

2003~2015年乌鲁木齐城市热岛时空变化及其植被和不透水面变化的关系

依扎提·托留别克¹, 柴美琪², 张丽娜³, 成文杰³

¹南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京

²博尔塔拉蒙古自治州气象局, 新疆 博乐

³阿拉山口市气象局, 新疆 阿拉山口

收稿日期: 2021年12月6日; 录用日期: 2022年1月7日; 发布日期: 2022年1月14日

摘要

研究城市热岛效应已成为当前研究者们探究的热点问题。与此同时, 城市植被的优化作为缓解热岛效应显著有效的措施, 也被愈来愈多的学者进行研究。选取乌鲁木齐市作为研究区域, 基于MODIS遥感卫星数据, 利用遥感图像分析2003~2015年乌鲁木齐的城市热岛时空和植被变化的关系。结果表明乌鲁木齐2003年~2015年来整体上城市的温度最高, 但不同季节差异较大, 夏季草地温度最高, 农田、水体的温度比较低; 以农田为参照估算城市热岛强度时, 城市表现为明显的热岛效应, 夜晚略大于白天, 随时间呈现上升趋势; 以草地为参照估算城市热岛强度时, 在冬季城市白天热岛强度最高, 而夏季白天热岛强度最低; 乌鲁木齐市中城市的不透水面比例最高, 也导致了乌鲁木齐市区的温度比其他土地覆盖面高; 其他土地覆盖类型的不透水面比例较低。

关键词

城市化, 城市热岛效应, 地表温度, 城市不透水面

Spatial-Temporal Variation of Urban Heat Island and Its Relationship with Vegetation and Impervious Water Surface in Urumqi from 2003 to 2015

Ezzati Tolubek¹, Meiqi Chai², Lina Zhang³, Wenjie Cheng³

¹School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu

²Bortala Mongol Autonomous Prefecture Meteorological Bureau, Bole Xinjiang

³Alashankou Meteorological Bureau, Alashankou Xinjiang

文章引用: 依扎提·托留别克, 柴美琪, 张丽娜, 成文杰. 2003~2015年乌鲁木齐城市热岛时空变化及其植被和不透水面变化的关系[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(1): 17-31. DOI: 10.12677/ccr.2022.111003

Abstract

Urban heat island (UHI) effect has become a hot topic for researchers. At the same time, the optimization of urban vegetation, as a significant and effective measure to mitigate the heat island effect, has been studied by more and more scholars. Urumqi was selected as the research area. Based on MODIS remote sensing satellite data, remote sensing images were used to analyze the spatio-temporal relationship between urban heat island and vegetation change in Urumqi from 2003 to 2015. The results showed that the temperature of Urumqi was the highest in the whole city from 2003 to 2015, but there was a big difference in different seasons. The temperature of grassland was the highest in summer, while the temperature of farmland and water body was lower. When the urban heat island intensity was estimated based on farmland, the urban heat island effect was obvious, which was slightly larger at night than at day, and showed an increasing trend with time. When the urban heat island intensity was estimated based on grassland, the daytime heat island intensity was the highest in winter and the lowest in summer. The proportion of impervious water surface in Urumqi city is the highest, which also leads to higher temperature in Urumqi urban area than other land coverage. Other land cover types have lower impervious water surface proportions.

Keywords

Urbanization, Urban Heat Island Effect, Surface Temperature, Cities Are Impervious to Water

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

经济全球化是时代潮流,中国正顺着这股全球潮流飞速发展,这表现为城市的迅速扩张,同时 GDP、人口也呈显著的上升趋势。在城市化发展过程中,产生了不少破坏环境的后果,如铁路、水泥路、建筑物等不透水面的下垫面,这些物体的产生加剧了城市热岛等环境问题。当前环境最突出的问题是城市热岛效应,城市热岛不仅会带来社会、经济、环境的影响,还会威胁人类健康、能源消耗、环境污染、气候变化等[1] [2] [3]。

不透水物体表面覆盖的商业和住宅建筑、道路和停车场都会加剧热岛效应,而树木、草地和灌木等植被会缓解热岛效应[4]。因此,建设绿地环境成为各个城市缓解城市热岛的主要解决手段,植被覆盖度的多少会影响到城市热岛效应,通过种植植被来减缓城市热岛效应是目前最有效的方法。较多学者也研究了植被覆盖和气象因素对热岛的影响,宫阿都等研究阐述了城市热岛出现的主要原因之一是其植被覆盖度低[5] [6]。如张昌顺等[7]研究表明,合理的群落结构与植被的空间布局可有效缓解热岛效应。陈炫焯等[8]研究表明,城区热岛效应与不透水面有极显著负相关关系。苏玥等[9]研究了人类活动与城市温度的关系,表明人为活动、煤炭燃烧和大气逆辐射等因素都是增强热岛效应的因素。

2. 国内外进展

随着信息技术的发展,传感器分辨率的提高,国内外学者[10]基于遥感数据,运用遥感相关方法研究

城市地表热环境已成为主流趋势。与此同时国内的研究城市热岛与植被变化的关系的研究相对较多，这也侧面说明，绿地对于热岛的影响最为显著[11]。

以往的研究大多是在一个特定的或几个对比的情况下进行的城市关于地表热岛的规模，而不是地理空间模式。最近，为了解城市热岛的区域和全球分布，人们做出了一些努力，但这些努力集中在主要位于沿海地区的大城市或具有不同的驱动变量，因此导致了高度不同的结论[12]。研究发现，成都、重庆的春季热岛强度远高于其他季节的热岛强度。Jin, Dickinson [13]认为热岛在全球范围内白天和晚上都发生，但没有探究它们的学者。张泽民[14]在 2016 年使用 WorldView 2 影像进行了植被参数反演。Imhoffetal [15]的研究表明，热岛在白天比晚上更强烈，主要受美国内陆 38 个大都市的生态环境控制。全球 419 个大城市的 SUHI 白天显著高于夜晚，其空间变异性归因于城市 - 郊区白天植被活动的差异，以及夜间反照率和人为热量释放的差异[16]。

3. 研究区概况

本研究以新疆乌鲁木齐市为分析对象，如图 1 所示，乌鲁木齐处于中国的西北部，新疆的中部，在吐鲁番市的东部与之接壤，在昌吉市的西部。在乌鲁木齐南郊 30 km 处由亚洲大陆地理中心。乌鲁木齐地势较高，地形以高原、山地为主，气候条件相对来说较为恶劣，四季里春秋两季较短暂，冬夏两季较长，春夏秋冬的季节差异明显，与其海拔和纬度有关，并且全年昼夜温差大。

