

王美雅,徐涵秋,付伟,等.城市地表水体时空演变及其对热环境的影响[J].地理科学,2016,36(7):1099-1105.[Wang Meiya, Xu Hanqiu, Fu Wei et al. Spatiotemporal Variation of Urban Surface Water and Its Influence on Urban Thermal Environment. Scientia Geographica Sinica,2016,36(7):1099-1105.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2016.07.017

城市地表水体时空演变及其对热环境的影响

王美雅,徐涵秋,付伟,林中立,李霞,张博博,唐菲

(福州大学环境与资源学院/遥感信息工程研究所/福建省水土流失遥感监测评估与
灾害防治重点实验室,福建 福州 350108)

摘要:以福州市建成区为例,基于 Landsat 遥感影像对水体类型进行分类,并提取出 1989、1996、2006 和 2014 年的地表水体信息,然后与不透水面、植被和地表温度信息结合,运用回归模型定量分析了 1989~2014 年间福州城市地表水体的时空变化及其对城市热环境的影响。结果表明:① 1989~2014 年间,福州建成区各类地表水体均呈不断减少趋势,25 a 间水体总面积减少了 1 490.67 hm²,其中有 70.0% 转变成不透水面;② 1989~2014 年减少的 1 490.67 hm² 水体对福州建成区温度上升的贡献达 1.03℃,而在水体减少的具体区域,其升温效应可达 3.6℃。

关键词:遥感;水体;热环境;福州市

中图分类号: TP79/X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2016)07-1099-07

城市中的内河、湖泊和池塘构成了城市的主要地表水体,它们是城市生态系统中的重要组成部分,它们同时也是受人类活动与自然过程交互影响最为强烈的地带^[1-3]。改革开放以来的快速城市化,已导致大量的城市地表水体在城市扩展中消失,从而对城市的生态环境造成了明显的影响^[4,5]。

当前,遥感空间信息技术以其宏观、实时、快速等优势在各种水体的研究中得到广泛应用^[6-14]。

福州市作为福建省的省会城市,自改革开放以来经历了大规模的城市扩展^[15],在城市地表水体急剧减少,并诱发了一系列城市问题,如严重的城市热岛效应。福州也因此多次被评为中国新三大火炉之首和最热省会城市。为了定量查明福州城市水体减少对城市热环境的影响,本文利用遥感和 GIS 技术对福州 1989~2014 年各类地表水体的时空变化及其温度效应进行系统分析,这一研究将为福州城市热岛效应的治理和宜居城市的建设提供科学的决策依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

福州位于中国东部沿海,与台湾省隔海相望,地理位置为 25°15'~26°39'N, 118°08'~120°31'E。福州为典型的亚热带季风气候,年平均降水量为 900~2 100 mm;年平均气温为 16~20℃。福州境内最大的河流为闽江和乌龙江,除此之外,还有大量的城市内河、湖泊和坑塘,它们构成了纵横交错的城市地表水体系。由于本文主要研究的是城市建成区中的地表水体变化,因此,以最新的 2014 年福州城市建成区为研究范围,总面积为 215.97 km² (图 1d)。

1.2 遥感数据及其预处理

考虑到遥感卫星数据源的一致性,本文从美国 USGS 网站下载 1989 年 6 月 15 日、1996 年 9 月 6 日、2006 年 9 月 18 日和 2014 年 9 月 8 日的 Landsat 影像,其中,除了 2014 年的为 Landsat 8 影像外,其余的均为 Landsat 5 影像。其它辅助数据有 2014

收稿日期: 2015-11-04; **修订日期:** 2016-01-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC08B01-05)、国家自然科学基金项目(41501469)资助。[Foundation: National Key Technology Research and Development Program(2013BAC08B01-05), National Natural Science Foundation of China(41501469).]

