## 国自然基金结题报告参考

### 城市植被对热岛效应的生态响应研究——以重庆市为例



本项目结合3S 技术和野外调查，以多源遥感影像数据、气象台站监测数据和实地测量数据，提取了研究区近20年来的地表热场和植被的时空动态变化信息，分析了两者的相关性，并在城乡梯度上研究了地表植被物候对城市热岛的生态响应过程。研究发现：

1. 地表植被持续减少，植被斑块逐渐被城市开发活动侵占和蚕食，破碎化和孤立化趋势明显；
2. 地表热岛的空间格局经历了集聚→较集聚→集聚的演变过程，老城区的热岛强度明显减弱，外围新兴城市组团以及沿长江和嘉陵江的热岛强度显著增加；
3. 不同方向上的地表温度（LST）的城乡梯度分布并非呈现城市→乡村的单调递减过程；
4. 地表相对热岛强度（RHII）的增强趋势显著，形成热岛强度时空变化的“反城乡梯度”现象；
5. LST和RHII分别在高程和地形起伏度两个梯度上呈非单调下降趋势，而表现为显著的二次多项式函数关系；、
6. 当人口密度增加1000人•km-2时，RHII上升约0.0989℃；单位面积GDP在空间上的分布与LST的空间分布有更高的吻合度，1km2土地产出的GDP每增加1000万元，RHII上升约0.0814℃；
7. LST与NDVI之间没有显著的线性关系，但是在120m粒度水平上相关性最强；
8. 城市热岛对地表植被的生态过程影响通常在6km范围内，对始绿期（SOS）和生长季节长度（GSL）的影响并非线性；然而对终绿期（EOS）的推后作用非常显著，并且呈现线性关系EOS=1.7522\*LST-212.7 (R2=0.9551)，城市热岛导致NDVI年内极差显著下降，也呈线性关系NDVIamp=-0.0437\*LST+13.921 (R2=0.9429)；
9. 各坡向的平均地表温度有显著的差异，但是在同一种用地内，各坡向的平均地表温度没有显著差异，坡向对城市地表温度的影响相比强烈的城市人为活动产生的环境效应而言是微弱的；
10. 近10年来，在三峡库区植被的生长活动持续增加，但是气温和降雨对其影响较小。

本项目的研究成果对缓解城市热岛和优化城市生态系统提供理论支撑，为城市规划用地安排、绿地系统规划以及城市生态系统健康调控有重要的实践指导价值。

### 绿色景观格局对城市热环境影响的定量研究



城市热量过度积聚作为城市化产生的微观环境异常问题，严重阻碍着城市的发展和宜居。城市中唯一生产者绿色景观的热调节服务功能研究是当前城市生态学领域的重要研究内容。

本项目从人地系统互动的角度出发，依据格局-过程-功能的研究范式，以东北典型园林城市-长春市的绿色景观作为研究对象，基于构建的城市绿色景观概念框架，运用格网技术和半变异函数分析了城市绿色景观的格局特征，综合利用“植被-不透水面-土壤”模型，具有明确物理意义的线性光谱混合模型和实测数据等，获取了具有代表性的植被参数，深入分析了城市绿色景观的植被特征。

同时，开展了城市化过程中的热环境时空态势研究，并从可控因子出发，基于主成分分析和空间回归分析探讨了城市热环境影响因子的贡献率，定量分析了绿色景观对城市热环境的影响，确定了绿色景观对地表温度影响的斑块面积和影响距离突变点。

城市绿色景观格局的时空变化过程研究发现长春市绿色景观的格局特点是由中心点向外圆环状辐射，并且中心面积逐渐扩大连接成条带状。但是绿地属于多样性单中心的分布格局，这直接影响其生态服务功能的实现。

城市热环境的时空态势及影响因素研究发现，长春市地表温度在空间上表现出不对称性，与城市扩展方向保持一致，而且随着城市不透水面面积和道路密度的增加，其高温区有增加的态势，城市绿地和水体对这种趋势具有抑制作用。