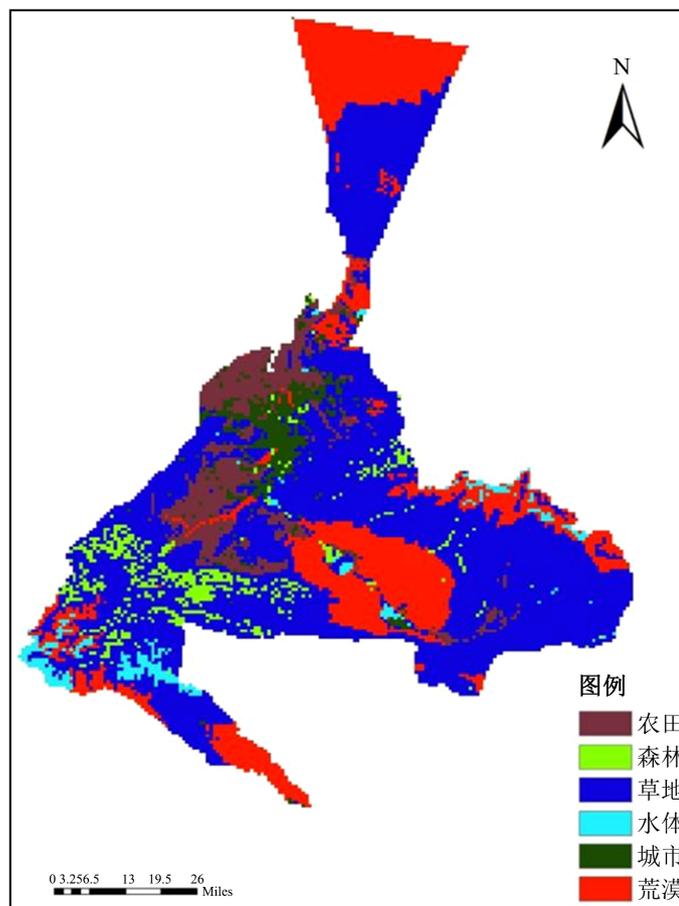


Figure 1. Survey of land use in the study area

图 1. 研究区土地利用概况

4. 数据与方法

4.1. 数据源

MODIS 遥感观测中, 每 1~2 天可获得一次全球观测数据(包括白天的可见光图像以及白天和夜晚的红外图像) [17]。乌鲁木齐 2003~2015 年的 MODIS 遥感数据为本研究的数据来源, 遥感数据里包括 MYD11A2 的地表温度产品和 MOD13A2 的植被指数产品, 具体数据说明见表 1。城市用地数据来源于宫鹏等[18]研发的我国 1978~2017 年 30 m 分辨率居民区产品。

Table 1. The data explanation

表 1. 数据说明

数据产品	数据名称	级别	空间分辨率	时间分辨率
MYD11A2	地表温度	1.3	1 km	8 d
MOD13A2	植被指数	1.3	1 km	16 d

4.2. 数据预处理

4.2.1. MODIS 数据拼接与提取

本文利用 NASA 数据服务网站[19]提供的全球每日 1 km 分辨率的投影坐标网格产品, 选取覆盖乌鲁木齐范围的 MODIS 地表温度产品作为研究数据。本次研究选用两个不同的数据集, 包括白天和夜间的的海表温度数据。

4.2.2. MODIS 影像投影转换

MODIS 地表温度数据采用的是 NASA 数据服务网站提供的数据来源, 使用数据前需要将数据进行投影转换参数为 Albert 等面积投影, 数据内容分白天和黑夜的温度数据集, 间隔日期为 8 d。

4.2.3. 省界裁切

以乌鲁木齐市的区域为划分对象进行裁剪分割。

4.2.4. 区域范围无效值剔除

由于乌鲁木齐部分地区的云量比较多, 单日影像数据常覆盖大片云层[20], 导致单日影像存在部分的无效值(value = 0), 用局部和栅格计算工具来获取我们需要的 2003 年和 2015 年乌鲁木齐市的地表温度数据。

4.3. 研究方法

利用 2003~2015 年乌鲁木齐市白天、夜晚地表温度数据, 增强植被指数数据, 来计算不同土地覆盖类型的的海表温度和植被指数。

4.3.1. 地表温度提取

首先, 对地表温度产品预处理, 将灰度值转变为真实的地表温度, 然后对其进行辐射定标和大气校正, 其公式为:

$$T_s = DN * 0.02 - 273.15 \quad (1)$$

(1)式中, T_s 为地表温度值; DN 为像元灰度值。利用 ArcGis 10.8 软件对其进行作图、边界掩膜等处理。

4.3.2. 城市热岛分级

利用 2003~2015 年月平均白天、夜晚地表温度数据，计算地表热岛

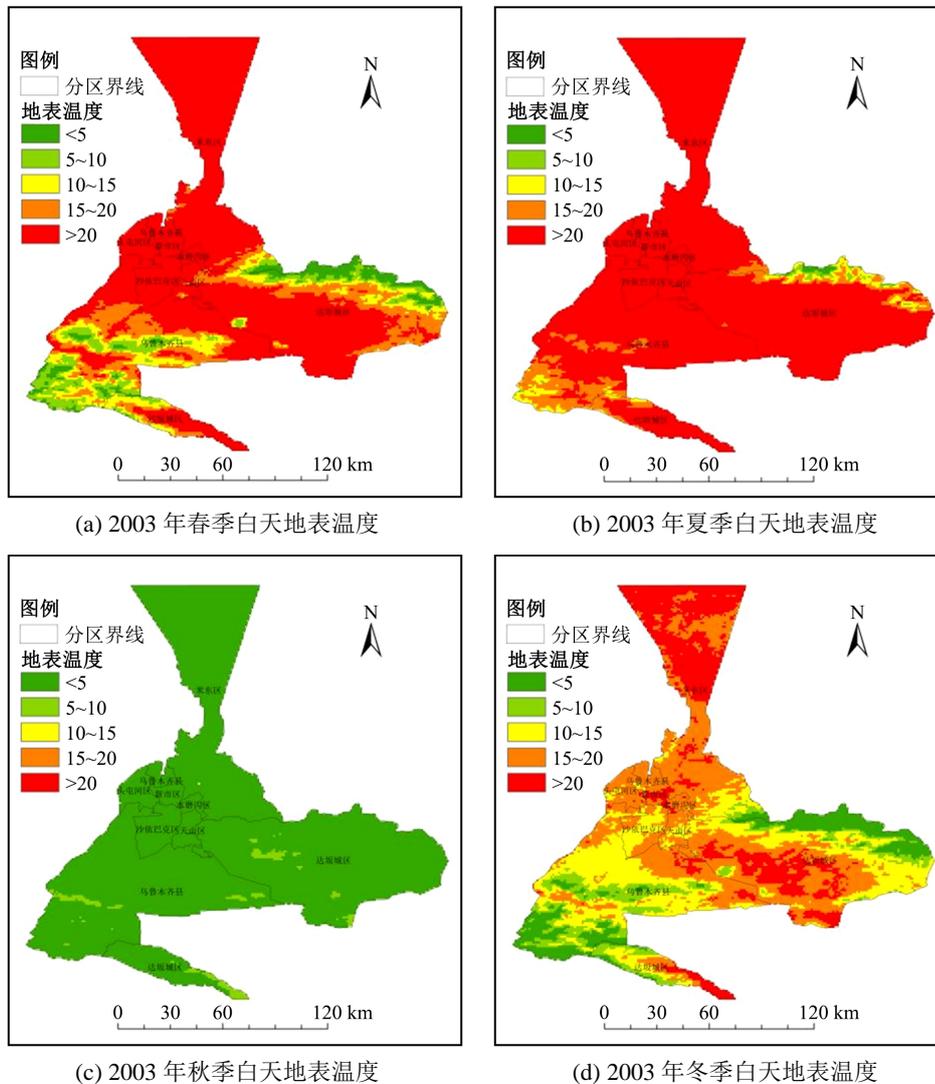
$$SUHI = LST_{城市} - LST_{乡村} \quad (2)$$

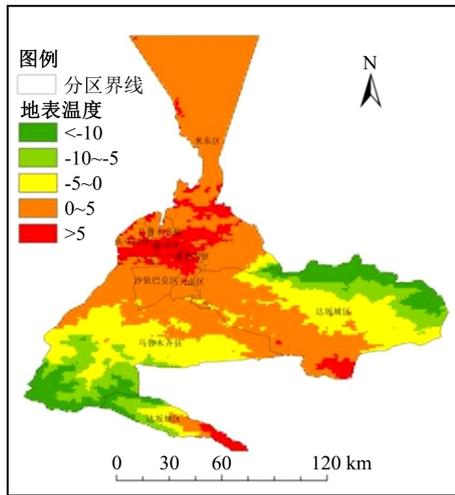
(2)式中， $LST_{城市}$ 是城市的每月平均温度， $LST_{乡村}$ 是乡村的每月平均温度。此次研究中根据乌鲁木齐市土地覆盖类型图，将草地和农田覆盖面地区作为乡村地区，城市覆盖面地区作为城市地区，分析研究城市与草地、农田地面城市热岛的时间变化特点以及与其植被指数的相关性。