作者简介: 王美雅(1991-),女,福建泉州人,博士研究生,主要从事环境与资源遥感研究。E-mail: 286097145@qq.com

通讯作者: 徐涵秋,教授。E-mail: hxu@fzu.edu.cn

年福州建成区边界矢量图。

以1989年影像为基准,采用二次多项式和最邻近像元法对1996、2006和2014年的影像进行几何校正, RMSE误差控制在0.5个像元以内。采用Chander和Chavez的模型和参数以及Landsat 8网站提供的公式和参数对Landsat 5和Landsat 8影像进行辐射校正,将影像的DN值转换为传感器处反射率^[16-18]。

1.3 主要方法

1) 水体信息提取。本文水体信息提取采用的是徐涵秋提出的归一化差异水体指数(MNDWI,文中值为 M_{MNDWI})^[19],其表达式为:

$$M_{MNDWI} = (G_{Green} - M_{MIR}) / (G_{Green} + M_{MIR}) \quad (1)$$

式中, G_{Green} 、 M_{MIR} 分别代表影像的绿光和中红外1波段的反射率。

在MNDWI增强的4个年份的水体影像上,通过目视判别和人工调试设定最佳阈值将水体信息提取出来(图1)。4个研究年份(1989、1996、2006、

2014年)选用的阈值分别为:0.1、0.1、-0.05和-0.05。由于本文主要研究的是福州建成区地表水体的时空变化,而流经城区的闽江和乌龙江在这4个年份间的水体形态和面积基本不变,因此,本次研究将其掩膜掉,以突出其它城市地表水体的变化信息。

对所提取的各年份水体信息分别与同期的Google Earth高分辨率影像进行对比,采用随机抽样的方法在每幅水体影像中取点,然后进行人机交互验证(由于1989年的影像没有同期的Google Earth高分辨率影像,所以只能将提取结果与原影像进行对比)。验证结果表明,4个年份的水体提取总精度都超过90.0%,满足精度要求。

2) 水体分类。为了进一步分析研究区内不同水体类型的变化,根据国家2007年颁布的《土地利用现状分类》中的二级分类体系和研究区的水体特征,进一步将所提取的水体信息分成河流、湖泊、坑塘三大类。由于这3类水体的光谱特征差异

