

綠建築對都市熱島緩和及舒適度提升之量化效益評估研究

資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

計畫編號：10715B0009

內政部建築研究所
創新低碳綠建築環境科技計畫
「綠建築對都市熱島緩和及舒適度
提升之量化效益評估研究」

資料蒐集分析報告

研究主持人：王安強 副所長

協同主持人：黃國倉 博士

研究員：曾毅振、陳盈樺、徐虎嘯、王家瑩

研究助理：陳世禎、李宜臻

研究期程：中華民國 107 年 3 月至 107 年 12 月

研究經費：新臺幣：100.9 萬元

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次	
表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	V
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 本研究計畫之重要性	2
第二章 國內外文獻回顧與評析	5
第一節 影響都市熱島之因子文獻回顧	5
第二節 各國綠建築評估體系中對都市熱環境之評估	7
第三章 研究方法	23
第一節 研究流程	23
第二節 實測與模擬驗證	25
第三節 應用實驗計畫法規劃模擬實驗	31
第四節 外界氣候條件之篩選	36
第五節 ENVI-met 熱環境模擬.....	38
第六節 建立都市熱島緩和與戶外熱舒適預測模型	41
第四章 綠建築設計對基地內降溫效益分析	45
第一節 日間降溫效益	45
第二節 夜間降溫效益	48
第五章 綠建築設計對提升環境熱舒適之效益分析	53
第六章 模式之應用	57
第一節 綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算	57
第二節 實際綠建築案例試算	60
第七章 結論與建議	63
第一節 結論	63
第二節 建議	64
附錄一：期初審查意見回覆表	65
附錄二：期中審查意見回覆表	66
附錄三：第一次專家學者諮詢會議記錄	68
附錄四：27 個直交表模擬實驗案例	70
參考書目	79

表次

表 2-1 影響都市戶外熱環境之重要成因與現行綠建築評估系統之對應.....	9
表 2-2 綠建環評架構評估面向權重表.....	11
表 2-3 熱感受指數對應之熱舒適區間.....	12
表 2-4 生理等效溫度(PET)對應之熱舒適區間.....	13
表 2-5 台灣綠建築都市熱島評估因子與熱島減緩係數之對應表.....	16
表 2-6 簡易建築空間外熱島 BEE 值計算如下表:.....	19
表 2-7 LEED 得分分級表.....	20
表 3-1 各測點之附近環境描述.....	27
表 3-2 自計式溫濕度記錄器.....	27
表 3-3 ENVI-met 模擬之輸入條件.....	28
表 3-4 模擬與實測之溫度差值.....	28
表 3-5 模擬與實測之相對濕度差值.....	30
表 3-6 L27 標準直交表.....	32
表 3-7 模擬因子及其水準之定義.....	35
表 3-8 因子水準表.....	35
表 3-9 建成環境表層材料參數設定.....	40
表 3-10 台灣本土與歐洲 PET 熱舒適範圍比較.....	43
表 4-1 日間降溫效果之變異數分析表.....	46
表 4-2 各因子降溫效果表(日間).....	47
表 4-3 夜間降溫效果之變異數分析表.....	49
表 4-4 各因子降溫效果表(夜間).....	50
表 5-1 各因子對累積過熱嚴重程度效果之變異數分析表.....	54
表 5-2 各因子對過熱嚴重程度之效果表(日間).....	55
表 6-1 綠建築指標與預估因子之對應與計算說明.....	58
表 6-2 綠化量指標評估表內用於計算喬木覆蓋面積之欄位.....	59
表 6-3 基地保水指標評估表內用於計算綠覆面積之欄位.....	59
表 6-4 綠建築案例試算基本資料.....	60
表 6-5 真實案例試評結果.....	61

圖次

圖 2-1 日本綠建築評估系統內對於都市熱島之評估示意.....	8
圖 2-2 BEAM 比較「新建建築」與「社區」的評估區域範圍.....	10
圖 2-3 香港 BEAM Plus 架構體系圖	11
圖 2-4 台灣 EEWB 架構	14
圖 2-5 台灣都市熱島效應系統評估因子(示意圖).....	15
圖 2-6 都市熱島評估內評估建築物遮蔽之風陰影計算圖例.....	16
圖 2-7 日本 BEE 值與綠建築評估等級之對應關係.....	17
圖 2-8 CASBEE 內對於都市熱島評估之基地邊界示意圖.....	18
圖 2-9 LEED-HI 標準評估公式.....	21
圖 2-10 LEED-HI 之替代公式.....	21
圖 3-1 研究流程圖.....	24
圖 3-2 進行模擬與實測比對之空間與測點佈點規劃.....	26
圖 3-3 測點編號 1 之情況.....	26
圖 3-4 ENVI-met 以 1m 見方網格之建模.....	27
圖 3-5 模擬與實測之溫度變化趨勢.....	29
圖 3-6 模擬與實測之相對濕度變化趨勢.....	31
圖 3-7 作為 ENVI-met 初始之模擬空間(Domain)維度示意.....	32
圖 3-8 數值模擬建成環境配置之示意.....	35
圖 3-9 八月挑選出二日炎熱日之全天空日射量分布圖.....	37
圖 3-10 所挑選出二日炎熱日日間逐時 PET 之分布圖.....	37
圖 3-11 中選日(8月2日)之氣溫與日射量分布	37
圖 3-12 以 ENVI-met 模擬都市建成環境之溫熱情況分布之例子.....	39
圖 3-13 ENVI-met 數值模擬輸入、輸出與運算架構之關係.....	39
圖 3-14 模擬用之基準案例配置示意.....	44
圖 4-1 日間各因子對降溫效益之貢獻度.....	46
圖 4-2 日間之因子降溫效果圖.....	47
圖 4-3 夜間各因子對降溫效益之貢獻度.....	49
圖 4-4 夜間降溫之因子效果圖.....	50
圖 5-1 各因子對累積過熱嚴重程度之貢獻度.....	54
圖 5-2 過熱嚴重度之因子效果圖.....	55

摘要

關鍵詞：都市熱島效應、都市微氣候、戶外熱舒適、熱島降溫

一、研究緣起

近年來在氣候變遷之影響下都市環境愈趨炎熱，推行綠建築有助於改善基地周遭之熱環境。我國自 1999 年起綠建築標章制度上路，其中影響都市熱環境之相關指標包括綠化量指標與基地保水指標。本研究目的在於量化這些綠建築設計因子對於緩和都市熱環境與戶外熱舒適提升之量化效果，期能量化確立綠建築在改善都市微氣候上之貢獻，以供未來擬定都市降溫策略之參考。有鑑於此，本研究透過電腦數值模擬解析之技術，嘗試建構綠建築設計因子與實際減緩都市熱島與提升戶外熱舒適之量化效益，作為未來綠建築設計、綠建築政策成果對於都市環境改善之效益預測，並藉由量化之因子敏感度分析提出提升都市環境品質之關鍵策略。

二、研究方法及過程

研究首先透過國內外文獻回顧，同時蒐集國際上綠建築評估系統相關文件，進行比較國際上綠建築評估系統內有關都市熱島減緩與戶外熱舒適相關之評估指標規定。針對各綠建築技術(如各種基地保水手法、綠化改善、建築群體之配置、不同建材之應用等)對於戶外熱環境之量化效益，本研究以電腦流體力學數值模擬(Computational fluid dynamics, CFD)之方式進行系統性模擬，藉由模擬結果與小規模實測比對驗證無誤後，輔以統計學變異數分析(ANOVA)方法，建立各因子對(1)都市熱環境緩和與(2)改善戶外熱舒適，之貢獻度分析同時建立量化之預測模式。本研究搭配戶外熱環境實測進行模擬之驗證。此外，由於數值模擬方法受限於當今電腦運算能力之限制，難以進行全年長期之模擬。因此必須挑選能夠代表當地氣候之代表日氣象資料以為模擬之外界氣候標準，進行夏季代表日之挑選，以氣候較為嚴苛之日探討各基地因子對熱環境之緩和效果。

在確立影響都市熱島與戶外熱舒適之關鍵影響因子後，為了有效率並系統性的以數值模擬實驗確立各因子之敏感度，建立各因子之量化貢獻量，在模擬實驗之規劃上採用田口實驗計畫法之直交實驗，以減少實驗所需之時間。透過有限次數之模擬實驗對各相異的建成環境配置案例模擬後，進行各案例之微氣候熱環境輸出以為分析，並嘗試建立綠建築設計因子對熱環境之預測式。最後，嘗試研訂「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」草案，同時提出提升環境品質之關鍵策略，分析熱島緩和及舒適提升導入或修正現有綠建築評估項目之可行性，以作為未來評估綠建築推行下對於都市熱環境之改善量化效益評估。

三、重要發現

1. 完成國內外有關都市熱島成因與國際上綠建築評估內容內有關都市熱島之評估方法回顧。
2. 完成都市微氣候模擬工具與實測之比對，確立電腦模擬之輸入參數。
3. 完成擬定都市熱島降溫與提升熱舒適模擬之環境因子與熱季外界氣候條件選定。
4. 以實驗計畫法之直交表規劃模擬實驗與建模之工作，建立量化之都市熱島降溫與戶外熱舒適(以過熱嚴重度表示)之預測模型：
 - (1) 在對日間降溫效益方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」、「人工鋪面區平均反射率」與「建蔽率」為影響較顯著之因子。
 - (2) 在對夜間降溫效益方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」與「建蔽率」為影響較顯著之因子。
 - (3) 在對戶外日間過熱嚴重度方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」與「空地的綠覆面積比」為影響較顯著之因子。
5. 提出「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」，使得綠建築評估系統內之綠化量指標與基地保水指標評估內容得以與本研究所開發之熱環境預測模式接軌以利模式之評估應用。
6. 完成實際綠建築標章申請案例共 12 例之試算演示，應用本研究所開發之預測模式評估其開發前後對基地日夜間降溫之效果，以及進行基地過熱嚴重度之評估，以確立預測模式應用之可行性。

四、主要建議事項

根據本研究成果發現，提出下列建議：

建議一

建議應用本研究所建立之環境降溫與熱舒適評估預測模型，可將過去之綠建築案例進行評估，嘗試量化綠建築對環境降溫與提升熱舒適上之量化效益，彰顯我國綠建築政策在改善都市微氣候上之成效：立即可行建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

建議二

本研究為了探討在熱季中最嚴苛時綠建築設計對基地內降溫與熱舒適提升之效益，因此以幾近無風之狀態下進行探討。然而，都市風廊之創造以及基地內建築群之配置以提升通風品質與風速，與戶外熱舒適之提升有密切關係。建議後續可針對都市建築群之配置如何影響基地內通風以利降溫與提升熱舒適進行量化之研究：立即可行建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

Abstract

Keywords: Urban heat island, urban microclimate, outdoor thermal comfort, urban heat island mitigation

1. Introduction

Urban thermal environment is exacerbating due to the influence of climate change in recent years. Thermal environment could be improved by implementing green building design. The Taiwanese green building labeling system is launched in 1999, in which system, the greenery and water retention indices are related to the urban thermal environment. The objective of this study is to quantify the effect of implementing these indices on the alleviation of the urban thermal environment and the improvement of the outdoor thermal comfort. The research results could be provide as a reference for formulating urban heat island mitigation strategies. To this end, computational numerical simulation was adopted to construct the quantitative appraisal models between the green building design and its inducing effect.

2. Methodology

Literature reviews were firstly conducted to identify crucial factors that affects the urban thermal environment as well as outdoor thermal comfort. Furthermore, international green building labeling systems were also collected, the evaluating methods regarding the urban environment were compared. This study adopted computational fluid dynamic (CFD) technique to study the effects on the thermal environment of green building designs such as strategies of water retention, greenery, material of the pavement etc. Concerning the numerous environmental designing factors to be considered with and due to the fact that the process of CFD analysis is time-consuming, the design of experiment method was employed to facilitate the research efficiency by limiting the simulation runs to 27 cases. The ANOVA was adopted to analyze the relative contributions of each design factors and to construct the predicting models of the ambient temperature mitigation and the outdoor thermal comfort improvement.

3. Major findings

- (1) This study accomplished the comparisons of the evaluation methods of urban heat island existing in green building labeling systems worldwide.
- (2) A field measurement campaign was conducted for validation against the CFD

simulation software.

- (3) Identification of Taipei's extreme meteorological data for simulation was performed to study the urban environmental thermal condition on the extremely hot date.
- (4) Green building design factors that affected the thermal environment were identified:
 - i. The influential factors against the diurnal temperature mitigation are the average building height, tree's canopy coverage ratio, albedo of the pavement material, and the building coverage ratio.
 - ii. The influential factors against the nocturnal temperature mitigation are the average building height, tree's canopy coverage ratio, and the building coverage ratio.
 - iii. The influential factors against the severity of outdoor overheating are the average building height, tree's canopy coverage ratio, and the greenery coverage ratio.
- (5) The predicting models of both urban heat island mitigation potential and the outdoor thermal comfort improving effect were established.
- (6) The application of the established models were demonstrated by 12 actual green building cases and the feasibility of the models were confirmed.

4. Recommendations

As the quantitative models for appraising the green building design against the urban thermal environment have been established, it is suggested that to gradually evaluate the urban heat mitigation and thermal comfort improving potentials of every green building labeled cases.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

都市市中心一般較市郊的氣溫高是一個自 1960 年代開始，在世界各地大都會所發現的一個地區性氣候現象。具體來說，無論從早上到日落以後，城市的氣溫都比周邊地區來得高，並容易產生霧氣。這個現象的發現，是由於人造衛星的出現，使人類得以利用人造衛星從高空以紅外線拍攝地球。這種拍攝的最初目的，是作氣象觀測用途，用以分析雨雲的構成。可是，後來人類從紅外線影像中發現城市與周邊地區的溫度有著很明顯的差異，看起來城市就好像在一片地區中間的一個浮島，因此稱之為熱島效應。其主要原因為來自於大樓和柏油對太陽光的蓄熱和都市內部林立的大樓中的空調設備排出的廢熱空氣、樹木減少所產生的城市圓頂效應等。由於氣溫高熱對流之影響下，因此亦會出現突然的降雨。而都市內密集且高聳之建築物阻擋都市內盛行風的流動，使得密集街廓內之風速下降，更加劇了都市內部高溫化的現象。

本研究之主題為「綠建築對都市熱島緩和及舒適度提升之量化效益評估」。台灣的綠建築評估系統 EEWB 以「生態、節能、減廢、健康」為主軸，並建構了 6 類綠建築家族評估體系。由於氣候變遷及全球暖化導致都市熱島現象日益嚴重，目前美國 LEED 及日本 CASBEE 等多個綠建築評估體系都已將熱島減緩納入必要的評估項目。我國僅於社區類手冊中納入評估，故推動成效仍有限。

事實上，綠建築九項指標中，除了節水節電效益外，仍包含許多實質價值可被評估分析，例如：戶外降溫、熱舒適度與環境品質的提升等。舉例來說，生物多樣性指標的綠化面積與綠地分佈、綠化量指標的喬灌木數量及面積，均有植栽蒸散降溫及創造遮蔭的效果，基地保水指標的綠地、被覆地或草溝設計與透水鋪面則有良好的蒸發冷卻效果，日常節能指標中的良好的外殼節能及空調系統設計也可以減少設備發熱量而降低外氣溫度，室內環境指標中的自然通風效益也有助於減空調使用，降低人工發散熱。

為了瞭解綠建築指標的評估項目對熱島緩和及舒適提升的具體成效，本研究將以微氣候數值模擬軟體，建立標準化的基地，並針對不同的綠建築指標項目組合情境進行空氣溫度、風速風向、舒適指標的模擬，透過實驗計畫法重複試

驗，建立一個簡單易操作的「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」。未來即可應用此簡算式評估一宗基地內申請案例內採用綠化、保水、節能等指標手法對於降溫及舒適之潛在效果。本研究之目的將可印證及呈現我國綠建築制度對回應氣候變遷、全球暖化議題之努力及成效，未來也可依此算式為基礎，做為社區類熱島指標修正依據，或整合納入現有評估手冊的其中一項指標進行評估。

- 本計畫所欲達成之預期目標如下：
 1. 完成我國綠建築相關指標對於戶外降溫及熱舒適提升之潛在影響分析。
 2. 完成「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」草案，以作為熱島緩和及舒適提升之量化效益評估。
 3. 完成熱島緩和及舒適提升導入或修正現有綠建築評估項目之可行性分析。

第二節 本研究計畫之重要性

伴隨著全球氣候變遷夏季都市高溫化問題日趨嚴重，我國之綠建築評估體系裡針對減緩都市熱島現象之技術評估散佈於各指標內，各技術對於改善都市熱環境之原理不同，改善效果亦各異，且各技術間亦存在交互作用之問題，比如街道內種樹綠化可帶來遮蔭與降溫之效果，但是卻阻礙了都市街谷內風之流動降低風速等(Huang and Li 2017)，有必要以整體系統性之分析探討各種熱島減緩技術間較佳之應用組合，以提供都市規劃或設計者參考。本研究嘗試應用電腦數值模擬之方法建立這些技術對於降低都市熱環境與提升戶外熱舒適之量化效益，建構效益量化之計算模型，可提供未來作為綠建築評估系統對都市環境層面之改善效益之評估。此外，期能透過本基礎研究，作為未來修訂綠建築內減緩都市熱島評估之參考。

- 本研究目的包括以下三點：
 1. 蒐集比較國內外綠建築評估體系有關都市熱島及都市熱環境的減緩策略之指標規定。
 2. 應用台灣戶外熱環境實測資料庫，依熱平衡理論進行動態數值模擬解析，建立一個簡單易操作評估模式，可由各項綠建築指標之評估結果來推估熱島緩和及舒適提升之量化效益。

3. 分析各項指標對於綠建築實質效益(如:降溫、熱舒適度等)之關聯，提出提升環境品質之關鍵策略。

● 綜上，本研究對建築發展短中長期方面預期貢獻有二：

1. 研究結果提出提升建成環境品質之關鍵策略，有助於我國研訂有關降低都市熱島以期未來氣候變遷之衝擊。
2. 本研究開發簡易操作之評估模式，完成「綠建築指標對戶外降溫及熱舒適效益換算式」，由各項綠建築指標之評估結果來推估熱島緩和及舒適提升之量化效益，有助於實質量化與評估我國綠建築政策在熱環境改善上之效益。作為未來修訂綠建築系統評估指標在都市熱島評估方面上之依據。

此外，在對於經濟建設或社會發展方面預期效益方面，透過本研究成果之產出，建立之都市熱環境分析方法除了可作為學術研究之參考。預期更可誘導都市規劃設計者，以提升熱舒適觀點擘劃低碳且宜居之都市計畫藍圖，同時對於建築設計者，可提供各種都市熱島緩和應用技術量化評估，以誘導符合熱舒適之基地設計。

第二章 國內外文獻回顧與評析

第一節 影響都市熱島之因子文獻回顧

都會區之居民更由於都市熱島效應之影響下，夏季無風之日間相較於鄉村地區的人們更易暴露於炎熱環境，增加因熱而導致之疾病風險(Buechley, Van Bruggen et al. 1972)。都市熱島效應已普遍被證實是增加都市戶外空間熱應力(heat stress)而造成熱不舒適之關鍵因素(McGeehin and Mirabelli 2001)。都市戶外空間之組成又以街道所占面積居多，探討都市街道之人行空間熱環境並尋求提升熱舒適性之方法有助於減緩都會區過熱以及都市熱島效應之問題。此外，以都市建築能源之角度觀之，較低的戶外街道空氣溫度亦有助於兩側建築群體內之空調能源使用，同時減少熱季空調之廢熱排熱，進而得以再緩和都市熱島效應而形成正向回饋循環。

一篇廣泛收集有關街谷幾何尺寸與人行區域之綠化對戶外熱舒適之回顧文章(Jamei, Rajagopalan et al. 2016)，表明了世界各地對此一議題的重視，在這些文獻的回顧上鮮少有亞熱帶氣候區之探討，有必要針對台灣位於亞熱帶熱溼氣候區之氣候條件進行量化之探討。瞭解都市街谷之設計型式、植栽或都市表層材料如何影響戶外人行空間熱舒適以及降低都市熱島效應之效果，將有助於擬定都市設計與規劃準則以降低都會區過熱之情形，尤其針對新興之都市於早期發展之階段，對在都市熱島效應之控制上更顯重要。

影響都市街谷內熱環境之生物氣候最主要的二個因子為街谷內之熱通量(常以街谷內之平均輻射溫度 Mean Radiant Temperature, MRT 來描述)(Herrmann and Matzarakis 2012)與風速(Lin, Matzarakis et al. 2010)。而街谷內之熱通量與風速又會被道路兩側之建築物以及道路寬度等所圍塑出來之街道斷面尺寸，因建築體之遮蔽與街道之座向(Cao, Li et al. 2015)而影響日間日射輻射之取得，此外，街道座向(Takebayashi 2015)與街谷之高深比(height/width ratio) (Bakarman and Chang 2015, Nyuk Hien, Chun-Qing et al. 2016)同時會促進或阻擋都市內自然風之流動。這些都市街谷型態因子是影響街區熱舒適之重要變因。Xuan 等人(Xuan, Yang et al. 2016)單純以電腦動態流體力學(CFD)分別模擬日本仙台與大陸廣州兩地氣候，在不同之街道高寬比(由 0.24 至 1.43)下，街谷內之風速變化、日射遮蔽

情況與熱舒適分布，得到高緯度之仙台可藉由提高街道高寬比而改善熱舒適之結論，反之在廣州氣候區其效果則有限，顯示街谷型態對提升街區熱舒適與氣候區與緯度有關。

而以都市建成環境表層觀之，影響熱環境之因素會隨街谷內地表鋪面材料與建築表層材料之日射反射能力相關，然而高反射率材料所反射之短波輻射反而會造成戶外空間使用者之熱不舒適。一篇藉由模擬之方式探討應用高反射率材料(high albedo materials)於建築表層與鋪面材料上之研究顯示，高反射率之街谷環境雖可降低空氣溫度進而緩和都市熱島效應，然而由於材料本身直接反射了短波輻射導致直接被人體吸收產生熱不舒適感(Schrijvers, Jonker et al. 2016)，反而得不償失。另一篇研究位於地中海氣候區的羅馬，透過實測與模擬亦同樣發現一致的結論(Salata, Golasi et al. 2015)。因此，高反射率材料因本身吸熱減少進而減少了長波之放射雖提供了降低空氣溫度效果，但瞬間直接的短波輻射卻造成熱舒適降低。依據文獻，高反射率材料之應用應一併考量都市街谷之高深比甚至是植栽以提供日射遮蔽，以降低對人之熱舒適。街谷型態鄰棟遮蔭與藉由植栽遮蔽以及高反射材料應用間，存在交互作用之關係，有必要加以量化探討以獲致相互間對熱環境與熱舒適之貢獻量，作為熱溼氣候區之都市設計準則。

另一方面，街道內植栽主要藉由蒸發散作用(evapotranspiration effect)與葉面遮蔽作用(canopy shading effect)提供街谷內熱通量之消散與遮蔽(Bowler, Buyung-Ali et al. 2010)，亦是影響街區熱舒適之因子之一。Konarska 等人在高緯度之瑞典透過位於都市街谷內之實測(Konarska, Holmer et al. 2016)，選定不同之都市公園與街谷型態探討相異植栽綠覆條件下對空氣降溫之效益，發現植栽在不同季節下之降溫效益會隨都市街谷型態而異，而夜間之熱環境則主要來自街谷斷面型態之影響，係因為高深峽谷型之街谷與夜間更不易散熱所致。另一篇在澳洲墨爾本的研究(Coutts, White et al. 2016)，指出植栽之降溫效益高度地隨街谷之型態而異，越淺碟型與寬敞的街谷其植栽之降溫效益就越加明顯。此外，同樣位於墨爾本的研究更明確指出街道之座向與街谷尺寸相當大程度地影響著行道樹對人行空間熱舒適之影響力(Sanusi, Johnstone et al. 2016)。而在有關喬木與綠地對都市戶外空間降溫方面，Lee 等人(Lee, Mayer et al. 2016)應用模擬與位於德國弗萊堡之實

測發現，相較於硬鋪面綠地可降低近地表空氣溫度約 3.4°C 以及降低 PET 約 4.9°C，而喬木甚至可達 17.4°C 的溫度降幅效果。

在探討上述這些有關地表鋪面、材質、街谷型態、綠化等對戶外熱環境之影響上，發現除了應用成本較高之實測實驗之外，常以電腦模擬之方式進行以節省成本並快速獲得大致不差之結論，而應用於這類模擬的工具則以 ENVI-met 最為常見，在文獻上需多的研究應用 ENVI-met 進行有關都市綠化(Fahmy and Sharples 2009, Fahmy, Sharples et al. 2010, Perini and Magliocco 2014, Yahia and Johansson 2014)、鋪面材質(Carnielo and Zinzi 2013, Taleghani, Sailor et al. 2014)、都市或建築配置(Taleb and Abu-Hijleh 2013, Taleb and Taleb 2014, Taleghani, Kleerekoper et al. 2015)等對戶外熱環境之探討。有鑑於該軟體應用於都市戶外熱環境上之相關議題應用已趨成熟，本研究亦以 ENVI-met 作為建立都市環境設計因子與環境微氣候關係之數值模擬工具。