5. 结果分析

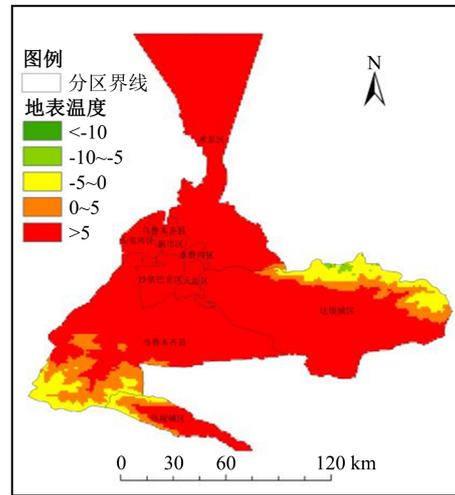
5.1. 2003 年和 2015 年白天夜间四季和年均的地表温度

通过 2003、2015 年的白天和夜间的春夏秋冬的地表温度的对比，在图 2 可发现乌鲁木齐的地表温度在夜晚将会迅速下降，在春夏秋冬里乌鲁木齐的白天地表温度高，夜间地表温度低，并且白天和夜间的温度差异大。白天的最高温度出现在乌鲁木齐市的水磨沟区、天山区、沙依巴克区，最低温度出现在乌鲁木齐县、达坂城区，随着城市化的发展地表温度也逐年上升。

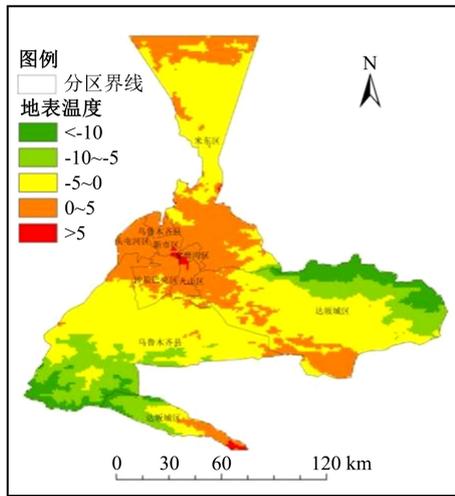




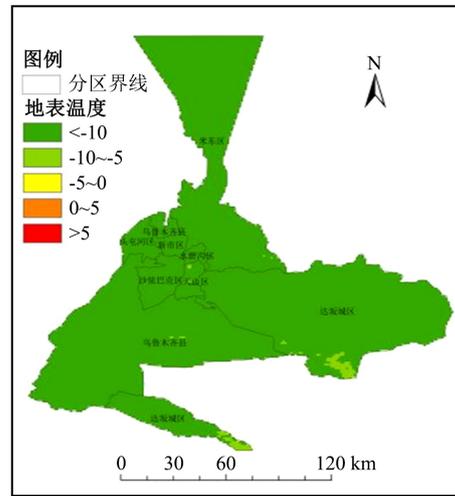
(e) 2015 年春季白天地表温度



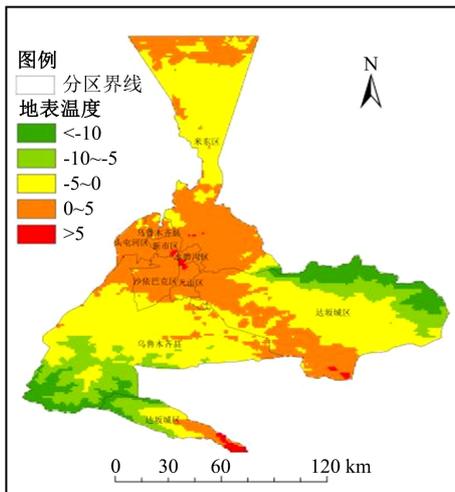
(f) 2015 年夏季白天地表温度



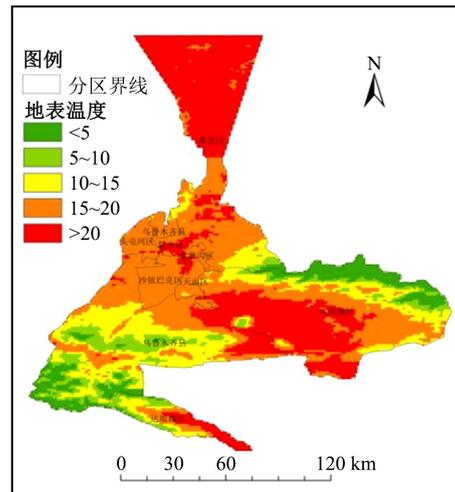
(g) 2015 年秋季白天地表温度



(h) 2015 年冬季白天地表温度



(i) 2003 年白天年均地表温度



(j) 2015 年白天年均地表温度

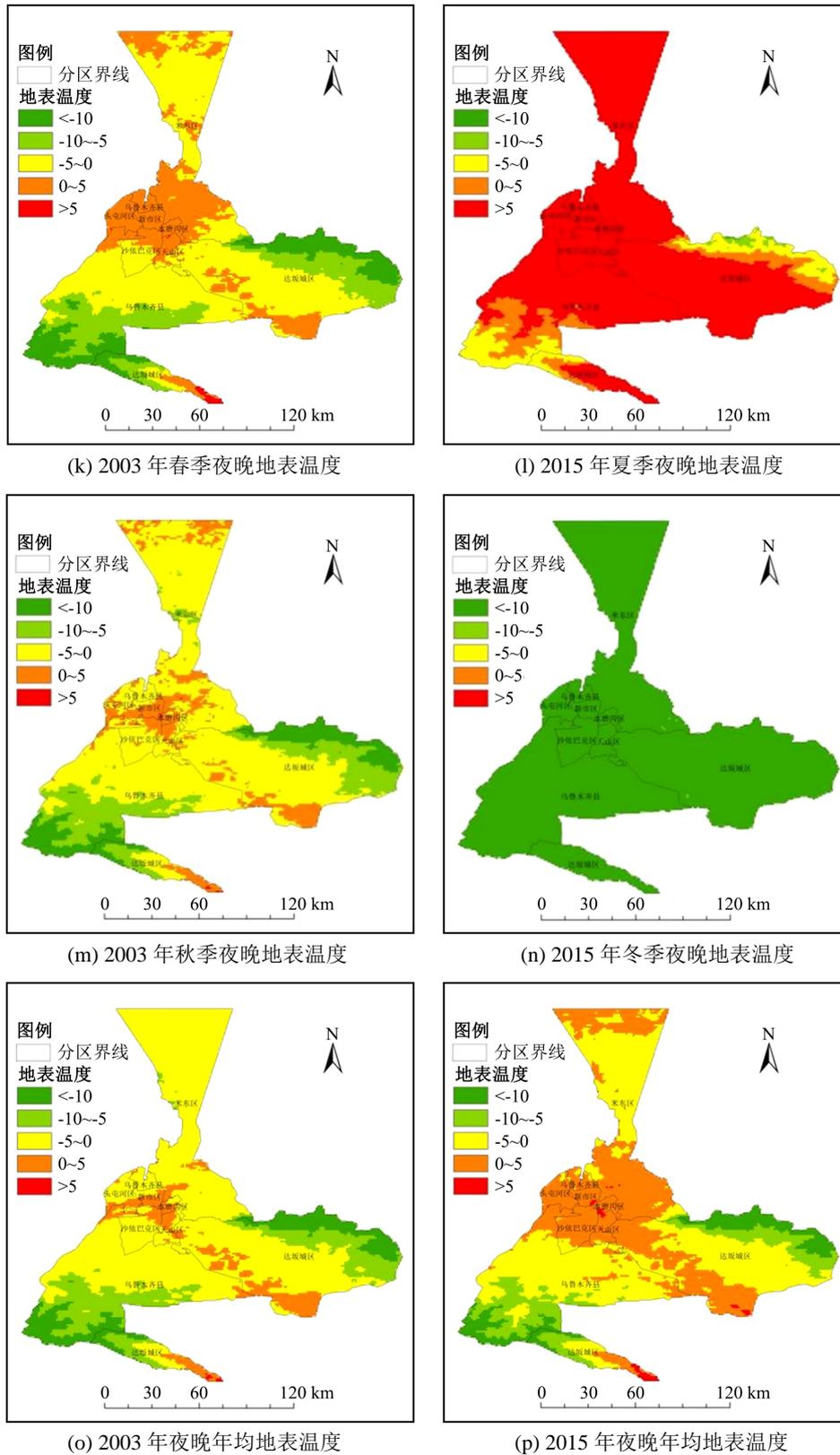


Figure 2. 2003, 2015 day and night, four seasons annual average land surface temperature
 图2. 2003、2015 白天与夜晚四季年均的地表温度