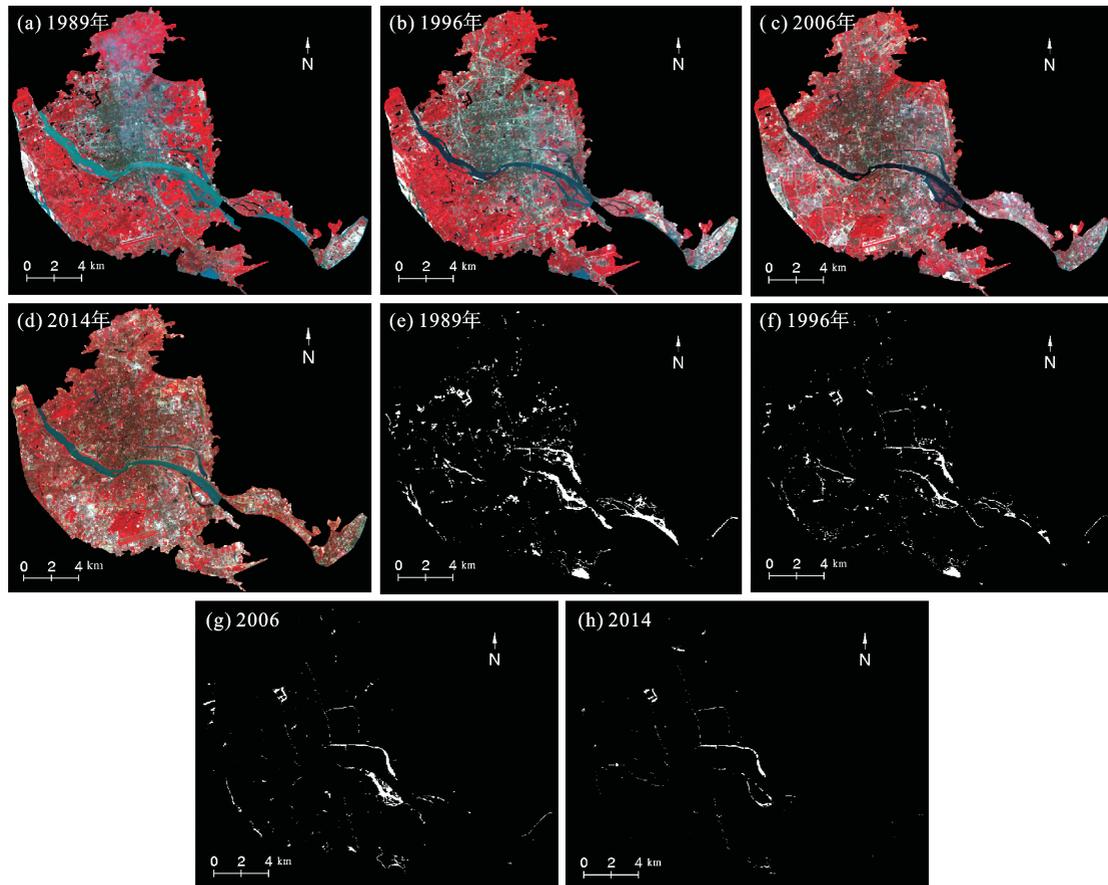


图1 研究区各年份的标准假彩色(RGB:近红、红、绿波段)遥感影像(a~d)及其对应的水体提取影像(e~h)
Fig.1 Remote sensing images (RGB: NIR, Red, Green) (a-d) and the extracted water images (e-h) in Fuzhou of the four years

较小,因此,本文主要利用面积、周长、形状等几何形态特征来区分它们^[20]。湖泊和面状河流的周长较长、面积较大,而坑塘的周长较短,面积也较小。此外,湖泊、坑塘及大的河流呈面状,而小的河流为线状。对面状水体而言,不同类型的水体其形状又各不一致:湖泊的边界一般较平坦光滑,河流呈弯曲的长条状,池塘形状较圆滑,近似椭圆,而鱼塘则呈规则的四边形。

借助 ArcGIS 软件,将 4 个年份提取的水体栅格数据转换为矢量多边形数据,计算出每个多边形的面积、周长及形状指数,并将计算结果与目视判读相结合来对提取的水体进行分类,选用的形状指数公式为^[21]:

$$K=A^{1/2}/P \quad (2)$$

式中, K 为形状指数, A 为面积, P 为周长。圆的形状指数最大($K>0.25$),正方形次之($K=0.25$)。一般情形下,形状越不规则,其形状指数越小。因此,河流的形状指数较湖泊、池塘要小。本文先根据目视判读选择阈值,取 $K\leq 0.08$ 为河流, $K\geq 0.08$ 为湖泊和坑塘,湖泊和坑塘进一步依据面积来区分,面积大于等于 7.5 hm^2 为湖泊,小于 7.5 hm^2 为坑塘。然后通过目视进一步修改误判的水体类型。

3) 其他相关地表覆盖物信息提取。为了揭示城市地表水体变化对城市热环境的影响,除了水体信息外,本文还需要反演出最新的 2014 年研究区的地表温度(LST,文中值为 L_{LST})、不透水面(ISA)和植被信息。不透水面信息提取采用的是归一化不透水面指数(NDISI,文中值为 N_{NDISI})^[22],植被信息提取选用归一化植被指数(NDVI 文中值为 N_{NDVI}),地表温度反演选用的是 Jiménez-Muñoz 等提出的单通道算法(SC)^[23-25]。限于篇幅,本文只列出这些算法的主要公式,反演的结果如图 2 所示。

不透水面:

$$N_{\text{NDISI}} = \frac{T_{\text{TR}} - (M_{\text{MNDWI}} + N_{\text{NIR}} + M_{\text{MIR}})/3}{T_{\text{TR}} + (M_{\text{MNDWI}} + N_{\text{NIR}} + M_{\text{MIR}})/3} \quad (3)$$

植被: $N_{\text{NDVI}} = (N_{\text{NIR}} - R_{\text{Red}})/(N_{\text{NIR}} + R_{\text{Red}})$ (4)

地表温度: $L_{\text{LST}} = \gamma[\varepsilon^{-1}(\psi_1 L_{\text{sensor}} + \psi_2) + \psi_3] + \delta$ (5)

式中, R_{Red} 、 N_{NIR} 、 M_{MIR} 和 T_{TR} 分别表示影像的红光、近红外、中红外 1 波段和热红外波段的反射率, L_{LST} 是地表温度, γ 和 δ 是基于 Planck 函数的 2 个参数, L_{sensor} 为热红外波段的辐射值, ε 为地表比辐射率, ψ_1 、 ψ_2 、 ψ_3 是大气水汽含量 w 的函数。

