080/01431168708954793>
- [15] Jimenez-Munoz, J.C., et al. (2009) Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **47**, 339-349. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2007125>
- [16] Yao, R., Wang, L., Huang, X., et al. (2018) Interannual Variations in Surface Urban Heat Island Intensity and Associated Drivers in China. *Journal of Environmental Management*, **222**, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.024>

-
- [17] 张尚印, 徐祥德, 刘长友, 胡保昆. 近 40 年北京地区强热岛事件初步分析[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1147-1153.
- [18] 徐涵秋, 陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.
- [19] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 赵海江. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(6): 646-656.