5.2. 2003~2015 年乌鲁木齐市不同土地覆盖类型地表温度时间变化关系

乌鲁木齐市不同土地覆盖类型 2003~2015 年的地表温度季节变化如图 3、图 4 所示。春夏秋冬四季里不同土地覆盖类型的白天的地表温度大于夜间的地表温度。并且白天和夜间的地表温度在春季、夏季和秋季的大于冬季的地表温度。不同季节里白天和夜间的地表温度差异比较大，其中夏季温度最高，冬季温度最低。

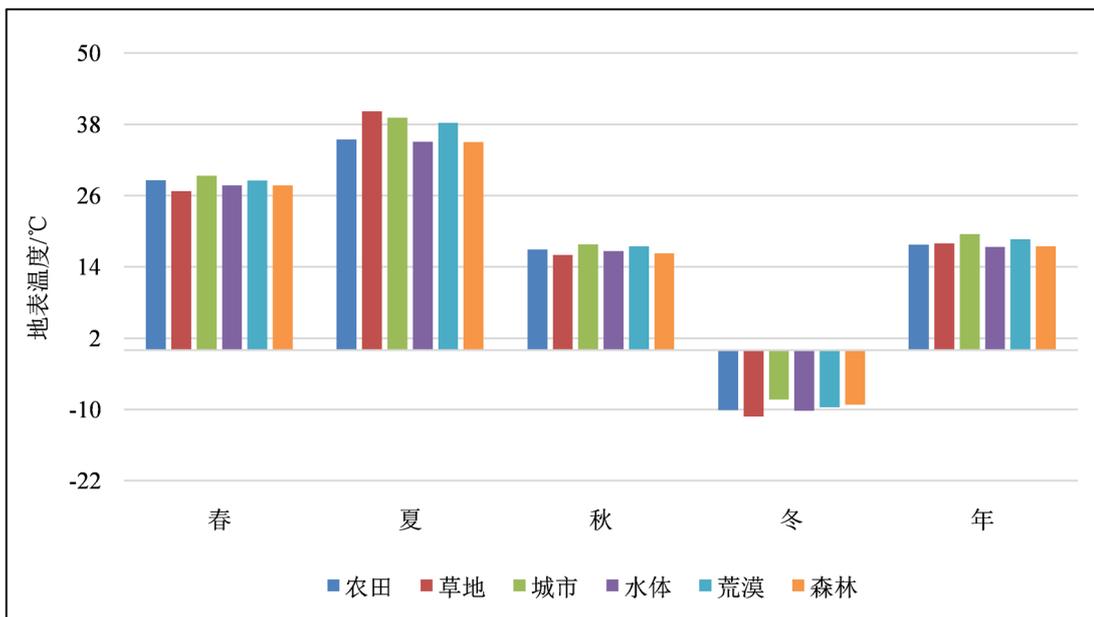


Figure 3. Average daytime surface temperature in Urumqi from 2003 to 2015

图 3. 2003~2015 年乌鲁木齐市白天平均地表温度

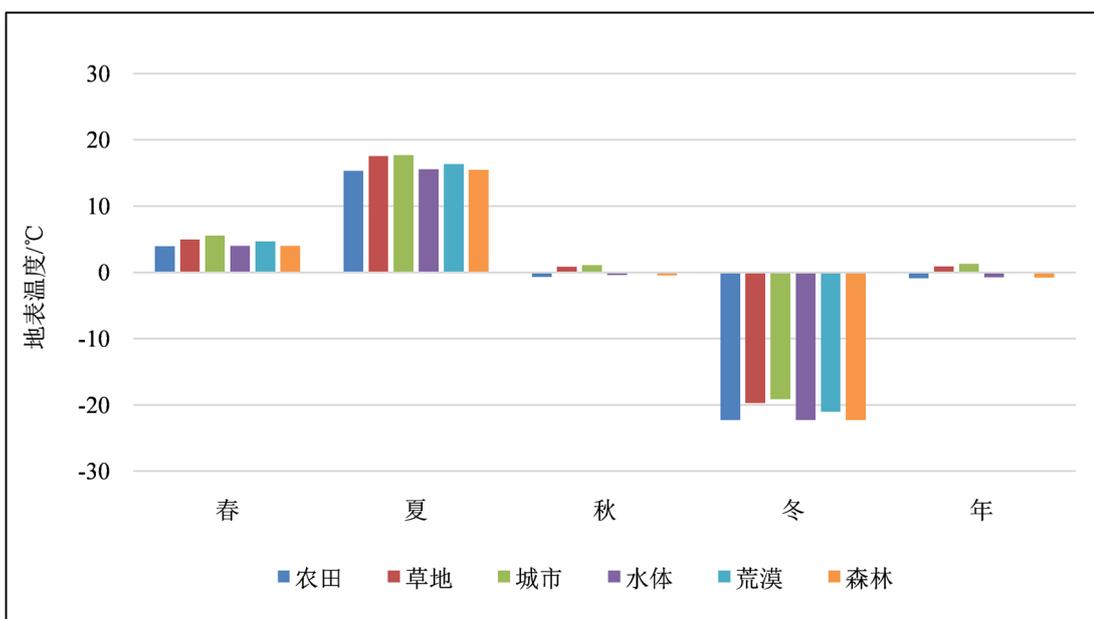


Figure 4. Average surface temperature at night in Urumqi from 2003 to 2015

图 4. 2003~2015 年乌鲁木齐市夜间平均地表温度

5.3. 2003~2015 年乌鲁木齐不同土地覆盖类型植被指数时间变化关系

由图 5, 图 6 可以得到, 夏季和秋季不同土地覆盖类型植被指数相差较大, 春季和冬季植被指数变化较为稳定。春季, 城市植被指数最高, 而在荒漠地区植被指数较低。夏季, 不同土地覆盖类型之间植被指数差异很大, 农田和森林、水体最高, 草地的植被指数最低, 因此草地的地表温度值较大。