采用与水体信息验证一样的方法对不透水面和植被信息进行精度验证,其提取总精度分别为 86.47%和 95.14%,满足精度要求。对反演的地表温度则采用福州乌山国家基准气候站实测地表温度来验证,误差为 0.80°C 。

2 结果与分析

2.1 地表水体时空变化分析

分别对 1989、1996、2006 和 2014 年福州市建成区的水体面积进行统计,计算其 1989~2014 年的水体面积变化和变化速率。结果表明(表 1,图 3a),1989~2014 年福州城市地表水体发生了很大变化,水体面积呈大幅下降趋势,从 1989 年的 $1\ 806.57\text{ hm}^2$ 减少到 2014 年的 315.90 hm^2 ,共减少 $1\ 490.67\text{ hm}^2$,年均减少 3.30%。其中,1989~1996 年减少 673.74 hm^2 ,1996~2006 年减少 470.97 hm^2 ,2006~2014 年减少 345.96 hm^2 ,3 个时段的年均减少速率分别为 5.33%、4.16%和 6.53%,表明 2006~2014 年的减少速率最大。

分别统计 4 个年份福州建成区中的河流、湖泊和坑塘的面积发现(表 1,图 3b),1989~2014 年间,河流面积减少了 951.21 hm^2 ,坑塘减少 408.15 hm^2 ,

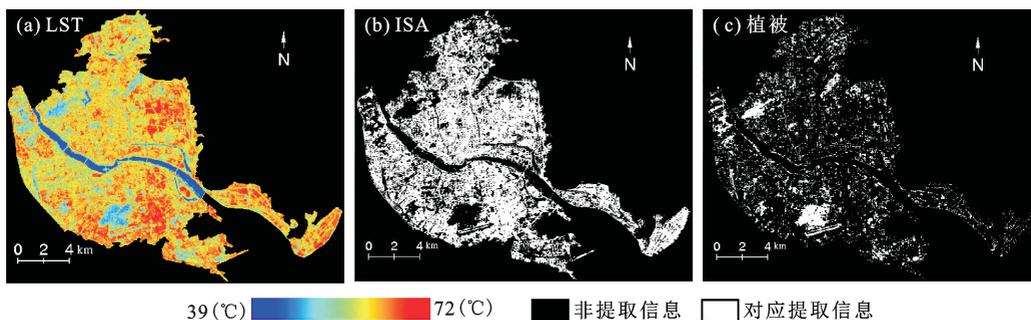


图2 2014年的地表温度(a.LST)、不透水面(b.ISA)和植被影像(c)

Fig.2 Land surface temperature (a.LST), impervious surface(b.ISA), and vegetation images(c) in 2014

表1 各年份水体变化信息

Table 1 Change information of different water types in different years

水体类型	1989年 (hm ²)	1996年 (hm ²)	2006年 (hm ²)	2014年 (hm ²)	1989~1996年		1996~2006年		2006~2014年		1989~2014年	
					变化 (hm ²)	变化速率 (%)						
河流	1206.00	733.59	469.44	254.79	-472.41	-70.12	-264.15	-56.09	-214.65	-62.04	-951.21	-63.81
湖泊	158.22	75.60	70.65	26.91	-82.62	-12.26	-4.95	-1.05	-43.74	-12.64	-131.31	-8.81
坑塘	442.35	323.64	121.77	34.20	-118.71	-17.62	-201.87	-42.86	-87.57	-25.31	-408.15	-27.38
总水体	1806.57	1132.83	661.86	315.90	-673.74	-5.33	-470.97	-4.16	-345.96	-6.53	-1490.67	-3.30

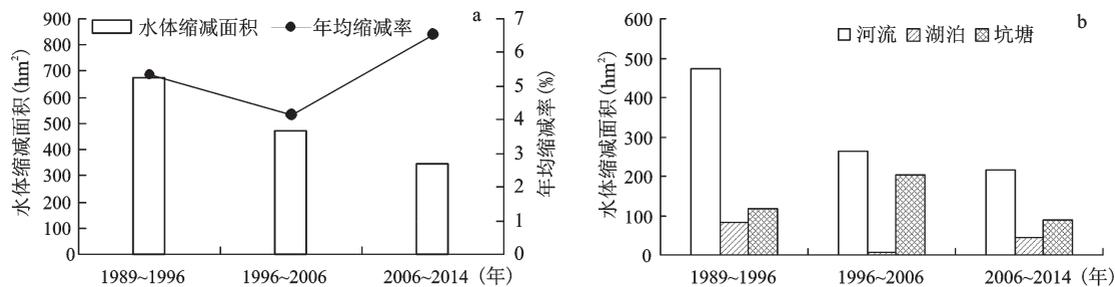


图3 不同时段(a)、不同类型(b)的水体变化

Fig.3 Water changes in different periods (a) and types (b)

