

國立臺灣大學生物資源暨農學院園藝暨景觀學系

碩士論文

Department of Horticulture and Landscape Architecture

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

都市道路組成與行人熱舒適關係之研究

The study of the relationship between urban road  
composition and pedestrian thermal comfort

卓吟樺

Yin-Hua Cho

指導教授：林寶秀 博士

Advisor: Bau-Show Lin, Ph.D.

中華民國 106 年 8 月

August, 2017





國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

都市道路組成與行人熱舒適關係之研究  
The study of the relationship between urban road composition and  
pedestrian thermal comfort

本論文係卓吟樺君 (R03628309) 在國立臺灣大學園藝暨景觀學系研究所完成之碩士學位論文，於民國 106 年 06 月 10 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

林宜秀

(指導教授)

張俊子

林晏州

郭朝仁

陳惠敏





## 誌謝



終於到了寫誌謝的這一刻了，不知不覺時間就這樣過去了。回首過去三年在研究所的時光，有歡笑、有沮喪、有煩悶、有喜樂。三年之間因著師長、同學、親友的幫忙與鼓勵，才能順利的完成這本論文，心中有著滿滿的感謝。

首先感謝我的指導教授林寶秀老師，在這三年當中不斷鼓勵我督促我，付出時間與心力指導我，也包容有許多不足的我。在研究室的這些日子當中，不僅是在論文及功課上的指導，在生活方面也提供很多資訊及幫助，這期間真的受益良多，因著老師殷勤的指導與鼓勵，才能順利的完成這本論文。

感謝輔導委員林晏州老師在撰寫論文的過程中也提供了許多指導，特別是在模型驗證與統計部分；感謝張俊彥老師、陳惠美老師及郭彰仁老師在口試時針對論文所提出的專業的見解與建議，幫助讓這篇論文能夠更臻完整，謹在此表達我的感謝之意。

感謝 LA205 研究室的夥伴們，學長姐漢威、蘊欣、巧婷、佳容、靖瑜，學弟妹舒百、涵君、瑜娟、萬廉、苑寧、靖玟、亭玟、士捷，研究室的日子因為有你們而充滿樂趣，也謝謝你們在研究上提供許多幫助；感謝台北真理堂的門訓班同學及小組姊妹一直陪伴我為我禱告，讓我在異地也不感到孤單害怕，有毅力來完成論文；感謝各方好友的加油打氣，儘管不在身邊，你們的話語也是我很大的慰藉；感謝室友至元總是在關鍵時刻提出重要建議，熬夜的日子有你一起互相加油的感覺真的很美好。

感謝家人一直以來的支持與鼓勵，尤其是常常苦口婆心的爸爸，要說聲辛苦了，也謝謝你一直督促我這有很多不足的女兒；還有即將要去德國讀書的弟弟，謝謝你總是冷靜地提出一針見血的建議，幫助我良多。

最後感謝上帝，是祂的安排造就了這一切，在低谷中也一直照亮我前方的路，讓我不至於害怕，謹以此篇論文獻給在這一路上所有幫助我的人。

卓吟樺 謹誌

2017 年 8 月



## 摘要

臺灣自1999年起推行「人本交通」的概念，期望能在都市中提供舒適的步行環境。但經過重新規劃設計後的道路是否真的能成為一個舒適的人本交通環境，則少有相關的研究討論。本研究的目的為探討不同的道路組成對行人的人體熱舒適之影響，量化不同道路組成下的行人熱舒適度，以供未來道路規劃設計之參考。

道路的微氣候會受到道路組成因子的影響，如道路走向、道路高寬比、車道數量、植栽綠帶數量、植栽種類等。本研究調查了臺北市區內所有40公尺的主要道路並歸納成10種道路組成類型做為方案發展參考，使用ENVI-met微氣候模擬軟體為研究工具，並選擇道路組成類型為類型一的一個路段為實測地點進行實測，驗證氣溫、平均輻射溫度、生理等效溫度等資料。經驗證確定為可信任的模型後，以驗證地點的模型修正後做為基礎方案模型，搭配不同道路走向、綠帶數量及植栽種類組合成12種道路組成方案，計算不同方案之熱舒適度。

研究結果發現道路走向、道路植栽綠帶數量、植栽種類皆會影響行人的熱舒適。其中道路走向對熱舒適的影響最大，在所有的道路類型中，南-北走向的道路皆比東-西走向的道路舒適。而在同樣走向的道路中，植栽綠帶道路組成也會影響熱舒適度。植栽綠帶數量越多的類型可提供較多遮蔭，其生理等效溫度(PET)比植栽綠帶較少的類型低。此外，植栽種類也會影響行人熱舒適，葉面積指數(LAI)較高的植栽可阻擋較多輻射，因此在相同走向及相同綠帶數量的情況下會比使用低LAI的植栽者舒適。

**【關鍵詞】** 生理等效溫度、ENVI-met、道路走向、植栽綠帶、葉面積指數



## Abstract

The concept of Humanity-Oriented Transportation had been applied in road design and construction in Taipei city since 1999. By manipulating the composition of a road, an accessible, wider, and more vegetation sidewalk can be created. Since then, some roads were remodeled to provide a more comfortable and preferable walking experience for pedestrians. However, there are a few studies assessing the benefits of the Humanity-Oriented Transportation design. The purpose of this study was to investigate the effect of road composition on pedestrian thermal comfort.

According to previous studies, the microclimate of a road was influenced by road compositions such as road orientation, aspect ratio, number of lanes, number of planting strips and tree species. This study surveyed all 40 m wide roads in Taipei city and concluded 10 types of road compositions. The ENVI-met microclimate simulation software was used to calculate PET for each scenario. The verification was done by comparing the measurement values with simulated values, including air temperature, mean radiant temperature, and PET. The site model we chose to validate was further varied by varying road orientation, greenbelts and LAI of trees to create 12 road composition scenarios.

The study results showed that road orientation had a significant effect on the thermal comfort of a road. Among the 12 scenarios, the thermal comfort of N-S roads was much more comfortable than E-W roads. Road type with greater vegetation performed a better thermal comfort than other road composition types, while road orientation was fixed. In addition, roads planted with high LAI trees revealed a better thermal comfort than roads planted with low LAI trees.

**【Keywords】** Physiological Equivalent Temperature ; ENVI-met ; road orientation ; green belt ; Leaf Area Index

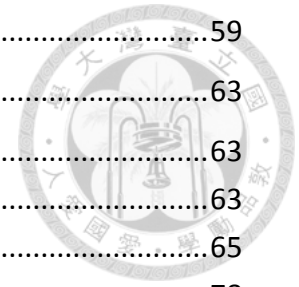


# 目 錄



第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究步驟與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 人體熱舒適.....	5
一、熱舒適之定義.....	5
二、熱舒適度評估方法.....	6
第二節 都市道路組成.....	11
一、都市道路.....	11
二、道路組成因子.....	12
第三節 道路微氣候影響因子.....	14
一、道路走向.....	14
二、道路高寬比.....	15
三、天空可視率.....	15
四、植栽與綠覆率.....	16
第四節 ENVI-met 相關研究與應用.....	17
一、ENVI-met 軟體介紹.....	17
二、ENVI-met 軟體應用.....	23
第三章 研究方法.....	27
第一節 研究架構與內容.....	27
一、研究流程.....	27
二、研究假設.....	28
三、研究變項定義.....	29
第二節 臺北市主要道路空間組成類型.....	30
一、臺北市道路基礎資料.....	30
二、臺北市 40 公尺寬主要道路內涵類型.....	32
第三節 ENVI-met 模型設定與驗證.....	37
一、模型建立.....	37
二、模型驗證.....	39
第四節 都市道路組成模擬方案.....	49
一、方案發展過程與原則.....	49
二、方案說明.....	50
第五節 資料處理與分析.....	59
一、資料處理.....	59

二、 研究假設檢定.....	59
第四章 研究結果.....	63
第一節 不同方案的模擬結果.....	63
一、各方案在不同時刻的 PET 表現 .....	63
二、不同方案間之熱舒適度比較.....	65
第二節 不同方案對行人熱舒適影響之分析.....	78
一、各方案在不同時刻的 PET 降溫效果 .....	78
二、道路走向對 PET 降溫之影響分析 .....	79
三、道路植栽綠帶數量對 PET 降溫之影響分析 .....	82
四、植栽 LAI 高低對 PET 降溫之影響分析.....	84
五、道路組成對 PET 降溫之影響分析 .....	90
六、道路組成對 PET 降溫影響之分析 .....	92
第三節 研究假設驗證.....	94
第五章 結論與建議.....	95
第一節 結論.....	95
第二節 建議.....	97
參考文獻.....	99
附件一、各方案不同時段 PET 變化圖 .....	103





# 圖目錄



圖 1-1 研究流程圖 .....	4
圖 2-1 PMV 與 PPD 關係圖 .....	7
圖 2-2 臺灣地區 PMV 與 PET 對照圖 .....	10
圖 2-3 道路空間組成示意圖 .....	11
圖 2-4 道路走向示意圖 .....	14
圖 2-5 ENVI-met 子模型示意圖 .....	23
圖 3-1 研究方法操作流程圖 .....	27
圖 3-2 測點位置圖 .....	39
圖 3-3 現地觀測儀器架設圖 .....	40
圖 3-4 春季氣溫實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	42
圖 3-5 春季氣溫實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	42
圖 3-6 夏季氣溫實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	43
圖 3-7 夏季氣溫實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	43
圖 3-8 春季平均輻射溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	44
圖 3-9 春季平均輻射溫度實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	44
圖 3-10 夏季平均輻射溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	45
圖 3-11 夏季平均輻射溫度實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	45
圖 3-12 春季生理等效溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	46
圖 3-13 春季生理等效溫度實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	46
圖 3-14 夏季生理等效溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖 .....	47
圖 3-15 夏季生理等效溫度實測值與模擬值之驗證結果圖 .....	47
圖 3-16 方案發展流程圖 .....	49
圖 4-1 各方案人行道範圍 PET 平均值不同時刻之變化圖 .....	64
圖 4-2 方案 EW_2_low、NS_2_low 逐時 PET 變化圖 .....	66
圖 4-3 方案 EW_3_low、NS_3_low 逐時 PET 變化圖 .....	66
圖 4-4 方案 EW_4_low、NS_4_low 逐時 PET 變化圖 .....	67
圖 4-5 方案 EW_2_low、EW_3_low、EW_4_low 的逐時 PET 變化圖 .....	69
圖 4-6 方案 NS_2_low、NS_3_low、NS_4_low 的逐時 PET 變化圖 .....	70
圖 4-7 方案 EW_2_low、EW_2_high 的逐時 PET 圖 .....	72
圖 4-8 方案 EW_3_low、EW_3_high 的逐時 PET 圖 .....	73
圖 4-9 方案 EW_4_low、EW_4_high 的逐時 PET 圖 .....	74
圖 4-10 方案 NS_2_low、NS_2_high 的逐時 PET 圖 .....	75
圖 4-11 方案 NS_3_low、NS_3_high 的逐時 PET 圖 .....	76
圖 4-12 方案 NS_4_low、NS_4_high 的逐時 PET 圖 .....	77
圖 4-13 各方案人行道 PET 降溫平均值逐時變化圖 .....	78



## 表 目 錄



表 2-1 SET*與 PET 的熱平衡方程式.....	8
表 2-2 各層級道路定義與寬度表.....	11
表 2-3 市區各層級道路空間分類特性表.....	13
表 2-4 ENVI-met 道路尺度熱舒適相關研究整理.....	25
表 3-1 臺北市 2014 年各寬度道路加總長度統計表.....	30
表 3-2 臺北市 40-50 公尺主要道路列表.....	31
表 3-3 各類型數量統計表.....	33
表 3-4 各類型道路規劃單元數量表.....	33
表 3-5 各類型道路規劃單元尺寸表.....	34
表 3-6 各類型剖面示意圖與道路列表.....	35
表 3-7 ENVI-met 基本參數設定.....	38
表 3-8 初始氣溫及相對溼度逐時數值表.....	38
表 3-9 實測值與模擬值驗證結果表.....	41
表 3-10 方案內容表.....	50
表 3-11 各方案剖面示意圖.....	58
表 3-12 分析計畫表.....	61
表 4-1 各方案所有人行道範圍之 PET 表.....	64
表 4-2 方案 EW_2_low 與方案 NS_2_low 人行道 PET 分析表.....	65
表 4-3 方案 EW_3_low 與方案 NS_3_low 人行道 PET 分析表.....	66
表 4-4 方案 EW_4_low 與方案 NS_4_low 人行道 PET 分析表.....	67
表 4-5 方案 EW_2_low、EW_3_low、EW_4_low 人行道 PET 分析表.....	69
表 4-6 方案 NS_2_low、NS_3_low、NS_4_low 人行道 PET 分析表.....	70
表 4-7 方案 EW_2_low 與方案 EW_2_high 人行道 PET 分析表.....	72
表 4-8 方案 EW_3_low 與方案 EW_3_high 人行道 PET 分析表.....	73
表 4-9 方案 EW_4_low 與方案 EW_4_high 人行道 PET 分析表.....	74
表 4-10 方案 NS_2_low 與方案 NS_2_high 人行道 PET 分析表.....	75
表 4-11 方案 NS_3_low 與方案 NS_3_high 人行道 PET 分析表.....	76
表 4-12 方案 NS_4_low 與方案 NS_4_high 人行道 PET 分析表.....	77
表 4-13 方案 EW_2_low、NS_2_low 8 點時人行道之 PET 降溫表.....	79
表 4-14 方案 EW_3_low、NS_3_low 8 點時人行道之 PET 降溫表.....	79
表 4-15 方案 EW_4_low、NS_4_low 8 點時人行道之 PET 降溫表.....	81
表 4-16 方案 EW_2_low、NS_2_low 18 點時人行道之 PET 降溫表.....	81
表 4-17 方案 EW_3_low、NS_3_low 18 點時人行道之 PET 降溫表.....	81
表 4-18 方案 EW_4_low、NS_4_low 18 點時人行道之 PET 降溫表.....	81
表 4-19 方案 EW_2_low、EW_3_low、EW_4_low 8 點時人行道之 PET 降溫表.....	82
表 4-20 方案 NS_2_low、NS_3_low、NS_4_low 8 點時人行道之 PET 降溫表.....	82

表 4-21 方案 EW_2_low、EW_3_low、EW_4_low18 點時人行道之 PET 降溫表	83
表 4-22 方案 NS_2_low、NS_3_low、NS_4_low18 點時人行道之 PET 降溫表	83
表 4-23 方案 EW_2_low、EW_2_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	85
表 4-24 方案 EW_3_low、EW_3_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	85
表 4-25 方案 EW_4_low、EW_4_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	85
表 4-26 方案 NS_2_low、NS_2_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	85
表 4-27 方案 NS_3_low、NS_3_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	86
表 4-28 方案 NS_4_low、NS_4_high 8 點時人行道之 PET 降溫表	86
表 4-29 方案 EW_2_low、EW_2_high18 點時人行道之 PET 降溫表	88
表 4-30 方案 EW_3_low、EW_3_high18 點時人行道之 PET 降溫表	88
表 4-31 方案 EW_4_low、EW_4_high18 點時人行道之 PET 降溫表	88
表 4-32 方案 NS_2_low、NS_2_high 在 18 點時人行道之 PET 降溫表	88
表 4-33 方案 NS_3_low、NS_3_high18 點時人行道之 PET 降溫表	89
表 4-34 方案 NS_4_low、NS_4_high18 點時人行道之 PET 降溫表	89
表 4-35 各方案 8 點時人行道 PET 降溫表	91
表 4-36 各方案 18 點時人行道 PET 降溫表	91
表 4-37 8 點時 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 之相關性分析結果表	93
表 4-38 8 點時道路組成對 PET 降溫的迴歸分析結果表	93
表 4-39 18 點時 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 之相關性分析結果表	93
表 4-40 18 點時的道路組成對 PET 降溫的迴歸分析結果表	93
表 4-41 研究假設驗證結果表	94

# 第一章 緒論



## 第一節 研究動機

「道路」是都市開放空間中最大的組成，其在都市當中扮演著運輸、連結、指引方向的角色，同時也是人們交流、生活、從事商業活動的空間。但隨著車輛的發明及都市的擴張，道路的服務對象變成以車輛為主，形成「車本交通」的現象。此現象不僅造成人行空間被限縮，因而發生人車爭道的險境，更因車輛變多而產生空氣汙染、噪音汙染、都市熱島現象加劇等問題。

近年來永續發展、綠色交通等概念已成為全球都市發展的趨勢，內政部營建署自民國 98 年起推行「人本交通」的觀念，在不影響道路運輸功能的情況下改善人行空間，提供舒適的步行環境，各縣市政府也配合此政策著手進行人行環境的改善。在內政部營建署所提到的人本交通核心理念中，包含了「人行空間再造」、「無障礙環境改善」、「道路景觀綠美化」等概念，而在落實到實質的道路規劃設計中時，多著重於人行空間的拓寬、無障礙設施的改善、鋪面更新及增加景觀綠化面積等部分，而改善後的道路，其氣溫及行人熱舒適度是否也能得到相對的改善，則是本研究探討的重點。

都市道路的微氣候會受到道路空間組成因子的影響，如道路走向、道路寬度及長度、兩側建築形式及高度、植栽數量及遮蔭程度等因素，會影響道路空間的氣溫及行人熱舒適度。過去在都市道路微氣候的相關研究中，多探討道路走向、道路高寬比、遮蔭程度對於氣溫以及行人熱舒適度的影響。在道路走向與高寬比方面，不同的道路走向和道路高寬比會造成道路氣溫的差異(Ali-Toudert & Mayer, 2006, 2007; Bourbia & Awbi, 2004)；而遮蔭程度方面，多以天空可視率來表示道路接受太陽輻射的程度，而道路的氣溫則會隨著天空可視率的提高而增加(He et al., 2014; Taleghani et al., 2015)。植栽也是影響行人熱舒適度的重要因

子之一；植栽所形成的陰影可以阻擋太陽輻射，避免太陽直射造成建築與地面表面高溫 (Akbari, 2001)，而在同樣的走向與高寬比下，有植栽的道路會比沒有植栽的道路更加舒適 (Zeng&Dong, 2015)。過去在道路空間熱舒適的相關研究中大部分僅探討植栽的有無對氣溫及熱舒適度的影響，較少針對植栽的種類及種植數量多寡進行討論，也較無法被應用到實際的道路規劃設計中。因此本研究將道路走向、植栽綠帶數量及植栽種類視為影響道路微氣候的道路組成，探討其對行人熱舒適度的影響。

本研究以臺北市主要道路空間為研究對象，利用 ENVI-met 微氣候模擬軟體進行不同道路組成類型之熱舒適度計算。藉由文獻回顧及現地觀察了解影響道路微氣候的因子，以及臺北市主要道路的空間組成情形。經現地觀測資料與模型輸出值驗證分析確認為可信賴的模型後，進行不同道路組成方案的氣溫及熱舒適度的計算，量化不同道路組成下的行人熱舒適度，提供做為未來都市道路規劃設計之參考。

## 第二節 研究目的

本研究主要目的為探討不同都市道路組成對行人之人體熱舒適的影響，研究目標包含：

- 1、探討不同道路走向對行人熱舒適之影響。
- 2、探討不同道路植栽綠帶組成對行人熱舒適之影響。

### 第三節 研究步驟與流程

本研究首先根據研究動機與目的進行相關文獻的收集與整理，確認變項間的關係與測量方式，再來擬定研究架構、研究假設，並透過文獻及實際調查研擬都市道路空間組成之方案，最後進行電腦模擬及資料分析，提出研究結果與建議。

本研究分為五個部分，研究流程如圖 1-1 所示。

#### 一、緒論

主要說明本研究之研究動機、研究目的、研究內容與流程。

#### 二、文獻回顧

主要文獻包含人體熱舒適、都市道路組成、道路微氣候影響因子及 ENVI-met 軟體的相關研究，作為研究架構、研究假設擬定之依據。

#### 三、研究方法

本部分依據研究動機、研究目的與相關文獻回顧之結果擬定研究方法，內容包含研究限制與範圍、研究架構建立、提出研究假設及 ENVI-met 模型之操作與驗證等。

#### 四、研究結果

主要說明研究道路組成模擬方案之分析結果，並進行研究假設驗證結果的說明。

#### 五、結論與建議

本部分包含研究結果重點摘要及主要結論，並依據研究結果提出都市道路規劃設計之相關建議與後續研究方向。

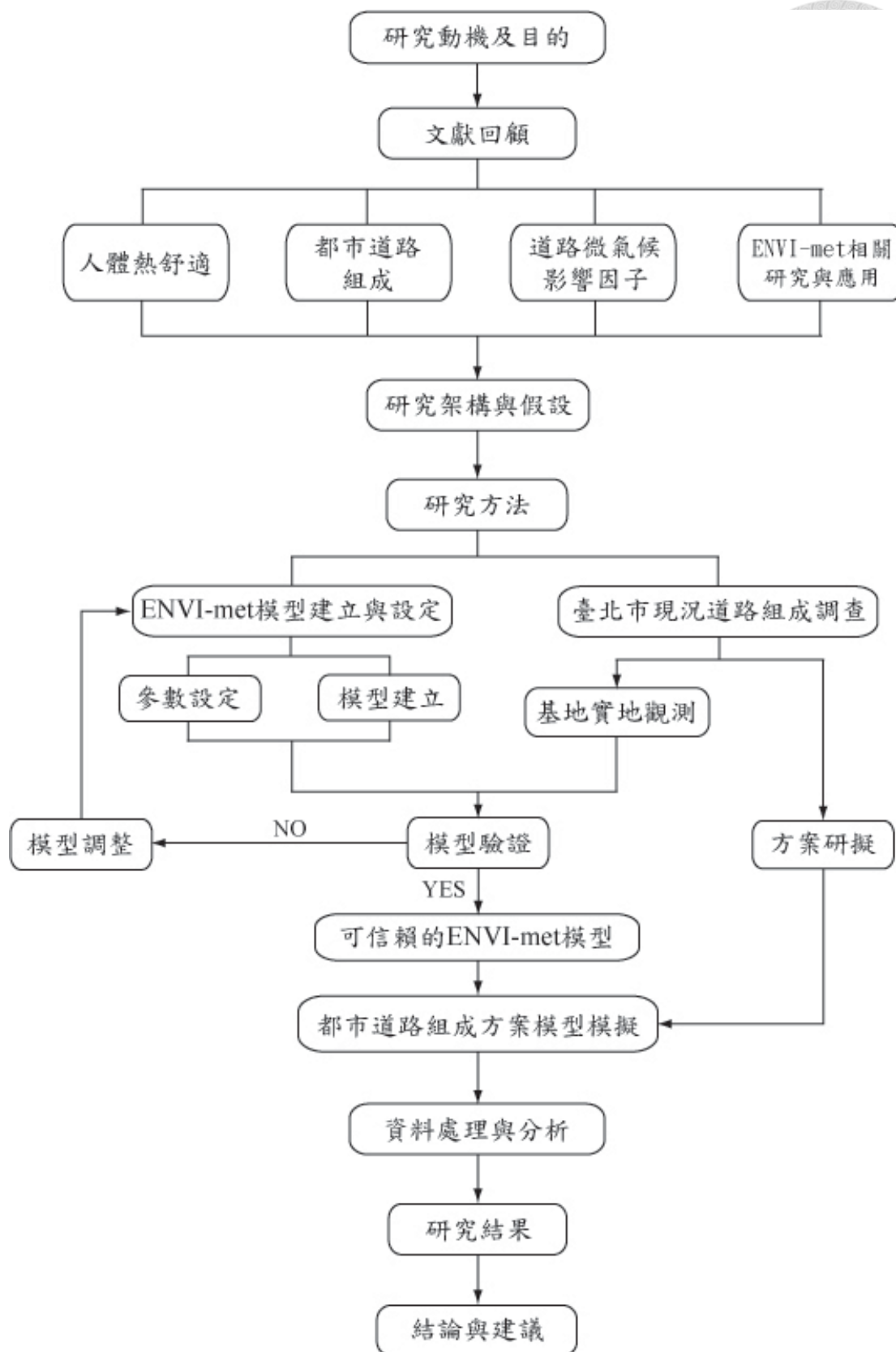


圖 1-1 研究流程圖



## 第二章 文獻回顧



### 第一節 人體熱舒適

#### 一、熱舒適之定義

美國冷凍空調工程協會 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE) 及國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 訂定了許多舒適性的標準，如 ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2004)、ISO7730 (ISO, 1994) 等，作為評估環境舒適性的重要方法。依據美國冷凍空調工程協會的定義，熱舒適 (thermal comfort) 指的是人們對於其所處的熱環境 (thermal environment) 感到滿意的心理狀態 (ASHRAE, 2004)；而國際標準組織則採用 Fanger 的定義，指出熱舒適為人們對其當下所處的熱環境感到滿意時的狀況，並經由詢問以得知使用者對環境的舒適性評價 (ISO, 1994)。

熱舒適度受到氣候及人體兩大條件影響，氣候條件包括氣溫、風速、相對濕度及輻射溫度，人體條件包括活動新陳代謝產熱量及衣著量 (ASHRAE, 1992；ASHRAE, 2004)。外在環境的氣候條件之差異會對人與環境的熱平衡關係造成影響，進而影響人體的熱舒適度。在任何時刻，人體與周圍環境皆有熱交換的發生，也就是人自體的新陳代謝產熱率與人往周圍環境的散熱率之間的平衡關係，當人體與環境的熱交換達成平衡時，則人體的體溫會維持在一個穩定的狀態 (Mayer & Höppe, 1987；Brown, 1995；黃柔嫻，1999)。

在一個穩定的環境下，人體與環境之間的熱平衡可由以下公式來表示：

$$H + R + C + E_D + E_{Res} + E_{sw} + F = S$$

式 1

- H 表示新陳代謝產生的內部熱通量 ( $W/m^2$ )



- R 表示人體淨輻射量 ( $W/m^2$ )
- C 表示對流熱通量 ( $W/m^2$ )
- $E_D$  表示水蒸氣蒸散產生的潛熱通量 ( $W/m^2$ )
- $E_{Res}$  表示呼吸作用產生的潛熱通量 ( $W/m^2$ )
- $E_{Rel}$  表示呼吸作用產生的熱通量 ( $W/m^2$ )
- $E_{Sw}$  表示人體出汗產生的潛熱通量 ( $W/m^2$ )
- F 表示從飲食得到或流失的熱通量 ( $W/m^2$ )
- S 表示人體內部的蓄熱量 ( $W/m^2$ )

當 $S=0$ 時表示人體內部產生的熱通量及從環境中得到的熱通量，與人體流失到環境中的熱通量相等，則人體體溫達到一個穩定的狀態 (Höppe, 1993)。

## 二、 熱舒適度評估方法

自1970年代以來，許多學者便針對熱舒適提出了多種評估指標 (thermal comfort index)，例如Fanger所提出的人體舒適性指標 (Predicted Mean Vote, PMV) 與人體舒適不滿意比例 (Predicted Percent Dissatisfied, PPD)、Gagge的新標準有效溫度 (Standard New Effective Temperature, SET\*)、Höppe的生理等效溫度 (Physiologically Equivalent Temperature, PET) 等。PMV、PPD指標主要用於描述人體對熱環境的感受，SET\*、PET則表示實際熱環境的氣候狀況。

由於熱舒適的理論發展是源於室內空間，因此過去熱舒適指標與基準的研究多著重於室內環境，對於戶外環境的熱舒適度則較少被討論。而隨著人們在戶外活動的機會越來越多，對於戶外空間的舒適性也越來越重視，許多學者也開始針對戶外環境的熱舒適度進行評估探討。

Fanger在1970時根據人與室內環境的熱平衡關係建構了一套完整的理論模式，並發展出PMV與PPD指標來評估室內環境的熱舒適度。PMV指標將人對環境的冷熱主觀感覺分為七個等級，由-3到+3分別為冷(-3)、涼(-2)、微涼(-1)、適中(0)、微暖(+1)、暖(+2)、熱(+3)，用以預測在室內熱環境中人的

心理反應。但由於個人的生理與心理反應的差別，即使是在舒適的狀況下也是有人會感到不滿意，因此Fanger提出了PPD指標來評估人對於當下的熱環境感到不滿意的程度，以受測人數的百分比來計算。PMV與PPD的關係變化曲線圖如圖2-1所示，根據ISO7730的標準，當PMV值介於-0.5到+0.5之間時，PPD會小於10%（表示預測會有10%以下的人會感到不滿意），此熱環境為人感到最舒適的狀況。

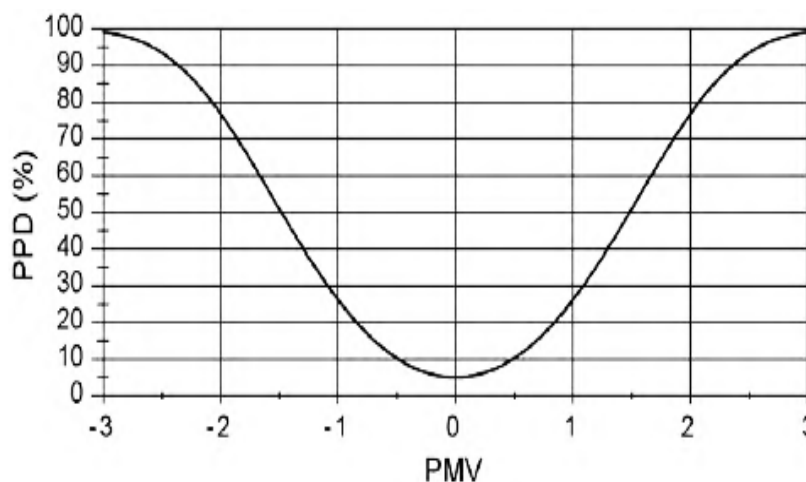


圖 2-1 PMV 與 PPD 關係圖

Gagge在1986年時提出建議，將新有效溫度(New Effective Temperature, ET\*)標準化，即為新標準有效溫度SET\*。SET\*是根據人體與周遭環境的熱傳導過程，以動態兩點模型(dynamic two-node model)來推算人體對環境的反應的指標。其定義為一個相對濕度50%的假想等溫環境中的氣溫，當受試者穿著標準化服裝在此環境中從事活動時，其人體皮膚表面的熱應力及體溫調節會與受試者處在實質環境中時相同。其設定條件為衣著量0.6clo、代謝量1.0met、平均輻射溫度=氣溫，並考量人體因素與周遭環境的物理因素，包含氣溫、相對溼度、風速、平均輻射溫度、衣著量、代謝量等六項(Gagge, 1986)。

生理等效溫度(PET)是近年在戶外熱舒適度研究當中常被使用的評估指標，係由Höppe在1999年時所提出。PET的理論基礎是根據MEMI(Munich Energy balance Model for Individuals)能量平衡方程式所建立，其定義為人體在戶外複雜的環境中，當體核溫度及皮膚溫度與環境達成熱平衡的狀態下，該處的溫度相當

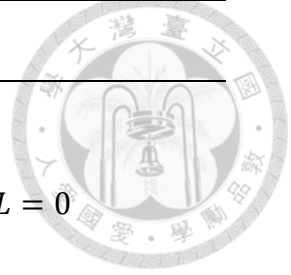
於典型室內環境 (typical indoor setting) 中的氣溫。PET的典型室內環境設定為平均輻射溫度=氣溫、水蒸氣壓為12.5hPa、相對濕度50%、風速0.1m/s，人體條件則設定為衣著量0.9clo、代謝量1.4met。PET的計算結果表示為溫度，使得一般人可以藉由自己本身的經驗來推測或想像戶外環境的熱環境舒適與否 (Höppe, 1999)。

表 2-1 SET\*與 PET 的熱平衡方程式

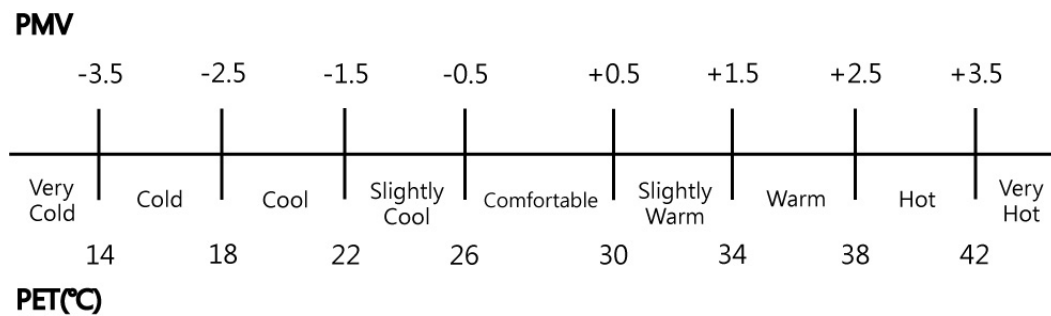
名稱	出處	平衡式
		此模型包含兩組熱平衡公式— 第一組熱平衡公式： $S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - (T_{cr} - T_{sk}) * (5.28 + 1.163 * skbf)$ $S_{sk} = (T_{cr} - T_{sk}) * (5.28 + 1.163 * skbf) - (C + R + E_{sk})$
SET*	Gagge, 1986	$S_{cr}$ ：體核點的蓄熱速率 (W/m <sup>2</sup> ) $S_{sk}$ ：皮膚點的蓄熱速率 (W/m <sup>2</sup> ) M：基礎代謝率 (W/m <sup>2</sup> ) W：對外有效做功率 (W/m <sup>2</sup> ) $C_{res}$ ：呼吸作用中對流熱損失的速率 (W/m <sup>2</sup> ) $E_{res}$ ：呼吸作用中蒸發熱損失的速率 (W/m <sup>2</sup> ) $T_{cr}$ ：體核點溫度 (°C) $T_{sk}$ ：皮膚點溫度 (°C) skbf：皮膚表層血流量 (L/hm <sup>2</sup> ) C：皮膚對流熱損失 (W/m <sup>2</sup> ) R：皮膚輻射熱損失 (W/m <sup>2</sup> ) $E_{sk}$ ：皮膚總蒸發熱損失 (W/m <sup>2</sup> )  第二組熱平衡公式： $S_{cr} = (1 - \alpha)mc_{p,b}(dt_{cr}/d\theta) / A_D$ $S_{sk} = \alpha mc_{p,b}(dt_{sk}/d\theta) / A_D$ $\alpha$ ：皮膚佔體重的分數 (fraction) m：體重 (kg) $c_{p,b}$ ：人體特定的熱容量 (KJ / Kg) $\theta$ ：時間 (s)

表 2-1 SET\*與 PET 的熱平衡方程式

		$A_D$ ：體表面積 ( $m^2$ )
		此模型包含三個平衡公式— 身體總能量的守衡公式： $H + R + C + E_D + E_{sw} + E_{Re} + L = 0$
		H：新陳代謝產生的內部熱通量 R：人體淨輻射量 C：對流熱通量 $E_D$ ：水蒸氣蒸散產生的潛熱通量 $E_{sw}$ ：人體出汗產生的潛熱通量 $E_{Re}$ ：呼吸作用產生的潛熱通量 L：呼吸作用產生的熱通量 (單位皆為 $W/m^2$ )
PET	Höppe, 1999	$F_{cs} = v_b * \rho_b * C_b * (T_{cr} - T_{sk})$ $F_{cs} = (1/I_{cl}) * (T_{sk} - T_{cl})$  $F_{cs}$ ：從體核到體表的熱通量 $F_{sc}$ ：從體表到衣服熱通量 $v_b$ ：從體核到體表的血流量 ( $ls^{-1} m^{-2}$ ) $\rho_b$ ：血液密度 (kg/l) $C_b$ ：比熱 ( $W sK^{-1} kg^{-1}$ ) $T_{cr}$ ：體核點溫度 ( $^{\circ}C$ ) $T_{sk}$ ：皮膚點溫度 ( $^{\circ}C$ ) $T_{cl}$ ：衣服點溫度 ( $^{\circ}C$ ) $I_{cl}$ ：服裝耐熱性 ( $K m^2W^{-1}$ )



Lin & Matzarakis (2008) 針對臺灣地區戶外環境的熱舒適度進行研究，透過民眾的熱感知問卷調查及氣候資料分析，歸納出臺灣民眾在戶外環境中覺得舒適的範圍在26~30°C PET之間，也就是熱舒適範圍 (thermal acceptable range)。此狀態下人體與環境的熱交換達成平衡狀態，為最舒適的情況。詳細熱感知評價與所對應之PET如圖2-2所示。此對照圖將做為後續評估不同道路組成類型中的不同熱舒適程度分級所佔比例的標準。



(資料來源：Lin & Matzarakis, 2008)

圖 2-2 臺灣地區 PMV 與 PET 對照圖

## 第二節 都市道路組成



### 一、都市道路

道路空間是由道路兩側建築物牆面所圍成的線性空間，包含人行道、騎樓、綠帶等空間，提供了交通運輸、交流活動、工作生活等功能（Lillebye, 1996；葉佳靈，2011）。

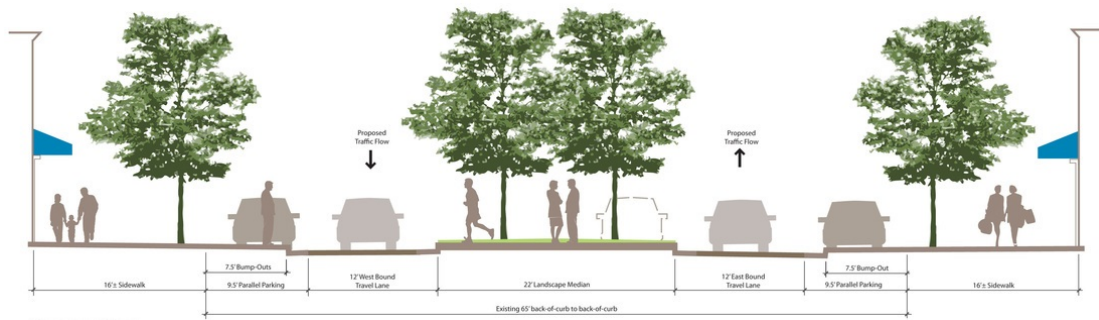


圖 2-3 道路空間組成示意圖

都市道路一般指的是都市區域內的道路，根據內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」中之定義，可將市區道路分為快速道路、主要道路、次要道路、服務道路等四個層級，分別提供不同的機能，以建構完整的都市道路路網（內政部營建署，2001）。詳細說明如表2-2所示。

表 2-2 各層級道路定義與寬度表

層級	定義	道路寬度	
主要道路	供交通繁忙地區與外圍重要市鄉鎮間連絡之道路，並兼供穿越城市交通使用；或連絡都市內各分區間之幹線道路。	30m 以上	
次要道路	提供與鄰近社區或鄉鎮或村里聚落間之連絡道路，具連絡主要道路與服務道路之功能。	20m~40m	
服務道路	集散	供地區性活動使用及連接次要道路與巷道。	15m~23m
巷道	供道路兩旁建築物人車直接出入之道路。	8m~15m	

（內政部營建署，市區道路工程規劃及設計規範之研究，2001）



## 二、道路組成因子

在道路的組成當中，主要可分為實質的空間組成與軟體的文化內涵兩個面向。Lillebye (2001) 曾提出，在道路的規劃設計中應有一些基本的考量因素，如交通機能 (traffic)、提供機能 (function)、社會狀況 (social life)、實質型式 (physical characteristic) 等。在交通機能方面包含車輛、行人、自行車、大眾運輸工具等考量因素；提供機能方面則包含交易、服務、文化、滿足需求等因素；在社會狀況方面考量了人口狀況、環境、氣候、犯罪情形、當地文化等；在空間實質形式方面則需考量街道幾何形狀、特性、植栽與街道傢俱等因子。

Jefferson 等人(2001)則認為對道路設計最主要的要求可分為四項主要內容，包含整體環境 (overall environment)、實質特質 (physical characteristic)、提供機能 (function) 及交通可及性 (accessibility)。整體環境方面包含氣候、都市文化、人口狀況、環境負擔、犯罪及交通事故等考量因素；實質特質則包含街道景觀、建築、街道傢俱等因子；在提供機能方面考量了公平性、機能多樣性、組織系統管理等；在交通可及性則須重視大眾運輸系統的需求。

譚安君 (2008) 則更清楚的指出道路的實質空間組成因素包含道路尺度、道路內涵、界面關係等面向，以下詳細說明：

### (1) 道路尺度—道路寬度、長度、分段

道路尺度指的是道路的外在構成，包含道路寬度、道路長度以及分段數量等。道路的寬度會依其層級與機能而有不同的規定，例如主要道路為40公尺以上，次要道路為20~40公尺，巷道則是指8公尺以下的道路 (表2-4)。道路的長度則會影響分段的數量，如臺北市的市民大道分為一至八段，基隆路則分為一至四段。

### (2) 道路內涵—快慢車道、植栽設施帶、安全島、停車空間

道路內涵指的是道路內部的組成，包含快慢車道數量、植栽設施帶的數量、安全島的有無及位置、停車空間的設置等。



道路的內涵會依道路的層級與周遭環境的差異而有所區別，相關基

本設施規定如表2-3所示。

表 2-3 市區各層級道路空間分類特性表

道路空間分類設計特性	快速道路	主要道路	次要道路	集散道路	巷道
寬度	—	40M以上	20-40M	8-20M	8M以下
進出管制	有	部分	部分	無	無
行駛車輛	各種汽車	各種車輛	各種車輛	各種車輛	各種車輛
車道數(單向)	2以上	2以上	2以上	1或2	1或2
中央分隔帶	有	有	有或無	無	無
車道(快慢)分隔帶	無	有或無	有或無	無	無
機車道	無	有或無	有或無	有或無	無
路肩	有	無	無	無	無
路邊停車	禁止	原則禁止	可規劃	可規劃	可規劃
公車專用道	有或無	有或無	有或無	無	無
公車停靠站	禁止	允許	允許	允許	無
人行道	無	路側	路側	路側	有或混合
自行車道	無	路側	路側	路側	有或混合
行人穿越設施	立體	平面或立體	平面或立體	平面或立體	—
公共設施帶	有或無	有	有	有	有或無

(內政部營建署，市區道路工程規劃及設計規範之研究，2001)

### (3) 界面關係－土地使用強度、建築形式與高度、退縮與騎樓形式

界面關係指的是道路兩側與建築連接部分的特性，包含土地使用的強度、兩側建築的形式與高度、建築退縮與騎樓的形式等。道路的界面關係會與道路兩側的建築使用有很大的關係，如果道路位於商業區，則通常兩側的建築高度會比較高，且皆有騎樓供行人使用；如果道路位於住宅區，則兩側建築高度會較低，且較無騎樓空間。

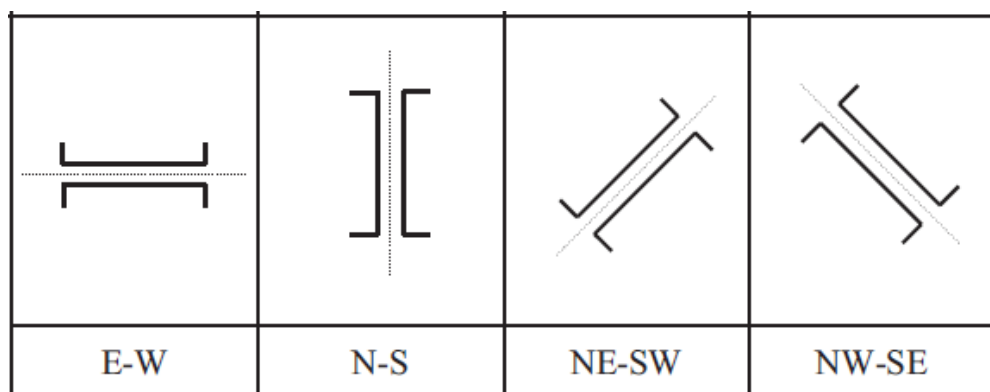


### 第三節 道路微氣候影響因子

在第二節所整理出的道路組成因子當中，會對道路微氣候造成影響的因子主要為道路的實質空間組成的部分，包含道路的幾何形式、道路兩側建築、植栽等。過去在道路微氣候的相關研究中，常用於探討道路空間實質組成對道路微氣候及行人熱舒適的變項可分為四個類別：道路走向、道路高寬比、天空可視率、植栽與綠覆率。其中道路高寬比與天空可視率，雖然皆用於表示道路兩側建築對道路地面所接收到的太陽輻射量多寡的影響，但其測量方式及評斷標準並不相同，故仍分開討論。

#### 一、 道路走向

道路走向 (orientation) 指的是道路通行的方向，包含東-西向 (E-W)、南-北向 (N-S)、東北-西南向 (NE-SW)、東南-西北向 (NW-SE) 等，如圖2-4所示。



(資料來源：Ali-Toudert & Mayer, 2006)

圖 2-4 道路走向示意圖

Ali-Toudert和Mayer (2006) 在北非阿爾及利亞的蓋爾達耶地區，針對不同走向的道路進行調查，研究結果發現不同走向之道路，其氣溫也會不同，依溫度高低分別為東-西向、東北-西南向、東南-西北向、南-北向；而在熱舒適度的部分，東-西走向的道路，其PET也比南-北走向的道路來得高，故東-西走向的道路與南-北走向的道路相比熱舒適度較低。

Yahia和Johnsson (2014) 針對敘利亞的大馬士革地區之住宅區的道路進行熱

舒適度的研究，探討道路走向、道路高寬比及遮蔭形式對行人熱舒適的影響。研究結果發現南-北向的道路因為有建築物之陰影的影響，其PET較東-西走向的道路低；且道路走向不僅影響了主要道路空間的熱舒適，也會影響兩側建築物間之通道的熱舒適，故在進行都市的景觀規劃設計時兩者都必須被納入考慮範圍內。

## 二、 道路高寬比

道路高寬比 (aspect ratio, H/W) 指的是一個街廓內道路兩側建築平均樓層高度與道路寬度的比例，比值越高代表道路峽谷越深，地面所接收到的太陽輻射較少 (Bourbia & Awbi, 2004)。

Bourbia和Awbi (2004) 在阿爾及利亞的瓦德市的部分街道進行測量，比較不同高寬比及不同走向的道路的熱舒適度，研究發現高寬比越高的道路，其接收到的太陽輻射較少，氣溫也較低；Ali-Toudert和Mayer (2006) 的研究結果也顯示，高寬比越低的道路，其接收到的熱能也較多，因此較不舒適；Johansson (2006b) 則表示道路高寬比較低的地方因接收到的熱能較多，氣溫也較高，因此在冬天的偏好度會比夏天高。

## 三、 天空可視率

天空可視率 (Sky View Factor, SVF) 指的是天空被建築物或植栽遮蔽的程度，數值範圍為0至1，0代表完全被遮蔽，1代表完全無遮蔽 (Watson & Johnson, 1987)。最初計算天空可視率的方式是以建築的高度與街道寬度來計算其夾角 (Oke, 1981)。Grimmond和Ratti (2001) 則使用單眼相機搭配魚眼鏡頭在定點拍攝照片後，再將照片數值化計算天空與遮蔽物的比例，為現今最常用於計算SVF的方法。但此種方法需要花時間拍攝且容易產生誤差，故近來部分研究中也使用數值模擬軟體，如Rayman、EMVI-met建立模型後，透過電腦運算得知天空可視率 (Touchaei & Wang, 2015)。

Ali-Toudert和Mayer (2006) 的研究發現，在都市道路中，氣溫會隨著天空可視率提升而升高；He等人 (2014) 研究結果表示日間氣溫會隨著天空可視率

的增加而上升，夜間氣溫則緩慢減少，而夏季時天空可視率越高的道路舒適度較低，冬季則相反。此外，Taleghani等人（2015）則指出天空可視率與平均輻射溫度成正比，可視率越高，平均輻射溫度越高。



#### 四、植栽與綠覆率

在道路微氣候中植栽是一個非常重要的影響因子。Chow和Brazel（2012）認為植栽可以促進都市微氣候及熱舒適的改善，而Akbari等人（2001）認為植栽所形成的陰影可以阻擋太陽輻射，避免造成建築表面高溫。Yahia和Johnsson（2013a）針對敘利亞大馬士革地區中的不同設計的道路進行研究，結果發現在兩側建築為獨棟建築的道路中，道路走向及道路高寬比對於熱舒適度的影響並不大，而植栽對表面溫度及熱舒適則有強烈的影響；Zeng和Dong（2015）在四川成都市區內三個不同遮蔭程度的街道，對路人進行熱舒適度的問卷訪談，同時也測量調查點的微氣候狀況，研究結果指出在相同走向和高寬比的道路中，有植栽的道路會比無植栽的道路舒適。

在綠覆率的方面，陳恩右（2004）針對臺北市的道路進行抽樣調查，研究結果發現當都市道路的綠覆率大於45%時會成為冷島道路，綠覆率小於35%時則會成為熱島道路；Sun（2011）則選擇臺中市的兩條不同綠覆程度的道路進行研究，研究結果指出當道路的綠覆率大於35%時，可降溫約0.55°C。Shahidan等人（2012）的研究結果也指出植栽數量較多、植栽冠層密度較密時葉面積指數（Leaf Area Index, LAI）較高，可以有效的改善戶外環境的微氣候；在植栽數量比原本多50%，植栽LAI值為9.7時，最多可降溫約2.7°C。

## 第四節 ENVI-met 相關研究與應用



### 一、 ENVI-met 軟體介紹

本研究使用微氣候模擬軟體 ENVI-met 模擬不同道路組成方案的氣溫及熱舒適度表現。

ENVI-met 是由德國學者 Michael Bruse (1997) 所開發的微氣候模擬軟體，以流體力學及熱力學為理論基礎，模擬都市環境中建築表面、植被、空氣的相互關係。ENVI-met 主要的計算變量包含風速與風向、空氣溫度與土壤溫度、空氣濕度與土壤濕度、輻射通量、氣體與顆粒污染物分布等 (Bruse & Fleer, 1998)。

Huttner 在 2012 年的研究針對 ENVI-met 模型的物理計算內容進行描述，整理如下：

#### (一) 風流

風速及風向的時間與空間變化是以三維非靜力 Navier-Stokes 方程式來計算 (式 2、式 3、式 4)。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) + f(v - v_g) - S_u(x, y, z) \end{aligned}$$

式 2

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) + f(u - u_g) - S_v(x, y, z) \end{aligned}$$

式 3

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right) - S_w(x, y, z) \end{aligned}$$

式 4

- $p'$  : 局部壓力擾動 (local pressure perturbation)



- $K_m$ ：局部交換係數 (local exchange coefficient)
- $f$ ：科氏參數 (Coriolis parameter)，為近地面的風旋轉 (rotation) 相較於地轉風分量  $u_g$  和  $v_g$
- $S_u$ 、 $S_v$ 、 $S_w$ ：分別為沿著風向的  $u$ 、 $v$ 、 $w$  分量，模擬半透風阻的障礙 (例如植栽)

此外由於空氣被視為不可壓縮流，因此必須滿足另外的連續性方程式(式 5)：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

式 5

## (二) 溫度和濕度

位溫  $\theta$  (potential temperature) 是使用 combined advection-diffusion 方程式來計算 (式 6)：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = K_h \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{tw}}{\partial z} + Q_\theta$$

式 6

- $Q_\theta$ ：大氣和植栽間熱交換係數
- $K_h$ ：紊流熱交換係數
- $\frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{tw}}{\partial z}$ ：描述因長波輻射發散導致的氣溫變化

在濕度方面，平流擴散方程式可以被寫成 (式 7)：

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = K_q \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \right) + Q_q$$

式 7

- $Q_q$ ：大氣和植栽間濕度交換的係數
- $K_q$ ：紊流濕度交換係數

ENVI-met 軟體並無模擬水和水蒸氣之間的相變化，因此模型的相對濕度總是低於 100%。

## (三) 大氣紊流

ENVI-met 使用 1.5 階的紊流閉合模型 (1.5 order turbulence closure model)，模型是以 Mellor and Yamada 所提出的模型為基礎，並額外增加兩個式子到模型中(式 8、式 9)：

$$\frac{\partial E}{\partial t} + u_i \frac{\partial E}{\partial x_i} = K_E \left( \frac{\partial^2 E}{\partial x_i^2} \right) + Pr - Th + Q_E - \epsilon$$

式 8

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = K_\epsilon \left( \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x_i^2} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{E} Pr - c_3 \frac{\epsilon}{E} Th + c_2 \frac{\epsilon^2}{E} + Q_\epsilon$$

式 9

- $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ：為經驗性常數，預設值由 Launder and Spalding 而來， $C_1=1.44$ 、 $C_2=1.92$ 、 $C_3=1.44$
- $Pr$ ：由垂直風切變 (wind shearing) 所造成的紊流能量 (turbulent energy) 的產生和消耗
- $Th$ ：由熱力層 (thermal stratification) 造成的紊流能量 (turbulent energy) 的產生和消耗
- $Q_E$ ：被植栽影響的紊流
- $Q_\epsilon$ ：加速串聯紊流能源 (accelerated cascade of turbulence energy)

#### (四) 輻射通量

短波和長波輻射的入射通量是根據 two-stream approximation 並結合一些經驗公式計算而得。大氣中的輻射量多寡是根據不同大氣層中的吸收和發射係數而決定；這些係數會隨大氣光學的厚度不同而改變，即大氣層中的懸浮微粒 (Aerosols)、水蒸氣、二氧化碳、臭氧和其他溫室氣體的數量。

為了準確計算大氣層內的輻射通量，必需要知道大氣中懸浮微粒、溫室氣體的精確分布，並且計算其部分重疊的放射及吸收光譜 (spectra)。在 ENVI-met 軟體中多使用簡單的近似值，只考慮了水蒸氣的部分，因此在 N 層的模型中高度為 z 的輻射通量的可以被計算為 (式 10)：



$$Q_{lw}^{\downarrow}(z) = \sum_{n=1}^N \sigma T^4(n) [\epsilon_n(m + \Delta m) - \epsilon_n(m)]$$

- M：高度 z 和比高度 z 還低的邊界層 n 之間的水蒸氣量
- m+Δm：邊界層 n 之上和高度 z 之間的水蒸氣量

#### (五) 土壤模型

土壤模型計算了從地表到地下 1.75m 的土壤溫度和濕度，每個水平網格由地表至地下 1.75m 分成 14 層的土壤層。土壤模型僅計算溫度和濕度的垂直通量，土壤濕度  $T_s$  與土壤體積含水量  $\eta$  的計算式為 (式 11、式 12)：

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \kappa_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}$$

式 11

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D_\eta \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} + \frac{\partial K_\eta}{\partial z} - S_\eta(z)$$

式 12

- $\kappa_s$ ：熱擴散係數，在不透水的土壤中為常數，在其他透水土壤中為土壤水分  $\eta$  的函數

#### (六) 植栽模型

ENVI-met 軟體中的植栽模型與大氣、土壤及輻射模型之間具有相互作用。在軟體內建的植栽參數資料中， $z_p$  表示植栽的高度，一個植栽體可分為 10 層，每層高度 ( $z_{pl}$ ) 為植栽高度的十分之一。另一項參數則為葉面積密度 (Leaf Area Density, LAD)，若研究者須自行定義植栽 LAD 參數時，可以透過現地測量或分析方法來進行 (ENVI-met 3.1 Manual Contents)，而利用分析方法可以簡單地透過已知葉面積指數 (Leaf Area Index, LAI) 來推算 LAD 值，最常被使用的分析方法是 Lalic 和 Mihailivic (2004) 研究中所定義的 LAD 經驗公式 (式 13)：

$$L(z) = L_m \left( \frac{h - z_m}{h - z} \right)^n \exp \left[ n \left( 1 - \frac{h - z_m}{h - z} \right) \right]$$

式 13





其中， $n = \begin{cases} 6, & 0 \leq z < z_m \\ \frac{1}{2}, & z_m \leq z \leq h \end{cases}$ ,

並且由以下公式可得到 $L_m$  (式 14)：

$$LAI = \int_0^h L(z) dz = \int_0^h \left( \frac{h - z_m}{h - z} \right)^n \exp \left[ n \left( 1 - \frac{h - z_m}{h - z} \right) \right] dz$$

式 14

- $L_m$ ：葉面積指數最大值
- $h$ ：植栽高度
- $z_m$ ：葉面積指數最大值的相對應高度
- $z$ ：測量 LAD 值的高度

#### (七) 地表

地面的表面溫度  $T_0$  以及地表能量平衡的計算式如下 (式 15)：

$$Q_{sw,net} + R_{lw,net}(T_0) - G(T_0) - H(T_0) - LE(T_0, q_0) = 0$$

式 15

- $Q_{sw,net}$ ：表面上的淨短波輻射
- $Q_{lw,net}$ ：表面上的淨長波輻射
- $G$ ：土壤熱通量
- $H$ ：顯熱通量(sensible turbulent heat flux)
- $LE$ ：潛熱通量(latent turbulent heat flux)

若加上地表的直接短波輻射與漫射(diffuse)作用， $Q_{sw,net}$  可以被計算為

(式 16)：

$$Q_{sw,net} = [\cos \beta^* \cdot Q_{sw,dir}(z = 0)](1 - a_s)$$

式 16

- $\beta^*$ ：太陽直接輻射與地表面的夾角 (Lambert's cosine law)
- $a_s$ ：反照率 (albedo)。不透水表面為常數，透水土壤的反照率是太陽角與最上層土壤含水量的函數

地面的長波輻射能量平衡分成兩部分計算 (式 17、式 18)：

$$Q_{lw,net}^{sky}(T_0)$$

$$= \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p)(Q_{lw}^{\downarrow,0} - \varepsilon_s \sigma T_0^4) + \left(1 - \sigma_{lw}^{\downarrow}(0, z_p)\right) \frac{\varepsilon_v \varepsilon_s}{\varepsilon_v + \varepsilon_s - \varepsilon_v \varepsilon_s} (\sigma \bar{T}_v^4 - \sigma \bar{T}_0^4)$$



式 17

$$Q_{lw,net}^{screened}(T_0) = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_s}{\varepsilon_w + \varepsilon_s - \varepsilon_w \varepsilon_s} (\max(\sigma \bar{T}_w^4, \sigma \bar{T}_0^4) - \sigma \bar{T}_0^4)$$

式 18

- $Q_{lw,net}^{sky}$  : 未被遮蔽的天空長波輻射
- $Q_{lw,net}^{screened}$  : 被遮蔽部分的長波輻射，例如植栽或建築物遮蔽天空視野
- $\varepsilon_s$  : 表面放射率(emissivity)
- $\varepsilon_v$  : 植栽放射率
- $\varepsilon_w$  : 牆面放射率
- $T_f$  : 植栽表面溫度
- $T_w$  : 牆面表面溫度

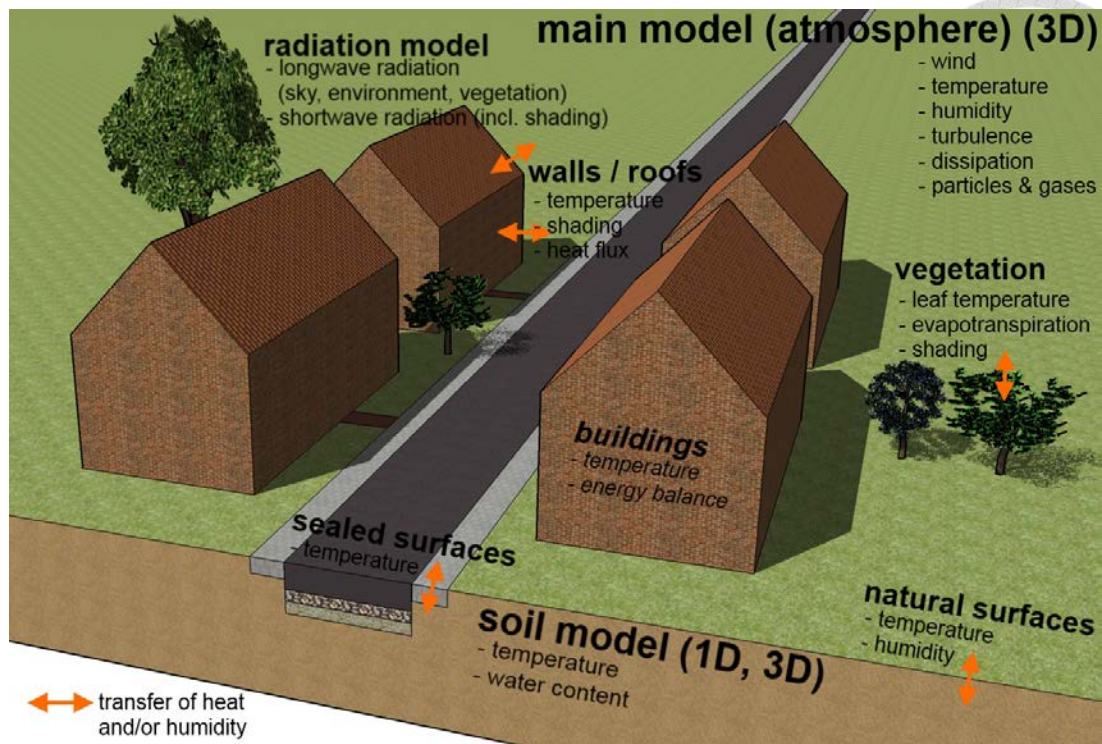
#### (八) 氣體和顆粒污染物

使用 standard advection-diffusion 來計算污染物的擴散 (式 19):

$$\frac{\partial x}{\partial t} + u \frac{\partial x}{\partial x} + v \frac{\partial x}{\partial y} + w \frac{\partial x}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_x \frac{\partial x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_x \frac{\partial x}{\partial z} \right) + Q_x(x, y, z) + S_x(x, y, z)$$

式 19

- $Q_x$ : 污染物的源(source),  $x$  代表氣體或大氣顆粒物成分, 單位為  $\text{mgkg}^{-1}$
- $S_x$ : 污染物的匯 (sink)



(資料來源：Huttner, 2012)

圖 2-5 ENVI-met 子模型示意圖

## 二、 ENVI-met 軟體應用

根據 Huttner 等人 (2008) 的研究中對 ENV-met 模型的描述，ENVI-met 可模擬區域的網格數限制分別為 X 軸 250 格、Y 軸 250 格、Z 軸 35 格，水平解析度則限制為 0.5 公尺到 10 公尺，最大模擬時間為 48 小時。解析度指的是每個網格所代表的寬度，解析度越小表示模擬的網格越精細，但可模擬的總面積較小；反之解析度越大表示模擬的網格越粗糙，可模擬的總面積越大。

ENVI-met 應用領域涵蓋都市規劃、建築設計與材料分析，從建築耗能和室外環境的預測到人體熱舒適及空氣品質的評估等。在都市尺度上的應用包含探討道路高寬比、走向、建築排列方式與植栽有無對空氣溫度或空氣品質的影響

(Jesionek&Bruse, 2003；Ali-Toudert & Mayer, 2006)；也有針對都市規劃上進行模擬評估，探討都市公園綠地的面積及分佈對於都市微氣候的影響

(Chow&Brazel, 2012；Lin&Lin, 2016)；此外也有少部分研究是針對規劃設計後進行預測評估 (Ketterer&Matzarakis, 2015)。

在都市道路尺度的部分，常應用 ENVI-met 探討都市道路之道路高寬比、道路走向、天空可視率、植栽種類、道路鋪面等對氣溫及人體熱舒適的影響，相關研究整理如表 2-4 所示。

為了確認模型的準確度，在進行正式方案模擬前必須先選擇一個地點進行戶外實測，以找出模型最佳化的參數設定，使模型結果與實測結果相近。在過去道路熱舒適的相關研究當中，驗證的項目多為空氣溫度，僅有 Lee 等人 (2016) 的研究當中驗證了氣溫、平均輻射溫度、PET 等參數。



表 2-4 ENVI-met 道路尺度熱舒適相關研究整理

年份	作者	研究目的	研究地點	熱舒適指標	模擬面積	網格大小	驗證項目	驗證方法
2006	Ali-Toudert & Mayer	評估不同道路走向、高寬比對熱舒適的影響	阿爾及利亞	PET	8m*1m	1*1	—	—
2007	Ali-Toudert & Mayer	評估不同都市道路型態對熱舒適的影響	阿爾及利亞	PET	—	1*1*2	—	—
2007	Emmanuel et al	評估不同都市道路型態對熱舒適的影響	斯里蘭卡	PET	—	—	—	—
2013	Froehlich & Matzarakis	評估不同道路設計對熱舒適的影響	德國	PET	252m*252m	3*3	—	—
2013	Yahia& Johansson	評估不同道路型態對熱舒適的影響	敘利亞	PET	—	—	—	—
2014	Yahia& Johansson	評估不同都市道路型態對戶外熱舒適的影響	敘利亞	PET OUT_SET*	150m*150m	1*1*1	氣溫	逐時折線圖
2014	Taleb & Taleb	評估不同都市道路走向對熱舒適的影響	阿拉伯	PMV	60m*90m	—	—	—
2014	Ketterer & Matzarakis	評估不同道路型態對熱舒適的影響	德國	PET	440m*320m	2*2	—	—
2015	Taleghani et al.	評估不同都市型態對戶外熱舒適的影響	荷蘭	PET	289m*417m	3*3*2	氣溫	逐時折線圖(9/22、9/25) 相關係數 $R^2=0.8$ RMSD=0.07(9/22) 、 1.3(9/25)

表 2-4 ENVI-met 道路尺度熱舒適相關研究整理

年份	作者	研究目的	研究地點	熱舒適指標	模擬面積	網格大小	驗證項目	驗證方法
2015	Qaid& Ossen	評估不同道路高寬比對 微氣候的影響	馬來西亞	氣溫、輻射 溫度	460m*380m	2*2*0.5	氣溫	逐時折線圖 相關係數 $R^2=0.6905$ RMSE=1.82 RMSEu=1.66 RMSEs=0.74 MBE/MAE=0.64 d=0.6
2016	Lee et al	評估不同道路綠化型態 對熱舒適度的影響	德國	PET	150m*150m	1*1*1	氣溫、平 均輻射溫 度、PET	相關係數 氣溫： $R^2=0.85$ 、 RMSE=0.66、d=0.95 輻射溫度： $R^2=0.86$ 、 RMSE=5.49、d=0.95 PET： $R^2=0.77$ 、 RMSE=3.98、d=0.84

(本研究整理)

# 第三章 研究方法



## 第一節 研究架構與內容

本研究目的為探討不同道路組成對行人人體熱舒適之影響，本節將說明研究整體流程、架構中各變項的定義和變項之間的關係，並提出研究假設。

### 一、 研究流程

本研究首先藉由相關文獻回顧，確認影響道路微氣候的空間組成因子有那些，並透過實地觀察歸納臺北市道路空間組成的類型。再來選定一地點進行現地測量，蒐集基礎氣候資料以驗證 ENVI-met 模擬軟體的可信度。確認為可信賴的模型後，使用 ENVI-met 進行不同道路組成方案的熱舒適度 PET 的模擬計算，以了解臺北市不同道路組成類型之間的熱舒適度差異。

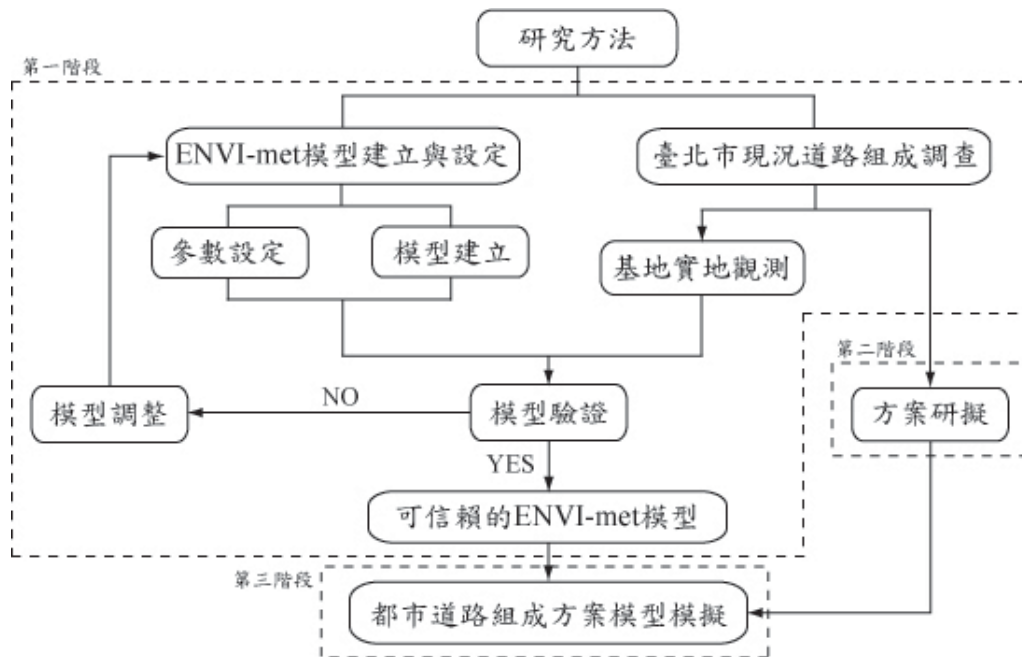


圖 3-1 研究方法操作流程圖



## 二、 研究假設

本研究指的道路組成是由道路走向、道路植栽綠帶數量、植栽種類所構成，根據本研究架構，提出以下假設：

### (一) 道路走向影響人體熱舒適

過去文獻中表示，道路走向會影響道路的氣溫及熱舒適度，其中以東-西向的道路氣溫最高，舒適度最差 (Ali-Toudert & Mayer, 2006)，因此假設道路走向對人體熱舒適有顯著影響。

**H1：在不同的道路走向下，其行人的人體熱舒適程度不同。**

### (二) 道路植栽綠帶組成影響人體熱舒適

本研究所指的道路植栽綠帶組成由道路植栽綠帶數量及植栽種類所構成。Zeng 和 Dong (2015) 的研究結果指出，在相同走向和高寬比的道路中，有植栽的道路其熱舒適度會比無植栽的道路佳。陳恩右 (2004) 則指出綠覆率越高的道路，其氣溫也較低。道路中的植栽數量越多，遮蔭的範圍也越多，故假設道路綠帶數量多寡對人體熱舒適有影響。此外，Shahidan 等人 (2012) 的研究結果也指出植栽數量較多、植栽 LAI 值較高時，可以有效的改善戶外環境的微氣候。因此假設道路植栽綠帶的組成對人體熱舒適有影響。

**H2：在相同走向的情況下，道路組成類型中所包含植栽綠帶的數量越多，行人的人體熱舒適也會越佳。**

**H3：在相同走向及相同組成的情況下，道路綠帶種植的植栽 LAI 越高，其行人的人體熱舒適程度也越佳。**





### 三、 研究變項定義

#### (一) 道路走向

道路走向指道路通行的方向，一般常分為東西向、南北向、東北-西南向、東南-西北向。因臺北市主要道路多為東西走向及南北走向，故本研究針對此兩種道路走向對行人熱舒適的影響進行探討。

#### (二) 道路植栽綠帶組成

道路植栽綠帶組成指的是道路中植栽綠帶的組成類型，本研究以植栽綠帶的數量及種植的植栽種類來定義。

##### 1. 道路植栽綠帶數量

道路植栽綠帶數量指的是道路中植栽設施帶的數量。本研究經現地觀察歸納出臺北市寬度為40公尺的主要道路的內部組成共有10種類型，這10種類型中包含的綠帶數量可分為2條綠帶（僅兩側公共設施帶種植植栽）、3條綠帶（兩側公共設施帶及中央分隔帶種植植栽）、4條綠帶（兩側公共設施帶及快慢車道分隔帶種植植栽）等3種類別，詳細調查結果將在第二節中說明。

##### 2. 道路植栽種類

道路植栽種類指的是道路植栽綠帶所種植的植栽的種類。本研究以植栽的LAI值作為區分不同植栽種類的依據，並參考Shahidan等人(2010)的研究結果，將LAI值小於1.5定為低LAI的植栽，LAI值大於6的為高LAI的植栽。

#### (三) 人體熱舒適度

人體熱舒適指的是行走在道路兩側人行道上的行人，其所感受到的環境舒適程度。本研究使用生理等效溫度（Physiologically Equivalent Temperature, PET）作為熱舒適度評估指標，計算PET值的軟體為ENVI-met的附屬軟體Bio Met。



## 第二節 臺北市主要道路空間組成類型

因臺北市的道路數量繁多而調查資源、時間有限，且需考量到道路功能的完整性及可操作性，故本研究參考內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」中的市區道路功能分類，以道路層級為主要道路者為研究對象進行道路空間組成類型的調查。

首先收集臺北市道路相關資訊，包含各寬度道路長度統計資料、數值地形圖等，初步了解臺北市各主要道路的寬度、分佈等基礎資料。再來透過衛星影像圖、Google 街景圖等圖資，並配合實地勘查，歸納整理出臺北市主要道路空間組成的類型，作為後續方案研擬之參考。

### 一、臺北市道路基礎資料

#### (一) 臺北市道路統計資料

本研究的研究對象為臺北市的主要道路，而根據表 2-2 內政部營建署「市區道路工程規劃及設計規範之研究」中提供的基本路型範例，主要道路寬度建議為 30 公尺以上的道路。

根據臺北市政府交通局 2014 年的統計資料，2014 年臺北市道路長度資料如表 3-1 所示，在寬度 30 公尺以上的道路中，以 40-50 公尺的道路加總長度為最多，故選擇寬度 40-50 公尺的道路進行進一步的道路組成調查。

表 3-1 臺北市 2014 年各寬度道路加總長度統計表

功能層級	服務	服務	服務	服務	次要、服務
寬度	<6m	6-10m	10-15m	15-20m	20-30m
長度	77,681m	735,150m	346,786m	115,936m	145,260m
功能層級	主要、次要	主要	主要	主要	主要
寬度	30-40m	40-50m	50-60m	60-70m	>70m
長度	80,565m	88,726m	6,842m	7,915m	14,192m

(臺北市政府交通局，2014)

## (二) 臺北市 40-50 公尺寬主要道路列表

參考「臺北市既有市區道路景觀及人本環境改善綱要計畫」(2010)中統計出的資料，臺北市區內共有 78 條道路屬於主要道路層級，本研究則進一步透過數值地形圖找出臺北市區內所有寬度為 40-50 公尺寬的主要道路，如下表 3-2 所示。

表 3-2 臺北市 40-50 公尺主要道路列表

編號	道路名稱	寬度	走向
1*	環河北路三段	40m	南-北
2	重慶北路三段(民權西路-敦煌路)	40m	南-北
3**	承德路	40m	南-北
4	中山路	40m	南-北
5*	新生北路	47m	南-北
6	新生南路一~二段(和平東路-市民大道)	47m	南-北
7	松江路	40m	南-北
8*	復興路(和平東路-民權東路)	40m	南-北
9	和平東路一~二段(羅斯福路-復興南路)	40m	東-西
10	信義路一~四段(中山南路-基隆路)	40m	東-西
11	仁愛路一~二段(中山南路-新生南路)	40m	東-西
12	忠孝東路一~四段(中山北路-基隆路)	40m	東-西
13*	市民大道	40-45m	東-西
14**	南京東路(中山北路-基隆路)	40m	東-西
15	民生東路二~三段(松江路-敦化北路)	40m	東-西
16**	民權路(環河北路-敦化北路)	40m	東-西
17*	基隆路三~四段(羅斯福路-敦化南路)	40m	東北-西南
18	羅斯福路一~四段(基隆路-愛國東路)	40m	東南-西北

\*表示全部路段之路面上方有高架設施(捷運、快速道路)通過 (本研究整理)

\*\*表示部分路段之路面上方有高架設施(捷運、快速道路)通過

## 二、臺北市 40 公尺寬主要道路內涵類型

從上表中可看出道路寬度多為 40 公尺，因此針對 40 公尺寬的道路進行挑選。在寬度為 40 公尺寬的主要道路中，有幾條道路全部路段的路面上方有高架捷運或高架快速道路通過，因考量其外在影響因子較多，故將之排除在研究範圍外。最終決定屬於研究範圍內，將進行調查的道路包含重慶北路三段、承德路、中山路、松江路、和平東路一~二段、信義路一~四段、仁愛路一~二段、忠孝東路一~四段、南京東路、民生東路二~三段、民權路、羅斯福路一~四段等。

調查方法：觀看衛星影像圖與 Google 街景圖繪製街道剖面圖，若資訊不明時則前往現地進行實地勘查。調查項目包含車道性質、寬度與數量（汽車道、混合車道、公車專用道）、分隔帶的數量與寬度（中央分隔、快慢分隔）、路邊停車帶的有無、自行車道的有無、人行道的數量與寬度等。

調查單元：道路的組成單元，如車道、分隔帶、人行道等在遇到十字路口時皆會被中斷，因此以十字路口作為道路路段的分隔點，觀察一個十字路口到下一個十字路口間道路路段的內涵。

總共調查了 12 條道路 163 個路段，各類型路段數量如表 3-3 所示，。從表 3-4 中可看出數量較多的類型為中央分隔\_路邊停車型（類型一）與中央分隔\_公車專用+自行車道型（類型二）；數量最少的為快慢分隔\_公車專用+自行車道型（類型十）。詳細道路規劃單元數量及尺寸調查結果如表 3-4 與表 3-5 所示，表 3-6 為各類型道路剖面示意圖及道路列表。

表 3-3 各類型數量統計表

類型	名稱	路段數量	百分比
一	中央分隔_路邊停車型	34	20.8%
二	中央分隔_公車專用+自行車道型	31	19.0%
三	中央分隔_一般車道型	19	11.7%
四	快慢分隔_混合車道型	19	11.7%
五	中央分隔_自行車道型	14	8.5%
六	中央分隔_公車專用+路邊停車型	23	14.1%
七	人本交通改善型	13	8.0%
八	中央分隔_公車專用+混合車道型	4	2.5%
九	快慢分隔_公車專用+混合車道型	4	2.5%
十	快慢分隔_公車專用+自行車道型	2	1.2%

表 3-4 各類型道路規劃單元數量表





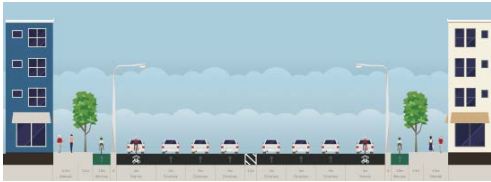
類型	道路規劃單元數量(個)								
	汽車道	混合車道	公車專用道	路邊停車帶	中央分隔帶	快慢分隔帶	公共設施帶*	自行車專用道	人行道
一	6	2	—	2	1	—	2	—	2
二	4	2	2	—	1	—	2	2	2
三	8	—	—	2	1	—	2	—	2
四	6	2	—	—	—	2	2	—	2
五	6	2	—	—	1	—	2	2	2
六	6	—	2	2	1	—	2	—	2
七	2	2	2	—	—	2	2	2	2
八	4	2	2	2	1	—	2	—	2
九	4	2	2	—	—	2	2	—	2
十	6	—	2	—	—	2	2	2	2

\*公共設施帶係指在人行道或分隔島範圍內設置公共設施及植栽之空間

表 3-5 各類型道路規劃單元尺寸表

類型	道路規劃單元寬度尺寸(公尺)								
	汽車道	混合車道	公車專用道	路邊停車帶	中央分隔帶	快慢分隔帶	公共設施帶*	自行車專用道	人行道(淨寬)
一	3	4	—	2	2	—	2	—	2
二	3	4	3.25	—	2	—	2	1.7	2
三	3	—	—	2	2	—	2	—	3
四	3	4	—	—	—	2	2	—	3
五	3	4	—	—	1.5	—	2	1.7	2.5
六	3	—	3.25	2	1	—	2	—	3
七	3	4.5	3.25	—	—	2.5	2	1.7	3
八	3	4	3.25	2	2	—	2	—	2
九	3	4.5	3.25	—	—	2	2	—	2
十	3	—	3.25	—	—	2	2	1.7	2

表 3-6 各類型剖面示意圖與道路列表

類型	剖面示意圖	南北向	東西向
一		<b>松江路</b> (松江路 357 巷~民族東路)	<b>民生東路二、三段</b> (松江路~敦化北路) <b>忠孝東路一~四段</b> (鎮江街~林森南路、杭州北路~復興北路、敦化北路~延吉街 131 巷) <b>和平東路一、二段</b> (和平東路一段 41 巷~溫州街、新生南路~復興南路)
二			<b>民權路</b> (中山北路~新生北路、吉林路~敦化北路) <b>南京東路</b> (中山北路~松江路、伊通街~三民路)
三		<b>承德路二、三段</b> (鄭州路~庫倫街) <b>松江路</b> (民權東路~松江路 357 巷) <b>羅斯福路一~二段</b> (和平東路~愛國東路)	<b>南京東路</b> (東興路~南京東路五段 286 巷)
四		<b>中山路</b>	
五			<b>南京東路</b> (三民路~東興路) <b>忠孝東路一~四段</b> (林森北路~杭州北路、復興北路~敦化北路、延吉街 131 巷~基隆路) <b>和平東路一段</b> (羅斯福路~和平東路段 41 巷、溫州街~新生南路)

六



**重慶北路三段**

(民權東路~酒泉街)

**松江路**

(錦州街~民權東路、市民大道~松江路 85 巷)

**羅斯福路三~四段**

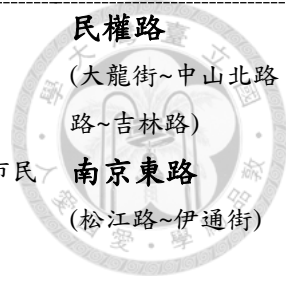
(基隆路~和平東路)

**民權路**

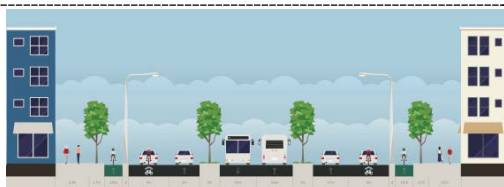
(大龍街~中山北路、新生北路~吉林路)

**南京東路**

(松江路~伊通街)



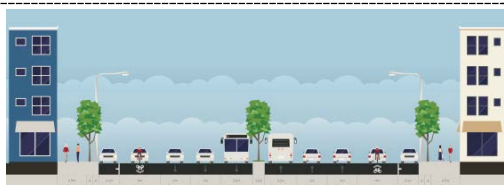
七



**信義路一~四段**

(杭州南路~光復南路)

八



**松江路**

(松江路 85 巷~錦州街)

九



**仁愛路一、二段**

(中山南路~新生南路)

十



**信義路一段**

(中山南路~杭州南路)



### 第三節 ENVI-met 模型設定與驗證

本研究使用 ENVI-met v4 微氣候模擬軟體作為研究工具，操作過程包含三個階段。第一階段先建立並驗證模型，以得到可信賴的 ENVI-met 模型；第二階段根據實地調查結果，研擬都市道路空間組成模擬方案；第三階段使用 ENVI-met 模型進行都市道路組成方案的模擬，計算行人的熱舒適度。本節將針對 ENVI-met 模型驗證的步驟與細節進行說明。

#### 一、 模型建立

模型建立包含建模設定與參數設定兩個部分。

##### (一) 建模設定

本研究以道路組成的調查單元大小為模擬範圍，考量基地實際面積大小，將模型網格解析度設定為  $dx=dy=dz=1m$ ，網格數為  $X=100$  格， $Y=100$  格， $Z=30$  格，高度伸縮係數為 10%。

##### (二) 參數設定

在進行模擬前必須在模型中建立經緯度、初始大氣溫度、風速、風向、粗糙度、比濕、相對溼度等參數資料，另依據研究目的和研究地點的不同，可再設定建築、土壤等參數。本研究初始氣候參數設定參照中央氣象局臺北氣象站提供的資料及實測結果。土壤參數設定因臺北地區無相關調查資料，故參考桃園農改場及蘭陽分場的測站資料，取兩者的平均值輸入模型；在初始氣溫及相對溼度設定部分，早上 8 點至下午 6 點的資料以實測值輸入，其餘時間則採用 ENVI-met 模型推算的數值進行模擬，詳細參數設定見表 3-7 及 3-8。

表 3-7 ENVI-met 基本參數設定

類別	參數項目	描述	03/28	07/14
氣象	Wind speed in 10 m above ground	高於地表 10 米的風速	1.89 m/s	0.31 m/s
	Wind direction	風向(0:N,90:E,180:S,270:W)	70°	70°
	Roughness length Z0 at reference point	參考位置的表面粗糙度	0.1m	0.1m
	*Specific humidity in 2500 m	地面上 2500 米水氣比*	7.0 g/kg	7.0 g/kg
建築	Heat transmission walls	牆壁的熱傳導係數	3.778 W/(m <sup>2</sup> K)	3.778 W/(m <sup>2</sup> K)
	Heat transmission roofs	屋頂的熱傳導係數	0.769 W/(m <sup>2</sup> K)	0.769 W/(m <sup>2</sup> K)
	Albedo walls	牆壁反照率	0.2	0.2
	Albedo roofs	屋頂反照率	0.2	0.2
土壤	Initial temperature ,upper layer(0-20 cm)	土壤上層初始溫度	313.93 K	303.15K
	Initial temperature ,middle layer(20-50 cm)	土壤中間層初始溫度	313.85 K	303.15K
	Initial temperature ,deep layer(below 50 cm)	土壤底層初始溫度	315.60 K	301.95K
	*Relative humidity ,upper layer(0-20 cm)	土壤上層相對濕度*	50%	50%
	*Relative humidity ,middle layer(20-50 cm)	土壤中間層相對濕度*	60%	60%
	*Relative humidity ,deep layer(below 50 cm)	土壤底層相對濕度*	60%	60%

\*表示為模型預設值

表 3-8 初始氣溫及相對溼度逐時數值表

日期	時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
03/28	氣溫(°C)	22.88	24.43	26.10	25.90	27.18	27.61	27.46	27.24	26.77	24.70	23.80
	濕度(%)	59.00	55.00	52.00	49.00	46.00	48.00	47.00	48.00	50.00	58.00	56.00
07/14	氣溫(°C)	28.72	31.65	35.40	36.12	37.75	36.52	35.44	34.94	33.87	32.99	32.16
	濕度(%)	61.07	55.26	41.81	39.67	66.26	38.87	40.70	41.84	44.36	46.11	48.03



## 二、模型驗證

### (一) 實測地點

在所調查的 12 條道路 163 個路段中選擇一個路段進行實測。實測地點架設儀器的地方四周需無建築遮蔭，且無冷氣、工地、車輛進出等干擾；也須避開下雨、陰天、颱風天等天氣狀況不佳的日子。

經現地勘查後，選擇臺北市和平東路師大路至和平東路一段 141 巷間之路段為實測地點，此路段之道路內涵類型屬於中央分隔\_路邊停車型（類型一），為常見的 40 米道路組成類型，走向為東西走向。測點位置如圖 3-2 所示。



圖 3-2 測點位置圖

### (二) 測量項目及方式

為驗證空氣溫度、平均輻射溫度、PET 等資料，本研究的測量項目包含氣溫、濕度、風速、黑球溫度等。監測時段為 2017 年 3 月 28 日及 7 月 14 日的早上 8 點至下午 6 點，測量氣溫、濕度及風速的儀器為 Watchdog Model 2550 Weather station (Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL)，測量黑球溫度的儀

器為 TR-31B 黑球溫度計 (Rixen Technology Co.,Taiwan, Ltd.)，將兩者架設於離地高 1.5 公尺處進行測量，每 1 分鐘紀錄一筆資料，儀器架設如圖 3-3 所示。



圖 3-3 現地觀測儀器架設圖

### (三) 資料收集與計算

#### 1. 氣溫、濕度、風速 ( $T_a$ 、RH、 $v$ )

從監測的早上 8 點到下午 6 點中，取 Watchdog 所收集的氣候資料，以每整點前後 10 分鐘的實測值平均與模擬輸出值進行驗證。

#### 2. 平均輻射溫度 ( $T_{mrt}$ )

以 dataloggerCR1000 收集黑球溫度計所測量的黑球溫度，將實測所收集到的氣溫、黑球溫度、風速等資料帶入 ISO Standard 7726 的公式計算平均輻射溫度，公式如以下：

$$T_{mrt} = [(Tg + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v^{0.6} \times (Tg - Ta)]^{0.25} - 273$$

式 20

$T_{mrt}$ ：平均輻射溫度

$Tg$ ：黑球溫度

$Ta$ ：空氣溫度

$v$ ：風速



### 3. 生理等效溫度 (PET)

本研究透過MEMI模型公式計算PET。人體參數設定為身高171公分，體重73公斤，年齡35歲的男性，新陳代謝率163W，著衣量0.5 clo；特定室內環境設定為平均輻射溫度等於氣溫，室內溫度20°C，平均風速0.1 m/s，相對濕度50%。

#### (四) 準確度計算

根據 Willmott (1981) 針對數值模型性能評估之研究，以計算一致性指數 (Index of agreement, d 值) 來表示實測值與模擬值之間的關係。d 值為一個介於 0 到 1 之間的值，越接近 1 表示模擬值與實測值越接近，模型可信度越高。d 值的計算公式如下所示：

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}, \quad 0 \leq d \leq 1$$

式 21

- $P_i$ ：模擬值
- $O_i$ ：實測值
- $\bar{O}$ ：實測值的平均值

本研究的驗證結果如表 3-9 所示。春季及夏季  $Ta$  的 d 值計算結果皆為 0.92， $T_{mrt}$  的 d 值計算結果分別為 0.88 及 0.71，PET 的 d 值計算結果分別為 0.83 及 0.68。三者的 d 值皆接近 1，表示模擬的可信度高。圖 3-4 至 3-15 為春夏兩個測量日的驗證結果圖，可以看出  $Ta$  是比較穩定的曲線， $T_{mrt}$  與 PET 則是波動比較大的曲線，推測應是與測量當時微氣候變化快速有關。

表 3-9 實測值與模擬值驗證結果表

		R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	d
03/28 (春季)	$Ta$	0.96	0.95	-0.88	0.92
	$T_{mrt}$	0.65	9.71	-4.03	0.88
	PET	0.66	6.42	-4.52	0.83
07/14 (夏季)	$Ta$	0.78	1.22	-0.26	0.92
	$T_{mrt}$	0.54	14.62	-9.81	0.71
	PET	0.64	10.88	-8.42	0.68

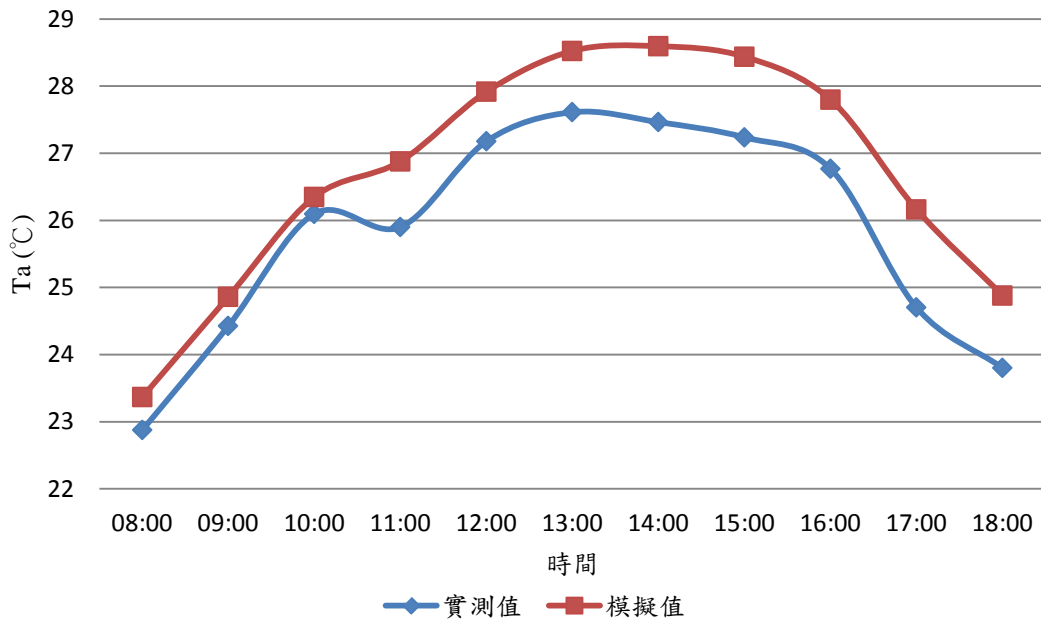


圖 3-4 春季氣溫實測值與模擬值之逐時溫度圖

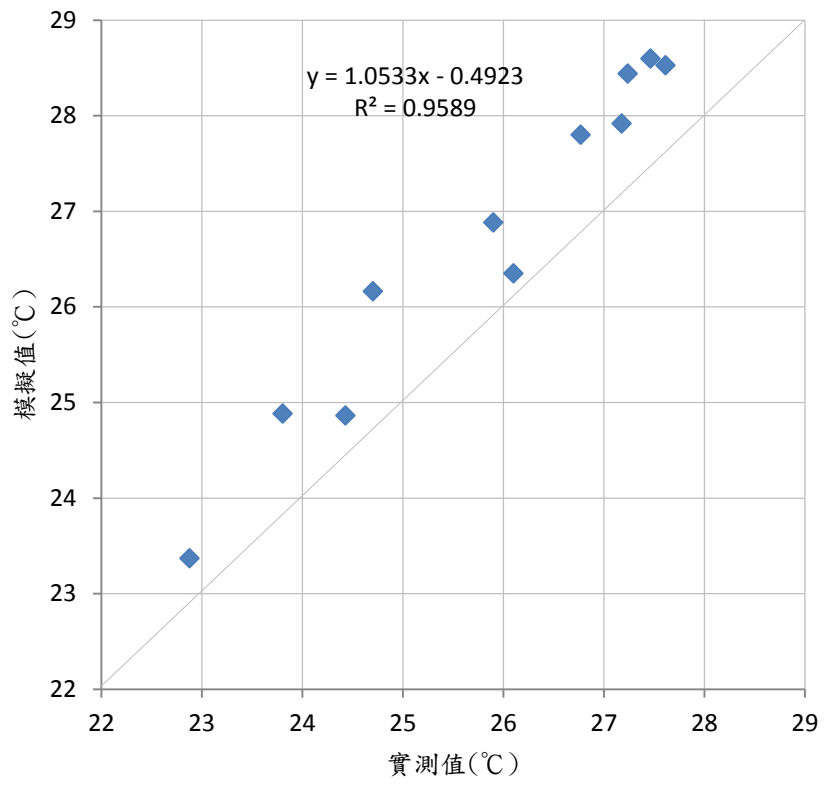


圖 3-5 春季氣溫實測值與模擬值之驗證結果圖

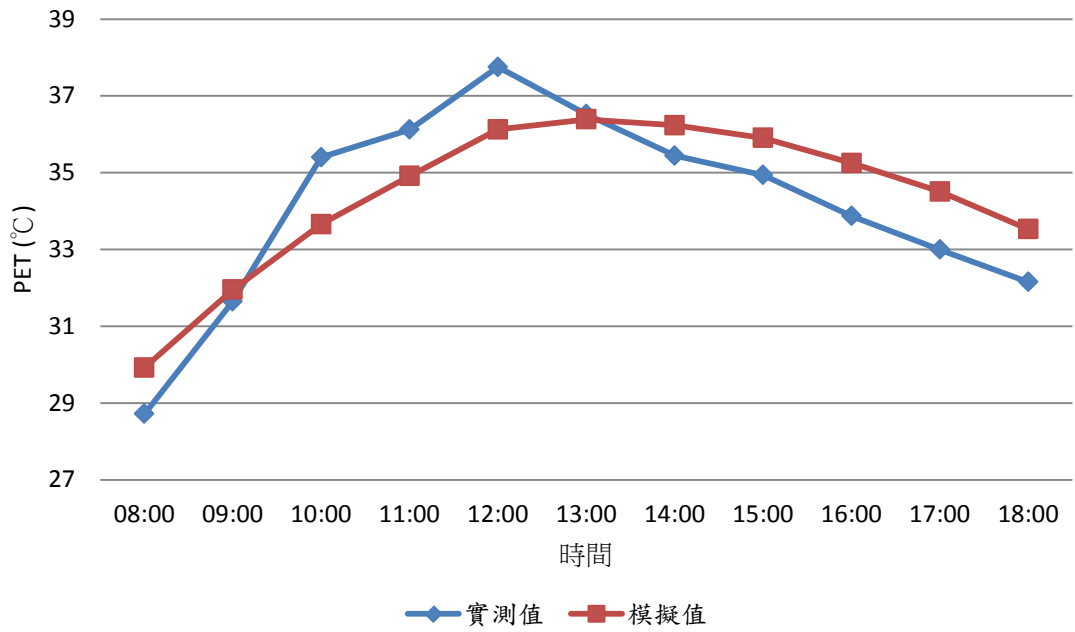


圖 3-6 夏季氣溫實測值與模擬值之逐時溫度圖

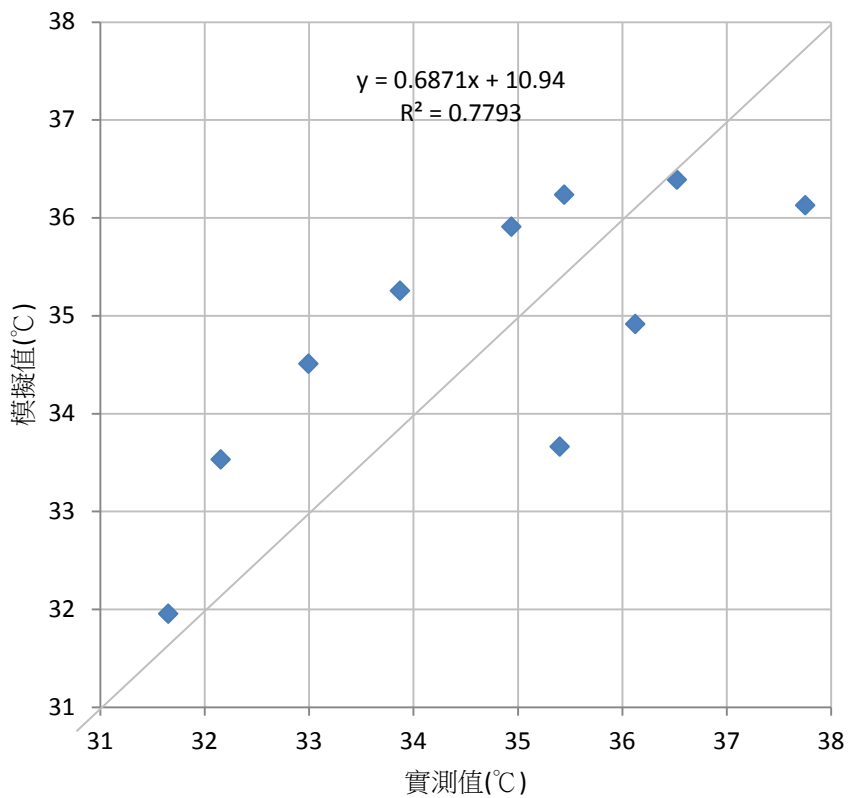


圖 3-7 夏季氣溫實測值與模擬值之驗證結果圖

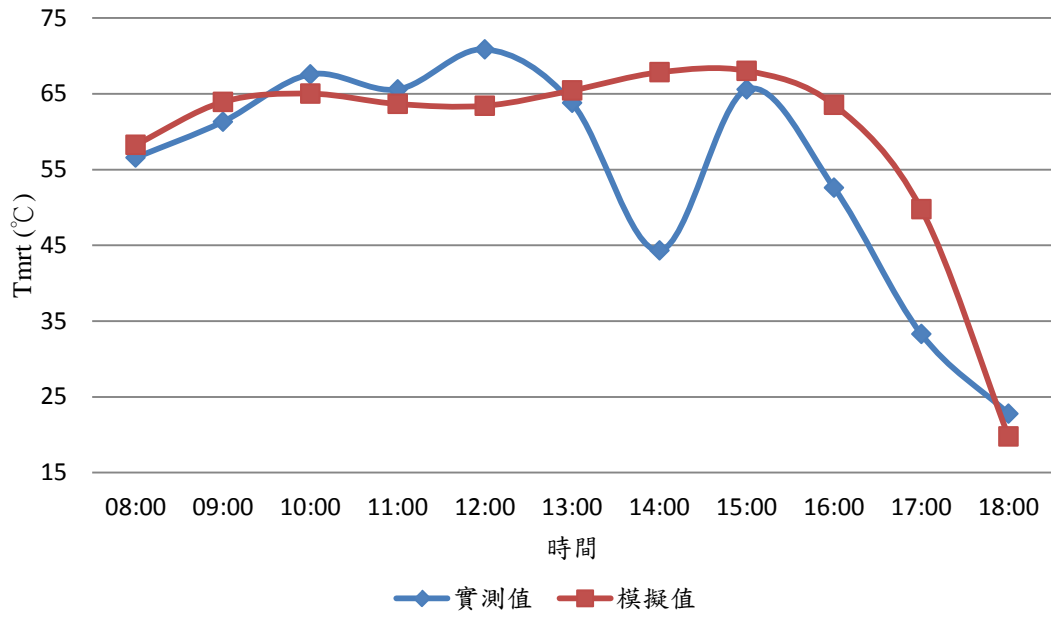


圖 3-8 春季平均輻射溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖

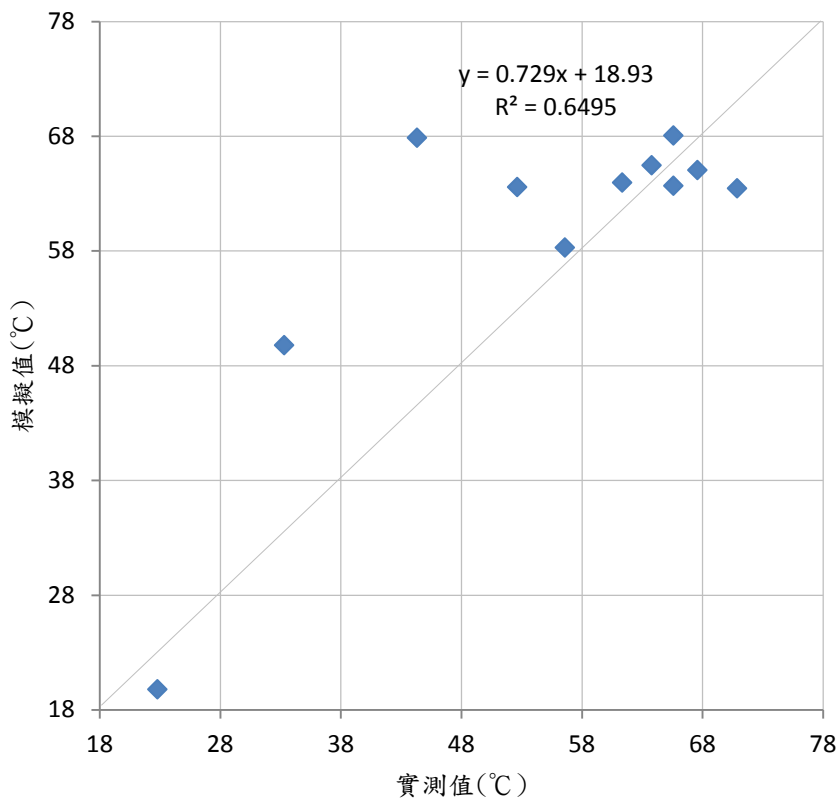


圖 3-9 春季平均輻射溫度實測值與模擬值之驗證結果圖



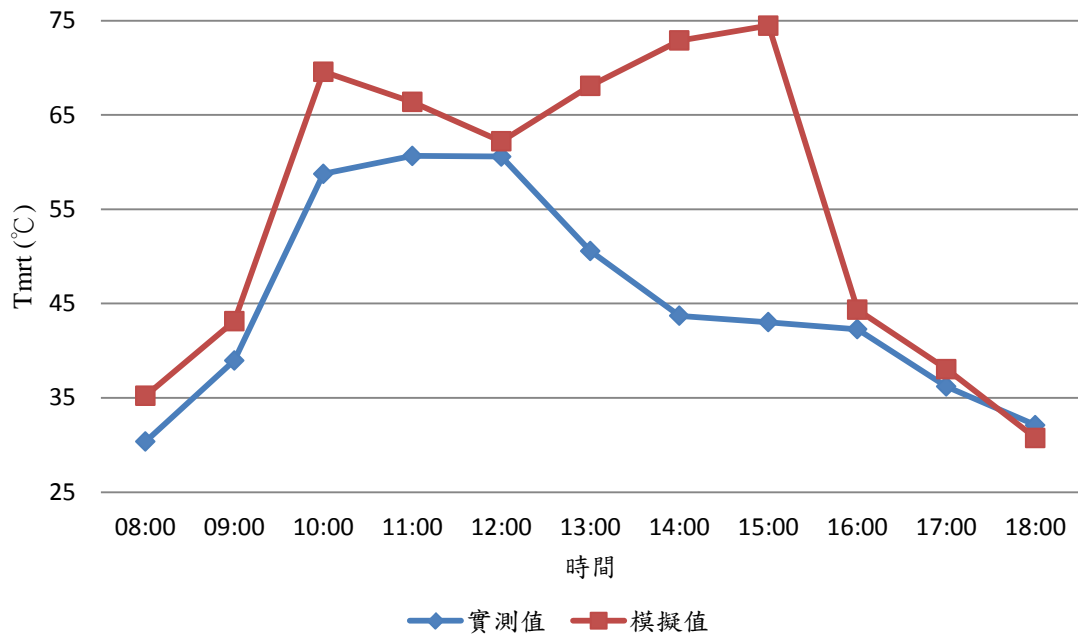


圖 3-10 夏季平均輻射溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖

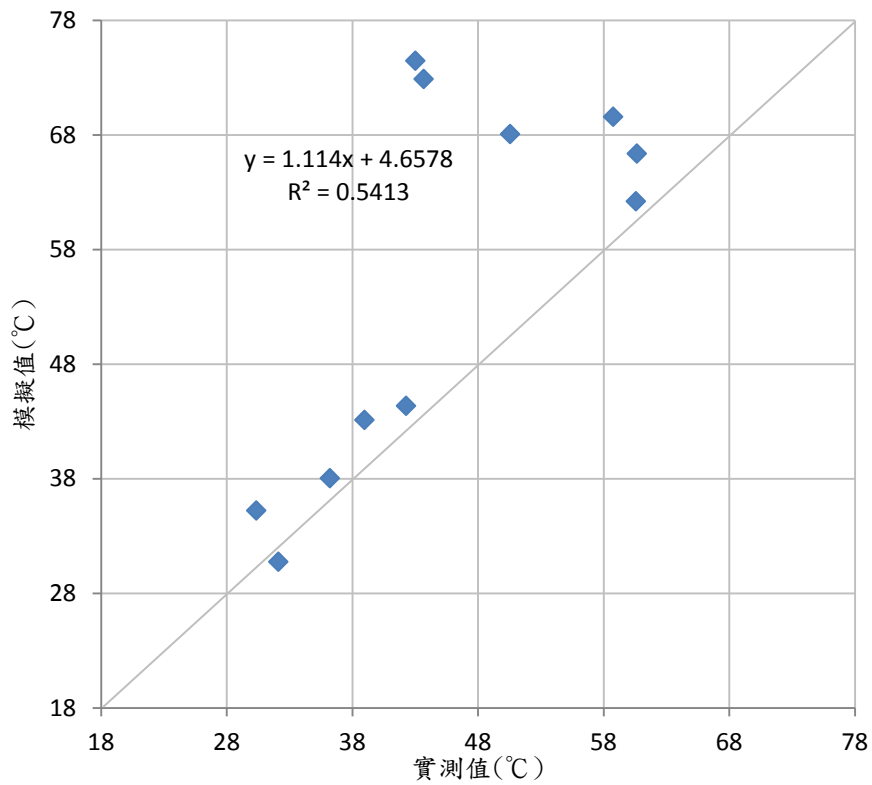


圖 3-11 夏季平均輻射溫度實測值與模擬值之驗證結果圖

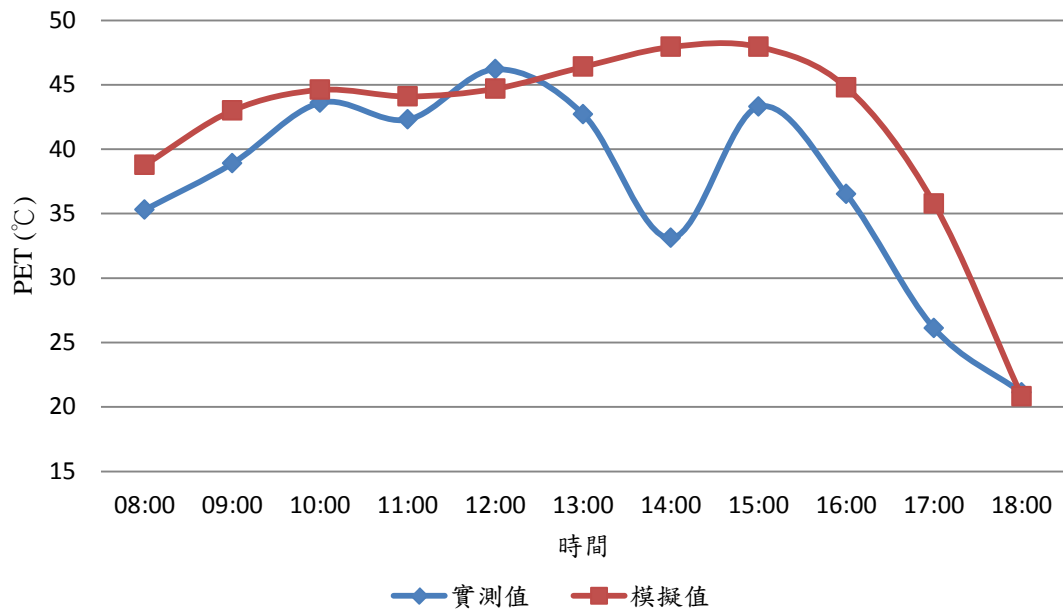


圖 3-12 春季生理等效溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖

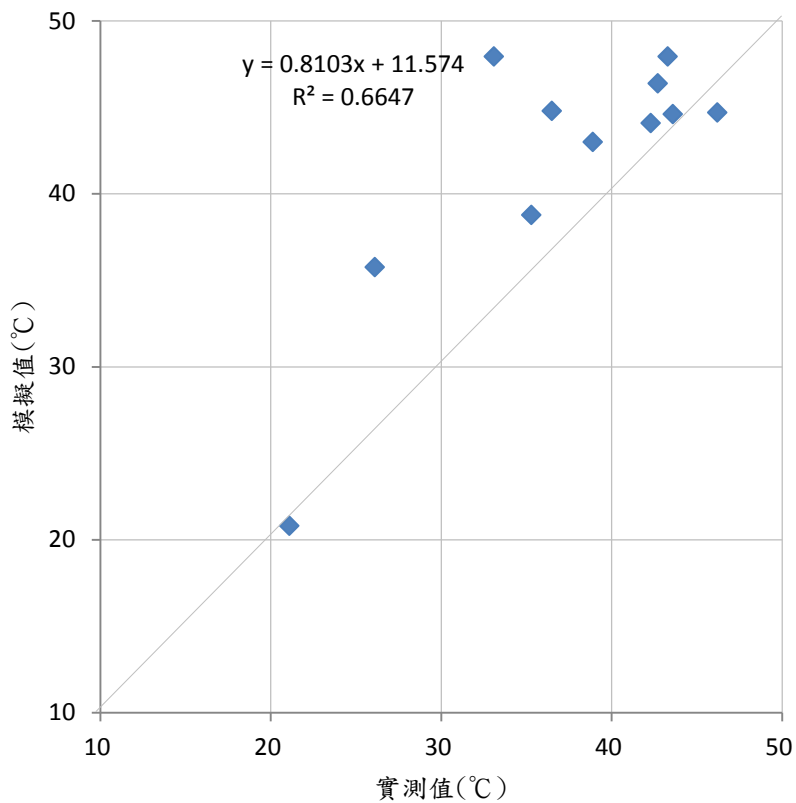


圖 3-13 春季生理等效溫度實測值與模擬值之驗證結果圖

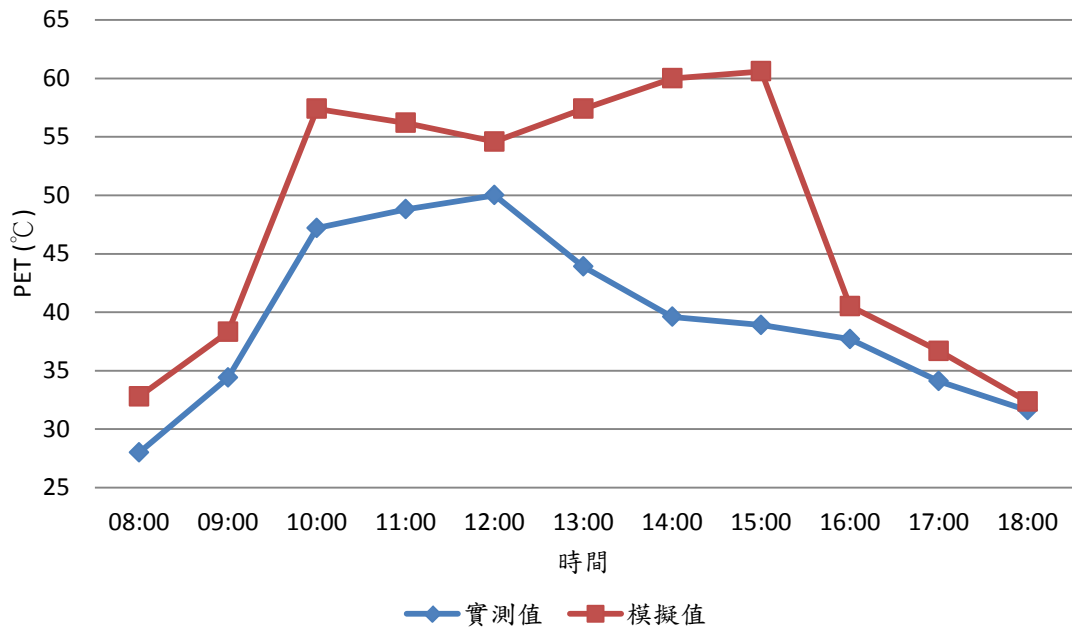


圖 3-14 夏季生理等效溫度實測值與模擬值之逐時溫度圖

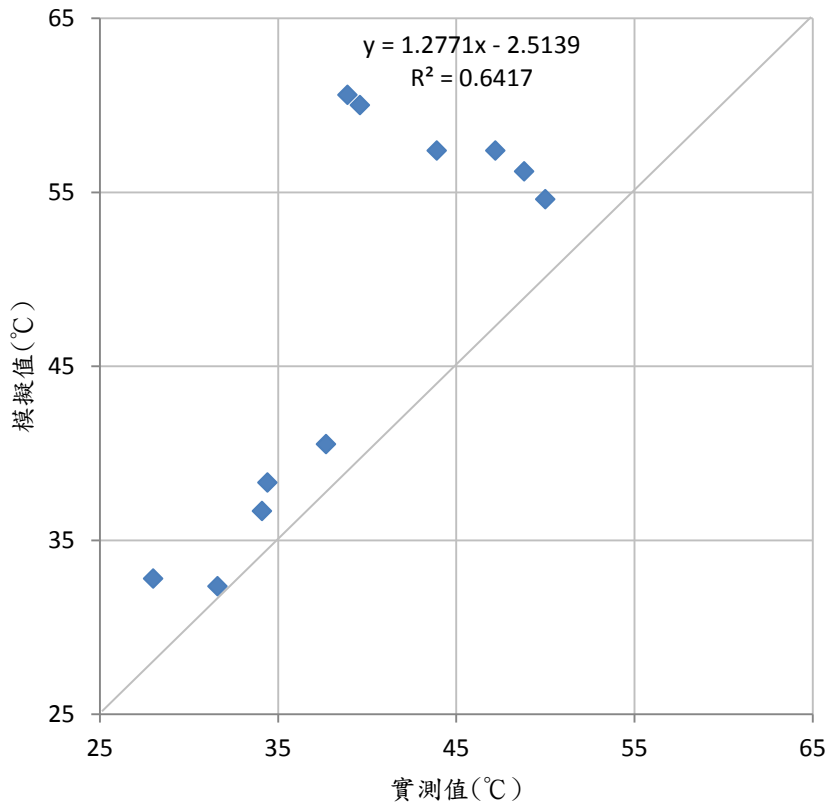


圖 3-15 夏季生理等效溫度實測值與模擬值之驗證結果圖



## 第四節 都市道路組成模擬方案



### 一、方案發展過程與原則

根據第二節的調查結果可得知臺北市 40 公尺寬的主要道路空間現況組成可分為 10 個類型。在進行道路路型調整的時候須考量到道路的服務機能，故以不改變車道數為原則，選擇車道數相同的 3 種道路組成類型為方案發展的基礎，分別為包含 3 條綠帶的中央分隔\_路邊停車型（類型一）、包含 4 條綠帶的快慢分隔\_混和車道型（類型四）、包含 2 條綠帶的中央分隔\_公車專用+路邊停車型（類型六）等 3 種。

因驗證基地之方位並非正東-西走向，且植栽的大小也不一致，為能準確的模擬各變項的影響，本研究將現地驗證基地之模型轉正並將植栽去除後，做為方案發想的基础方案（EW\_0），且作為後續比較之對照組。首先參考第二節的調查結果發展出 3 種不同類型的道路組成方案，再來調整方案模型的走向及植栽 LAI 值的設定，總共發展成 13 個模擬方案。方案發展流程如圖 3-16 所示：

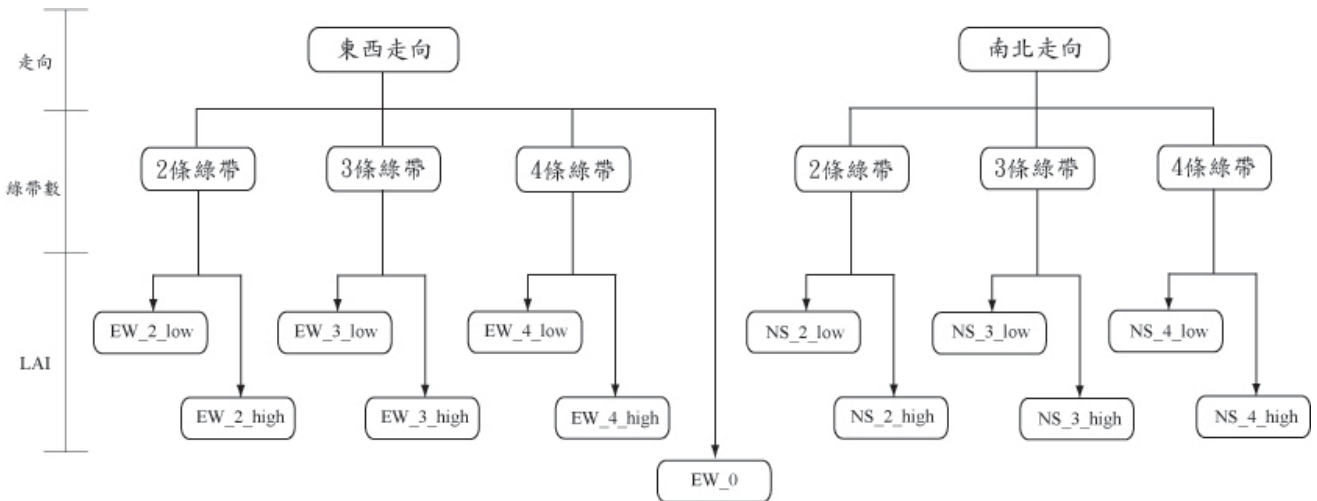


圖 3-16 方案發展流程圖

表 3-10 方案內容表

編號	方案名稱	道路走向	道路植栽綠帶組成	
			植栽綠帶數量	植栽 LAI 值
1	EW_0*		0 條	—
2	EW_2_low	東-西	2 條	1.5
3	EW_3_low		3 條	1.5
4	EW_4_low		4 條	1.5
5	EW_2_high		2 條	6.5
6	EW_3_high		3 條	6.5
7	EW_4_high		4 條	6.5
8	NS_2_low		南-北	2 條
9	NS_3_low	3 條		1.5
10	NS_4_low	4 條		1.5
11	NS_2_high	2 條		6.5
12	NS_3_high	3 條		6.5
13	NS_4_high	4 條		6.5

\*基礎方案

## 二、方案說明

本研究以 2 種道路走向、3 種道路綠帶數量、2 種植栽 LAI 組合成 12 種道路組成方案，此外並建立一個基礎方案作為後續比較之標準，共 13 個方案，詳細說明如下：



1. 方案 EW\_0 (基礎方案)

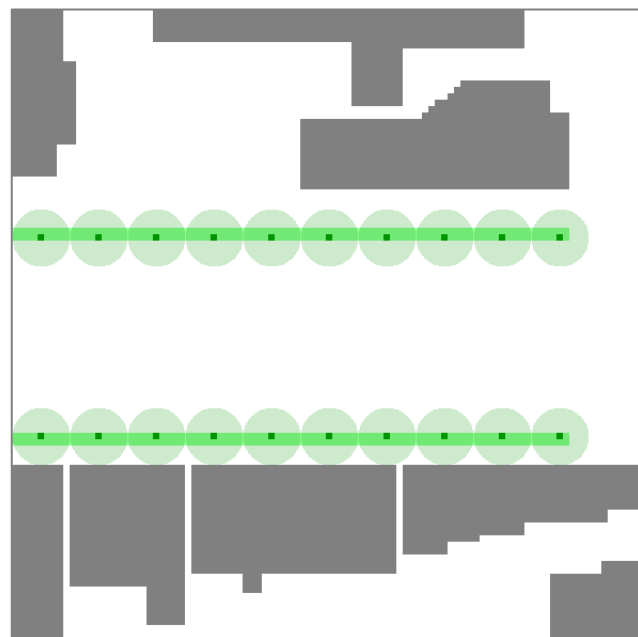
道路走向為東-西向，無任何植栽。



2. 方案 EW\_2\_low

道路走向為東-西向，道路植栽綠帶數量為2條，植栽 LAI 值為 1.5。

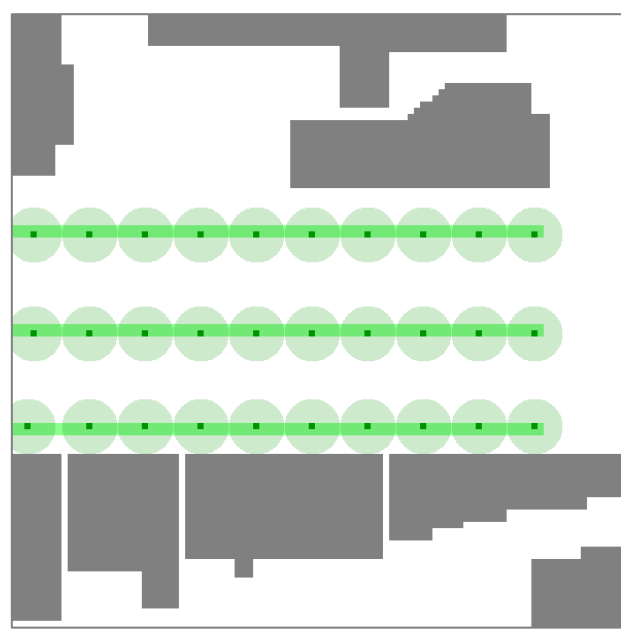
此路型中央分隔帶無種植植栽，車道構成包含 6 條汽車道及 2 條公車專用道，兩側設有路邊停車帶。





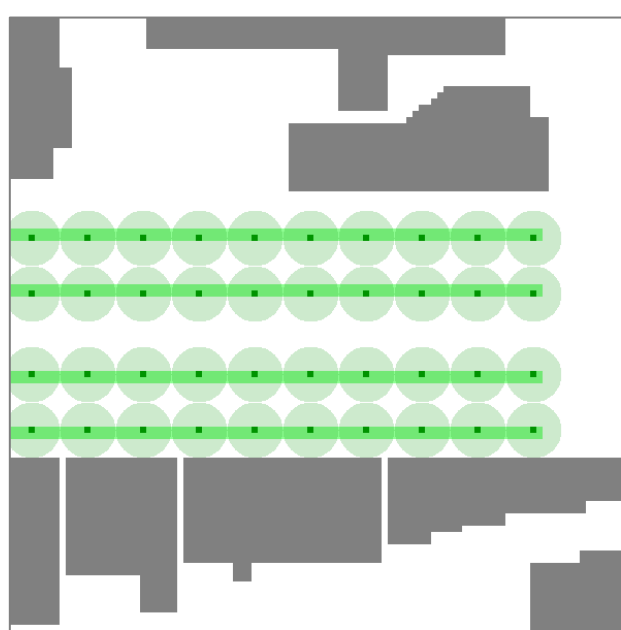
### 3. 方案 EW\_3\_low

道路走向為東-西向，道路植栽綠帶數量有 3 條，植栽 LAI 值為 1.5。  
此路型為常見的道路組成類型，中央分隔帶有植栽，車道構成包含 6 條  
汽車道，2 條混合車道，兩側設有路邊停車帶。



### 4. 方案 EW\_4\_low

道路走向為東-西向，道路植栽綠帶數量有 4 條，植栽 LAI 值為 1.5。  
此路型包含 2 條快慢車道分隔帶，有種植植栽，車道構成包含 6 條汽車  
道及 2 條混合車道。





5. 方案 EW\_2\_high

與 EW\_2\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5。



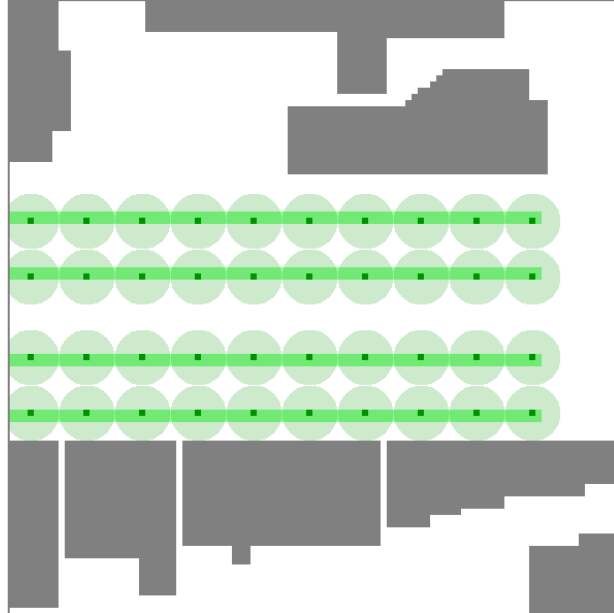
6. 方案 EW\_3\_high

與 EW\_3\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5。



7. 方案 EW\_4\_high

與 EW\_4\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5。



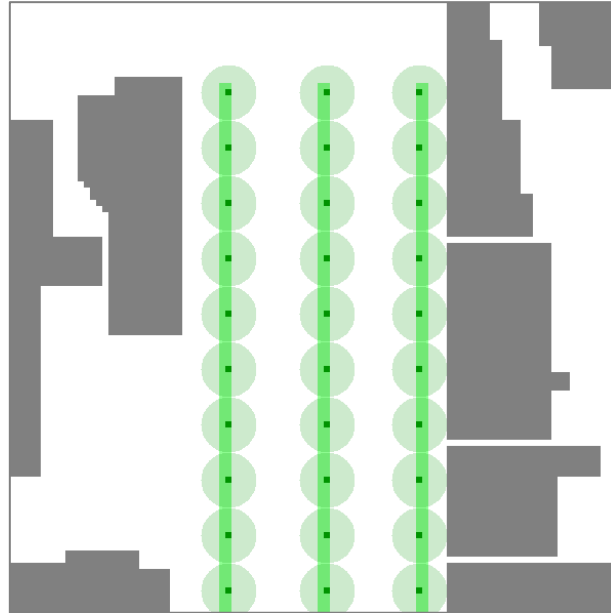
8. 方案 NS\_2\_low

將方案 EW\_2\_low 的道路走向改為南-北走向，道路植栽綠帶數量為 2 條，植栽 LAI 值為 1.5。



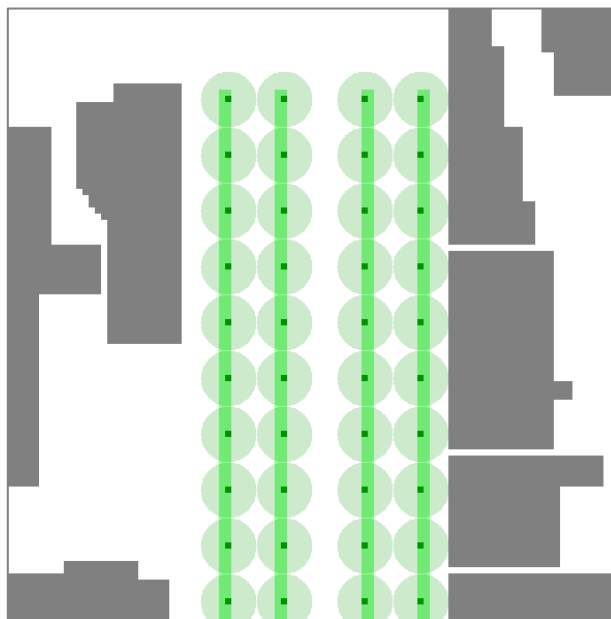
9. 方案 NS\_3\_low

將方案 EW\_3\_low 的道路走向改為南-北走向，道路植栽綠帶數量為 3 條，植栽 LAI 值為 1.5。



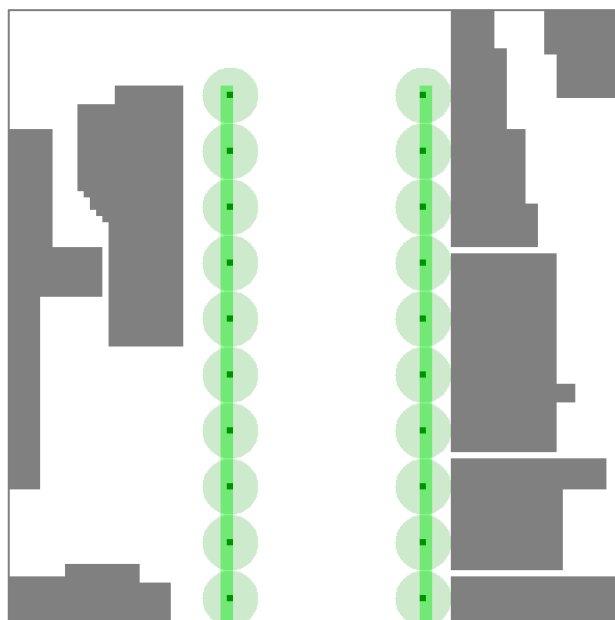
10. 方案 NS\_typ4

將方案 EW\_type4 的道路走向改為南-北走向，道路植栽綠帶數量為 4 條，植栽 LAI 值為 1.5。



11. 方案 NS\_2\_high

與 NS\_2\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5



12. 方案 NS\_3\_high

與 NS\_3\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5。



13. 方案 NS\_4\_high

與 NS\_4\_low 的道路走向、道路植栽綠帶數量皆相同，植栽 LAI 值改為 6.5。

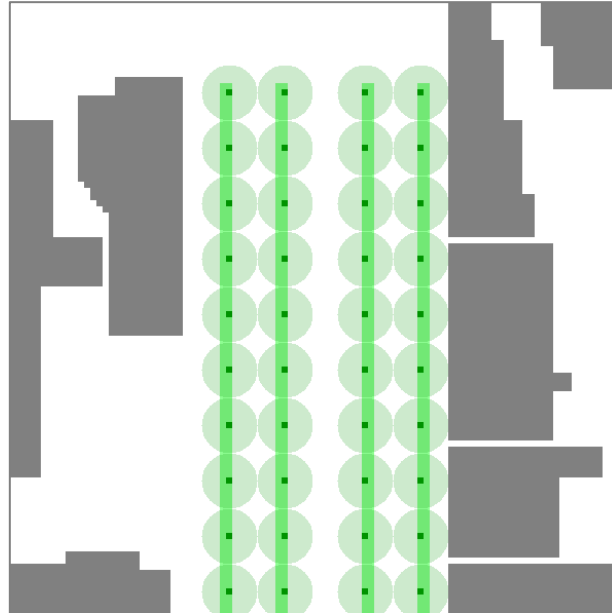









表 3-11 各方案剖面示意圖

方案	剖面示意圖	方案	剖面示意圖
EW_0			
EW_2_low、 NS_2_low		EW_2_high、 NS_2_high	
EW_3_low、 NS_3_low		EW_3_high、 NS_3_high	
EW_4_low、 NS_4_low		EW_4_high、 NS_4_high	





## 第五節 資料處理與分析

本研究使用 ENVI-met 軟體進行模擬計算，將全部方案的模擬結果所輸出的資料全部收集後，使用 Excel 進行資料建檔，再利用 SPSS 統計軟體進行描述性統計與檢定分析，如表 3-12 所示。

### 一、資料處理

#### (一) 人體熱舒適資料

為比較不同方案之間的熱舒適度差異，將 ENVI-met 輸出的氣候資料以 BioMet 進行 PET 的計算，分別輸出各方案中每整點時刻（從上午 8 點至下午 6 點，共計 11 個時刻）的 PET 資料，並取各方案中所有屬於人行道範圍的方格的 PET 資料，以各方案的 PET 平均值進行比較並繪製圖表。

#### (二) 人體熱舒適降溫效果

本研究的人體熱舒適降溫效果定義為基礎方案 EW\_0 與其他各方案之 PET 溫差。

### 二、研究假設檢定

為驗證本研究所提的 3 個假設，將進行方案之間的比較，詳細檢定分析如表 3-12 所示。

#### (一) 道路走向對行人熱舒適之影響檢定

以相同道路綠帶組成類型，不同道路走向的方案做為自變項，皆屬於類別尺度；以 PET 降溫為應變項，皆屬等距尺度，進行獨立樣本 t 檢定以比較相同道路綠帶組成類型，不同道路走向方案的差異。

#### (二) 道路植栽綠帶數量對行人熱舒適之影響檢定

以相同道路走向，不同道路綠帶組成類型的方案做為自變項，皆屬於類別尺度；以 PET 降溫為應變項，皆屬等距尺度，進行單因子變異數分析以比較相

同道路走向，不同道路綠帶組成類型方案的差異。

### (三) 植栽 LAI 高低對行人熱舒適之影響檢定

以相同道路走向且相同道路綠帶數量，但不同植栽 LAI 的方案做為自變項，皆屬於類別尺度；以 PET 降溫為應變項，皆屬等距尺度，進行單因子變異數分析以比較相同相同道路走向且相同道路綠帶數量，不同植栽 LAI 方案的差異。

### (四) 道路組成對行人熱舒適影響之關係檢定

以不同道路組成的方案做為自變項，皆屬於類別尺度；以 PET 降溫為應變項，皆屬等距尺度，進行單因子變異數分析。另外將道路組成視為解釋變項，以 PET 降溫為應變項進行迴歸分析，驗證道路組成對 PET 的影響。





表 3-12 分析計畫表

驗證假設	方案比較	方案比較描述		分析方法
		相同處	相異處	
道路走向對行人熱舒適影響之關係檢定	EW_2_low、NS_2_low	綠帶數量皆為 2 條		獨立樣本 t 檢定
	EW_3_low、NS_3_low	綠帶數量皆為 3 條	不同道路走向	獨立樣本 t 檢定
	EW_4_low、NS_4_low	綠帶數量皆為 4 條		獨立樣本 t 檢定
道路植栽綠帶數量對行人熱舒適影響之關係檢定	EW_2_low、EW_3_low、EW_4_low	同為東西走向、低 LAI	不同道路植栽	單因子變異數分析
	NS_2_low、NS_3_low、NS_4_low	同為南北走向、低 LAI	綠帶數量	單因子變異數分析
植栽 LAI 高低對行人熱舒適影響之關係檢定	EW_2_low、EW_2_high	同為東西走向、綠帶數量皆為 2 條		獨立樣本 t 檢定
	EW_3_low、EW_3_high	同為東西走向、綠帶數量皆為 3 條		獨立樣本 t 檢定
	EW_4_low、EW_4_high	同為東西走向、綠帶數量皆為 4 條	不同植栽 LAI	獨立樣本 t 檢定
	NS_2_low、NS_2_high	同為南北走向、綠帶數量皆為 2 條		獨立樣本 t 檢定
	NS_3_low、NS_3_high	同為南北走向、綠帶數量皆為 3 條		獨立樣本 t 檢定
	NS_4_low、NS_4_high	同為南北走向、綠帶數量皆為 4 條		獨立樣本 t 檢定
道路組成對行人熱舒適影響之關係檢定	全部方案	—	不同道路組成	單因子變異數分析
道路組成對行人熱舒適之影響檢定	全部方案	—	不同道路組成	逐步迴歸分析



## 第四章 研究結果



### 第一節 不同方案的模擬結果

本研究之目的為探討不同道路組成對行人之人體熱舒適之影響，取早上 8 點至下午 6 點共計 11 個時刻的 PET 進行分析，分析結果如下：

#### 一、各方案在不同時刻的 PET 表現

以早上 8 點至下午 6 點的平均 PET 來看，方案 EW\_0 的平均 PET 最高，為 48.45°C PET；最低則為方案 NS\_4\_high 的 40.47°C PET，兩者差值為 7.98°C PET。由高到低依序為方案 EW\_0 (48.45°C PET)、方案 EW\_2\_low (45.73°C PET)、方案 EW\_3\_low (45.63°C PET)、方案 EW\_4\_low (45.49°C PET)、方案 EW\_3\_high (44.53°C PET)、方案 EW\_2\_high (43.90°C PET)、方案 EW\_4\_high (43.39°C PET)、方案 NS\_2\_low (42.85°C PET)、方案 NS\_3\_low (42.35°C PET)、方案 NS\_2\_high (42.31°C PET)、方案 NS\_4\_high (41.71°C PET)、方案 NS\_3\_high (41.41°C PET)、方案 NS\_4\_high (40.47°C PET) (表 4-1)。

以早上 8 點至下午 6 點中所出現的各方案 PET 最高溫來看，最高值為方案 EW\_0 的 62.40°C PET，最低值為方案 NS\_4\_high 的 55.36°C PET；以早上 8 點至下午 6 點中所出現的各方案 PET 最低溫來看，最高值為 EW\_0 的 26.00°C PET，最低值為 EW\_4\_high 的 23.80°C PET (表 4-1)。

圖 4-1 為各方案不同時刻的 PET 平均值變化圖。由圖中可發現各方案的變化趨勢相似，最高溫出現在下午 2 點時，最低溫則出現在下午 6 點時，而東西走向之道路的平均 PET 皆高於南北走向之道路。方案間出現最大差異的時間為早上 8 點，而差異最小的時間為下午 6 點。

各方案在上午 8 點至下午 6 點的道路空間 PET 變化圖請參照附件一。

表 4-1 各方案所有人行道範圍之 PET 表

編號	方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
				最高溫	最低溫
1	EW_0*	49.63	7.91	62.40	26.00
2	EW_2_low	46.87	7.76	62.00	25.40
3	EW_3_low	46.76	7.76	61.80	25.20
4	EW_4_low	46.65	7.79	61.60	25.00
5	EW_2_high	44.99	7.98	61.80	24.00
6	EW_3_high	44.78	7.88	61.60	23.82
7	EW_4_high	44.50	7.99	60.80	23.80
8	NS_2_low	44.21	8.68	56.20	25.13
9	NS_3_low	43.77	8.61	55.97	25.10
10	NS_4_low	43.09	8.38	55.73	25.08
11	NS_2_high	43.63	8.47	56.11	25.15
12	NS_3_high	42.81	8.40	55.73	25.00
13	NS_4_high	41.77	8.04	55.36	25.06

\*基礎方案

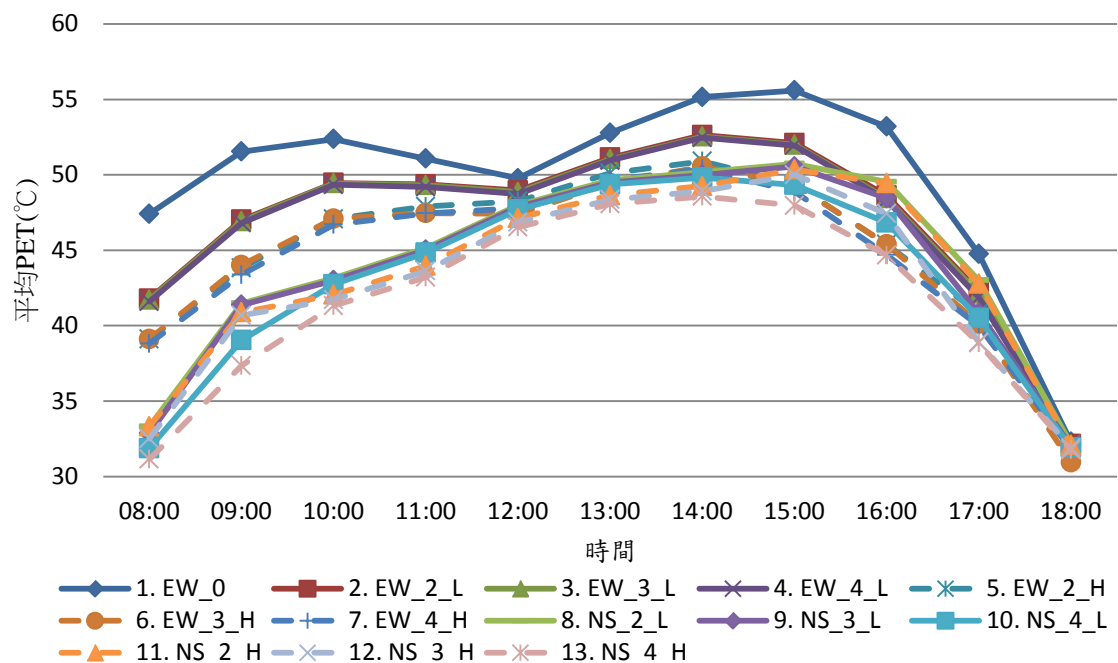


圖 4-1 各方案人行道範圍 PET 平均值不同時刻之變化圖



## 二、不同方案間之熱舒適度比較

本部分將針對相同道路綠帶組成類型但不同走向、相同走向但不同綠帶組成類型，以及相同走向且相同綠帶數量但植栽 LAI 不同的情況進行結果的說明。

### (一) 相同道路綠帶組成類型，但道路走向不同

分別比較三組綠帶組成類型相同但走向不同的方案。從早上 8 點至下午 6 點的平均 PET 來看，方案 EW\_2\_low 的平均 PET 為 46.87°C PET，PET 變化範圍在 25.40°C PET 到 62.00°C PET 之間；方案 NS\_2\_low 的平均 PET 為 44.21°C PET，PET 變化範圍在 25.13°C PET 到 56.20°C PET 之間（表 4-2）。方案 EW\_3\_low 的平均 PET 為 46.76°C PET，PET 變化範圍在 25.20°C PET 到 61.80°C PET 之間；方案 NS\_3\_low 的平均 PET 為 43.77°C PET，PET 變化範圍在 25.10°C PET 到 55.97°C PET 之間（表 4-3）。方案 EW\_4\_low 的平均 PET 為 46.65°C PET，PET 變化範圍在 25.00°C PET 到 61.60°C PET 之間；方案 NS\_4\_low 的平均 PET 為 43.09°C PET，PET 變化範圍在 25.08°C PET 到 55.73°C PET 之間（表 4-4）。

圖 4-2 至 4-4 為三組方案的逐時 PET 變化圖。從早上 8 點至下午 6 點的各時段的平均 PET 變化來看，東西走向的方案最低 PET 皆出現在下午 6 點時，最高 PET 出現在下午 2 點時；而南北走向的方案最低 PET 出現在下午 6 點時，最高 PET 則出現在下午 3 點時。三組方案中南北走向的道路的平均 PET 皆比東西走向的道路的平均 PET 低，最大差距出現在早上 8 點時。

表 4-2 方案 EW\_2\_low 與方案 NS\_2\_low 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_2_low	46.87	7.76	62.00	25.40
NS_2_low	44.21	8.68	56.20	25.13

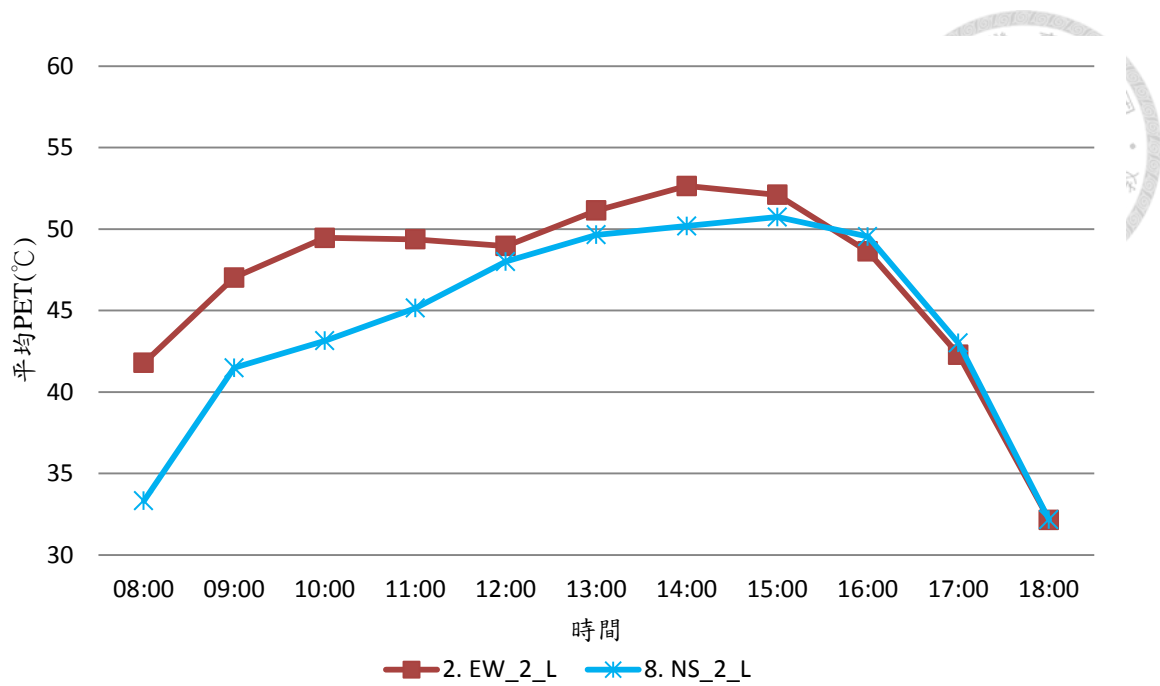


圖 4-2 方案 EW\_2\_low、NS\_2\_low 逐時 PET 變化圖

表 4-3 方案 EW\_3\_low 與方案 NS\_3\_low 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_3_low	46.76	7.76	61.80	25.20
NS_3_low	43.77	8.61	55.97	25.10

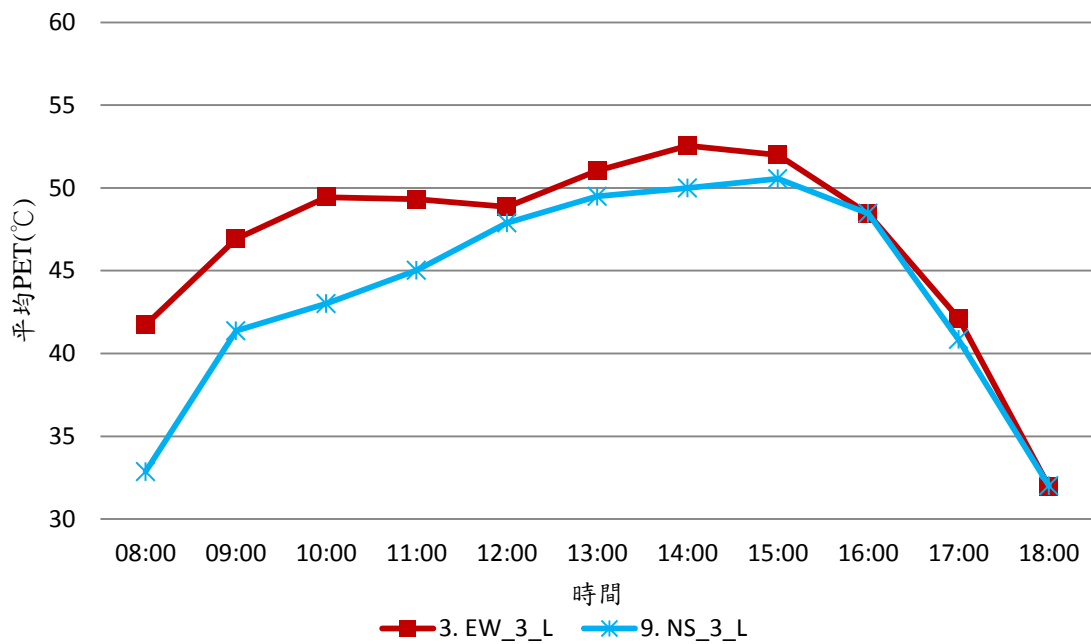


圖 4-3 方案 EW\_3\_low、NS\_3\_low 逐時 PET 變化圖

表 4-4 方案 EW\_4\_low 與方案 NS\_4\_low 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_4_low	46.65	7.79	61.60	25.00
NS_4_low	43.09	8.38	55.73	25.08

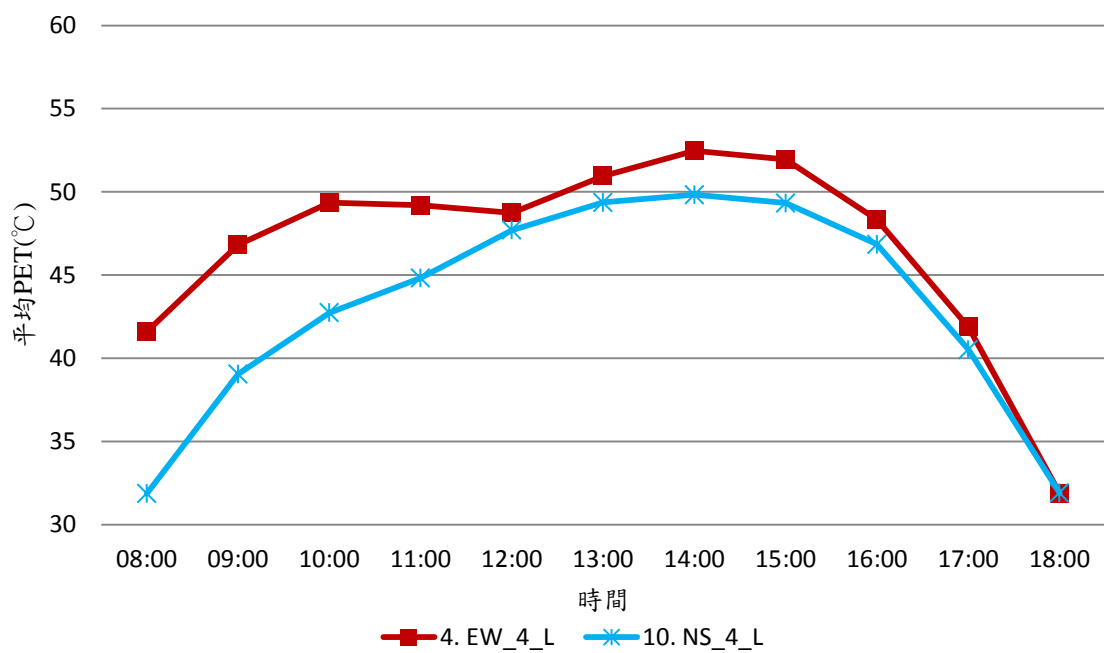


圖 4-4 方案 EW\_4\_low、NS\_4\_low 逐時 PET 變化圖

## (二) 相同道路走向，但道路綠帶組成類型不同

分別比較兩組道路走向相同但綠帶組成類型不同的方案。從早上 8 點至下午 6 點的平均 PET 來看，方案 EW\_2\_low 的平均 PET 為  $46.87^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.40^{\circ}\text{CPET}$  到  $62.00^{\circ}\text{CPET}$  之間；方案 EW\_3\_low 的平均 PET 為  $46.76^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.20^{\circ}\text{CPET}$  到  $61.80^{\circ}\text{CPET}$  之間；方案 EW\_4\_low 的平均 PET 為  $46.65^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.00^{\circ}\text{CPET}$  到  $61.60^{\circ}\text{CPET}$  之間(表 4-5)。方案 NS\_2\_low 的平均 PET 為  $44.21^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.13^{\circ}\text{CPET}$  到  $56.20^{\circ}\text{CPET}$  之間；方案 NS\_3\_low 的平均 PET 為  $43.77^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.10^{\circ}\text{CPET}$  到  $55.97^{\circ}\text{CPET}$  之間；方案 NS\_4\_low 的平均 PET 為  $43.09^{\circ}\text{CPET}$ ，PET 變化範圍在  $25.08^{\circ}\text{CPET}$  到  $55.73^{\circ}\text{CPET}$  之間(表 4-6)。

圖 4-5 至 4-6 為兩組方案的逐時 PET 變化圖。從早上 8 點至下午 6 點的各時段的平均 PET 變化來看，東西走向的三個方案中平均 PET 高低依序為 EW\_2\_low、EW\_3\_low、EW\_4\_low；而南北走向的三個方案中平均 PET 的高低依序為 NS\_2\_low、NS\_3\_low、NS\_4\_low。在兩種走向的方案中，綠帶數量較多方案其 PET 也較低，而南北走向的平均 PET 差值較東西走向的平均 PET 差值大。



表 4-5 方案 EW\_2\_low、EW\_3\_low、EW\_4\_low 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_2_low	46.87	7.76	62.00	25.40
EW_3_low	46.76	7.76	61.80	25.20
EW_4_low	46.65	7.79	61.60	25.00

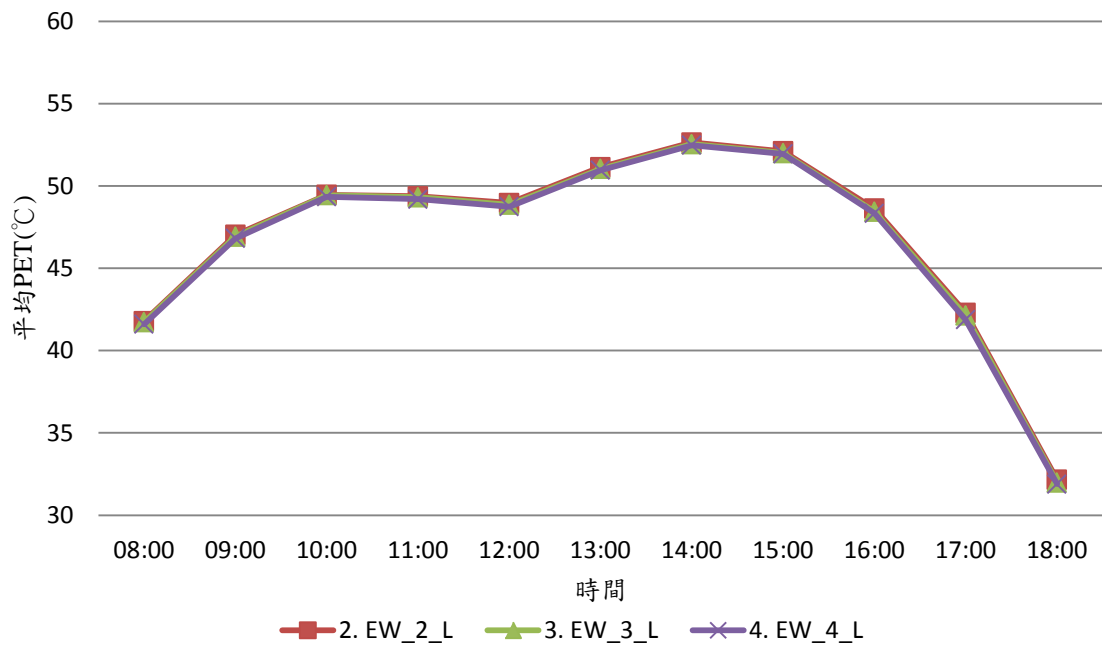


圖 4-5 方案 EW\_2\_low、EW\_3\_low、EW\_4\_low 的逐時 PET 變化圖

表 4-6 方案 NS\_2\_low、NS\_3\_low、NS\_4\_low 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
NS_2_low	44.21	8.68	56.20	25.13
NS_3_low	43.77	8.61	55.97	25.10
NS_4_low	43.09	8.38	55.73	25.08

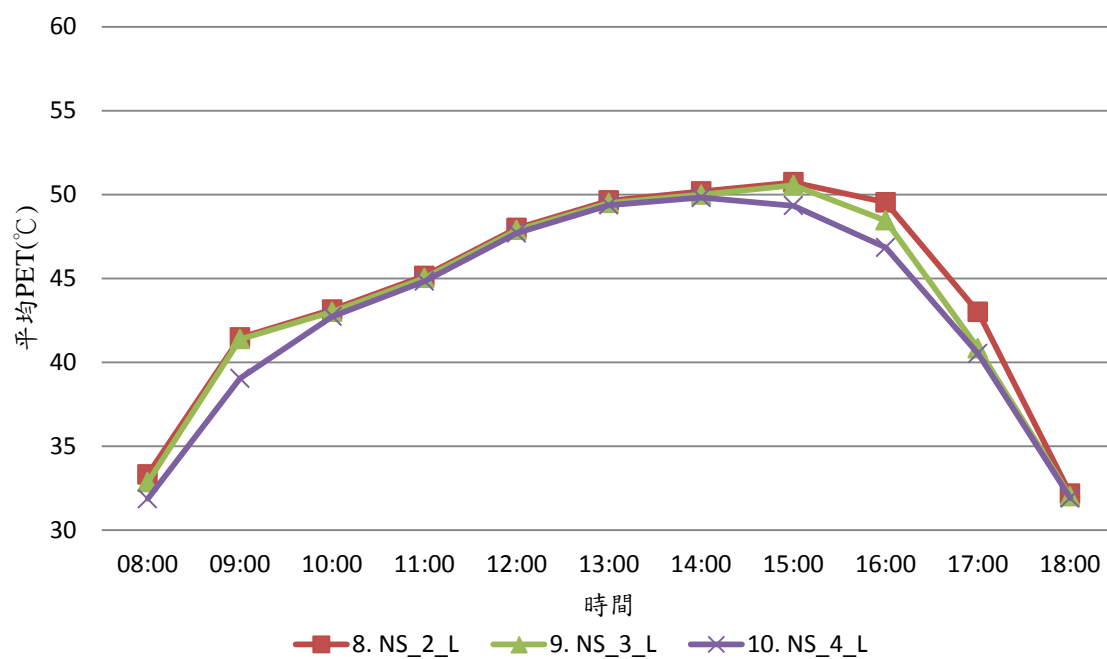


圖 4-6 方案 NS\_2\_low、NS\_3\_low、NS\_4\_low 的逐時 PET 變化圖

### (三) 相同道路走向且相同道路綠帶數量，但植栽 LAI 不同

分別比較六組道路走向及綠帶數量相同，但植栽 LAI 不同的方案。從早上 8 點至下午 6 點的平均 PET 來看，方案 EW\_2\_low 的平均 PET 為 46.87°C PET，PET 變化範圍在 25.40°C PET 到 62.00°C PET 之間；方案 EW\_2\_high 的平均 PET 為 44.99°C PET，PET 變化範圍在 24.00°C PET 到 61.80°C PET 之間（表 4-7）。方案 EW\_3\_low 的平均 PET 為 46.76°C PET，PET 變化範圍在 25.20°C PET 到 61.80°C PET 之間；方案 EW\_3\_high 的平均 PET 為 44.78°C PET，PET 變化範圍在 23.82°C PET 到 61.60°C PET 之間（表 4-8）。方案 EW\_4\_low 的平均 PET 為 46.65°C PET，PET 變化範圍在 25.00°C PET 到 61.60°C PET 之間；方案 EW\_4\_high 的平均 PET 為 44.50°C PET，PET 變化範圍在 23.80°C PET 到 60.80°C PET 之間（表 4-9）。方案 NS\_2\_low 的平均 PET 為 44.21°C PET，PET 變化範圍在 25.13°C PET 到 56.20°C PET 之間；方案 NS\_2\_high 的平均 PET 為 43.63°C PET，PET 變化範圍在 25.06°C PET 到 55.36°C PET 之間（表 4-10）。方案 NS\_3\_low 的平均 PET 為 42.35°C PET，PET 變化範圍在 25.10°C PET 到 55.97°C PET 之間；方案 NS\_3\_high 的平均 PET 為 43.77°C PET，PET 變化範圍在 25.00°C PET 到 55.73°C PET 之間（表 4-11）。方案 NS\_4\_low 的平均 PET 為 43.09°C PET，PET 變化範圍在 25.08°C PET 到 55.73°C PET 之間；方案 NS\_4\_high 的平均 PET 為 41.77°C PET，PET 變化範圍在 25.06°C PET 到 55.36°C PET 之間（表 4-12）。

圖 4-7 至 4-12 為六組方案的逐時 PET 變化圖。從早上 8 點至下午 6 點的各時段的平均 PET 變化來看，六組方案中植栽 LAI 值較高的方案其平均 PET 比植栽 LAI 低的方案之平均 PET 低，而東西走向方案的平均 PET 差值較南北走向方案的平均 PET 差值大。

表 4-7 方案 EW\_2\_low 與方案 EW\_2\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_2_low	46.87	7.76	62.00	25.40
EW_2_high	44.99	7.98	61.80	24.00

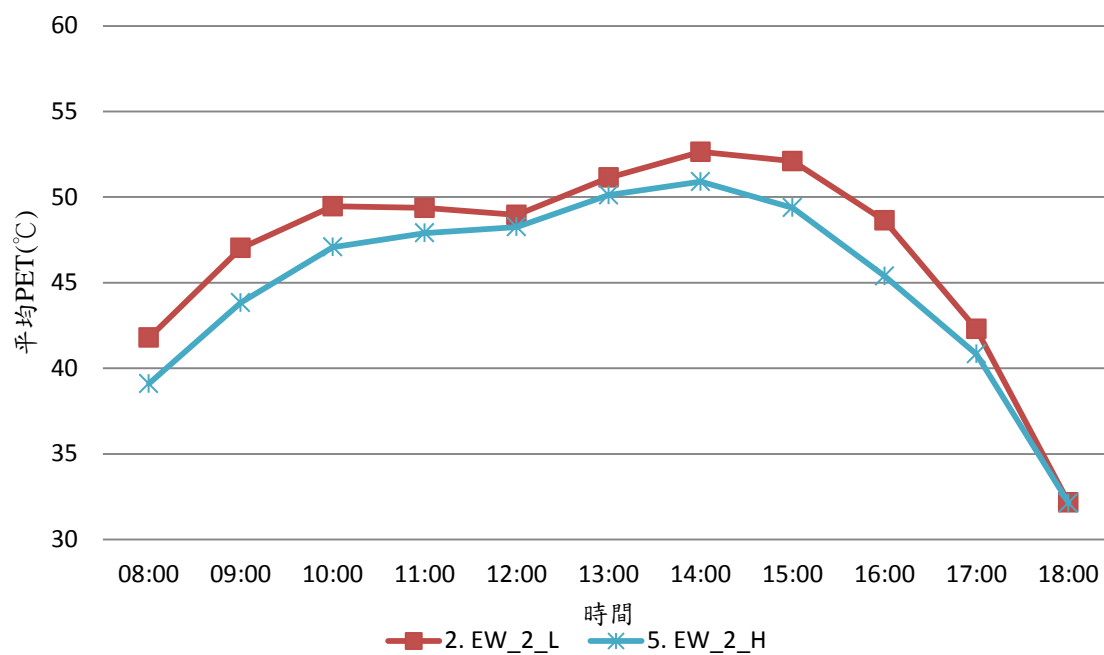


圖 4-7 方案 EW\_2\_low、EW\_2\_high 的逐時 PET 圖

表 4-8 方案 EW\_3\_low 與方案 EW\_3\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_3_low	46.76	7.76	61.80	25.20
EW_3_high	44.78	7.88	61.60	23.82

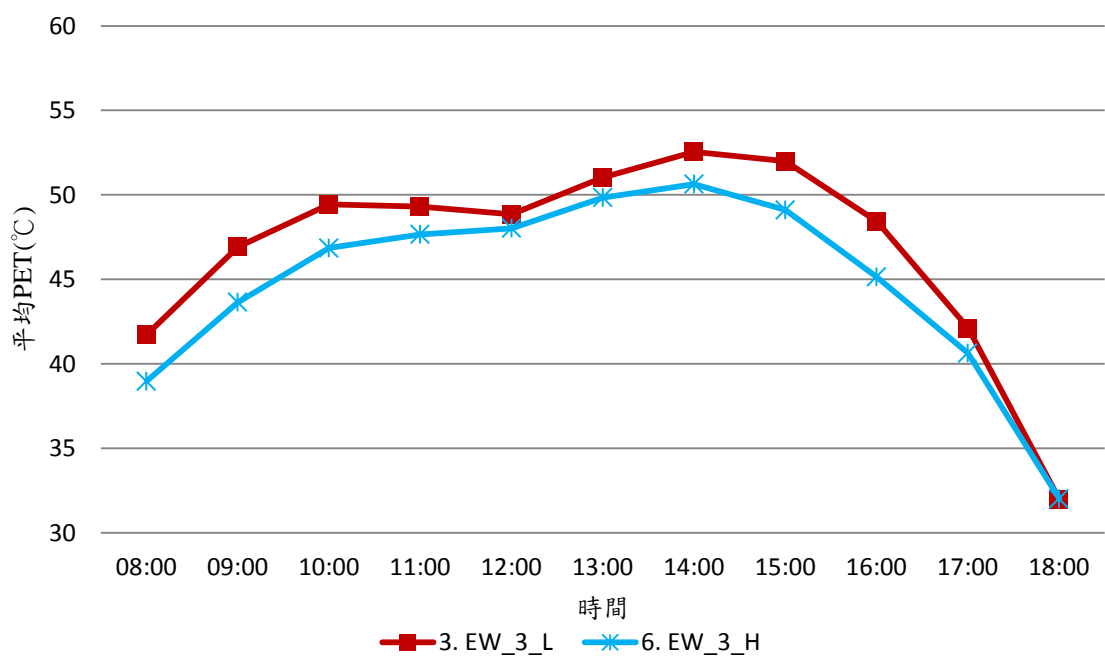


圖 4-8 方案 EW\_3\_low、EW\_3\_high 的逐時 PET 圖

表 4-9 方案 EW\_4\_low 與方案 EW\_4\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
EW_4_low	46.65	7.79	61.60	25.00
EW_4_high	44.50	7.99	60.80	23.80

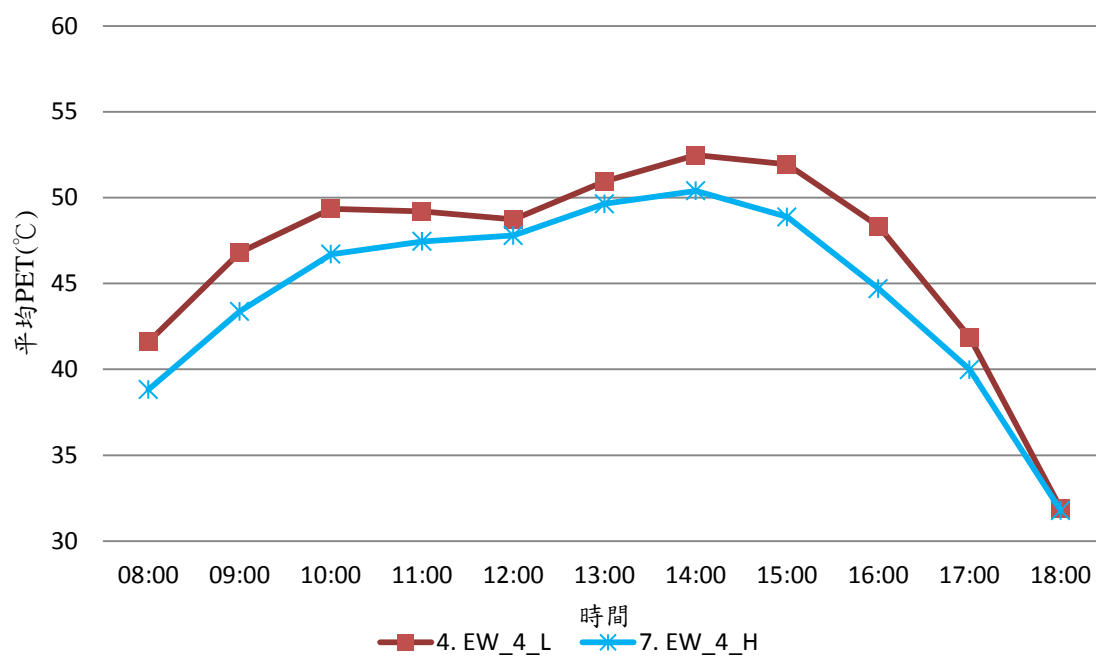


圖 4-9 方案 EW\_4\_low、EW\_4\_high 的逐時 PET 圖

表 4-10 方案 NS\_2\_low 與方案 NS\_2\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
NS_2_low	44.21	8.68	56.20	25.13
NS_2_high	43.63	8.47	56.11	25.15

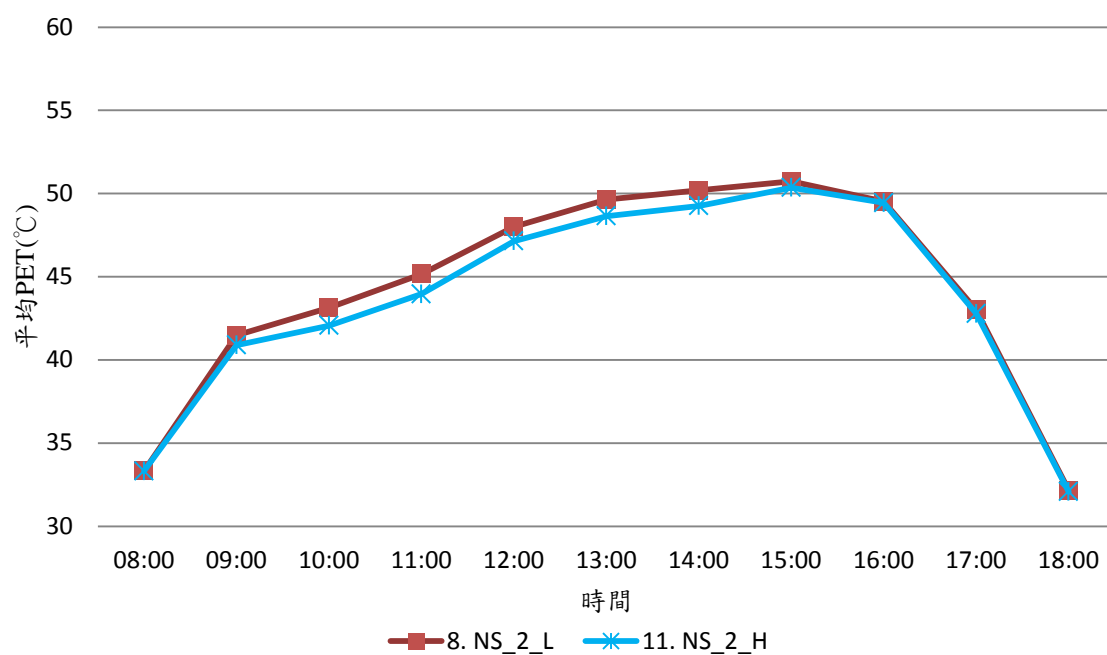


圖 4-10 方案 NS\_2\_low、NS\_2\_high 的逐時 PET 圖

表 4-11 方案 NS\_3\_low 與方案 NS\_3\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
NS_3_low	43.77	8.61	55.97	25.10
NS_3_high	42.81	8.40	55.73	25.00

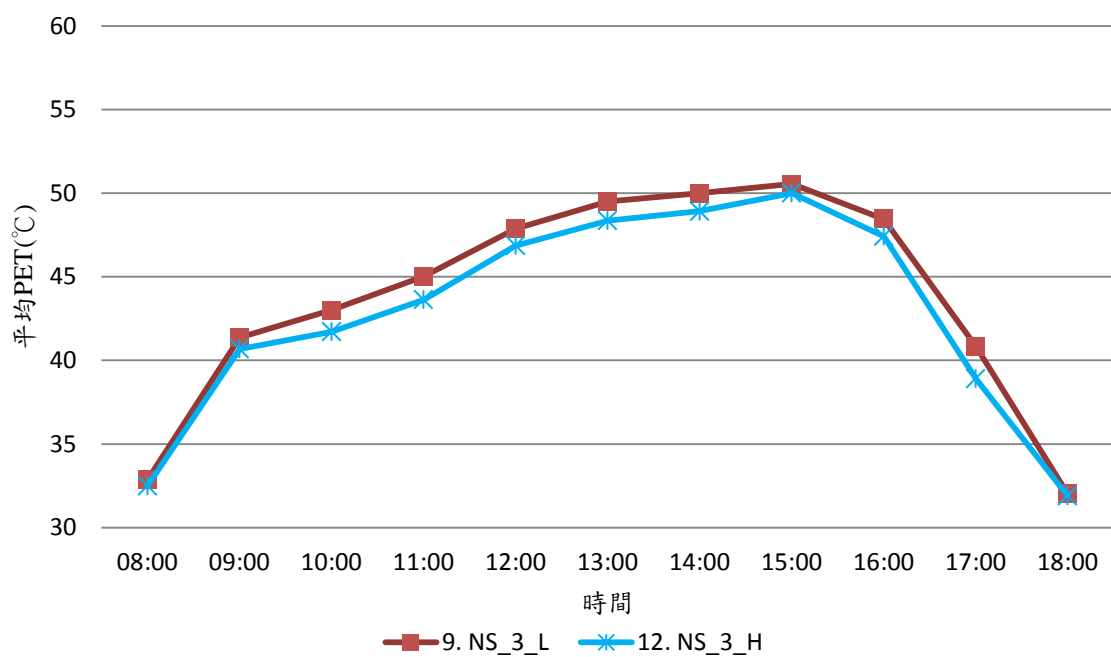


圖 4-11 方案 NS\_3\_low、NS\_3\_high 的逐時 PET 圖



表 4-12 方案 NS\_4\_low 與方案 NS\_4\_high 人行道 PET 分析表

方案名稱	平均 PET(°C)	標準差	PET 範圍(°C)	
			最高溫	最低溫
NS_4_low	43.09	8.38	55.73	25.08
NS_4_high	41.77	8.04	55.36	25.06

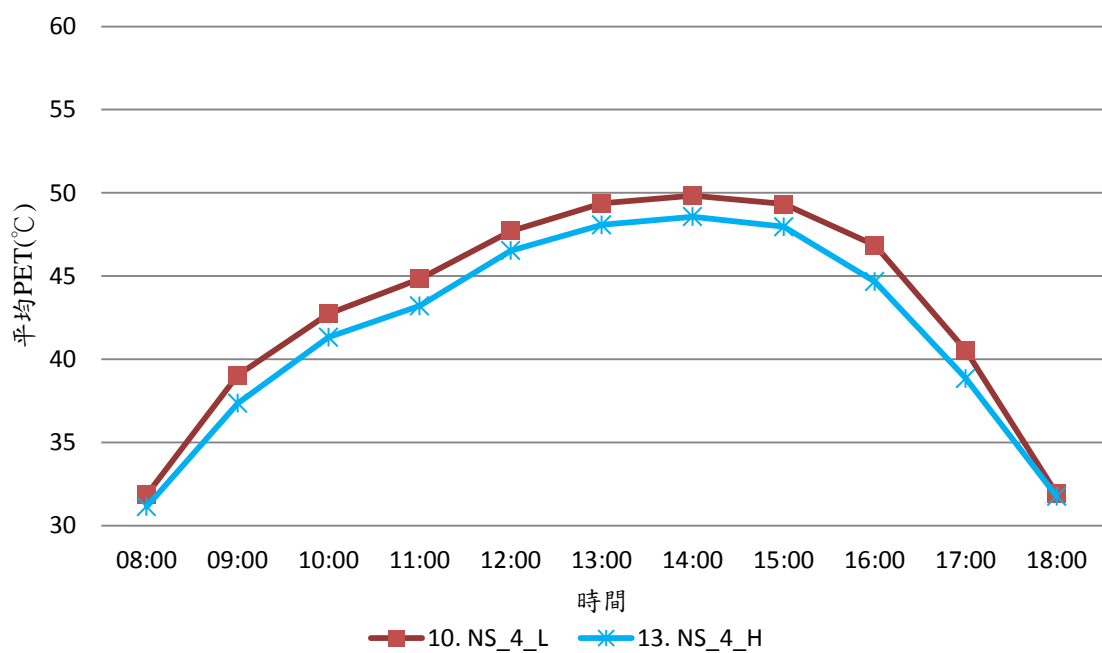


圖 4-12 方案 NS\_4\_low、NS\_4\_high 的逐時 PET 圖



## 第二節 不同方案對行人熱舒適影響之分析

本節探討不同方案之間的熱舒適差異，以方案 EW\_0 為對照組，將各方案與方案 EW\_0 之間的 PET 溫差作為應變項，分別針對上午 8 點及下午 6 點等兩個較多行人行走的時段進行各方案間之 PET 降溫的比較。

### 一、各方案在不同時刻的 PET 降溫效果

以早上 8 點至下午 6 點之間各方案的 PET 降溫平均值來看，可以發現在不同的時刻其 PET 降溫效果也有所差異，由圖 4-13 中可以看出早上 8 點時的 PET 降溫最多，而在下午 6 點時降溫最少。而這兩個時刻屬於上下班的尖峰時段，人行道上有較多行人行走，故本研究以早上 8 點及下午 6 點兩個時刻來進行熱舒適之相關分析。

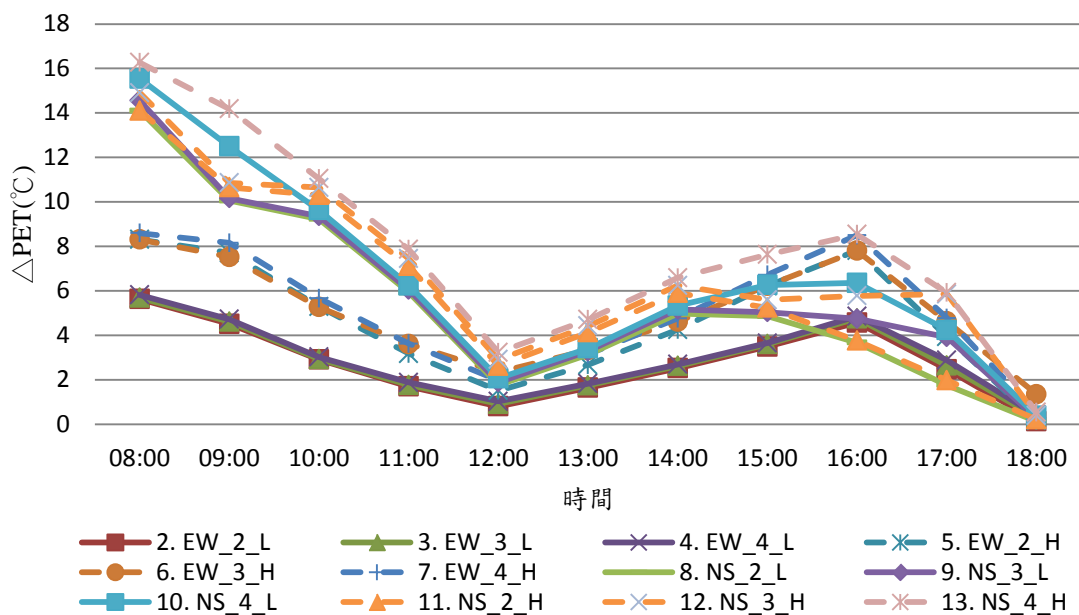


圖 4-13 各方案人行道 PET 降溫平均值逐時變化圖



## 二、道路走向對 PET 降溫之影響分析

分別比較三組綠帶組成類型相同但走向不同的方案，取早上 8 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 EW\_2\_low 的平均降溫值為 5.76°C PET，方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 14.63°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_2\_low 和方案 NS\_2\_low 對人行道 PET 降溫無顯著差異 ( $p>0.05$ ) (表 4-13)。

方案 EW\_3\_low 的平均降溫值為 5.82°C PET，方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 15.07°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_3\_low 和方案 NS\_3\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p<0.001$ ) (表 4-14)。

方案 EW\_4\_low 的平均降溫值為 5.95°C PET，方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 15.77°C PET；以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_4\_low 和方案 NS\_4\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p<0.001$ ) (表 4-15)。

表 4-13 方案 EW\_2\_low、NS\_2\_low 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_2_low	5.76	5.13	0.00	14.11	-34.86
NS_2_low	14.63	5.93	0.31	24.00	

註 2：\*\*\*  $p<0.001$

表 4-14 方案 EW\_3\_low、NS\_3\_low 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_3_low	5.82	5.12	0.00	14.24	-38.24***
NS_3_low	15.07	5.43	0.42	24.09	

註：\*\*\*  $p<0.001$

另一方面取下午 6 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 EW\_2\_low 的平均降溫值為 0.14°C PET，方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_2\_low 和方案 NS\_2\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-16)。

方案 EW\_3\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET，方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 0.37°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_3\_low 和方案 NS\_3\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-17)。

方案 EW\_4\_low 的平均降溫值為 0.40°C PET，方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 0.46°C PET；以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_4\_low 和方案 NS\_4\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-18)。

由結果可知，在道路綠帶組成類型相同但走向不同的情況下，得到的結果為南北走向道路的 PET 降溫效果比東西走向的 PET 降溫效果佳。因太陽運行方向的關係，東西走向的道路人行道受到太陽直射的時間較南北走向的人行道多，故有這樣的結果。

表 4-15 方案 EW\_4\_low、NS\_4\_low 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_4_low	5.95	5.12	0.00	14.40	-43.20***
NS_4_low	15.77	4.78	0.52	24.23	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-16 方案 EW\_2\_low、NS\_2\_low 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_2_low	0.14	0.04	0.00	0.26	-27.85***
NS_2_low	0.31	0.19	0.00	0.99	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-17 方案 EW\_3\_low、NS\_3\_low 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_3_low	0.31	0.11	0.13	0.59	-8.40***
NS_3_low	0.37	0.22	0.00	1.07	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-18 方案 EW\_4\_low、NS\_4\_low 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_4_low	0.40	0.09	0.24	0.68	-5.89***
NS_4_low	0.46	0.25	0.00	1.16	

註：\*\*\* p<0.001



### 三、道路植栽綠帶數量對 PET 降溫之影響分析

分別比較兩組道路走向相同但綠帶組成類型不同的方案，取早上 8 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 EW\_2\_low 的平均降溫值為 5.76°C PET，方案 EW\_3\_low 的平均降溫值為 5.82°C PET，方案 EW\_4\_low 的平均降溫值為 5.95°C PET。以單因子變異數分析來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_2\_low、方案 EW\_3\_low、方案 EW\_4\_low 對人行道 PET 降溫無顯著差異 ( $p>0.05$ ) (表 4-19)。

方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 14.63°C PET，方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 15.07°C PET，方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 15.77°C PET。以單因子變異數分析來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_2\_low、方案 NS\_3\_low、方案 NS\_4\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p<0.001$ ) (表 4-20)。

表 4-19 方案 EW\_2\_low、EW\_3\_low、EW\_4\_low 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫(°C PET)	標準差	最小降溫值 (°C PET)	最大降溫值 (°C PET)	F
EW_2_low	5.76	5.13	0.00	14.11	
EW_3_low	5.82	5.12	0.00	14.24	0.32
EW_4_low	5.95	5.12	0.00	14.40	

表 4-20 方案 NS\_2\_low、NS\_3\_low、NS\_4\_low 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫(°C PET)	標準差	最小降溫值 (°C PET)	最大降溫值 (°C PET)	F
NS_2_low	14.63	5.93	0.31	24.00	
NS_3_low	15.07	5.43	0.42	24.09	10.71***
NS_4_low	15.77	4.78	0.52	24.23	

註：\*\*\*  $p<0.001$

另一方面取下午 6 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 0.14°C PET，方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET，方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 0.40°C PET。以單因子變異數分析來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_2\_low、方案 NS\_3\_low、方案 NS\_4\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-21)。

方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET，方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 0.37°C PET，方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 0.46°C PET。以單因子變異數分析來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_2\_low、方案 NS\_3\_low、方案 NS\_4\_low 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-22)。

由結果可知，在道路走向相同但道路綠帶組成類型不同的情況下，得到的結果為綠帶數量越多者 PET 降溫效果越佳。因植栽綠帶數量較多時可提供較多的遮蔭，阻擋較多太陽輻射，而造成 PET 較低的結果。

表 4-21 方案 EW\_2\_low、EW\_3\_low、EW\_4\_low 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫(°C PET)	標準差	最小降溫值 (°C PET)	最大降溫值 (°C PET)	F
EW_2_low	0.14	0.04	0.00	0.26	
EW_3_low	0.31	0.11	0.13	0.59	2207.50***
EW_4_low	0.40	0.09	0.24	0.68	

註：\*\*\*  $p < 0.001$

表 4-22 方案 NS\_2\_low、NS\_3\_low、NS\_4\_low 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫(°C PET)	標準差	最小降溫值 (°C PET)	最大降溫值 (°C PET)	F
NS_2_low	0.31	0.19	0.00	0.99	
NS_3_low	0.37	0.22	0.00	1.07	101.09***
NS_4_low	0.46	0.25	0.00	1.16	

註：\*\*\*  $p < 0.001$



#### 四、植栽 LAI 高低對 PET 降溫之影響分析

分別比較六組道路走向及綠帶數量相同，但植栽 LAI 不同的方案，取早上 8 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 EW\_2\_low 的平均降溫值為 5.76°C PET，方案 EW\_2\_high 的平均降溫值為 8.47°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_2\_low 和方案 EW\_2\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-23)。

方案 EW\_3\_low 的平均降溫值為 5.82°C PET，方案 EW\_3\_high 的平均降溫值為 8.60°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_3\_low 和方案 EW\_3\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-24)。

方案 EW\_4\_low 的平均降溫值為 5.95°C PET，方案 EW\_4\_high 的平均降溫值為 8.76°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_4\_low 和方案 EW\_4\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-25)。

方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 14.63°C PET，方案 NS\_2\_high 的平均降溫值為 14.65°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_2\_low 和方案 NS\_2\_high 對人行道 PET 降溫無顯著差異 ( $p > 0.05$ ) (表 4-26)。

方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 15.07°C PET，方案 NS\_3\_high 的平均降溫值為 15.40°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_3\_low 和方案 NS\_3\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-27)。

方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 15.77°C PET，方案 NS\_4\_high 的平均降溫值為 16.42°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在早上 8 點的 PET 降溫效果



是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_4\_low 和方案 NS\_4\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-28)。

表 4-23 方案 EW\_2\_low、EW\_2\_high 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_2_low	5.76	5.13	0.00	14.11	-9.65***
EW_2_high	8.47	5.12	0.00	14.40	

註：\*\*\*  $p < 0.001$

表 4-24 方案 EW\_3\_low、EW\_3\_high 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_3_low	5.82	5.12	0.00	14.24	-9.92***
EW_3_high	8.60	6.28	0.00	16.20	

註：\*\*\*  $p < 0.001$

表 4-25 方案 EW\_4\_low、EW\_4\_high 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_4_low	5.95	5.12	0.00	14.40	-10.04***
EW_4_high	8.76	6.97	0.00	18.20	

註：\*\*\*  $p < 0.001$

表 4-26 方案 NS\_2\_low、NS\_2\_high 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_2_low	14.63	5.93	0.31	24.00	-0.06
NS_2_high	14.65	5.93	0.27	24.03	

表 4-27 方案 NS\_3\_low、NS\_3\_high 8 點時人行道範之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_3_low	15.07	5.43	0.42	24.09	-1.35***
NS_3_high	15.40	5.24	0.46	24.20	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-28 方案 NS\_4\_low、NS\_4\_high 8 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_4_low	15.77	4.78	0.52	24.23	-3.06***
NS_4_high	16.42	4.55	0.57	24.35	

註：\*\*\* p<0.001

另一方面取下午 6 點的人行道之 PET 降溫來看。方案 EW\_2\_low 的平均降溫值為 0.14°C PET，方案 EW\_2\_high 的平均降溫值為 0.16°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_2\_low 和方案 EW\_2\_high 對人行道 PET 降溫無顯著差異 ( $p > 0.05$ ) (表 4-29)。

方案 EW\_3\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET，方案 EW\_3\_high 的平均降溫值為 0.26°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_3\_low 和方案 EW\_3\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-30)。

方案 EW\_4\_low 的平均降溫值為 0.40°C PET，方案 EW\_4\_high 的平均降溫值為 0.52°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 EW\_4\_low 和方案 EW\_4\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-31)。

方案 NS\_2\_low 的平均降溫值為 0.31°C PET，方案 NS\_2\_high 的平均降溫值為 0.34°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_2\_low 和方案 NS\_2\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-32)。

方案 NS\_3\_low 的平均降溫值為 0.37°C PET，方案 NS\_3\_high 的平均降溫值為 0.46°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_3\_low 和方案 NS\_3\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-33)。

方案 NS\_4\_low 的平均降溫值為 0.46°C PET，方案 NS\_4\_high 的平均降溫值為 0.58°C PET。以獨立樣本 t 檢定來看不同方案在下午 6 點的 PET 降溫效果是否具有顯著差異，結果顯示方案 NS\_4\_low 和方案 NS\_4\_high 對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ ) (表 4-34)。

由結果可知，在道路走向及植栽綠帶數量相同，但植栽 LAI 不同的情況下，得到的結果為植栽的 LAI 值越高者 PET 降溫效果越佳。因植栽的 LAI 較高表示植栽冠層枝葉密度越高，可有效阻擋較多輻射，故造成 PET 值較低的結果。

表 4-29 方案 EW\_2\_low、EW\_2\_high 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_2_low	0.14	0.04	0.00	0.26	-11.5
EW_2_high	0.16	0.05	0.04	0.33	

表 4-30 方案 EW\_3\_low、EW\_3\_high 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_3_low	0.31	0.11	0.13	0.59	10.81***
EW_3_high	0.26	0.13	0.18	0.72	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-31 方案 EW\_4\_low、EW\_4\_high 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
EW_4_low	0.40	0.09	0.24	0.68	-22.26***
EW_4_high	0.52	0.14	0.33	0.93	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-32 方案 NS\_2\_low、NS\_2\_high 在 18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_2_low	0.31	0.19	0.00	0.99	-3.59***
NS_2_high	0.34	0.21	0.00	1.05	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-33 方案 NS\_3\_low、NS\_3\_high18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_3_low	0.37	0.22	0.00	1.07	-8.19***
NS_3_high	0.46	0.25	0.00	1.18	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-34 方案 NS\_4\_low、NS\_4\_high18 點時人行道之 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	最小降溫值 (°CPET)	最大降溫值 (°CPET)	t
NS_4_low	0.46	0.25	0.00	1.16	-9.67***
NS_4_high	0.58	0.29	0.00	1.28	

註：\*\*\* p<0.001



## 五、道路組成對 PET 降溫之影響分析

分別取所有方案早上 8 點及下午 6 點兩個時段的 PET 降溫資料，以單因子變異數分析檢定不同方案的 PET 降溫效果是否有顯著差異，再以 post hoc Scheffe test 進行事後多重檢定，了解彼此間的相互影響狀況。

在早上 8 點的檢定結果顯示，12 種道路組成對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ )。PET 降溫最多的為方案 NS\_4\_high ( $16.42^{\circ}\text{C PET}$ )，其次為方案 NS\_4\_low ( $15.77^{\circ}\text{C PET}$ )，最低為方案 EW\_2\_low ( $5.76^{\circ}\text{C PET}$ )。以 post hoc Scheffe test 比較不同方案的 PET 降溫效果，結果顯示降溫效果分為 4 類，如表 4-36 所示。

在下午 6 點的檢定結果顯示，12 種道路組成對人行道 PET 降溫具有顯著差異 ( $p < 0.001$ )。PET 降溫最多的為方案 NS\_4\_high ( $0.58^{\circ}\text{C PET}$ )，其次為方案 EW\_4\_high ( $0.52^{\circ}\text{C PET}$ )，最低為方案 EW\_2\_low ( $0.14^{\circ}\text{C PET}$ )。以 post hoc Scheffe test 比較不同方案的 PET 降溫效果，結果顯示降溫效果分為 9 類，如表 4-36 所示。

從結果可以看出道路走向對 PET 降溫的影響，南北向的道路多比東西向的道路舒適；而在同樣走向的情況下，植栽綠帶數量越多的其 PET 降溫效果也越佳，而植栽 LAI 較高者其 PET 降溫效果也較佳。

表 4-35 各方案 8 點時人行道 PET 降溫表

方案	平均降溫(°CPET)	標準差	F
NS_4_high	16.42	4.55	559.94***
NS_4_low	15.77	4.78	
NS_3_high	15.40	5.24	
NS_3_low	15.07	5.43	
NS_2_high	14.65	5.93	
NS_2_low	14.63	5.93	
EW_4_high	8.76	6.97	
EW_3_high	8.60	6.28	
EW_2_high	8.47	6.96	
EW_4_low	5.95	5.12	
EW_3_low	5.82	5.12	
EW_2_low	5.76	5.13	

註：\*\*\* p<0.001

表 4-36 各方案 18 點時人行道 PET 降溫表

方案	平均降溫 (°CPET)	標準差	F
NS_4_high	0.58	0.29	468.28***
EW_4_high	0.52	0.14	
NS_4_low	0.46	0.25	
NS_3_high	0.46	0.25	
EW_4_low	0.40	0.09	
NS_3_low	0.37	0.22	
NS_2_high	0.34	0.21	
NS_2_low	0.31	0.19	
EW_3_low	0.30	0.11	
EW_3_high	0.26	0.13	
EW_2_high	0.16	0.05	
EW_2_low	0.14	0.04	

註：\*\*\* p<0.001



## 六、道路組成對 PET 降溫影響之分析

本研究所指的道路組成包含道路走向、道路植栽綠帶數量、植栽種類等，其中植栽種類係以植栽 LAI 值來區分。經由先前的分析得知不同的道路組成其 PET 降溫效果有顯著差異，因此進一步探討道路組成與 PET 的關係。首先分別以早上 8 點及下午 6 點這兩個時刻的資料，進行道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 與 PET 降溫的相關性分析，之後以道路組成作為解釋變項，上午 8 點及下午 6 點的人行道 PET 降溫為應變項進行迴歸分析。

在早上 8 點時，人行道 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 的關係皆為顯著，進行逐步迴歸分析的結果顯示，道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 對人行道 PET 降溫有顯著影響，可能解釋力為 34% ( $p < 0.001$ ) (表 4-38)。當植栽 LAI 越高時，PET 降溫效果越好，每提高 1% 的 LAI，PET 降溫效果可提升  $0.255^{\circ}\text{C}$ PET；當綠帶數量越多時，PET 降溫效果越好，每增加 1% 的綠帶數，PET 降溫效果可提升  $0.222^{\circ}\text{C}$ PET。

此外，在下午 6 點時，人行道 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 的關係皆為顯著，進行逐步迴歸分析的結果顯示，道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 對人行道 PET 降溫有顯著影響，可能解釋力為 24% ( $p < 0.001$ ) (表 4-40)。當綠帶數量越多時，PET 降溫效果越好，每增加 1% 的綠帶數，PET 降溫效果可提升  $0.083^{\circ}\text{C}$ PET；當植栽 LAI 越高時，PET 降溫效果越好，每提高 1% 的 LAI，PET 降溫效果可提升  $0.011^{\circ}\text{C}$ PET；。



表 4-37 8 點時 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 之相關性分析結果表

	道路走向	綠帶數量	植栽 LAI
PET 降溫			
Person 相關	0.578**	-0.060**	0.054**

註：\*\* p<0.01

表 4-38 8 點時道路組成對 PET 降溫的迴歸分析結果表

道路組成	$\beta$ 估計值	標準化係數	t
(常數)	5.351		
道路走向	8.377	0.591	79.50***
植栽 LAI	0.255	0.090	12.08***
綠帶數量	0.222	0.035	4.67***
$R^2=0.34$ adjust $R^2=0.34$ F=2157.59			

註：\*\*\* p<0.001

表 4-39 18 點時 PET 降溫與道路走向、綠帶數量、植栽 LAI 之相關性分析結果表

	道路走向	綠帶數量	植栽 LAI
PET 降溫			
Person 相關	0.192**	0.394**	0.183**

註：\*\* p<0.01

表 4-40 18 點時的道路組成對 PET 降溫的迴歸分析結果表

道路組成	$\beta$ 估計值	標準化係數	t
(常數)	0.023		
綠帶數量	0.083	0.425	52.43***
道路走向	0.124	0.282	35.37***
植栽 LAI	0.011	0.122	15.29***
$R^2=0.24$ adjust $R^2=0.24$ F=1329.27			

註：\*\*\* p<0.001

### 第三節 研究假設驗證



本研究包含 3 項研究假設：

H1：在不同的道路走向下，其行人的人體熱舒適程度不同。

H2：在相同走向的情況下，道路組成類型中所包含植栽綠帶的數量越多，行人的人體熱舒適也會越佳。

H3：在相同走向及相同組成的情況下，道路綠帶種植的植栽 LAI 越高，其行人的人體熱舒適程度也越佳。

假設驗證結果如表 4-5 所示。根據各方案間之比較後可得知：

- (1) 比較方案 EW\_type4 與方案 NS\_type4，發現相同的道路綠帶組成類型在不同的道路走向下，其行人的熱舒適度也會不同，因此 H1 假設成立。
- (2) 比較方案 NS\_type1 與方案 NS\_type4、方案 NS\_type6，發現在相同走向的情況下，不同的道路植栽綠帶組成類型，其行人的熱舒適度也會不同，包含較多綠帶者其平均 PET 也較低，因此 H2 假設成立。
- (3) 比較方案 EW\_type4 與 EW\_type4\_HI，發現在相同走向及相同道路植栽綠帶數量的情況下，植栽的 LAI 較高者其平均 PET 也較低，因此 H3 假設成立。

表 4-41 研究假設驗證結果表

研究假設	結果
H1：在不同的道路走向下，其行人的人體熱舒適程度不同。	假設成立
H2：在相同走向的情況下，道路組成類型中所包含植栽綠帶的數量越多，行人的人體熱舒適也會越佳。	假設成立
H3：在相同走向及相同組成的情況下，道路綠帶種植的植栽 LAI 越高，其行人的人體熱舒適程度也越佳。	假設成立

## 第五章 結論與建議



### 第一節 結論

本研究經由文獻回顧及現地調查的結果進行方案研擬，發展成 13 個不同的道路組成方案，再以 ENVI-met 微氣候模擬軟體及 Biomet 軟體分別進行數值模擬與 PET 計算，模擬結果取各方案的早上 8 點至下午 6 點的 PET 進行資料分析，探討不同道路組成之間的熱舒適差異。結果可以分為四個部分進行說明：

- (1) 道路走向對行人熱舒適的影響
- (2) 道路植栽綠帶數量對行人熱舒適的影響
- (3) 道路植栽種類對行人熱舒適的影響
- (4) 道路組成對行人熱舒適的影響。

#### 一、道路走向對行人熱舒適的影響

在道路走向的部分，從本研究結果中可發現道路走向對於行人熱舒適有顯著影響。比較相同綠帶道路類型在不同道路走向中的 PET 表現，可發現南北向的方案其 PET 皆比東西向的方案低，在 8 點至 18 點的平均 PET 的最大差距可達  $3.78^{\circ}\text{C}$ PET (NS\_4\_low-EW\_4\_low)。而在 PET 降溫表現的部分，研究結果中發現南北向的道路其 PET 降溫效果皆較東西向的道路高，PET 降溫最大值可達  $15.77^{\circ}\text{C}$ PET (NS\_4\_low)。

過去研究中，Ali-Toudert 和 Mayer(2006)的研究結果指出東-西向的道路，其 PET 比南-北向的道路高，而 Yahia 和 Johnsson 的研究結果也指出南-北向的道路因為有建築物之陰影的影響，其 PET 比東-西向的道路低。本研究結果與前兩者的研究結果相同，道路的走向會影響行人的人體熱舒適。

#### 二、道路植栽綠帶數量對行人熱舒適的影響

本研究探討在相同走向中，不同道路植栽綠帶數量的熱舒適差異，由研究結果中可以發現植栽綠帶數量對於行人熱舒適有顯著影響。分別比較東-西走向

及南-北走向下不同道路植栽綠帶組成類型的 PET 表現，可發現植栽綠帶數量最多的類型在東-西及南-北走向中皆為 PET 最低者，而綠帶數量最少的類型則為 PET 最高者。兩者的平均 PET 差異最多可達  $1.14^{\circ}\text{C}$ PET (NS\_2\_low—NS\_4\_low)。而在 PET 降溫表現的部分，研究結果中發現綠帶數量越多者其 PET 降溫效果也較明顯，PET 降溫最大值可達  $15.77^{\circ}\text{C}$ PET (NS\_4\_low)。

過去研究中，Shahidan 等人 (2012) 的研究結果指出植栽數量較多時可有效的改善戶外環境的微氣候。本研究結果與前者研究結果相同，植栽綠帶數量越多時，被遮蔭的面積越多，行人熱舒適度也越佳。

### 三、道路植栽種類對行人熱舒適的影響

本研究在相同走向及相同道路植栽綠帶數量的情況下，以不同 LAI 值代表不同的植栽種類，探討道路植栽種類對行人熱舒適的影響，由研究結果中可發現植栽種類對於行人熱舒適有顯著影響。分別比較不同的植栽 LAI 在相同走向及相同道路植栽綠帶數量的情況下 PET 的表現，結果發現植栽 LAI 較高者，其 PET 比 LAI 較低者低，兩者的平均 PET 差異最多可達  $2.1^{\circ}\text{C}$ PET (EW\_4\_low—EW\_4\_High)。而在 PET 降溫表現的部分，研究結果中發現植栽 LAI 越高者其 PET 降溫效果也較明顯，PET 降溫最大值可達  $16.42^{\circ}\text{C}$ PET (NS\_4\_high)。

Shahidan 等人 (2012) 的研究結果當指出植栽冠層密度較密時，可以有效的改善戶外環境的微氣候，本研究與前者研究結果相同，因植栽冠層密度較密者 LAI 值較高，可有效阻擋較多輻射，因此 PET 也較種植 LAI 低的植栽者低。

### 四、道路組成對行人熱舒適的影響

本研究進行單因子變異數分析的結果顯示，在道路組成中，以道路走向為南北走向、綠帶數量越多、植栽 LAI 越高的情況下能夠達到較好的 PET 降溫效果。而在進一步以道路走向、綠帶數量及植栽 LAI 作為解釋變項，進行逐步回歸的結果中也顯示同樣的結果。



## 第二節 建議

本研究根據文獻回顧及現地調查的結果進行方案研擬，發展成 13 個不同的道路組成方案，並以 ENVI-met 微氣候模擬軟體及 Biomet 軟體分別進行數值模擬與 PET 計算，模擬完後取各方案的早上 8 點至下午 6 點的 PET 進行資料分析，探討不同道路組成之間的熱舒適差異。根據本研究結果提出以下建議作為實務操作與後續研究之參考。

### 一、都市道路規劃設計

本研究結果顯示，道路走向、道路植栽綠帶數量及植栽種類皆會影響行人的熱舒適，其中以道路走向影響較大，植栽種類次之，道路植栽綠帶數量影響較小。然而在同一走向的情況下，道路植栽綠帶數量越多者其熱舒適度越佳，植栽 LAI 值越高者其熱舒適度也越佳。

因此在人本的道路規劃設計時，因東西走向的道路接受太陽直射的時間較多，相對於南北走向的道路較為不舒適，在規劃設計上建議應在最小影響車流量的情況下設立多條植栽綠帶，並且以種植 LAI 較高的樹種，如榕樹、印度橡膠樹等為優先選擇，創造遮蔭來阻擋太陽輻射，以減少行人的不舒適狀況。

### 二、後續研究建議

本研究主要針對人本交通中提倡的「增加景觀綠美化」部分進行討論，以道路走向、植栽綠帶數量及植栽種類做為自變項進行模擬，但本研究結果僅針對臺北市的 40 公尺主要道路進行探討，後續可針對不同寬度及層級的道路進行討論。

此外，在人本交通的概念中尚有「人行道拓寬」、「鋪面改善」等部分，因鋪面也是影響微氣候的因子之一，不同的鋪面材質與植栽的組合對於行人熱舒適的影響也尚須被釐清，建議未來研究也可以往此方向進行。



## 參考文獻



1. 內政部營建署，(2001)，市區道路工程規劃及設計規範之研究，臺北：中華民國內政部營建署。
2. 內政部營建署，(2003)，市區道路人行道設計手冊，臺北：中華民國內政部營建署。
3. 臺北市政府，(2010)，臺北市既有市區道路景觀及人本環境改善綱要計畫，臺北；臺北市政府。
4. 方澄喬，(2009)，都市公園微氣候對使用者熱舒適度影響之研究，碩士論文，臺灣大學園藝學系，臺北。
5. 陳恩右，(2004)，道路特性與都市局部熱島關係之研究—以臺北市主要道路為例，碩士論文，中國文化大學景觀學系，臺北。
6. 黃柔嫻，(1999)，臺北都市氣候特徵及其熱舒適度評估—以士林、萬華、古亭、松山為例，碩士論文，臺灣大學園藝學系，臺北。
7. 葉佳靈，(2011)，都市商業道路之型態研究，碩士論文，成功大學都市計劃學系，臺南。
8. 譚安君，(2008)，反映都市空間結構的人行空間系統規劃與規範之研究—以鳳山市為例，碩士論文，成功大學都市計劃學系，臺南。
9. Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310.
10. Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94-108.
11. Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81(6), 742-754.
12. ASHRAE. (2004). ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
13. Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. *Renewable Energy*, 29(2), 249-262.
14. Brown, R. D. & Terry J. G. (1995). *Microclimatic Landscape Design: Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
15. Emmanuel, R., Rosenlund, H., & Johansson, E. (2007). Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. *International*

- Journal of Climatology*, 27(14), 1995-2004.
16. Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Danish Technical Press, Copenhagen.
  17. Fröhlich, D., & Matzarakis, A. (2012). Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(3-4), 547-558.
  18. Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, L. G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, 92 (pt 2B), 709-731.
  19. Grimmond, C. S. B., Potter, S. K., Zutter, H. N., & Souch, C. (2001). Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *International Journal of Climatology*, 21(7), 903-913.
  20. He, X., Miao, S., Shen, S., Li, J., Zhang, B., Zhang, Z., & Chen, X. (2015). Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol*, 59(3), 285-297.
  21. Höpfe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol*, 43 (2), 71-75.
  22. Huttner, S. (2012). Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met. PhD thesis. Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.
  23. Jefferson, C., Rowe, J., & Brebbia, C. (2001). The Sustainable Street the Environmental: Human and Economic Aspects of Street Design and Management”, *Boston: WIT Press*.
  24. Jesionek, K. & Bruse, M. (2003). Impacts of vegetation on the microclimate: Modelling standardized building structures with different greening level. *ICUC5*.
  25. Ketterer, C., & Matzarakis, A. (2014). Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 122, 78-88.
  26. Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148, 37-50.
  27. Lillebye, E. (1996). Architectural and functional relationships in street planning, an history view. *Landscape and Urban Planning*, 35, 85-105.
  28. Lillebye, E. (2001). The Sustainable Street the Environmental, Human and Economic Aspects of Street Design and Management, *Boston: WIT Press*.
  29. Lin, B.S. & Lin, C.T. (2016). Preliminary study of the influence of the spatial arrangement of urban parks on local temperature reduction. *Urban Forestry &*

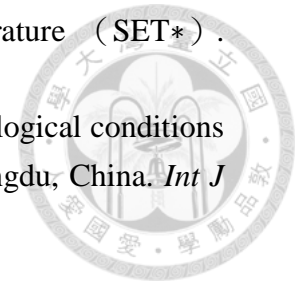


*Urban Greening*, 20, 348-357.

30. Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2008). Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol*, 52 (4), 281-290.
31. Mayer, H., & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environment. *Theoretical and Applied Climatology*, 38 (1), 43-49.
32. Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *J. Climatol.*, 1, 237-254.
33. Oke, T. R. (1988). Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy and Building*, 11 (1-3), 103-113.
34. Qaid, A., & Ossen, D. R. (2015). Effect of asymmetrical street aspect ratios on microclimates in hot, humid regions. *Int J Biometeorol*, 59(6), 657-677.
35. Shahidan, M. F., Shariff, M. K. M., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of *Mesua ferrea* L. and *Hura crepitans* L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 168-181.
36. Sun, C.Y. (2011). A street thermal environment study in summer by the mobile transect technique. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(3-4), 433-442.
37. Taleb, H., & Taleb, D. (2014). Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 253-260.
38. Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & van den Dobbelen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65-78.
39. Touchaei, A. G., & Wang, Y. (2015). Characterizing urban heat island in Montreal (Canada)—Effect of urban morphology. *Sustainable Cities and Society*, 19, 395-402.
40. Watson, I. D. & Johnson, G. T. (1987). Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *J. Climatol.*, 7, 193-197.
41. Willmot, C. J. (1981). On the validation of models, *Physical Geography*, 2, 184-194.
42. Yahia, M. W., & Johansson, E. (2013a). Influence of urban planning regulations on the microclimate in a hot dry climate: The example of Damascus, Syria. *Journal of Housing and the Built Environment*, 28(1), 51-65.
43. Yahia, M. W., & Johansson, E. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria—The example of residential spaces with detached buildings. *Landscape and Urban Planning*,
44. Ye., G., Yang., C., Chen., Y., & Li., Y. (2003). A new approach for measuring

predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET\*).  
*Building and Environment*, 38 (1), 33-44.

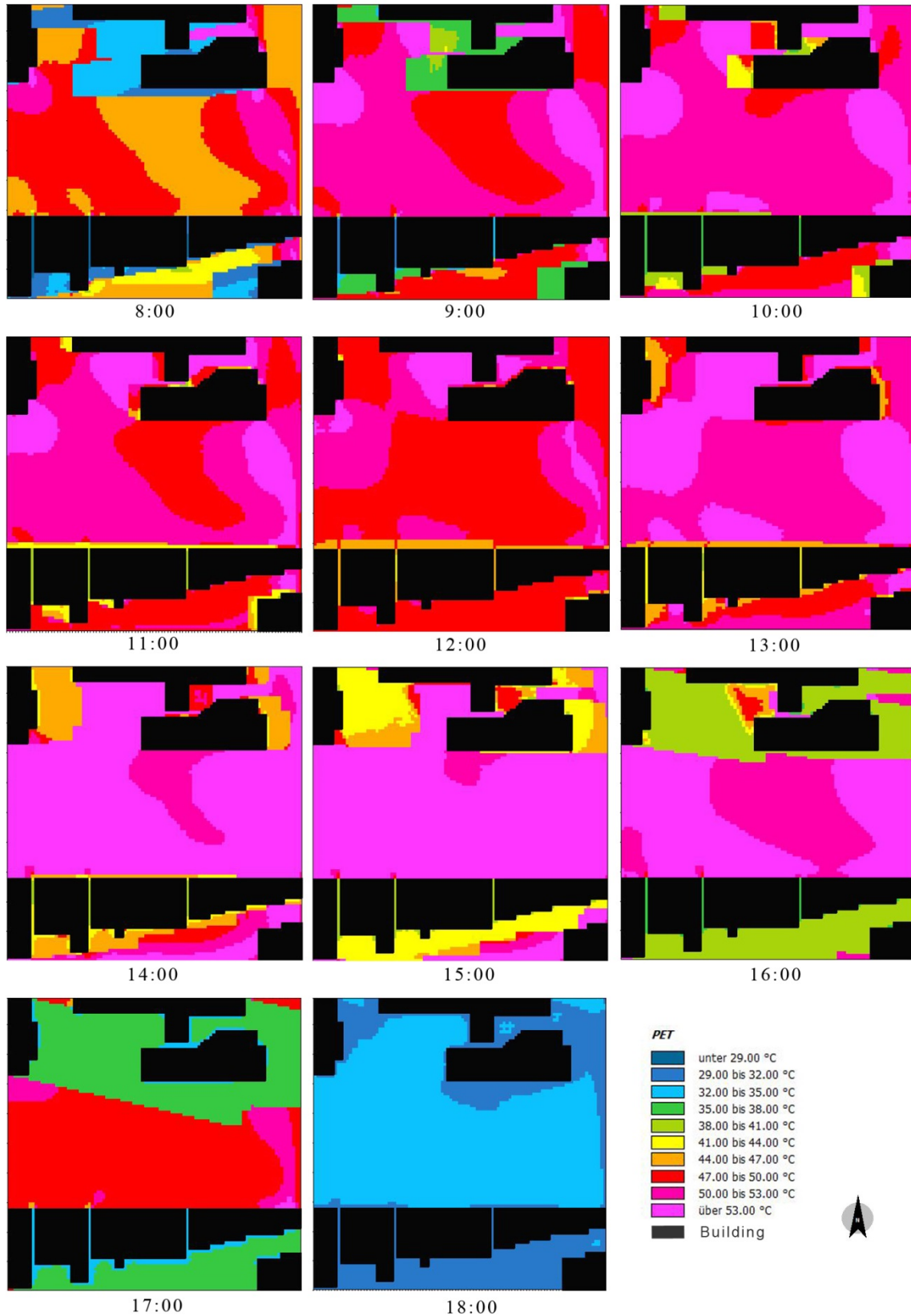
45. Zeng, Y., & Dong, L. (2015). Thermal human biometeorological conditions and subjective thermal sensation in pedestrian streets in Chengdu, China. *Int J Biometeorol*, 59(1), 99-108.



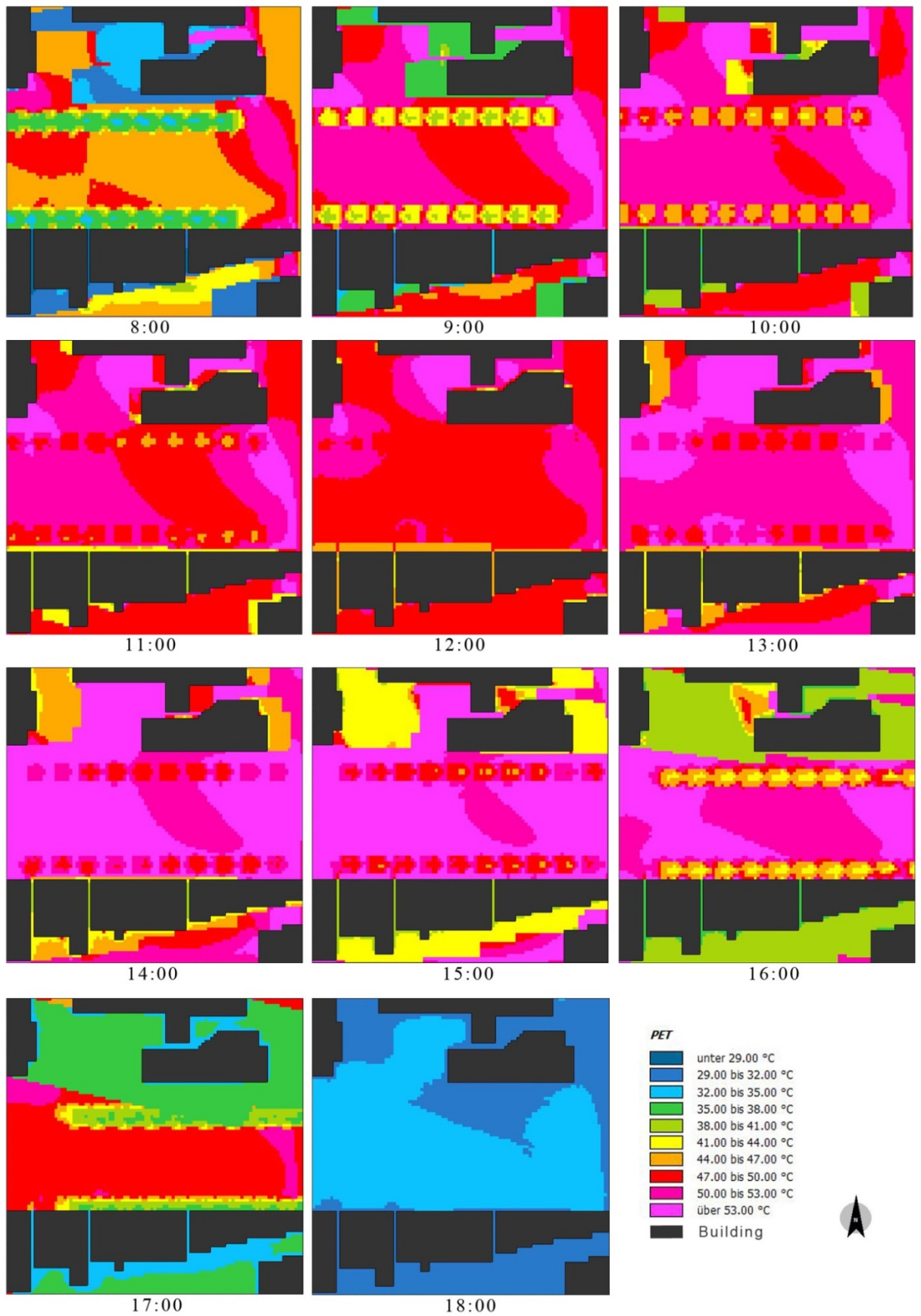
# 附件一、各方案不同時段 PET 變化圖



## 1. 方案 EW\_0 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

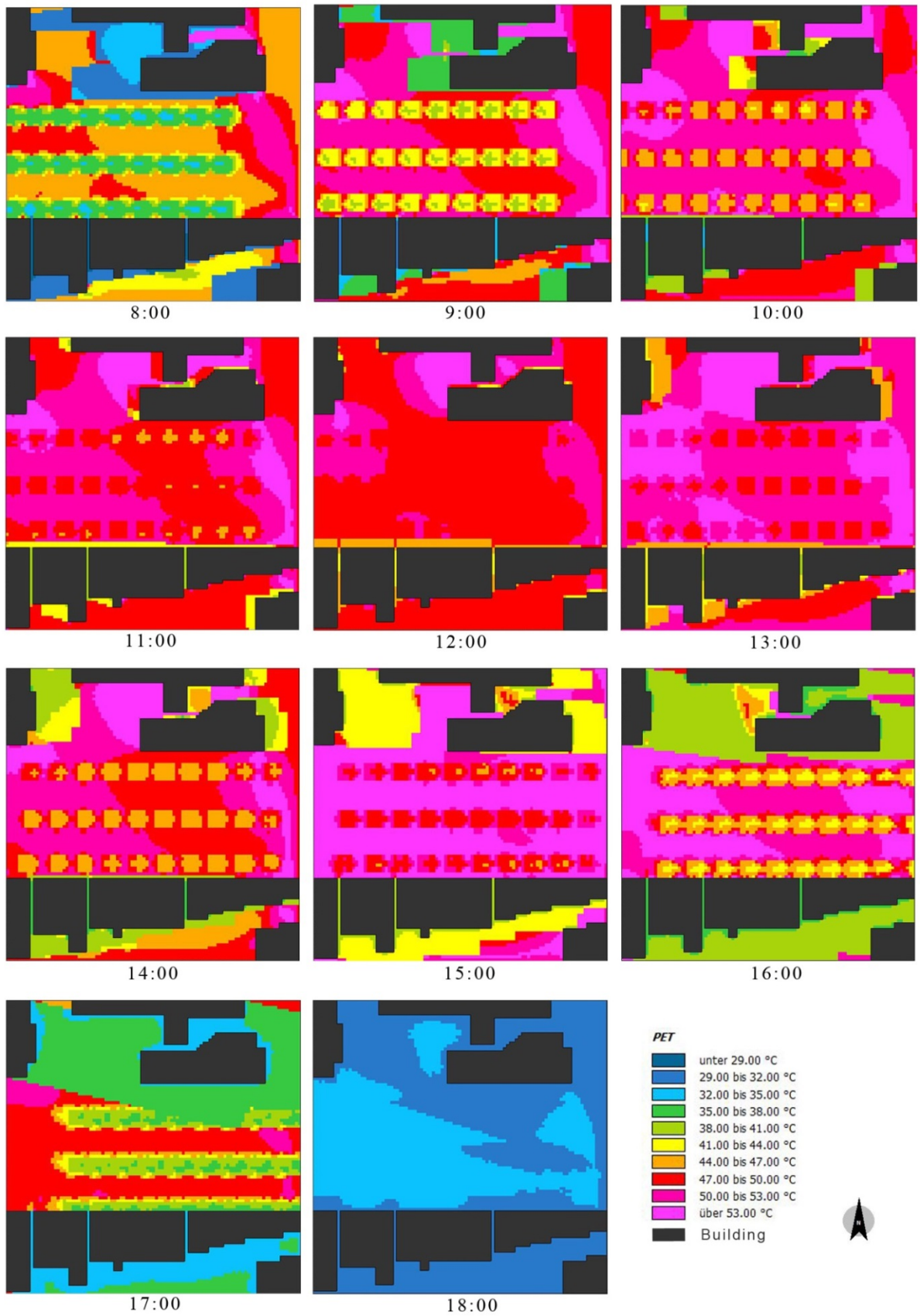


2. 方案 EW\_2\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

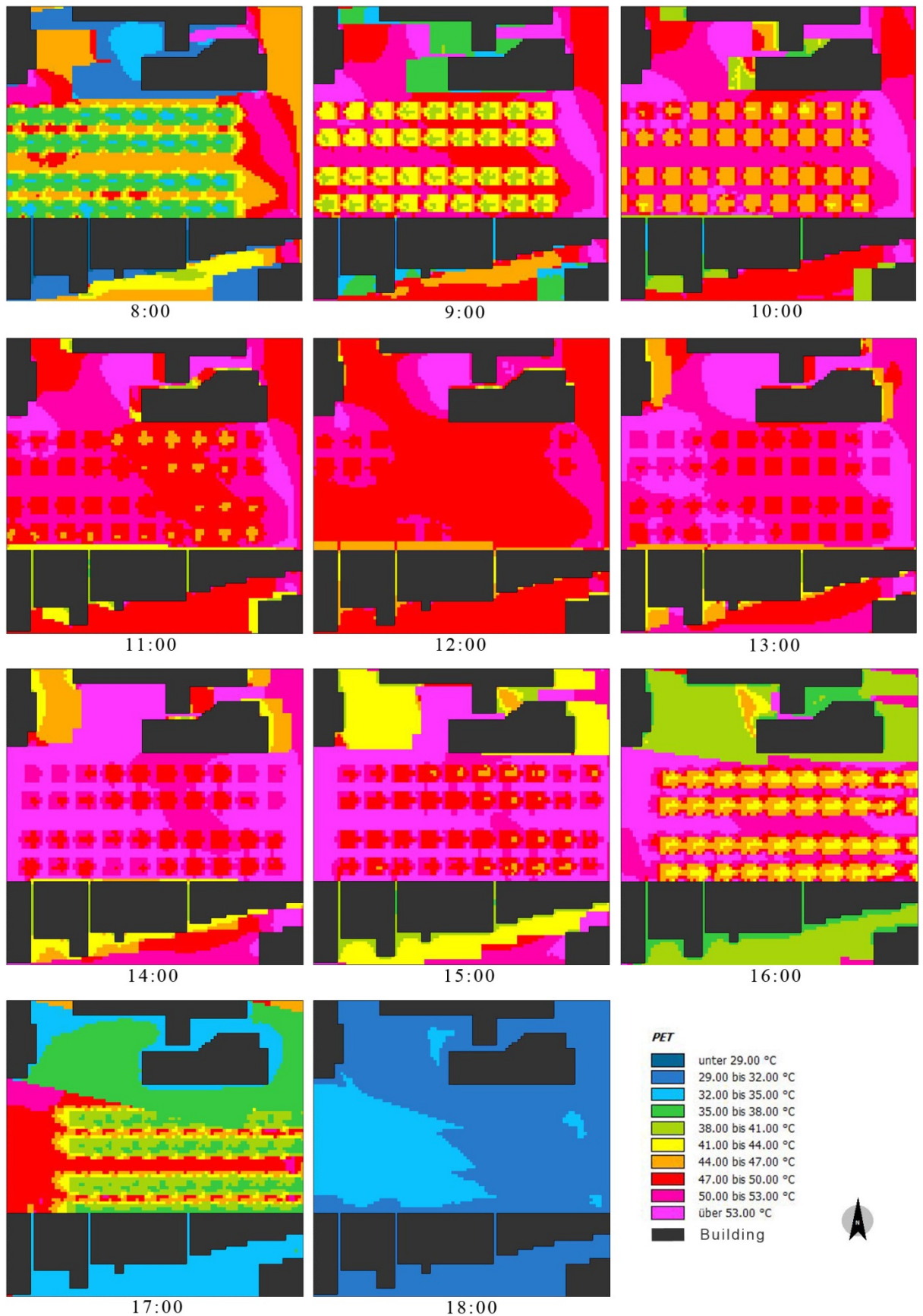




3. 方案 EW\_3\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

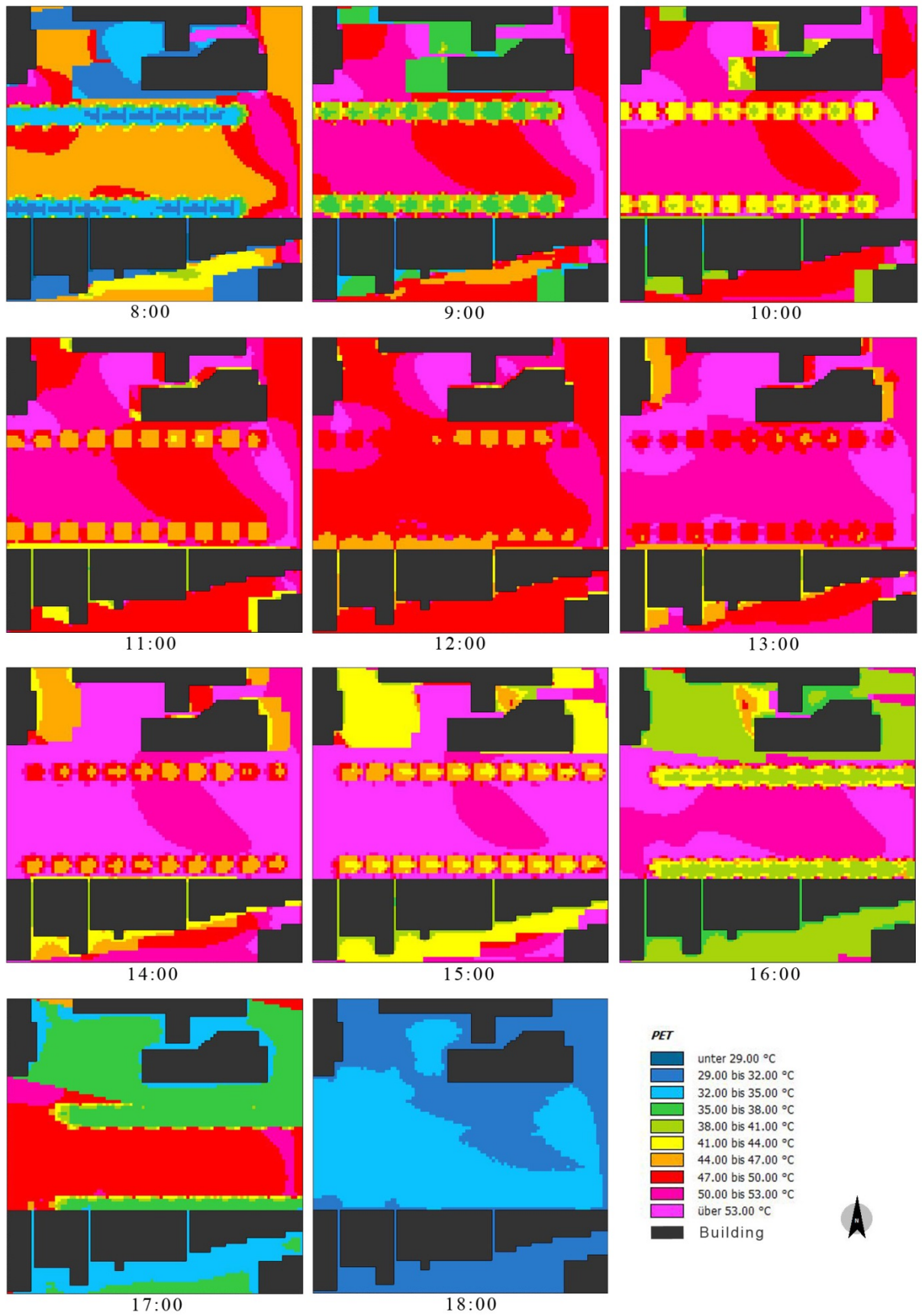


4. 方案 EW\_4\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

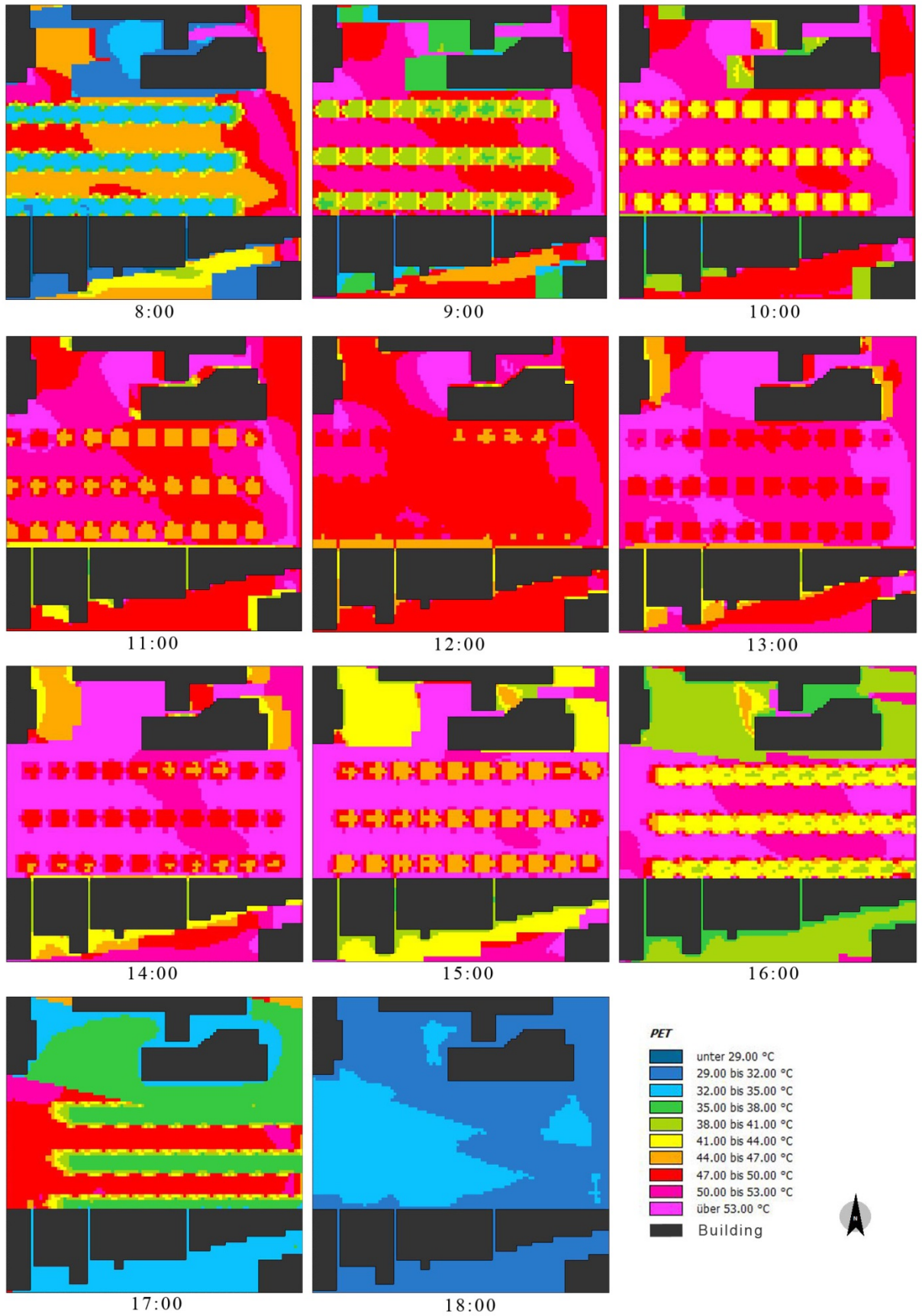




5. 方案 EW\_2\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

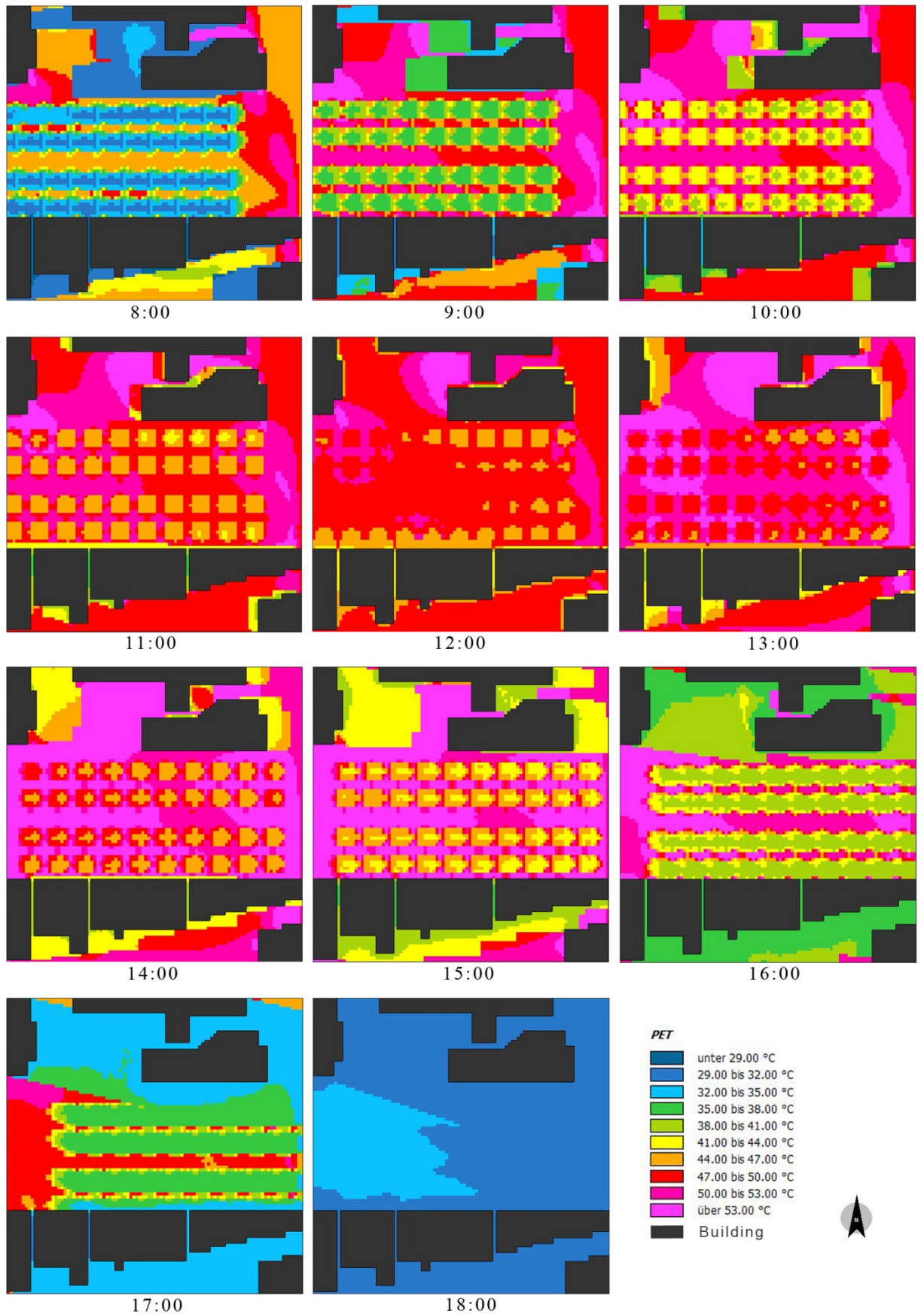


6. 方案 EW\_3\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

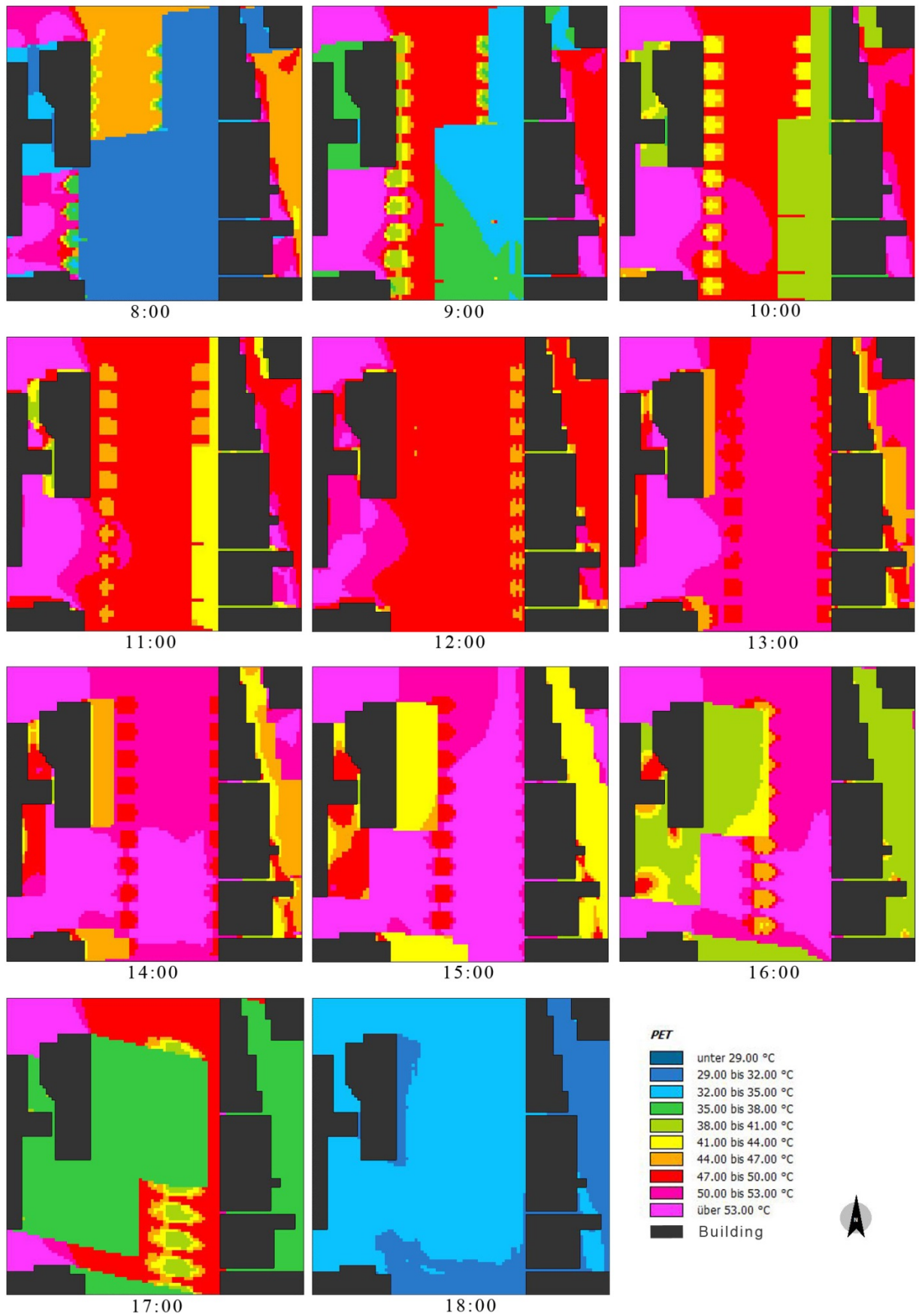




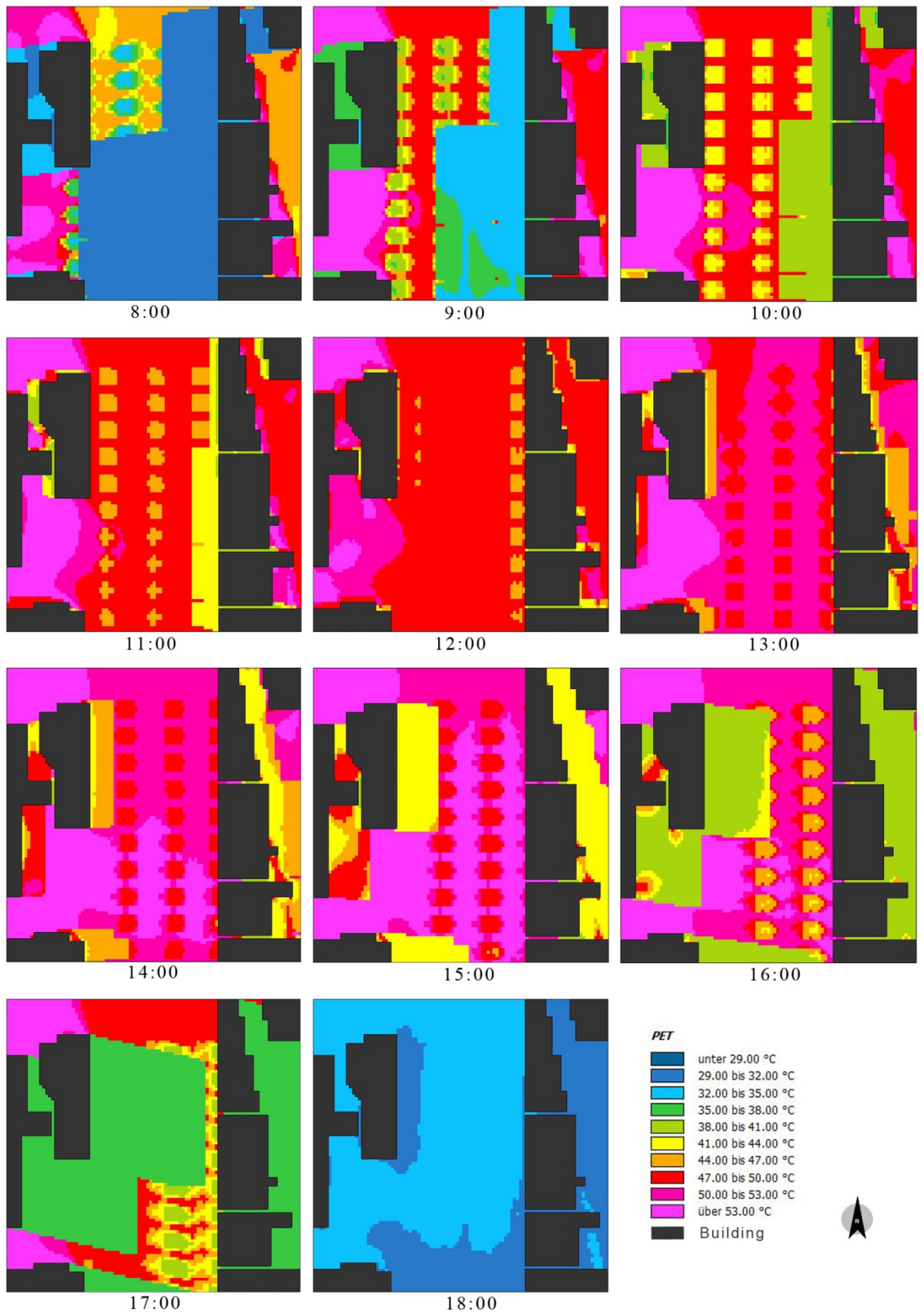
7. 方案 EW\_type4\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖



8. 方案 NS\_2\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

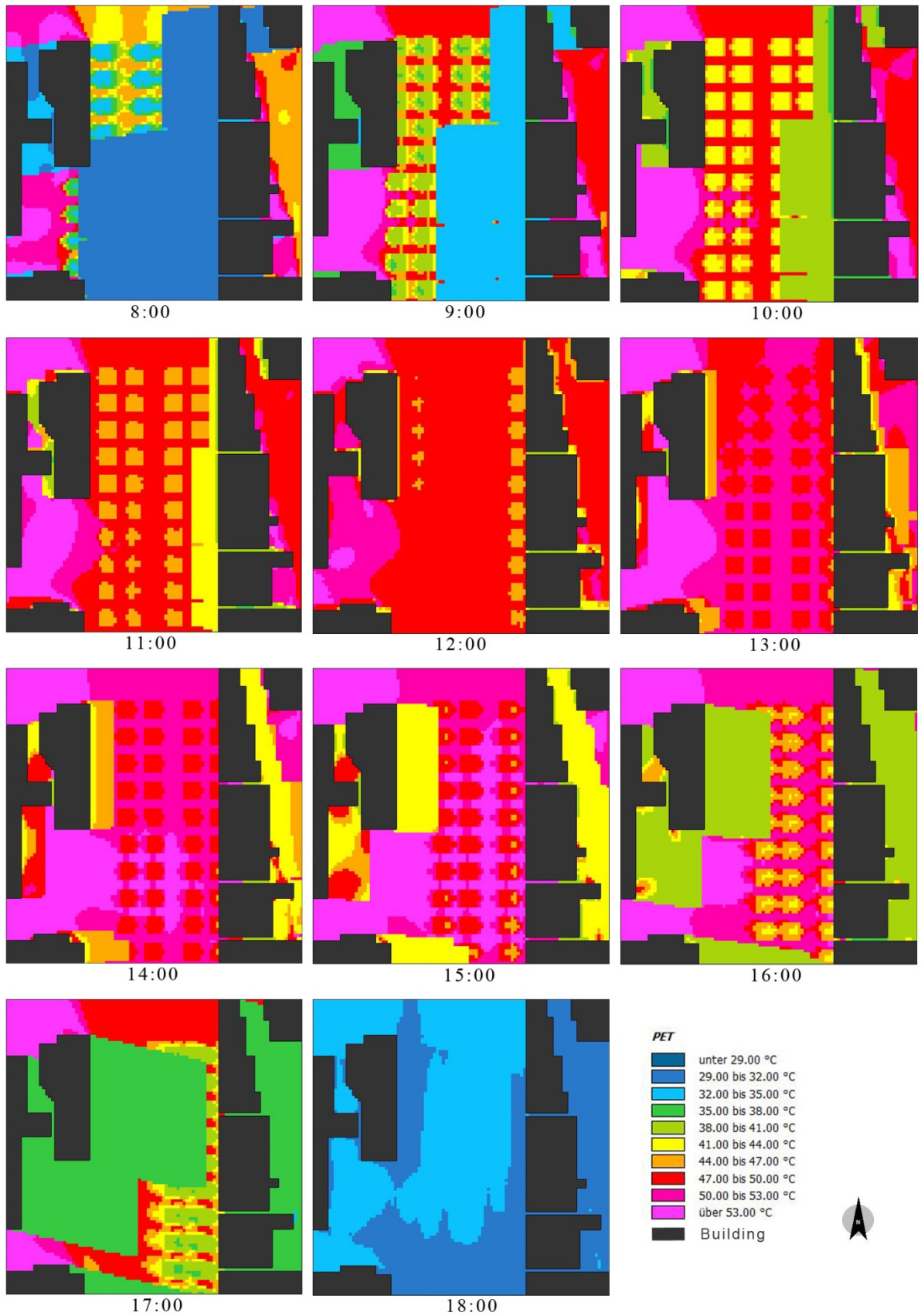


9. NS\_3\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

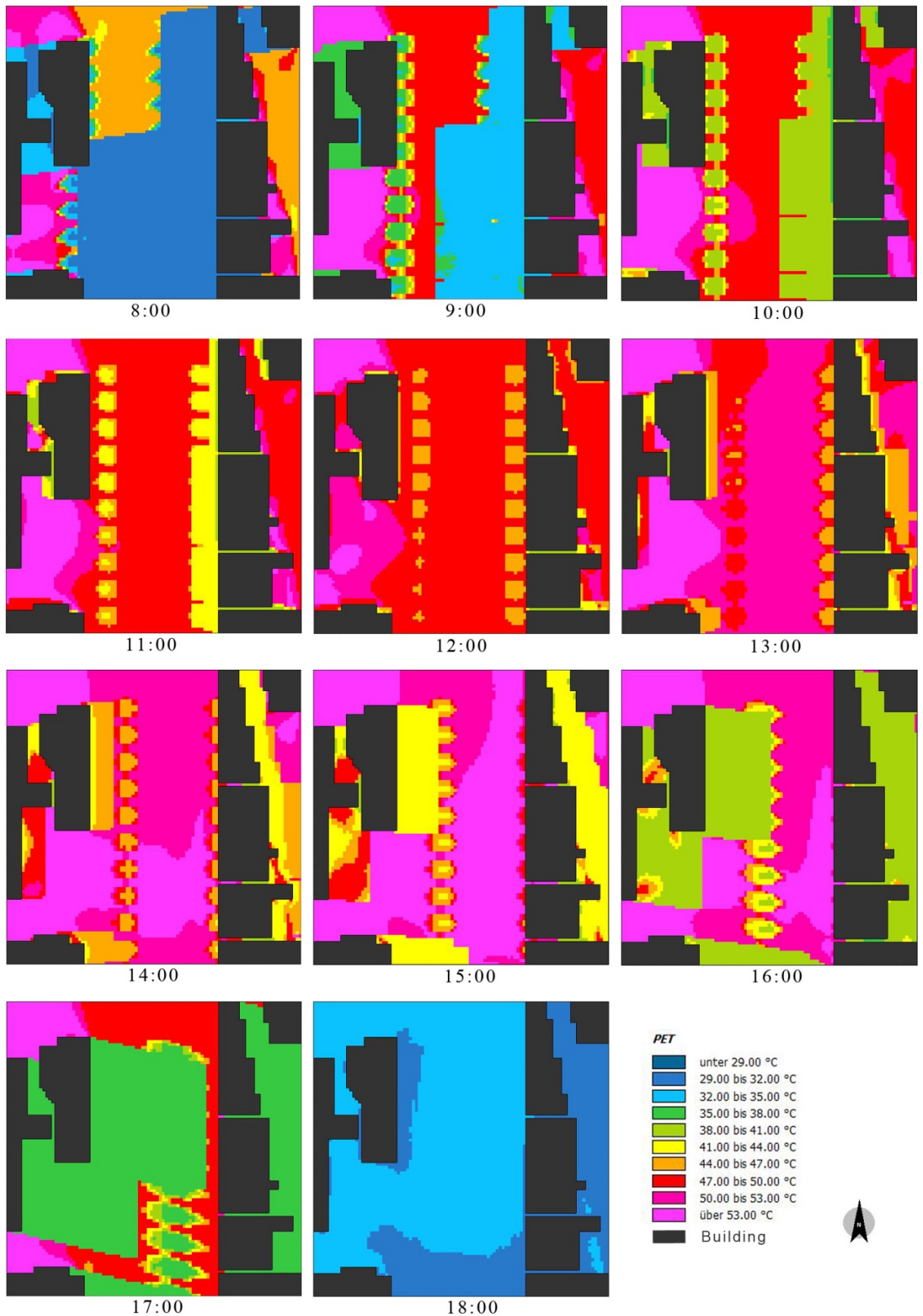




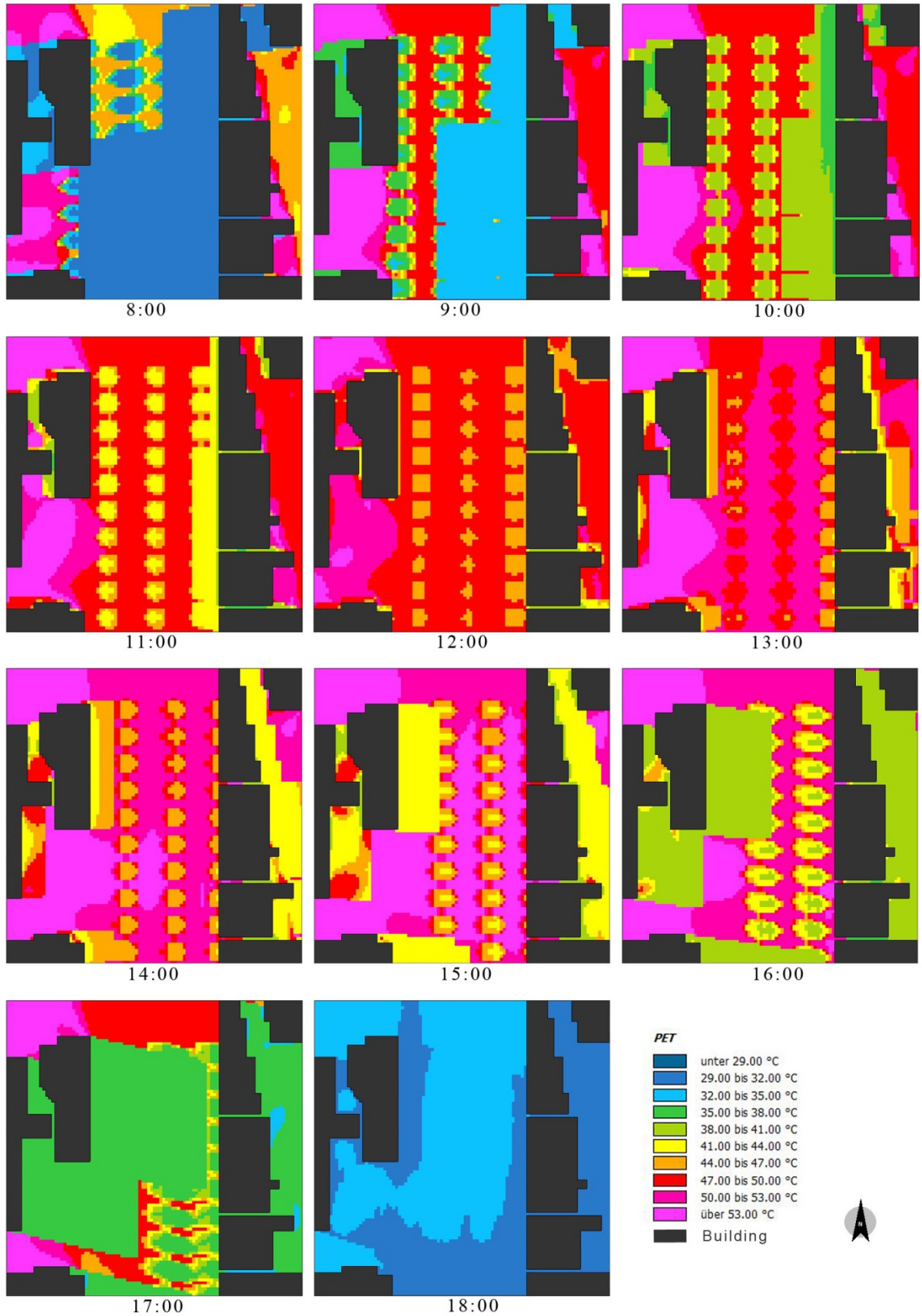
10. NS\_4\_low 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖



11. NS\_2\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖



12. NS\_3\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖





13. NS\_4\_high 上午 8 點至下午 6 點的道路空間之 PET 變化圖

