卞子浩,马超群,王 迪,等. 西安地区热岛效应与景观生态格局相关性研究[J]. 干旱气象,2016,34(2):342-348,[BIAN Zihao, MA Chaoqun, WANG Di, et al. Relation Between the Urban Heat Island Effect and Landscape Ecological Pattern in Xi'an Region[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(2):342-348], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0342

西安地区热岛效应与景观生态格局相关性研究

卞子浩[1,2],马超群[1],王 迪[1],徐 博[1],艾 杰[1]

(1. 长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054;2. 南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210046)

摘 要:从景观生态学角度出发,基于2013年西安地区逐日平均、最高和最低气温数据以及遥感影像资料,运用数理统计和数字图像处理等方法,研究冬、夏季节地面气温表征的城市热岛效应变化特征,获取土地覆盖/利用类型信息。在此基础上,分析该地区景观格局特征,以及热岛效应与土地利用景观格局的关联性。结果表明:西安市城市建成区冬季、夏季均存在明显的热岛效应,且热岛效应对日最低温度敏感性更高;热岛效应强度与城镇用地和林地的面积、破碎度、斑块占景观总面积比、景观形状和斑块结合度均存在联系,且热岛效应对城镇用地景观格局的敏感性冬季高于夏季,而对林地景观格局的敏感性则是夏季高于冬季。

关键词:热岛效应;景观格局;气温;相关分析;西安地区

文章编号:1006-7639(2016)-02-0342-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-02-0342

中图分类号:P463;P423 **文献标识码**:A

引 言

城市热岛效应是由城市化地区的人为因素和局地气象条件共同作用下形成的[1-3]。早期对热岛效应的研究主要是基于大气温度数据开展的[4-9]。1972年Rao较早地采用热红外遥感进行城市热岛的研究[10],之后很多学者通过遥感影像获取地表亮温来研究城市热岛[11-16]。然而,城市地表温度与大气温度的关系错综复杂[17-19],红外遥感反演的地表温度场并不能完全反映城市气温特征及变化。另外,热岛效应与城市景观格局之间有着密切关系,其研究也逐渐由定性走向定量,由关注单一景观类型的作用发展到关注景观总体格局对城市热岛效应的影响[20-25]。如Weng等采用景观生态指数描述居住用地景观的面积和形状复杂程度对斑块内部地表温度分异的影响[20];陈云浩等直接采用传统的景观指数对城市"热力景观"进行格局分析[21];陈辉等采取常用的景观格局指数对成都市森林景观分布格局与热岛效应的关系进行分析,指出绿地分布面积大且集中的城区温度低于绿地覆盖率高但斑块个数多、整体破碎度较大的城区[24];柯锐鹏等对广州市热岛的空间格局进行分析,提出缓解热岛效应的"绿岛和绿廊"规划思路[25]。前期研究多集中在景观格局与地表遥感反演热场的相关性研究,而景观格局与气温表征的热岛效应的相关性研究较少。因此,本文将气象数据与遥感数据相结合,对陕西西安地区城市热岛效应进行定量化研究,探讨城市景观格局对热岛效应的影响,以期为通过规划手段缓解和消除城市热岛效应提供依据。

1 研究区概况

陕西西安市位于107°40′E~109°49′E和33°39′N~34°45′N之间,北临渭河和黄土高原,南邻秦岭,南部秦岭山麓地区主要以林地为主,而中北部的关中平原以耕地为主,城镇用地主要集中在西安市区,其行政管辖包括西安市区、长安区、临潼区、阎良区以及蓝田县、高陵县、户县和周至县。西安市平原地区属暖温带半湿润大陆性季风气候,冷暖干湿四季分明。年平均气温13.0~13.7 ℃,最冷1月平均气温-1.2~0.0 ℃,最热7月平均气温26.3~26.6

收稿日期:2015-06-01;**改回日期**:2015-10-18

基金项目:教育部人文社科西部和边疆地区青年项目(12XJC840001)、中央高校基金(2013G6274063)和国家级大学生创新创业训练计划项目(201410710051)共同资助