湖泊减少 131.31 hm²; 分别占减少水体的 63.81%, 27.38% 和 8.81%。1989~2014 年间, 随着主城区的不断扩展, 福州河流减少的面积最多, 许多细小河汊相继消失。到了 2014 年, 福州市建成区只剩下若干主干河流。湖泊的变化主要分布在鼓楼区和台江区。城市中心的小湖泊纷纷被填埋造地。到了 2014 年, 建成区内存留的湖泊仅为一些园林水体域, 如西湖、左海和观音湖等。坑塘的面积也大幅缩减, 原有建成区内的大量坑塘因被改造成建筑用地而相继消失。到 2014 年, 坑塘只能见于城郊结合部, 而城区中心已很少见。

图 4 列出了福州建成区内 3 个典型的水体变化区。图 4a 显示了 1989 年鼓楼区内湖塘众多, 但到了 2014 年(图 4b), 区内的湖塘除西湖以外, 已基本消失殆尽; 图 4c 同样显示了晋安区在 1989 年有大量的湖塘, 但到 2014 年(图 4d), 它们也基本消失; 图 4e 显示了仓山浦下洲在 1989 年河网遍布, 到了 2014 年(图 4f), 这些河网已不复存在。

2.2 水体时空变化对城市热环境的影响

为了分析水体的减少对城市热环境的影响, 本文将 1989 和 2014 年的水体专题图叠加, 得到水体变化区域。然后将水体减少的区域分别与 2014 年的不透水面和植被专题图叠加, 找出水体向两

者转换的图斑。结果表明, 从 1989~2014 年共有 1 043.80 hm² 的水体转化成不透水面, 占 2014 年建成区的 4.83%; 有 269.15 hm² 的水体转化成植被, 占 2014 年建成区的 1.25%。进一步统计出 2014 年三大地类的平均地表温度: 水体为 48.86℃, 不透水面为 59.98℃, 植被为 53.24℃。由于水体与不透水面的温差达到了 11.12℃, 与植被的温差达 4.38℃, 因此当有 1 043.80 hm² 的水体转换成不透水面, 269.15 hm² 的水体转换成植被时, 无疑会导致这些区域的温度大幅上升, 从而加剧福州的城市热岛效应。

本文进一步采用回归分析来定量刻画水体消减造成的升温效应。首先将 2014 年研究区水体的 MNDWI 影像归一化到 0~1 之间, 并转换成百分率, 使其数值分布在 0~100 之间^[26], 然后将其等分为 10 等级, 统计出对应等级的地表温度 LST 均值, 获得 10 组样本数据, 并对其进行线性回归分析, 得到以下回归关系模型(图 5)。

$$L_{LST} = -0.1698 M_{MNDWI} + 58.646 \quad (r^2 = 0.9922) \quad (6)$$

回归分析表明, 水体比例和地表温度呈显著的线性负相关关系。水体比例每增加 10%, 地表温度会减少 1.70℃。表 1 表明, 1989~2014 年研究区城市地表水体面积共减少了 1 490.67 hm², 占福州城市建成区的比例为 6.08%。因此, 如果将该比