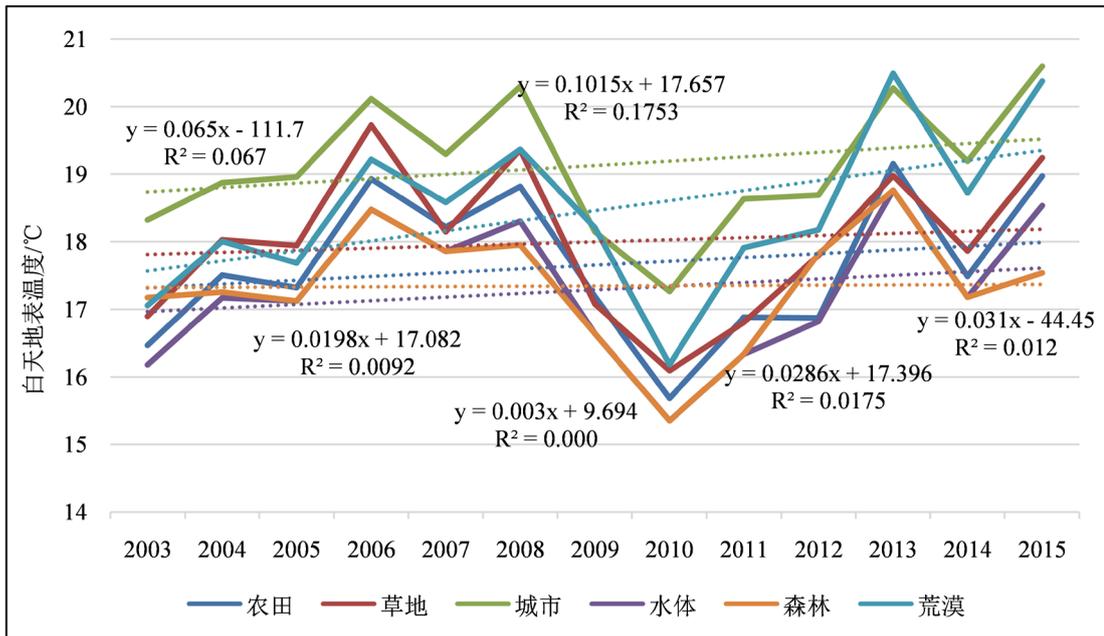


Figure 5. Variation curve of daytime surface temperature for different land cover types from 2003 to 2015
 图 5. 2003~2015 年不同土地覆盖类型白天地表温度的变化曲线

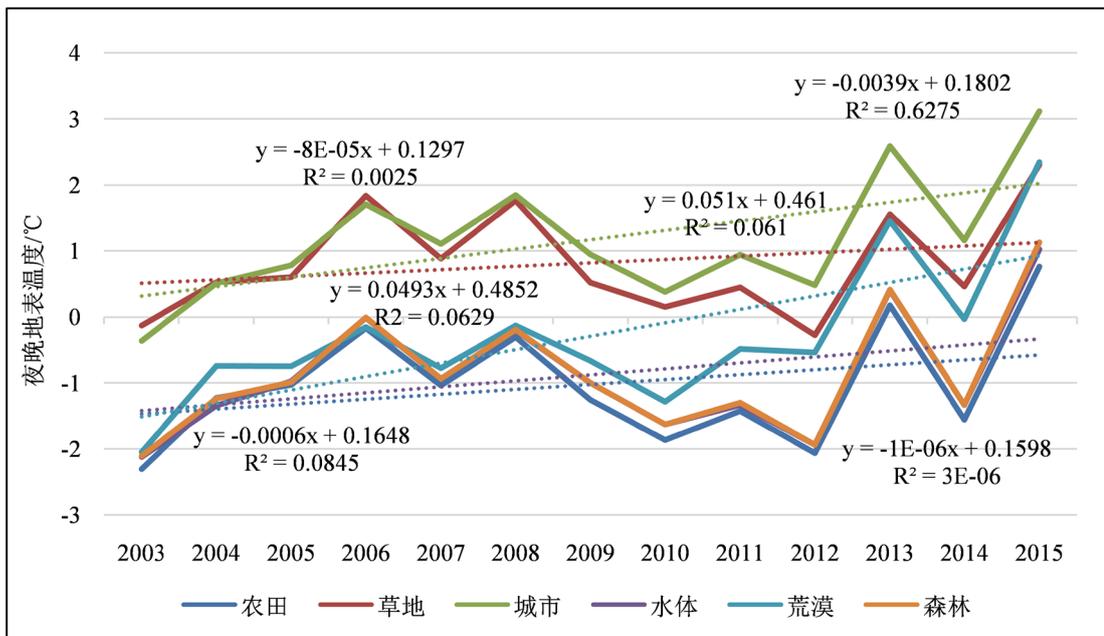


Figure 6. Variation curve of night surface temperature for different land cover types from 2003 to 2015
 图 6. 2003~2015 年不同土地覆盖类型夜间地表温度的变化曲线

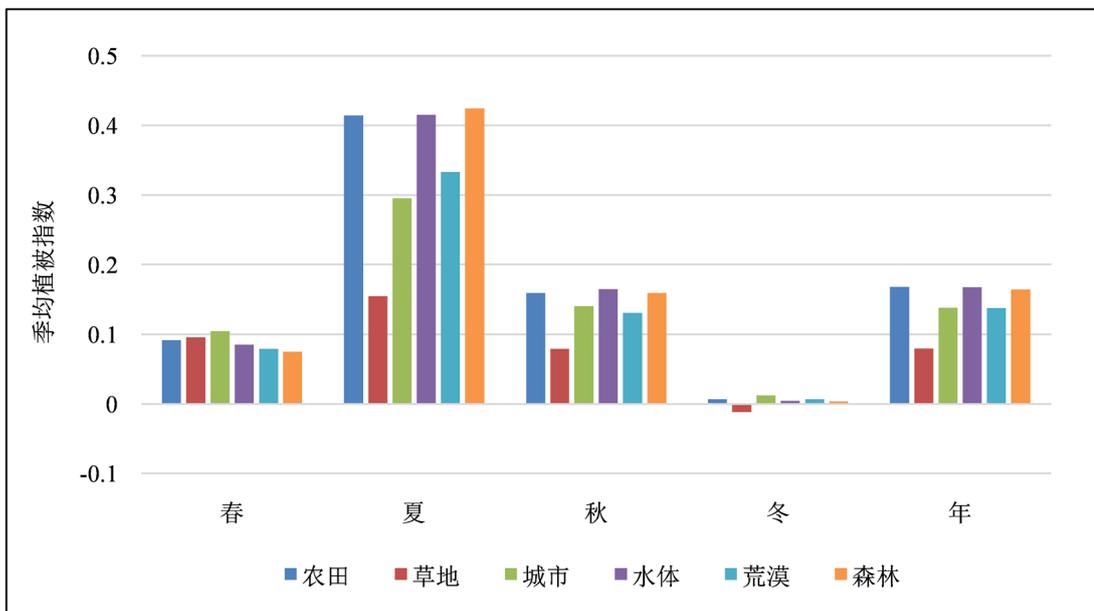


Figure 7. Seasonal average vegetation index in Urumqi from 2003 to 2015

图 7. 2003~2015 年乌鲁木齐市季节平均植被指数

如图 7、图 8 所示，不同土地覆盖类型的植被指数年际变化曲线看来，水体和森林以及农田的植被覆盖度较好。草地的植被指数较低，在 2012 年其植被指数最低，随后又慢慢上升。荒漠在 2008 年后植被指数下降，但是其他土地覆盖类型的植被指数总体呈现下降趋势。

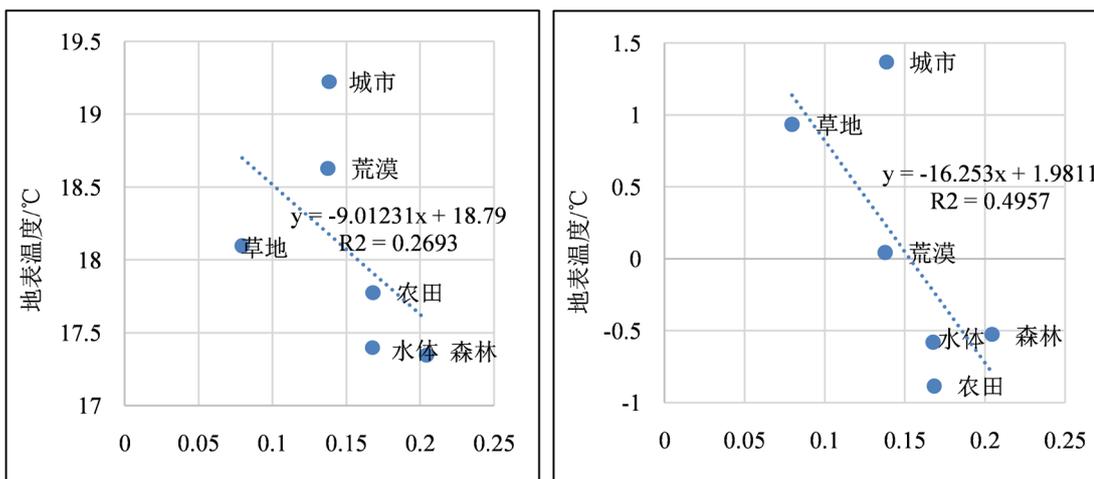


Figure 8. Scatter plots of average daytime and nighttime surface temperature and vegetation pointers for different land cover types in Urumqi