城市绿色景观变化对地表温度影响的研究发现，绿色景观的地表温度较低，增加斑块形状复杂度，有利于绿色景观与周边景观的热量交换，缓解城市热岛效应。不同类型和组成的绿色景观因植被覆盖的不同降温功能差异显著。研究成果丰富了我国城市热环境与绿色系统研究的理论及方法体系，为城市绿色景观变化的热调节服务功能研究提供了科学参考，在优化绿色景观格局和城市宜居性方面具有实践意义。

### 城市湿地变化及其冷湿效应研究



在全球气候变化和快速城市化的双重胁迫下，城市热岛效应日益突出，给城市人居环境带来了许多不利影响。作为缓解城市热岛效应的重要对策之一，城市湿地的冷湿效应得到了人们越来越多的关注。本项目综合运用遥感反演、地面气象观测、WRF数值模拟、GIS空间分析等方法，重点探讨了城市湿地变化及其冷湿效应的内部响应机制。

主要研究成果包括：

（1）以西溪湿地为例，利用遥感和GIS空间分析技术，探讨了长时间序列中湿地区域城市化过程及其局地小气候响应机制。

（2）综合运用遥感、地表气象观测、模型模拟等方法，全面探讨了城市湿地局地小气候效应的类型、季节变化规律、日变化规律、影响范围和幅度等重要问题。

（3）综合运用遥感、地表气象观测、数理建模等方法，从季节因素、气象条件、湿地个体因素等方面入手，全面探讨了城市湿地局地小气候效应的影响机制。

（4）利用耦合城市冠层模式（UCM）的WRF模式进行了杭州城市气候的模拟试验，探讨了湿地城市化对城市昼夜热胁迫的影响。

（5）分析了杭州市城市热环境的时空演化格局，探讨了不透水面盖度（NDISI）、植被（NDVI）、水体（MNDWI）等城市地表参数与地表温度的关系，进而提出了城市热岛缓解的策略。

本项目成果的重要意义体现在：

1. 在理论上，本项目深入探讨了全球气候变化和快速城市化双重胁迫下城市湿地变化及其冷湿效应的内部响应机理，分析了城市湿地与城市热环境的时空演化过程及其耦合机制，大大拓展了城市湿地生态系统服务研究的思路，也为城市热岛效应的缓解提供了科学依据。
2. 在方法上。通过对遥感反演、数值模型模拟和实地监测这三类主要的城市湿地研究方法的比较、验证与有机整合，实现了各类方法的优势互补，为后续研究提供了宝贵的参考依据。
3. 现实意义方面，本研究能够为城市湿地空间优化与布局提供科学准则和依据，这对于缓解城市热岛效应，改善城市人居环境具有重要的现实意义。

### 快速城市化区域水体景观格局变化及其冷岛效应研究



以1995、2000、2005、2009、2013年Landsat和SPOT遥感影像提取广州市天河区的闭合城市水体，获取其空间信息特征和景观指数。

发现近20年快速城市化过程中，水体的数量、面积及其占研究区总面积比例均减少，数量和面积减少率分别为50.56%和69.20%。以水体面积、数量和景观指数为指标，发现水体格局呈破碎化变化，单个面积大的水体的总面积在减少，单个面积小的水体的总量在减少。

将天河区以两种方式划分为南北和方格梯度样带区，分别统计各梯度样带区的景观指数变化，发现水体呈离散、破碎分布，其变化剧烈程度自西南向东北递减。水体变化剧烈及形状规整样带区为受城市化驱动影响较强区域，水体景观格局受城市地形、城市道路、人口及经济增长、城市建设的影响。

城市化驱动下城市中以不透水面为主的建设用地热力景观增多，大量侵占水体、植被等冷岛景观，加剧城市热岛效应。因此以2000、2005、2009、2013年Landsat遥感影像反演天河区地表温度，获取其热岛和冷岛强度的空间分布，叠加城市建筑密度、土地利用、水体景观空间分布。