作者简介:卞子浩(1994-),男,安徽合肥人,硕士研究生,主要从事自然地理与环境研究. E-mail:bianzihao@126.com

通讯作者:马超群(1976-),男,陕西西安人,讲师,博士,主要从事自然地理研究. E-mail:chaoqunm@chd.edu.cn

℃;年平均降水量 522.4 ~719.5 mm,且由北向南递增;年平均日照时数 1 646.1 ~2 114.9 h。

2　资料与方法

选用 2013 年西安市市区及 6 个郊县(户县、长安、临潼、周至、蓝田、高陵)气象台站逐日平均和最高、最低气温观测资料,以及 2013 年 6 月 25 日美国陆地卫星 Landsat 8 影像。根据当年逐月气象条件特征(由于 2013 年 7 月西安市阴雨天气日数过多,无法充分反映当年夏季情况),选择 1 月、6 月分别表征冬、夏季进行气温分析。

2.1　气温滑动平均值与热岛效应指数计算

以 3 d 为滑动步长,分别对冬、夏季代表月份 1 月和 6 月平均和最高、最低气温进行滑动平均处理,以过滤掉异常气温对热岛效应强度的影响。滑动平均公式为:

$$T_{i\max} = \frac{1}{3}\sum_{i}^{i+2} t_{i\max} \tag{1}$$

$$T_{i\min} = \frac{1}{3}\sum_{i}^{i+2} t_{i\min} \tag{2}$$

$$T_{i\mathrm{ave}} = (T_{i\max} + T_{i\min})/2 \tag{3}$$

其中,$T_{i\max}$是最高气温的滑动平均值,$t_{i\max}$为最高气温;$T_{i\min}$为最低气温的滑动平均值,$t_{i\min}$为最低气温;$T_{i\mathrm{ave}}$是平均气温的滑动平均值;i 为天数。

通过西安市城区及其周边郊区的温差反映城市热岛效应强度[4],其计算公式为:

$$D = T_{\mathrm{C}} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \tag{4}$$

式中,D 是热岛效应指数,T_{C} 是城区温度滑动平均值;t_i 为各郊区(长安区、高陵县、蓝田县、周至县、临潼区、户县)温度滑动平均值;n 为区县个数。

2.2　景观格局指数

利用 ENVI 遥感图像处理软件,按照建设用地、林地、草地、耕地、水域、未利用地等 6 类土地覆盖/利用类型,采用最大似然方法进行监督分类,然后进行目视校正,从而得到土地覆盖/利用分类矢量结果。在此基础上,使用 Frastates3.3 软件计算能够反映景观格局特征的 5 类代表性指数(斑块面积(CA)、斑块占景观总面积比例(PLAND)、景观破碎度(LFI)、景观形状指数(LSI)和斑块结合度(COHESION)),以定量描述土地利用景观格局特征[11,26~29]。

3　结果分析

3.1　热岛效应冬、夏季变化特征

图 1 是 2013 年西安市各地区平均气温的空间分布。可以看出,西安地区 2013 年年均气温存在显著的空间差异。其中,西安市市区年均温最高,蓝田县最低,各郊区年均温大致形成距离市区越近其值也相对较高的变化格局,故西安地区存在明显的热岛效应。

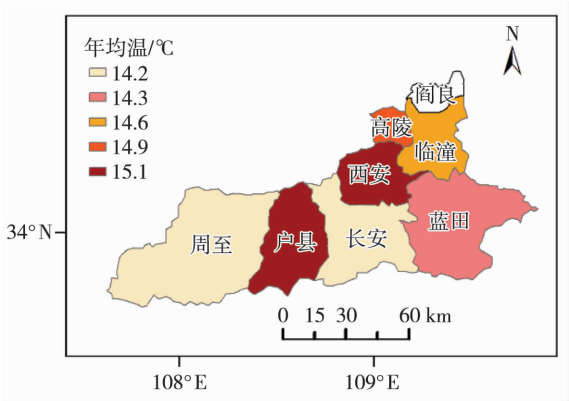

图 1　2013 年西安市各区(县)年均气温的空间分布

Fig. 1　The spatial distribution of annual average temperature in 2013 in Xi'an of Shaanxi Province