第二節 各國綠建築評估體系中對都市熱環境之評估

位處亞熱帶氣候區之台灣，應用都市戶外空間之綠化設計以提供於夏季炎熱季節時良好之遮蔭環境，提升使用者熱舒適以及其使用經驗(Huang, Lin et al. 2015)，尤為重要。以花園城市知名的新加坡位處於熱帶濕熱氣候區，在戶外空間設計之考量上，常可見到如何因應當地炎熱氣候之調適性設計，在人行空間、通廊甚至是道路兩旁隨處可見具良好遮蔭品質之植栽綠化遮蔭或遮棚設施等，以提供步行者良好之熱舒適環境。據聯合國之統計至 2050 年時全球都市居住人口預計將達全球總人口數之 66.4%(United Nations 2014)。都市開放空間是提供人們社交、遊憩、活動等功能是營造健康城市必要空間之一環。這些開放空間包括公園綠地、綠色廊道系統(綠園道)、廣場、都市半開放空間、人行徒步區等場域。營造一個成功的都市開放空間以吸引人們來使用是都市規劃與設計者之目標之一，除了空間本身景觀美質之要求外，塑造良好的戶外空間熱環境是影響人們利用這些空間之主因之一(Lin, Tsai et al. 2013)。此外，都市大量人工化之環境造成都市熱島現象，都市環境呈現較郊區相比更為高溫化、日照量略低、雲量微增、霧日增多、乾燥化、平均風速降低以及都市塵罩現象污染物不易擴散等問題。國際上許多國家的綠建築評估體系也開始納入都市熱環境的評估，如 2010 年始日

本的 CASBEE 內已將都市熱島減緩之評估納入(JSBC 2010)。而美國的 LEED、英國的 BREEAM、香港的 BEAM 等各國之建築評估體系內也陸續導入有關於都市熱島方面的評估要項；台灣也自 2015 年在綠建築評估之社區類版本內納入了都市熱島的評估內容(EEWH-HI)(林憲德, 林子平 et al. 2014)。

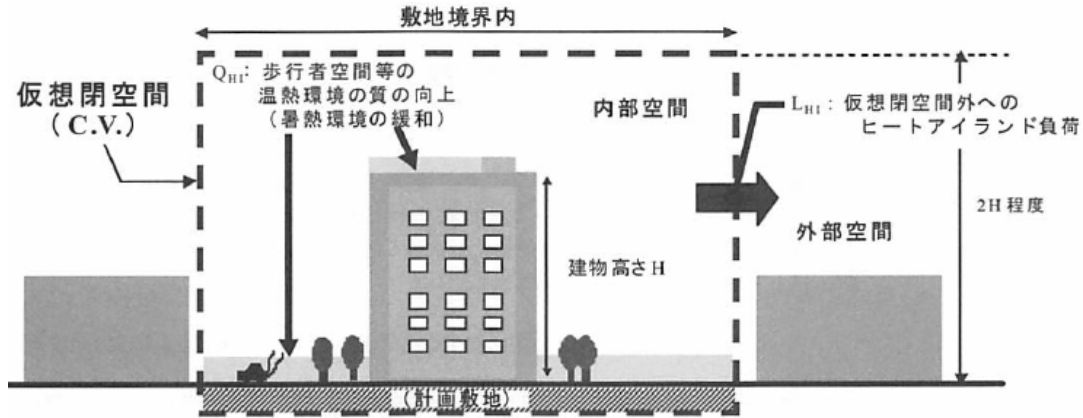


圖 2-1 日本綠建築評估系統內對於都市熱島之評估示意
(資料來源：(JSBC 2010))

回顧文獻上造成都市熱島之主要原因包括來自人工發散熱、交通與都市內能源的使用(Santamouris, Synnefa et al. 2011)；高密度的土地利用伴隨大量高蓄熱的建築體(Harlan and Ruddell 2011, Mavrogianni, Davies et al. 2011)；都市街道峽谷阻礙夜間長波輻射熱的逸散(Smith and Levermore 2008, Santamouris, Synnefa et al. 2011)；建築體之阻擋造成都市內低風速(Santamouris, Papanikolaou et al. 2001)；都市缺少綠地與透水性鋪面(Smith and Levermore 2008, Chen, Ooka et al. 2009)；以及缺少低反射率的建築壁面與道路路面(Santamouris, Synnefa et al. 2011)等皆是成因。

上述這些造成都市熱島現象之主因內，許多項目已是目前我國綠建築評估系統(EEWH)內所評估之因子，例如綠化量指標之對於植栽綠覆率之評估；基地保水指標對於裸露地與透水鋪面之評估；綠建築社區類的都市熱島評估內有關「戶外通風」與「熱島減緩效益」之評估等。然而這些項目散佈於各指標系統內，評估之得分與計算邏輯各不相同，因此難以具體量化指出綠建築指標得分與都市熱島降溫與提升戶外環境熱舒適間之關係。這些影響都市戶外熱環境之關鍵因子與我國現行之綠建築評估指標系統間之對應，整理如下表 2-1 所示。其中，「人工發散熱與都市內能源的使用」意旨經過建築物內之空調使用，透過冷卻塔或氣冷式主機之冷凝側將室內之熱負荷移出至室外的熱量，而在熱季更加重造成都市

的炎熱環境，此部分之對策需仰賴於建築之空調與外殼節能，可歸納於綠建築中日常節能指標之範疇。然而，要量化建築節能對都市熱環境之影響其變因太多，包括建築使用類型、空調廢熱排放之方式與位置、建築群之配置、都市街谷之組成、空調系統之方式等，需多因子難以掌握亦非日常節能指標之評估內容，不易將以建築熱負荷為評估精神之日常節能指標量化於都市熱環境上。因此，此部分本研究暫不考慮。

表 2-1 影響都市戶外熱環境之重要成因與現行綠建築評估系統之對應

影響都市熱環境之因素	現行台灣綠建築評估系統之對應	參考文獻來源
人工發散熱與都市內能源的使用	日常節能指標	(Santamouris, Synnefa et al. 2011)
交通廢熱	無	(Santamouris, Synnefa et al. 2011)
高密度土地利用伴隨大量高蓄熱的建築體	無	(Harlan and Ruddell 2011, Mavrogianni, Davies et al. 2011)
都市街道峽谷阻礙夜間長波輻射熱的逸散	無	(Smith and Levermore 2008, Santamouris, Synnefa et al. 2011)
建築體之阻擋造成都市內低風速	社區類都市熱島評估	(Santamouris, Papanikolaou et al. 2001)
植栽綠地的蒸發冷卻效應	綠化量指標、社區類都市熱島評估	(Smith and Levermore 2008, Chen, Ooka et al. 2009)
透水性鋪面與裸露地面積	基地保水指標、社區類都市熱島評估	(Smith and Levermore 2008, Chen, Ooka et al. 2009)
低反射率的建築壁面或道路路面	社區類都市熱島評估	(Santamouris, Synnefa et al. 2011)

(資料來源:本研究整理)

為了因應逐漸高溫化的都市熱環境，逐漸地各國之綠建築認證制度內開始出現了關於都市熱島效應評估之機制，以從建築之角度對都市熱島效應做出環境上之評估。以下各節整理包含香港環保建築評估協會 (HK-BEAM Society)、台灣綠建築評估系統(EEWH)、日本建築物綜合環境性能評價體系(CASBEE)以及美國綠建築協會(LEED)之熱島效應評估內容。

2.2.1 香港建築環境評估法 (HK-BEAM)

香港於 1996 年成立環保建築評估協會 (HK-BEAM Society)，該機構為非營利組織是香港綠建築的制訂機構，該機構主要參考英國建築研究所所建立的環境評估法 (BREEAM)，協助制定了香港建築環境評估方法 (Hong Kong Building Environmental Assessment Method, HK-BEAM)。這是一部能用於描述香港建築物綜合品質的評估、認證、標章體系，評估之對象涵蓋新建建築、整建或正在使用中的建築規劃設計、施工建設、試運行階段的規範，是屬於自願認證的綠建築評估體系。

2009 年香港成立綠色建築協會(HKGBC)，作為提供香港綠建築的認證機構，而 BEAM Plus 則是綠建築的評估工具。BEAM Plus 之內容包括一套綠建環評社區(Neighbourhoods)的總體設計，以及建築設計施工—包括新建建築(New Buildings)、既有建築(Existing Buildings)及室內建築(Interiors)。社區的評估區域範圍與新建或既有建築的評估區域範圍有所差異，社區類另包含了基地面積及其周圍對的戶外影響範圍(如圖 2-2)，有關都市熱島與戶外熱舒適的評估則見諸於「社區類」之評估內容內，與台灣之架構類似。

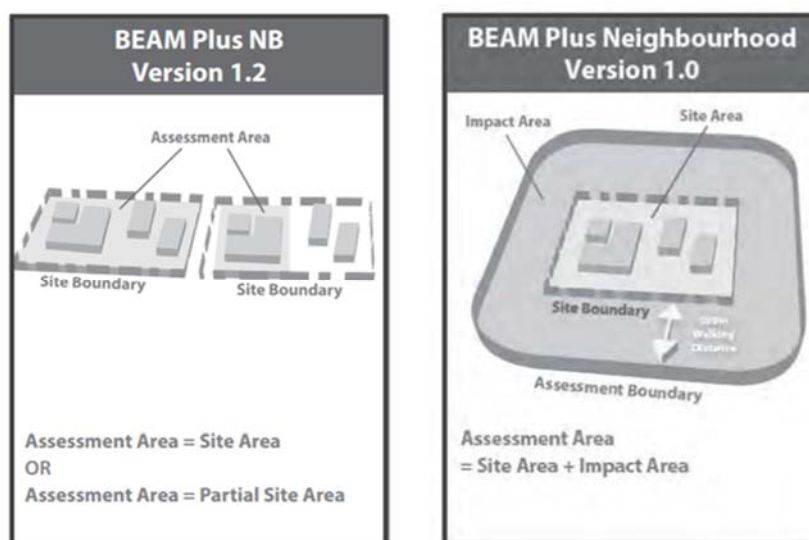


圖 2-2 BEAM 比較「新建建築」與「社區」的評估區域範圍
(資料來源:香港 BEAMPlus)

由 BEAM Plus 之架構體系圖(圖 2-2)可了解香港社區類的評估指標內容包括七大面向：社區面向 Community Aspect (CA)、基地與室外環境面向 Site Aspect (SA)、建材及廢棄物管理面向 Material and Waste Aspect (MWA)、能源面向 Energy

Aspect (EA)、水資源面向 Water Aspect (WA)、戶外環境品質 Outdoor Environmental Quality (OEQ)、創新項目及其他面向 Innovations and Additions (IA)。專案評分後，其計算方法為將各分項評估得分乘以相對權重(如下表 2-2)後加總計分，按不同總得分分別授予白金級(75 分)、黃金級(65 分)、銀級(55 分)、銅級(40 分)等四個綠建築級別之認證。而有關於「戶外熱舒適性」指標以及「都市熱島效應」指標則是分別位於戶外環境品質面向的第一項(OEQ1)及第二項(OEQ2)評估內容內，滿分 OEQ1 為 3 分，而 OEQ2 為 4 分。

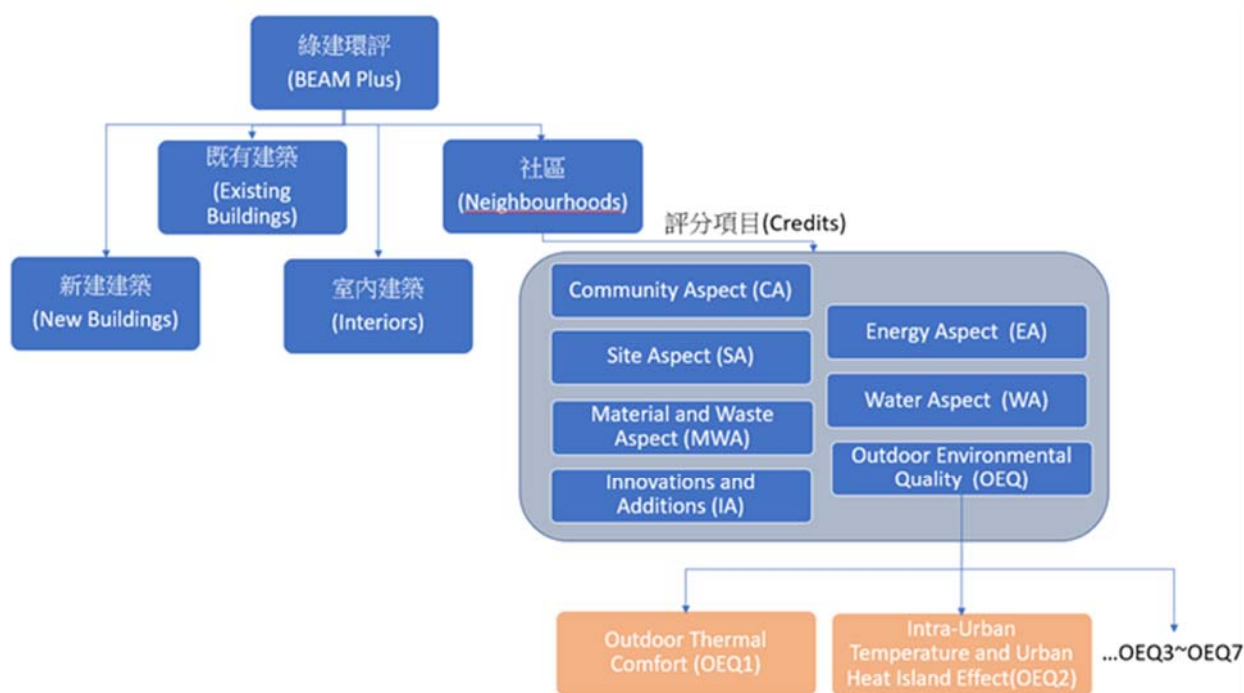


圖 2-3 香港 BEAM Plus 架構體系圖

(資料來源：香港 BEAM Plus)

表 2-2 綠建環評架構評估面向權重表

Performance Aspects	Weighting
Community Aspects (CA)	20 %
Site Aspects (SA)	25 %
Materials and Waste Aspects (MWA)	10 %
Energy Aspects (EA)	16 %
Water Aspects (WA)	9 %
Outdoor Environmental Quality (OEQ)	20 %
Total	100 %

(資料來源：香港 BEAM Plus)

- 「戶外熱舒適性」指標之得分要求如下：
 1. 至少有一條連接鄰近設施或交通樞紐具陰影(shaded)或覆蓋(covered)的步行路線與戶外座位(1 分)。

2. 證明 50%以上的開放空間與步行區域在香港典型夏季日上午九時具備熱舒適性(1分)。
 3. 證明 50%以上的開放空間與步行區域在香港典型夏季日下午三時具備熱舒適性(1分)。
- 「都市熱島效應」指標之得分要求如下:
 1. 基地平面圖中至少有 15%的總基地面積具有喬木覆蓋(1分)或至少有 25%的總基地面積具有喬木覆蓋(2分)。
 2. 透過基地內之熱環境分析，證明夏季基地內之都市熱島強度(基地內空氣溫度(T_{urban})和鄰近氣象站空氣溫度(T_{met})差的最大值)應小於 3°C (2分)。

關於戶外熱舒適性指標，可以常用的相關指標作為佐證，如熱感受指數 Thermal Sensation Index (TSI) 或生理等效溫度 Physiological Equivalent Temperature (PET)。

熱感受指數(TSI)可由空氣溫度(T_a)、水平太陽輻射(SR)、風速(WS)、相對溼度(RH)、環境地表溫度(ST)的回歸函數計算而得： $TSI=1.7+0.1118\times Ta+0.0019\times SR-0.322\times WS-0.0073\times RH+0.0054\times ST$ 。總共分為七級，如下表 2-3 所示， $TSI=4$ 為最舒適的級別，3~5 為可接受的範圍。生理等效溫度(PET)熱感知可區分為九級，舒適度可分為過冷、舒適、過熱等三個級別，詳如下表 2-4。

關於都市熱島效應則採取單一簡易的計算法，首先必須計算總基地面積上的喬木覆蓋率。另外則必須蒐集氣象站或以測量方式提供典型夏季日上午八點至下午六點的兩項溫度參數資料：(1)預測區域空氣溫度 (T_{urban})與(2)氣象站之空氣溫度(T_{met})，兩者逐時相減取其最大值作為夏季城市內之都市熱島強度。且報告中最少須提供地表輻射熱取得、直達輻射、擴散輻射、遮蔭效果、都市紋理的輻射熱損失、表面材之吸收率及反射率、都市紋理的蓄熱效果、CFD 模擬的風環境、蒸發冷卻效果等計算模擬資料。

表 2-3 熱感受指數對應之熱舒適區間

TSI	Thermal Sensation	
1	Cold	Too cold
2	Slightly Cold	
3	Acceptably cool	Thermally acceptable range
4	Neutral	
5	Acceptably warm	
6	Slightly Hot	Too hot
7	Hot	

(資料來源:本研究整理)

表 2-4 生理等效溫度(PET)對應之熱舒適區間

Thermal Perception	TPC for subtropical region [4]	TPC for temperate region [5]	Range of thermal comfort
Very cold	< 14	< 4	Too cold
Cold	≥ 14 to < 18	≥ 4 to < 8	
Cool	≥ 18 to < 22	≥ 8 to < 13	
Slightly cool	≥ 22 to < 36	≥ 13 to < 18	Range of thermal comfort
Neutral	≥ 26 to < 30	≥ 18 to < 23	
Slightly warm	≥ 30 to < 34	≥ 23 to < 29	
Warm	≥ 34 to < 38	≥ 29 to < 35	Too hot
Hot	≥ 38 to < 42	≥ 34 to < 41	
Very hot	≥ 42	≥ 41	

(資料來源:本研究整理)

2.2.2 台灣綠建築評估系統(EEWH)

台灣的綠建築標章九大指標於 2003 年建立，採用五等級分級評估法，共由五本評估手冊(基本型、住宿類、廠房類、舊建築改善類、社區類)形成一個大型的綠建築評估家族體系。其中，前三類是採取分棟評分、分別認證的方式，社區類認證範圍則是擴大到生態社區的範圍，包含鄰里社區單元、住宅社區、農村聚落、科學園區、工業區、大學城等均適用之。社區認證體系共設計五大範疇 22 項指標，面向包括生態、節能減碳、健康舒適、社區機能、治安維護。都市熱島是物理環境指標當中佔分較大的指標項目，此項可獨立評估利用，也可放在生態社區中進行綜合評估。其架構如圖 2-4 所示。

都市熱島(EEWH-HI)的評估方法:

台灣地處亞熱帶，相較於寒冷國家以暖房人工排熱大的冬季作為實測季節，台灣是以夏季日射量大，較能顯著反映熱島強度差距的季節來進行測量，匯總八個都市的量測資料訂定出本土的熱島效應評估法。評估之因子面向如下，以及如圖 2-5 所示：

1. 戶外通風：良好的建築通風設計可提高地面風速、促進人體排汗。
2. 地面蒸發冷卻：增加透水地面、建築屋頂及立面植栽綠化面積提升蒸發散量來降低地表溫度。
3. 地面遮蔭：選擇適當的地面挑高空間、樹蔭、迴廊、穿堂、設置涼亭等。
4. 地表輻射：控制地表輻射熱的吸收蓄熱更為重要，例如可以使用低日射吸收率(albedo)之建材。

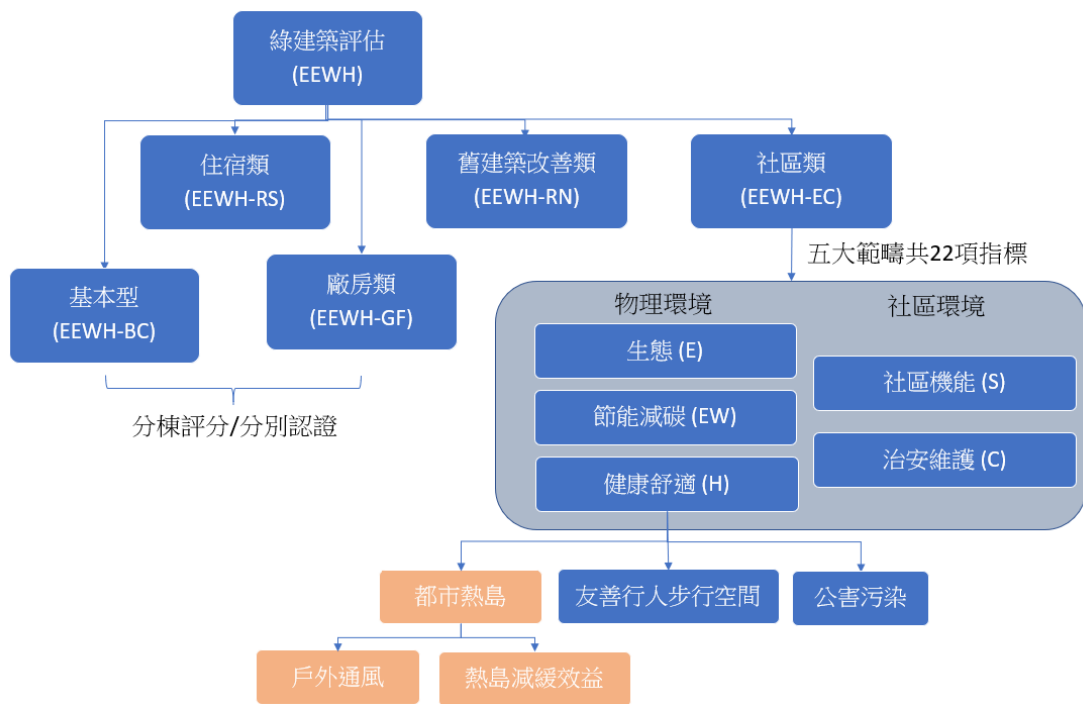


圖 2-4 台灣 EEWH 架構

(資料來源:本研究整理、綠建築評估手冊 2015:基本型)

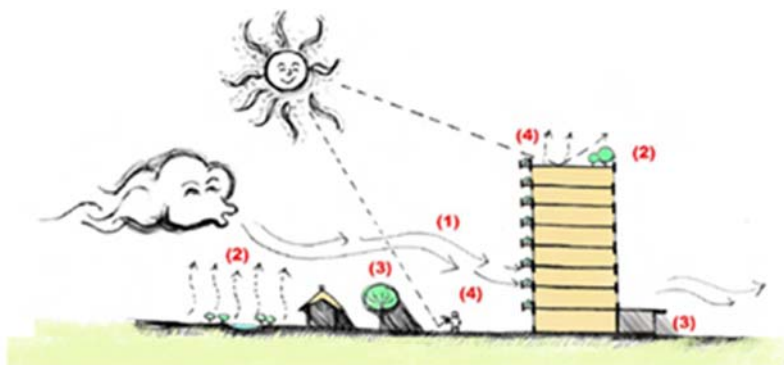


圖 2-5 台灣都市熱島效應系統評估因子(示意圖)
(資料來源：綠建築評估手冊 2015:社區類)

評估方式說明：

台灣之熱島評估法將上述四大類評估因子綜合並簡化為「戶外通風效益 S1」及「熱島減緩效益 S2」兩大項評估指標，乘以分項加權係數之後，換算為百分制評分，前項加權係數為 0.3，後項加權係數為 0.7，代表該因子對於總熱島效應的貢獻度。

「戶外通風效益 S1」單獨計算，因其評估方式較為複雜，受戶外地形地物影響較大，平均建築高度小於或等於 18 公尺(約五到六層樓高)之社區適用簡算法，需考量實際建蔽率。而大於 18 公尺之社區適用精算法，此方法在 EEWH-HI 中有詳細之說明，必須計算因建築物遮擋所造成之風陰影面積，計算圖例如圖 2-6 所示。以戶外活動區可通風面積除以行人活動區總面積作為通風面積比，評估時還需考量夏季盛行風向，通風面積比等於 1 時視為最佳通風環境。因為精算法中本因子僅計算「人的活動區域範圍」，所以總基地面積須扣除行人難以進入範圍之面積，例如建築物、設備物、植栽、水體、地下室之露天斜車道、密林區等。

「熱島減緩效益 S2」綜合上節(2)~(4)項地面蒸發冷卻、地面遮蔭、地表輻射等三項因子的影響，以各單位戶外地面與屋頂水平投影面之面積(m_2)乘以熱島減緩係數(HI $_i$)後之總和，再乘以基地總面積(m_2)進行評估。基地總面積需個別計算基地內包含的地面綠化、屋頂綠化、立體綠化之各別水平投影面積(a_i , awi)，其數值來源參考各國文獻與實務操作便利性進行修正，如下表表 2-5 所示。都市熱島評估亦採取分級評估制，高於 85 分為鑽石級、80~85 分為黃金級、70~80 分為銀級、60~70 分為銅級、50~60 分合格。而 EEWH-HI 中針對戶外熱舒適之部分並無獨立之評分方法，也未納入其中的某項指標當進行得分評估換算。

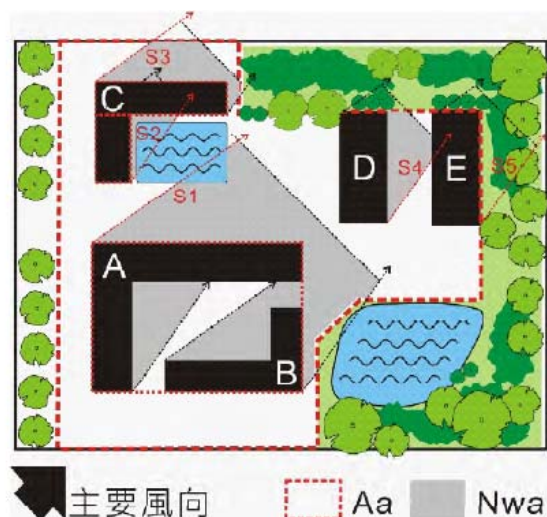


圖 2-6 都市熱島評估內評估建築物遮蔽之風陰影計算圖例

(資料來源:綠建築評估手冊 2015:社區類)

表 2-5 台灣綠建築都市熱島評估因子與熱島減緩係數之對應表

評估因子	地表、屋面及地面挑空空間、牆面綠化、陽台 綠化面積(ai, awi)	熱島減緩 係數(HIi)
蒸發冷卻因子	湖泊、溪流、水池等水面	1.0
	喬木綠化之地面、屋面	1.0
	草坪或草花花圃之地面	0.5
	有澆灌設施之喬木或灌木層綠化之屋面	0.8
	有澆灌設施之薄層綠化之屋面	0.5
	透空少之密葉型植物花架之地面屋面	0.7
	透空多之密葉型植物花架之地面屋面	0.4
	有澆灌設施之喬木或灌木層綠化之陽台、牆面	1.0
	有蔓藤攀附之陽台、牆面	0.8
	有澆灌設施之薄層綠化之陽台、牆面	0.5
地表遮蔭因子	騎樓或地面挑空之半戶外空間	0.8
	隔熱優良之不透光之涼亭、開放玄關、開放迴廊、 遮簷之屋面(屋面 U 值 < 3.0 W/m ² K)	0.7
	隔熱不良之不透光之涼亭、開放玄關、開放迴廊、 遮簷之屋面(屋面 U 值 ≤ 3.0 W/m ² K)如隔熱不良之鐵 皮屋面	0.6
	隔熱不良且不透光之涼亭、開放玄關、開放迴廊、 遮簷之屋面(屋面 U 值 ≤ 3.0 W/m ² K)如玻璃、薄膜、 半透光 PC 版之遮罩	0.2
地表輻射因子	有特殊高反射隔熱處理或淺色之涼屋頂	0.4
	以灑水或噴霧冷卻處理之鋪面或路面	0.3
	透水型鋪面或路面	0.2
	一般構造之非涼屋頂	0.0
	一般構造之非透水型鋪面或路面	0.0

(資料來源:本研究整理)

2.2.3 日本建築物綜合環境性能評價體系(CASBEE)

日本自 80 年代後期以來對於永續建築的發展逐漸重視，因此開發了各種評估建築物環境性能的方法，而 CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)則是在日本國土交通省房屋局主導下提出作為日本綠建築評估體系之代表。而建築環境效率綜合評估系統研究委員會於 2001 年 4 月成立，進行評定 CASBEE 系統之工作。在 CASBEE 之大架構下分為 CASBEE for Buildings、CASBEE for Market Promotion (2016 年改為 CASBEE for Real Estate)、CASBEE for Urban Development、CASBEE for Cities 以及 CASBEE for Urban Heating Island 等五種各自獨立之評估系統，針對不同的對象進行評估。

CASBEE 各項評估系統均統一於同一主要概念下進行，亦即評估不同領域間的 BEE (Built Environment Efficiency)值，試圖以建成環境所提供的品質以及對環境造成的負荷之比值為指標進行評估。BEE 值由建築環境品質 Q 值 (Environmental quality of building)除以建築環境負荷 L 值(Environmental load of building)計算而得，如下式所示。

$$\text{Built Environment Efficiency (BEE)} = \frac{Q(\text{Environment quality of building})}{L(\text{Environmental load of building})}$$

CASBEE 的各項指標，皆以量化建築物之 Q 值以及 L 值為主要之評估計算內容，同時藉計算得知 BEE 值反映其綠建築評估之結果並依結果區分為五級，如下圖 2-7 所示。

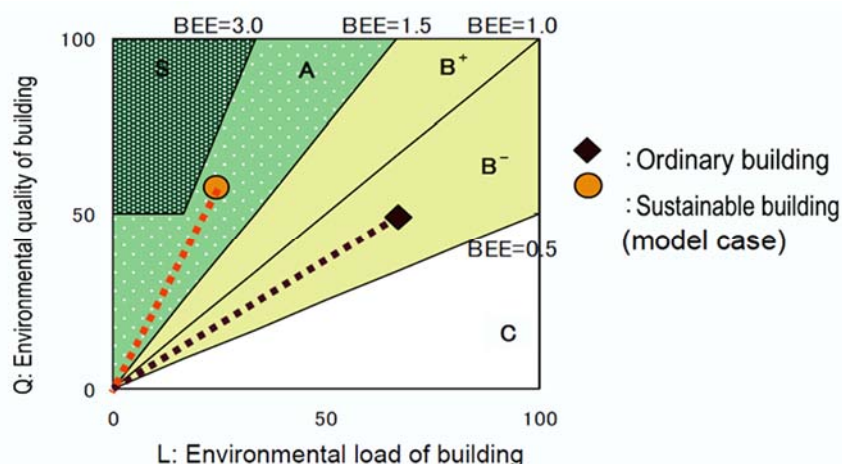


圖 2-7 日本 BEE 值與綠建築評估等級之對應關係
(資料來源: CASBEE Urban Development 2014 manual)

有關都市熱環境與都市熱島之評估是在 CAEBEE-Urban Heat Island 評估系統內，其對於基地評估之邊界概念如下圖 2-8 所示，評估之範圍平面之範圍以基

地之範圍為界，而垂直軸部分則以二倍於基地內最高建築物之高度為界。選定建築物的周圍評估邊界後，在於邊界內量化計算其 Q 值以及 L 值，對於邊界內的環境質量以及對於其邊界外造成的負荷進行量化評估。

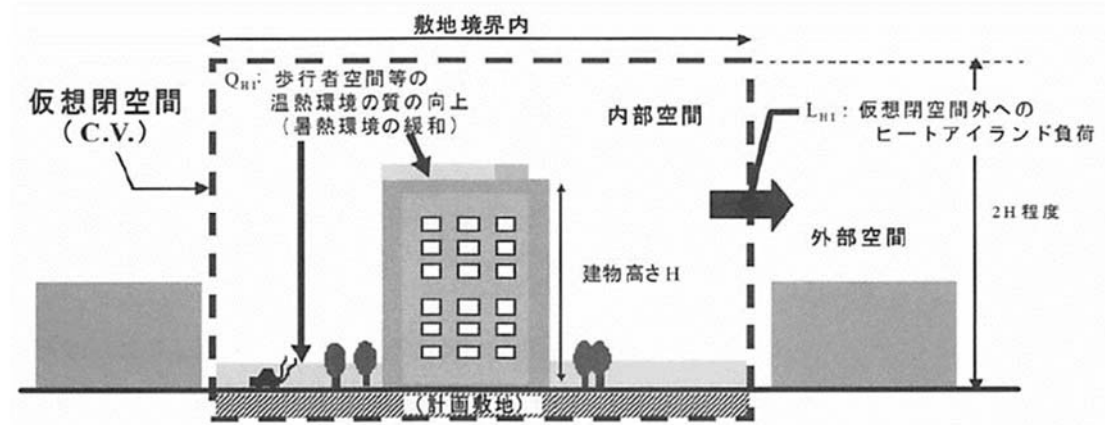


圖 2-8 CASBEE 內對於都市熱島評估之基地邊界示意圖
(資料來源:CASBEE Urban Heating Island 2010 manual)

以獨棟建築而言，建築物本身的範圍就是其評估邊界。但若評估都市熱島等大範圍之效應時，則必須包含建物本身、道路等設施，無法用建築尺度的邊界進行套用。在都市邊界之界定上，若該基地於地理或社會功能上是屬於連續性之區域，則納入同一個邊界考量範圍，例如鄰近河邊的開發市鎮與建置中的河川堤防，則併為同一區域做為評估；相反地，若該地區範圍較大且地理尚無明確之一致性，則將其區分評估之。

CASBEE-都市熱島版本之評估內容如下：

基地邊界條件之定義，考量各基地的盛行風向及風速各有其獨特性，需個別考量其風環境與熱環境之特性以決定評估區域之邊界條件，各基地之風環境資料以日本政府公告之「廣域風環境數據庫」進行評估。進行都市熱島項目之評估時可採用如下表 2-6 之簡易評估法，或使用計算流體力學軟體(CFD)進行模擬後進行詳細之評估，等二種方式擇一進行。使用簡易評估法時，不同評估狀態下由基地現況條件以及容積率等因素決定各項目間套用計算之權重。

表 2-6 簡易建築空間外熱島 BEE 值計算如下表：

主要分類	評估項目	評估項目內容
通風	Q _{HI1} 步行空間、導風空間設計	1.步行空間之導風設計 2.植物綠地的通風通道
	LR _{HI1} 通風設計對基地外熱環境之影響	1.建築配置與形狀規劃不阻擋風道和下風區域 2.對夏季長年風向建築物之遮蔽 3.建築物高度與鄰棟間距
遮蔭	Q _{HI2} 夏天形成遮蔭緩解高溫環境	中高樹木、屋簷等提供遮蔭
敷地覆蓋材料	Q _{HI3} 保護建築內的綠色空間、水體等	1.確保可以維持植生、水體不讓地表溫度上升 2.面南或是面西側日射影響較大的場所應避免人工鋪面
	LR _{HI3} 表面材料對基地的熱影響	考慮覆蓋於地面之材料 1.綠地、保水鋪面 2.高反射率之表面材料
建築外殼材料	Q _{HI4} 提升步行空間熱舒適	1.屋頂綠化量 2.受日射輻射影響較大的西側與南側進行綠化或選用特殊材料提升熱舒適性
	LR _{HI4} 建築外殼材料對基地的熱環境影響	1.屋頂綠化量 2.高日射反射率的屋頂材料
建築排熱設備	Q _{HI5} 建築內部廢熱排放位置能否提升室內熱環境	1.空調廢熱之設計是否由高處排出 2.將高溫設備如鍋爐，放置於高處
	LR _{HI4} 減少排至大氣之建築設備廢熱	1. 防止建築物外牆和窗戶的熱量損失、採用減少向大氣排放廢熱之設備 2. 建築物廢熱抑制 3. 利用中高樹木、百葉窗等遮陽設施 4. 高效率設備 5. 節能空調、照明、通風、電梯設備引入 6. 自然能源利用 7. 通過自然通風排出廢熱 8. 透過晝光減少排出廢熱 9. 利用未能利用之能源(周邊地區廢熱) 10. 利用垃圾焚燒的廢熱 11. 廢水處理場的廢熱利用 12. 海水、河川、地下水之利用 13. 高效率基礎設備導入 14. 區域冷暖房之廢熱回收 15. 減少伴隨建築設施的餘熱，抑制溫度上升 16. 測量廢熱尖峰轉移的蓄熱系統，僅於白天使用即可

(資料來源:本研究整理、CASBEE Urban Heating Island 2010 manual)

2.2.4 美國綠建築協會(LEED)

LEED 是美國綠建築協會在 2000 年設立的一項綠建築評分認證系統，用以評估建築績效是否能符合永續性。其中包含七大指標：永續性建址 (Sustainable Site)、用水效率 (Water Efficiency)、能源和大氣 (Energy and Atmosphere)、材料和資源 (Materials and Resources)、室內環境品質 (Indoor Environmental Quality)、革新和設計過程 (Innovation and Design Process) 以及區域優先性 (Regional Priority)。目前為第四版 LEED v4。LEED 評估項目中分成必要項目(Prerequisite) 以及得分項目(Credit)，必要項目為必須達成之條件，否則無法通過；得分項目則用於分級該建築於 LEED 中獲得的等級。LEED 得分項目一共 110 分，根據其得分之分布做如下表 2-7 之分級：

表 2-7 LEED 得分分級表

分級	得分範圍
認證級	40 分至 49 分
銀級	50 分至 59 分
金級	60 分至 79 分
白金級	80 分以上

(資料來源：本研究整理、LEED 評估手冊 2014)

LEED 當中對於熱島效應的減緩策略被歸類在綠建築協會七大指標中的 Sustainable Sites (SS)內的 Heat Island Reduction，該項目為 LEED 評估項目中的得分項目，建築可於該項目取得 1 分至 2 分的得分。LEED 都市熱島效減緩策略鼓勵在初期設計時，減少採用硬鋪面景觀之設計，增加地景之設計。而硬鋪面之設計則希望透過增加路面、停車區、屋頂、走道等鋪面表面的日射反射率(solar reflectance)，減少材料吸收太陽輻射的機會，以減緩都市熱島效應的生成。其中將基地內的硬鋪面區分成兩類來計算得分，分別是屋頂與非屋頂面積以及具遮陰的停車區域面積。

在屋頂的材質選擇上，針對坡度陡的屋頂可使用高反射率的材料，並須考慮其日後的維護以維持其高反射效能；亦可透過種植植栽的方式建置綠屋頂，唯人工草坪不納入分數計算，而其維護成本需涵蓋植栽與結構完整性。非屋頂的硬鋪面選材上可使用透水性材料，或是建構具有高反射率表面的建築體以達遮陰效果，使用既有或新栽種的喬木提供遮蔭也是可行的選項之一。停車區域的部份則

可將停車場設置於地下、屋頂下或是建物底下，堆疊式停車場的設計也可納入具遮陰之停車區面積計算。

● 評估方式說明：

評估方式分為使用標準公式以及替代公式計算。先使用標準公式計算時，若無法符合得分需求，則使用替代公式計算，若兩者均不符合，則此項目無法得分。標準公式如下圖 2-9，基本上就是遵循以上對於硬鋪面景觀及地景的分類去計算各個項目的面積比，而計算後具有減緩熱島效應之面積比例需大於或等於總屋頂面積與總現地鋪設區域面積。若經計算後符合公式之需求，則可於 LEED Sustainable Sites 評估項目內的 Heat Island Reduction 獲得 2 分之分數。

EQUATION 1. Standard nonroof or roof calculation

$$\frac{\text{Area of Nonroof Measures}}{0.5} + \frac{\text{Area of High-Reflectance Roof}}{0.75} + \frac{\text{Area of Vegetated Roof}}{0.75} \geq \frac{\text{Total Site Paving Area}}{\text{Total Roof Area}}$$

圖 2-9 LEED-HI 標準評估公式
(資料來源:LEED 評估手冊 2014)

若上述標準公式不符合，可再藉由下圖圖 2-10 的替代公式來計算是否符合得分標準。而替代公式最大的特點在於，當選擇的材料反射率高於標準越多，意即該選材對於減緩都市熱島的貢獻越大，則比重加權會越高，越有可能達到得分標準。式子中 SR 為日射反射率；SRI 為日射反射率指數。符合替代公式，則仍可於該項目取得 2 分之分數。

EQUATION 2. Weighted nonroof or roof calculation

$$\frac{\left(\text{Area of high reflectance nonroof A} \times \frac{\text{SR of high reflectance nonroof A}}{\text{Required SR}} \right)^1}{0.5} + \frac{\text{Area of other nonroof measures}}{0.5} + \frac{\left(\text{Area of high reflectance roof A} \times \frac{\text{SRI of high reflectance roof A}}{\text{Required SR}} \right)^2}{0.75} + \frac{\text{Area of vegetated roof}}{0.75} \geq \frac{\text{Total Site Paving Area}}{\text{Total Roof Area}}$$

1. Summed for all high-reflectance nonroof areas.
2. Summed for all high-reflectance roof areas.

圖 2-10 LEED-HI 之替代公式
(資料來源:LEED 評估手冊 2014)

第三章 研究方法

第一節 研究流程

本計畫之研究流程如圖 3-1 所示，首先透過文獻收集回顧進行影響都市熱島成因之量化研究成果，比較國內外綠建築評估體系有關都市熱島評估之指標內容。為了量化綠建築評估指標在對都市熱島降溫以及對戶外熱舒適性提升之效益，考量影響都市熱環境之變數眾多，本研究以模擬實驗之方式進行多因子之探討，較逐一實測來得有效率。在戶外熱環境解析之領域，國際上常以 ENVI-met 為工具進行模擬，因此為了瞭解模擬與實測之差異，事先規劃一實測實驗以實測數據比對模擬值，以驗證模擬工具之準確性後，再進行一系列之模擬實驗。

在模擬實驗之規劃上，透過文獻回顧之過程發現影響都市高溫化之變因包括建築密度、綠地面積、綠地品質、人工構造物之表面反射率、建築物對風之遮蔽等多因子，加上以 ENVI-met 進行模擬時需耗時較久之情況下，本研究擬採實驗計畫法之方式規劃有效之模擬實驗，以減少所需之模擬次數而同樣能達到可靠之分析效果，該方法將詳述如後續章節。透過系統性的模擬實驗後，首先進行各因子對都市熱島降溫與提升熱舒適性效果進行敏感度分析，定量化找出影響此二者各變因間之相對重要性，以提出都市熱島降溫之有效改善對策。其次，再輔以變異數分析(ANOVA)方法分別建立對降溫與提升熱舒適之量化評估公式，以作為量化綠建築指標與都市熱島間之量化關係。

另一方面，為了都市熱環境模擬所需，作為模擬使用之外界氣候邊界條件需予以確立。本研究尚必須進行典型炎熱日與極端炎熱日之挑選，由於所欲探討之對象為熱舒適性，因此本研究由過去所內所研製之台北標準氣象年(TMY3)(何明錦 and 黃國倉 2013)逐時之氣象資料，計算其逐時之生理等效溫度 PET (Physiologically Equivalent Temperature)(Höppe 1999)後，進行典型熱日及極端熱日之挑選以為模擬時之戶外氣候條件。

最終本研究將建立「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」之草案，以作為評估我國綠建築標章對都市熱環境效益量化評估之方法，提出提升都市熱環境品質之關鍵策略，以誘導綠建築設計達到邁向都市節能與環境舒適之目標。

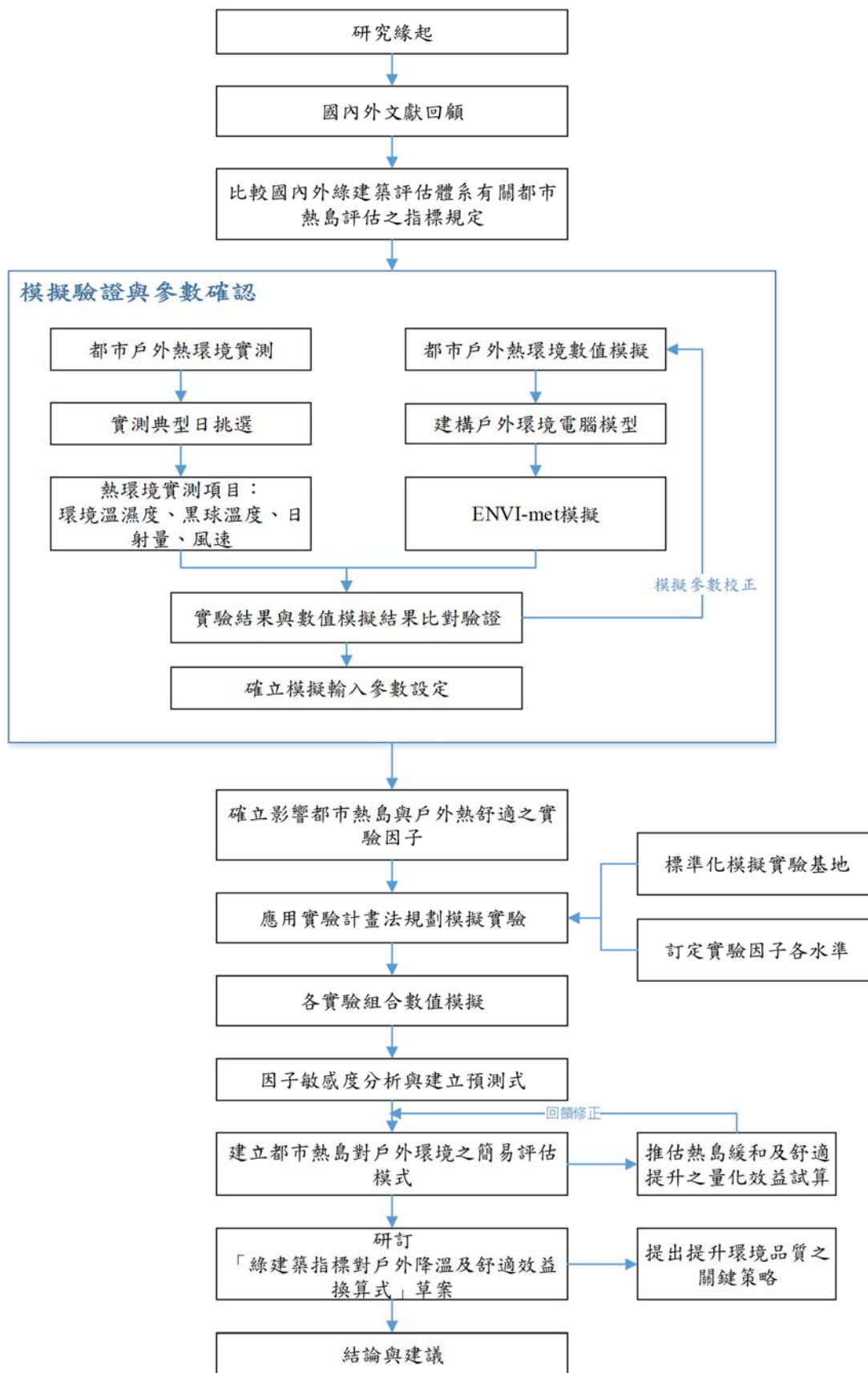


圖 3-1 研究流程圖
(資料來源：本研究整理)

第二節 實測與模擬驗證

在以實驗計畫法進行大量模擬各種綠建築設計因子對都市熱環境與戶外空間熱舒適模擬前，本研究首先進行驗證 ENVI-met 模擬與實測之適配情形，並作為校正模擬輸入參數之依據。模擬與實測比對之實驗位置擬擇一處具環境鋪面多樣性之戶外開放空間以模擬社區或都市之環境(基地內同時具有人工鋪面、裸露地、植栽與建築物等)，如圖 3-2，規畫六處微氣候相異之測點，透過現場架設微氣候量測儀器與小型氣象站蒐集現場所測得之微氣候氣象資料。此外，同步以 ENVI-met 建構全尺度數值模型，並以現場小型氣象站所測得之氣候資料進行模擬，以盡可能完全與現場建成環境與氣候狀況一致之情形下進行模擬以與實測資料比對驗證。所需比對之物理量包括乾球溫度與相對溼度，因此每測點所須架設之儀器包括附遮陽帽之自計式溫濕度計，以及一架設位於鄰近建築屋頂頂層之小型氣象站量測實測時之風速、風向與日照情形。而模擬預測值(S_i)與實際觀測值(O_i)之誤差比對，則透過均方根誤差(Root mean square error, RMSE)作為評斷模擬與實測擬合優度之指標，其計算如下式 3-1。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{式 3-1})$$

本研究利用國立台灣大學圖書館後方涵蓋綠地及部分人行鋪面之區域(座標 N 25.017, E 121.542)進行實測與同步 ENVI-met 模擬。作為驗證模擬用之實測基地涵蓋面積約為二萬平方公尺，實測基地儘量選擇具多樣化之地景組成，包括附近之建築物大樓、人工鋪面、綠地與喬木植栽等，為避免雲覆率以及風速之影響，選擇晴朗無雲且低風速的日子進行施測。基地之實測點與範圍如圖 3-2 中之虛線範圍所示。實測點一共有 6 個位置，如圖中編號 1 至編號 6 之位置，測點編號 1 與 2 位於人工鋪面上方；編號 3 位於大喬木遮蔭下；編號 4 位於綠草地上鄰近有喬木植栽的位置；編號 5 位於空曠之草地上以及編號 6 位於附近有人行步道之空曠草地上。各測點之環境描述整理如表 3-1。

每一測點高度離地 120 公分，約為一般成人心臟離地高度，以 ONSET U23-002 自計式溫濕度感測器，於每一分鐘一筆量測數據之紀錄間隔下，分別量測環境之空氣乾球溫度與相對濕度以作為與後續模擬比對用途。儀器之規格與精度詳

列如表 3-2。U23-002 型溫濕度記錄器內建記憶體可記錄 42000 筆數據，且符合 ISO 7726 測量儀器之標準。



圖 3-2 進行模擬與實測比對之空間與測點佈點規劃
(資料來源:本研究整理)




圖 3-3 測點編號 1 之情況
(資料來源:本研究整理)

表 3-1 各測點之附近環境描述

測點編號	1	2	3	4	5	6
鋪面	連鎖磚	連鎖磚	草地	草地	草地	草地
遮蔭類型	建物	建物	樹木	樹木	無	無
遮蔭時間	下午	下午	早上、下午	早上、下午	無	無

(資料來源：本研究整理)

表 3-2 自計式溫濕度記錄器

儀器名稱/型號	儀器照片	儀器規格			
		項目	量測範圍	精準度	準確度
溫濕度感測器 ONSET U23-002		氣溫	-40 ~ 70°C	0.02°C	±0.2°C
		濕度	0 ~ 100%	0.03%	±2.5%

(資料來源：本研究整理)

模擬模型部分，在 ENVI-met 內之環境建模以長 138 公尺、寬 150 公尺之範圍，面積為 20700 m²，在 ENVI-met 網格建置以 1 公尺見方之網格分割為 X 軸 138 格與 Y 軸 150 格，高度設定高於模型內最高建物之兩倍距離以上，此處高度設定為 60 公尺，鋪面材質與位置之建立完全對照實際情況設定，如圖 3-4。依此網格設定密度下所需之模擬時間約為 7 天半左右。而模擬之初始條件參數設定如表 3-3 所示。初始條件之設定包括起始溫度、風速與風向等氣象數據以當下實測所得之數值帶入，以求模擬與實測一致。

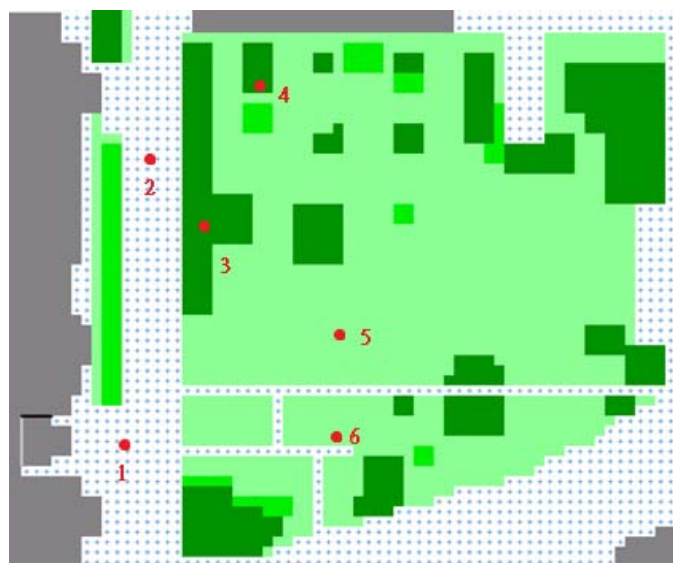


圖 3-4 ENVI-met 以 1m 見方網格之建模

(資料來源：本研究整理)

表 3-3 ENVI-met 模擬之輸入條件

分類	項目	輸入值
基本設定	模擬起始時間	上午 9 時
	模擬歷時	8 個小時
	風速 (10m)	0.1 (m/s)
	起始風向	東向
	起始溫度	31.15 (°C)
	高空比濕 (2500m 處)	11.07 (g/kg)
	相對濕度	64 (%)
模擬更新頻率	表面溫度	30 (sec)
	風速	900 (sec)
	太陽輻射及陰影	600 (sec)
	植物資料庫	600 (sec)
模擬建物設定	建物內部溫度	297 (24.00°C)
	牆之熱傳導率	3.5 (W/m ² K)
	屋頂之熱傳導率	1.2 (W/m ² K)
	牆之反射率	0.33 (丁掛磚)
	屋頂之反射率	0.25 (灰色混凝土)

(資料來源:本研究整理)

由 ENVI-met 所輸出之數據，從上午 9 時開始模擬至下午 5 時止，以每半小時輸出一次模擬之溫濕度變化，共計 8 小時期間進行模擬與各點實測之數值比較。由溫度之模擬結果和實測數值之比較可以看出，整體而言，ENVI-met 對於溫度之模擬與實際之變化趨勢大致相同，而結果之差異大部分小於 1°C，計算之方均根誤差 RMSE=0.712°C，如表 3-4 與圖 3-5 所示。而相對濕度之模擬結果和實測數值比較，可以發現模擬之相對濕度值大部分高於實測值，但整體而言變化趨勢相同，計算之方均根誤差 RMSE=7.459%，如表 3-5 與圖 3-6。整體而言，由實驗證明 ENVI-met 在模擬中小尺度下之都市戶外熱環境是準確的，二者之比較結果約落於儀器誤差範圍內，因此模擬之結果與實測相異不大，模擬具可信度。

表 3-4 模擬與實測之溫度差值

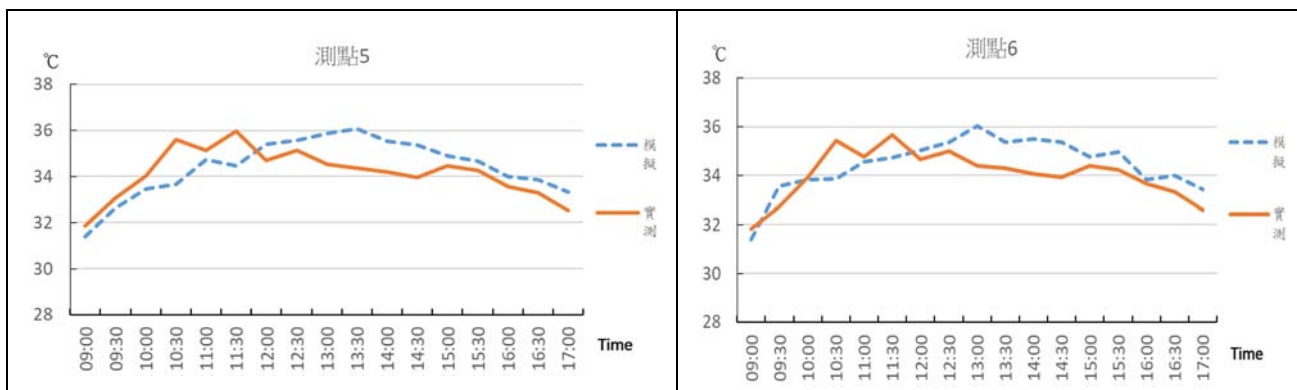
測點	1	2	3	4	5	6
座標	(61,97)	(77,205)	(89,165)	(113,207)	(163,117)	(163,97)
時間	實測溫度-模擬溫度 (°C)					
09:00	0.331	0.322	0.036	-0.025	0.482	0.453
09:30	0.036	-0.280	-1.079	-0.698	0.415	-0.846

10:00	-0.230	0.300	0.182	-0.201	0.593	0.101
10:30	0.774	1.025	0.496	0.712	1.956	1.596
11:00	1.381	1.135	0.511	0.646	0.401	0.199
11:30	0.801	1.069	0.865	0.468	1.486	0.919
12:00	0.140	0.630	-0.098	-0.175	-0.681	-0.368
12:30	0.639	0.286	0.172	0.880	-0.444	-0.361
13:00	-0.418	-0.347	-0.681	-0.412	-1.356	-1.626
13:30	-0.170	0.111	-0.311	-0.218	-1.707	-1.043
14:00	0.375	0.911	-0.131	0.095	-1.325	-1.421
14:30	0.691	0.992	0.077	-0.089	-1.402	-1.455
15:00	0.708	0.102	0.471	0.519	-0.430	-0.344
15:30	1.039	0.241	0.334	-0.161	-0.373	-0.753
16:00	-0.299	-0.226	0.086	-0.509	-0.456	-0.150
16:30	0.309	0.125	0.217	0.215	-0.578	-0.668
17:00	0.255	0.346	0.274	-0.168	-0.785	-0.853
最大差異	1.381	1.135	-1.079	0.880	1.956	1.596
最小差異	0.036	0.111	0.036	-0.025	0.401	0.101
平均差異	0.374	0.397	0.083	0.052	-0.247	-0.389
RMSEi	0.613	0.615	0.456	0.443	1.017	0.920
RMSE	0.712					

(資料來源:本研究整理)

圖 3-5 模擬與實測之溫度變化趨勢





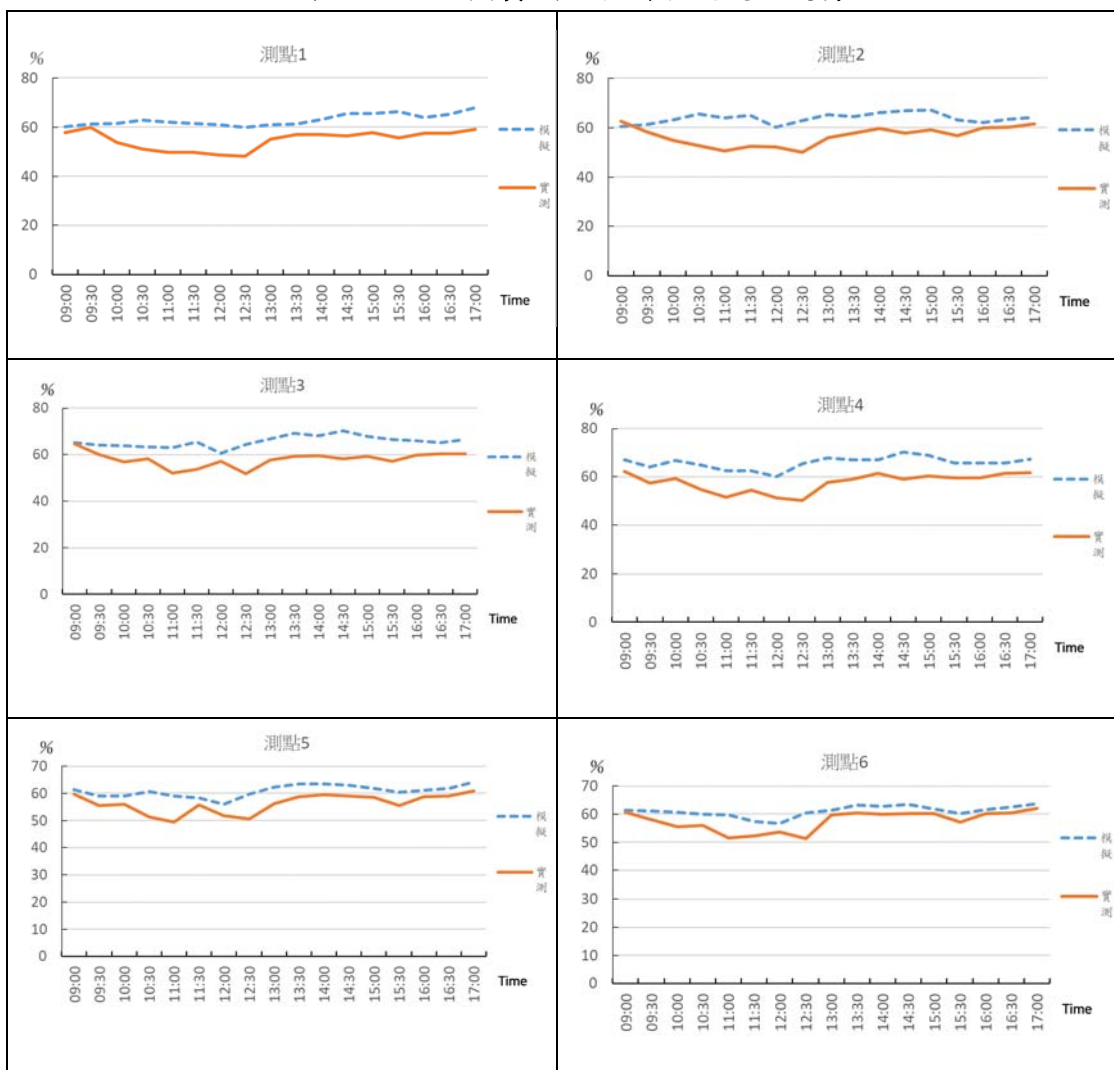
(資料來源:本研究整理)

表 3-5 模擬與實測之相對濕度差值

測點	1	2	3	4	5	6
座標	(23,43)	(35,111)	(47,79)	(57,123)	(75,53)	(75,43)
時間	實測相對濕度— 模擬相對濕度%					
09:00	-2.488	2.155	-0.371	-4.637	-1.516	-0.597
09:30	-1.307	-2.897	-3.813	-6.622	-3.581	-3.018
10:00	-7.784	-8.210	-7.025	-7.430	-3.009	-5.118
10:30	-11.699	-12.634	-5.153	-10.252	-9.336	-3.819
11:00	-12.387	-13.204	-11.076	-11.135	-9.664	-8.089
11:30	-11.737	-12.619	-11.694	-7.989	-2.712	-5.253
12:00	-12.202	-8.047	-3.396	-8.723	-4.254	-3.194
12:30	-11.626	-12.814	-12.729	-15.252	-9.114	-9.106
13:00	-5.901	-9.550	-9.121	-10.322	-6.104	-1.781
13:30	-4.183	-6.534	-9.842	-7.932	-4.627	-2.768
14:00	-6.103	-6.630	-8.606	-5.730	-4.014	-2.624
14:30	-9.122	-9.227	-12.042	-10.992	-3.973	-3.191
15:00	-7.735	-7.908	-8.560	-8.359	-3.109	-1.759
15:30	-10.511	-6.505	-9.500	-6.069	-5.008	-3.174
16:00	-6.409	-2.208	-6.220	-6.241	-2.280	-1.412
16:30	-7.809	-3.324	-4.827	-4.436	-2.944	-2.090
17:00	-8.911	-2.613	-5.919	-5.778	-3.238	-1.494
最大差	-12.387	-13.204	-12.729	-15.252	-9.664	-9.106
最小差	-1.307	2.155	-0.371	-4.436	-1.516	-0.597
平均差	-8.113	-7.222	-7.641	-8.112	-4.617	-3.440
RMSEi	8.762	8.378	8.343	8.554	5.218	4.102
RMSE	7.459					

(資料來源:本研究整理)

圖 3-6 模擬與實測之相對濕度變化趨勢



(資料來源:本研究整理)

第三節 應用實驗計畫法規劃模擬實驗

3.3.1 田口實驗計畫法

由於 ENVI-met 係應用電腦動態流體力學之理論進行環境數值運算，對電腦之運算能力要求相當高，模擬之時間相當長，倘將所有影響熱環境之因子所有可能組合進行全因子模擬實驗，所需時間成本恐將無以估計在實務上亦不可行。因此，本研究採用導入實驗計畫法之方式以結構化之直交表實驗規劃模擬之因子配列，以減少實際需執行模擬之次數以節省時間成本。本研究初擬對都市熱環境影響最大之幾個關鍵因子包括平均建築高度、空地的喬木覆蓋率、人工鋪面平均反射率、空地的綠地面積比、空地的水體面積比、空地的透水鋪面面積比、建蔽率等 7 個因子，每個因子包括三種水準，應用田口實驗計畫法內之 L27 三水準標準直交表，如表 3-6 所示，依表中之各水準組合進行模擬基地案例之配置以系

統性地創造不同建成環境之組合。本研究採用之 8 種實驗因子之定義與說明如下第 3.3.2 節。

選用之因子及其因子各水準之數值以及配置於直交表內之欄位則如表 3-7 所示。在進行不同因子水準組合下之模擬案例模型生成時，首先定義應用於模擬之基地基本條件(base case)以作為各樣本共同之標準。Base case 定義為一 100 公尺見方之基地(如圖 3-7 中之核心區域)，再由四方外擴 50 公尺作為 ENVI-met 模擬之區域，以考量鄰近都市街廓之影響。所有之建成環境配置於中央核心區域內。圖 3-8 為應用直交表之因子配置組合下，產生之二種可能建成環境組合之示意圖，本研究一共產生 27 種相異之假想建成環境組合，每一組合與未開發狀態下之情況逐一透過 ENVI-met 進行數值模擬實驗，以獲取環境中每一網格之熱環境物理狀態輸出，包括環境溫濕度、風速、平均輻射溫度與 PET 等資訊，以作為後續分析。所有 27 種之基地配置組合如附錄三。

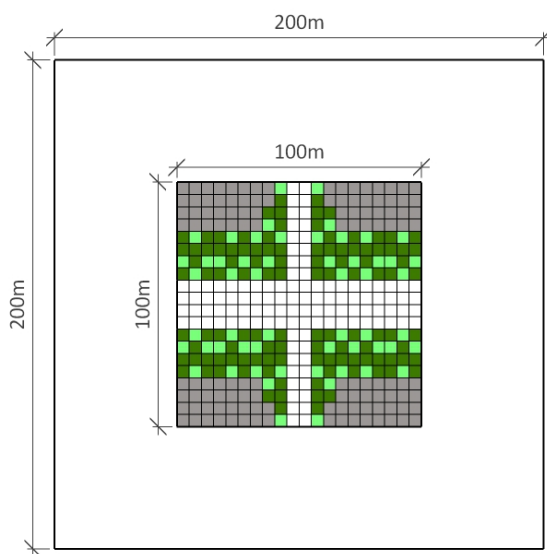


圖 3-7 作為 ENVI-met 初始之模擬空間(Domain)維度示意
(資料來源:本研究整理)

表 3-6 L27 標準直交表

Exp. #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
實驗 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
實驗 2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
實驗 3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
實驗 4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
實驗 5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1

實驗 6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
實驗 7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
實驗 8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
實驗 9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
實驗 10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
實驗 11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
實驗 12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
實驗 13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
實驗 14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
實驗 15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
實驗 16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
實驗 17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
實驗 18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
實驗 19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
實驗 20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
實驗 21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
實驗 22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
實驗 23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
實驗 24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
實驗 25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
實驗 26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
實驗 27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

(資料來源:本研究整理)

3.3.2 模擬因子選定

本研究採用之 7 種實驗因子包括平均平均建築高度、空地的喬木覆蓋率、人工鋪面平均反射率、空地的綠地面積比、空地的水體面積比、空地的透水鋪面面積比、建蔽率等，套用直交實驗之各水準參數如表 3-7。各因子定義如下：

1. 平均建築高度：各基地內所有建築物之平均高度，各建築物如高度不一時則以樓地板面積加權之方式計算整個基地之建築平均高度。此因子與「建蔽率」可反應基地內建築物之密度，高密度之建成環境可提供建築遮蔭，但由於建築外殼總表面積較大，其外殼材質之熱性能亦會影響環境之熱舒適性。此外，高建蔽率之建築配置容易產生對盛行風之阻擋，亦不利於基地內熱量累積之消散與提高環境之熱舒適。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 10m、30m 及 50m。

2. 建蔽率：其定義與建築技術規則中之建蔽率計算相同，意旨建築面積對基地面積之比例。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 30%、45%及 60%。
3. 空地喬木覆蓋面積比率：「喬木覆蓋面積」意旨依現行綠建築綠化量指標內有關喬木樹冠面積之計算，喬木栽種間距大於四米時以 16m^2 為該棵喬木之覆蓋面積計算，栽種間距小於四米時以栽種間距之平方為該棵喬木之覆蓋面積。而「空地喬木覆蓋面積比率」意旨喬木覆蓋面積佔基地內空地面積之比例。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 0%、15%及 30%。
4. 空地的水體面積比：此因子用於描述評估指標內水體面積之計算。「空地水體面積比率」意旨水體覆蓋面積佔地內空地面積之比例。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 0%、5%及 10%。
5. 人工鋪面平均反射率：表面材料之反射率(albedo)是鋪面熱性能因子之一，高反射率之鋪面表面可直接反射日射熱以減少壁體對短波日射熱之吸收，有助於減少建築物之壁體蓄熱，進而減少人工鋪面之長波輻射熱之釋出。然而高反射率之鋪面表面亦會造成基地內瞬間短波輻射熱之增加而導致人體熱不舒適之情形。用於描述基地內開放空間內之人工鋪面材質之反射率。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 0.1、0.3 及 0.5。
6. 空地綠地面積比：「綠地」在此為泛指基地內除建築物與人工鋪面以外之裸露地或栽植草地、喬木與灌木之綠地屬之。此因子定義為「綠地」所佔基地內空地之比例。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 30%、50%及 70%。
7. 空地透水鋪面面積比：「透水鋪面面積比」意旨透水鋪面面積之計算，透水鋪面為基地內可透水且可反映土壤蒸發、吸收水分之因子。而「空地透水鋪面面積比」意旨透水鋪面覆蓋面積佔基地內空地面積之比例。此因子於模擬實驗時，所採用之三種水準為 0%、10%及 20%。

表 3-7 模擬因子及其水準之定義

因子	平均建築高度(m)	空地的喬木覆蓋率	人工鋪面平均反射率	空地綠地面積比	空地的水體面積比	空地的透水鋪面面積比	建蔽率
因子代號	A	B	E	H	I	J	L
欄位	1	2	5	8	9	10	12
水準一	10	0	0.1	0.3	0	0	0.3
水準二	30	0.15	0.3	0.5	0.05	0.1	0.45
水準三	50	0.3	0.5	0.7	0.1	0.2	0.6

(資料來源:本研究整理)

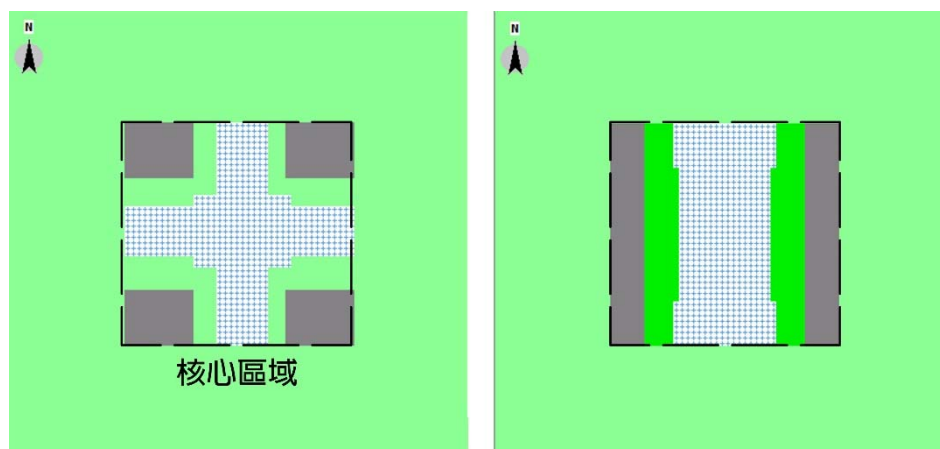


圖 3-8 數值模擬建成環境配置之示意

(資料來源:本研究整理)

將因子帶入水準表後，其呈現結果如下表 3-8。

表 3-8 因子水準表

編號	平均建築高度(m)	空地喬木覆蓋面積比率	人工鋪面區平均反射率	空地綠地面積比	空地的水體面積比	空地的透水鋪面面積比	建蔽率
1	10	0%	0.1	30%	0%	0%	30%
2	10	0%	0.3	50%	5%	10%	45%
3	10	0%	0.5	70%	10%	20%	60%
4	10	15%	0.1	50%	5%	10%	60%
5	10	15%	0.3	70%	10%	20%	30%
6	10	15%	0.5	30%	0%	0%	45%
7	10	30%	0.1	70%	10%	20%	45%
8	10	30%	0.3	30%	0%	0%	60%
9	10	30%	0.5	50%	5%	10%	30%
10	30	0%	0.1	30%	5%	20%	45%
11	30	0%	0.3	50%	10%	0%	60%
12	30	0%	0.5	70%	0%	10%	30%
13	30	15%	0.1	50%	10%	0%	30%
14	30	15%	0.3	70%	0%	10%	45%

15	30	15%	0.5	30%	5%	20%	60%
16	30	30%	0.1	70%	0%	10%	60%
17	30	30%	0.3	30%	5%	20%	30%
18	30	30%	0.5	50%	10%	0%	45%
19	50	0%	0.1	30%	10%	10%	60%
20	50	0%	0.3	50%	0%	20%	30%
21	50	0%	0.5	70%	5%	0%	45%
22	50	15%	0.1	50%	0%	20%	45%
23	50	15%	0.3	70%	5%	0%	60%
24	50	15%	0.5	30%	10%	10%	30%
25	50	30%	0.1	70%	5%	0%	30%
26	50	30%	0.3	30%	10%	10%	45%
27	50	30%	0.5	50%	0%	20%	60%

(資料來源:本研究整理)

第四節 外界氣候條件之篩選

本研究之目的為瞭解綠建築對都市熱島與環境熱舒適之量化效益，在外界氣候之假定上應以熱季期間之炎熱日進行探討。因此本節針對模擬用之外界氣候以台北之標準氣象年 TMY3 挑選出代表日。此一代表日需反應熱季期間人體感受最熱之狀態，故本研究以人體生理等效溫度 PET 作為挑選之指標。模擬代表日之挑選邏輯如下各步驟：

1. 取台北六月至九月熱季期間之 TMY3 逐時氣象資料，包括水平全天空日射量、乾球溫度、相對濕度、風速等氣象要素計算逐時之 PET。
2. 各日取日間(8:00 至 18:00)逐時之 PET 計算其日間平均 PET。
3. 篩選出日間平均 PET 大於該月平均 PET 外加一個 PET 標準差之數日，進行日間 PET 溫度與日射量分布之比較。
4. 以當日日射量與溫度分布呈現晴朗日之狀態挑選出各月之代表日，以確定當日係無受雲量或下雨之影響，以代表天氣穩定且熱感受幾近最炎熱之日為模擬之代表日。

依上述步驟以八月為例說明，第三步驟所挑出之日有二日，8月2日與8月26日，由當日之日射量分布(圖 3-9)，與日間之 PET 分布(圖 3-10)所示，中選日挑選為為8月2日，該日之氣溫、日射量與 PET 分布如圖 3-11 所示。

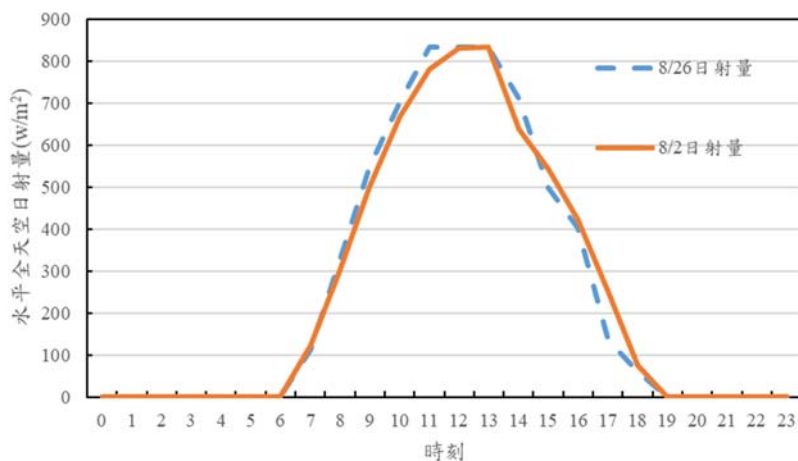


圖 3-9 八月挑選出二日炎熱日之全天空日射量分布圖
(資料來源:本研究整理)

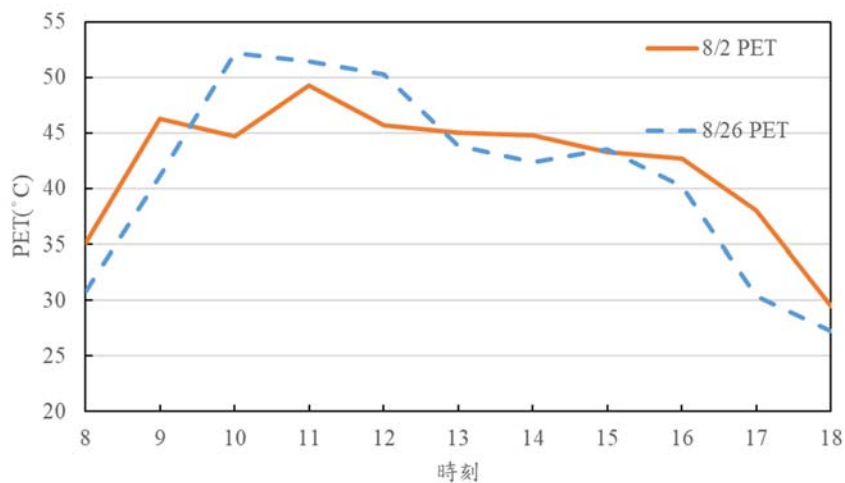


圖 3-10 所挑選出二日炎熱日日間逐時 PET 之分布圖
(資料來源:本研究整理)

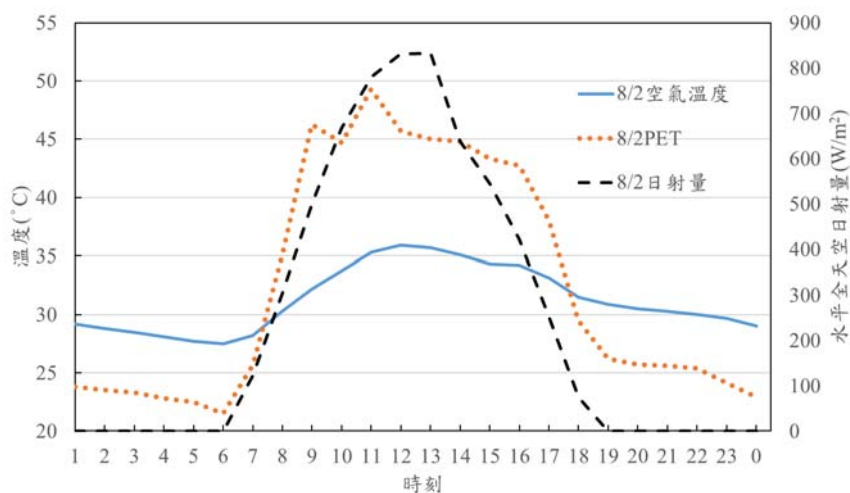


圖 3-11 中選日(8月2日)之氣溫與日射量分布
(資料來源:本研究整理)

第五節 ENVI-met 熱環境模擬

3.4.1 模擬工具簡介

本研究以 ENVI-met v.4.0 軟體作為電腦數值模擬建成環境微氣候之主要工具。ENVI-met 是一三維度之都市熱環境模擬工具，是屬於預測模型(prognostic model)軟體，最早由德國學者 Michael Bruse 開發於 1995 年，以 0.5 公尺至 10 公尺網格之空間解析度以及最低達 10 秒之時間解析度來模擬都市環境中的人工構造物表面、土壤、植栽和空氣間的相互濕度與熱交換作用，是一以電腦動態流體力學(CFD)為基礎開發的環境數值計算軟體，目前版本為 4.0 版(Huttner 2012)。所謂的預測模型軟體是指在給定初始條件後，此軟體能夠預測未來的變化情形，因此應用在微氣候上，即可預測模型內部氣候的改變。ENVI-met 適合中尺度模式，特別是城市街區，包括風流量、熱流量、和輻射量等城市中所涉及的環境參數交換過程之計算，在城市微氣候環境的整體數值計算上(包括各種微氣候環境參量的整合計算和日循環的非穩態計算)有明顯的優勢，更能結合現場實測方法對複雜的城市街區微氣候環境進行模擬、預測和評估(Bruse and Fleer 1998)。ENVI-met 能夠建立建成環境之三維模型，模型主要分為土壤層、植栽層與大氣層三個層級。模型是由眾多的網格組成，使用者可依據建模範圍決定網格的長寬高 ($\Delta x * \Delta y * \Delta z$)，其中 z 軸可以設定放大比率，使得高空區域網格的 Δz 可隨高度遞增，以減少模型的總網格數，有效降低模擬的模擬時間。ENVI-met 可以模擬並預測輸出之氣候資訊包含(Bruse and Fleer 1998)：風速及風向、空氣溫度及土壤溫度、空氣濕度及土壤濕度、大氣紊流、長波與短波輻射、氣體及懸浮微粒擴散。圖 3-12 是一以該軟體進行探討種植行道樹對都市環境空氣溫度模擬之例子(Russo, Escobedo et al. 2016)。

根據過去之文獻，ENVI-met 已經普遍被應用於都市微氣候環境的模擬上，Ali-Toudert 等利用 ENVI-met 模擬五種不同型態(幾何形狀、植物綠覆、寬高比)的街谷，並藉由輸出的氣溫、風速等計算生理等效溫度值(Ali-Toudert and Mayer 2007)。N.H. Wong 則利用新加坡大學的電子地圖輸入 ENVI-met，模擬現在校園的微氣候狀況，同時探討不同的校園綠化策略下，進行區域溫度變化的改善情形(Wang, Tenhunen et al. 2005)。另一篇探討義大利都市街道綠化對熱環境降溫之效益，同樣以 ENVI-met 作為模擬分析之工具(Russo, Escobedo et al. 2016)。圖 3-13

為 ENVI-met 軟體內之輸入與輸出架構，其中在核心運算上，整合植栽、土壤、建築、人工鋪面等因子進行大氣中環境溫濕度、熱輻射環境與氣流之交互作用。

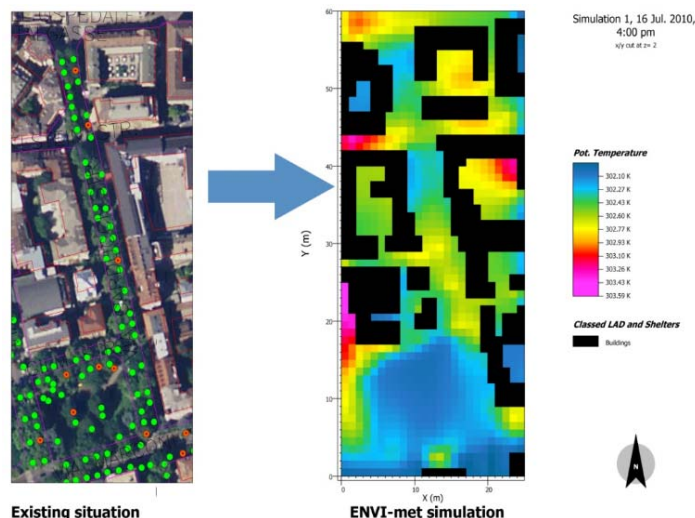


圖 3-12 以 ENVI-met 模擬都市建成環境之溫熱情況分布之例子
(資料來源：(Russo, Escobedo et al. 2016))

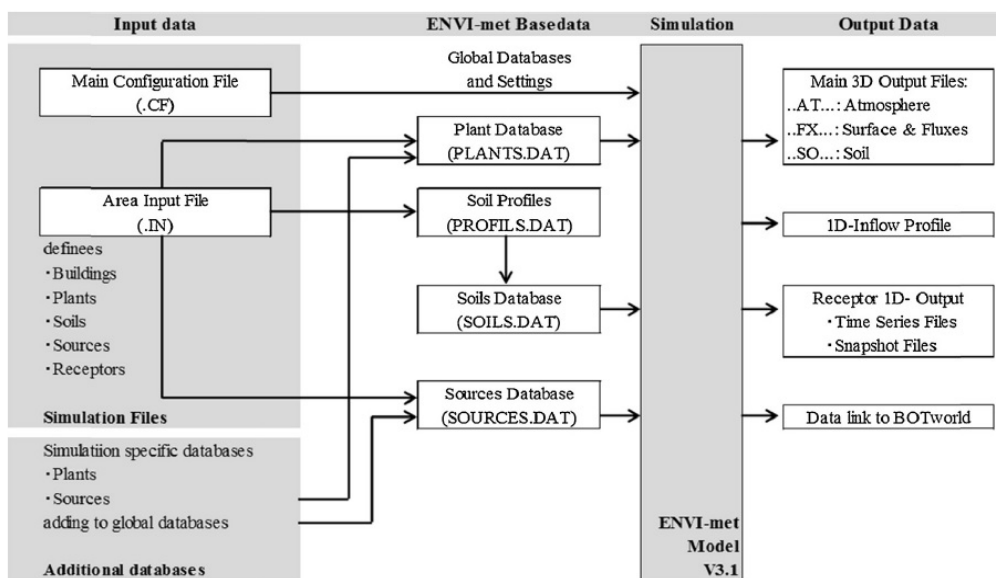


圖 3-13 ENVI-met 數值模擬輸入、輸出與運算架構之關係
(資料來源:本研究整理)

3.4.2 模型網格與初始條件設定

進行 ENVI-met 模擬時，模擬空間內之網格切分大小為 x 與 y 方向每 1 公尺一個網格；而垂直軸 z 向為 10 公尺以下每 1 公尺一個網格，10 公尺以上以每網格 10%之成長率擴大網格尺寸，以與電腦運算時間取得平衡點避免過長之電腦運算以增加研究效率。外界氣候則以經最熱日挑選後，選擇台北 8/2 上午 4 時

連續模擬至 8/3 日上午 4 時止，共 24 個小時。同時以每小時輸出一筆全域網格之熱環境資料以為後續分析之用。模擬進行時，動態逐時調整當日之溫度、相對濕度與日射量之輸入值，隨時更新以新的外界氣候資料以完整模擬當日之氣候狀態；風速部分以時速 1 公里/小時之微風進行換算為 0.28m/s 為初始條件輸入，以模擬幾近無峰狀態下之熱環境情況。而模型空間內各建成環境之表層材料物理性質採用之參數值整理如表 3-9 所示。

表 3-9 建成環境表層材料參數設定

分類	項目	值
外牆	厚度(m)	0.2
	輻射吸收率	0.6
	輻射穿透率	0.0
	表面反射率	0.3
	表面發射率	0.85
	比熱(J/kgK)	791
	熱傳導係數(W/m.K)	1.4
草地	密度(kg/m ³)	2400
	表面反射率	0.25
	植株高度(m)	0.1
	植株根深度(m)	0.1
	葉面積指數(LAI)	3
	葉面積密度(LAD)	0.3(10 層)
喬木	根面積密度(RAD)	0.3(3 層) 0.2(3 層) 0.1(4 層)
	樹種	常綠喬木
	反射率	0.2
	植株高度(m)	10.0
	植株根深度(m)	2.0
	葉面積指數(LAI)	16.3
	葉面積密度(LAD)	0(2 層)、2.18(6 層)、1.72(1 層)、1.5(1 層)
透水鋪面	根面積密度(RAD)	0.1(10 層)
	粗糙高度(m)	0.01
	表面反射率	依因子調整為 0.1, 0.3, 0.5
	表面發射率	0.9
	最大水飽和度	0.482

	田間含水量	0.367
	水力傳導係數(m/s)	10^{-5}
	熱容量(J/(m ³ K))	0.66
	熱傳導係數(W/m.K)	0.17
植物下之土壤	最大水飽和度	0.451
	田間含水量	0.24
	水力傳導係數(m/s)	7
	熱容量(J/(m ³ K))	1.212
	熱傳導係數(W/m.K)	1.05
建築下方之土壤 (concrete pavement dark)	粗糙高度(m)	0.01
	表面反射率	0.2
	表面發射率	0.9
基地外之土壤 (Pavement(concrete), used/dirty)	粗糙高度(m)	0.01
	表面反射率	0.4
	表面發射率	0.9
人工鋪面	粗糙高度(m)	0.01
	表面反射率	依因子調整為 0.1, 0.3, 0.5
	表面發射率	0.9
	最大水飽和度	0
	田間含水量	0
	水力傳導係數(m/s)	0
	熱容量(J/(m ³ K))	1.898
	熱傳導係數(W/m.K)	1.63

(資料來源:本研究整理)

第六節 建立都市熱島緩和與戶外熱舒適預測模型

3.6.1 決定預測式之應變數

透過上述 ENVI-met 有系統地透過實驗計畫法以上一節所選定代表日(8月2日)作為外界氣候之輸入條件,進行模擬27種相異之都市建成環境之組合後,藉由模擬結果之輸出可以獲得每一案例基地內每一1公尺見方網格內之熱環境狀態。本研究定義都市熱島緩和之效果為都市開發前後之平均溫升 ΔT ,其計算為模擬核心區域開放空間之各網格之平均空氣溫度($T_{a,s,i,t}$)減去未開發裸露土地狀態下的平均空氣溫度($T_{a,o,t}$)。為了描述開發前後所造成之都市溫升情況,本研究以代表日當日之平均溫升(如下式3-2)與最大溫差(如下式3-3)進行討論。

$$\frac{\Delta Ta_i}{24} = \frac{\sum_{t=0}^{23} (Ta_{s,i,t} - Ta_{o,t})}{24} \quad (\text{式 3-2})$$

$$\Delta Ta_i = \max(Ta_{s,i,t} - Ta_{o,t}) \quad (\text{式 3-3})$$

其中 Ta 為空氣溫度；下標 i 代表第 i 個模擬案；下標 s 為開發後之模擬結果；下標 o 為開發前之模擬結果；下標 t 為代表日當日之逐時時刻。

在戶外熱舒適之分析上，本研究採用人體生理等效溫度 PET (physiological equivalent temperature) 指標進行探討。PET 最早由 Hoppe 提出 (Höppe 1999)，其定義為在人體能量平衡的情況下，將戶外複雜的溫熱與輻射環境作用換算為在無風無日照下的人體感受到的室溫來描述 (Lin 2009)，其單位與氣溫相同，皆為 °C。計算 PET 需包含空氣溫度、相對濕度、平均幅射溫度 (MRT) 和風速等數據，也同時必須考慮人體著衣量和代謝量等因素 (Gómez, Cueva et al. 2013)。Tseliou 等人的研究表示，從事熱舒適之研究中，PET 指標能夠準確預測真實的戶外熱感覺投票值 (thermal sensation vote) (Tseliou, Tsiros et al. 2010)。國際上已有超過上百篇有關於戶外熱舒適之研究皆成功地以 PET 作為探討之指標，國內亦以 PET 建立適用於台灣本土之戶外熱舒適範圍 (Lin and Matzarakis 2008)，如下表 3-10，指出 PET > 34°C 時即判定為過熱，因此本研究選擇 PET 作為探討戶外熱舒適之因子，亦可藉由該表中同時診斷戶外環境是否過熱，以評估各種熱島緩和措施對戶外熱舒適之減緩效果。而一日中發生過熱之累積 Θ 即可如式 3-4 所示，將代表日內各時刻發生過熱之 PET 減去 34°C 後進行累加，以表示過熱之嚴重程度。此外，在減緩發生過熱頻率之分析上，則以降低發生過熱機率之效益 ($\Delta P_{PET,i}$) 來表示，如式 3-5 所示，將開發後發生過熱 (PET > 34°C) 之機率 ($P_{PET,s,i}$) 扣除未開發前之過熱機率 ($P_{PET,o}$)。

$$\Theta_i = \sum_t w_t \times (PET_{t,i} - 34) \quad \text{當 } PET > 34^\circ\text{C} \quad (\text{式 3-4})$$

$$\Delta P_{PET,i} = P_{PET,s,i} - P_{PET,o} \quad (\text{式 3-5})$$

其中 Θ 為一日內之過熱累積量；P 代表 PET > 34°C 之發生機率；下標 i 代表第 i 個模擬案；下標 s 為開發後之模擬結果；下標 o 為開發前之模擬結果；下標 t 為代表日當日之逐時時刻。

量化預測之模型可透過變異數分析方法建立，其模型之樣態將如下式 3-6 所示，包括對都市熱島降溫效益之預測式(ΔT_a)、對緩和戶外過熱嚴重程度(Θ)之預測式以及對降低戶外過熱發生頻率(ΔP_{PET})之預測式，所使用之自變數(因子)皆是建築設計上可輕易取得或換算而得之變數，此形式之預測方程式可簡便操作者應用。

$$\{\Delta T_a, \Theta, \Delta P_{PET}\}=f(\text{平均建築高度、空地的喬木覆蓋率、人工鋪面區平均反射率、空地的綠覆面積比、空地的水體面積比、空地的透水鋪面面積比、建蔽率})$$

(式 3-6)

表 3-10 台灣本土與歐洲 PET 熱舒適範圍比較

Thermal sensation	PET range for Taiwan ($^{\circ}\text{C PET}$)	PET range for Western/Middle European ($^{\circ}\text{C PET}$)
Very cold	14	4
Cold	18	8
Cool	22	13
Slightly cool	26	18
Neutral	30	23
Slightly warm	34	29
Warm	38	35
Hot	42	41
Very hot		

(資料來源:本研究整理)

3.6.2 基準案例之假設

本研究以實驗計畫法之直交表透過組合不同的環境設計因子規劃 27 組具建築環境設計相異之模擬實驗。在降溫與熱舒適之探討上，為了避免電腦模擬無法完全符合真實之環境微氣候情況以及減少模擬誤差，本研究將探討之應變參數以相對之物理量來呈現，意即所謂的降溫或提升熱舒適之效益是相對於同樣未開發前之同一宗基地在相同的初始邊界環境模擬下之結果而言。因此，不同於絕對

物理量之討論，本研究採用的是相對提升或降低之物理量來呈現。意即在探討對環境微氣候降溫之情況，以 ΔT_a 來表示。而此一未開發前之狀態，本研究定義為模擬之核心區域(中央 100m x 100m)之區域為無任何人工構造物與植被之裸露土壤，如圖 3-14 所示。而外圍灰色(200m x 200m)的部分則代表都市之邊界層其定義與 27 個案例之模擬假設相同，皆為不透水之人工鋪面環境，以模擬周遭都市環境對基地之影響。

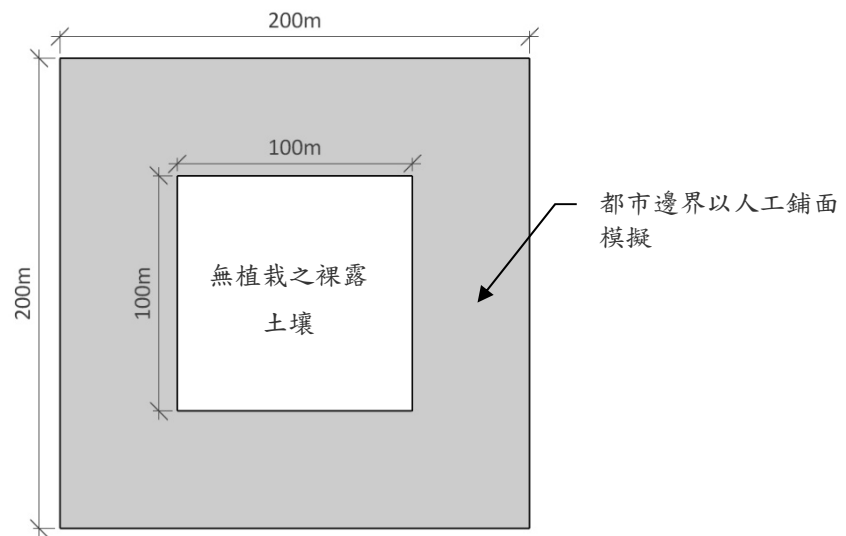


圖 3-14 模擬用之基準案例配置示意
(資料來源:本研究整理)

第四章 綠建築設計對基地內降溫效益分析

在透過 27 個直交表之設計案例與 1 個基本案例之 ENVI-met 模擬後，本研究截取每一案例 1.5m 近地表之網格處，且選擇非建築物所佔據之所有開放空間之網格進行模擬後各環境微氣候資料之輸出，包括逐時之各個網格之溫度、相對濕度、風速、平均輻射溫度(MRT)等微氣候資訊，同時藉以計算各小時下之 PET。將同一小時內之所有網格溫度資料進行平均以取得逐時之平均氣溫($T_{a,t}$)。由於建成環境對溫度之影響在日間與夜間呈現不同之趨勢，各設計變數對日夜間溫差結果之影響亦不相同，因此本研究在降溫效果之探討上區分日、夜間二種情形來描述與建立預測模式。

第一節 日間降溫效益

日間之降溫效益，將開放空間之網格之資料進行逐時之平均後，取 11 時至 16 時日射最強以及較高溫之時段進行分析。日間降溫效果之之定義為各案例在 11 時至 16 時之平均空氣溫度減去基準案同時間之平均空氣溫度，以 ΔT_i 表示，其中之 i 代表 27 個模擬案例中之第 i 個案例。將 27 個模擬案例之 ΔT_i 對本研究所選用之 7 個因子(包括平均建築高度、空地的喬木覆蓋率、人工鋪面區平均反射率、空地的綠覆面積比、空地的水體面積比、空地的透水鋪面面積比與建蔽率)進行統計上之變異數分析(ANOVA)，所得結果如下表 4-1。其中在 0.01 信賴區間之門檻下，計有平均建築高度、空地的喬木覆蓋率、人工鋪面區平均反射率以及建蔽率等四個因子呈現高度顯著性，顯示此四個因子對 ΔT 有顯著之影響，其各因子對降溫效果(ΔT)之貢獻率分別為 23.4%、18.4%、22.2%與 30.2%，如圖 4-1 之因子貢獻比例圖，以建蔽率之影響為最大，平均建築高度與人工鋪面區平均反射率次之，喬木綠覆率再次之，其餘透水鋪面、水體面積比等綠地面積等由於相對於上述這些因子其貢獻比例甚小，因此統計上將其剔除預測變數之列。

圖 4-2 則顯示了四個影響顯著變因對環境氣溫降溫之效果圖，呈現在不同之參數水準下各變因對近日間地表氣溫影響之量化增溫或降溫效果。而所有因子之各水準對應變量降溫效益(ΔT)之效果量整理如表 4-2 所示。整體 27 個案例之降溫效益平均值為 -0.400°C 。因此依據表 4-2 可整理為日間降溫效益之預測總公

式如式 4-1 所示，將各變因不同水準下之效果預測量(依式 4-2 至式 4-5)，依序加在平均值上而得到預測的降溫效果。

表 4-1 日間降溫效果之變異數分析表

欄位	S(平方和)	自由度	V(變異數)	F 值	貢獻度(%)	顯著程度
1.平均建築高度(m)	0.1847	2	0.0923	56.82	23.4	**
2.空地的喬木覆蓋率	0.1454	2	0.0727	44.72	18.4	**
5.人工鋪面區平均反射率	0.1745	2	0.0873	53.70	22.2	**
8.空地的綠覆面積比	0.0147	2	0.0073	4.52	1.9	
9.空地的水體面積比	0.0028	2	0.0014	0.85	0.4	
10.空地的透水鋪面面積比	0.0052	2	0.0026	1.60	0.7	
12.建蔽率	0.2378	2	0.1189	73.17	30.2	**
交互作用(1X2)	0.0105	4	0.0026	1.61	1.3	
交互作用(1X5)	0.0059	4	0.0015	0.90	0.7	
Error	0.0065	4	0.0016		0.8	
Total	0.7879	26	0.3882		100.0	

註：(**：信賴區間<0.01, *：信賴區間<0.05)

(資料來源:本研究整理)

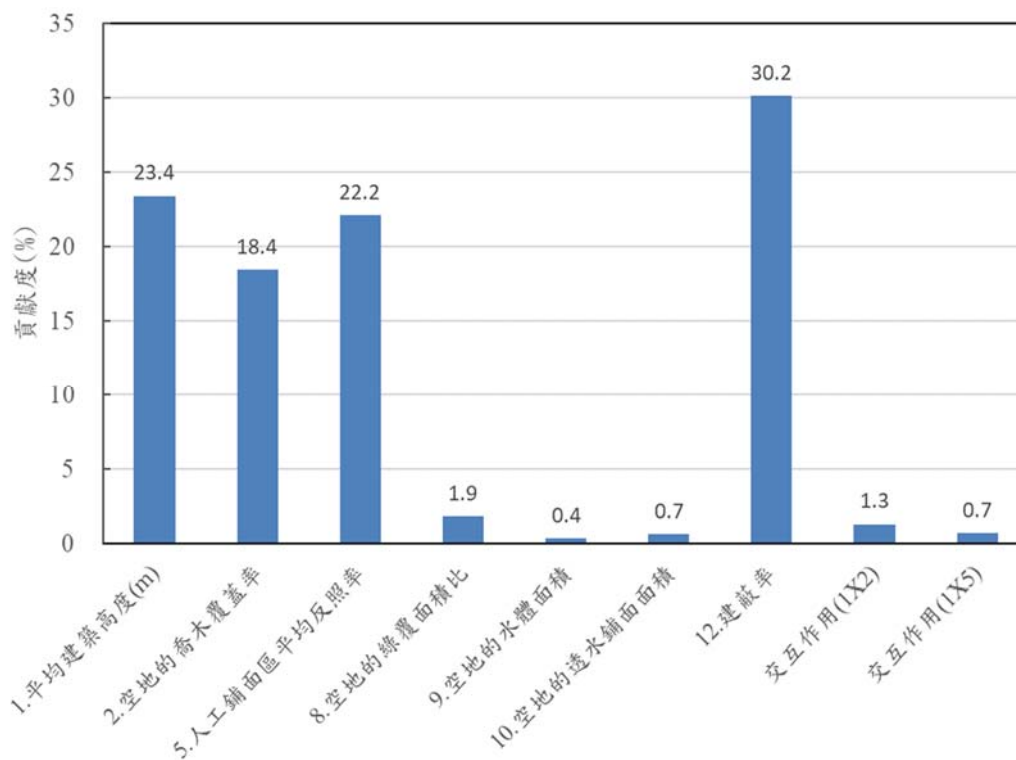


圖 4-1 日間各因子對降溫效益之貢獻度

(資料來源:本研究整理)

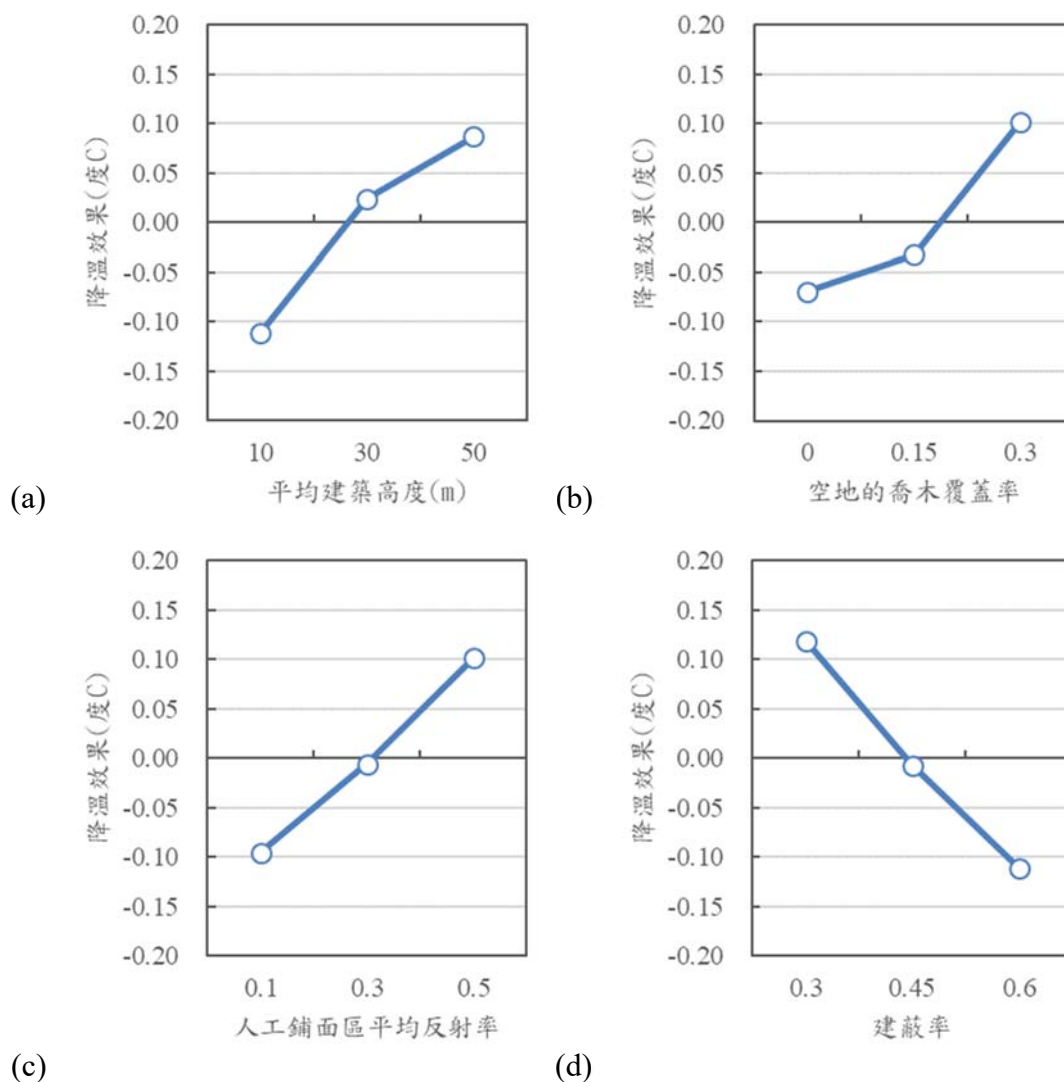


圖 4-2 日間之因子降溫效果圖

(資料來源:本研究整理)

表 4-2 各因子降溫效果表(日間)

因子效果表(單位: °C)			
目標值平均	-0.400		
因子水準	水準一	水準二	水準三
1.平均建築高度 A(單位:m)**	-0.111	0.024	0.087
2.空地的喬木覆蓋率 B**	-0.069	-0.032	0.102
5.人工鋪面區平均反射率 C**	-0.095	-0.006	0.101
8.空地的綠覆面積比 D	0.017	0.016	-0.033
9.空地的水體面積 E	0.000	0.013	-0.012
10.空地的透水鋪面面積 F	-0.011	0.020	-0.009
12.建蔽率 G**	0.118	-0.007	-0.111
誤差項	0.000		

(資料來源:本研究整理)

日間降溫效果 $\Delta T_a = -0.4 + \text{平均建築高度(A)的效果} + \text{空地喬木覆蓋率(B)的效果} + \text{人工鋪面區平均反射率(C)的效果} + \text{建蔽率(G)的效果}$ (式 4-1)

其中:

$$\text{平均建築高度(A)的效果} = \begin{cases} 0.0068x_A - 0.1788 & , \text{當 } x_A < 30\text{m} \\ 0.0031x_A - 0.0703 & , \text{當 } x_A \geq 30\text{m} \end{cases} \quad (\text{式 4-2})$$

$$\text{空地喬木覆蓋率(B)的效果} = \begin{cases} 0.8916x_B - 0.1660 & , \text{當 } x_B < 0.15 \\ 0.2473x_B - 0.0693 & , \text{當 } x_B \geq 0.15 \end{cases} \quad (\text{式 4-3})$$

$$\text{人工鋪面區平均反射率(C)的效果} = \begin{cases} 0.5369x_C - 0.1671 & , \text{當 } x_C < 0.3 \\ 0.4464x_C - 0.1399 & , \text{當 } x_C \geq 0.3 \end{cases} \quad (\text{式 4-4})$$

$$\text{建蔽率(G)的效果} = \begin{cases} -0.8387x_G + 0.3701 & , \text{當 } x_G < 0.45 \\ -0.6915x_G + 0.3038 & , \text{當 } x_G \geq 0.45 \end{cases} \quad (\text{式 4-5})$$

註： x_A =平均的建築高度(m)； x_B =空地的喬木覆蓋率(0 到 1 間之數值，無因次)； x_C =人工鋪面之平均反射率(0 到 1 間之數值，無因次)； x_G =建蔽率(0 到 1 間之數值，無因次)

第二節 夜間降溫效益

夜間降溫效益之探討，則取 20 時至 24 時無太陽日射之期間內逐時之開放空間各網格氣溫平均進行分析。該時段內之微氣候物理量處理之方式與前一節相同，相異處僅取自不同之時段。經變異數分析(ANOVA)，所得結果如下表 4-3，在 0.01 之信賴門檻下，仍有平均建築高度、空地的喬木覆蓋率以及建蔽率等三個因子對夜間降溫效果具高度之顯著性，其各因子之貢獻程度分別為 11.6%、68.9%與 11.4%，如圖 4-3 所示。其中「空地的喬木覆蓋率」是具決定性之控制變因(約佔七成之貢獻度)，意即基地內喬木覆蓋率越大則在夜間之降溫效果欲顯著，顯示喬木葉片之蒸發散效果以及在日間提供喬木底下與周遭鄰近區域之遮蔭效果，進而減少人工構造物之日間輻射吸收，也間接減少了夜間人工構造物的長波輻射量，因此會有較明顯的降溫效益。

圖 4-4 顯示了三個影響顯著之變因對夜間環境氣溫降溫之效果圖，呈現在不同之參數水準下各變因對夜間近地表氣溫影響之量化增溫或降溫效果。所有因子之各水準對應變量降溫效益(ΔT)之效果量整理如表 4-4 所示。整體 27 個案例之降溫效益平均值為 -0.316°C 。因此依據表 4-4 可整理為夜間降溫效益之預測總公式如式 4-6 所示，將各變因不同水準下之效果預測量(依式 4-7 至式 4-9)，依序加在平均值上而得到預測的夜間降溫效果。

表 4-3 夜間降溫效果之變異數分析表

欄位	S(平方和)	自由度	V(變異數)	F 值	貢獻度(%)	顯著程度
1.平均建築高度(m)	0.1567	2	0.0784	19.37	11.6	**
2.空地的喬木覆蓋率	0.9340	2	0.4670	115.47	68.9	**
5.人工鋪面區平均反射率	0.0282	2	0.0141	3.49	2.1	
8.空地的綠覆面積比	0.0256	2	0.0128	3.17	1.9	
9.空地的水體面積	0.0074	2	0.0037	0.91	0.5	
10.空地的透水鋪面面積	0.0011	2	0.0005	0.14	0.1	
12.建蔽率	0.1543	2	0.0772	19.08	11.4	**
交互作用(1X2)	0.0037	4	0.0009	0.23	0.3	
交互作用(1X5)	0.0274	4	0.0068	1.69	2.0	
Error	0.0162	4	0.0040		1.2	
Total	1.3547	26	0.6655		100.0	

註：(**：信賴區間<0.01, *：信賴區間<0.05)

(資料來源:本研究整理)

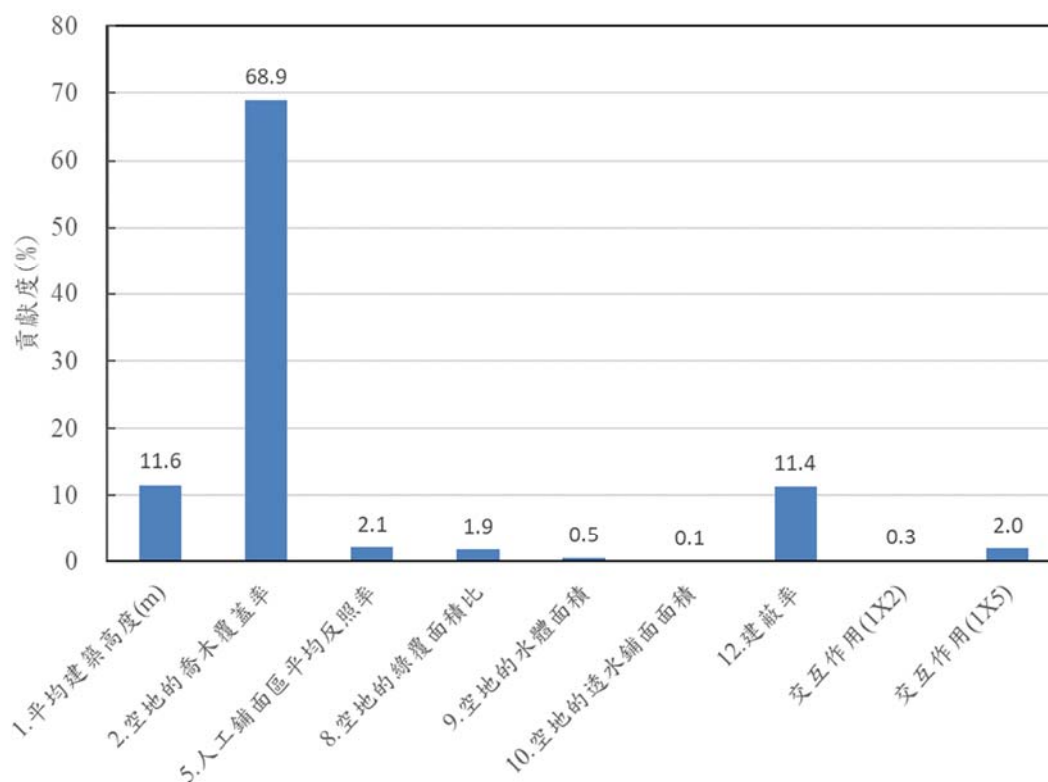


圖 4-3 夜間各因子對降溫效益之貢獻度

(資料來源:本研究整理)

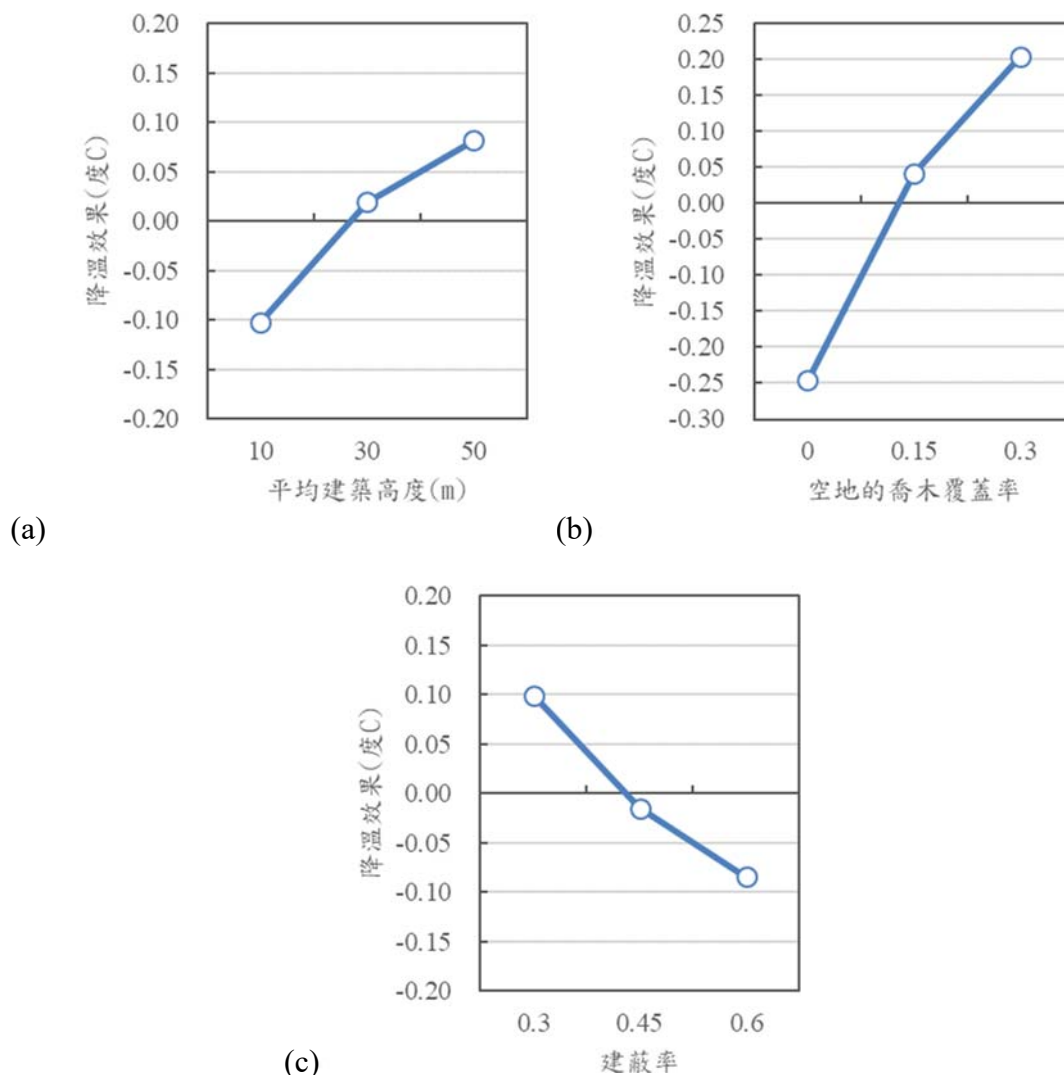


圖 4-4 夜間降溫之因子效果圖

(資料來源:本研究整理)

表 4-4 各因子降溫效果表(夜間)

因子效果表(單位:°C)			
目標值平均	-0.316		
因子水準	水準一	水準二	水準三
1.平均建築高度 A(單位:m)**	-0.102	0.020	0.082
2.空地的喬木覆蓋率 B**	-0.246	0.042	0.204
5.人工鋪面區平均反射率 C	-0.034	-0.010	0.044
8.空地的綠覆面積比 D	-0.040	0.004	0.036
9.空地的水體面積 E	0.023	-0.014	-0.009
10.空地的透水鋪面面積 F	-0.006	-0.003	0.009
12.建蔽率 G**	0.099	-0.015	-0.084
誤差項	0.000		

(資料來源:本研究整理)

夜間降溫效果 $\Delta T_a = -0.316 + \text{平均建築高度(A)的效果} + \text{空地喬木覆蓋率(B)的效果} + \text{建蔽率(G)的效果}$ (式 4-6)

其中：

$$\text{平均建築高度(A)的效果} = \begin{cases} 0.0061x_A - 0.1621 & , \text{當 } x_A < 30\text{m} \\ 0.0031x_A - 0.0739 & , \text{當 } x_A \geq 30\text{m} \end{cases} \quad (\text{式 4-7})$$

$$\text{空地喬木覆蓋率(B)的效果} = \begin{cases} 1.9205x_B - 0.2459 & , \text{當 } x_B < 0.15 \\ 1.0774x_B - 0.1195 & , \text{當 } x_B \geq 0.15 \end{cases} \quad (\text{式 4-8})$$

$$\text{建蔽率(G)的效果} = \begin{cases} -0.7616x_G + 0.3277 & , \text{當 } x_G < 0.45 \\ -0.4608x_G + 0.1923 & , \text{當 } x_G \geq 0.45 \end{cases} \quad (\text{式 4-9})$$

註： x_A =平均的建築高度(m)； x_B =空地的喬木覆蓋率(0 到 1 間之數值，無因次)； x_G =建蔽率(0 到 1 間之數值，無因次)

第五章 綠建築設計對提升環境熱舒適之效益分析

依據第三章第六節對於過熱嚴重度之計算方式，本研究將日間各案例開放空間逐時之 PET 大於 34°C 者之溫差進行過熱嚴重度(Θ)之累加，其單位為度時(K.hrs)，藉以描述綠建築設計對人行開放空間熱舒適之效益，因此擁有較低過熱嚴重度(Θ)之案例，代表該案之環境設計較能提供使用者熱舒適之空間品質。因此本節所謂提升環境熱舒適之效益是以「過熱嚴重度(Θ)」來表示。為方便分析，過熱嚴重度之計算是以較熱之日間 11 時至 16 時逐時之平均 PET 來進行過熱嚴重程度之累計，並作為變異數分析之應變數(預測變數)。表 5-1 呈現了各環境設計因子對過熱嚴重度之變異數分析結果，其結果顯示影響日間環境過熱嚴重程度最大者之變因為「平均建築高度」以及「空地的喬木覆蓋率」二變因，在信賴區間 <0.05 之情況下，二者皆具顯著性，貢獻度分別為 43.8%與 38.6%，是最顯著的二個變因。影響再次之者為「空地的綠覆面積比」，其對過熱嚴重度之影響程度亦有 8.1%。各因子對過熱嚴重程度之貢獻程度如圖 5-1 所示。較高平均建築高度之案例呈現較具熱舒適之環境，研判應是較高之建築提供較廣泛面積之遮蔭，進而大幅降低日間地面開放空間之平均輻射溫度，此效果與較高之喬木覆蓋率有較佳之環境遮蔭效果，皆對提升熱環境品質有正面之助益。

圖 5-2 顯示了三個影響較為顯著之變因對過熱嚴重度之效果圖，呈現在不同之參數水準下各變因對日間近地表熱舒適影響之量化效果。所有因子之各水準對應變量過熱嚴重度(Θ)之效果量整理如表 5-2 所示。整體 27 個案例之過熱嚴重度平均值為 74.835(°C 小時)。雖然「空地的綠覆面積比」因子在顯著程度上為跨過 0.05 之信賴區間門檻，但考量此因子之貢獻度仍有 8.1%，因此建議亦納入過熱嚴重度之預測模型中，以反應基地內綠地面積對提升環境熱舒適之重要性。因此依據表 5-2 可整理為日間過熱嚴重度之預測總公式如式 5-1 所示，將各變因不同水準下之效果預測量(依式 5-2 至式 5-4)，依序加在平均值上而得到預測的「過熱嚴重度」效果。

表 5-1 各因子對累積過熱嚴重程度效果之變異數分析表

欄位	S(平方和)	自由度	V(變異數)	F 值	貢獻度(%)	顯著程度
1.平均建築高度(m)	933.8	2	466.9	18.89	43.8	**
2.空地的喬木覆蓋率	823.6	2	411.8	16.66	38.6	*
5.人工鋪面區平均反射率	22.8	2	11.4	0.46	1.1	
8.空地的綠覆面積比	172.4	2	86.2	3.49	8.1	
9.空地的水體面積	3.5	2	1.8	0.07	0.2	
10.空地的透水鋪面面積	0.0	2	0.0	0.00	0.0	
12.建蔽率	62.1	2	31.1	1.26	2.9	
交互作用(1X2)	7.7	4	1.9	0.08	0.4	
交互作用(1X5)	6.5	4	1.6	0.07	0.3	
誤差項	98.9	4	24.7		4.6	
Total	2131.3	26	1037.4		100.0	

(資料來源:本研究整理)

註:**:信賴區間<0.01, *:信賴區間<0.05)

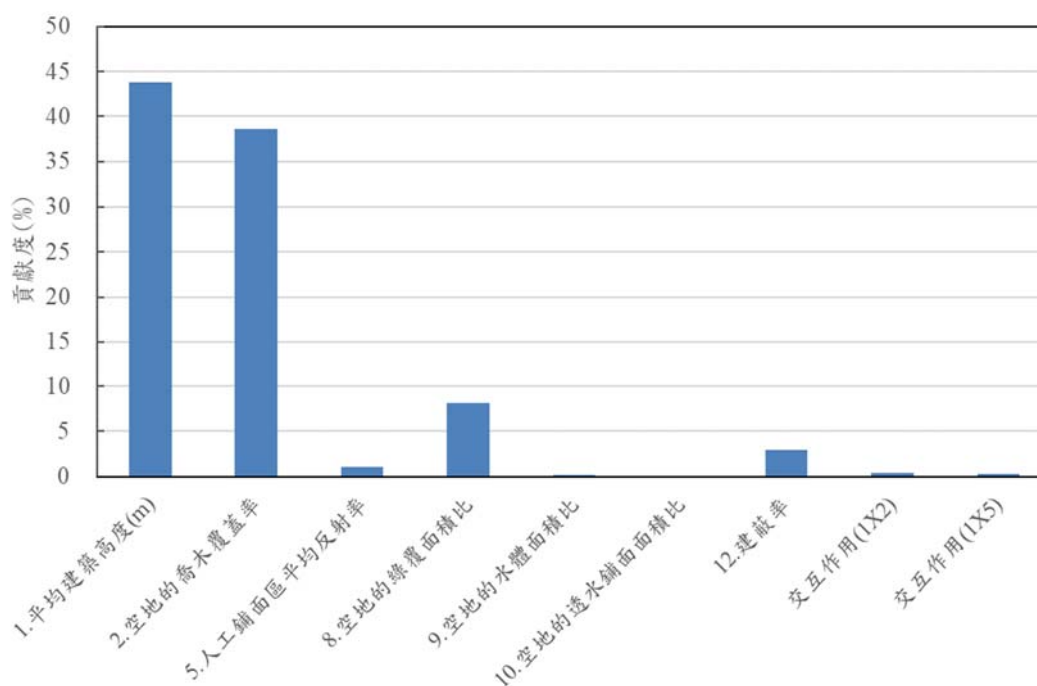


圖 5-1 各因子對累積過熱嚴重程度之貢獻度

(資料來源:本研究整理)

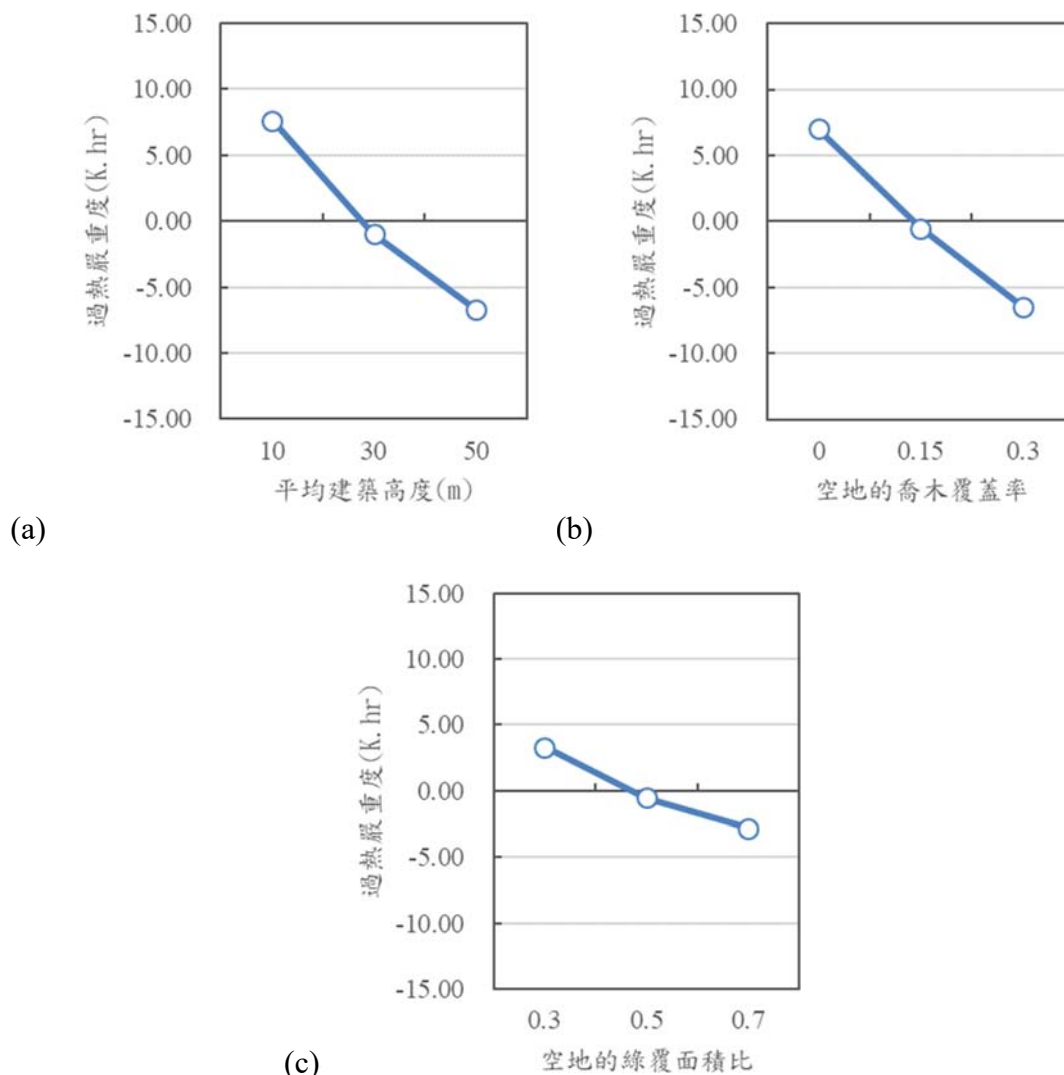


圖 5-2 過熱嚴重度之因子效果圖

(資料來源:本研究整理)

表 5-2 各因子對過熱嚴重程度之效果表(日間)

因子效果表			
過熱嚴重程度平均	74.835		
因子水準	水準一	水準二	水準三
1.平均建築高度 A(單位:m)**	7.634	-0.959	-6.675
2.空地的喬木覆蓋率 B*	7.022	-0.549	-6.473
5.人工鋪面區平均反射率 C	-1.255	0.921	0.334
8.空地的綠覆面積比 D	3.326	-0.531	-2.795
9.空地的水體面積 E	0.436	0.014	-0.450
10.空地的透水鋪面面積 F	0.026	0.018	-0.044
12.建蔽率 G	1.475	0.611	-2.086
誤差項	0.000		

(資料來源:本研究整理)

過熱嚴重度(Θ)= 74.835+平均建築高度(A)的效果+空地喬木覆蓋率(B)的效果+空地的綠覆面積比(D)的效果 (式 5-1)

其中:

$$\text{平均建築高度(A)的效果} = \begin{cases} -0.4296x_A + 11.9300 & , \text{當 } x_A < 30\text{m} \\ -0.2858x_A + 7.6155 & , \text{當 } x_A \geq 30\text{m} \end{cases} \quad (\text{式 5-2})$$

$$\text{空地喬木覆蓋率(B)的效果} = \begin{cases} -50.4710x_B + 7.0218 & , \text{當 } x_B < 0.15 \\ -39.4940x_B + 5.3752 & , \text{當 } x_B \geq 0.15 \end{cases} \quad (\text{式 5-3})$$

$$\text{空地的綠覆面積比(D)的效果} = \begin{cases} -19.2830x_D + 9.1106 & , \text{當 } x_D < 0.5 \\ -11.3200x_D + 5.1290 & , \text{當 } x_D \geq 0.5 \end{cases} \quad (\text{式 5-4})$$

註： x_A =平均的建築高度(m)； x_B =空地的喬木覆蓋率(0 到 1 間之數值，無因次)； x_D =空地的綠覆面積比(0 到 1 間之數值，無因次)

第六章 模式之應用

第一節 綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算

前二章完成了日夜間之降溫效果與過熱嚴重程度之預測模型，為了讓模式得以應用於綠建築案例之評估，本章說明綠建築指標內之評估內容如何應用到本研究所開發之模型上。在綠建築的評估中，與熱島降溫與環境熱舒適相關之指標計有綠化量指標與基地保水指標。表 6-1 整理了此二個綠建築評估指標內之評估要項如何換算對應於本文所開發之預測模式中。表中第一欄為預測模型中所使用到的因子，透過「計算方式」一欄與說明欄之定義，可換算為為代入預測模式使用變因之值(A、B、C、D 與 G)。其中「人工鋪面平均反射率」變因，由於在現行綠建築評估之體系內不評估此項，因此此處之數據以一般人工鋪面 0.3 帶入計算，而當使用者如可知人工鋪面之反射率者則可以實際反射率帶入計算，特殊鋪面材料者則需檢附鋪面材料表面反射率之實驗證明。而「平均建築高度」與「遮蔽率」則可藉由綠建築標章之申請資料內的基本圖說與建築執照或使用執照中之記載取值。

以綠化量指標而言，與熱島降溫與提升熱舒適相關之評估計有：生態複層、喬木與老樹保留等部分，需取用之數值如表 6-2 中虛線方框處，以表列之樹冠覆蓋面積作為預測因子「空地的喬木覆蓋率」之分子計算。在基地保水指標方面，主要是作為基地綠覆面積比之計算用途，由於本研究定義之「綠覆面積」除了表層為一般定義具有植被之綠地外，尚包括無人工鋪面之裸露土地，因此基地保水指標內只要是為於基地地面層且有關裸露地或綠地之部分皆可作為綠覆面積之計算。此外，值得注意的是「水體面積比」雖然在變異數分析時對應變量統計上不顯著，但其特性具類似綠地之降溫效果，因此亦可併入綠覆面積計算。故在綠覆率之面積計算上將包括了基地保水指標中有關 Q1 綠地、被覆地、草溝等、Q3 中花園土壤之覆蓋面積、Q4 中非人工鋪面之貯集滲透水池面積、Q5 地下貯集滲透保水設施上方無人工鋪面之面積、以及水體面積，如表 6-3 中之虛線方框處即可計入綠覆面積之範圍，直接由此評估表取值即可。

表 6-1 綠建築指標與預估因子之對應與計算說明

預估因子	綠建築評估指標之對應	計算方式	說明
平均建築高度(A)	無	$A = \frac{\sum h_i \times FA_i}{\sum FA_i}$	多棟建築時以地面層以上樓地板面積進行建築高度加權計算其平均建築高度。
空地的喬木覆蓋率(B)	綠化量指標	$B = \frac{A_{G1} + A_{G2} + A_{G3}}{A_s \times (1-r)}$	生態複層 AG1、喬木 AG2 與老樹保留 AG3 之栽種面積。
人工鋪面區平均反射率(C)	無	一般人工鋪面以 0.3 計算，如可知鋪面之反射率者以實際反射率計算(檢附鋪面材料表面反射率實驗證明)。	
空地的綠覆面積比(D)	基地保水指標	$D = \frac{A_{Q1} + A_{Q3} + A_{Q4} + A_{Q5} + A_w}{A_s \times (1-r)}$	空地綠覆面積之計算可包括位於基地地面層之(1)Q1 綠地、被覆地、草溝等、(2)Q3 中花園土壤之覆蓋面積、(3)Q4 中非人工鋪面之貯集滲透水池面積、(4)Q5 地下貯集滲透保水設施上方無人工鋪面之面積與(5)水體面積。
建蔽率(G)	無	直接由建築執照或使用執照內之實際建蔽率記載取值。	

(資料來源:本研究整理)

其中:

h_i : i 棟建築之高度(不含屋突)(m)

FA_i : i 棟建築之地面層以上樓地板面積(m²)

A_s : 基地面積(m²)

r : 實際建蔽率

A_{G1} : 生態複層栽種面積(m²)

A_{G2} : 喬木栽種面積(m²)，包括闊葉大喬木、闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木等。

A_{G3} : 保留老樹之栽種面積(m²)

A_{Q1} : 地面層綠地、被覆地或草溝之面積(m²)

A_{Q3} : 地面層花園土壤之覆蓋面積(m²)

A_{Q4} : 地面層非人工鋪面之貯集滲透水池面積(m²)

A_{Q5} : 位於地面層之地下貯集滲透保水設施，且上方無人工鋪面之面積(m²)

A_w : 地面層之水體面積(m²)

表 6-2 綠化量指標評估表內用於計算喬木覆蓋面積之欄位

植栽種類		栽種條件	固定量Gi	栽種面積Ai	計算值GixAi
生態 複層	大小喬木、灌木、花 草密植混種區	喬木種植間距3.5m 以下且土壤深度 1.0m以上	1200	_____m ²	
	喬木	闊葉大喬木	土壤深度1.0m以上	900	_____株x_____m ²
闊葉小喬木、針葉喬 木、疏葉喬木		土壤深度1.0m以上	600	_____株x_____m ²	
棕櫚類		土壤深度1.0m以上	400	_____株x_____m ²	
灌木		土壤深度0.5m以上 (每m ² 至少栽植4株 以上)	300	_____m ²	
多年生蔓藤		土壤深度0.5m以上	100	_____m ²	
草花花圃、自然野草地、 草坪		土壤深度0.3m以上	20	_____m ²	
老樹保留		米高徑30cm以上或 樹齡20年以上	900	_____株x_____m ²	
		600	_____株x_____m ²		

(資料來源:綠建築評估手冊 2015)

表 6-3 基地保水指標評估表內用於計算綠覆面積之欄位

保水設計手法		說明	設計值	保水量Qi
常用保 水設計	Q1綠地、被覆地、草溝保水量	綠地、被覆地、草溝面積 (m ²)		
	Q2透水鋪面設計保水量	透水鋪面面積 (m ²)		
	Q3花園土壤雨水截留設計保水量	花園土壤體積 (m ³)		
特殊保 水設計	Q4貯集滲透空地或景觀貯集滲透 水池設計	貯集滲透空地面積或景觀滲透水池 可透水面積 (m ²)		
		貯集滲透空地可貯集體積或景觀 貯集滲透水池高低水位間之體積 (m ³)		
	Q5地下礫石滲透貯集	礫石貯集設施地表面積 (m ²)		
		礫石貯集設施體積 (m ³)		
	Q6滲透排水管設計	滲透排水管總長度 (m)		
	Q7滲透陰井設計	滲透陰井個數		
	Q8滲透側溝	滲透側溝總長度 (m)		
Qn其他保水設計		由設計者提出設計圖與計算說明並 經委員會認定後採用		

(資料來源:綠建築評估手冊 2015)

第二節 實際綠建築案例試算

本節利用本研究所建立之熱島降溫與代表環境熱舒適之過熱重度預測模型，利用前一節在綠建築評估指標上之定義，以過去實際之綠建築標章或候選綠建築證書案例一共抽樣 12 個樣本進行試算之比較。所挑選之真實案例基本資料如表 6-4 所示，經查閱其申請資料從中取值後換算預測為預測所需之變因數值，結果如表 6-5 所示。表中之降溫效果是對比於位於都市中同一基地內在尚未開發前空曠無任何綠化之裸露地狀態而言，負值代表溫度比開發前來得高之意。評估結果日間降溫在 -0.08°C 至 -0.43°C 之間、夜間降溫在 -0.25°C 至 0.20°C 之間；而在過熱嚴重度評估方面，尚未開發前之裸露地狀態其日間過熱嚴重程度為 77.3 (K.hrs)，而此 12 個案例之評估結果其過熱嚴重度介於 47.6(K.hrs)至 75.8(K.hrs)之間。

表 6-4 綠建築案例試算基本資料

編號	標章分類	綠建築等級	建築概述	總樓地板面積 (m ²)	基地面積 (m ²)	建築面積 (m ²)	平均建築高度 (m)	空地面積 (m ²)	綠地面積 (m ²)	建蔽率	透水鋪面積 (m ²)	喬木栽種面積 (m ²)
案例 1	綠建築標章	銀級	12F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	6208.9	929.4	431.0	39.4	498.4	46.1	0.50	29.2	224.0
案例 2	綠建築標章	銀級	14F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	9522.6	1385.0	519.8	42.7	865.2	165.0	0.38	0.0	376.3
案例 3	候選綠建築證書	銀級	20F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	12143.9	1152.9	701.8	69.0	374.9	123.3	0.61	0.0	160.5
案例 4	候選綠建築證書	銀級	20F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	8742.6	1021.0	364.8	64.9	656.2	128.0	0.36	0.0	250.9
案例 5	候選綠建築證書	銀級	24F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	11819.0	1821.7	713.5	84.0	1108.2	267.3	0.39	0.0	707.0
案例 6	綠建築標章	銀級	12F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	8629.6	1178.0	457.7	40.9	720.3	182.9	0.45	0.0	208.0
案例 7	綠建築標章	銀級	27F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	23969.6	3093.0	996.4	100.0	2096.6	248.5	0.32	0.0	671.7
案例 8	綠建築標章	銀級	14F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	8460.7	1125.5	428.4	49.9	697.2	396.3	0.40	12.0	411.2
案例 9	綠建築標章	黃金級	13F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	3213.0	460.0	226.0	48.0	234.0	28.9	0.49	0.0	171.1
案例 10	綠建築標章	銀級	15F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	6041.1	859.0	391.1	58.3	467.9	74.7	0.46	109.3	184.4
案例 11	候選綠建築證書	銀級	12F 鋼骨鋼筋混凝土構造集合住宅	2215.3	306.0	151.1	45.8	154.9	34.9	0.49	0.0	70.2

案例 12	綠建築標 章	黃金 級	11F 鋼骨鋼筋混 凝土構造集合住宅	7962.8	1658.2	526.4	40.7	1131.8	285.4	0.32	0.0	404.5
----------	-----------	---------	-----------------------	--------	--------	-------	------	--------	-------	------	-----	-------

(資料來源:本研究整理)

表 6-5 真實案例試評結果

編號	標章分類	平均 建築 高度 (m)	建蔽 率	空地的喬木 覆蓋率	空地的綠 地面積比	日間降溫效果 (°C)	夜間降溫效 果 (°C)	過熱嚴 重度 (K. hrs)
案例 1	綠建築標章	39.4	0.50	0.24	0.29	-0.41	-0.17	70.6
案例 2	綠建築標章	42.7	0.38	0.27	0.39	-0.29	-0.04	66.5
案例 3	候選綠建築證 書	69.0	0.61	0.14	0.25	-0.42	-0.25	67.1
案例 4	候選綠建築證 書	64.9	0.36	0.25	0.37	-0.21	0.01	61.5
案例 5	候選綠建築證 書	84.0	0.39	0.39	0.53	-0.15	0.20	47.6
案例 6	綠建築標章	28.0	0.45	0.18	0.33	-0.43	-0.25	75.8
案例 7	綠建築標章	100	0.32	0.22	0.30	-0.08	0.12	54.1
案例 8	綠建築標章	49.9	0.40	0.37	0.72	-0.27	0.06	56.2
案例 9	綠建築標章	48.0	0.49	0.37	0.43	-0.34	0.01	60.1
案例 10	綠建築標章	58.3	0.46	0.21	0.30	-0.32	-0.11	66.0
案例 11	候選綠建築證 書	45.8	0.49	0.23	0.34	-0.38	-0.16	68.2
案例 12	綠建築標章	40.7	0.32	0.24	0.42	-0.26	-0.03	67.6

(資料來源:本研究整理)

註 1:降溫效果是對比於位於都市中同一基地內在尚未開發前空曠無任何綠化之裸露地狀態而言。

註 2:以 PET 超過 34°C 計算過熱嚴重度。

註 3:尚未開發前之裸露地狀態，其過熱嚴重程度為 77.3 (K.hrs)。

第七章 結論與建議

第一節 結論

本研究獲致以下成果：

1. 完成國內外有關都市熱島成因與國際上綠建築評估內容內有關都市熱島之評估方法回顧。
2. 完成都市微氣候模擬工具與實測之比對，確立電腦模擬之輸入參數。
3. 完成擬定都市熱島降溫與提升熱舒適模擬之環境因子與熱季外界氣候條件選定。
4. 以實驗計畫法之直交表規劃模擬實驗與建模之工作，建立量化之都市熱島降溫與戶外熱舒適(以過熱嚴重度表示)之預測模型：
 - (1) 在對日間降溫效益方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」、「人工鋪面區平均反射率」與「建蔽率」為影響較顯著之因子。
 - (2) 在對夜間降溫效益方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」與「建蔽率」為影響較顯著之因子。
 - (3) 在對戶外日間過熱嚴重度方面，以「平均建築高度」、「空地喬木覆蓋率」與「空地的綠覆面積比」為影響較顯著之因子。
5. 提出「綠建築指標對戶外降溫及舒適效益換算式」，使得綠建築評估系統內之綠化量指標與基地保水指標評估內容得以與本研究所開發之熱環境預測模式接軌以利模式之評估應用。
6. 完成實際綠建築標章或候選綠建築證書申請案例共 12 例之試算演示，應用本研究所開發之預測模式評估其開發前後對基地日夜間降溫之效果，以及進行基地過熱嚴重度之評估，以確立預測模式應用之可行性。

第二節 建議

建議一

建議應用本研究所建立之環境降溫與熱舒適評估預測模型，針對過去之綠建築案例進行評估，以量化綠建築對環境降溫與提升熱舒適上之量化效益，彰顯我國綠建築政策在改善都市微氣候上之成效：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

建議二

本研究為了探討在熱季中最嚴苛時綠建築設計對基地內降溫與熱舒適提升之效益，因此以幾近無風之狀態下進行探討。然而，都市風廊之創造以及基地內建築群之配置以提升通風品質與風速，與戶外熱舒適之提升有密切關係。建議後續可針對都市建築群之配置如何影響基地內通風以利降溫與提升熱舒適進行量化之研究。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

附錄一：期初審查意見回覆表

委員	委員評選意見	廠商回應
羅委員時麒	1. 本研究涉及我國之 EEW H 綠建築評估系統之檢討，考量國際評估體系已將熱島漸緩措施納入評估項目，為我國 EEW H 是否須全面納入各類型建築之綠建築評估，亟需進行相關研究。 2. 所研擬之換算式，係採數值模擬方法，是否能反映戶外降溫效益，請補充說明。另所提預測式，需考量後續之可操作性，最好有簡易對照表可查表填列。	1. 本研究擬將蒐集國際綠建築評估內有關都市熱島之評估內容，以探討我國是否需於綠建築評估中導入都市熱島之可行性。 2. 本研究預計產出之預測式將包括戶外降溫效益之預測，同時盡量簡化預測模型，以便於評估與操作。
陳委員麒任	3. 本研究採用田口式直交實驗法，規劃採用對都市熱環境影響較大之 8 個因子，是否有探討該因子彼此間之關聯性？若具相當程度關聯性時是否對模擬實驗結果造成誤差影響？ 4. 請說明如何挑選戶外實測場所？其代表性如何決定？是否符合典型之都市熱島特性？	3. 目前提出之 8 個因子，係基於過去之研究經驗而定，未來將視模擬研究之進行以及階段性成果，進行調整，以增進因子之解釋力並減少預測誤差。 4. 戶外實測僅作為數值模擬輸入參數之率定，未實際作為發展預測模型使用，因此亦都市熱島無代表性之問題。
李委員榮泰	5. 熱島效應之原因及對策為何？綠建築對應熱島之具體策略為何？ 6. 本研究如何處理風廊道(綠化)以及建物冷氣排熱問題？ 7. 動態模擬(CFD)輸入參數之正確性為何？是否考慮我國熱溼氣候以及使用冷房空調之特性？ 8. 擇定一處模擬之地點挑選？	5. 本研究將於初章中透過文獻回顧論及熱島效應之原因、改善對策等議題。 6. 感謝委員建議，人工發散熱源乃都市熱島成因中最複雜且難以解析之課題，且涉及都市街廓建築類型之組成等。有鑑於綠建築評估系統對此部分無法掌握，因此此議題，建議未來進一步另案探討。 7. 本研究之 CFD 模擬輸入將以本土化之參數進行之，以考量我國之氣候特性。 8. 本案模擬之樣本將透過實驗計畫法生成，以盡可能涵蓋所有可能之建成環境設計。
詹委員	9. 本研究擬以量化方式得出綠建築對都市熱島緩和及舒適度提升，綠覆率、高覆蓋面積比例、人工鋪面在之前有自強顧問公司以光達掃描得準確之數值，可納入本案參考。 10. 代表都市熱島之地區在目前取台大校園為例，是否得以反映都市熱島之代表性，請斟酌。	9. 感謝委員建議。 10. 本案戶外實測之選址僅作為數值模擬輸入參數之率定，未實際作為發展預測模型使用，因此亦都市熱島無代表性之問題。

附錄二：期中審查意見回覆表

委員	委員意見	廠商回應
林委員憲德	<p>11. 建議以修改原有社區型熱島評分比重來評，不必另創方法。</p> <p>12. 電腦模擬之可靠性值得懷疑，人工發熱、建築冷房、表面溫度之影響並無模擬，況且模擬誤差 0.712°C 並不小，其結果不可靠。</p> <p>13. CASBEE 建築截風面積之模擬不合理，因為實際風場分布並非如此。</p> <p>14. 本研究目的不明，研究結果並不可靠。建研所不應做重複研究疊床架屋，建議以原有熱島評估方式以便承先啟後。</p> <p>15. 地面反照率之名稱應改成地面反射率以統一名稱。</p>	<p>11. 本研究並非欲創立一個新的熱島評估方式。本研究之目的在於利用既有之綠建築指標，嘗試建立換算對微氣候與戶外熱舒適之改善效果，以作為未來量化綠建築在都市微氣候與熱舒適效益之換算基礎。</p> <p>12. 現地量測變數較多且不確定性較大，因此會有與模擬之偏差，然而實測比對之結果顯示模擬與實測之趨勢變化一致。</p> <p>13. 本研究已取消截風面積之評估。</p> <p>14. 同 1. 之回覆。</p> <p>15. 遵照辦理。</p>
梁委員漢溪	<p>16. 模擬 7 種變因(三種準則)，部分變因如何反應於綠建築措施(人工鋪面反射率)。</p> <p>17. 模擬與實測兩者之間關連性為何?輔助比較結果?模擬方格之認定對結果之認定，對此模擬為 2-D 之地表應提及，3-D 方向展現高差問題。</p>	<p>16. 人工鋪面反射率非為現行綠建築評估之因子，然而過去之文獻指出對於行人熱舒適會有影響，因此列為評估參數，未來應用時可以實際之反射率或以預設值帶入。</p> <p>17. 模擬與實測之比較目的在於驗證模擬之趨勢與實測呈現一致。本研究探討地面層人行活動範圍之微氣候，因此 3D 垂直方向之微氣候不在探討之列。</p>
陳委員俊芳	<p>18. 報告書 P26 表 0-3，屋頂取白色水泥反射率 0.25 是否直接以灰色屋頂較符實際?</p> <p>19. 台北幾乎全年吹東風 ENVI-met 採西風是否合適?</p>	<p>18. 感謝建議，已改為灰色混凝土屋頂。</p> <p>19. 經台北 TMY3 之氣象資料確認結果，夏季日間主要風向為西風。</p>
黃委員秀莊	<p>20. 有關綠建築對都市熱島緩和及舒適度量化效益評估對一般開發者及建築師來說，初期能最實際能夠判斷計算出來，就是黃教授所研究出空地綠地面積比及空地喬木覆蓋面積比率，希望此定義能有確定比例。</p>	<p>20. 感謝委員意見，「空地綠地面積比」及「空地喬木覆蓋面積比」之定義將詳述於報告中。</p>
楊委員欽富	<p>21. 都市熱島效應之實測位置南北差異很大，尤其北回歸線以南、北的情況完全不同。</p> <p>22. 評估因子應再考慮都市周圍之河流、湖泊之影響。另外在海拔高度、坡度、日夜之實測點都有影響。</p> <p>23. 截風面積並不能反映風場，因為有渦流之影響。</p>	<p>21. 本研究之實測僅為了驗證 ENVI-met 之可行性。</p> <p>22. 感謝委員建議，然而本研究之尺度為建築基地尺度，而比較之對象為同一基地內未開發前之微氣候狀態，在自我比較之原則下，基地周遭與都市環境之影響不在探討之</p>

	<p>24. 對於海綿城市對熱島之影響並要論述。</p>	<p>列。</p> <p>23. 本研究已取消截風面積之評估</p> <p>24. 同 12.之回覆，都市環境如海綿城市對基地內之影響非為討論之範疇。</p>
謝委員國璋	<p>25. 本案代表都市熱島之地區係取「台大校園」為例，然此例絕大部分分為所有植栽、鋪面等，而本案研究既標為「綠建築」對都市熱島緩和及舒適度提升之效益評估，建議依「綠建築規範」設計營造之建物及其周遭環境為評估標的。</p>	<p>25. 感謝委員建議，本研究實測是為了驗證 ENVI-met 之可行性，與所選地點無關。另，本研究所建立之預測模式將考量與整合綠建築評估之內容，以便於應用，詳第六章所述。</p>
王委員榮吉	<p>26. 本研究針對綠建築之戶外降溫及熱舒適提升之分析、替代效益評估、可行性分析...等，綠建築推行以具有許多具體成果，未來專家、學者會議是否可擴大邀請綠建築業主建築設計師及公務部門(綠建築業主)參與座談。</p> <p>27. 目前有所謂「高雄厝」、「台南厝」、「台中厝」、「屏東厝」對都市熱島緩和以及舒適度提升之量化效益有什麼關聯性，請作此分析研究。</p>	<p>26. 感謝委員意見。</p> <p>27. 感謝委員意見，本研究乃希冀提出由綠建築評估之參數以量化降溫與熱舒適效益，單一案例之評估非為本研究之內容。</p>
陳委員瑞鈴	<p>28. 綠建築之效益評估，長期以來均以節能節水量為重點，較少著眼於綠建築對生態、永續、環境調和、降低環境負荷等效益，原因在於這些效益量化不易，故本研究針對綠建築在緩和熱島效應及舒適度提升進行量化效益研究，對一般民眾瞭解綠建築及推動普及綠建築有所助益。</p> <p>29. 報告書圖 0-5 及 0-6 模擬與實測溫度趨勢圖均以實線呈現不易辨識，請修正為不同圖示以利閱讀。</p> <p>30. 台北市長年風向應參考本所委託朱佳仁教授實測研究為基礎。</p>	<p>28. 感謝委員意見。</p> <p>29. 感謝委員提醒，已修正。</p> <p>30. 本研究長年盛行風向之定義取自於所內過去之研究以台北標準氣象年 TMY3 分析而得，該氣象年亦基於中央氣象局之台北一級測站之數據製作而成。</p>
彭委員宏益	<p>31. 報告中有關熱季月之描述不一致(有 5-10 月及 6-9 月)。</p> <p>32. PET>34°C 時即判定為過熱，其為代表台灣所有地區或是北、中、南部有其各自不同判定溫度?</p>	<p>31. 感謝委員建議，本研究定義之熱季為 6-9 月。</p> <p>32. 根據本研究參考文獻(Lin and Matzarakis 2008)為適用台灣本土戶外之熱舒適範圍，適用於台灣各地，且熱不舒適之起算溫度，各地亦不宜相異，方可互為比較。</p>

附錄三：期末審查意見回覆表

委員	委員意見	廠商回應
陳委員俊芳	<p>1.P32 第 5 點，提及高反射鋪面材料，會因短波輻射熱導致人體熱不舒適性，似與 EEWH-EC 之 P.22 之(4) 稍有牴觸?建議具體就鋪面材質、色調提出設計要點</p> <p>2.P57 表 6-4、P58 表 6-5「候選綠建築標章」，建議修正「候選綠建築證書」；表 6-4 於 P58 建議增列表頭提高可讀性。</p> <p>3.於第 7 章結論，建議將本研究成果(日間、夜間降溫貢獻、日間過熱之顯著因子，納為 EEWH-BC 評估項目(可於室內環境指標室外環境指標，或增加室外環境指標)，及 EC 版之通風、地面遮蔭等降溫手法，同時以迴廊銜接之遮蔭設施，導引民眾延長停留於使用低溫、通風、舒適之戶外空間，降低耗能及增進居民互動。</p> <p>4.現行 EEWH-EC 申請書案件甚少，故建議將本研究成果及 EC 版之既有評估項目(通風、遮蔭(地面屋頂)，納入 BC 版，以提升室外環境品質。</p>	<p>1.鋪面反射率對環境空氣溫度與人體熱舒適間之關係不同。高反射率材料可減少日間日射輻射之吸收進而降低人工鋪面之長波放射，有助於減緩氣溫之上升；但高反射率材料的高日射反射會加重熱不舒適之情形是因為提高了平均輻射溫度，兩者效用不同。</p> <p>2.感謝委員建議，遵照辦理。</p> <p>3.感謝委員建議，本研究將可提供作為未來綠建築修訂之參考。</p> <p>4.感謝委員建議，綠建築版本間之整合非本研究範疇。</p>
楊委員欽富	<p>5.研究成果符合預期。</p> <p>6.對影響因子建築物高度與建蔽率，此兩因子應可整合成建築物表面積的因子。</p>	<p>5.感謝委員肯定。</p> <p>6.建築物之高度提供遮蔭之效果，若以表面積作為因子，恐無法量化遮蔭之效益。</p>
曹委員書生	<p>7.基地案例(表 6-4)應加入基地周圍之概述如道路寬度、人行步道、行道樹、幾面臨路等，其將影響評估結果。</p> <p>8.基地面積從 306m² 至 3093m² 是否影響評估結果，或是界定基地面積的規模來檢討分類。</p>	<p>7.此表僅將說明案例中可帶入之因子帶入本研究所製作的模式中，無法考量基地周圍之情況，有待後續研究。</p> <p>8.由於本研究提出之預測式皆以相對於基地或空地面積之比例計算，因子基地面積大小應不至於影響評估之結果。</p>
張委員矩壩	<p>9.對本案的研究標的而言基地規模也是一個重要的因子，基地規模夠大較有機率蓋出具規模的降溫設施，也較有效益，從實際案例的分析也看的出來，小基地能留設的空地暨零散又不完整，較難有很好的利用。</p> <p>10. 現行的熱島效應也只在此版檢討，也就是有相當的規模才有評估的意義。尤其是本計畫是在假設無風的狀態下，而實際上氣流的影響將會改善更多的效益，但在單一基地(尤其是小基地)是無法評估的。</p> <p>11. 要改善都市的熱島效應，程序上應由都市較外圍區逐步向市區中心推進，需要都市計畫或是都市設計單位的配合。</p> <p>12. 以保水指標的 Q1(裸露地)、Q3 花園土壤、Q5 礫石似乎不見得能代表綠覆面積，是否仍需從後續的綠化指標選取</p>	<p>9.感謝委員建議，由於本研究提出之預測式皆以相對於基地或空地面積之比例計算，基地規模造成綠化或基地保水設計上之潛力將可反映在以比例為換算基礎之獨立變數上。</p> <p>10. 本研究以假定最嚴苛之氣候狀態下發展預測式，因此暫訂以幾近無風之狀態進行探討。</p> <p>11. 感謝委員建議。</p> <p>12. 本研究對「綠覆面積」之定義為土壤層可直接與近地表空氣接觸者，其物理意義為土壤層內之水氣可透過潛熱與大氣進行熱交換，進而產生降溫之效果。因此只要是具有裸露地表之基地元素，無論其上方是否有植被皆可視為綠覆面積。未來規劃取用基地保水指標內之面積數據，才能較完整取得基地設計之所有裸露地面積。</p>

附錄四：專家學者諮詢會議記錄

- 一、 時間：107年05月28日(一)下午4時00分
- 二、 地點：內政部建築研究所13樓會議室一
- 三、 主席：黃國倉 副教授
- 四、 出/列席者：陳海曙、王婉芝、黃恩浩、徐虎嘯、陳盈樺、賴怡廷、
陳世禎、王海涯
- 五、 主席致詞：(略)
- 六、 計畫簡報：(略)
- 七、 專家意見：

陳海曙教授

1. 本研究之量化效益，與其他相關研究也是有量化效益分析，有何不同，何須再建立新的量化方式。
2. 本研究採用田口方法建立預測模型，是否需要以實測做修正以建立一個更佳量化模型？
3. 以實例改善案例作為模型建立，再以模型反推原本之環境條件，作為量化效益之評估方式。

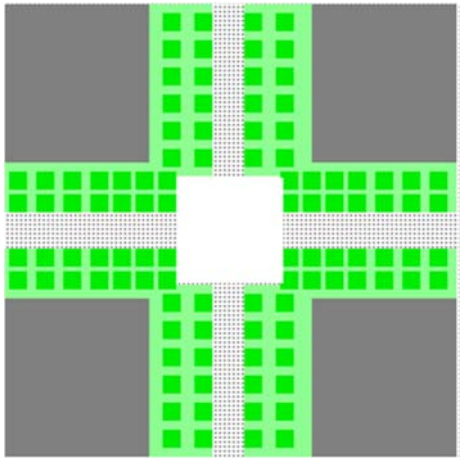
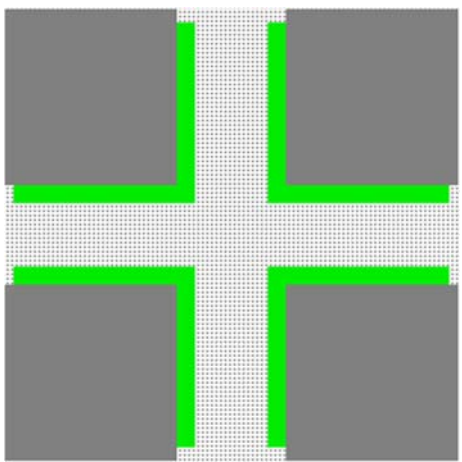
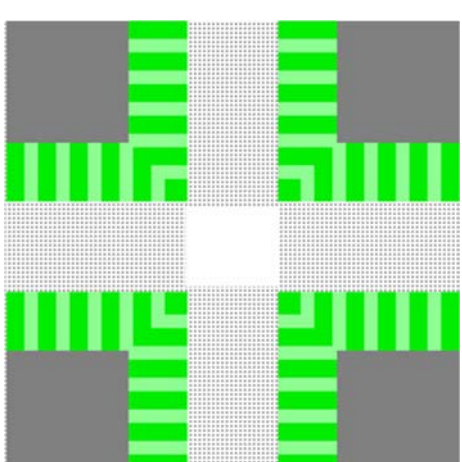





徐虎嘯研究員

1. 本研究提及之綠覆率於各縣市之法規中訂定均不同，須清楚描述綠覆率之定義方便日後執行
2. 能否驗證CFD之模擬與實地情況之趨勢相符合？建議與現地實測做比對

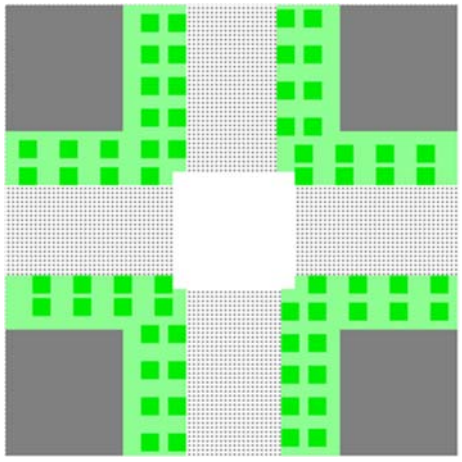
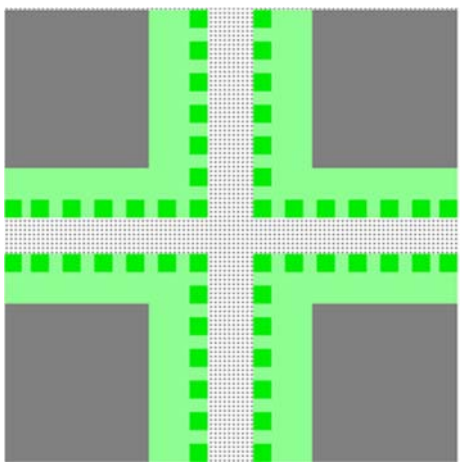
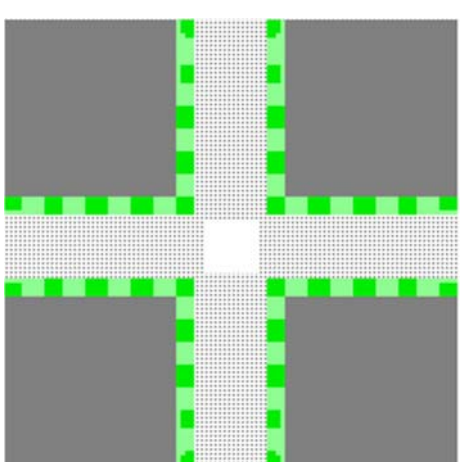





附錄五：27 個直交表模擬實驗案例

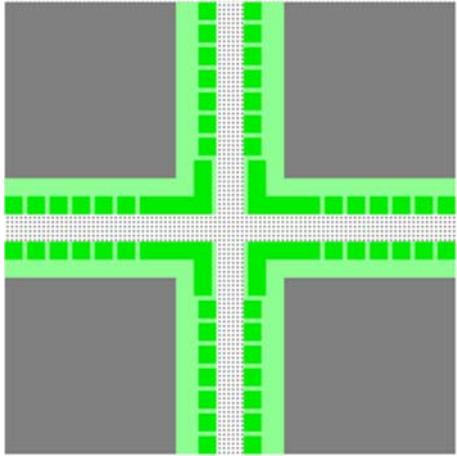
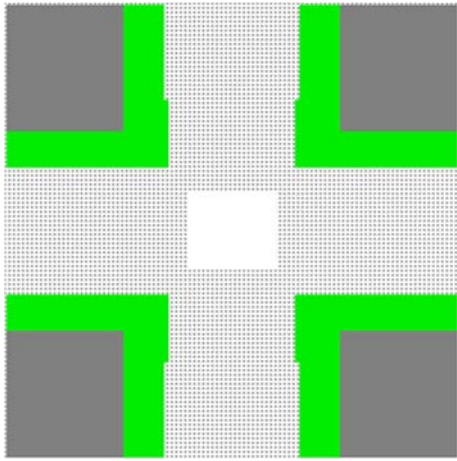
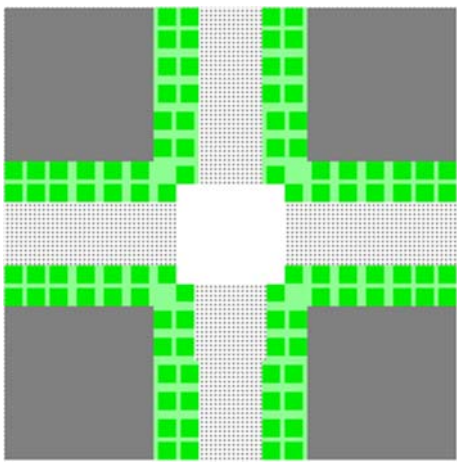





模擬案例 1				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	10	0.3
模擬案例 2				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	10	0.45
模擬案例 3				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	10	0.6
<p>喬木 草地 建築物 水體 鋪面 </p>				

模擬案例 4				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	10	0.6
模擬案例 5				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	10	0.3
模擬案例 6				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	10	0.45
喬木 草地 建築物 水體 鋪面				

模擬案例 7				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	10	0.
模擬案例 8				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	10	0.3
模擬案例 9				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	10	0.6
喬木  草地  建築物  水體  鋪面 				

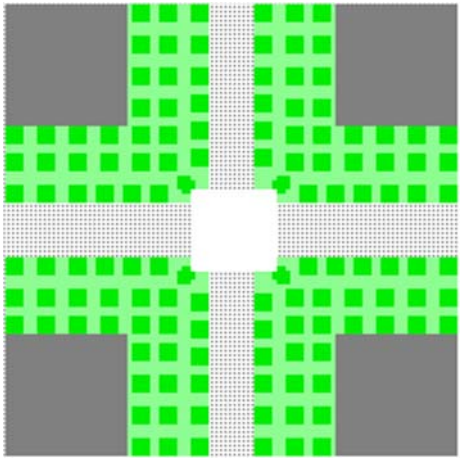
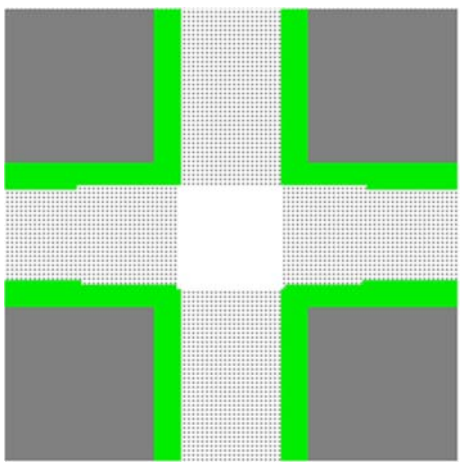
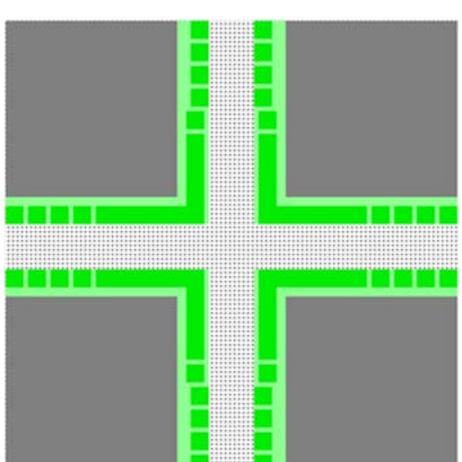


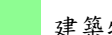


模擬案例 10				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	30	0.45
模擬案例 11				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	30	0.6
模擬案例 12				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	3	0.3
喬木 草地 建築物 水體 鋪面				

模擬案例 13				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	30	0.3
模擬案例 14				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	3	0.45
模擬案例 15				
平面配置	因子水準表			
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.5	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	30	0.6
<p>喬木  草地  建築物  水體  鋪面 </p>				

模擬案例 16				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	30	0.6
模擬案例 17				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	30	0.3
模擬案例 18				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	30	0.45
喬木  草地  建築物  水體  鋪面 				

模擬案例 19				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	50	0.6
模擬案例 20				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0.	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	50	0.45
模擬案例 21				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	50	0.45
喬木 草地 建築物 水體 鋪面				

模擬案例 22				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	50	0.45
模擬案例 23				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	50	0.6
模擬案例 24				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0.15	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	50	0.3
喬木 草地 建築物 水體 鋪面				

模擬案例 25				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.7	0.05	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.1	50	0.3
模擬案例 26				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.3	0.1	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.1	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.3	50	0.45
模擬案例 27				
平面配置		因子水準表		
	因子	空地的綠覆面積比	空地的水體面積比	
	水準	0.5	0	
	因子	空地的透水鋪面面積比	空地的喬木覆蓋率	
	水準	0.2	0.3	
	因子	人工鋪面平均反射率	平均建築高度 (m)	建蔽率
	水準	0.5	50	0.6
喬木  草地  建築物  水體  鋪面 				

參考書目

1. Ali-Toudert, F. and H. Mayer (2007). "Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons." *Solar Energy* **81**(6): 742-754.
2. Bakarman, M. A. and J. D. Chang (2015). The Influence of Height/width Ratio on Urban Heat Island in Hot-arid Climates. *Procedia Engineering*.
3. Bowler, D. E., L. Buyung-Ali, T. M. Knight and A. S. Pullin (2010). "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence." *Landscape and Urban Planning* **97**(3): 147-155.
4. Bruse, M. and H. Fler (1998). "Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model." *Environmental Modelling & Software* **13**(3–4): 373-384.
5. Cao, A., Q. Li and Q. Meng (2015). Effects of Orientation of Urban Roads on the Local Thermal Environment in Guangzhou City. *Procedia Engineering*.
6. Carnielo, E. and M. Zinzi (2013). "Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand." *Building and Environment* **60**: 56-65.
7. Chen, H., R. Ooka, H. Huang and T. Tsuchiya (2009). "Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation." *Building and Environment* **44**(11): 2290-2299.
8. Coutts, A. M., E. C. White, N. J. Tapper, J. Beringer and S. J. Livesley (2016). "Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments." *Theoretical and Applied Climatology* **124**(1-2): 55-68.
9. Fahmy, M. and S. Sharples (2009). "On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt." *Building and Environment* **44**(9): 1907-1916.
10. Fahmy, M., S. Sharples and M. Yahiya (2010). "LAI based trees selection for mid latitude urban developments: A microclimatic study in Cairo, Egypt." *Building and Environment* **45**(2): 345-357.
11. Höppe, P. (1999). "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment." *International Journal of Biometeorology* **43**(2): 71-75.
12. Harlan, S. L. and D. M. Ruddell (2011). "Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation." *Current Opinion in Environmental Sustainability* **3**(3): 126-134.
13. Herrmann, J. and A. Matzarakis (2012). "Mean radiant temperature in idealised urban canyons-examples from Freiburg, Germany." *International Journal of Biometeorology* **56**(1): 199-203.
14. Huang, K.-T. and Y.-J. Li (2017). "Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: A parametric analysis using orthogonal experiment." *Energy and Buildings* **154**: 448-464.
15. Huang, K.-T., T.-P. Lin and H.-C. Lien (2015). "Investigating Thermal Comfort and User Behaviors in Outdoor Spaces: A Seasonal and Spatial Perspective." *Advances in Meteorology* **2015**.

16. Huttner, S. (2012). Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met, Johannes Gutenberg-Universität.
17. Jamei, E., P. Rajagopalan, M. Seyedmahmoudian and Y. Jamei (2016). "Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **54**: 1002-1017.
18. JSBC (2010). "CASBEE for Heat Island (CASBEE-HI)." Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC).
19. Konarska, J., B. Holmer, F. Lindberg and S. Thorsson (2016). "Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a high-latitude city." *International Journal of Climatology* **36**(5): 2379-2395.
20. Lee, H., H. Mayer and L. Chen (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.
21. Lin, T.-P., A. Matzarakis and R.-L. Hwang (2010). "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort." *Building and Environment* **45**(1): 213-221.
22. Lin, T.-P., K.-T. Tsai, C.-C. Liao and Y.-C. Huang (2013). "Effects of thermal comfort and adaptation on park attendance regarding different shading levels and activity types." *Building and Environment* **59**(Supplement C): 599-611.
23. Mavrogianni, A., M. Davies, M. Batty, S. E. