

云南高原楚雄市热岛效应因子的灰色分析

何 萍¹ 陈 辉¹ 李宏波² 席武俊¹

(1. 楚雄师范学院 地理系, 楚雄 675000; 2. 楚雄州气象台, 楚雄 675000)

摘 要:采用云南高原楚雄市和其郊区南华气象观测站近 30 年的温度差值作为衡量热岛效应的标准,并合理选取楚雄市 8 项综合指标作为城市热岛效应因子,运用灰色关联度分析法对影响楚雄城市热岛效应的因子群进行了贡献关联度分析。结果表明:人口密度和耗电量是造成城市热岛效应的主要人为因子,风速和日照时数是影响城市热岛效应的主要气象因子。灰色系统协调预测模型的拟合和预测表明楚雄城市热岛效应今后 5 年有增强的趋势。

关 键 词:热岛效应;城市热岛效应因子;灰色关联度;楚雄

1 引言

城市热岛效应是指城市中心地区近地面温度高于郊区及周边地区的现象,这是城市气候最明显的特征之一^[1]。城市热岛效应自 1883 年由 Lake Howard 首次提出以来,被广大学者所关注,并在世界许多城市得到研究。

近些年,国外学者采用不同的研究方法,结合各地的实际,对一些城市的热岛效应因子进行了分析,提出了人口增长^[2]、住宅面积、道路面积、能源消耗、城市绿地^[3]、城市发展^[4]等是导致城市热岛效应的重要因子,一些研究还尝试从不同的角度寻找社会经济因子与气候因子之间的复杂联系,并积极着眼于设计和实施减缓与适应城市热岛的对策。

国内学者也先后采用常规方法和热红外遥感方法对北京、上海、广州、武汉、杭州、昆明等城市的热岛现象进行了监测。同时对城市化与城市热岛效应也进行了不少研究。一些研究运用遥感技术、GIS 技术、统计方法、相关分析、对比分析等方法,指出城市道路网、建筑密度、城市用地结构^[5]、人口与基础设施^[6]、城市发展与扩张^[7]等是城市热岛增强的主要因素。

整体来看,国内外由于对城市热岛效应的分析和研究不够完善和深入,从而导致缓解热岛效应的措施不全面、不彻底或过于简单化与表面化。多数情况是忽视了自然、人文、经济、政治等综合因素的

影响,也有解决问题的措施和手段上的不足,因此对于缓解有关城市热岛效应所起的指导作用有限。

由此可以看出,以往学者对引起城市热岛效应的综合因子缺乏深入分析,他们的研究角度可概括为两个:一方面主要是地理和气象等自然科学领域的研究者,从土地利用方式的改变,采用 GIS 等方法,对热岛的分布及特征进行深入分析。另外一方面是从社会经济角度的角度,探讨城市化进程、人口增长、能源和排放增加等因素对热岛效应的内在驱动;分析方法较为多样,主要是对社会经济因素与气象要素之间的影响进行各种相关分析。

城市热岛效应被认为是城市化进程的副产品。城市化对城市热岛的影响是非常显著的,而且,人口因素、能源消耗、道路建筑等等都是造成城市热岛的重要因素,相关研究也采用了不同的方法进行分析。所以绝大部分学者的研究焦点都放在特大或大城市。而改革开放以来,由于楚雄城市化进程加快,城市人口迅速增长,城市基础设施发展较快,与此同时,随着经济增长和居民收入水平提高,生产和生活用能也在不断增加,各种污染物以及温室气体排放也随之增加,这些因素都在促使楚雄城市热岛效应在范围上不断扩大和强度上不断增加。通过有关学者对楚雄市热岛效应的研究,发现其特点为热岛强度冬季强夏季弱,夜间强白天弱,热岛强度平均值达到 1.10°C ^[8](2000 年的数据)。经过周密查询与计算,在保山市(0.70°C)、六盘水市(1.20°C)、兴

收稿日期:2008-06; 修订日期:2008-10。

基金项目:云南省自然科学基金项目(2005D0077M2)。

作者简介:何萍(1965-),女,重庆合川人,教授,主要从事气象气候与自然地理综合研究。

E-mail:heping123456cn@yahoo.com.cn

义市(1.10℃)、龙岩市(1.00℃)四个相近纬度的二级县市中,楚雄的热岛强度(最新计算为1.50℃)最高,比海拔相近的六盘水市(1.20℃)、保山市(0.70℃)、大理市(1.10℃)^[9]也要高。这主要是由于楚雄地处低纬高原干旱区,加上复杂的地理环境、气象要素以及社会经济因素等加剧了其热岛强度。