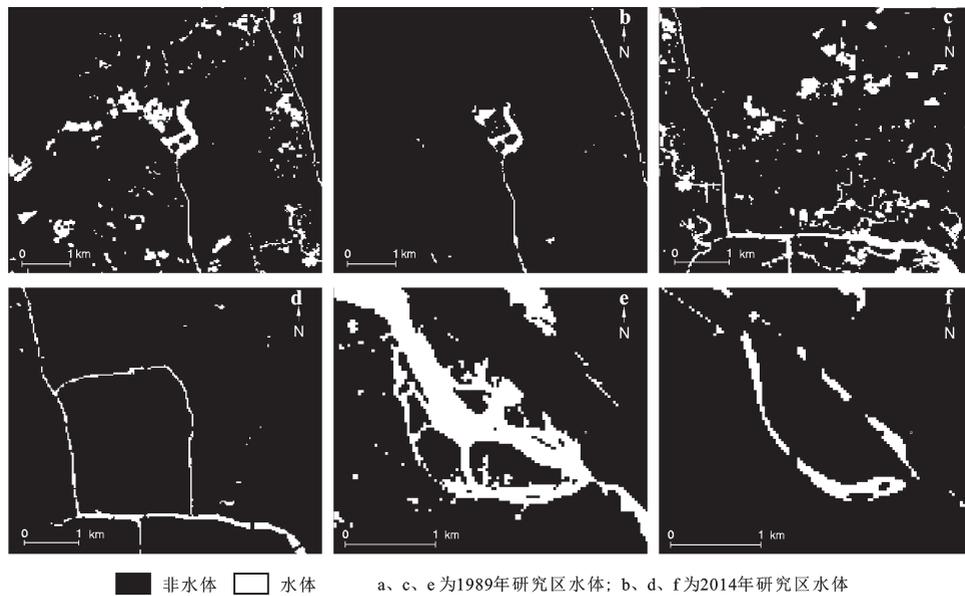


图4 3个典型地表水体变化区域
Fig.4 Change areas of three typical surface water

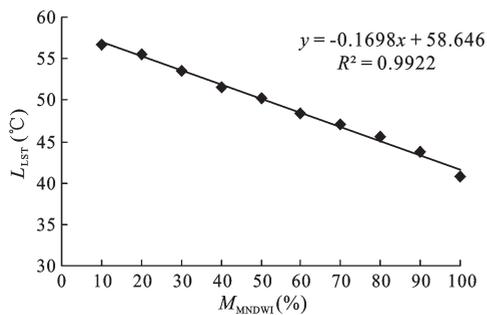


图5 水体与地表温度关系的回归分析
Fig. 5 Linear relationship between water and LST

例代入以上回归模型,即可计算出水体比例变化前后的温差:

$$\Delta L_{LST} = |(-0.1698 \times 100 + 58.646) - [-0.1698 \times (100 - 6.08) + 58.646]| = 1.03^\circ\text{C} \quad (7)$$

据此推算,福州建成区1989~2014年所减少的水体面积对整个建成区温度上升的贡献为 1.03°C 。这表明,虽然水体减少的面积仅占建成区面积的6.08%,还不到一成,但已使整个建成区的温度上升了 1.03°C ,升幅相当可观。而在水体减少的具体区域,其升温贡献恐怕还远不止于此。为此,本文选取浦下洲(图4e~f)为例来进一步分析局部水体减少的升温效应。

浦下洲的河流面积在1989~2014年间减少了 99 hm^2 ,假设这 99 hm^2 水体在2014年仍为水体,则

可以将2014年研究区河流水体的平均温度(49.62°C)回代给这 99 hm^2 图斑的像元,作为这些像元的温度,然后重新统计其地表平均温度,得到该区新的平均温度,为 51.57°C ,而2014年该区实际平均温度为 55.13°C ,二者的温差 $\Delta L_{LST} = 55.13 - 51.57 = 3.6^\circ\text{C}$ 。可见,局部水体减少对其所在区域具有极为显著的升温效应。

3 结语

福州市建成区地表水体的空间格局发生了很大的变化,基于遥感信息提取技术揭示了1989~2014年间福州建成区的水体面积呈不断下降趋势,地表水体总面积减少了 1490.67 hm^2 ,而在河流、湖泊、坑塘这三大类水体中,河流的面积减少最多,达 951.21 hm^2 ,占水体减少总面积的63.8%。

定量分析表明,1989~2014年研究区所减少的 1490.67 hm^2 地表水体对福州建成区温度上升的平均贡献为 1.03°C 。而在水体减少的具体区域,其升温效应更为明显。浦下洲实例证明局部水体的消失可对该区产生 3.6°C 的升温效应。

地表水体的时空演变会对城市热环境产生明显的影响,城市地表水体的大面积减少会加剧城市的升温并引发热岛效应。因此,城市规划与建设必须尽量保存地表水体,使城市建设为真正生态优美的宜居城市。

参考文献(References):

- [1] 李书严, 轩春怡, 李伟, 等. 城市中水体的微气候效应研究[J]. 大气科学, 2008, 32(3): 552-560. [Li Shuyan, Xuan Chunyi, Li Wei et al. Analysis of microclimate effects of water body in a city. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2008, 32(3): 552-560.]
- [2] Daniel C, Mysore G, Nassir E. Predicting river water temperatures using the equilibrium temperature concept with application on Miramichi river catchments(New Brunswick, Canada) [J]. Hydrological Processes, 2005, 19(11): 2137-2159.
- [3] 彭以祺. 我国地表水系的变化及其对地图修编的影响[J]. 测绘科学, 1989, (5): 2. [Peng Yiqi. Change of surface water and its impact on the revision of the map. Science of Surveying and Mapping, 1989, (5): 2.]
- [4] Weng Y C. Spatial-temporal changes of landscape pattern in response to urbanization[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 81: 341-353.
- [5] Du N, Ottens H, Sliuzas R. Spatial impact of urban expansion on surface water bodies-A case study of Wuhan, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3): 175-185.
- [6] Schewe J, Heinke J, Gerten D et al. Multimodel assessment of water scarcity under climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(9): 3245-3250.
- [7] Tulbure M G, Broich M. Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, 79: 44-52.
- [8] Komeil R, Anuar A, Ali S et al. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery[J]. Remote Sensing, 2014, 6: 4173-4189.
- [9] Nsubuga F W N, Botai J O, Olwoch J M et al. Detecting changes in surface water area of Lake Kyoga sub-basin using remotely sensed imagery in a changing climate[J]. Theoretical Applied Climatology, 2015: DOI:10.1007/s00704-015-1637-1.
- [10] Sexton J O, Urban D L, Donohue M J et al. Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 128: 246-258.
- [11] 陈海珍, 石铁柱, 邬国锋. 武汉市湖泊景观动态遥感分析(1973~2013年)[J]. 湖泊科学, 2015, 27(4): 745-754. [Chen Haizhen, Shi Tiezhu, Wu Guofeng. The dynamic analysis of lake landscape of Wuhan City in recent 40 years. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(4): 745-754.]
- [12] 付颖, 徐新良, 通拉嘎. 近百年来北京市地表水体时空变化特征及驱动力分析[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 75-83. [Fu Ying, Xu Xinliang, Tong Laga. Spatial-temporal variation and driving forces of surface water in Beijing over one hundred years. Resources Science, 2014, 36(1): 75-83.]
- [13] 周洪建, 史培军, 王静爱, 等. 近30年来深圳河网变化及其生态效应分析[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 969-980. [Zhou Hongjian, Shi Peijun, Wang Jingai et al. River network change and its ecological effects in Shenzhen region in recent 30 years. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(9): 969-980.]
- [14] 岳文泽, 徐丽华. 城市典型水域景观的热环境效应[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1852-1859. [Yue Wenze, Xu Lihua. Thermal environment effect of urban water landscape. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1852-1859.]
- [15] 徐涵秋. 近30 a来福州盆地中心的城市扩展进程[J]. 地理科学, 2011, 31(3): 351-357. [Xu Hanqiu. Urban expansion process in the center of the Fuzhou basin, southeast china in 1976-2006. Scientia Geographica sinica, 2011, 31(3): 351-357.]
- [16] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(5): 893-903.
- [17] Charvz Jr P S. Image-based atmospheric corrections - revisited and revised[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9): 1025-1036.
- [18] 徐涵秋. 基于影像的Landsat TM/ETM+数据正规化技术[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(1): 62-66. [Xu Hanqiu. Image-based normalization technique used for landsat TM/ETM+ imagery. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(1): 62-66.]
- [19] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595. [Xu Hanqiu. Image-based normalization technique used for landsat TM/ET+ imagery. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589-595.]
- [20] 黎夏. 形状信息的提取与计算机自动分类[J]. 环境遥感, 1995, 10(4): 279-287. [Li Xia. A new method to improve classification accuracy with shape information. Remote Sensing of Environmen, 1995, 10(4): 279-287.]
- [21] 都金康, 黄永胜, 冯学智, 等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 214-219. [Du Jinkang, Huang Yongsheng, Feng Xuezhi et al. Study on water bodies extraction and classification from SPOT image. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(3): 214-219.]
- [22] 徐涵秋. 一种快速提取不透水面的新型遥感指数[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(11): 1150-1153. [Xu Hanqiu. A new remote sensing index for fastly extracting impervious surface information. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(11): 1150-1153.]
- [23] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2003, 108(D22): 4688.
- [24] 徐涵秋, 林中立, 潘卫华. 单通道算法地表温度反演的若干问题讨论——以Landsat系列数据为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(4): 487-492. [Xu Hanqiu, Lin Zhongli, Pan Weihua. Some issues in land surface temperature retrieval of landsat thermal data with the single-channel algorithm. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015, 40(4): 487-492.]
- [25] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A, skokovic D et al. Land sur-

face temperature retrieval methods from Landsat 8 thermal infrared sensor data[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 11(10): 1840-1843.

[26] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析

[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2456-2462. [Xu Hanqiu. Quantitative analysis on the relationship of urban impervious surface with other components of the urban ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2456-2462.]

Spatiotemporal Variation of Urban Surface Water and Its Influence on Urban Thermal Environment

Wang Meiya, Xu Hanqiu, Fu Wei, Lin Zhongli, Li Xia, Zhang Bobo, Tang Fei

(Fujian Provincial Key Laboratory of Remote Sensing of Soil Erosion and Disaster Protection, Institute of Remote Sensing Information Engineering, College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China)

Abstract: Shrinkage of urban surface water bodies has caused a series of problems, such as degeneration of urban ecological quality and the intensification of urban heat island phenomenon, which severely affect human living quality. Fuzhou City, as the capital city of Fujian Province in southeastern China, has witnessed a rapid urban expansion process during the last three decades. The rapid urban growth of Fuzhou City has led to the shrinkage of urban surface water bodies and induced a series of urban environmental problems. To reveal the relationship between the change of surface water area and urban heat environment, remote sensing technique was employed using multi-temporal Landsat TM/OLI/TIRS images of 1989, 1996, 2006 and 2014. The use of the modified normalized different water index (MNDWI) has successfully extracted the information of the city's surface water bodies from the images. The selected thresholds for the extraction of water bodies of the four study years (1989, 1996, 2006, 2014) were 0.1, 0.1, -0.05 and -0.05, respectively. Because the water area of both Min River and Wulong River, which flow through the study area, were basically unchanged in the four-study years, they were masked out in this study. The assessment of the accuracy shows that the overall accuracies of the water extraction of the four years are all greater than 90.0%, which met accuracy requirements. The extracted urban surface water bodies were classified into three types: river, lake and pond by using shape index. Furthermore, the impervious surfaces and vegetation were extracted by two remote sensing indices, i.e., normalized difference impervious surface index (NDISI), and normalized difference vegetation index (NDVI), respectively. While, the land surface temperature (LST) was retrieved using the single channel algorithm (SC). Combined with LST, impervious surfaces, and vegetation information, the extracted water images were used to analyze the spatiotemporal variation of Fuzhou's surface water in 1989-2014. Regression analysis was carried out to investigate the quantitative relationship between water and LST. The result shows that all three types of surface waters in Fuzhou urban built-up area have decreased substantially in 1989-2014. Water area decreased by 1 490.67 hm² in 25 years and 70% of the decreased waters converted into impervious surfaces. Of the reduced water, river area decreased by 1 490.67 hm², pond area decreased by 951.21 hm², and lake area decreased by 408.15 hm² during the period. The calculation shows that difference in LST between water and impervious surface is 11.12°C, while the difference between water and vegetation was 4.38°C. A significant negative correlation between the proportion of urban surface water and LST has been detected. According to the regression model, the decrease of surface waters in Fuzhou built-up area in 1989-2014 has contributed to the temperature rise by 1.03°C. However, in the local area where water area has reduced substantially, the warming effect is more obvious. Taking Puxia wetland as an example, the decrease of the surface water area of the wetland in 1989-2014 has contributed to the temperature rise by 3.6°C. Obviously, the reduction of urban surface waters has significantly intensified the urban heat island phenomenon of the city.

Key words: remote sensing; surface water; thermal environment; Fuzhou