

# 哈尔滨市景观格局演变过程 对热环境效应的 影响

李雨桐

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年1月18日; 录用日期: 2023年2月16日; 发布日期: 2023年2月28日

## 摘要

深入探究景观格局演变过程对城市热环境效应的影响, 对减缓城市热岛效应, 改善人居环境、实现城市与生态环境可持续发展具有重要意义。基于TM、Landsat多期遥感影像数据, 运用地表温度反演、景观格局指数分析方法, 探讨哈尔滨市2000~2020年城市扩张过程中景观格局与城市热环境的时空演变特征, 并用Person相关法分析两者之间的关系。结果表明: 2000~2020年, 哈尔滨市发展前期扩张明显, 热岛效应明显, 呈现先加剧后逐渐平稳的趋势。哈尔滨市各区的热力景观分布特征与各区的发展情况及区划调整有一定相关性。不同温度分区的景观格局特征与温度的相关关系呈现不同的相关关系, 热岛区的景观整体格局指数与地表温度均表现为正相关; 低温区的平均斑块分维数、聚集度指数景观指数与地表温度表现为正相关, 景观类型比例与最大斑块指数景观指数与地表温度表现为负相关。

## 关键词

哈尔滨市, 地表温度反演, Person相关, 景观格局指数, 热岛效应

# The Influence of the Evolution Process of Landscape Pattern on the Thermal Environment Effect in Harbin

Yutong Li

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Jan. 18<sup>th</sup>, 2023; accepted: Feb. 16<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 28<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

It is of great significance to explore the influence of landscape pattern evolution on the urban thermal environment effect, which is of great significance to alleviate the urban heat island effect, improve the living environment, and realize the sustainable development of the urban and ecological environment. Based on the multi-phase remote sensing image data of TM and Landsat, the land surface temperature inversion and landscape pattern index analysis methods were used to explore the temporal and spatial evolution characteristics of landscape pattern and urban thermal environment in the process of urban expansion in Harbin from 2000 to 2020, and the relationship between the two was analyzed by Person correlation method. The results show that from 2000 to 2020, Harbin has obvious expansion in the early stage of development, and the heat island effect is obvious, showing a trend of first intensifying and then gradually stabilizing. The distribution characteristics of thermal landscapes in various districts of Harbin have a certain correlation with the comprehensive development and zoning adjustment of each district. The correlation between landscape pattern characteristics and temperature in different temperature zones showed different significant relationships, and the overall landscape pattern index and surface temperature in the heat island area showed a significant positive correlation. The average patch dimension and aggregation index of low temperature area were significantly positively correlated with land surface temperature, and the proportion of landscape type was significantly negatively correlated with the maximum patch index.

## Keywords

Harbin City, Surface Temperature Inversion, Person Related, Landscape Pattern Index, The Heat Island Effect

Copyright © 2023 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

城市是自然、经济、社会的混合生态系统。在过去几十年，中国经历了快速的城市化进程，据《2018年版世界城镇化展望》报告数据显示，世界上55%以上的人口生活在城市地区，这一比例将在2050年增加到68%（联合国，2018年）。快速的城市化进程，使自然植被和农田迅速被人造表面取代，导致了大量的人为热排放，同时也导致了城市景观的巨大变化和相关问题的出现，其中城市热岛效应问题尤为突出[1][2][3]。城市热岛效应导致的气温升高可能会造成一系列负面的生态和社会后果，包括与热相关的死亡率增加、改变生物群落结构和促进全球变暖[4][5][6]。

目前，国内外学者针对城市景观格局与城市热环境效应展开了一系列研究。Balling等利用AVHRR图像分析阿塞拜疆地区辐射温度的分布，发现地表辐射温度分布与土地利用类型直接相关[7]；Bastiaanssen利用Landsat TM与其他卫星遥感数据，发现不同的土地类型的反演出的地表温度不同[8]；Yasser Ghobadi等根据多时相遥感影像数据分析了地表温度与土地利用之间的空间关系，研究发现植被指数与地表温度存在最强负相关的土地利用类型是湿地[9]。邹婧等研究表明土地利用格局对地表温度的影响受到城市自然地理条件和整体规划布局的限制，且不同地区研究结果之间的吻合程度不高[10]；曹璐等

基于 Landsat TM/ETM + 遥感影像, 研究了上海城市热岛的时空格局变化及其成因, 探索地表温度与植被指数、植被覆盖度、不透水面等生物物理参数之间的相关关系, 结果表明人口和城市景观变化是导致地表温度变化的主要原因[11]。多数研究还集中在一种或少数几种土地利用覆盖类型, 全面综合性的定量分析积累还显得不足。