发现冷岛多分布在建筑低密度区，热岛多分布在建筑中-高密度区；水体与城市冷岛分布具空间格局高度一致性，且集中于冷岛强度为-3 ~ 0℃的区间。提取具冷岛效应的水体景观的冷岛强度、辐射距离、辐射范围，发现各期水体冷岛强度在-1.5 ~ -3.0℃左右，冷岛辐射距离在100~150 m左右，辐射范围在13~20 hm2左右；各期冷岛强度弱的水体均位于天河区中部和南部高程较低、地势较平坦、周边建设用地较多、距离主干道较近地区，这些地区也是城市化程度较高、热岛效应较强区域。面积越大、周长越长、形状趋于圆形的水体，其冷岛强度越强，所辐射距离和范围也越大。

以大学校园和城中村的典型水体为研究样区布点，使用气温-湿度监测仪进行7天连续记录，并以此为ENVI-met模拟的基础数据。发现城市水体具冷岛效应；城市化程度较低、建筑密度较小的区域，水体气温值最低；在城市化程度较高、建筑密度较大的区域，受汽车、空调等人类活动热源的干扰，水体或靠近水体区域不一定出现最低气温值，但比同一位置的其他下垫面气温值低。水体面积、周长及形状特征只是影响冷岛强度的其中原因，水温、水体体积、风场特性、土地利用类型组成等其它水体特征或环境特征因素影响水体冷岛强度。

### 基于遥感与数值模拟交叉验证的城市公园冷岛效应影响机制研究——以深圳为例



大量研究表明城市公园存在着明显的“公园冷岛效应”，对减缓城市热岛具有显著的积极作用。然而，城市公园的位置及设计参数在多大程度上影响着“公园冷岛效应”的强度及其扩散范围，还没有得到深入可靠的分析。

针对现有研究方法的不足，本研究利用长时间序列热红外遥感数据建立公园冷岛效应及其影响因子的统计模型，同时采用数值模式模拟方法进行交叉验证，分析深圳市湿热高密的建成环境下不同公园设计参数对“公园冷岛效应”的影响程度对比，结果表明：

1. 一般密集建成环境下的公园内外部温度更低一些，除非其内部全为裸地或草坪；
2. 而随着乔木面积比的增加，公园内外部的降温幅度相差在10倍左右，超过80%的乔木面积比，公园内外降温幅度均开始下降；
3. 公园内部围合式乔木分布对公园内外部降温效果最佳。该研究方法及研究成果可直接用于评价和指导城市规划设计，对于优化城市公园规划选址及景观设计，改善城市热环境具有重要的理论和现实意义。

### 城市化影响热浪气候变化的归因研究



全球变暖背景下高温热浪事件趋频，城市因人口、资源聚集且叠加自身气候效应而面临更大的热浪灾害风险。研究城市化之于热浪气候变化的影响，可为城市化适应气候变化及可持续发展充实科学基础。项目旨在定量评估中国城市化对极端气温事件的影响并揭示相应物理机制。按计划开展如下研究。 （a）城市化气候效应的观测统计归因分析 - 基于均一化的中国气温观测序列集，结合遥感城市面积百分比变化及改进的OMR等方法，重新评估了中国城市化对观测气温升高趋势的贡献（区域平均而言约4%）；指出城市化效应在一些极端事件中更值得关注。就2013年夏华东极端热浪的统计归因分析表明，类似事件在工业化前的平均气候状态下几无可能发生；经历了近百年全球变暖的背景下，其发生概率达百年一遇；考虑叠加大洋多年代际振荡达最暖位相的情况，该概率达42年一遇；城市化则进一步促进之达30-40年一遇。 （b）城市化影响热浪的机制模拟及气候变化背景归因 - 运用高分辨区域气候模拟揭示了城市热岛和热浪的正反馈机制。就2013年夏季华东热浪而言，城市日均气温额外增1.5℃，夜间增温更甚；热浪加强城市热岛，反之亦然，热浪期间异常的地面气象过程是导致两者正反馈的关键。基于观测和CMIP5多模式多成员气候模拟，利用最优指纹法分析发现，近50年中国东部典型极端冷暖事件频数变化的主要因素可归于大气温室气体浓度增加。 （c）相关基础研究 - 发展了一套均一化的中国百年气温序列集，为研究区域长期气候变化及其中的城市化效应提供了新的资料基础。发展了针对逐日气象序列的均一化新方法。结合观测和模拟分析揭示了大规模城市化不利于北京城市及其下风向地区降水。指出OMR方法的缺陷导致以往研究大多高估了气温日较差（DTR）变化中的城市化效应。项目后期拓展出更多相关研究话题，如城市化进程中的霾气候预测问题、热浪所致生产率受损的世界格局及未来情景等。 发表论文13篇，包括9篇SCI，Yan et al（2016）入ACCR期刊“Most Cited”之列。培养博士5名，其中王君晋升副研。