另外,灰色关联分析是一种客观的、有效的、实用的系统分析方法^[10]。在国内,有不少学者运用灰色理论系统进行电网负荷、城市交通、油田产量、GDP的预测等。西安交通大学的陈志运用系统云灰色模型SCGM对西安的热岛因子进行了分析,但文中未就参考指标的选择缘由进行说明,且陈志运用SCGM是在1990年,其误差已不太适合现在的研究分析。本文在搜寻众因子进行指标的预处理后得到了8项指标(由于资料所限,用机动车数量代替汽车尾气排放量),而改进的灰色系统协调预测模型相比之下分析误差较小。因此本文将对云贵高原上的中等城市——楚雄市的热岛效应的因子进行灰色分析,旨在找出引起楚雄市热岛效应的主要因子,对缓解该市热岛效应提出对策建议,为今后楚雄城市规划和有关部门的决策提供参考。

2 指标选择和方法描述

2.1 指标选择

城市热岛效应主要是由于特殊的城市下垫面、大量人为热源和局地大气环流条件造成的^[11]。由于城市下垫面的特殊性质,它多为水泥、柏油、混泥土等构成,颜色较深,具有热容量大,导热率高的特点,能吸收大量的太阳辐射,夜间散发到大气中,为城市热岛的形成奠定了能量基础。同时,城市是人类生产生活最集中的场所,人类的生产生活都要放出大量的热量,包括工厂生产、交通运输、居民用能等。随着城市规模的迅速扩大,城市的热岛效应会越来越明显。由于气压差的存在,会引发城郊局地环流,把城市周边的大气污染物带入城区,加重城市空气污染。城市产生的粉尘、CO₂等空气污染物容易吸收长波辐射,使其温度升高。

城市热岛效应是城市不同于其他地域的最明显的气候特征之一。世界上无数的城市,无论其纬度位置、海陆位置、地形起伏及周围自然环境有何不同,都能观测到热岛效应的存在,而其热岛强度又与城市规模、人口密度、建筑密度等密切相关^[12]。

这些都证明热岛是由城市本身所造成的。同时热岛的形成还必须具备一定的外部条件,即天气型式必须稳定,气压梯度小,风速微弱或无风,天气晴朗无云或少云,空气层比较稳定。城市热岛效应还与城市自然环境、水环境及污染、大气环境及污染、城市下垫面形态、城市规划与建筑风格特点以及人们的生活习惯等密切相关^[13]。

结合全面性、可操作性、相对独立性原则,在目前可获取的资料前提下,并参考国内肖荣波^[14]、郑祚芳^[15]、陈志^[16]、赵志敏^[17]、白虎志^[18]、郑艳^[1]等学者的研究成果,以及楚雄城市及其热岛效应的实际情况,从城市人口、建成区面积、道路面积、城市绿地面积、城市绿化覆盖率、人口迁移率、能源消耗、汽车尾气排放量、机动车数量、电力消耗、城市发展状况、城市用地结构、建筑密度、基础设施建设、城市规模、相对湿度、低云量、总云量、城市水源面积、气压、日照时数、风速、大气污染物成分等指标中进行预处理后选取了4项气象要素(即相对湿度、风速、总云量、日照时数)和4项人为热因素(人口密度、耗电量、机动车数量和城市绿化覆盖率)作为影响城市热岛的因子,利用楚雄1981–2006年的数据资料对楚雄城市热岛效应进行分析。

2.2 灰色关联度分析

利用灰色关联度^[16]对影响楚雄城市热岛效应的因子群进行贡献测度分析。所谓关联度是指其他数列与参考数列之间的接近程度,它描述了系统发展过程中因素间的相对变化情况,即变化大小、方向与速度的相对性。需要指出的是,关联度的大小只是因子间相互作用、相互影响的外在表现,关联度的排序才能体现众多因子对参考因子的相对影响程度。设有 m 个评价指标的 n 个评价样本组成的原始时间数列为 $X_i=\{X_i(k)|k=1,2,\cdots,n;i=0,1,2,\cdots,m-1\}$ 。式中: X_0 为参考数列,其他为比较数列,以下若无特别说明,均满足 $i\neq 0$ 。对原始数列进行均值生成处理,得到数列 X_i 。记第 k 时刻 X_0 与 X_i 的绝对差为 $\Delta_i(k)=|X_0(k)-X_i(k)|(i=1,2,\cdots,m-1)$,则 $X_i(k)$ 与 $X_0(k)$ 的关联系数 $\xi_i(k)$ 可由公式(1)求得:

$$\xi_i(k)=\frac{\min_i\min_k\Delta_i(k)+\rho\max_i\max_k\Delta_i(k)}{\Delta_i(k)+\rho\max_i\max_k\Delta_i(k)}\quad (1)$$

式中: $\min_i\min_k$ 称为两级最小差,其中 \min_i 为第一级最小差,表示在 X_i 曲线上各点与 X_0 中各相应点的

距离的最小值; $\min_i \min_k$ 表示在各曲线找出的最小差 \min_k 的基础上,再按 $i=1,2, \cdots, m-1$ 找出的所有曲线中最小差的最小值; $\max_i \max_k$ 为两级最大差,意义与两级最小差相似; $\rho \in [0,1]$,称为分辨系数, ρ 值越小,分辨力越大,一般取 $\rho=0.5$ 。由于获得的关联系数过多,信息过于分散,不便于比较,因此有必要将每一个比较数列各时刻的关联系数集中体现在一个值上,即灰色关联度。灰色关联度的计算如公式(2)(一般采用平均值法):

$$\gamma_i=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i(k)$$

(2)

将灰色关联度按大小进行排序,若灰色关联序为 $\gamma_1>\gamma_2>\cdots>\gamma_{m-1}$,则表明 X_1 对 X_o 的影响最大, X_2 次之,依次类推。

2.3 灰色系统协调预测模型^[10]

灰色系统预测,是将系统主行为与关联因子一起进行的多序列预测。而预测系统的因素与其他因素之间,相互影响、相互制约的作用,称为系统协调(或关联)预测。

首先,建立 GM 模型群,其灰色状态模型方程为公式(3):

$$\dot{X}_i=a_{i1}X_1+a_{i2}X_2+\cdots+a_{in}X_n$$

(3)

式中: \dot{X}_i 为 X_i 的变化率; a_{ii} 为 X_i 变量的自身发展系数; $a_{i1},a_{i2},\cdots,a_{in}$ 为各变量间的协调系数。则其线形方程组为公式(4):

$$\begin{cases} \dot{X}_1=a_{11}X_1+a_{12}X_2+\cdots+a_{1n}X_n \\ \dot{X}_2=a_{21}X_1+a_{22}X_2+\cdots+a_{2n}X_n \\ \vdots \\ \dot{X}_n=a_{n1}X_1+a_{n2}X_2+\cdots+a_{nn}X_n \end{cases}$$

(4)

那么系统状态方程矩阵为公式(5):

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \vdots \\ \dot{X}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}$$

(5)

式中: u_i 为 X_i 所对应的待定系数,可由最小二乘法求得。

再利用龙格—库塔(Runge-Kutta)法求解状态

方程,最后将结果作累减还原,即求得拟和值与预测值。针对求得结果在数次计算的过程中,逐步达到预定效果,并作残差检验,可得最终预测值。

3 楚雄市热岛效应特征

随着城市化规模的扩大,人口和工厂的增加,楚雄市城市气候特征日趋明显。本文用楚雄市气象资料和南华气象站资料对比来分析楚雄市城市热岛的变化:以楚雄市气象站气候资料作为城市气候资料,以南华气象站资料作为郊区气候资料。1981年前楚雄市气象站周围为大面积农田,现已成为城市中心区,周围全为高大建筑物,大量农田被建筑物所取代;而南华气象站地处楚雄市西面地势开阔的郊区,距离楚雄市区直线距离约20km左右,海拔高度1857m。由于地处郊外,受城市气候的影响较小,而且它与楚雄市区海拔高度相差不多,它们之间地势平坦,无高大山脉阻隔。选取楚雄市和南华气象站1959-2007年的气象报表资料,进行城、郊气候对比分析,探讨楚雄市热岛效应及其对城市生态环境的影响。用城、郊温差来表示热岛强度,温差越大热岛强度越强,反之则越弱。

通过分析发现1986年以前楚雄城郊年平均气温差在1℃以下,到1986年以后楚雄城郊年平均气温差增加到1℃以上(图1)。随着1992年楚雄经济技术开发区建立,加快了经济的发展,楚雄市城市化进程加快。城市规模的增长及环境的改变,使城市热岛效应更加明显,到1996年以后城郊年平均气温差增加到2℃以上^[8]。到21世纪初期出现了波动起伏的变化趋势。

通过近20年来各月平均气温分布及气温资料分析可以看出,楚雄市区与郊县南华的平均气温差

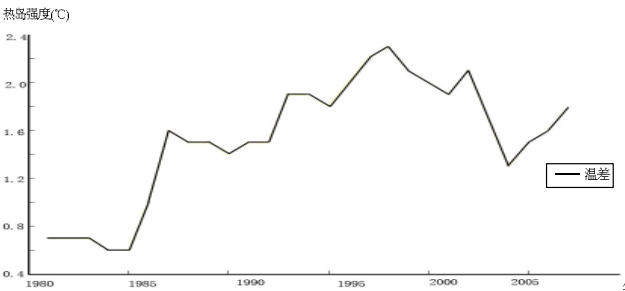


图1 楚雄市1981-2007年热岛强度年际变化

Fig.1 Variation of annual heat island strength from 1981 to 2007 in Chuxiong city

以春季的 3、4 月份为最大，以夏季的 6、7 月份为最小(图 2)。

楚雄城市热岛强度的日变化特点主要与城郊热量收支状况不同有关,在雨季,阴雨天气多,云层阻挡了地面的长波辐射向外扩散,热岛强度白天和夜晚相差不大,热岛强度的日变化比干季小。一般郊区日落后净辐射值转为负值,而城区下垫面

由于白天积蓄的热量多,夜晚的风速又比郊区小,不利于热量向外扩散,使城市夜间的气温比郊区高,城郊温差大,导致夜间城市热岛强度较强。随着辐射冷却过程不断进行,城市和郊区的温差逐渐减小,日出后,随着太阳高度角的逐渐增大,郊区因土壤热容量小而迅速增温,使得温差明显减小,到了中午前后,城区和郊区的气温基本接近,有时比郊区略低,城郊温差出现负值,热岛强度达到最小^[8]。

楚雄市热岛强度平均值为 1.50℃,且热岛强度干季大于雨季,以春季的 3、4 月份最大,夏季的 6、7 月份最小。热岛强度的日变化则基本上具有夜间强、白昼弱的特点。

4 楚雄市热岛效应因子综合分析

4.1 整体分析

在确定楚雄市城市热岛效应影响因子评价标准时,本文以楚雄市区 1981 年的各指标的实测值为基准(即 1981 年的指标为 1),计算历年各城市热岛因子的基础上,利用楚雄城市热岛效应影响因子

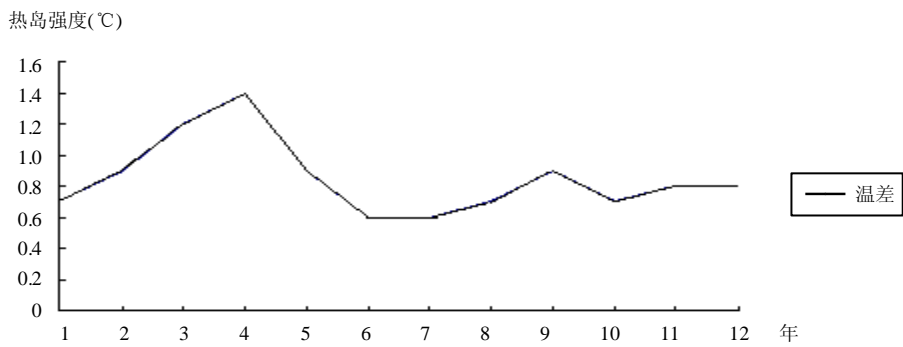


图 2 楚雄城市热岛强度的月变化曲线^[8]

Fig.2 Variation of monthly heat island strength in Chuxiong city^[8]

的各项指标的无量纲结果,进行研究分析。

针对热岛强度和 8 项影响因子,设热岛强度为参考数列,其余 8 项为比较数列,通过灰色关联度计算,各比较数列与参考数列的关联度如表 1。

由此可以看出,人口密度和耗电量是造成楚雄城市热岛效应的主要人为热因子,机动车数量和城市绿化覆盖率是次要的人为热因子。风速和日照时数是导致热岛效应的主要气象要素因子,相对湿度和总云量是次要的气象要素因子。同时,可以看出,人为热因子是所选择时段中与热岛强度关联最大的因素。因而可以说是楚雄城市热岛效应的加剧受到广泛的人为热因子影响。

人口密度是最主要的人为热因子,其关联度达 0.8684。楚雄市城区人口密度从 1981 年到 2007 年增大了约 3 倍,人口密度的增加会带来一系列的连锁反应,显然人口的增多,其频繁的通勤带来大量的交通热量和汽车尾气、家用电量增加、工业活动耗能增加等,同时楚雄城市基础设施得到很大提升,使其人口容量增加,这样就使得热岛强度在不断的增强。而人口增多又会带来上面的结果,这样进入一个无限循环。所以现在楚雄的热岛正处于加剧增长的趋势。

耗电量是仅次于机动车数量的主要人为热因子,其关联度达 0.8576。楚雄的耗电量从 1994 年的 6123.5 万 kwh 增长到 2006 年的 19235 万 kwh,年均增长率为 16.5%。目前楚雄城区的能源消费结构以电力为主,但城郊附近有也有以煤炭为动力燃料的工厂。楚雄的三次产业结构为 11:54.9:34.1,仍以第二产业为主,势必加大对电力的消耗。这样既把大量的电能转换为热散于空中,又排放了一定数量的温室气体。在能量集中的城市中,楼房鳞次栉比,公路纵横交错,工厂、汽车、空调及家庭炉灶和饭店

表 1 楚雄城市热岛强度与各影响因子之间的关联度

Tab.1 The correlation between urban heat island effects and the strength

影响因子	关联度
人口密度	0.8684
耗电量	0.8576
机动车数量	0.8453
风速	0.7891
城市绿化覆盖率	0.7855
日照时数	0.7487
相对湿度	0.6773
总云量	0.6562

等大量消耗的能源释放出大量的废热进入大气中;城市人口的增加,一方面使通过新陈代谢释放出的热量增加,更主要的是间接使得城市的耗电量成倍地增加,电能转化的热量使城市热岛效应更加严重;反过来,城市热岛效应的加重又使得城市耗电量进一步增加,形成恶性的循环。有研究表明,夏季城市温度每升高 1℃,降温对能量的需求就要增加 2%~4%^[17]。耗电量的增长对楚雄城市热岛效应起到了推波助澜的作用。

交通运输是城市最为重要的运动热源,由于燃料燃烧效率较低,交通繁忙的地区常常是热岛中心。一项对中型城市研究表明:仅有 13% 的能源被转化为有用能,其余都以热能疏散到城市环境中^[13]。城市道路上行驶的车辆不仅排放出大量的污染尾气(含有大量的温室气体),还随之释放出大量废热,加重城市底层的热污染,对城市热岛起到主导作用。机动车数量的增加会从直接和间接两方面加重楚雄的城市热岛效应。楚雄汽车燃料仍然以石油为主,汽车排放的尾气数量较大,占当地大气污染物的近 85%。楚雄的道路建设以水泥地为主,近年加大了沥青道路的建设,这样在本就干旱和太阳辐射强的情况之下,白天吸收了大量的太阳辐射,而晚上又散于空中,加上楼房的阻挡不利于空气的流动,因此增强了楚雄热岛的强度。

城市绿化覆盖率为楚雄市热岛强度的关联度达到 0.7855,显示了较强的影响作用。绿地能吸收太阳辐射,而所吸收的辐射能量又有大部分用于植物蒸腾耗热和在光合作用中转化为化学能,用于增加环境温度的热量大大减少。楚雄如今的城市绿化覆盖率达到 25.44%,在 2008 年政府工作报告中指出,加快城区生态环境建设,未来 5 年力争达到 35% 左右。绿地中的园林植物,通过蒸腾作用,不断地从环境中吸收热量,降低环境空气的温度。每公

顷绿地平均每天可从周围环境中吸收 81.8 兆焦耳的热量,相当于 189 台空调的制冷作用。园林植物光合作用,吸收空气中的二氧化碳,一公顷绿地,每天平均可以吸收 1.8t 的二氧化碳,削弱温室效应。此外,园林植物能够滞留空气中的粉尘,每公顷绿地可以年滞留粉尘 2.2t,降低环境大气含尘量 50% 左右,进一步抑制大气升温。研究表明:城市绿化覆盖率与热岛强度成反比,绿化覆盖率越高,则热岛强度越低,当覆盖率大于 30% 后,热岛效应得到明显的削弱;覆盖率大于 50%,绿地对热岛的削减作用极其明显^[19]。因此大力发展城区绿化,是减轻热岛影响的主要措施。

风速是最主要的气象要素因子,其关联度达 0.7891。楚雄市风速的多年平均为 1.4m/s。楚雄的风总体属于干燥型,只有每年雨季(5~10 月)的东南风、西南风是湿润的。楚雄位于滇中干旱坝子内,不利于风的传播和大气污染物的扩散(见图 3),在一定程度上加重了热岛效应。楚雄冬季的静风频率为 25.1%,有利于城市热岛的形成,导致楚雄市冬季热岛强度较强,这与楚雄热岛强度特征密切吻合。

日照时数是仅次于风速的主要气象要素因子,其关联度达 0.7487。楚雄的日照时数多年平均达 2017h。由于楚雄地处云贵高原滇中干旱区,虽然城市日照少于郊区(南华),但城市下垫面(由于城市化,大量的水泥、沥青地面远高于郊区)吸收的辐射能量却远高于郊区,使其昼夜温差变化大于郊区。辐射能量在城市底层的郁结和释放也是其城市热岛形成的一个重要因子。

气象观测表明,楚雄的总云量多年平均只有 0.6 层,日照时数达 1710h,年降水量为 929.6mm,加上它处于西南季风与东南季风的汇合区,从外地带来了大量的温室气体 SO₂,且楚雄处于一个高含 CO₂ 气藏地区^[20],这样大气中温室气体聚积,风不利于流动,造成吸热多而散热少,热岛效应加剧。

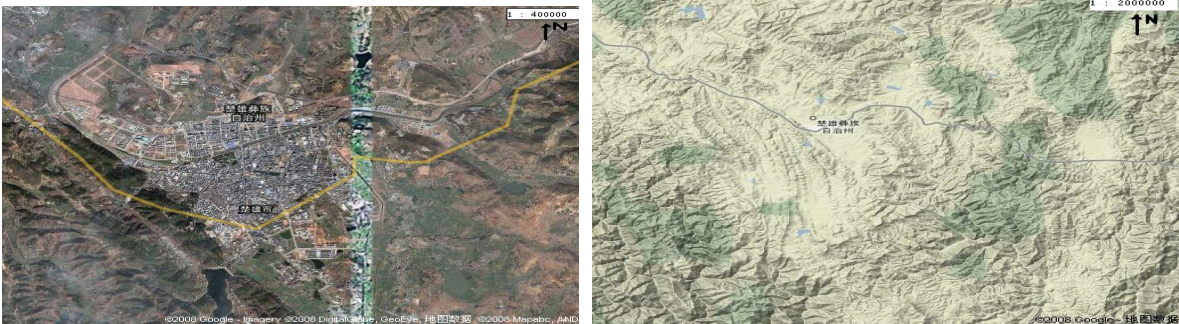


图 3 楚雄城区卫星影像图

Fig.3 Satellite imagery of metropolitan area of Chuxiong

4.2 分时段分析

在分析处理时,发现影响楚雄城市热岛效应因子的关联度存在年限的差异(表 2)。

从表 2 可以看出,在 1981–1991 年这一时段,人口密度是最主要的影响因子,其关联度达到 0.8689。机动车数量(0.8578)、耗电量(0.8569)、城市绿化覆盖率(0.8497)等人为热因子紧随其后。风速(0.8614)是最主要的气象要素。还可以看出,在这阶段人为热因子所起作用要整体大于气象要素因子的作用。这与楚雄在改革开放初期的经济社会大发展相吻合,随着经济的发展和地位的变化,楚雄市于 1983 年撤县建市,之后保持经济的快速发展,社会各方面都取得显著进步。全社会的经济发展引起的能源消耗增加,居民生活水平提高带来物质资料的大量使用以及大量基础设施的建设等等,加剧了楚雄城市热岛效应。

从表 2 也可以看出,在 1992–2002 年这一时段,机动车数量是最主要的影响因子,其关联度达 0.8756,人口密度(0.8645)、耗电量(0.7666)等人为热因子紧随其后。而风速(0.7806)是主要的气象要素因子。进一步可以看出,在这阶段仍然是人为热要素的作用要比气象要素的作用大,尤其表现在楚雄于 1992 年建立经济技术开发区,城市人口迅速增加和经济社会快速发展带来的公共汽车和私家车的数量急剧增多,给热岛的加剧起到了推动作用。以水泥地和沥青路面为主的楚雄道路在白天吸收大量太阳辐射,而晚间就散发在空气中,增加了城区的热源。并且以石油气为主要燃料和尾气排放

表 2 楚雄 1981–2007 年三时段热岛因子关联度

Tab.2 The correlation of heat island from 1981 to 2007 in Chuxiong city

1981-1991 年		1992-2002 年		2003-2007 年	
影响因子	关联度	影响因子	关联度	影响因子	关联度
人口密度	0.8689	机动车数量	0.8756	人口密度	0.8718
机动车数量	0.8578	人口密度	0.8645	耗电量	0.8506
耗电量	0.8569	耗电量	0.8633	机动车数量	0.8025
城市绿化覆盖率	0.8497	风速	0.7806	日照时数	0.7860
风速	0.8014	城市绿化覆盖率	0.7801	风速	0.7853
日照时数	0.7820	相对湿度	0.6781	城市绿化覆盖率	0.7267
相对湿度	0.6365	日照时数	0.6698	相对湿度	0.7256
总云量	0.6217	总云量	0.6566	总云量	0.6902

资料来源:楚雄市年鉴(1994–2007)、鹿城镇统计站。

标准较低,也刺激了热岛强度的增强。这一时段各因子共同推动楚雄热岛强度的加剧,使其达到历史最高的一个阶段。所以这与楚雄在 20 世纪末的城市化迅速加快是密切联系的。

从表 2 还可看出,2003–2007 年,人口密度是最主要的影响因子,其关联度达 0.8718。耗电量(0.8506)、机动车数量(0.8025)紧随其后。而日照时数(0.7860)是主要的气象要素因子。进一步可看出,在这阶段人为热因子的影响作用也要比气象要素的影响作用突出,这与楚雄在 21 世纪的城市建设与可持续发展道路的选择是分不开的,经济社会的快速稳定持续发展,让人为热因子居于主导地位。人口密度的增大、私家车的增加、工厂的运营等消耗了大量的能源,工业园区的建立、人民生活水平的提高使用了大量的电力等,使楚雄热岛强度出现增强的趋势。

4.3 楚雄城市热岛强度变化趋势预测

把所选的 8 项因子录入到灰色分析软件,利用灰色系统协调预测模型的数学原理,自动生成所需数据,即楚雄城市热岛强度的拟合值(表 3 和图 4)。

在运用了灰色系统协调预测模型预测,并进行残差检验后,获得楚雄未来几年的城市热岛强度为:2008 年的 1.9℃,2009 年的 1.9℃,2010 年的 2.1℃,2011 年的 2.2℃。由此可以看出,楚雄的城市热岛强度变化在未来几年将会有增强的趋势。可以想象,在全球气候变暖趋势的大背景下,加上楚雄所处地区为云贵高原滇中干旱区,其所受影响相对较为明显;且受到复杂的气象、地理因素的作用,云量少、日照强、空气中 CO₂ 和 SO₂ 等温室气体含量偏多、湿度小等因素的综合影响,未来楚雄的热岛效应还将更为明显。同时,楚雄的经济发展趋势也将使热岛效应进一步加剧。比如,楚雄中期发展规划中就指出,要加快新型工业化进程,落实“工业强州”的决策部署^[22]。由此可知,处在工业化前、中期的楚雄,在未来仍会加大工业的发展力度,能源消耗将进一步增大、城市化的进程必将加快等等都会使机动车数量、耗电量、人口密度等人为热因子和城市化因子成为影响楚雄未来热岛增强的主要关联因子。

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 采用楚雄与南华最近 26 年的气温值,经过

表 3 1981–2007 年楚雄城市热岛效应的拟合^[21]
Tab.3 The fitting of heat island from 1981 to 2007 in Chuxiong city

年份	实测值	拟合值	绝对误差	相对误差(%)	年份	实测值	拟合值	绝对误差	相对误差(%)
1981	0.7	0.7261	-0.0261	-3.7286	1994	1.9	1.8970	0.0030	0.1579
1982	0.7	0.7331	-0.0331	-4.7286	1995	1.8	1.8852	-0.0852	-4.7330
1983	0.7	0.7449	-0.0449	-6.4143	1996	2.0	1.9132	0.0868	4.3400
1984	0.6	0.7903	-0.1903	-3.1717	1997	2.2	2.0054	0.1946	8.8455
1985	0.6	0.6763	-0.0763	-1.2717	1998	2.3	2.2260	0.0740	3.2174
1986	1.0	0.6434	0.3566	35.6600	1999	2.1	2.2410	-0.1410	-6.7143
1987	1.6	1.0673	0.5327	33.2938	2000	2.0	1.9762	0.0238	1.1900
1988	1.5	1.5873	-0.0873	-5.8200	2001	1.9	2.0168	-0.1168	-6.1474
1989	1.5	1.5150	-0.0150	-1.0000	2002	2.1	1.9180	0.1820	8.6667
1990	1.4	1.4428	0.0428	3.0571	2003	1.7	1.8664	-0.1664	-9.7882
1991	1.5	1.5050	-0.0050	-0.3333	2004	1.3	1.3592	-0.0592	-4.5539
1992	1.5	1.5019	-0.0019	-0.1267	2005	1.5	1.6071	-0.1071	-7.1400
1993	1.9	1.5359	0.3641	19.1632	2006	1.6	1.6936	-0.0936	-5.8500

资料来源:楚雄市年鉴(1994–2007 年)、鹿城镇统计站。

比较计算,发现楚雄的城市热岛强度平均为 1.5℃。

(2) 通过灰色关联度的计算,发现 26 年来楚雄城市热岛效应因子关联度的排序为:人口密度>耗电量>机动车数量>风速>城市绿化覆盖率>日照时数>相对湿度>总云量。

(3) 由灰色关联度分析,表明人为热因子占据了主导地位。这也与相应时期的城市化和工业化进程较为一致。所以整体上来看,影响楚雄城市热岛效应的因子主要是人为热因子,这与其它地区的研究是相符的^[2-7,11-18]。

(4) 通过灰色系统协调预测模型预测,认为今后五年楚雄城市热岛强度有增强趋势。

5.2 建议

由于热岛效应的影响,使楚雄市暖冬明显,人口密度、机动车数量和耗电量迅速增长,城区气温长期高于郊区,在静风状态下,形成由郊外吹向市中心的局域风,使迁建于郊区排放有害气体的企业,对城区产生新的污染,造成城区大气质量下降。为了尽量消除或减缓“城市热岛效应”影响,建议:

(1) 提倡公共交通,控制私人小汽车数量,减少能源消耗和汽车尾气排放。逐步用清洁液化气取代石油作为市内公交车和出租车的主燃料,用电动车代替以汽油为动力的摩托车。

(2) 选择合理的城市规划结构。注重城市建设

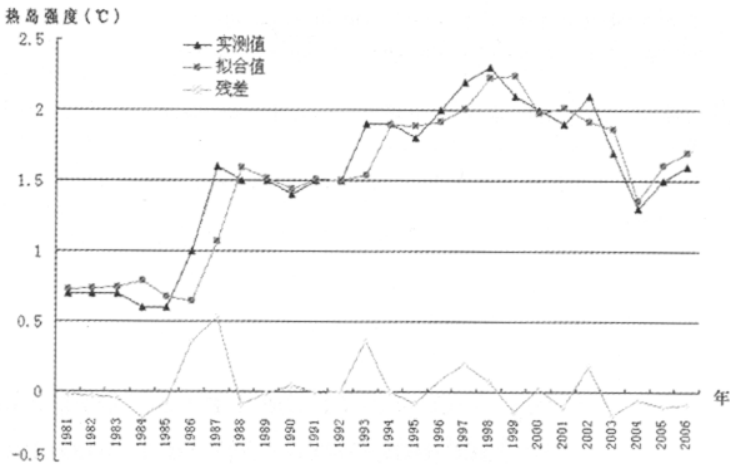


图 4 楚雄热岛强度的拟合与检验

Fig.4 The fitting and test of heat island strength in Chuxiong city

的合理布局,加大空气流动空间,尽量使主干道与冬季盛行风的方向一致。并且应在规划时,控制市区人口密度与建筑密度。

(3) 加强城市绿地系统建设。以改善环境为主,结合河流整治,重点建设小绿地,适当发展居住区绿地,结合龙川江、青龙河防洪堤建设,在两侧开设滨江绿地,在工业区与居民区之间穿插绿化带,在行政中心内结合行政广场建设适宜活动的公共绿地,在城市交通干道两侧建设绿化带和工业区的防护绿地。同时,向郊区疏散工厂、减少人为热源以及适时向路面喷洒清洁用水等措施来调节城市气温。

(4) 加大宣传力度,增强市民环保节能意识,加强节约型社会的建设力度,力争减少楚雄热岛效应强度。

参考文献

[1] 郑艳,潘家华,吴向阳. 影响北京城市的主要社会经济因子分析. 气候变化研究进展,2006,2(4):188~192.

[2] Chung Uran, Jaeyeon Choi, Jin I Yun. Urbanization effect on the observed change in mean monthly temperatures between 1951–1980 and 1971–2000 in Korea. Climate Change, 2004, 6:127~136.

[3] Bohm Reinhard. Urban bias temperature time series: A case study for the city of Vienna, Austria. Climate Change, 1998,38:113~128.

[4] King Vereda J, Cynthia Davis. Isolating and managing urban islands in selected southeastern cities. 2002, www.ute.scsu.edu/Research/Reports/2003/heat-island.htm.

[5] 孙飒梅,卢昌义. 遥感监测城市热岛强度及其作为生态监测指标的探讨. 厦门大学学报(自然科学版),2002,41(1):66~70.

[6] 林学椿,于淑秋,唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究. 自然科学进展,2005,15(7):882~886.

[7] Weng Qiao, Yang Shihong. Managing the thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. Journal of Environmental Management, 2004, (70):145 ~ 156.

[8] 何萍,李宏波,束炯 等. 楚雄市城市气候特征分析. 地理学报,2003,58(5):712~720.

[9] 中国宏观数据挖掘分析系统. <http://number.cnki.net/cyfd/index.aspx>.

[10] 王学萌,张继忠,王荣. 灰色系统分析及实用计算程序. 华中科技大学出版社,2001,1~64.

[11] 延昊, 邓莲堂. 利用遥感地表参数分析上海市的热岛效应及治理对策. 热带气象学报,2004,20(5):549~585.

[12] 赵俊华. 城市热岛的遥感研究. 城市环境与城市生态, 1994,7(4):40~43.

[13] 张保安, 钱公望. 城市热岛效应研究进展. 四川环境, 2007,26(2):88~91.

[14] 肖荣波,欧阳志云 等. 城市热岛时空特征及其影响因素. 气象科学,2007,27(2):230~235.

[15] 郑祚芳,郑艳,李青春. 30 年来城市化进程对北京区域气温的影响. 中国生态农业学报,2007,15(4):26~29.

[16] 陈志,俞炳丰. 城市热岛效应的灰色评价与预测. 西安交通大学学报,2004,38(9):985~988.

[17] 赵志敏. 城市热岛效应因子的对比分析及对策——以乌鲁木齐市为例. 环境污染与防治,2007,(8):51~60.

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

[19] 张蕾. 不容忽视的城市“热岛效应”. http://www.dzwww.com/luqing/zhishihezi/200308/t20030822_402099.htm. 2006,8.

[20] 戚厚发, 戴金星. 我国高含二氧化碳气藏的分布及其成因探讨. 石油勘探与开发,1981,(2).

[21] 楚雄市年鉴(1994—2007),鹿城镇统计站.

[22] 楚雄州人民政府. 楚雄州国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要,2006.

Grey Analysis of the Urban Heat Island Effect Factors of the Medium-sized City of Chuxiong on Yunnan Plateau

HE Ping¹, CHEN Hui¹, LI Hongbo², XI Wujun¹

(1. Department of Geography, Chuxiong Normal College, Chuxiong 675000, China;
2. Chuxiong Meteorological Observatory, Chuxiong 675000, China)

Abstract: On the basis of the difference in temperature of the urban and the suburban areas from Nanhua Meteorological Station covering approximately 30 years, eight synthesized indexes were selected as the influencing factors of Chuxiong’s urban heat-island effects. The contribution level of the factors influencing the urban heat island effect of Chuxiong was analyzed by the grey relativity analysis method. The results show that density of population and electric power consumption are the main artificial factors for the formation of the urban heat island effect of Chuxiong, while the wind velocity and hours of sunshine are the main meteorological factors affecting the urban heat island effect of Chuxiong. The prediction results of the systematic coordinate gray prediction model indicate that there is an increasing trend of the urban heat island effect in Chuxiong in the coming five years.

Key words: heat island effect; urban heat-island effect factors; grey relativity; Chuxiong