图 8. 乌鲁木齐不同土地覆盖类型多年平均白天和夜间地表温度与植被指点散点图

5.4. 城市热岛效应的白天与夜间的变化关系

以草地为参照的乌鲁木齐市城市白天和夜间热岛强度里季节变化明显。如图 9、图 10 可见出现城市白天最高地面热岛强度的季节在 3 月，为 1.2°C；白天最低地面热岛强度在 9 月，为 -0.4°C。出现城市夜间最高地面热岛强度的季节是 2、3 月，为 3.4°C；夜间最低地面热岛强度在 7、8 月，为 -1.6°C。

以农田为参照的城市白天热岛强度的季节变化比较大。见图 11 观察到春季和夏季的白天城市热岛较高，为 3.6℃；在 5 月观察到较低的城市热岛值，城市冬季热岛强度仅次于夏季，在夜间，城市 7、8 月热岛强度最大，其次是春季，在冬季和 4、5 月份出现了较低的热岛值。

以草地为参照的乌鲁木齐城市热岛值年际变化曲线的图 12，白天和夜间城市热岛值均与年份呈正相关关系，夜间的热岛值明显低于以农田为参照的城市的城市热岛值，且波动比以农田为参照的城市的城市热岛值大。

以农田为参照的乌鲁木齐市城市热岛值年际变化曲线，见图 13 发现城市白天的热岛值变化比较大，夜间热岛值变化趋势较小，城市的热岛随着年份逐渐增强，很明显夜间的城市热岛值比白天的城市热岛值低。

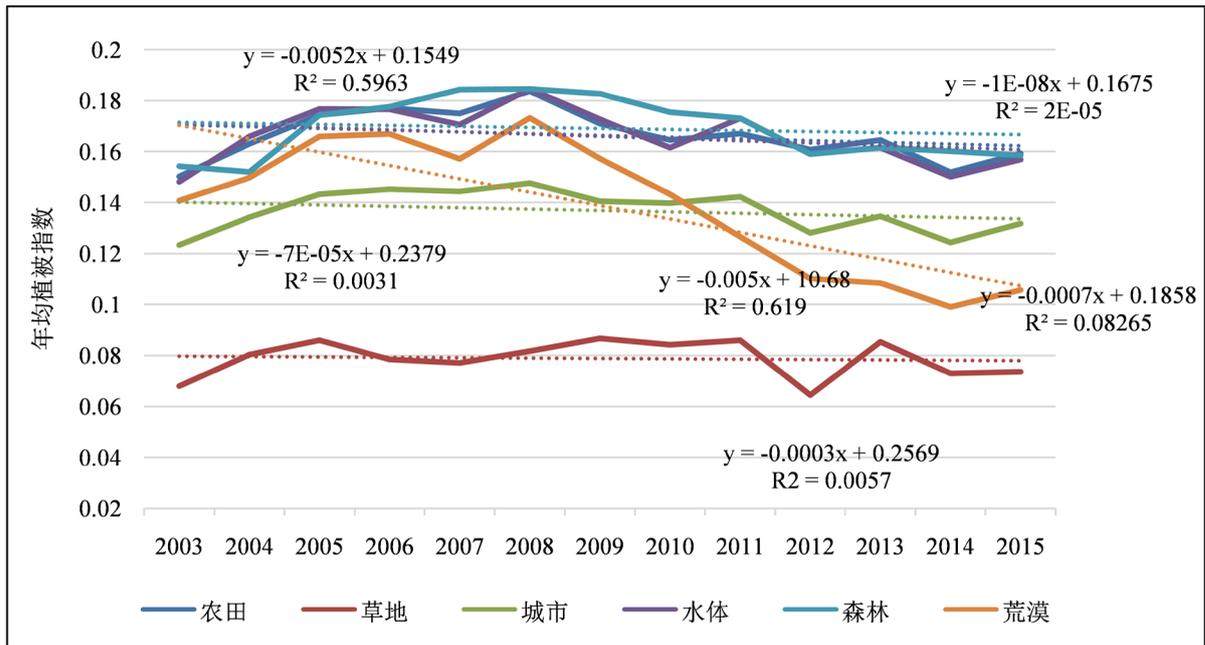


Figure 9. Variation curve of vegetation cover of different land cover types from 2003 to 2015

图 9. 2003~2015 年不同土地覆盖类型植被覆盖的变化曲线

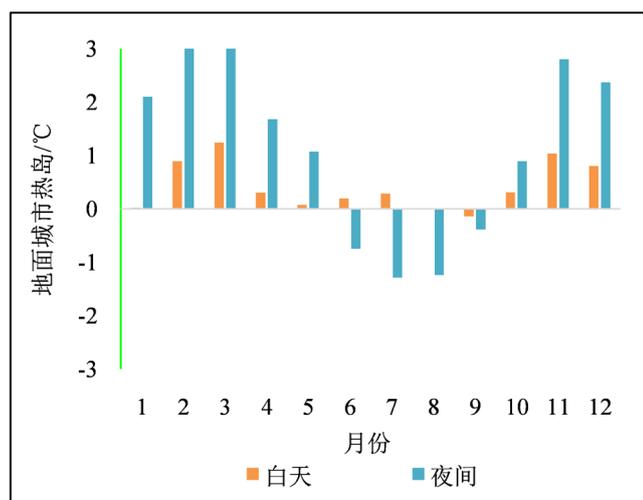


Figure 10. The month-to-month change characteristics of urban heat island value based on grassland

图 10. 以草地为参照的城市热岛值逐月变化特征

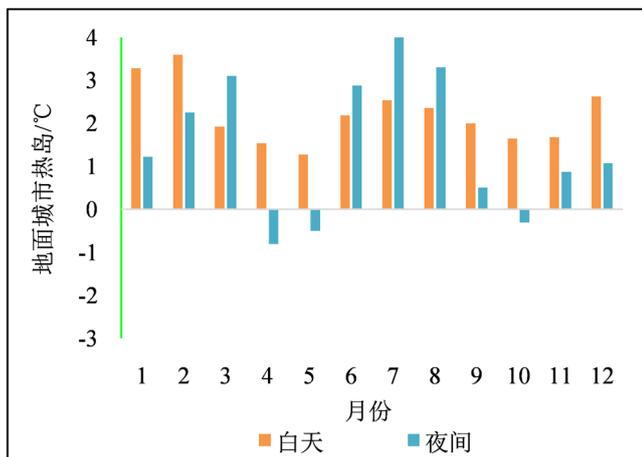


Figure 11. Monthly change characteristics of urban heat island value with reference to farmland
 图 11. 以农田为参照的城市热岛值逐月变化特征