### 郑州市绿色空间布局对城市微气候的影响机制



城市化过程改变了气候，出现了城市气候问题。密集的高楼进一步加剧了这种趋势，故本研究以三维城市的微气候为研究对象。研究中的微气候选取了空气温度，空气湿度、风速、风向和太阳辐射5个指标。考虑微气候变化，研究中采用了城市、街区和不同建筑布局三个尺度，分别采用传感器、手持气象仪器和监测站三种设备，在不同季节进行了观测。研究了城市不同位置、不同楼层高度、不同布局小区的微气候的变化情况，也对某些小区在有风和无风状态下的情况，进行了调查。

结果表明，城市尺度上，影响郑州市微气候的主要因素包括距离市中心的距离、45°方向粗糙度、楼层高度和绿地面积；

在街区尺度上，影响温度、湿度的因素包括，天空视域因子（SVF）、三维绿量和绿色空间的布局；

在建筑布局尺度上，影响微气候的因素包括，地表的不透水比例、建筑布局、太阳辐射和风。研究结果将为城市的大小和城市的高度控制提供依据。

### 城区公园绿地外部降温模型及其热岛效应的缓解机理研究



城区公园绿地对外部空间的降温效应十分显著，能有效缓解城市热岛，但其对外部空间的降温规律和机理尚不清楚。针对上述问题，本项目选取广州城区12个公园绿地作为研究对象，综合遥感和实测手段两种主流方法的优势，研究公园绿地对外部空间的降温规律，分析冠层遮阴、蒸散作用与绿地降温的关系，在此基础上基于能量传输模型构建具有物理意义的绿地系统降温模型，并进一步结合地面3D激光扫描仪，获取公园绿地二三维特征参数，深入分析公园绿地特征参数与其外部降温效应的内在关系。研究发现：

1. 在一定范围内，公园周边温度与公园边界点温度的温差随着其远离公园边界距离的增大而增加，且增长趋势逐渐减缓，近似于一条过原点的三次多项式；
2. **四种植被类型**ET和LAI 均与其降温作用有着明显的相关关系.但与其他三种植被类型不同，乔灌草复合结构类型呈现出 “U型”的EI与降温关系以及倒“U”型的LAI与降温关系，表明其降温作用不再是不同单一类型（例如乔木、草地）降温作用的简单叠加；
3. 基于能量传输模型构建的草地/灌木的单层降温模型和基于能量传输模型的乔木/复合林地的双层降温模型模拟效果良好，前者的模拟精度R2为0.8176，平均误差为5.5%，均方根误差为1.3K，后者的R2为0.9392，平均误差为3.4%，均方根误差为2.1K。
4. 公园对外部的最大降温温差与公园的乔木面积、灌木面积、水体面积、生物量呈显著的正相关关系，与LSI呈显著的负相关关系，而与草地面积和长宽比相关度不显著。利用3D激光扫描仪辅助开展植被三维生物量，将遥感技术与实地观测结合研究公园绿地斑块中观尺度的降温效应，在华南地区乃至我国尚属首例。从绿地降温的根本原因（冠层遮阴作用和蒸散作用）入手，综合考虑能量传输规律和风力作用，探索性构建具有物理意义的公园绿地降温模型，在国内外绿地降温研究中是一个新的尝试，研究成果具有重大的创新性和研究意义。

