



耶鲁大学—南京信息工程大学大气环境中心
Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment

基于移动观测的街区尺度 热舒适度研究

汇报人：卢阳

2020.3.20

大纲

- 研究背景
- 资料与方法
- 结果与讨论
- 总结与展望

研究背景

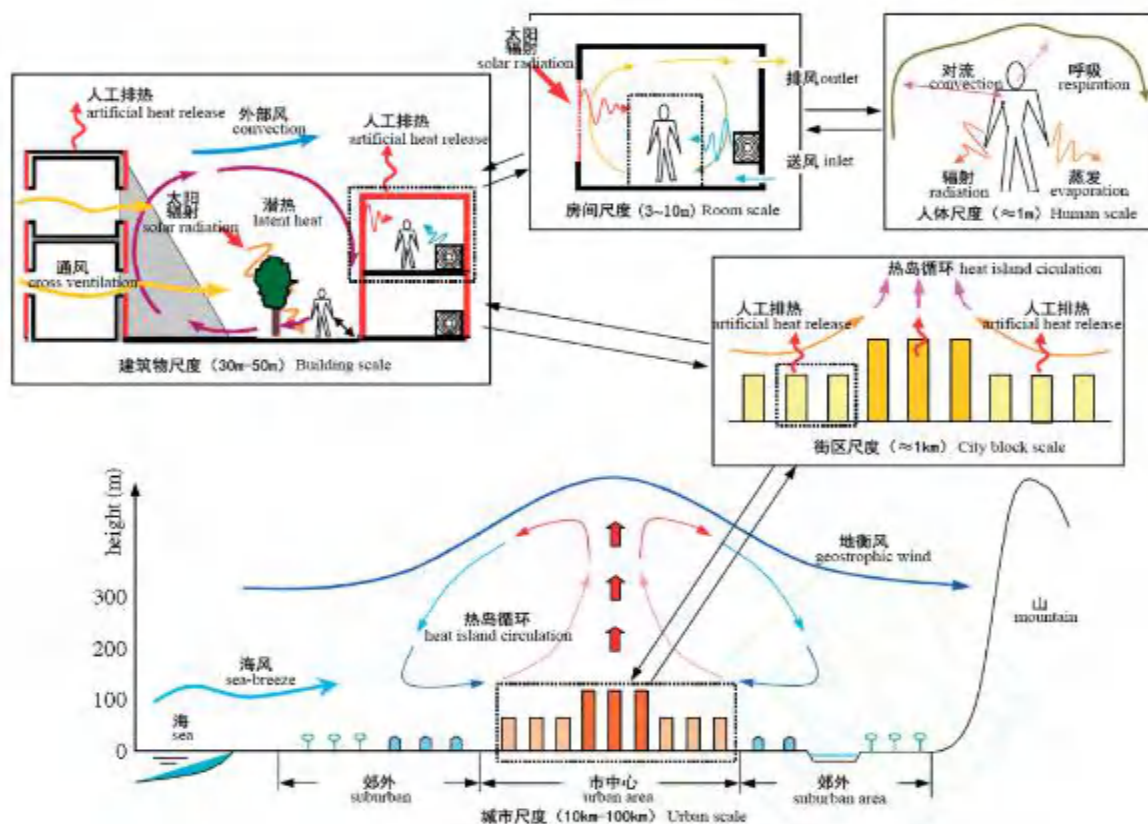


- 随着城市化进程不断推进, 街区尺度微气候对人体的影响愈发明显, 街区是居民工作和生活的主要区域, 街区尺度的热舒适度直接决定居民的生活质量和人体健康。
- 由于我国在街区规划设计中对热环境的考虑还处于起步阶段, 许多街区在规划时只考虑功能性和美学性, 对于微气候要素的考虑不足 , 这就导致了很多街区在方案设计上存在严重的不合理性, 已建成的街区存在气温高、气体流通不畅等诸多问题, 加重了城市中的人体热胁迫问题（饶峻荃, 2015）。
- 如何通过有效的街区设计与规划改善和优化城市街区的微气候特征, 从而提高人体热舒适度, 是当前建筑师、规划师及城市气候研究者所面临的的重大挑战。

研究背景



什么是街区？什么是热舒适度？



(肖荣波等, 2016)

研究背景

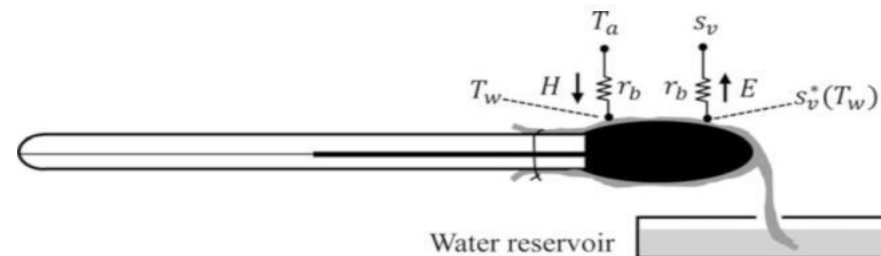


为什么选择湿球温度作为热舒适度指标？

湿球温度

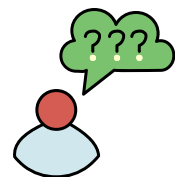
空气温度

相对湿度



(From Eq. 10.11 and Fig. 10.3 of Lee, 2018)

研究背景



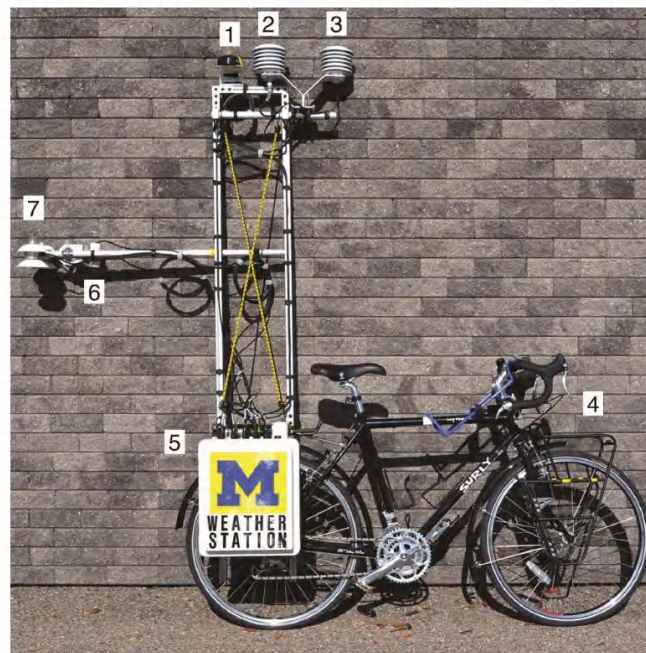
街区尺度温湿度的研究手段

研究手段	地面观测	遥感观测	模型模拟
具体方法	固定气象站	传感器接收辐射信号	建立单层或多层城市冠层模型
优缺点	①实地观测数据可靠性较高,对于模型模拟值是很好的验证②实地观测不受时间上的限制,可在固定某一时期连续测量（比如高温热浪期间）	空间覆盖范围大，数据获取较容易	①有利于深入理解城市冠层辐射、能量交换过程②有利于理解未来气候变化情景下，城乡响应机制及城市热岛发展
	①大多数发达地区不符合场地选择和仪器野外工作标准,在人口密集和车流量较多的繁华地区架设气象观测仪器较困难②由于研究需要尽可能多的下垫面类型,这就需要架设尽可能多的微型气象站,而微型气象站的造价昂贵,且暴露在外容易受到人为破坏或盗窃	①通过地表温度数据反演气温误差较大，为研究结论带来一定的不确定度②不能够精细化的表现街区尺度的热环境	计算量大

研究背景

移动观测法：

- ①便于移动，造价低廉
- ②能够在城市内部自由穿行来捕捉微小的气候变化的优点。
- ③自行车的移动观测相比于机动车，能够获取空间精度更高、覆盖范围更广的数据，并且对大气环境不会产生不利影响。



研究目的

本研究通过在不同时间和天气条件下，基于移动观测方法获取城市街区的气温、相对湿度、地理信息等数据，探究天气条件、植被覆盖等对水汽压与气温关系、湿球温度的影响，评估街区的热舒适度。

资料与方法

- 移动平台的搭载
- 固定站点的架设
- 实验方案的介绍
- 数据的处理
- 水汽压及湿球温度的计算方法

移动平台的搭载

Smart-T蜂鸟温
湿度传感器

I-Met传感器

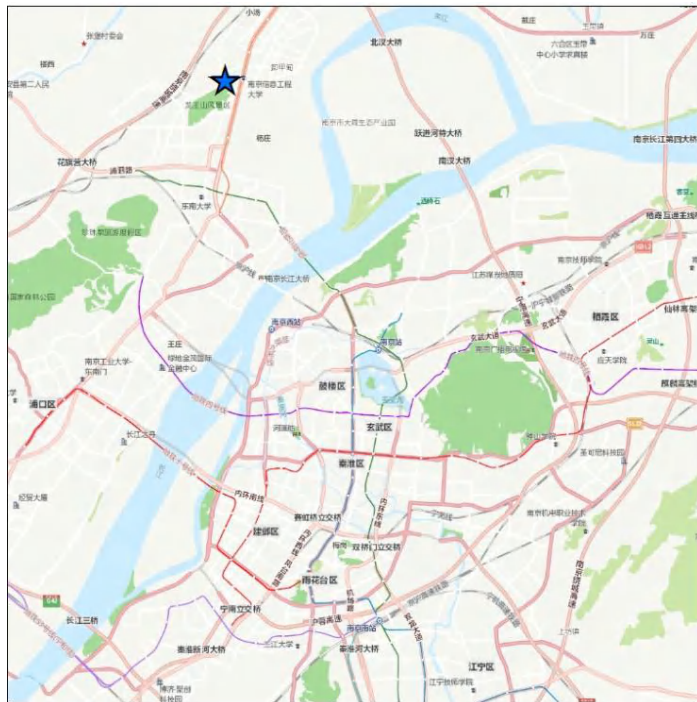


固定站点的架设

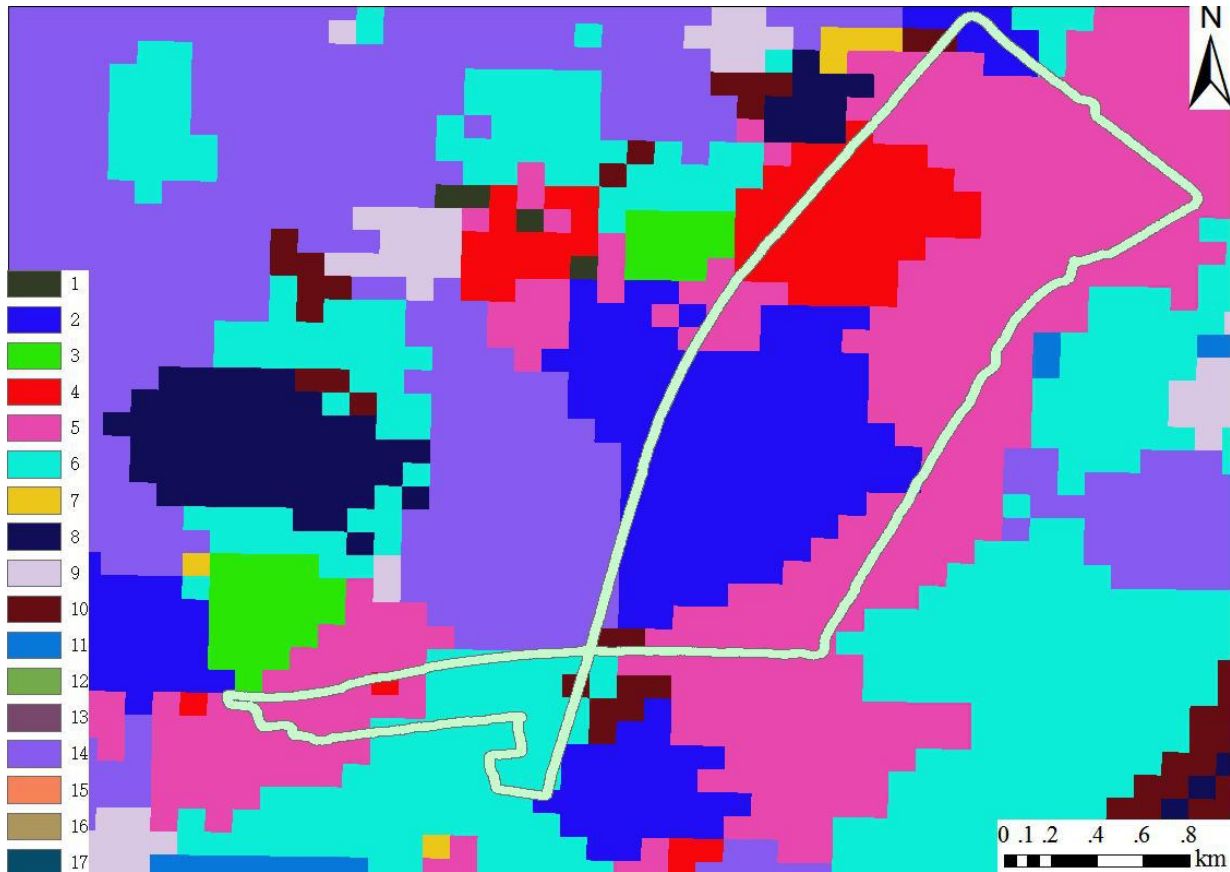
南信大气象楼南门



实验方案的介绍



实验方案的介绍



Built types	Definition	Land cover types	Definition
1. Compact high-rise	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	A. Dense trees	Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
2. Compact midrise	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	B. Scattered trees	Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
3. Compact low-rise	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.	C. Bush, scrub	Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
4. Open high-rise	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	D. Low plants	Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
5. Open midrise	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.	E. Bare rock or paved	Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
6. Open low-rise	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.	F. Bare soil or sand	Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
7. Lightweight low-rise	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).	G. Water	Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
8. Large low-rise	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	VARIABLE LAND COVER PROPERTIES	
9. Sparsely built	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	Variable or ephemeral land cover properties that change significantly with synoptic weather patterns, agricultural practices, and/or seasonal cycles.	
10. Heavy industry	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	b. bare trees	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
		s. snow cover	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		d. dry ground	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		w. wet ground	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

实验方案的介绍

- 在不同的天气状况（晴天、阴天、多云）、不同季节（春季、夏季、秋季、冬季）以及不同时段（14：00和21：00）进行移动观测实验，采集温度、相对湿度、GPS信息等数据。实验的理想条件为风速较低（ $< 5\text{m/s}$ ）且无大雨。
- 目前在2019年10月29日-2020年1月13日共采集了20天共40条有效样带

天气状况 \ 时段	时段	
	白天	夜间
晴天	7	8
多云	3	6
阴霾	6	2

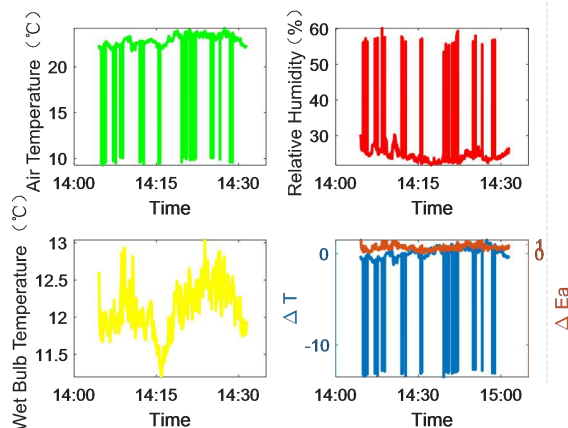
数据的处理

01 数据的插补

- 对数据进行步长为1s的时间序列的插补,将丢包的时间补齐
- 将未测得的观测数据插补为NaN值

02 野点的剔除

- 将插补好的数据绘制成时间序列图
- 根据情况设置阈值剔除野点



03 时间变化趋势的消除方法

- 固定站点数据的滑动平均处理,根据公式计算出 ΔT 和 ΔEa
- 分析速度对 ΔT 和 ΔEa 相关关系的影响

$$T_{ma} = \frac{\sum_{i=n-150}^{i=n+150} T_{fixed}}{300}$$

$$\Delta T = T_{bike} - T_{ma}$$

04 质量控制

剔除行驶速度小于10km/h的数据值

水汽压及湿球温度的计算

ΔE_a 的算法

当 $T < 0$ 时 $E_s = 6.112 \times \exp((T_a \times 17.67)/(T_a + 243.5));$

当 $T \geq 0$ 时 $E_s = 6.1078 \times \exp((17.2693882 \times T_a)/(T_a + 273.16 - 35.86));$