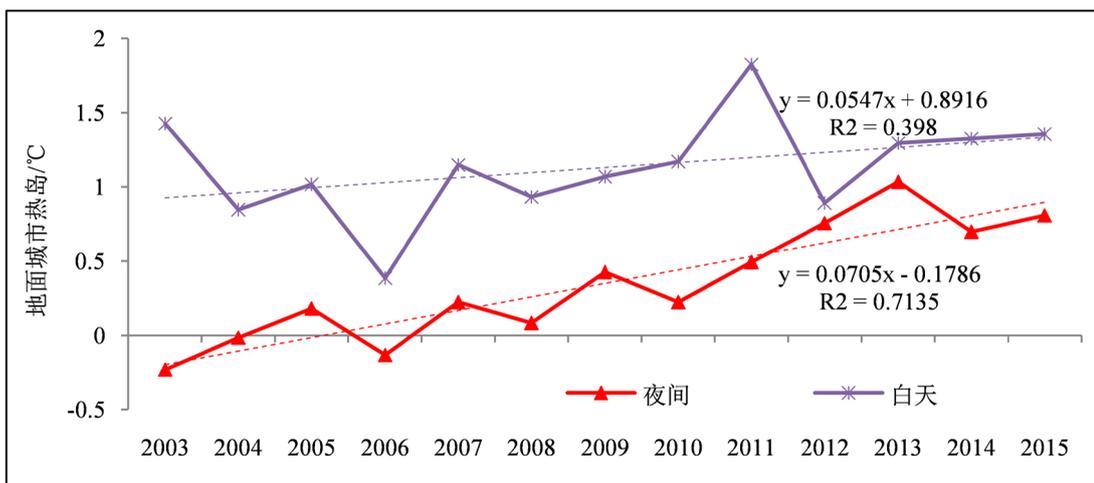


Figure 12. The inter-annual variation characteristics of heat island value during the day and night of the city based on grassland
 图 12. 草地为参照的城市白天和夜间的热岛值年际变化特征

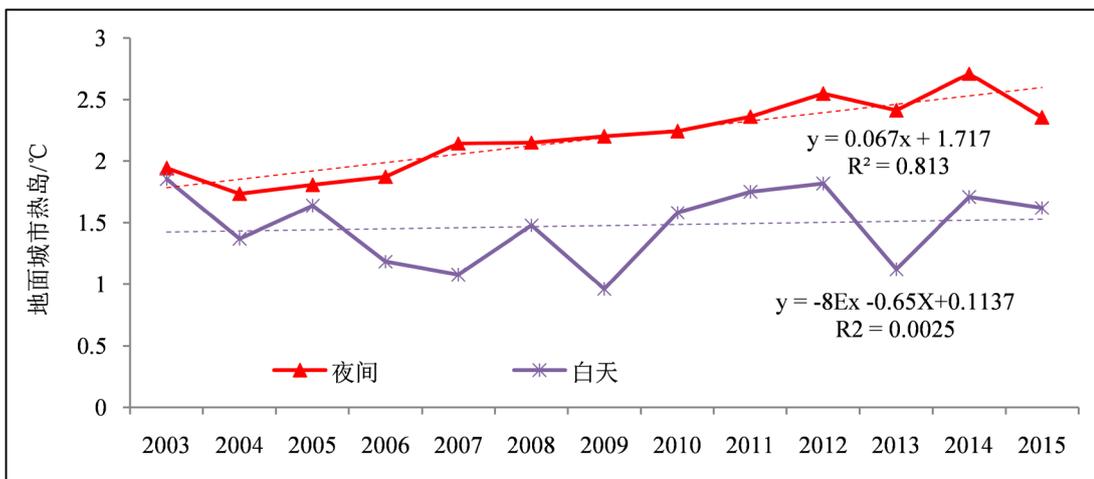


Figure 13. The inter-annual variation characteristics of heat island value during the day and night of the city based on farmland
 图 13. 农田为参照的城市白天和夜间的热岛值年际变化特征

5.5. 城市热岛效应与植被指数的关系

如图 14 农田为参照估算的城市白天和夜间热岛强度与植被指数的散点图可以看出，点的分布比较分散，在拟合线上的点的聚集度小，说明两者之间相关性较弱；图 15 以草地为参照估算的城市白天和夜间热岛强度与植被指数的散点图可以看出，随着植被指数的增加，热岛强度总体有所下降趋势，白天热岛强度与植被指数在总体水平上低度负相关，夜间热岛强度与植被指数在总体水平上呈现出负相关关系。

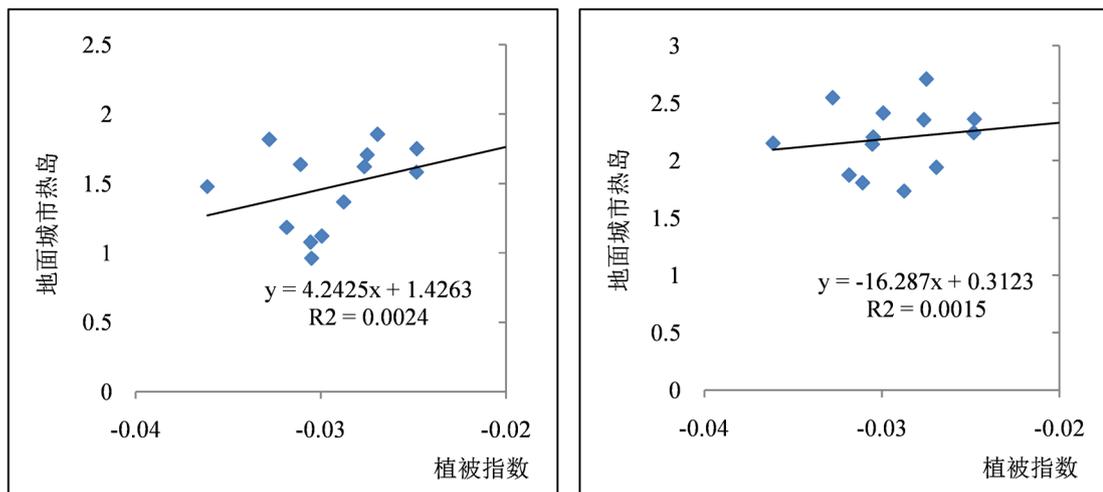


Figure 14. Farmland is a scatter plot of reference urban land surface temperature and vegetation index

图 14. 农田为参照城市地表温度与植被指数的散点图

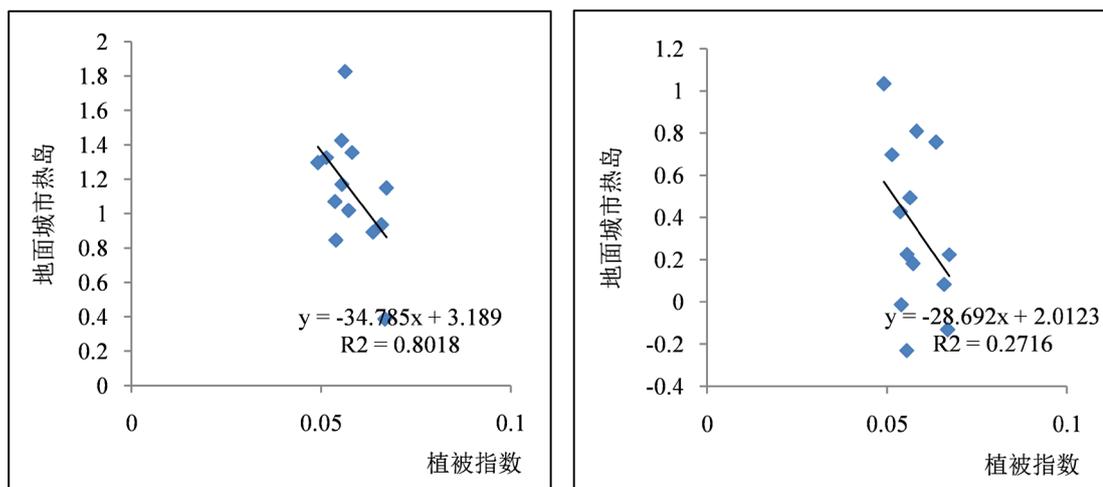


Figure 15. Grassland is a scatter plot of reference urban heat island intensity and vegetation index