### 湿地对北京城市热岛效应的缓解作用及其时空特征



城市热岛效应是人为影响气候最显著的特征之一。热岛引起地表温度的升高和水分改变，对城市生态系统的物质能量流动和城市生态系统结构与功能必将产生深远的影响。本项目采用了遥感数据反演、GIS空间分析以及基于观测数据的统计分析对城市热岛效应进行了评估。结果显示：

北京市郊区农田的夜间大气和地表热岛效应具有显著的季节变化特征，其最大值出现在冬季。山区林地站点夜间热岛效应的季节变化可忽略不计。城区长波辐射降温的低有效性是夜间地表热岛效应的主要原因。除人为热源释放外，热岛效应更多的受城市设施的材料对能量日间储存夜间释放的影响。城市中的自然生态系统或自然—人工生态系统可通过改善城市下垫面的热属性，对热岛效应有一定的缓解作用。

### 城市三维景观格局与热舒适度关联分析：响应与调控



城市化的推进导致城市地区的景观格局发生了深刻变化，形成热岛效应并影响人群健康。明确城市的景观格局与热环境之间的响应关系，对于深入理解热环境的形成及其缓解机制具有重要意义，也是本研究旨在解决的主要问题。在前期数据和经验积累的基础上，通过执行期间的持续研究，产生如下研究成果：

1. 构建了用于评估到达城市表面太阳入射辐射能量密度的景观指数，该指数可用于分析在城市发展过程中建筑景观格局变化所导致的太阳入射辐射能量在城市表面的重新分配，可用于指导绿地水体等景观组分的布设；
2. 在街区尺度上初步确定了绿地覆盖率增幅与近地表气温降幅之间的非线性关系，可用于确定在街区尺度上绿地布设的最低比例；
3. 对城市热环境研究中常用的指数（天空可视角）进行改进，形成具有明确生态环境意义的新型指数（太阳可视角），该指数可用于分析不同景观组合内的热环境或者热舒适的优劣程度；
4. 发展了一个基于城市功能分区的热环境调节的分析框架。该框架适用于不同类型城市，它以同一类型功能区内热环境表现较为优秀的斑块为样板，对于表现较差的斑块进行适当的景观格局优化，最终达到在整个城市尺度上的热环境的缓解。本课题完成了各项研究任务并开展了深入的国内外合作交流，在项目资助下发表英文论文5篇，中文论文1篇。

### 城市绿地系统降低夏季热岛的时空模拟与布局优化研究



随着全球气候变暖和城市化，热岛问题日益严重，成为严重影响城市生态和人类健康的国际前沿问题，如何利用城市绿地系统降低热岛，提高城市夏季人体舒适度，提升城市环境的健康效应，成为重要的科学问题。本项目以天津、北京、南京特大城市研究成果为基础，探索城市绿地系统降低夏季热岛的时空模拟与布局优化。

研究发现：

①绿地降低热岛具有随时间变化的**空间尺度特征**，日间宏观敏感尺度半径250m，微观敏感半径尺度为15m，夜晚敏感尺度半径为60m。

②**构建了绿地降低热岛**的复杂适应性系统的**微观基本行为模型和整体性模型**，模型与城市建筑、水体等要素相适应耦合，遵循尺度敏感性规律发挥最大的降温效果原则。

③**随着尺度分辨率的增大**地表温度与POI点密度的相关性在逐渐升高；气温与MNDWI、绿地率、建筑密度呈正相关关系，与NDVI、道路密度、容积率、POI点密度呈负相关关系；在空间分辨率为90m时，地表温度与平均气温具有较强线性关系。