$$E_a = E_s \times (RH/100)$$

其中， E_s 表示空气中的饱和水汽压， E_a 表示空气中的实际水汽压

ΔE_a 与 ΔT 算法一致，用计算所得的空气中实际水汽压减去固定站点的五分钟滑动平均值可得。

T_w 的算法

$$E_a = E_s - 0.000660(1 + 0.00115T_w)(T - T_w)P$$

$$E_s = 0.6108 \times \exp((17.27 \times T_w)/(T_w + 237.3))$$

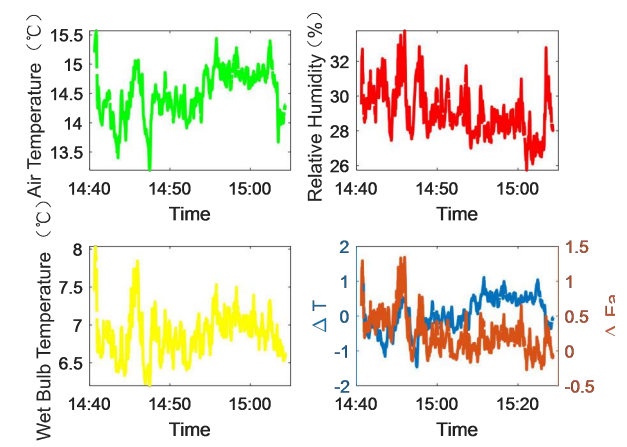
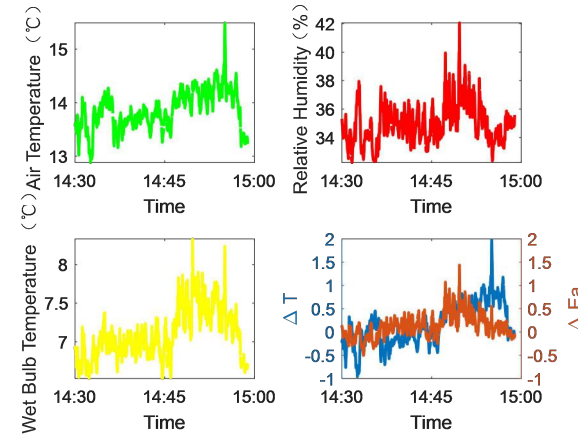
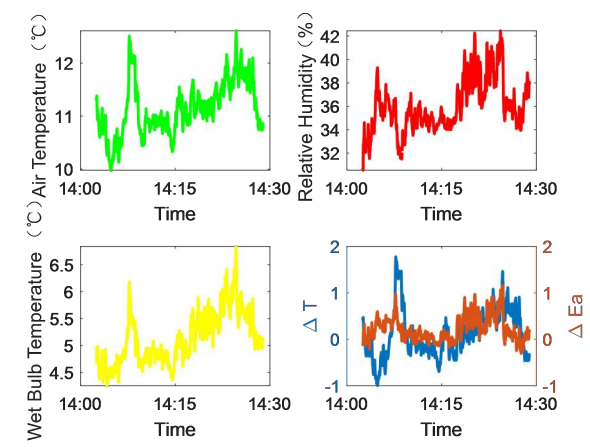
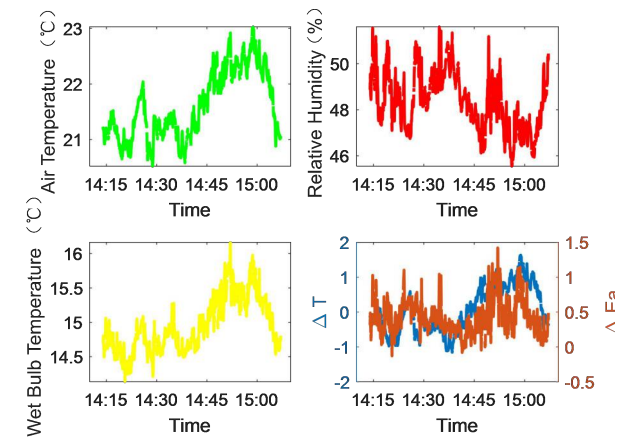
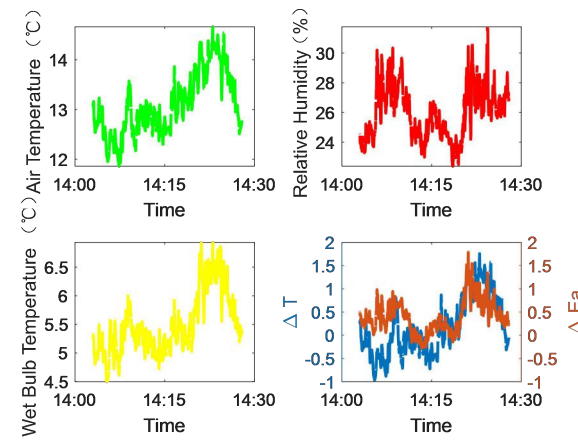
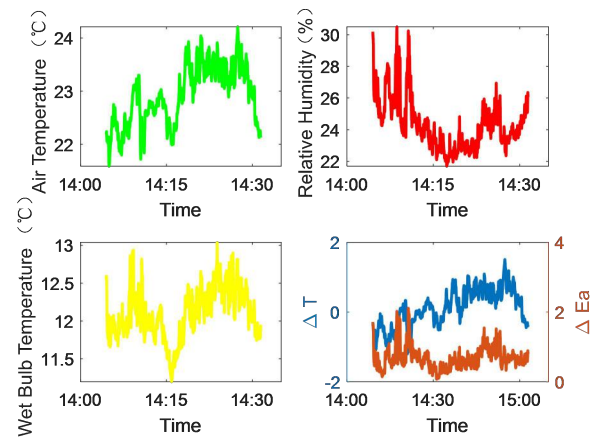
其中 E_s 表示气温为 T_w 时的饱和水汽压， E_a 为此时空气中的实际水汽压， P 表示大气压， T 表示气温

结果与展示

- 街区尺度温湿度及 ΔT 、 ΔE_a 的时间序列分析
- 移动速度对 ΔT 和 ΔE_a 关系的影响分析
- 街区尺度微气候及热舒适度空间分布

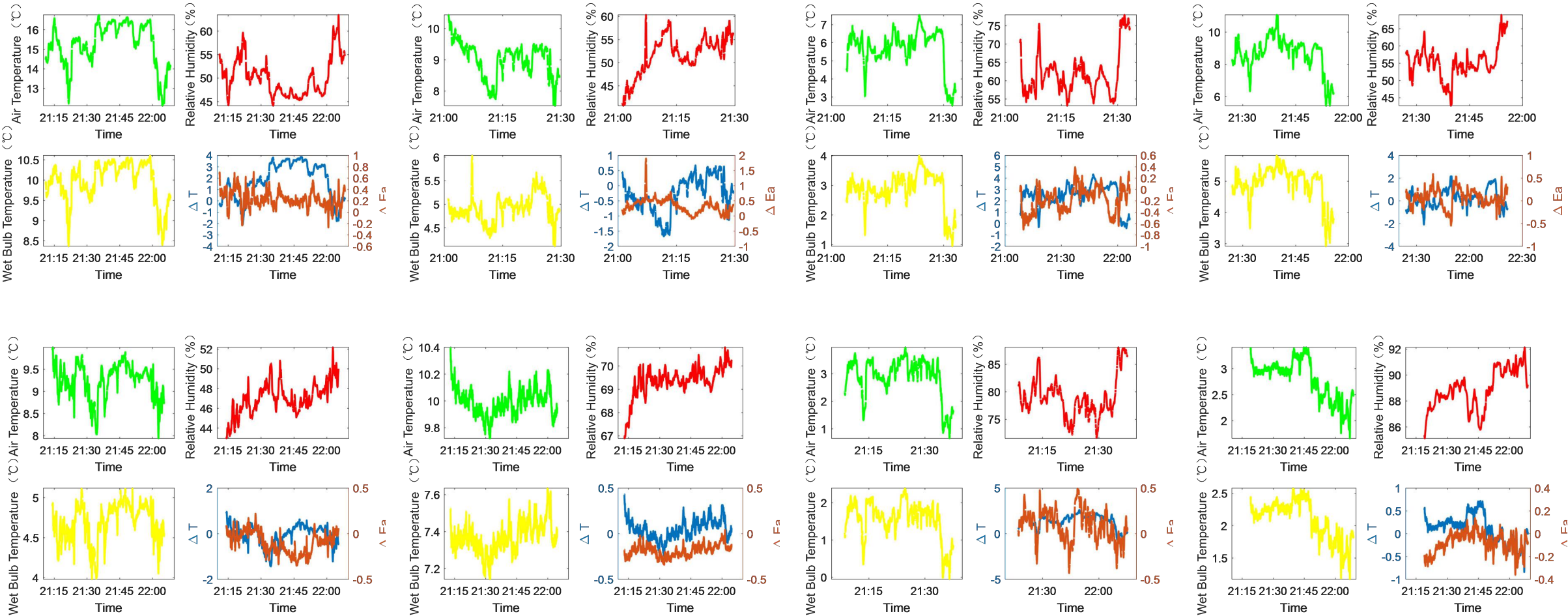
街区尺度微气候的时间序列分析

晴朗白天



街区尺度微气候的时间序列分析

晴朗夜间

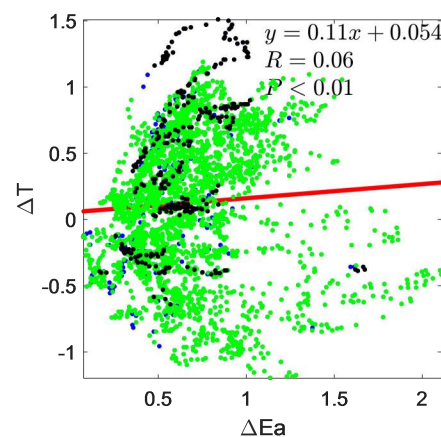


讨论

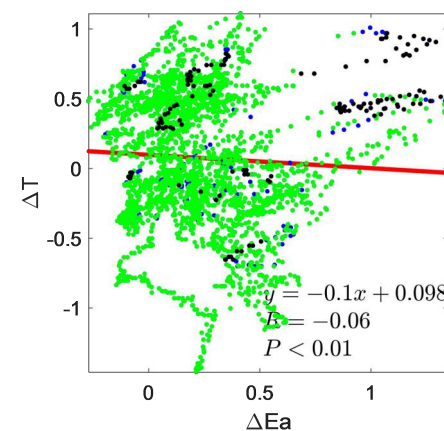
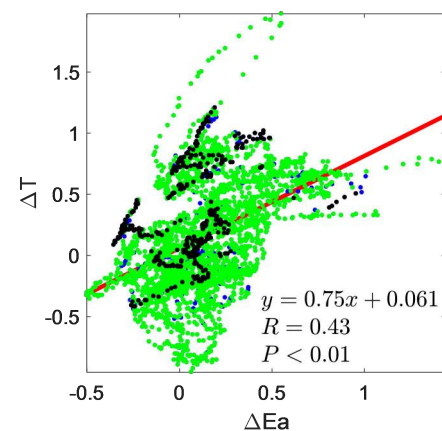
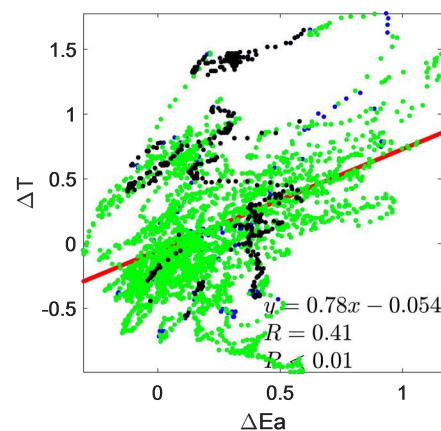
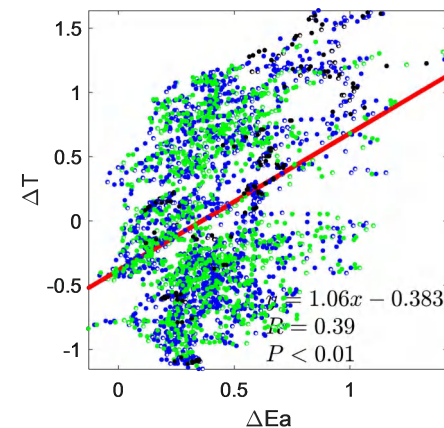
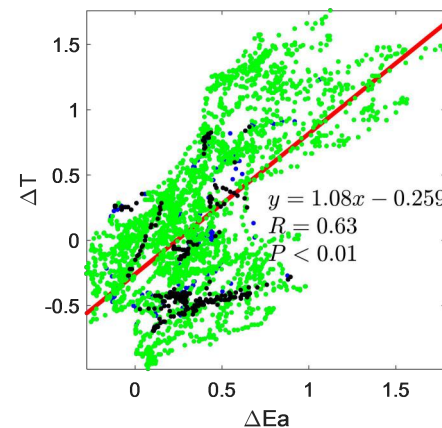
- 剔除野点的数据处理方法非常合理
- 湿球温度与气温的趋势较一致
- ΔE_a 的因变量为气温和相对湿度，但是 ΔE_a 只与相对湿度的趋势较一致

速度对 ΔT 和 ΔEa 相关关系的影响分析

晴朗白天

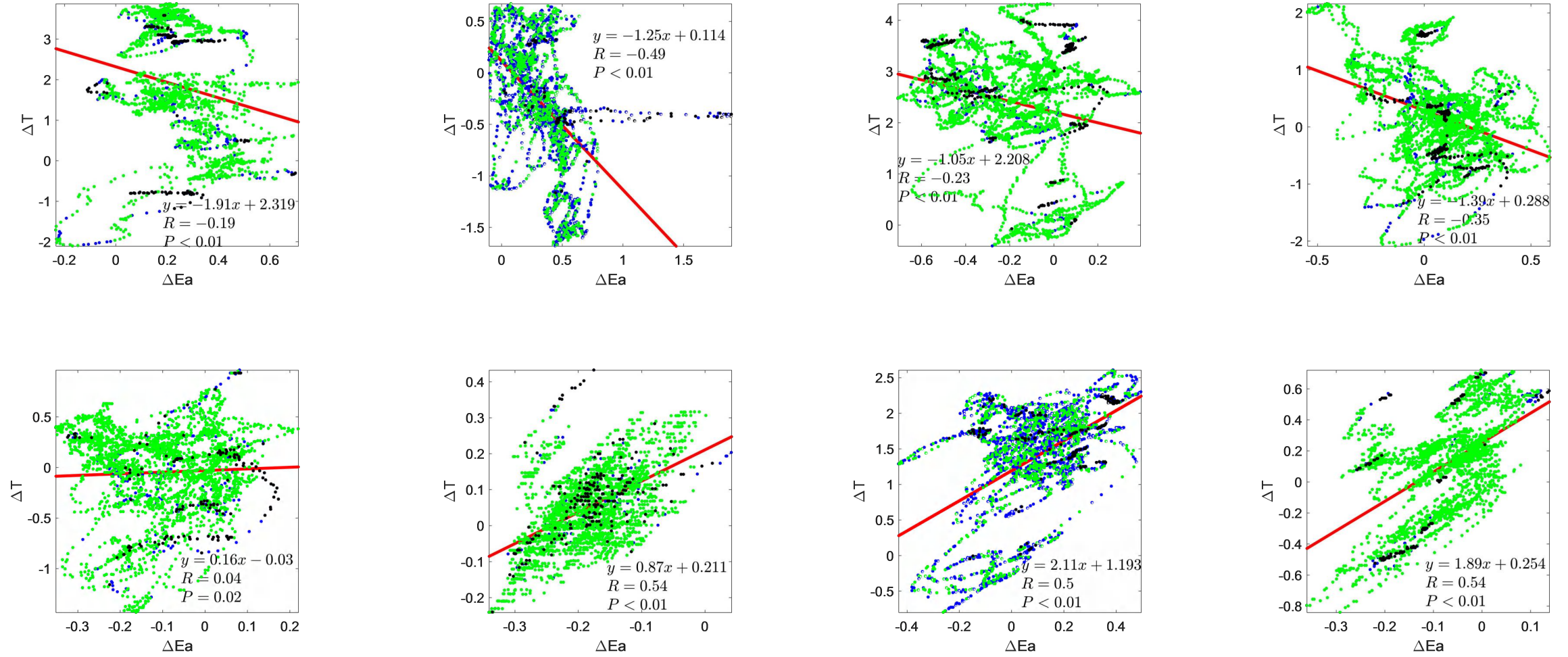


- speed $> 10 \text{ km/h}$
- speed $5-10 \text{ km/h}$
- speed $< 5 \text{ km/h}$



速度对 ΔT 和 ΔEa 相关关系的影响分析

晴朗夜间



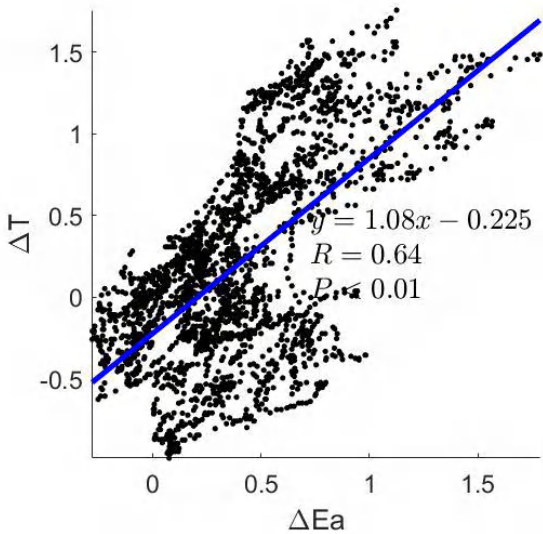
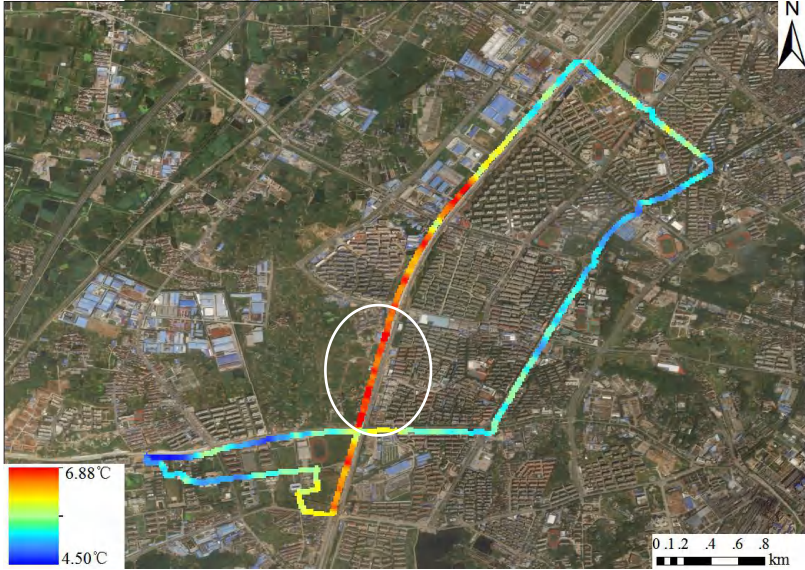
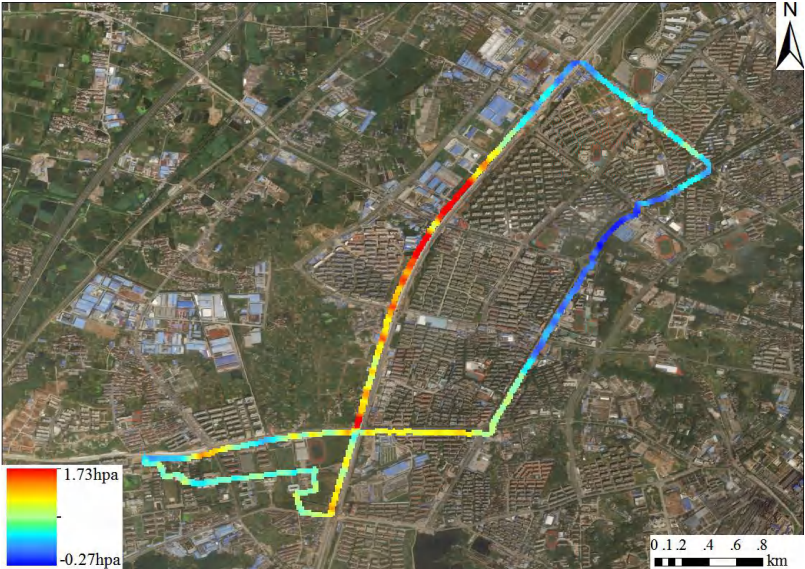
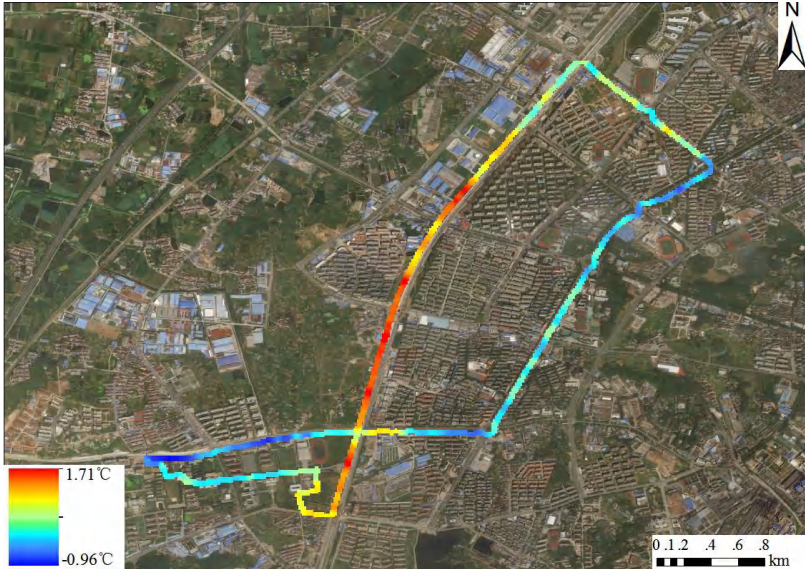
讨论

- 速度确实会对 ΔT 和 ΔE_a 相关关系造成影响，质量控制很有必要
- 一些速度大于10km/h的点也会产生偏移现象

街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗白天

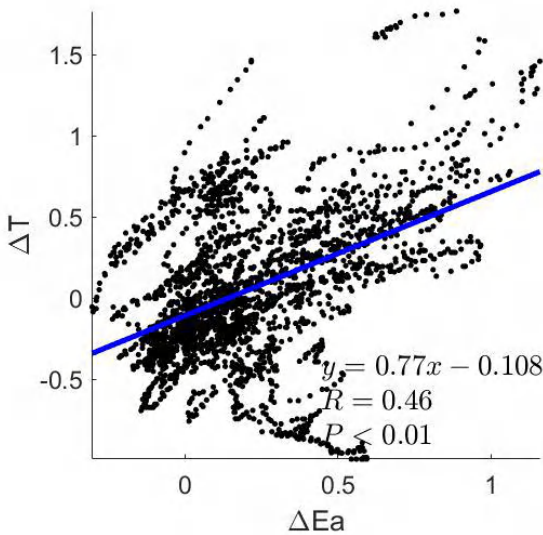
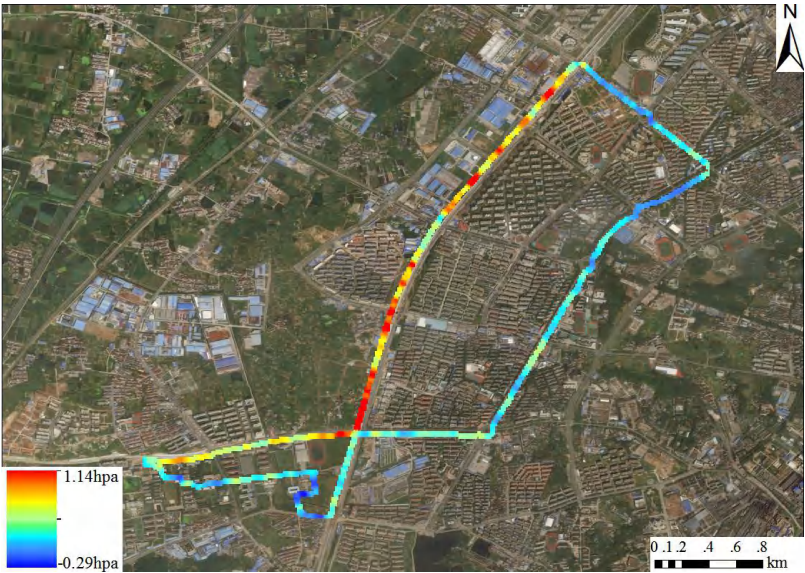
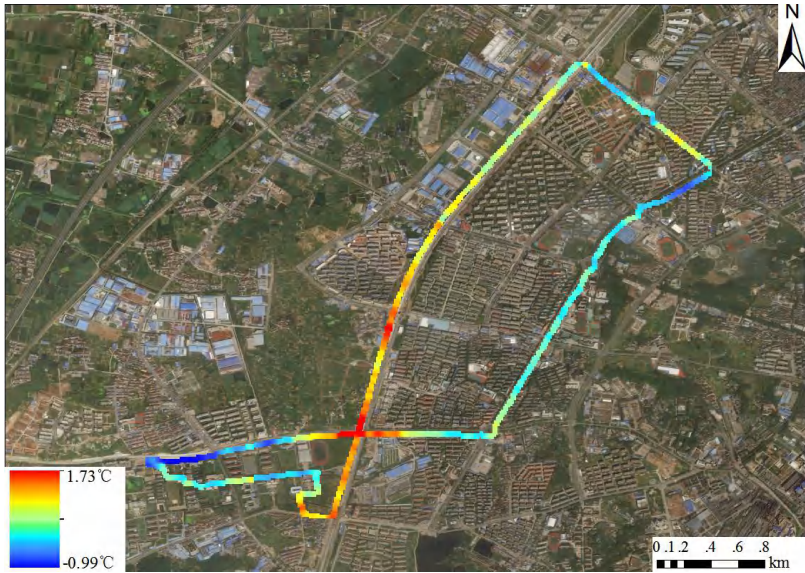
201911191400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗白天

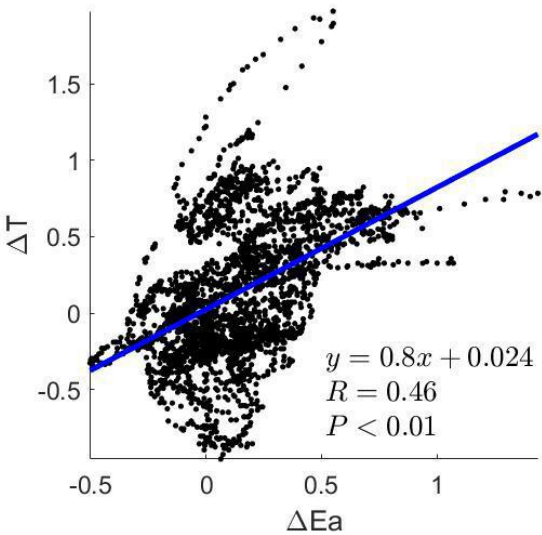
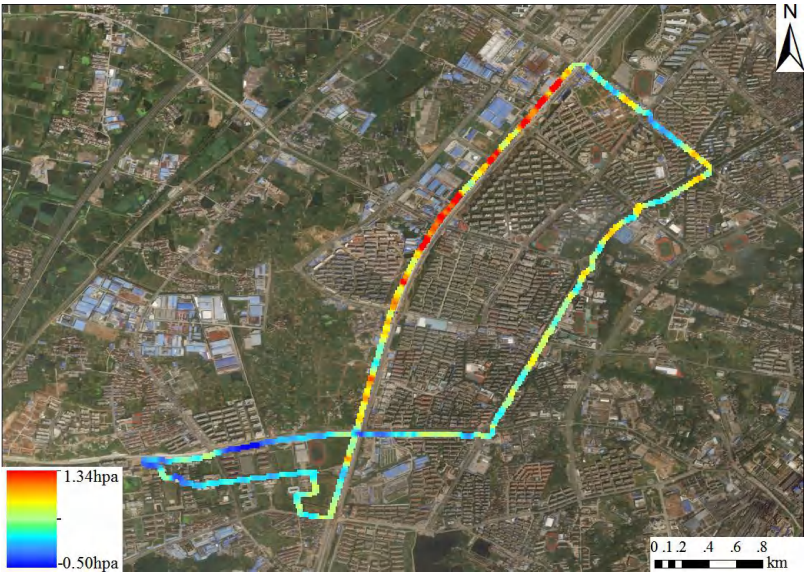
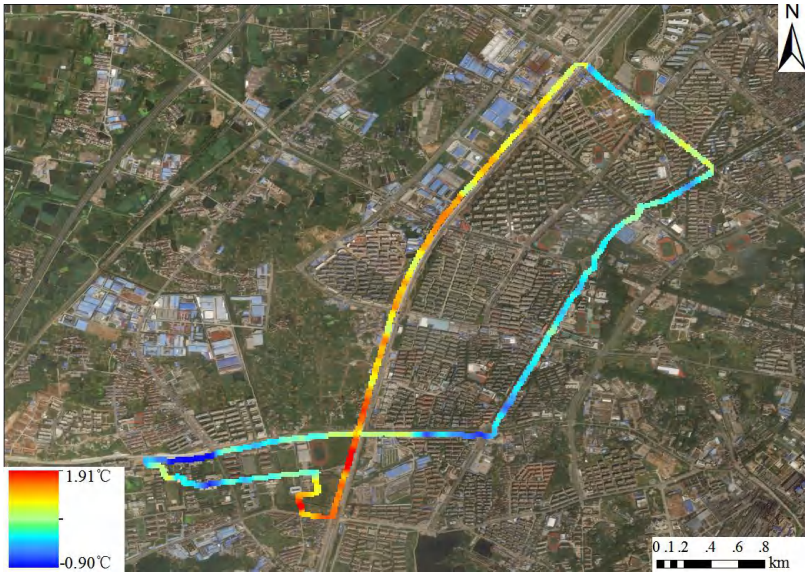
201912031400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗白天

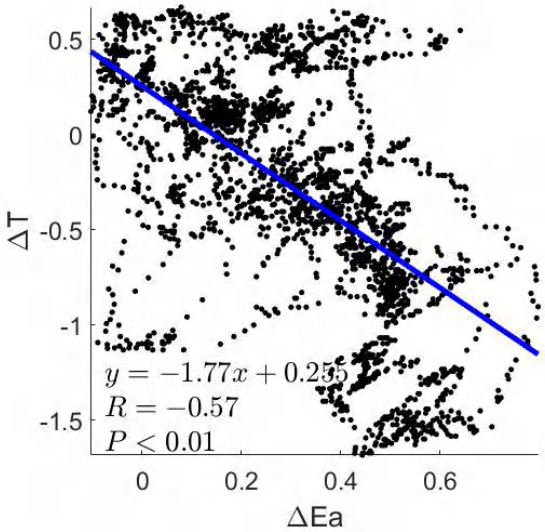
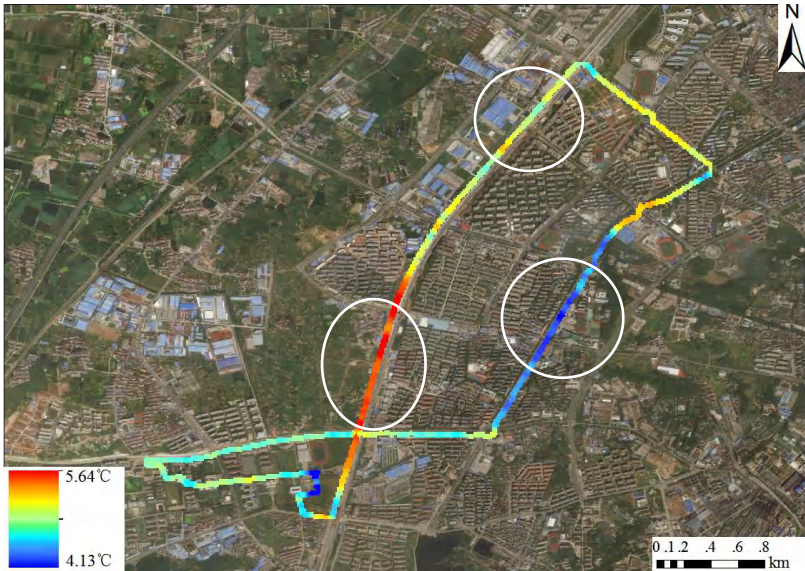
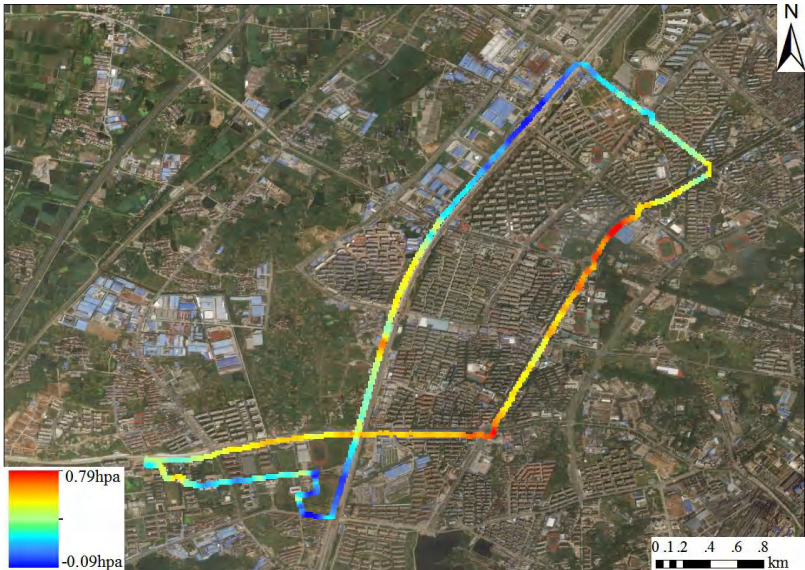
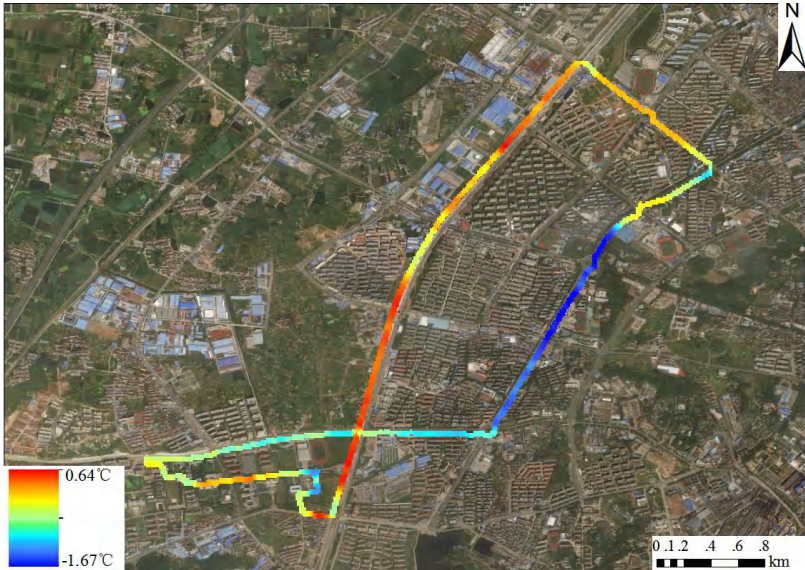
201912081400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗夜间

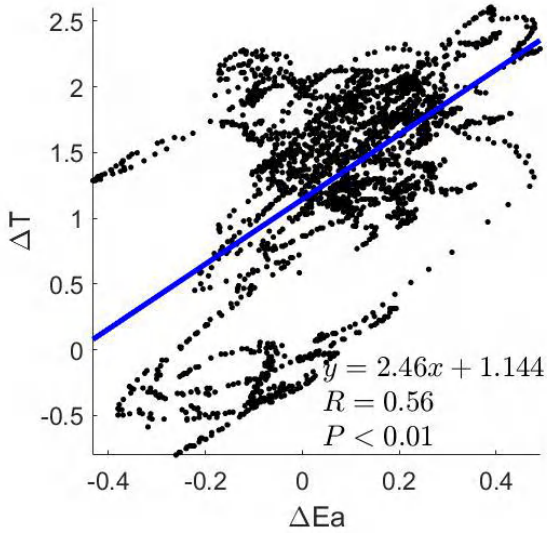
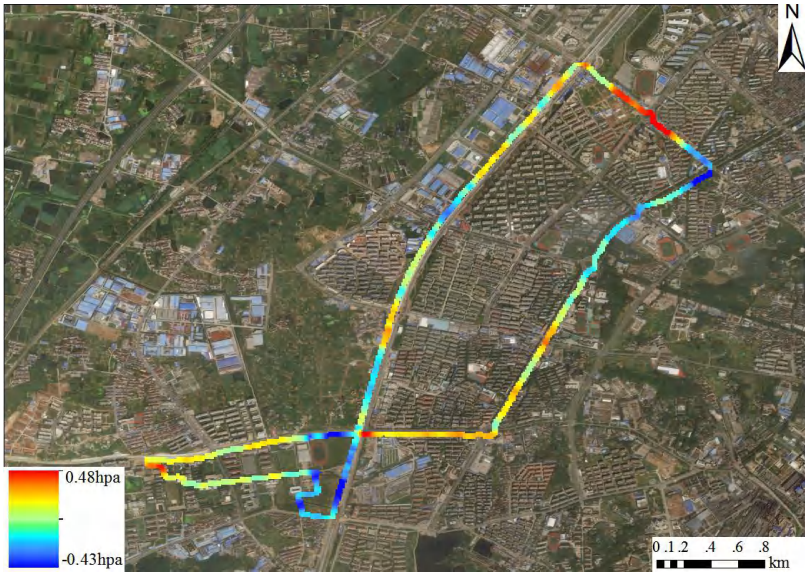
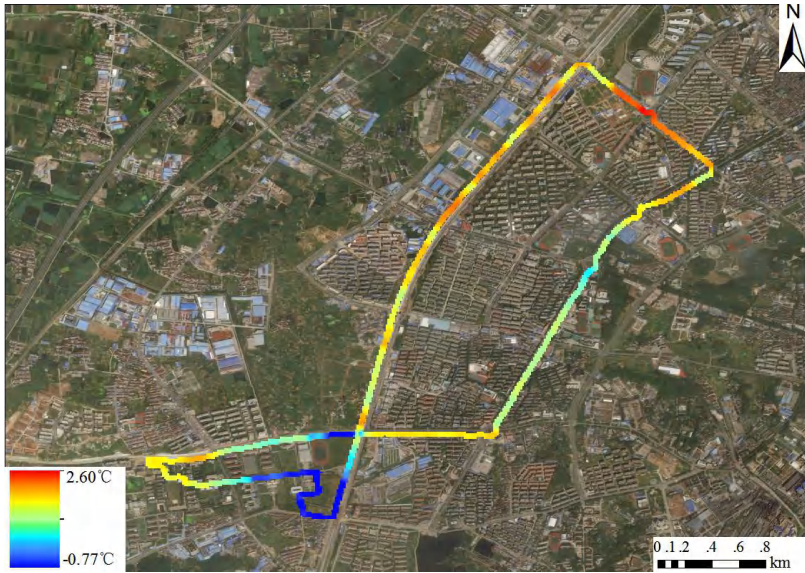
201911192100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗夜间

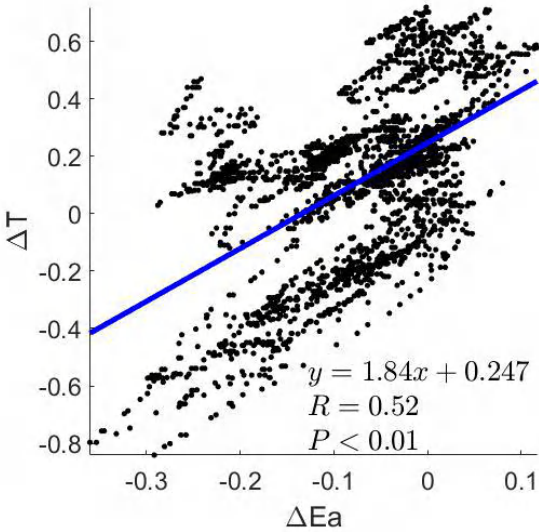
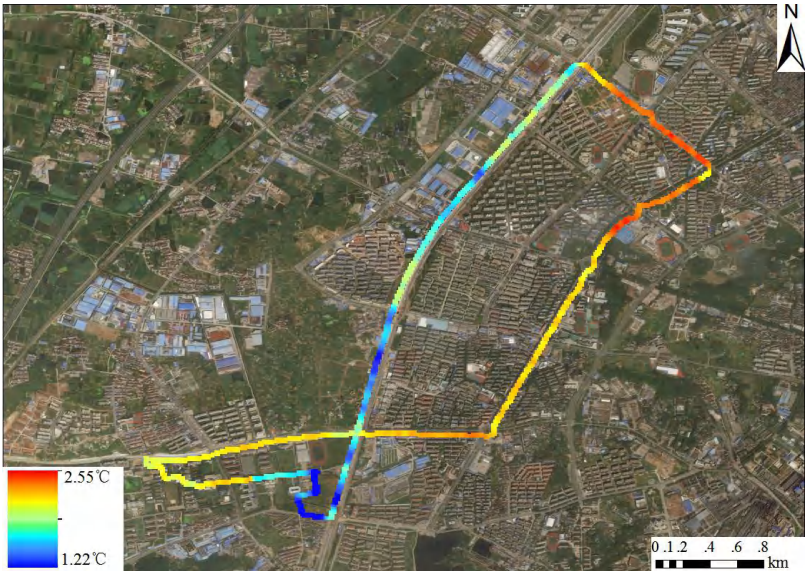
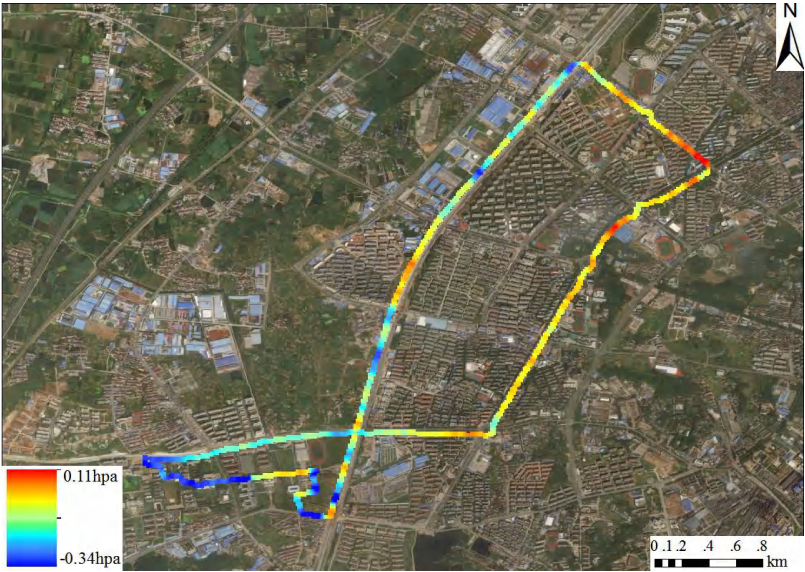
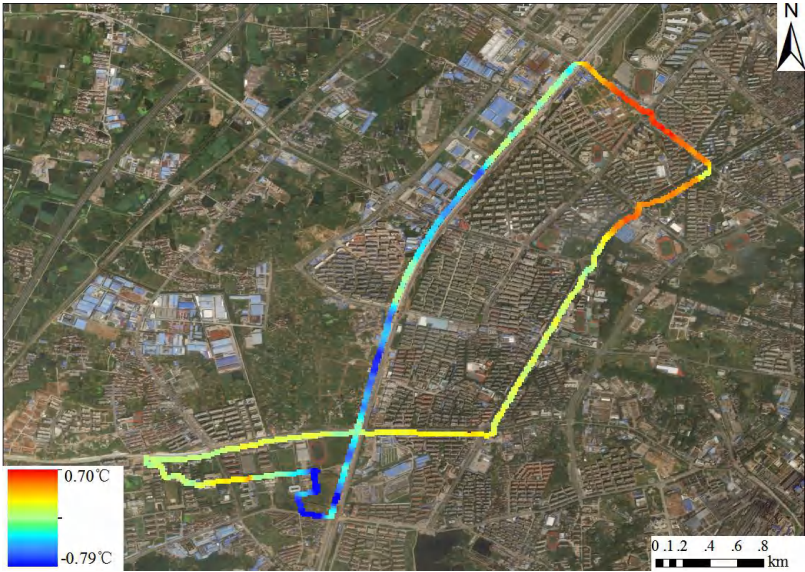
201912192100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

晴朗夜间

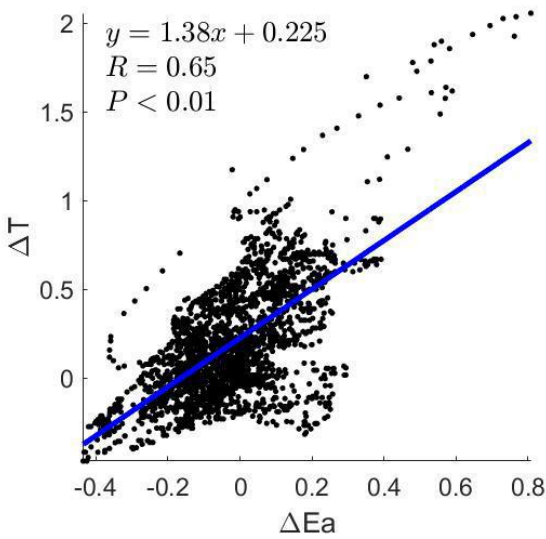
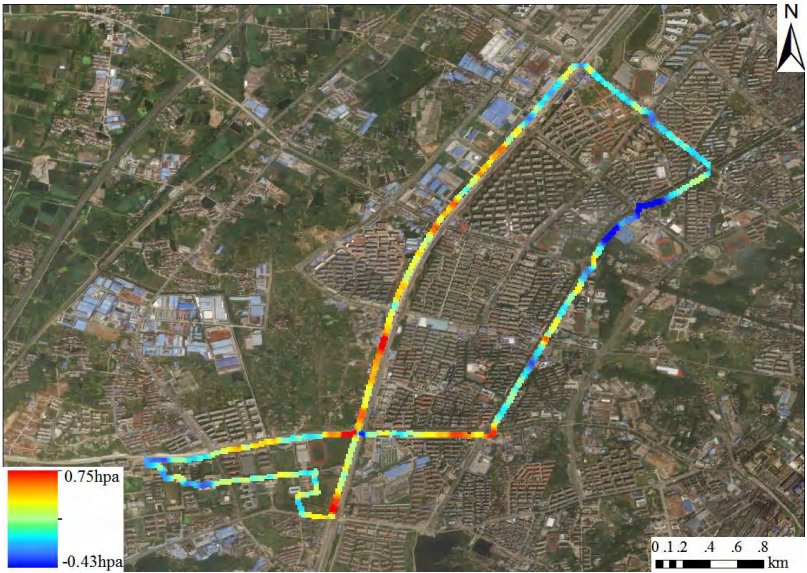
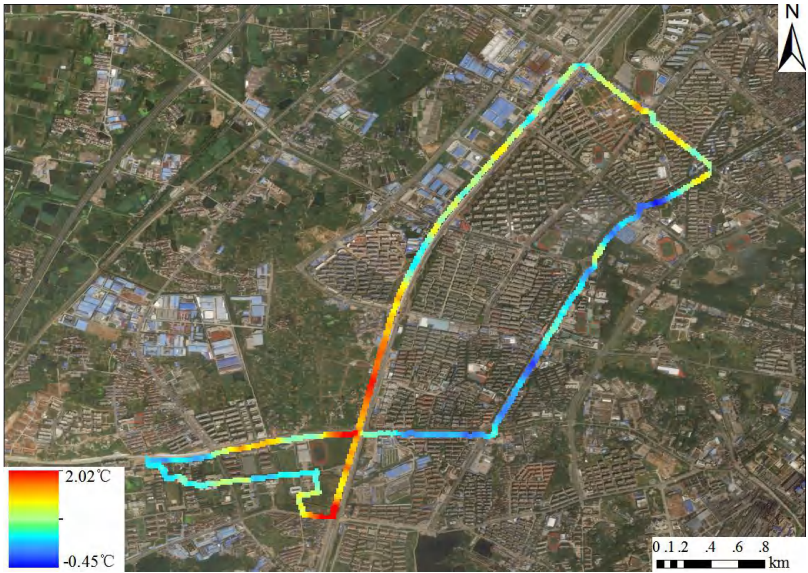
201912262100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云白天

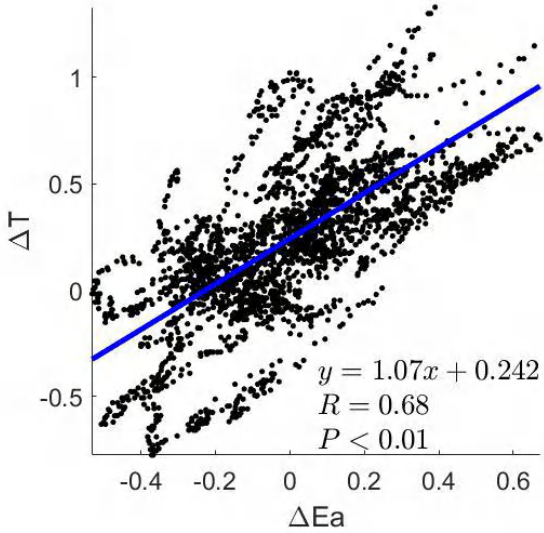
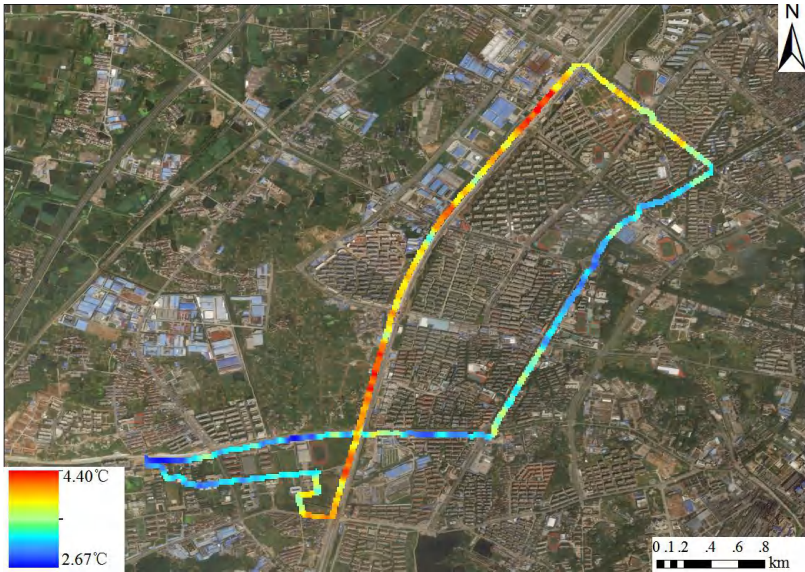
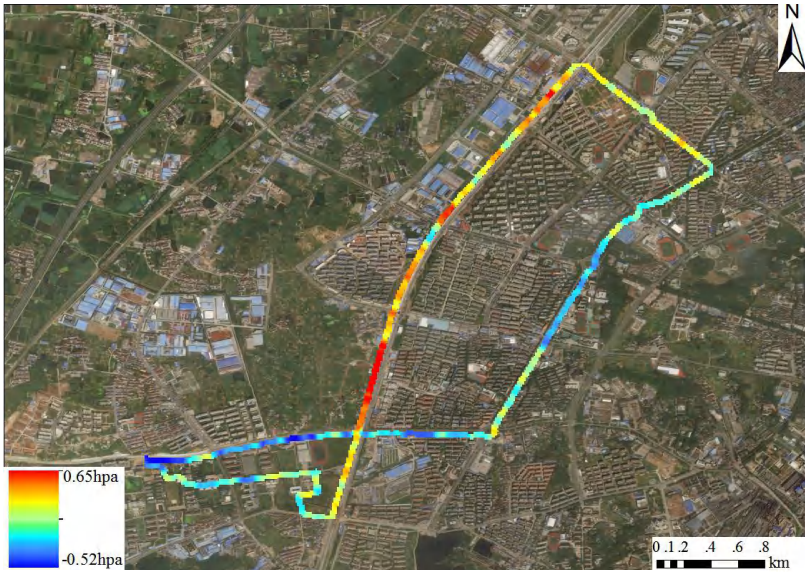
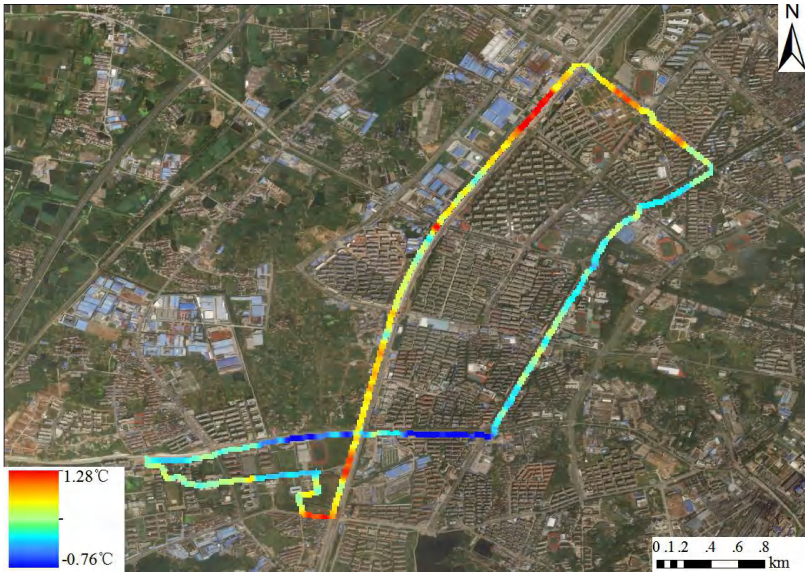
201911291400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云白天

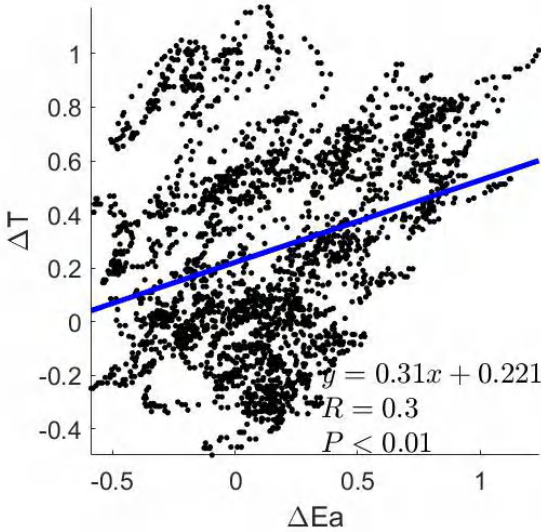
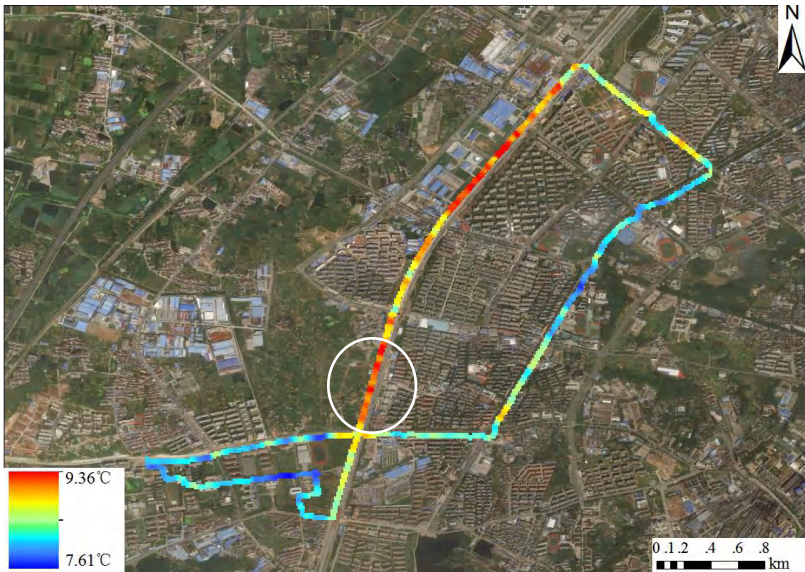
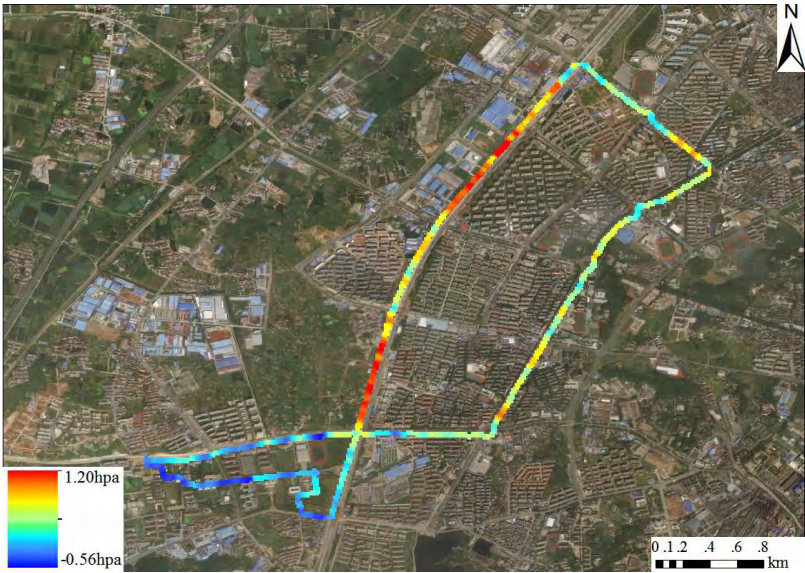
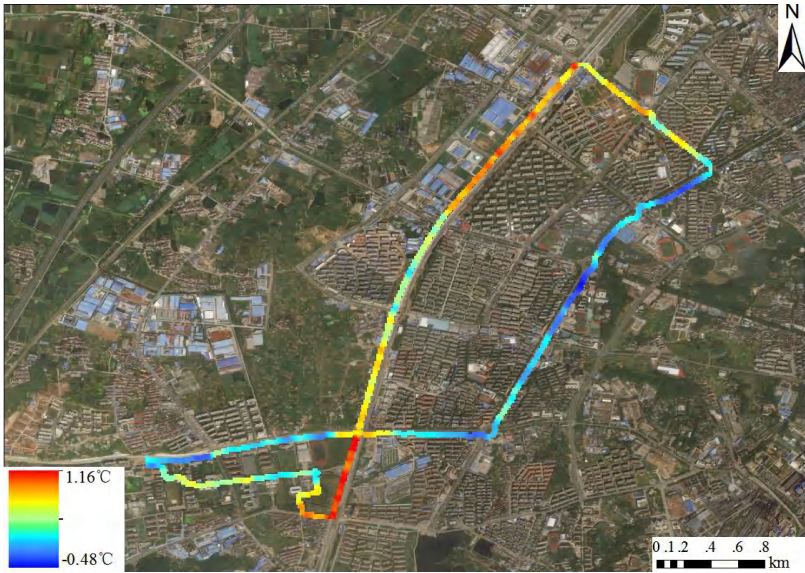
201912191400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云白天

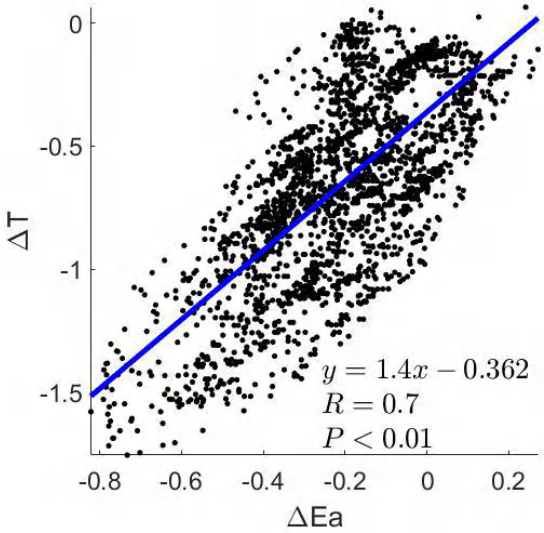
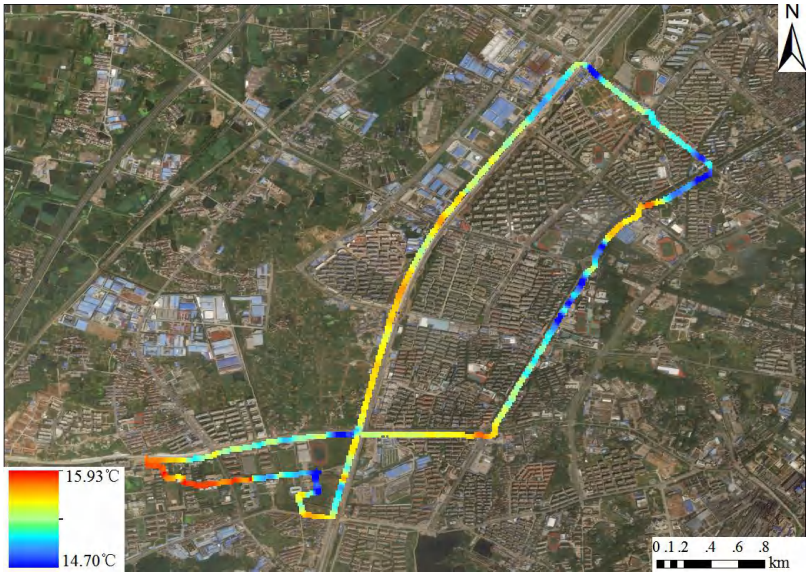
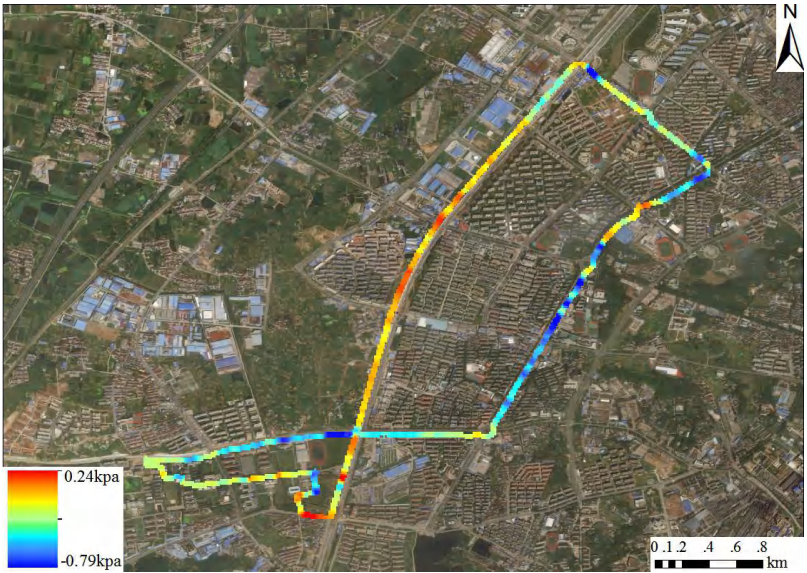
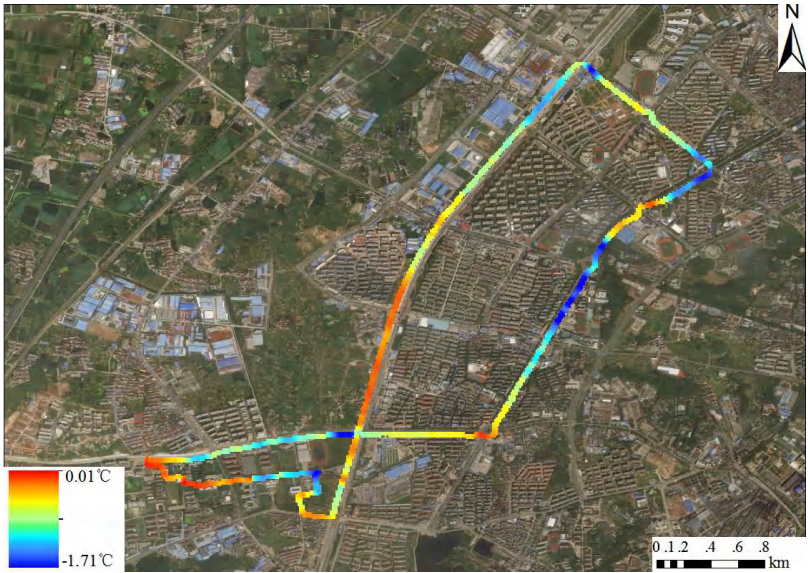
201912291400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云夜间

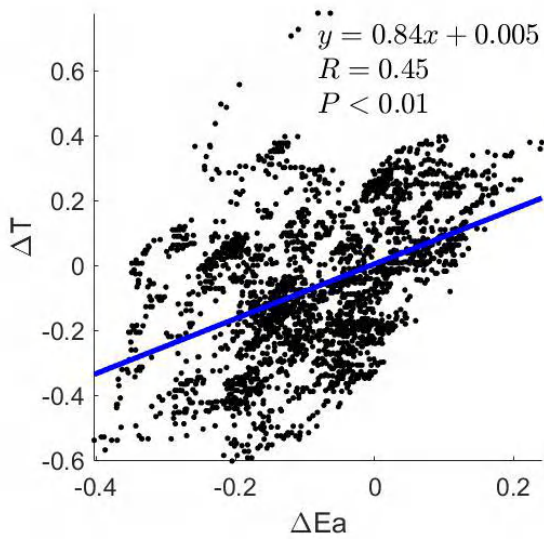
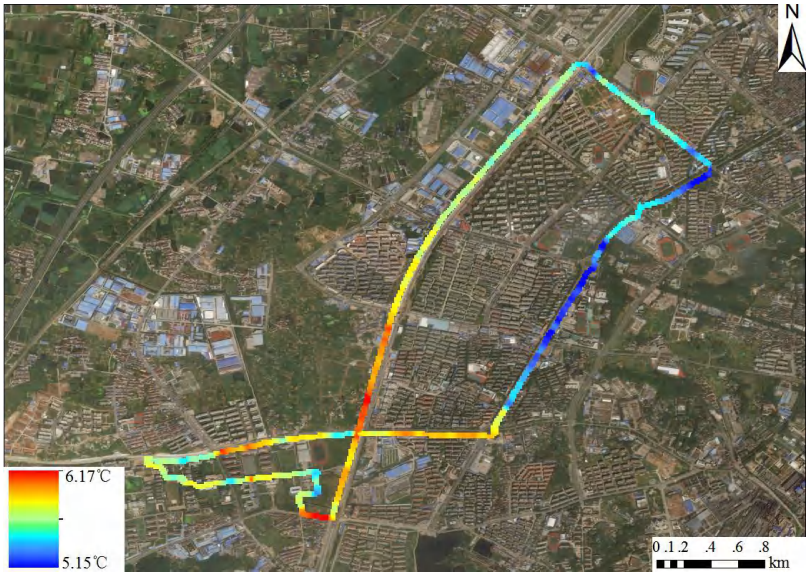
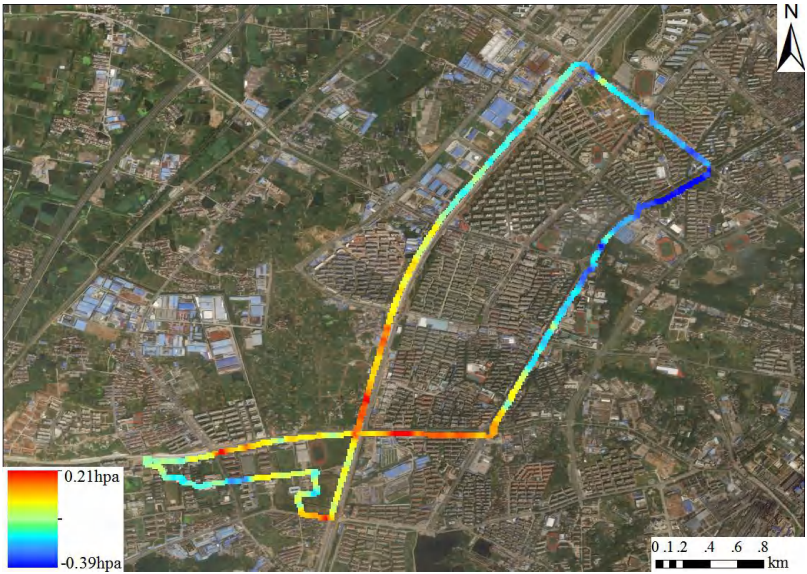
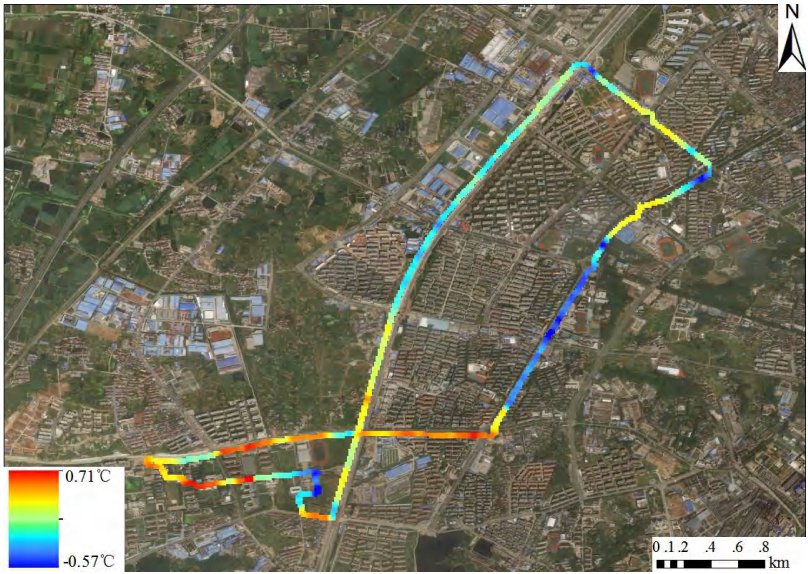
201911222100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云夜间

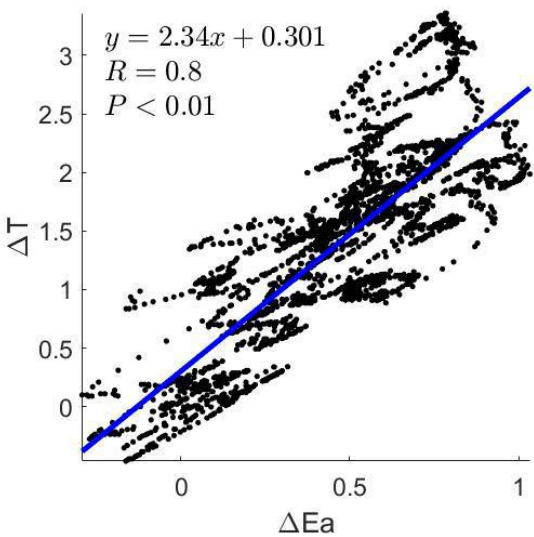
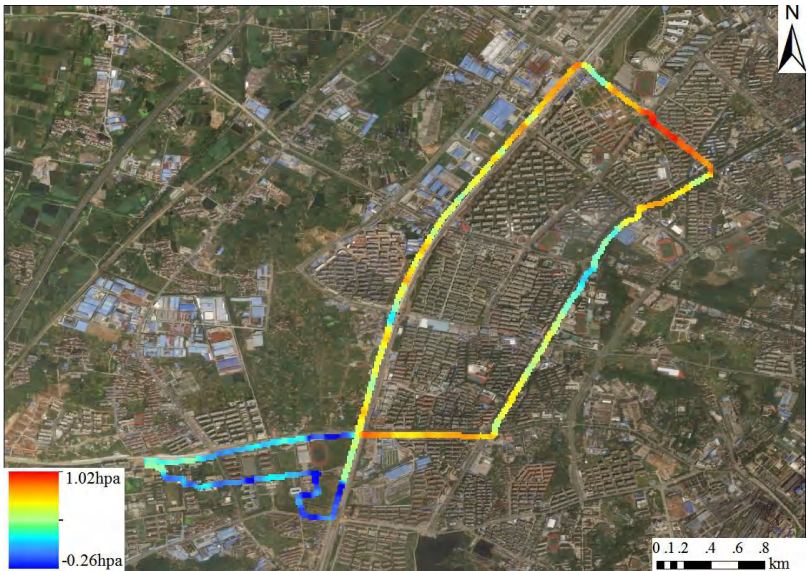
201911292100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

多云夜间

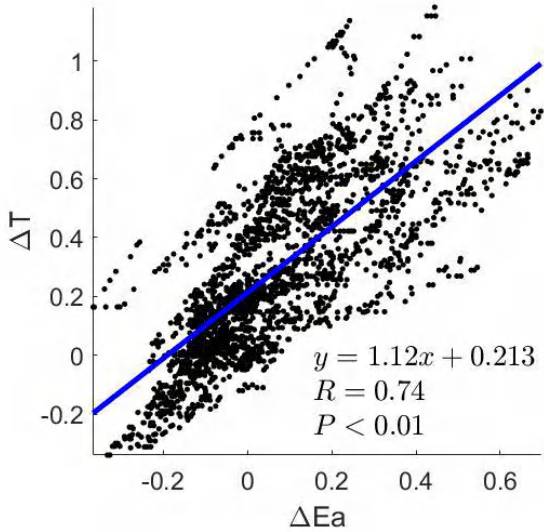
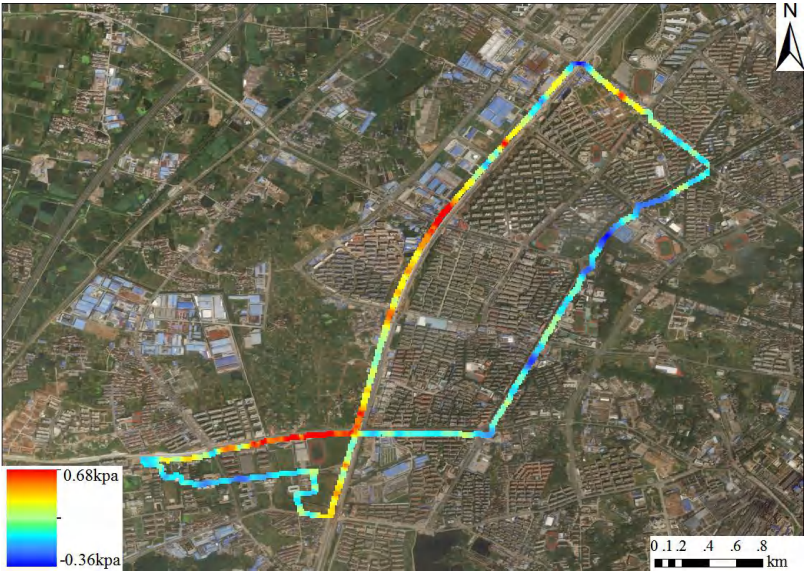
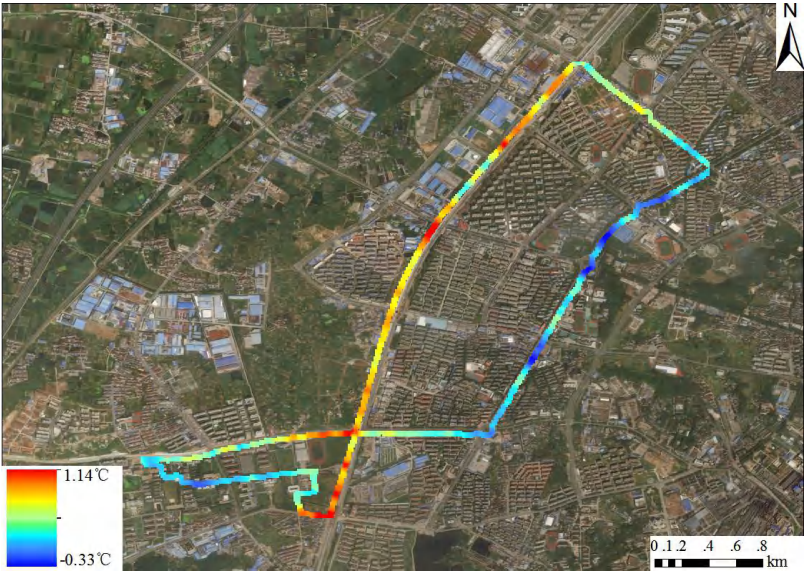
201912292100



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

阴霾白天

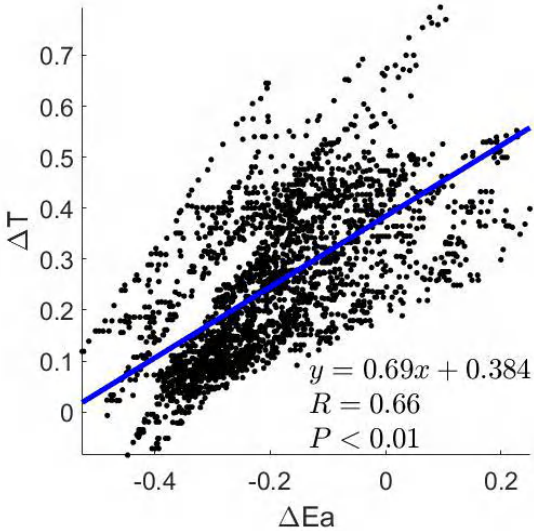
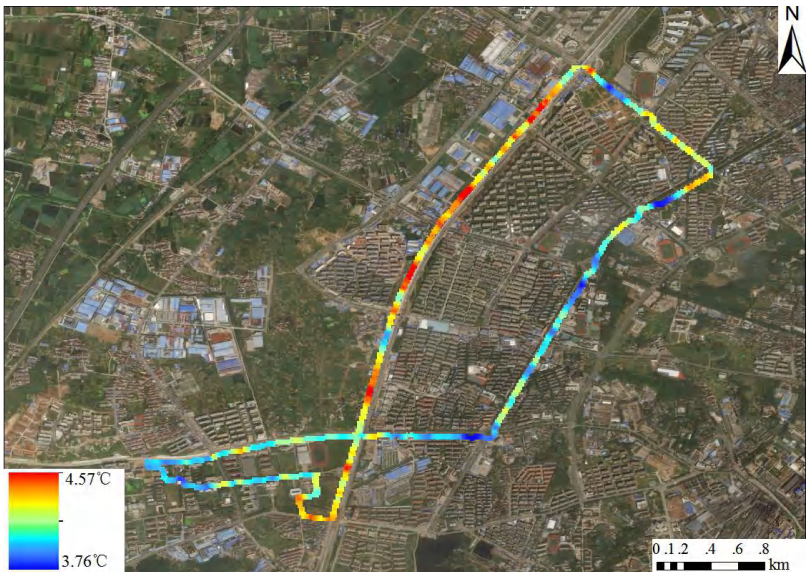
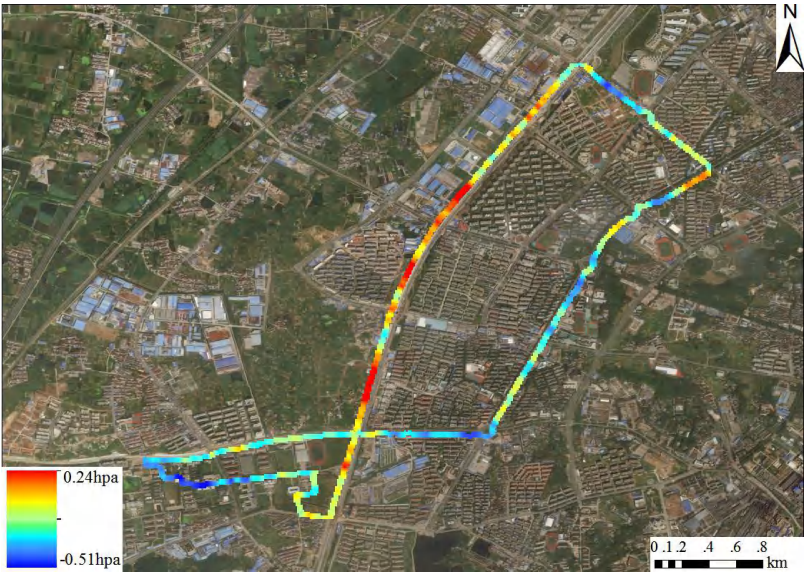
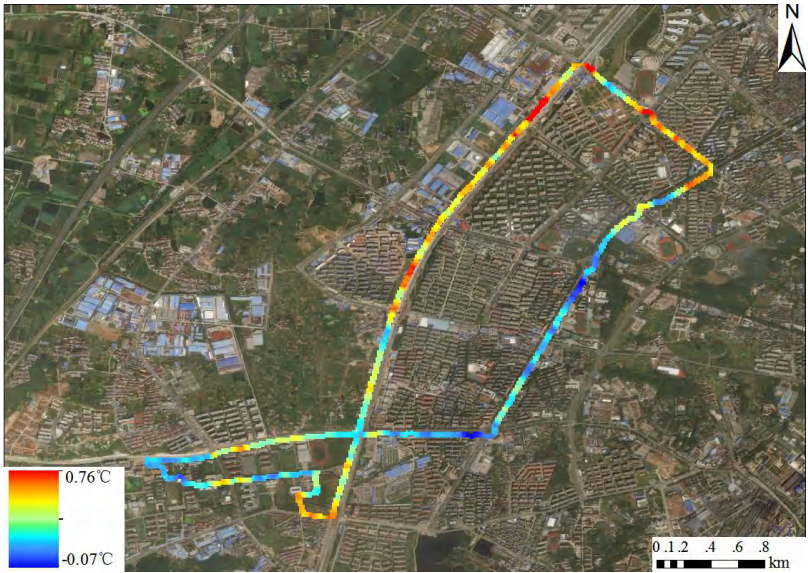
201911261400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

阴霾白天

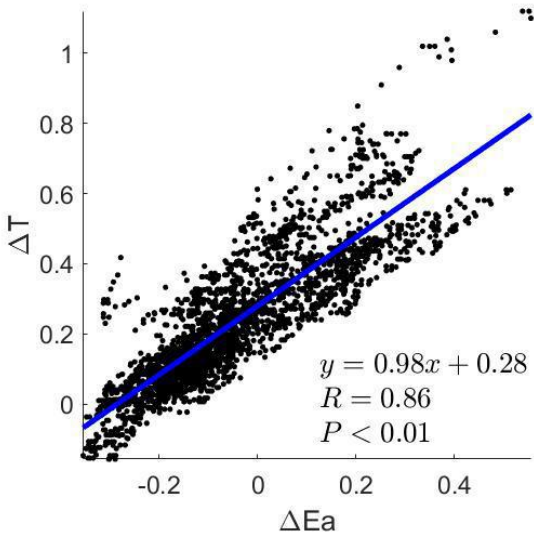
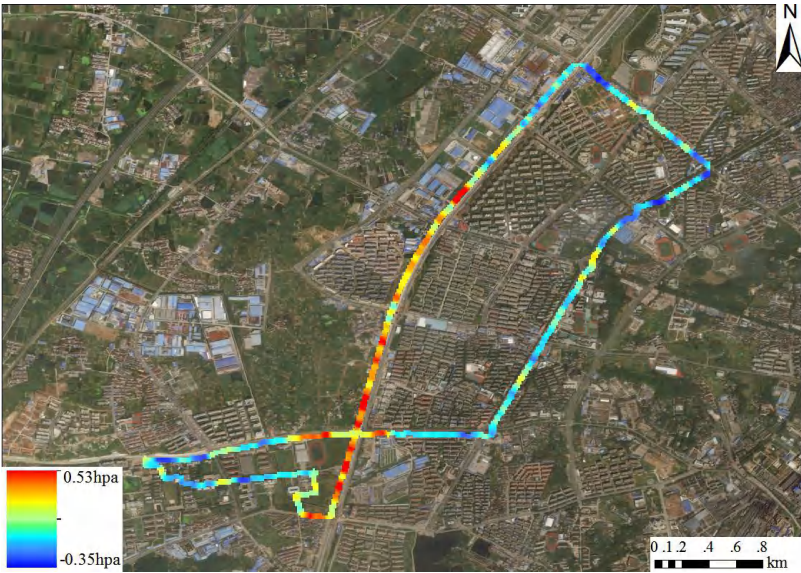
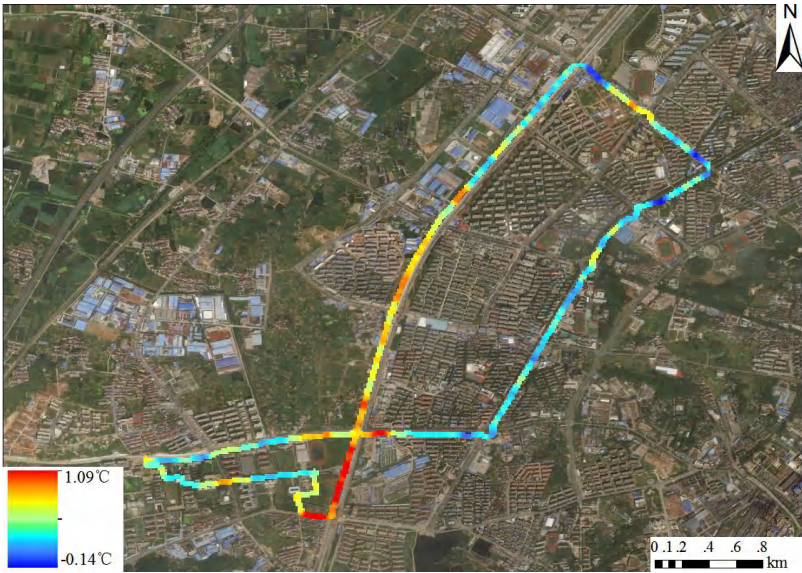
201912261400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

阴霾白天

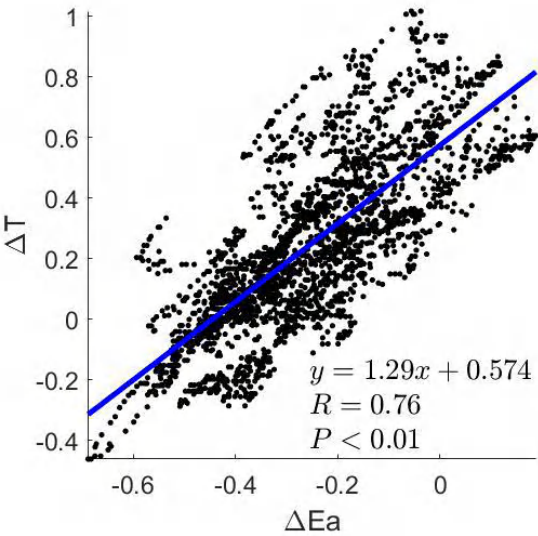
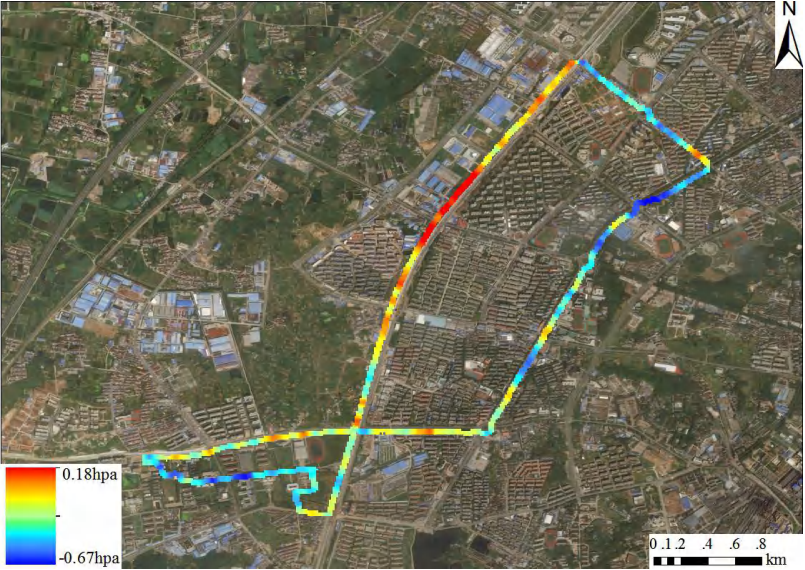
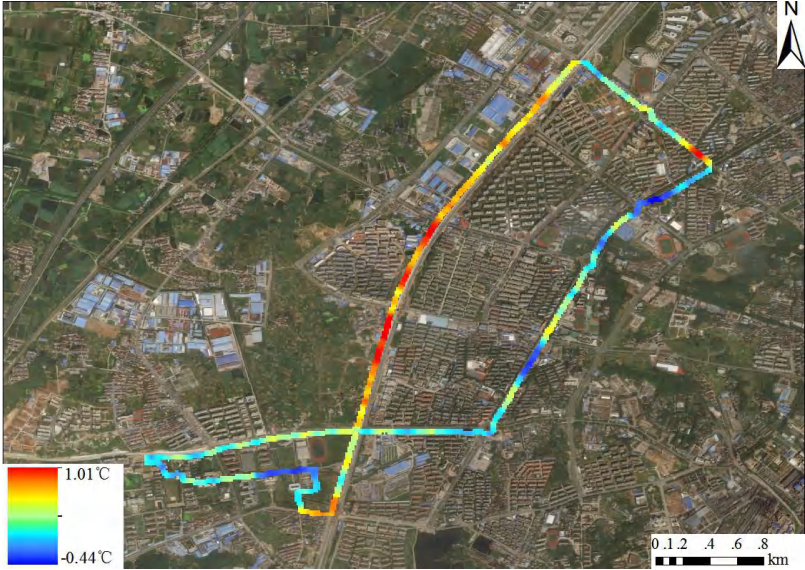
202001021400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

阴霾白天

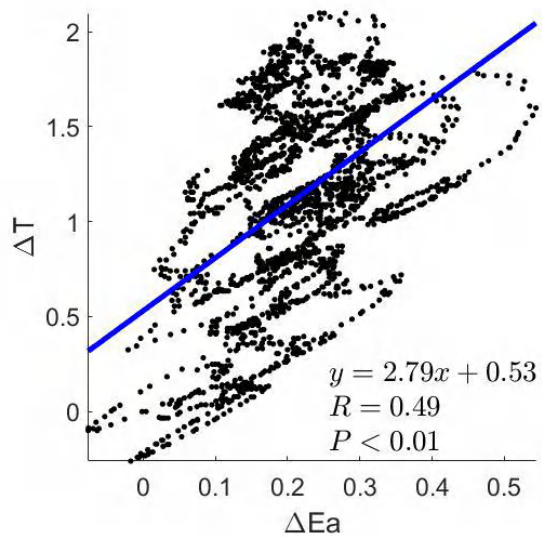
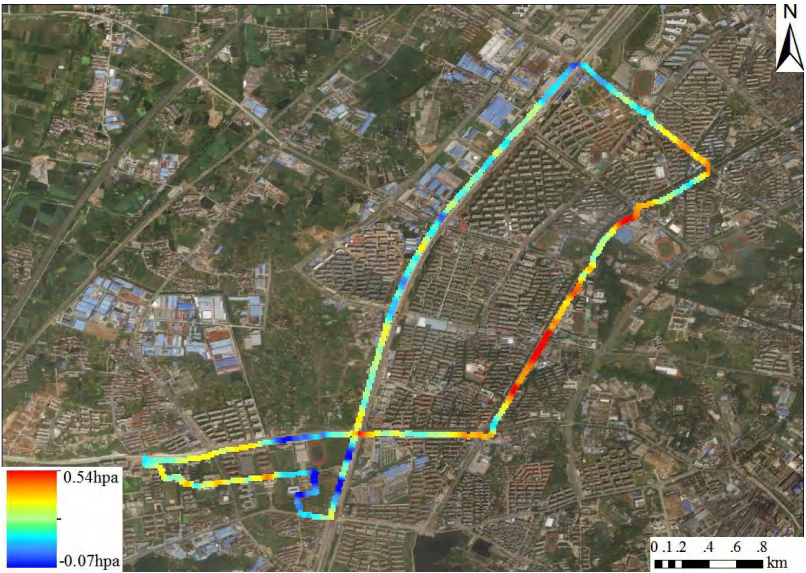
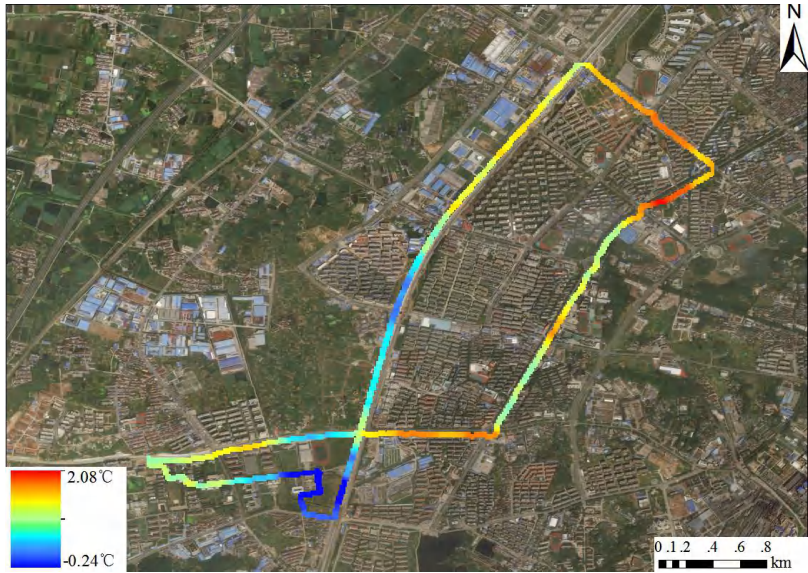
202001131400



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

阴霾夜间

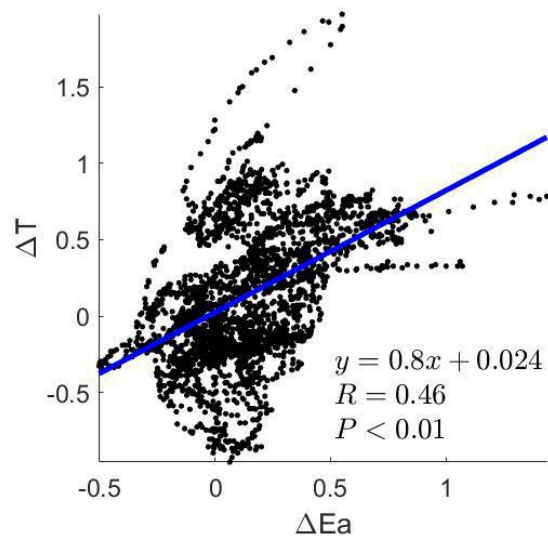
202001132100



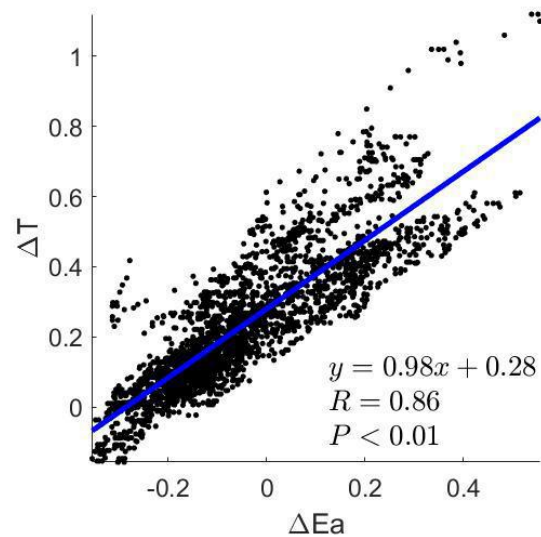
街区尺度微气候及热舒适度空间分布

讨论

- 白天， ΔT 与 ΔEa 呈正相关；而在夜晚， ΔT 与 ΔEa 呈正相关或者负相关
- 对数据进行质量控制即剔除行驶速度小于10km/h的数据可以提高两者的相关性。
- T_w 总体上与 ΔT 的空间分布较一致，但是湿度过高也会导致湿球温度过高。
- 在阴霾、多云等太阳辐射较弱的天气条件下， ΔT 与 ΔEa 的相关性较好，而在晴朗天气条件下，两者的相关性较差，因为较强的太阳辐射可以加热气温，对两者相关性造成影响。



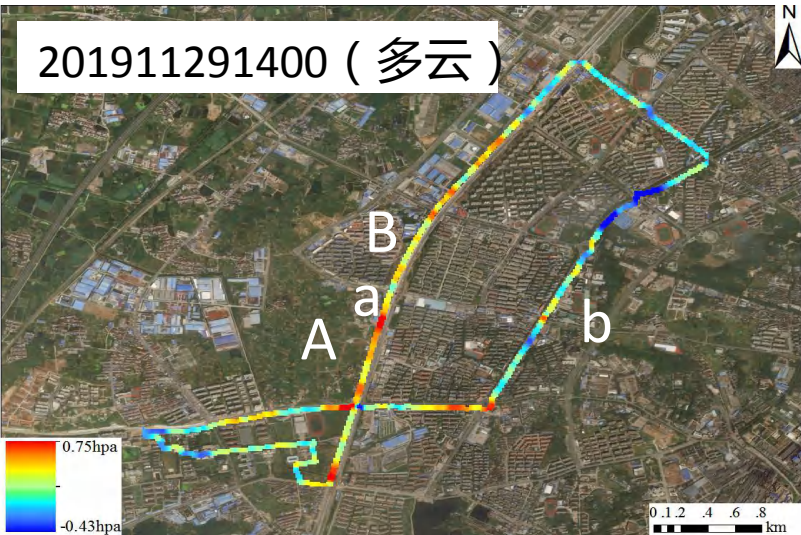
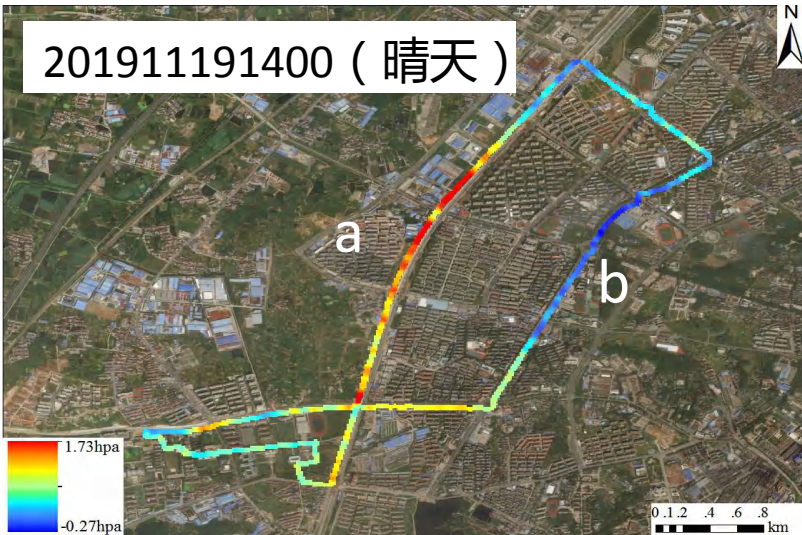
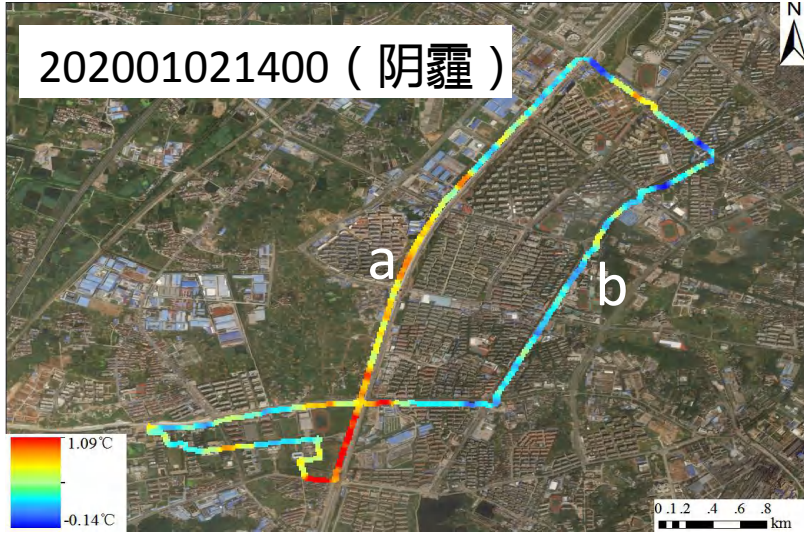
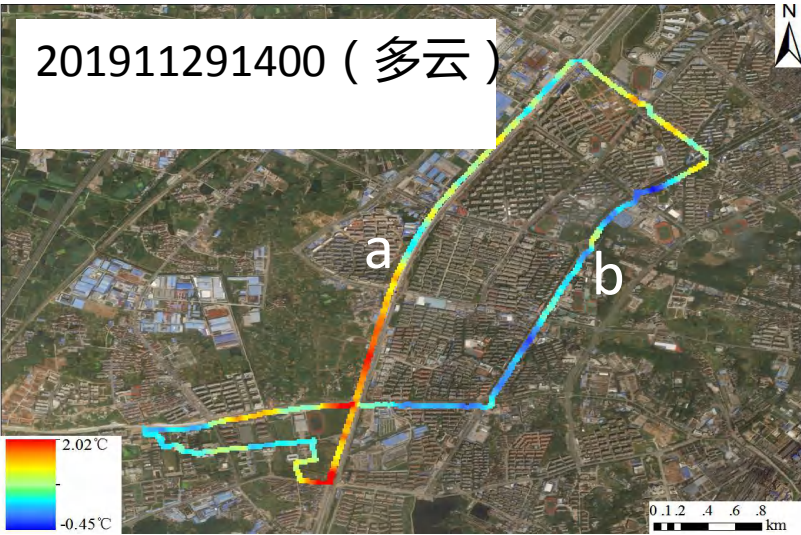
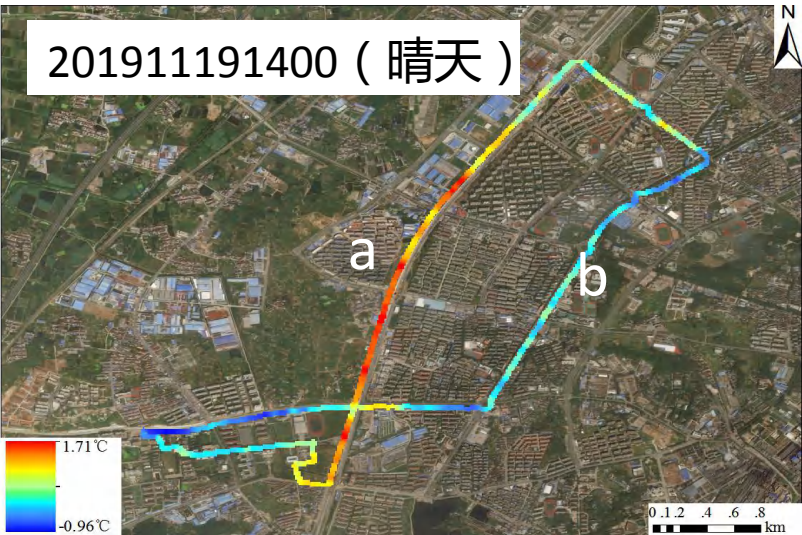
201912081400



202001021400

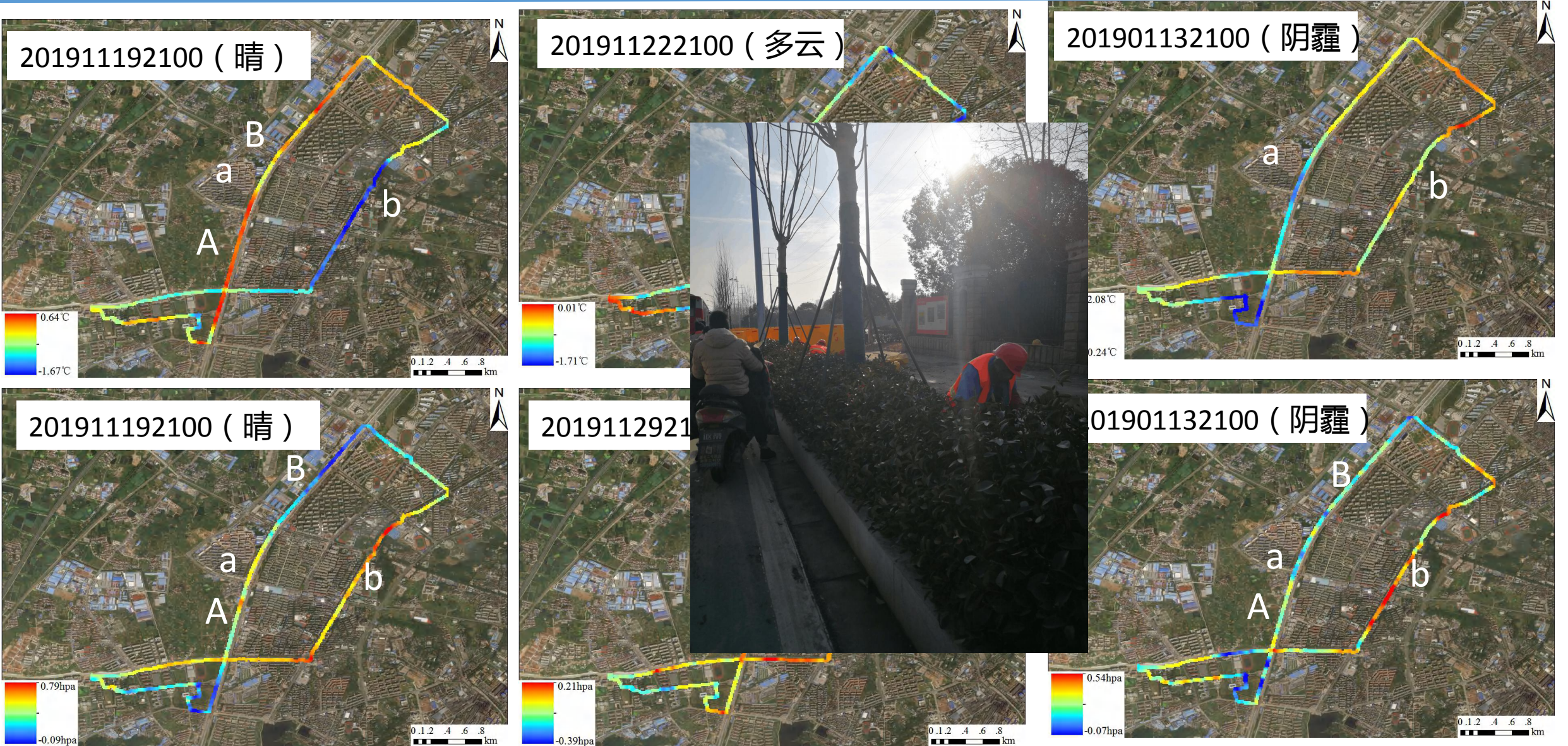
街区尺度微气候及热舒适度空间分布

白天



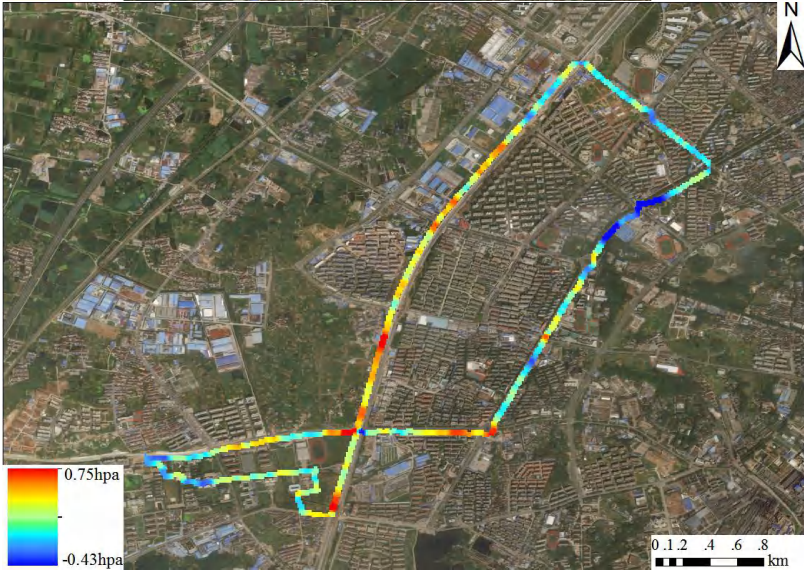
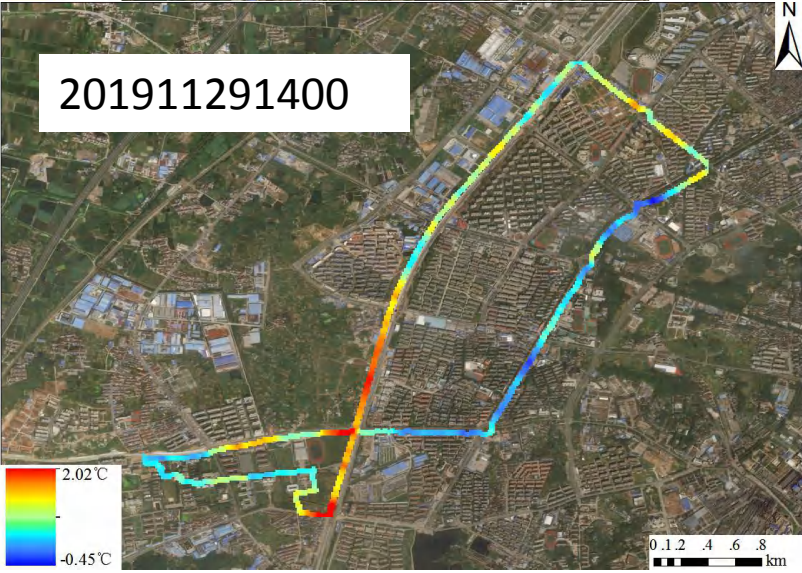
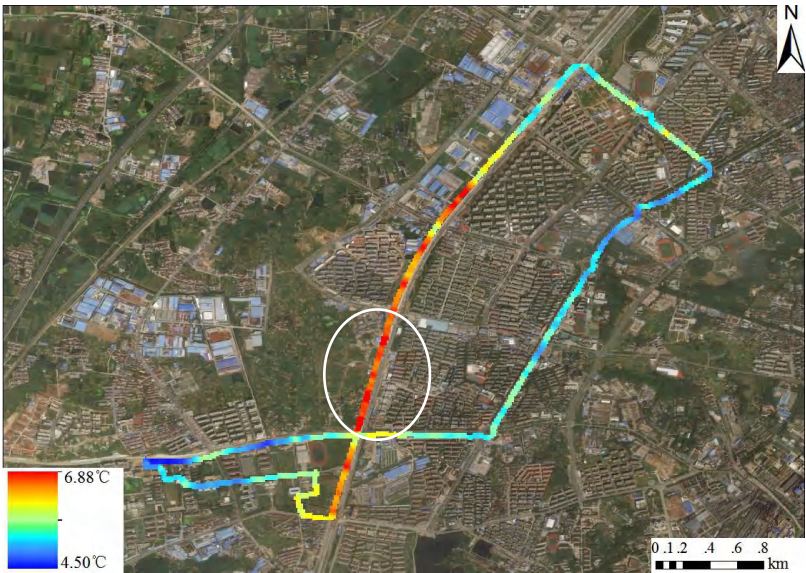
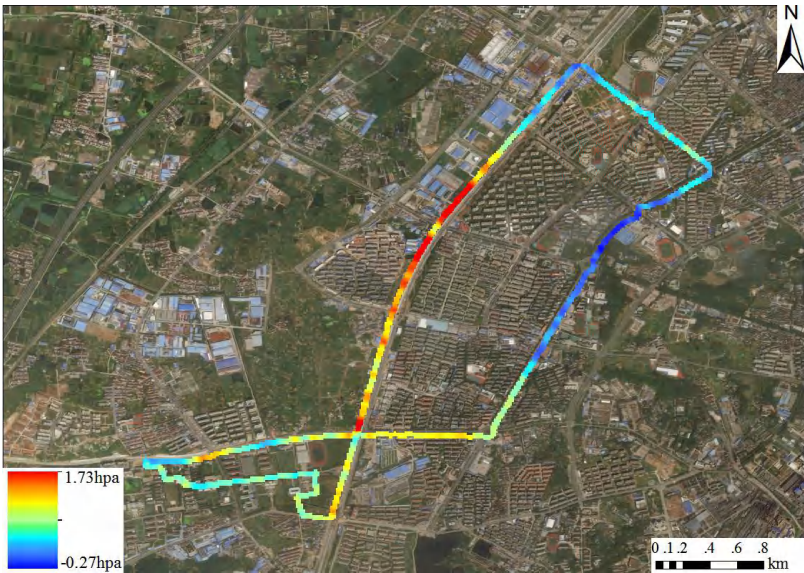
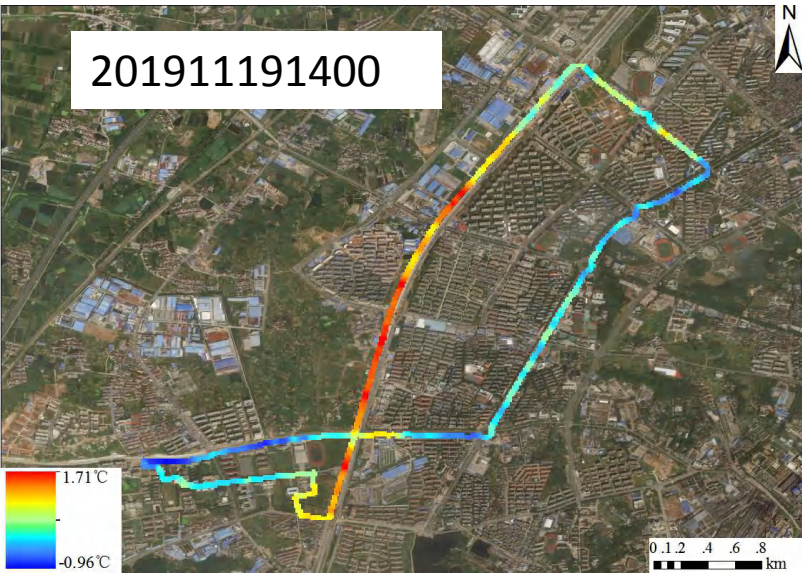
街区尺度微气候及热舒适度空间分布

夜间



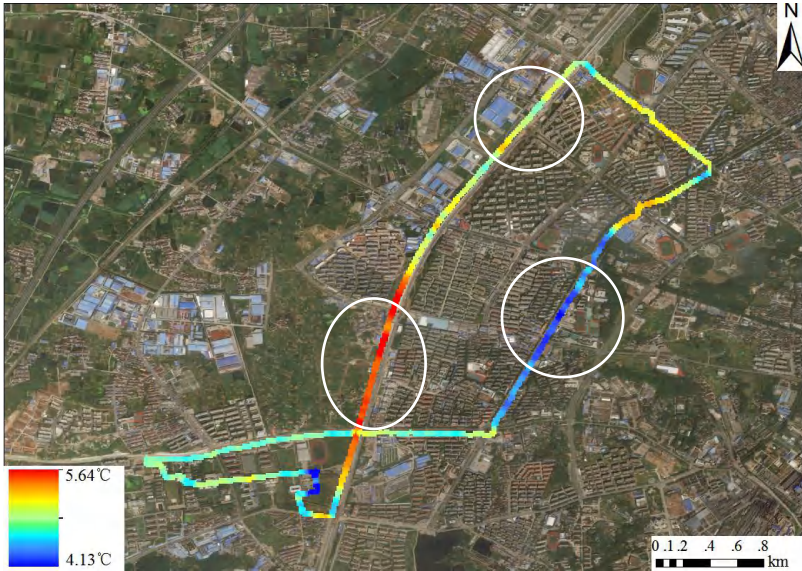
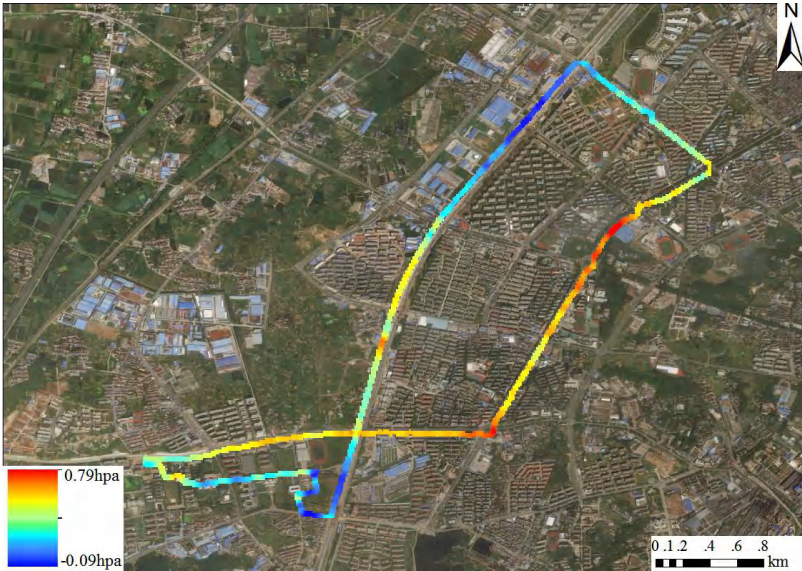
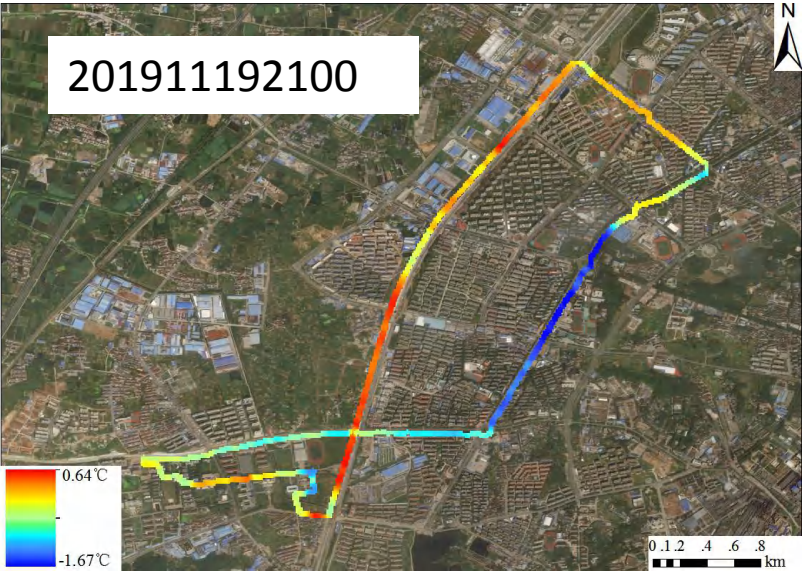
街区尺度微气候及热舒适度空间分布

白天晴天与多云天气湿球温度对比



街区尺度微气候及热舒适度空间分布

夜间晴天与多云天气湿球温度对比



讨论

- 在所有天气条件下，当出现高温高湿的情况时， T_w 一定出现极高值
- 几乎所有路口的 T_w 都出现极高值，这一区域的热舒适度较差
- 路线a比路线b的 T_w 更高，热舒适度更差。
- 白天与夜间相比， T_w 值都较高，主要是因为白天气温较高湿度较高的缘故
- 在气温出现极低值的区域，无论水汽压多高， T_w 都为极低值。
- 在气温出现极高值的区域，水汽压对 T_w 具有一定的减弱作用，且这种减弱作用在多云天气条件下比晴朗天气条件下更强。

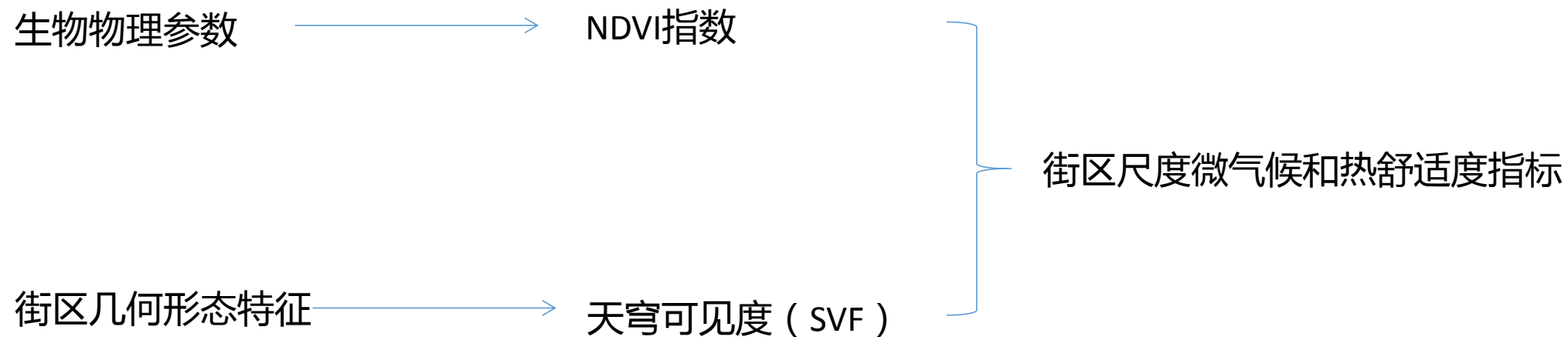
总结与展望

总结

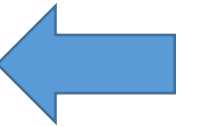
- 在阴霾、多云等太阳辐射较弱的天气条件下， ΔT 与 ΔE_a 的相关性较好，而在晴朗天气条件下，两者的相关性较差，因为较强的太阳辐射可以加热气温，对两者相关性造成影响。
- 树木可以通过产生阴影区域、蒸腾作用、蒸发作用以及光合作用（白天）提高周围环境的热舒适度，所以种植行道树和低矮灌木对于减轻街区居民的热胁迫问题有很大的帮助
- 在高温的天气下增加空气湿度会使 T_w 值升高，所以在高温天气条件下进行洒水作业不一定会提高街区居民的热舒适度
- 车辆排放的尾气废热会降低街区环境的热舒适度，加重居民的热胁迫问题
- 内环区（路线b周围区域）比外环区（路线a周围区域）的热舒适度高，更适合居民居住。

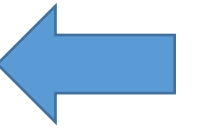
总结与展望

下一步计划



THANKS FOR WATCHING





质量控制

为了排除汽车尾气废热对实验的干扰，我们剔除行驶速度小于10km/h的数据值

- Step1:先用matlab里的distance函数 $n = \text{distance}(Y1,X1,Y2,X2)$ 求出AB两点的圆心角 n ;
- Step2:再根据弧长公式 $l = n\pi R / 180$ 求得AB两点之间的距离 l ,其中 n 表示圆心角， R 表示地球半径，这里为6371km，此时的结果为B点的速度 V ，单位为m/s。
- Step3:再将计算的速度转化为km/h即可