图 15. 草地为参照城市热岛强度与植被指数的散点图

5.6. 乌鲁木齐植被与不透水面的时空关系

如图 16，2003~2015 城市的不透水比例呈线性增加趋势，2015 年城市不透水面比例超过 80%，受城市化的影响，其它土地利用类型的不透水面比例亦呈现增加态势，但总体占比不超过 5%。森林、水体、荒漠覆盖类型的不透水面比例低，而城市的不透水比例在随着年份逐渐上升，且城市在所有土地覆盖面里不透水面比例最高。

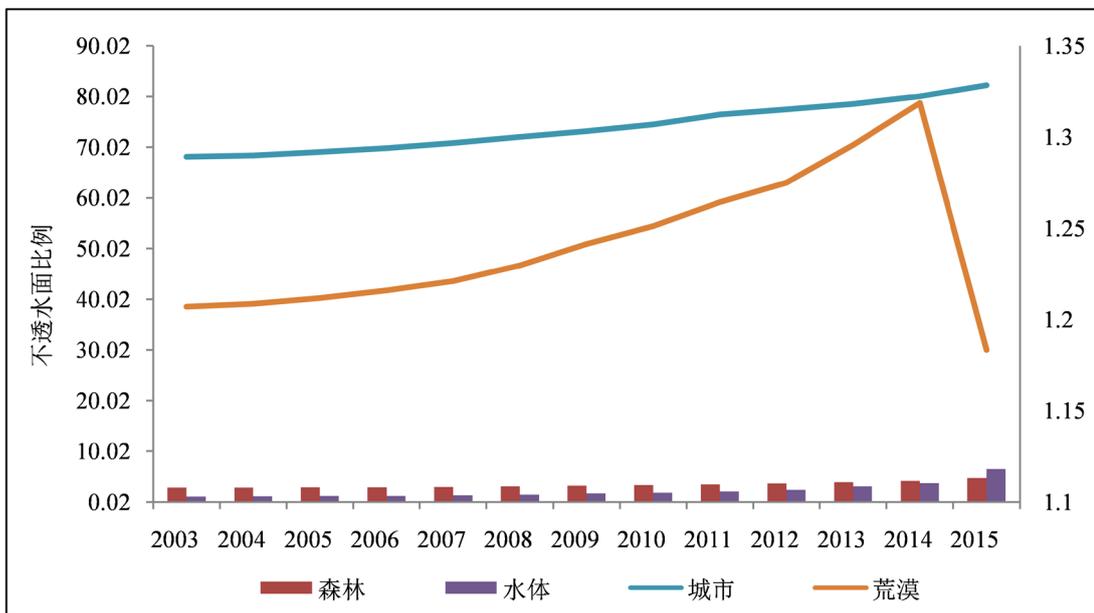


Figure 16. Inter-annual variation trend of impervious surface

图 16. 不透水面的年际变化趋势

6. 结论

通过乌鲁木齐市 2003~2015 年 MODIS 数据的地表温度和植被指数，分析了乌鲁木齐市城市热岛与植被和不透水面的时空变化关系，得出了以下结论：

1) 不同土地覆盖类型不同季节的地表温度白天的值均大于夜间的温度值，春、夏和秋季地表温度昼夜温差较大。从季节平均来看，有夏季最高，冬季最弱的特点。不同土地利用类型地表温度年际变化趋势差异较大。不同土地利用植被指数值及其年际变化差异较大，农田和水体最高，其次是城市，草地最低。

2) 选择不同地表覆盖类型来计算地表热岛强度，以农田为参照估算的城市白天热岛强度的季节变化比较大，城市白天最高的地面城市热岛值在夏季；以草地为参照估算的城市冬季白天热岛强度最高，夏季白天热岛强度最低。从年际变化来看，城市覆盖面呈现明显的增高趋势。无论选择农田或草地估算的城市热岛强度与植被指数的相关性均较弱，说明植被指数对城市热岛强度的影响较小。

3) 从乌鲁木齐市的不透水面与土地覆盖类型的相关关系比较得出，城市里的不透水面比例最高，其他土地利用的不透水面比例低，根据城市的地表温度在年际和季节温度值里较高，可知城市里的不透水面的物体是导致地表温度上升的因素之一。

参考文献

- [1] 张宏利, 陈豫, 张纳伟锐, 孟小绒, 胡伟, 杨改河. 西安市热岛效应变化特征与城市人口发展研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(4): 131-136.
- [2] 杨平有. 温室气体浓度增加的原因及对气候的影响[J]. 河南气象, 2000(2): 19.
- [3] 周淑贞. 防御城市高温灾害、减低夏季热岛强度的途径[J]. 环境科学学报, 1991, 11(3): 309-318.
- [4] 李伟光, 刘少军, 韩静, 陈小敏, 赵婷. 基于遥感蒸散量的我国干旱特征研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(3): 93-99.
- [5] 宫阿都, 陈云浩, 李京, 胡华浪. 北京市城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系研究[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(8): 1476-1482.

- [6] 叶骏菲, 陈燕丽, 莫伟华, 莫建飞, 樊俏丽. 典型喀斯特区植被变化及其与气象因子的关系——以广西百色市为例[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(5): 106-113.
- [7] 张昌顺, 谢高地, 鲁春霞, 刘春兰, 李娜, 王硕, 等. 北京城市绿地对热岛效应的缓解作用[J]. 资源科学, 2015, 37(6): 1156-1165.
- [8] 陈炫炽, 陈蓉, 廖瑶, 吴愈锋, 王跃跃. 典型喀斯特城市的热岛时空变化及其成因分析[J]. 测绘通报, 2019, 9(11): 93-97.
- [9] 苏玥, 玉山, 都瓦拉, 林泓锦, Shagdar, G. 基于 MODIS 时间序列的内蒙古城市热(冷)岛效应研究[J]. 高原气象, 2019, 38(6): 1263-1271.
- [10] 张泽, 胡宝清. 基于 MODIS 影像的呼和浩特市城市热岛效应与植被关系研究[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(8): 44-53.
- [11] 吴秀兰, 张太西, 王慧, 余行杰, 郑先念, 李海燕. 1961-2017 年新疆区域气候变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 27-34.
- [12] 王森, 张山清, 刘纪疆, 李战超, 叶尔克江·霍依哈孜. 基于 GIS 的呼图壁县制种玉米精细化气候区划[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 130-137.
- [13] Jin, M., Dickinson, R.E. and Zhang, D. (2005) The Footprint of Urban Areas on Global Climate as Characterized by MODIS. *Journal of Climate*, **18**, 1551-1565. <https://doi.org/10.1175/JCLI3334.1>
- [14] 张泽民. 基于 WorldView 2 影像的矿区复垦地植被参数反演及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2016.
- [15] Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E. and Bounoua, L. (2010) Remote Sensing of the Urbanheat Island Effect across Biomes in the Continental USA. *Remote Sensing of Environment*, **114**, 504-513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- [16] 苗运玲, 卓芝正, 张军, 李如琦, 杨艳玲, 王健. 乌鲁木齐汛期降水集中度和集中中期时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 9-16.
- [17] 吴磊, 张福庆. 基于 HTML canvas 的 WebGIS 客户端技术研究[J]. 地理信息世界, 2009, 7(3): 78-82.
- [18] Gong, P., Cao, L.X. and Wei, Z. (2019) 40-Year (1978-2017) Human Settlement Changes in China Reflected by Impervious Surfaces from Satellite Remote Sensing. *Science Bulletin*, **64**, 756-763. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.024>
- [19] 朱君, 唐伯惠. 利用 MODIS 数据计算中国地表短波净辐射通量的研究[J]. 遥感信息, 2008(3): 60-65.
- [20] Saeed Al, B.L., Abdelgadir, A., Ahmad, N. and Ksiksi, T. (2020) Impact of Desert Urbanization on Urban Heat Islands Effect. *Open Journal of Geology*, **10**, 760-770. <https://doi.org/10.4236/ojg.2020.107034>