图 2 给出 2013 年西安地区冬季 1 月和夏季 6 月最高、最低及平均气温逐日滑动平均的热岛效应指数。可以看出,夏季 6 月最高气温滑动平均值的热岛效应指数基本稳定在“0”值附近,热岛效应不明显;而冬季 1 月最高气温滑动平均值的热岛效应指数月内变化明显,13 日以前热岛效应指数较小,而后逐渐增加,至 18 日左右达到最大 1.2 ℃,之后略有下降,基本维持在 0.78 ℃附近。最低气温滑动平均值的热岛效应指数月内变化与平均气温的较一致。就最低气温而言,冬季 1 月最低气温滑动平均值的热岛效应指数平均为 1.54 ℃,高于 6 月的 1.18 ℃;1 月最低气温的热岛效应指数变化表现出明显的阶段性,20 日以前基本稳定在 1.5 ℃,而后有明显升降变化,最高值与最低值相差约 2 ℃,标准差为 0.43,而 6 月最低气温的热岛效应明显波动贯穿整个月内,最高值与最低值相差约 0.6 ℃,标准差为 0.29,远小于冬季 1 月。可见,冬季城市热岛效应较夏季明显,且波动也较大。就平均气温来看,1 月热岛效应指数平均值 1.01 ℃,较 6 月平均值 0.59 ℃显著偏高。由于热岛效应强度与气象条件关系密切,受冬季城市增温与城市上空逆温层的影响大,逆温作用阻碍了城市污染物及热量的向外扩散,从而减弱了大气长波辐射的降温[30]。综合来看,最低气温的热岛效应指数均明显高于最高气温和平均气温,反映出热岛效应对日最低气温的敏感性更高。其原因可能是因为城市下垫面主要是水泥、沥青、

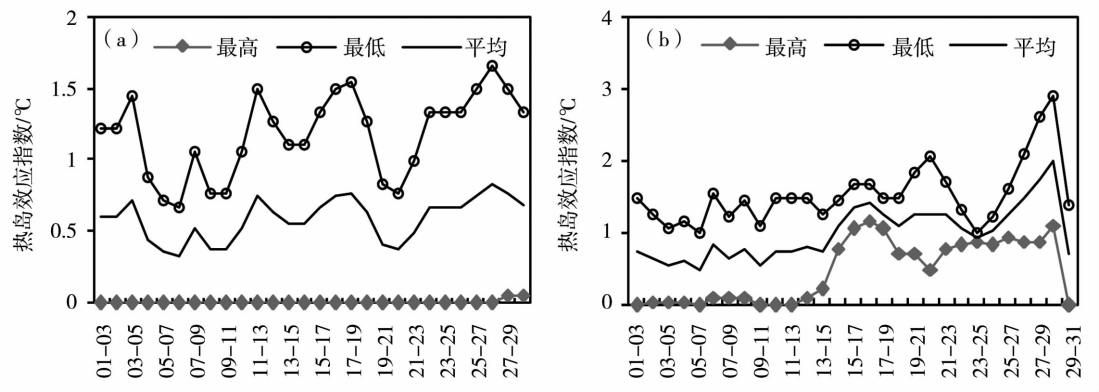

图 2 2013 年西安地区 6 月(a)和 1 月(b)最高、最低及平均气温滑动平均值的热岛效应指数

Fig. 2 Heat island effect index of maximum, minimum and average temperatures sliding average values in June (a) and January (b) in Xi'an region in 2013

混凝土等低反射率、高吸收率的材料,故而在同等太阳辐射条件下,城市下垫面能够吸收更多的热量并储存,并在夜间通过长波辐射来加热近地层大气,使得城市下垫面的近地层大气降温幅度小于自然下垫面[31]。

3.2 景观格局指数特征

根据遥感影像的分类与解译,得到西安地区景观格局分布(图 3)及相应的面积统计(表 1)。可看出,整个西安地区林地面积最大,占总面积的 59.5%,主要分布于西安南部—秦岭山麓一带;耕地面积比重亦较大,占总面积的 27.5%,主要分布于郊区;城镇建设用地面积相对较小,为总面积的 10.1%,集中分布在市城区,周围郊县也有零星分布,多

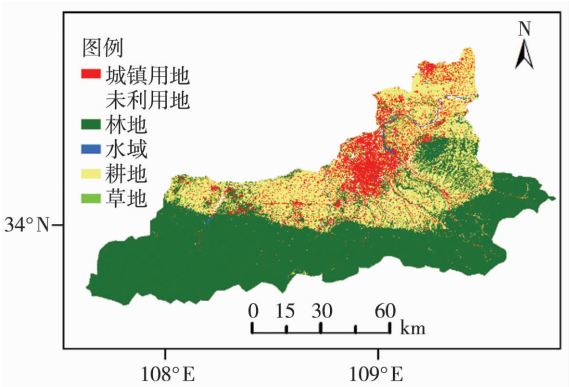

图 3 2013 年西安地区土地利用景观格局

Fig. 3 The landscape pattern of landcover/landuse in Xi'an region in 2013

表 1 2013 年西安地区土地覆盖/利用类型统计

Tab. 1 Landcover/landuse types statistics in Xi'an region in 2013

用地类型	城镇用地		林地		草地		水域		耕地		未利用地	
	面积 /10^3 hm^2	百分比/%	面积 /10^3 hm^2	百分比/%	面积 /10^3 hm^2	百分比/%	面积 /10^3 hm^2	百分比%	面积 /10^3 hm^2	百分比/%	面积 /10^3 hm^2	百分比/%
市区	43.0	50.35	9.4	11.06	0.85	0.99	0.89	1.04	23.8	27.91	7.38	8.64
高陵	7.9	27.88	1.7	5.90	0.75	2.63	0.59	2.06	16.1	56.67	1.38	4.86
户县	6.8	5.36	80.3	63.45	0.18	0.14	0.034	0.03	38.2	30.15	1.10	0.87
蓝田	4.2	2.14	142.2	73.16	0.01	0.01	0.108	0.06	46.6	23.97	1.30	0.67
临潼	9.9	11.27	21.7	24.66	0.22	0.24	0.942	1.07	51.3	58.47	3.76	4.28
长安	11.4	7.30	90.2	58.07	0.16	0.11	0.56	0.36	49.4	31.80	3.68	2.36
周至	6.6	2.29	241.8	83.93	0.39	0.13	0.363	0.13	37.4	13.00	1.51	0.52
全市	101.5	10.10	596.5	59.50	3.03	0.30	6.18	0.60	276.4	27.50	17.58	1.80

为村镇用地;水域面积只占 0.6%,这种景观格局与西安位于干旱半干旱地区关系紧密;在以农作物耕种为主的关中平原,西安草地面积仅占 0.3%,其余为未利用土地。

就各区(县)来说,西安市区主要以城镇用地为主,耕地和林地次之,且主要分布在建成区周边;所有背靠秦岭的户县、蓝田县、长安区和周至县等郊县林地面积均达到 50% 以上,耕地面积次之;北部的高陵县和临潼区均以耕地为主,其中高陵县城镇用地比例达 27.88%,仅次于西安市区,而临潼区由于分布有骊山,林地面积占 24.66%,为第二大用地类型。

下垫面是大气的直接热源,地表温度场与大气温度场关系密切。同等太阳辐射条件下,城镇用地中的建筑物、道路等化学、人工材料吸热快且热容量小,较自然下垫面(林地、草地、水体等)升温快,从而导致其表面温度明显高于自然下垫面,进而造成相应区域气温较高。前期研究成果显示,热岛效应强度与城镇用地、林地、水域等面积及分布皆存在明显相关性[5]。西安地区水域、草地及未利用土地面积较小,对热岛效应影响微弱,而耕地受季节影响较大,且在土地利用中属于被动变化成分。近年来,西安市周边耕地变化以减少为主,而在实施调解过程中主要是通过调整区域建设用地用量及空间规划林地、绿地格局来调节城市热岛,故以城镇用地、林地的景观格局为研究对象,研究其对西安地区热岛效应空间敏感性的影响。表 2 给出西安各区(县)城镇用地和林地的景观格局指数(斑块面积(CA)、斑块占景观总面积比例(PLAND)、景观破碎度(LFI)、景观形状指数(LSI)和斑块结合度(COHESION)),可看出,城镇用地面积为西安市区 > 长安区 > 临潼区 > 高陵县 > 户县 > 周至县 > 蓝田县,而林地面积为周至县 > 蓝田县 > 长安区 > 户县 > 临潼区 > 西安市区 > 高陵县。可见,城镇用地多集中于市区中心,并向外呈递减趋势扩散,这与城市扩张规律相符;林地则主要分布于南郊诸县秦岭山脉及临潼区骊山一带,城区林地面积相对较小,仅限于公园、绿化带为主的城市绿地。另外,斑块占景观总面积比方面,西安市城区、高陵县城镇用地占有较大比重,林地比重相对较小;南部郊县(长安区、户县、蓝田县、周至县等)的林地则占有绝大部分面积,城镇用地相对较小。

表 2　西安各区县城镇用地和林地的景观指数统计

Tab. 2　The landscape index statistics of forest land and urban land in each district and county in Xi'an

地区	CA		LFI		PLAND		LSI		COHESION	
	城镇	林地	城镇	林地	城镇	林地	城镇	林地	城镇	林地
市区	43 002.10	9 449.23	0.02	0.16	50.35	11.06	0.21	0.43	99.65	90.64
长安	11 353.00	90 243.00	0.16	0.02	7.31	58.07	0.48	0.09	83.99	98.88
高陵	7 936.02	1 679.60	0.07	0.31	27.88	5.90	0.38	0.60	96.23	66.03
蓝田	4 152.98	142 180.01	0.29	0.01	2.14	73.16	0.07	0.19	79.48	99.57
临潼	9 894.46	21 654.42	0.17	0.05	11.27	24.66	0.51	0.25	87.23	98.79
户县	6 788.09	80 337.07	0.16	0.01	5.36	63.45	0.60	0.07	81.66	99.13
周至	6 591.04	241 762.25	0.14	0.01	2.29	83.93	0.42	0.15	84.75	99.65

景观破碎度能够较直观地反映土地破碎程度及景观结构复杂性。由表 2 可知,西安市城区地处关中平原,城镇用地规划集中,表现为集中式城市形态,城镇用地破碎度较小;周边郊县除县城区的城镇用地集中分布外,其余大部分城镇用地均为分散于耕地中的村镇用地,故破碎度普遍偏大。经比较发现,各区县建设用地破碎度依次为蓝田县 > 临潼区 > 长安区≈户县 > 周至 > 高陵 > 西安市区。林地主要分布于南部周边郊区秦岭山脉,呈片状分布,破碎度较小;而城区及北郊,大片林地分布较少,主要以公园等小型斑块的形式分散于城镇用地及耕地之中,破碎度相对较大,各区县林地破碎度依次为高陵县 > 西安市区 > 临潼区 > 长安区 > 蓝田县≈户县≈周至。

景观形状指数与各用地斑块形状复杂程度呈正相关,即指数越大形状越不规则。经比较发现:城镇用地景观形状指数户县 > 临潼区 > 长安区 > 周至县 > 高陵县 > 西安市区 > 蓝田县;林地景观形状指数高陵县 > 西安市区 > 临潼区 > 蓝田县 > 周至县 > 长安区 > 户县。西安地区周边郊县村镇用地建设具有

自发性,且南郊秦岭山脉附近的村镇建设受地形因素影响,其斑块形状、分布相对复杂;西安市区及高陵县等区域林地面积小且分布受制于城镇用地,故形态不规则程度相对南郊偏高。总体来说,城镇用地景观形状指数郊县高于城区,而林地景观形状指数城区高于郊县。

斑块结合度与景观类型集聚程度成正比。对比发现,城镇用地斑块结合度西安市区 > 高陵县 > 临潼区 > 周至县 > 长安区 > 户县 > 蓝田县,西安市城区城镇用地呈由内及外推进式扩展形态,城镇用地分布集中、交通网发达,表现出较高的斑块聚集程度,而周边郊县村镇用地多分散于耕地、林地中,斑块间距离远、间隔大,表现出较低的斑块聚集程度;林地斑块结合度周至县 > 蓝田县 > 户县 > 长安区 > 临潼区 > 西安市区 > 高陵县,南部郊县林地大片集中分布,聚集度高,而市区及北部县区,林地零星分布,市内绿地廊道少,且林地连接度低,聚集程度亦低。

3.3 热岛效应与景观格局的相关性

为研究冬、夏季节热岛效应对景观格局的敏感性,选取 2013 年 1 月和 6 月平均气温与当年景观格局指数进行线性相关分析(表 3)。表 3 中各项数据对比显示,除破碎度之外,热岛效应强度与城镇用地其余景观指数均呈正相关,其中景观形状指数与热岛效应强度的相关系数较小;而热岛效应对林地的敏感性与城镇用地差异较大,热岛效应与林地用地面积、斑块占景观总面积比及斑块结合度指数均呈负相关,而与林地破碎度和景观形状指数则呈正相关。对比 6 月与 1 月的相关系数发现,1 月平均气温与城镇用地景观格局指数相关性大多高于 6 月;6 月平均气温与林地景观格局指数相关度普遍高于 1 月。可见,夏季热岛效应对林地景观格局敏感性高于冬季;而冬季热岛效应对城镇用地景观格局敏感性则更高。

表 3 2013 年西安地区景观格局指数与冬、夏季代表月份月均温的相关性

Tab. 3 Correlation coefficients between landscape index and monthly average temperature in June and January of 2013 in Xi'an

用地类型	CA		LFI		PLAND		LSI		COHESION	
	6 月	1 月	6 月	1 月	6 月	1 月	6 月	1 月	6 月	1 月
城镇用地	0.42	0.52*	-0.39	-0.63*	0.57*	0.51*	0.03	0.33	0.44	0.39
林地	-0.72*	-0.53*	0.46	0.20	-0.58*	-0.41	0.41	0.14	-0.38	-0.09

注:* 表示通过 0.05 及以上水平的显著性检验

另外还发现,城镇用地景观格局指数与月均温相关系数中,斑块占景观总面积比指数的相关度最高,而景观形状指数相关度最低,表明城镇用地面积的扩张是增强热岛效应的重要原因,同时城镇用地分散式扩张形成的斑块逐渐融合使得区域热岛效应得到进一步加强;林地面积与热岛效应强度负相关度普遍高于其他景观格局指数,说明林地面积对抑制区域城市热岛效应有重要作用,而城市公园、绿地的配置(破碎度)及绿地边界(形状指数)的扩大可在一定程度上削减热岛强度。综合分析可见,景观规划中为缓解城市热岛效应,控制城镇用地面积与增加林地面积最为关键,同时还应适当分散布局城镇用地。布局面积较大、形状规整和破碎度低的绿地可有效缓解热岛效应;通过林地廊道将分散林地斑块有效连接,建设城市绿地网络系统,对缓解城市热岛效应效果明显。

4 结 论

影响城市热岛效应的因素十分复杂,下垫面景观格局情况、气候环境大幅改变和局部天气特征差异等都会对热岛效应产生重要影响。本文通过研究气温与下垫面景观格局的相关性得到如下结论:

(1)西安地区夏季、冬季均存在明显热岛效应,2013 年冬季热岛效应强度高于夏季,且热岛效应对日最低气温敏感性更高。冬季热岛效应高于夏季的原因可能是冬季城区逆温层的影响,而热岛效应对最低气温更敏感可能是由于城区下垫面能吸收更多的热量并储存,在夜间通过长波福射来加热近地层大气,使得城区下垫面近地层大气降温幅度小于郊区;

(2)西安地区景观格局指数与月均温线性相关性分析表明,城镇用地面积、斑块占景观总面积比、斑块结合度指数与热岛效应强度呈正相关,而城镇用地破碎度与热岛效应强度呈负相关,其中景观形状指数与热岛效应强度相关性较小。林地面积、斑块占景观总面积比、斑块结合度指数均与热岛效应呈负相关,而破碎度、景观形状指数与热岛效应强度呈正相关。这可能是由于城区、绿地的参差分布,使

得高温区与低温区能量得以交换和流通,从而减小热岛高温的分布面积及强度。此外,西安地区城市热岛效应受城市绿地的季相影响显著,热岛效应对城镇用地景观格局的敏感性冬季高于夏季,而对林地景观格局的敏感性夏季高于冬季;

(3)在城市景观规划中,通过控制城镇用地规模、分散布局城镇用地、增加林地面积、增加林地廊道、建设林地网络系统、集中成片布局林地等措施皆可有效控制并缓解城市热岛效应。

参考文献:

[1] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, et al. Urban ecological systems: Linking terrestrial ecology, physical, and socio - economic components of metropolitan areas[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2001,32:127 - 157.

[2] Liming Z, Dickinson R E, Yuhong T, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China[J]. Proceedings of the National Academy of Science, 2004,101(26):9540 - 9544.

[3] 宋轩,段金龙,杜丽平. 城市热岛效应研究概况[J]. 气象与环境科学,2009,32(3):68 - 72.

[4] 刘转年,阴秀菊. 西安城市热岛效应及气象因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(2):87 - 90.

[5] 刘剋,顾行发,余涛,等. 城市台站周边热岛效应和土地利用与覆被变化关系[J]. 气候与环境研究,2011,16(6):707 - 716.

[6] 周淑贞,张超. 上海城市热岛效应[J]. 地理学报,1982,32(4):372 - 382.

[7] 郭凌曜. 城市化对局地气候的影响分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(3):37 - 42.

[8] 王郁,胡非. 近 10 年来北京夏季城市热岛的变化及环境效应的分析研究[J]. 地球物理学报,2006,49(1):61 - 68.

[9] 王建鹏,孙继松,王式功,等. 盆地地形下西安城市热岛效应对周边降水的影响[J]. 干旱气象,2011,29(2):168 - 173,181.

[10] Rao P. Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1972,53(7):647 - 648.

[11] 李鉴清. 基于遥感数据和景观生态理论的合肥市热岛效应动态分析[D]. 合肥:安徽农业大学,2012.

[12] 王勇,李发斌,李何超,等. RS 与 GIS 支持下城市热岛效应与绿地空间相关性研究[J]. 环境科学研究,2008,21(4):81 - 87.

[13] 杨英宝,苏伟忠,江南. 基于遥感的城市热岛效应研究[J]. 地理与地理信息科学,2006,22(5):36 - 40.

[14] 卿清涛,冯建东,郭海燕. 基于 NOAA/AVHRR 资料的城市热岛效应研究方法[J]. 高原山地气象研究,2010,30(3):48 - 51.

[15] 梁益同,陈正洪,夏智宏. 基于 RS 和 GIS 的武汉城市热岛效应年代演变及其机理分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(8):914 - 918.

[16] 裴欢,房世峰. 南京市夏季热岛特征及其与土地利用覆盖关系研究[J]. 干旱气象,2008,26(1):23 - 27.

[17] Nichol J E, Fung W Y, Lam K S, et al. Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and 'in situ' air temperature[J]. Atmospheric Research, 2009,94(2):276 - 284.

[18] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates[J]. Remote Sensing of Environment, 2003,86(3):370 - 384.

[19] 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.

[20] Weng Q H, Liu H, Liang B Q, et al. The spatial variations of urban land surface temperatures: Pertinent factors, zoning effect, and seasonal variability[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2008,1(2):154 - 166.

[21] 陈云浩,李京,李晓兵. 城市空间热环境遥感分析——格局过程模拟与影响[M]. 北京:科学出版社,2004.

[22] Zhang X Y, Zhong T Y, Feng X Z, et al. Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009,30(8):2105 - 2118.

[23] 王雪. 城市绿地空间分布及其热环境效应遥感分析[D]. 北京:北京林业大学,2006.

[24] 陈辉,古琳,黎燕琼,等. 成都市城市森林格局与热岛效应的关系[J]. 生态学报,2009,29(9):4865 - 4874.

[25] 柯锐鹏,梅志雄. 城镇化与绿地退化对城市热环境影响研究[J]. 生态环境学报,2010,19(9):2023 - 2030.

[26] Loehle C, Wein G. Landscape habitat diversity: a multiscale information theory approach[J]. Ecological Modelling, 1994,73(s3 - 4):311 - 329.

[27] Hulshoff R M. Landscape indices describing a dutch landscape[J]. Landscape Ecology, 1995,10(2):101 - 111.

[28] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报,1995,15(2):113 - 120.

[29] 张本昀,申怀飞,郑敬刚,等. 河南省土地利用景观格局分析[J]. 资源科学,2009,31(2):317 - 323.

[30] 白虎志,任国玉,方锋. 兰州城市热岛效应特征及其影响因子研究[J]. 气象科技,2005,33(6):492 - 495,500.

[31] 王腾蛟. 河谷城市兰州热岛效应的观测与数值模拟[D]. 兰州:兰州大学,2013.

Relation Between the Urban Heat Island Effect and Landscape Ecological Pattern in Xi'an Region

BIAN Zihao[1,2], MA Chaoqun[1], WANG Di[1], XU Bo[1], AI Jie[1]

(1. *College of Earth Sciences and Resources*, *Chang'an University*, *Xi'an* 710054, *China*;
2. *College of Geographic and Oceanographic Sciences*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210046, *China*)

Abstract: Based on the daily average, maximum and minimum temperature in January and June of 7 weather stations in Xi'an of Shaanxi Province, the daily changes of urban heat island in summer and winter were studied by using the mathematical statistics method, firstly. From the view of landscape ecolgy, the landuse classification image on 25 June 2015 from Landsat 8 was obtained by the supervised classificaition and interpretation, and on this basis the dynamic response of urban heat island to landscape pattern and the relationship of them were analyzed. The results showed that the urban heat island effect was obvious in urban area of Xi'an both in winter and summer, and it had highest sensitivity to the minimum temperature. The intensity of urban heat island was closely related with the landscape pattern indexes of woodland and urban land, such as the area, fragmentation, percentage of patch, shape and cohesion indexes. Thereinto, the sensitivity of heat island effect to urban land in winter was higher than that in summer, while for forest land in summer it was higher than that in winter.

Key words: heat island effect; landscape pattern; temperature; correlation analysis; Xi'an region

(上接第 341 页)

Response of Winter Heating Peroid to Climate Warming in Ningxia

WANG Suyan[1,2], ZHENG Guangfen[1], YANG Jianling[1], LI Xin[1],

ZHANG Zhi[1], ZHANG Hongying[1], ZHOU Cuifang[1], DONG Guoqing[1]

(1. *Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster of Ningxia*, *Yinchuan* 750002, *China*; 2. *Ningxia Climate Center*, *Yinchuan* 750002, *China*)

Abstract: Based on the daily meteorological observation data of 20 weather stations in Ningxia during 1961 – 2014 (from October to the next April), the temporal amd spatial distribution characteristics of heating peroid in winter were studied, and the variations of climatic resources and their effect on the heating intensity were analyzed. The results are as follows: (1) The beginning date of winter heating put off and the ending date was ahead from south to north area in Ningxia during 1961 – 2013, and the heating intensity weakened. (2) Compared with the actual date of heating, the beginning date was later and the ending date was earlier in the Yellow River irrigation area of Ningxia, therefore the heating days was shorter, while they were opposite in southern mountain area. (3) With climate warming, the beginning date of winter heating appearred a delaying trend and the ending date showed an advancing trend in the past 53 years in Ningxia, and the change trend of the latter was obvious than the former, then the heating days shortened, especially in the Yellow River irrigation area. The heating intensity in Ningxia weakened markedly during 1961 – 2013, but the temperature in the middle and north of Ningxia decreased since 2002, which led to increase of the heating intensity in every day and during the winter heating peroid. (4) The contribution of the temperature rising at night to heating intensity was greater than that in the daytime. (5) The influences of sunshine hours and precipitation on heating intensity in middle arid area and southern mountain area of Ningxia were greater than that in the Yellow River irrigation area. (6) The contribution of climate warming to reducing the energy consumption of heating in winter was 12.8% – 16.5%, but that in the middle and north of Ningxia decreased since 2002.

Key words: climate warming; heating period; climate characteristics during the heating peroid; effect