哈尔滨市是中国东北地区重要的中心城市, 近年来处于城市快速扩张的发展阶段, 城市空间格局变化迅速, 区域热环境产生了一定变化, 长时间尺度的城市景观格局与地表温度之间的关系研究还很缺乏。本文以哈尔滨市 9 个市辖区为研究对象, 运用地表温度反演、景观格局指数分析方法及 Person 相关法对哈尔滨市 2000~2020 年的地表温度、景观格局变化及两者之间的相关关系进行定量分析及评价, 以便为试图通过景观管理减少其影响的城市规划者提供科学支持, 对城市规划和最小化潜在的城市化环境影响具有重要意义。

## 2. 研究区概况与研究方法

### 2.1. 研究区概况

哈尔滨市地处中国东北平原东北部地区, 黑龙江省南部, 处东北亚中心区域, 位于东经 125°42'~130°10'、北纬 44°04'~46°40'之间。哈尔滨是中国纬度较高、气温较低的大城市, 哈尔滨的气候属中温带大陆性季风气候, 四季分明, 冬长夏短, 冬季漫长寒冷, 而夏季则显得短暂凉爽。春、秋季气温升降变化快, 属于过渡季节, 时间较短。哈尔滨市地域平坦、低洼, 东部县(市)多山及丘陵地, 东南临张广才岭支脉丘陵, 北部为小兴安岭山区, 中部有松花江通过, 山势不高, 河流纵横, 平原辽阔。哈尔滨市土壤类型较多, 共有 9 个土类、21 个亚类、25 个土种。哈尔滨市植物资源丰富, 种类繁多, 包括藻类植物和苔藓植物, 分布集中、经济价值高; 野生动物的种类与数量都比较多。

哈尔滨市 9 个市辖区、2 个县级市和 7 个县, 总面积 53100 平方千米, 占全国土地面积的 0.55%。本项目主要对哈尔滨市内南岗区、道里区、道外区、香坊区、平房区、松北区、呼兰区、阿城区、双城区共 9 个市辖区进行研究。此部分区域面积较大, 人口分布密集, 建筑布局复杂, 城市内部景观斑块数量较多, 分布均匀。

### 2.2. 数据来源及预处理

本文选取覆盖于研究区 2000 年、2008 年、2014 年、2020 年清晰少云的美国 Landsat 系列卫星 Landsat 4-5TM 及 Landsat 8 TIRS/OLI 遥感数据影像, 分辨率为 30 m, 数据来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。2000 年、2008 年的遥感影像为 Landsat 5 TM 数据, 2014 年、2020 年的遥感影像为 Landsat 8 TIRS/OLI 数据。根据东北地区的物候和植被生长特点, 把遥感影像的获取时间限制在 7 月至 9 月之间, 选取日期尽可能一致, 且天气均为晴天, 以消除由于降雨、季节太阳高度角和植物物候差异的影响。

### 2.3. 研究方法

#### 2.3.1. 地表温度反演

通过辐射传输方程法反演地表温度, 此方法不仅适用于 Landsat5 TM 数据, 且适用于 Landsat8 TIRS/OLI 数据[12] [13] [14]。根据大气剖面实时参数来估算大气对地表辐射的影响, 然后从卫星所在位置接收到的热辐射总量中减去, 从而得到地表辐射强度, 通过归一化植被指数得到地表辐射率, 根据地表辐射率转化为地表实际温度[15] [16] [17]。

首先, 通过 NDVI 计算地表比辐射率:

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} + NDVI_{soil}} \quad (1)$$

$$\varepsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (2)$$

其中,  $\varepsilon$  为地表比辐射率,  $P_v$  为混合像元中植被的比例,  $NDVI$  为归一化植被指数,  $NDVI_{soil}$  为完全是裸土或无植被覆盖区域的  $NDVI$  值,  $NDVI_{veg}$  则代表完全被植被所覆盖的像元的  $NDVI$  值, 即纯植被像元的  $NDVI$  值。取经验值  $NDVI_{veg} = 0.70$  和  $NDVI_{soil} = 0.05$  [18] [19] [20], 即当某个像元的  $NDVI$  大于 0.70 时,  $P_v$  取值为 1; 当  $NDVI$  小于 0.05,  $P_v$  取值为 0。