④最高热岛升温与特大城市热岛强度曲线相似性和变化率**都与国家城镇化率的变化相一致**，主要受国家城市化空间格局影响；最高热岛升温采用灰色预测模型具有较高的模拟精度，热岛升温总量预测采用时间和中国城市化率的复合模型具有较高的精度。

⑤城市热岛加剧呼吸系统疾病死亡率，在景观格局上呈现：低等级影响区连通性较高、空间相对集中，高等级影响区呈组团状分布；整体景观特征呈现破碎化和间断分布，影响区在城市中心分布较为集中。

⑥以历史惯性模式的优势驱动力的空间特征效应为基础，依靠外生发展模式的驱动力空间效应，使得因城市集聚带来的生态安全问题得以分散缓解。

⑦公园可达面积比与公园服务人口两个指标，可作为评价城市公园整体可达性与服务状况的指标。本项目为引导形成科学的生态城市结构和形态、发挥生态服务功能提供理论基础，对研究区域与全球气候变化具有重要的理论意义，为健康城市和气候适应性城市规划提供可操作的布局参数体系。

### 城市森林景观格局对城市热舒适度的调节作用及其空间效应研究

我国当前高温热浪频发，明确城市森林景观格局热舒适度调节的潜力及其空间调控机制, 是提高城市人居热环境质量的重要前提。本研究历时3年，通过持续研究解决以下问题：

1. 近年来中国城市热环境与居民热舒适度演变规律如何
2. 城市森林在调节城市热环境与舒适度中的潜力及其调节机制等，

主要研究成果如下：

1. 明确中国近30年主要城市夏季热舒适度的时空演变特征；并进一步重点探明了1979-2016长时间序列长春城市热环境与热舒适度的演变规律；
2. 明确了不同城市森林覆盖度下城市居民热舒适度差异，提出了影响城市热舒适度的关键群落结构指标，构建了城市森林群落结构与城市热舒适度之间的定量表达模型，探明了基于热舒适度调节的城市森林群落关键阈值；
3. 定量刻画了城市森林与城市居民热舒适度空间格局；探讨城市森林景观格局与城市热环境与热舒适度之间的定量关系，筛选出热环境调节的关键景观格局指标，构建定量关系模型，揭示了城市森林景观格局热环境调节的尺度依赖性规律，阐明了城市森林热环境调节的作用机制。

按照项目研究计划和目标，本课题完成了各项研究任务并开展了广泛深入的国内外合作交流，基于研究成果，已发表SCI论文7篇；申报专利2 项，授权软件著作权1项；获吉林省自然科学一等奖1项；项目负责人当选为中国卓越期刊Journal of Forestry Research编委，并入选中国科学院青年创新促进会；培养博士研究生2名。

### 冷却屋顶对中国城市热岛的缓解效应研究



当前至2050年，中国面临着大规模的城市土地扩张，在土地利用大规模变化之前研究减缓城市高温负面影响的措施非常重要，有助于确立城市生态环境可持续化发展的正确途径。

因此，本项目基于观测以及模拟的方法开展了中国典型城市及城市群冷却屋顶对高温的缓解效应研究。 三种常见的性价比较高的高反照率屋顶材料自2017年开始置放于南京信息工程大学文德楼顶，四年的观测结果表明：

铝箔自粘SBS沥青防水卷材夏季高温峰值期间降温效果最好的，对于南京地区颗粒物污染较重以及春夏季降水较多的情况，该种材料能较好的适应。

白色TPO膜相较白色丙烯酸弹性涂料能更好的适应颗粒物沉降的影响，衰退速度慢，有更好的降温效应。由于中国城市大气中颗粒物沉降较多，白色丙烯酸弹性涂料迅速变色，其有降温效果的寿命只有三个月。

本项目基于数值模拟方法开展了更多种冷却屋顶，以及更多不同气候背景的城市及城市群的研究。对于热带季风区，超材料屋顶降温能力也最强，其次为高反照屋顶和太阳能屋顶。三种屋顶可使城区最多降温1.2℃，0.8℃和0.4℃。对于亚热带季风区，超材料屋顶降温能力优于高反照屋顶，太阳能屋顶降温能力最弱。长三角、成渝城市带和长江中游城市带超材料屋顶使城区最多降温1.4℃，0.6℃和1.2℃；高反照屋顶最多降温1℃，0.5℃和1.2℃；太阳能屋顶最多降温0.8℃，0.2℃和1.0℃。温带季风区超材料屋顶降温能力依旧最好，高反照和太阳能屋顶差异不大。

基于WRF/URBAN数值模拟方法，搭建了不同种冷却屋顶的冷却率-能源节约-经济效益一体化的计算模型。太阳能板的发电效率与城市密集程度呈负相关。在江苏省2017年7月的高温热浪天气背景下，低密度住宅区和高密度住宅区太阳能板的发电量均能很好地弥补空调能耗的发电量。而商业金融区太阳能发电量仅能抵偿空调能耗的52%~57%。 当前，国家提出了2030“碳达峰”，2060“碳中和”的目标，在此背景下，预计该研究的结果为缓解气候变化带来负面效应，城市生态环境的可持续发展，城市生态恢复力以及城市规划建设政策的制定提供理论依据。

### 基于空气质量、温湿效应的城市湖泊湿地生态环境效应研究



项目以武汉城市湖泊湿地为研究对象，基于土地利用回归模型识别城市湖泊湿地及建成环境对环境效应指标的关键影响因子，重点研究城市湖泊湿地对环境效应指标时空分布的影响。主要结果包括：

1. 基于LUR模型的城市湖泊湿地500m缓冲区内PM10、PM2.5空间分布模拟具有一定的可行性，调整后的R2值为0.309-0.971；不同季节LUR模型表明，测试点缓冲区交通变量、距城市中心距离对PM10、PM2.5浓度空间分布影响最显著；城市湖泊湿地景观指数对PM10、PM2.5浓度具有显著的影响，冬季PM2.5与回归模型形状指数（LSI）、距离中心城区距离（DIST）呈显著负相关，与500m缓冲区非硬质下垫面占比（PB）呈显著正相关；春季、夏季PM10,2.5与湖泊湿地面积（WA）、LSI呈显著负相关，与DIST呈显著正相关；秋季PM2.5与PB呈显著负相关，与DIST呈显著正相关；不同季节城市湖泊湿地均表现出一致的降低空气PM10、PM2.5效应。
2. 缓冲区交通变量、距离中心城区距离与不同季节空气负离子（NAI）相关性最显著；城市湖泊湿地景观指数对NAI在夏、冬季回归模型表现显著，夏季NAI与回归模型PB、LSI呈显著正相关，与DIST呈显著负相关，冬季NAI与LSI呈显著负相关；不同季节城市湖泊湿地均表现出一定的增加NAI效应。
3. 缓冲区交通变量、非硬质下垫面与不同季节空气含菌量（B）浓度相关性最显著；城市湖泊湿地景观指数对B在夏季回归模型表现显著，B与回归模型PB、WA呈显著负相关，与LSI呈显著正相关，不同季节湖泊湿地降低空气含菌量效应不明显。
4. 距城市中心距离变量对空气温度（T）、相对湿度（RH）空间分布影响最为显著，缓冲区非硬质下垫面对春、夏季T、RH更为显著，水体占比对夏季T、RH更为显著，距离湖泊湿地距离对夏、秋季T、RH更为显著；城市湖泊湿地景观指数对T、RH具有显著的影响，其中夏季RH与回归模型PB显著正相关，T与PB呈显著负相关、与DIST呈显著正相关，秋季RH与PB呈显著正相关，与DIST呈显著负相关，T与DIST呈显著正相关，冬季RH与WA、LSI呈显著负相关，T相反；不同季节城市湖泊湿地均表现出一致的降温增湿效应。