其次, 根据 Landsat 数据中的热红外波段的像元值计算相应的辐射亮度( $L_\lambda$ ), 卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值  $L_\lambda$  由三部分组成: 大气向上辐射亮度  $L_{up}$ , 地面的真实辐射亮度经过大气层之后到达卫星传感器的能量; 大气向下辐射  $L_{down}$  到达地面后反射的能量。进而计算亮度温度( $T_s$ ), 最后将亮度温度转化成地表温度, 计算过程如下:

$$L_\lambda = [\varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon)L_{down}] \tau + L_{up} \quad (3)$$

$$B(T_s) = \frac{[L_\lambda - L_{up} - \tau(1 - \varepsilon)L_{down}]}{\varepsilon * \tau} \quad (4)$$

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B(T_s)}\right) + 1} \quad (5)$$

其中,  $T_s$  为地表真实温度(K),  $B(T_s)$  为黑体热辐射亮度,  $\tau$  为大气在热红外波段的透过率。  $K_1$  和  $K_2$  为 TIRS10 波段的定标常数。对于 TM,  $K_1 = 607.76 \text{ W}/(\text{m}^2\mu\text{msr})$ ,  $K_2 = 1260.56 \text{ K}$ ; 对于 TIRS Band10,  $K_1 = 774.89 \text{ W}/(\text{m}^2\mu\text{msr})$ ,  $K_2 = 1321.08 \text{ K}$ 。根据哈尔滨气象站点的位置信息, 对结果进行精度验证, 可满足研究需求。

### 2.3.2. 土地利用类型划分

结合研究区的城市下垫面特征, 采用监督分类中的最大似然法将研究区域分为水体、耕地、林地、草地、建设用地、未利用地 6 个景观类别(表 1)。在分类结果中, 难免会存在一些面积特别小的斑块, 通过聚类统计后进行去除[21] [22] [23] [24] [25]。利用哈尔滨市土地利用现状图及 Google Earth 选点方式对土地利用数据进行精度验证, 利用误差矩阵进行精度评价, 总体分类精度在 75%以上, 满足研究的精度要求。

Table 1. Land classification in the study area

表 1. 研究区土地分类

土地类型	定义
水体	包括水库和河流, 天然、相对静止的水面以及人工建造的静止水面; 天然或人工的流动、线状水面。包括一年洪水位以下的滩地, 人工建造的、大于 30 米宽的流动的、线状水面, 不包括径流时间很短的干河谷
耕地	有灌溉设施, 包括旱生作物、菜地、药材、草本果园等, 也有人工种植和经营的饲料和草皮等土地, 但不包括草原上的割草地
林地	有林地, 包括阔叶林、针叶林等
草地	多年生草本植被, 在低温、中度湿润条件下, 属非地带性植被, 也包括早中生植物。植被覆盖度为 4%~20%草地。

## Continued

建设用地	指建造建筑物、构筑物的土地，是城乡住宅和公共设施用地，工矿用地，能源、交通、水利、通信等基础设施用地，旅游用地，军事用地等，付出一定投资(土地开发建设费用)，通过工程手段，为各项建设提供的土地。是利用土地的承载能力或建筑空间，不以取得生物产品为主要目的用地
未利用地	包括沙地、裸土、沼泽地、裸岩等

## 2.3.3. 景观格局指数分析

由于各景观格局指数之间可能存在一定关联性，为全面反映生态空间的景观格局，参考以往相关文献[18] [25] [26]，从类型水平与景观水平上共选取 6 个常用景观格局指数进行研究(表 2)，类型水平上选取景观类型比例(PLAND)、最大斑块指数(LPI)、聚集度指数(AI)、平均斑块分维数(FRAC\_MN)；景观水平上选取斑块密度(PD)、平均斑块面积(AREA\_MEAN)。通过 ArcGIS 10.2 软件，统计各个窗口单元的平均 LST 与景观指数。

Table 2. Statistics of selected landscape pattern indicators

表 2. 选取的景观格局指标统计

景观指数	公式	生态学意义
景观类型比例(PLAND)	$PLAND = 100 \sum_{j=1}^n \frac{a_j}{A}$	景观类型在整个景观中的面积比例
最大斑块指数(LPI)	$LPI = \max(a_1, a_2, \dots, a_j) / (100A)$	优势景观的类型与破碎度
斑块密度(PD)	$PD = N / (10^6 A)$	景观被分割的破碎程度，表示人对景观的干扰强度，破碎度越大，景观安全性越小
平均斑块面积(AREA_MEAN)	$AREA_{MEAN} = A / N$	景观破碎度及异质性
平均斑块分维数(FRAC_MN)	$FRAC_{MN} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{mn} \frac{2 \ln(0.25 p_{ij} a_{ij})}{A \ln a_{ij}}$	斑块形状对内部生态过程的影响
聚集度指数(AI)	$AI = 100 a_{ii} / \max(a_{ii})$	景观的边缘效应，反映景观类型斑块间的连通性，取值越小，景观越离散

注： $i$  代表斑块类型； $j$  代表斑块序列号； $a_{ij}$  代表第  $i$  类第  $j$  类斑块的面积； $g_{ii}$  是第  $i$  类斑块的同类相邻斑块数； $g_{i \max}$  为第  $i$  类斑块的同类最大相邻斑块数； $N$  是某一景观类型的斑块数据； $E$  为所有斑块边界的总长度； $A$  为景观总面积。

## 2.3.4. Person 相关分析

用来反映两个随机变量之间的线性相关程度。其值处于-1~1 之间，越接近于 1，正相关性越强；反之，负相关性越强；当接近于 0 时，则认为两组变量之间相关性较差。正相关表明要素属性值之间的变化具有相同的趋势，负相关则表明要素之间的相关变化具有相反的趋势。

$$\rho_{X,Y} = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N y_i \right)^2}} \quad (6)$$

式中， $x_i$  表示变量集  $X$  中第  $i$  个变量； $y_i$  表示变量集  $Y$  中第  $i$  个变量； $N$  表示变量数目。



### 3. 结果与分析

#### 3.1. 地表温度反演分析

通过均值 - 标准差法[27] [28], 根据反演出的地表温度将研究区域分为高温区、次高温区、中高温区、中温区、中低温区、次低温区、低温区 7 个热力等级类型, 其中高温区、次高温区定义为热岛区。通过 ArcGIS 获取了 2000 年、2008 年、2014 年、2020 年哈尔滨市热力景观类型图(图 1), 以反映城市热岛状况。结果显示, 2000 年高温区除了分布在主城区以外, 由于地表裸露, 受太阳辐射升温迅速, 还分布在部分耕地和沙滩地带, 城市热岛效应并不突出。2008 年市区温度比周围郊区温度高, 城市热岛效应明显; 且松北区温度升温明显。2014 年建筑物密集的市区中心地区升温明显, 城市热岛效应加剧。2020 年市区西南部高温区增加, 热岛效应明显。高温区主要分布在建筑物密集的市中区区域, 而低温区主要分布在水体、草地和林地, 表明草地和林地与水体对城市热岛效应有一定的降温效果。

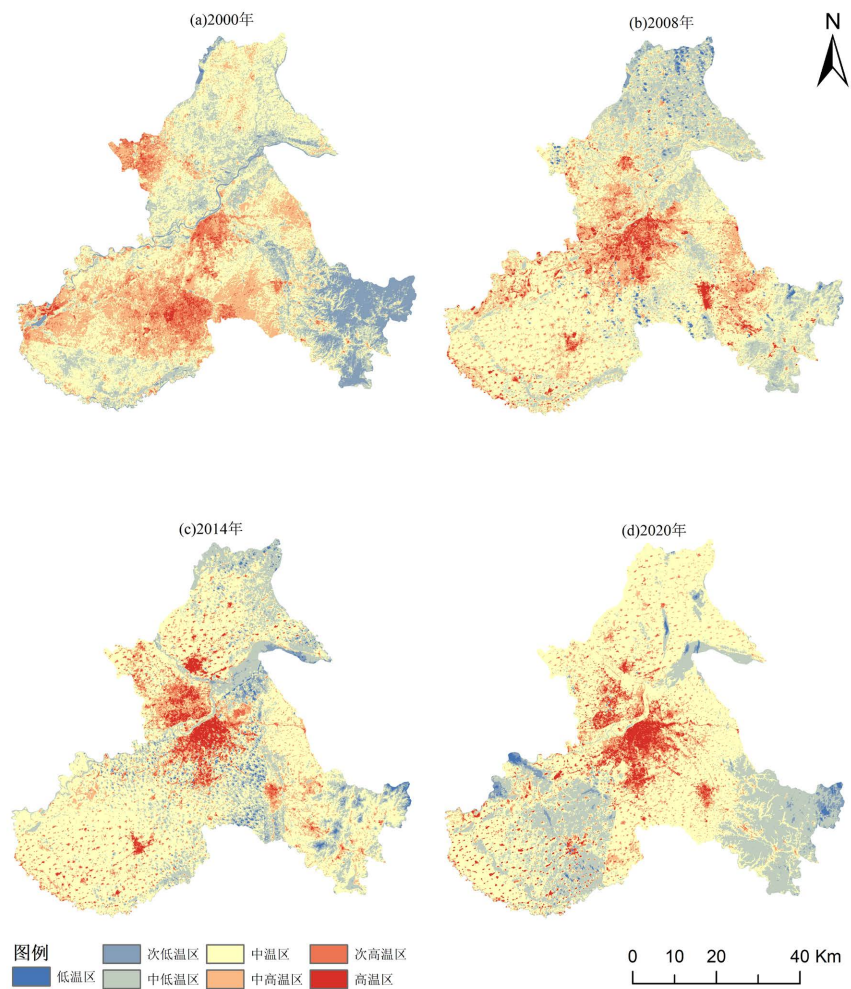


Figure 1. Harbin heat grade type

图 1. 哈尔滨市热力等级类型

#### 3.2. 土地利用变化分析

通过 ArcGIS 获取了 2000 年、2008 年、2014 年、2020 年哈尔滨市土地利用分类图(图 2)。近 20 年

来研究区范围内耕地为主要优势类型，变化幅度较小，呈现出微微下降的趋势；林地、草地和未利用地基本保持相对稳定，水体面积呈现增长的趋势，建设用地面积呈持续增加趋势，这表明哈尔滨市城市化进程逐步加快有关。近 20 年来研究区景观格局变化明显，城市化扩张较为明显。在 2008~2014 年间的变化幅度最大，这与“十二五”时期经济快速发展进而导致建设用地扩张加快有关。

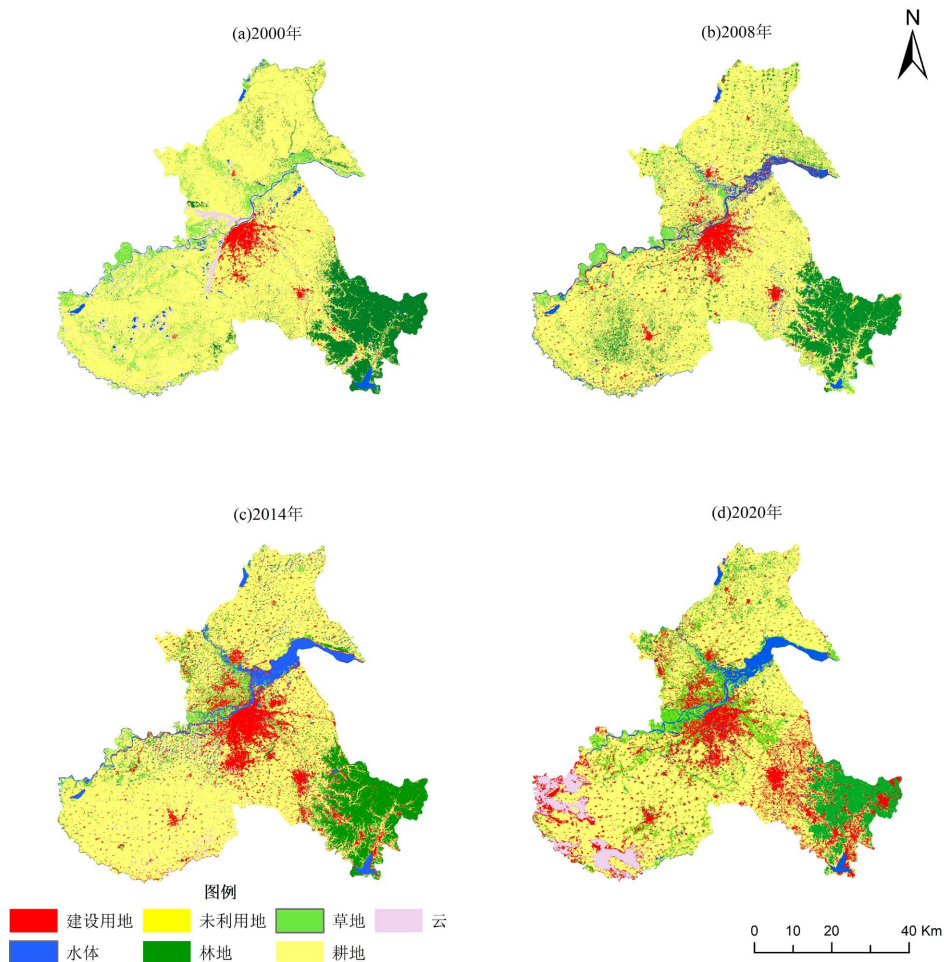


Figure 2. Harbin city land use classification  
图 2. 哈尔滨市土地利用分类

### 3.3. 景观格局变化分析

由表 3 分析得出，研究区内耕地景观样区在整个景观中面积比例最大，为主要优势类型，其次是建设用地、林地。六类景观样区平均斑块分维数水平比较相近，聚集度指数变化幅度不大。耕地景观类型比例呈逐年减少趋势，最大斑块指数呈先增加后减少的趋势；建设用地景观类型比例呈逐年增加趋势，最大斑块指数呈先增加后减少的趋势，林地景观类型比例呈先增加后减少的趋势，最大斑块指数呈先稳定增加后减少的趋势。2000~2014 年，研究区建设用地斑块在不断的增加和聚合，说明城市化进程在不断加快。2014~2020 年，城市化进程放缓但依旧呈现扩张的趋势。由表 4 分析得出，从全局的角度对研究区的景观水平进行分析，2000~2020 年景观样区斑块密度呈现先增加、后减少并趋于稳定的趋势，平均斑块面积呈现出减少的趋势。2008 年人为干扰对景观干扰最大，对内部生态过程的影响最大。

**Table 3.** Landscape pattern index at the type level**表 3.** 类型水平上景观格局指数

年份	土地类型	PLAND	LPI	FRAC_MN	AI
2000	建设用地	1.2223	0.6203	1.0481	88.9004
	林地	5.5133	3.4259	1.0435	93.3464
	水体	0.9711	0.1425	1.0546	88.0271
	耕地	31.8555	20.4624	1.0498	95.4592
	草地	3.4028	0.2097	1.0442	77.975
	未利用地	0.1551	0.0034	1.0413	74.4102
2008	建设用地	2.9598	0.9051	1.0529	83.5345
	林地	6.1513	3.0752	1.0411	89.6104
	水体	1.6039	0.3629	1.0465	80.1617
	耕地	31.3837	20.8181	1.0467	94.2958
	草地	3.5246	0.2426	1.0474	78.2327
	未利用地	0.5941	0.0121	1.0408	87.9074
2014	建设用地	5.4824	1.9302	1.0539	87.7158
	林地	4.8723	1.0797	1.0543	94.5421
	水体	1.1501	0.0017	1.0379	68.4122
	耕地	29.2568	17.1767	1.0472	92.6193
	草地	3.0775	0.113	1.0505	80.7877
	未利用地	5.3915	0.8765	1.0514	96.0447
2020	建设用地	7.2196	1.457	1.0508	87.811
	林地	3.6724	2.1865	1.0449	92.0669
	水体	1.9605	0.9428	1.0506	92.8087
	耕地	27.2892	13.115	1.0495	95.087
	草地	3.1918	0.0026	1.0418	69.1714
	未利用地	4.5481	0.3035	1.0551	82.1476

**Table 4.** Landscape pattern index at the landscape level**表 4.** 景观水平上景观格局指数

年份	PD	AREA_MEAN
2000	3.3116	462871.3933
2008	5.2295	324575.6575
2014	3.276	295249.2579
2020	3.2888	268625.2332



### 3.4. 景观格局与地表温度的相关性分析

#### 3.4.1. 不同景观类型对 LST 影响

为了更好地表征不同景观类型的对 LST 的整体影响,通过 GIS 对不同景观类型的平均地表温度值进行统计。由表 5 分析可知,2000 年耕地地表平均温度最高,表明部分耕地地表裸露,受太阳辐射升温迅速;2008~2020 年地表温度序列大致为建设用地 > 耕地 > 未利用地 > 水体 > 草地 > 林地,建设用地平均地表温度最高,林地平均地表温度是所有土地利用类型中最低的。

**Table 5.** Average surface temperature for different landscape types

**表 5.** 不同景观类型的平均地表温度

年份	耕地	建设用地	林地	草地	水体	未利用地
2000 年	33.4	32.5	22.3	23.6	25.0	29.0
2008 年	31.6	33.4	21.0	24.8	25.1	28.4
2014 年	29.3	36.8	21.6	24.5	24.9	30.0
2020 年	29.4	35.1	22.9	22.1	26.1	29.4

#### 3.4.2. 景观格局指数对地表温度影响

为更清晰地表达景观指数与地表温度的关系,以邻近年份 2020 年为例,选取景观指数与地表温度做栅格尺度上的相关性分析。将各个景观指数的重复值对应的多个 LST 值做均值处理。由表 6 分析可知,热岛区的景观整体格局指数中景观类型比例、最大斑块指数、平均斑块分维数、聚集度指数景观指数与地表温度均表现为正相关;说明热岛区内草地、林地和水体与高温斑块的接触,能降低环境温度。中高温区的景观整体格局指数中景观类型比例、最大斑块指数、聚集度指数景观指数与地表温度均表现为正相关,平均斑块分维数景观指数与地表温度表现为负相关;中温区的景观整体格局指数中,景观类型比例、最大斑块指数、平均斑块分维数景观指数与地表温度均表现为正相关,聚集度指数景观指数与地表温度表现为负相关;中低温区的景观整体格局指数中,景观类型比例与平均斑块分维数等景观指数与地表温度均表现为正相关,最大斑块指数、聚集度指数景观指数与地表温度表现为负相关;次低温区的景观整体格局指数中,景观类型比例、最大斑块指数、聚集度指数与平均斑块分维数景观指数与地表温度均表现为负相关;低温区的景观整体格局指数中,平均斑块分维数、聚集度指数景观指数与地表温度均表现为正相关,景观类型比例与最大斑块指数景观指数与地表温度表现为负相关。

**Table 6.** Correlation between different temperature zones and landscape pattern index

**表 6.** 不同温度分区与景观格局指数间的相关关系

类型	PLAND	LPI	FRAC_MN	AI
高温区	0.217	0.112	0.03	0.21
次高温区	0.2	0.21	-0.248	0.331*
中高温区	0.31	0.34	-0.01*	0.247*
中温区	0.15	0.411	0.631	-0.144
中低温区	0.01*	-0.252	0.314	-0.117
次低温区	-0.02	-0.121	-0.224*	-0.23
低温区	-0.17**	-0.1*	0.11	0.422

注: \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ 。

## 4. 结论

以哈尔滨市 2000 年、2008 年、2014 年、2020 年相邻时段的 TM、Landsat 多期遥感影像为基础, 结合 GIS、ENVI 和景观分析软件, 分析了哈尔滨市城市扩张过程中景观格局与城市热环境的时空演变特征, 得出以下结论:

1) 哈尔滨市在研究时段内存在明显的热岛效应, 且不同景观类型的热力性质不同。2008 年热岛区域在 2000 年的基础上开始有所扩张, 2014 年城市热岛区域扩张明显, 2020 年热岛区域整体上有所降低, 但仍有扩张趋势。高温区主要分布在建筑物密集的市中心区域, 而低温区主要景观类型为水体、草地和林地, 表明草地、林地与水体对城市热岛效应有一定的降温效果。

2) 景观格局影响地表温度的内在机制较为复杂, 景观格局在不同温度分区之间表现出明显的分异特征, 呈现出不同的相关关系。高温区的景观整体格局指数中景观类型比例、最大斑块指数、平均斑块分维数、聚集度指数景观指数与地表温度均表现为正相关; 中温区的景观整体格局指数中, 景观类型比例、最大斑块指数、平均斑块分维数景观指数与地表温度均表现为正相关, 聚集度指数景观指数与地表温度表现为负相关; 而低温区的景观整体格局指数中, 平均斑块分维数、聚集度指数景观指数与地表温度均表现为正相关, 景观类型比例与最大斑块指数景观指数与地表温度表现为负相关。

本文通过皮尔逊相关法开展了哈尔滨市景观格局变化对热环境的影响研究, 刻画了城市地表温度随景观格局的变化。为城市土地规划、管理与相关政策制定提供了科学支撑, 同时为定量研究多个因素对城市热环境的影响提供了一条可行途径。

## 参考文献

- [1] 伍明飞, 林杰. 基于 Landsat 影像的杭州市主城区地表温度和热岛效应研究[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(24): 10812-10817.
- [2] 郝汉舟, 钟学斌, 陈锐凯. 城市化过程中生态环境响应研究进展[J]. 国土与自然资源研究, 2014(5): 62-65.
- [3] 孙愉钧, 杨久东. 基于 Landsat8 的唐山市地表温度反演[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2022, 44(2): 45-52.
- [4] 姚远, 陈曦, 钱静. 城市地表热环境研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1134-1147.
- [5] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 基于景观格局的城市热岛研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(14): 4553-4565.
- [6] 张逢生, 王雁, 闫世明, 李明明, 韩照宇. 浅析城市“热岛效应”的危害及治理措施[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(32): 147-149.
- [7] Balling, R.C., Brazel, et al. (1988) High-Resolution Surface Temperature Patterns in a Complex Urban Terrain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 1289-1293.
- [8] Bastiaanssen, W.G.M. and Menenti, M. (1990) Mapping of Evaporation in the Western Desert of Egypt with Remote Sensing Techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 3, 110-112.
- [9] Ghobadi, Y., Pradhan, B., et al. (2015) Assessment of Spatial Relationship between Land Surface Temperature and Landuse/Cover Retrieval from Multi-Temporal Remote Sensing Data in South Karkheh Sub-Basin, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 525-537. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1244-3>
- [10] 邹婧, 曾辉. 城市地表热环境与景观格局的关系——以深圳市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2017, 53(3): 436-444.
- [11] 曹璐. 城市地表温度热岛遥感定量反演及其时空格局[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- [12] 朱江山, 杨丽萍, 白宇兴, 苏志强, 孔金玲. Landsat-8 影像地表温度反演算法对比分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(12): 4785-4792.
- [13] 段四波, 茹晨, 李召良, 王猛猛, 徐涵秋, 历华, 吴鹏海, 占文凤, 周纪, 赵伟, 任华忠, 吴骅, 唐伯惠, 张霞, 尚国珩, 覃志豪. Landsat 卫星热红外数据地表温度遥感反演研究进展[J]. 遥感学报, 2021, 25(8): 1591-1617.
- [14] 陶旭. 基于 Landsat-8 数据的合肥市主城区地表温度反演研究[J]. 南方农业, 2020, 14(23): 174-176.
- [15] 刘孟竹, 李雅丽, 张红娟, 王飞泉, 裴宏伟. 1996-2017 年张家口市市区景观格局与地表热环境的时空变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 303-309.

- [16] 管昱, 宋瑜, 吴琛, 方亦波, 汪奕昱, 徐建炜. 快速城市化地区景观格局对地表热环境的影响研究[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2020, 19(4): 432-439.
- [17] 王东东. 基于 Landsat 数据的南京市城市热岛效应及驱动力研究[D]: [硕士学位论文]. 抚州: 东华理工大学, 2020.
- [18] Peng, J., Xie, P., Liu, Y.X. and Ma, J. (2016) Urban Thermal Environment Dynamics and Associated Landscape Pattern Factors: A Case Study in the Beijing Metropolitan Region. *Remote Sensing of Environment*, **173**, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.027>
- [19] Min, M., Lin, C., Duan, X.J., et al. (2019) Spatial Distribution and Driving Force Analysis of Urban Heat Island Effect Based on Raster Data: A Case Study of the Nanjing Metropolitan Area, China. *Sustainable Cities and Society*, **50**, Article ID: 101637. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101637>
- [20] 雷金睿, 陈宗铸, 吴庭天, 李苑菱, 陈小花, 杨琦, 何荣晓. 1989-2015 年海口城市热环境与景观格局的时空演变及其相互关系[J]. 中国环境科学, 2019, 39(4): 1734-1743.
- [21] 乔治, 黄宁钰, 徐新良, 孙宗耀, 吴晨, 杨俊. 2003-2017 年北京市地表热力景观时空分异特征及演变规律[J]. 地理学报, 2019, 74(3): 475-489.
- [22] 孙宗耀, 孙希华, 徐新良, 黄宁钰, 吴晨, 乔治. 土地利用差异与变化对区域热环境贡献研究——以京津冀城市群为例[J]. 生态环境学报, 2018, 27(7): 1313-1322.
- [23] 王志华, 郜酷, 杨晓梅, 苏奋振, 黄翀, 石铁柱, 颜凤芹, 李贺, 张慧芳, 吕宁, 潘婷婷. 地理学视角下土地利用/覆被分类发展探讨[J]. 地理研究, 2022, 41(11): 2946-2962.
- [24] 叶红, 张廷斌, 易桂花, 罗琳玲, 黄祥麟, 申一林. 近 15 年郑州市土地利用景观格局分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(8): 85-88.
- [25] 杨鹏, 高祺, 张艳品, 刘思廷, 齐晓华, 曹春莉, 程巳阳. 基于 Fragstats4 的景观格局指数与地表温度的相关性——以石家庄市为例[J]. 气象科技, 2021, 49(3): 464-474.
- [26] 刘昕. 基于移动窗口法的中国东北地区景观格局研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [27] 任钟冬, 黄玥, 谭惠芝, 王培涛, 任建成, 卢晓宁. 基于均值-标准差改进的滨州市多时相热岛强度变化分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(2): 40-47.
- [28] 陈松林, 王天星. 等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(2): 145-150.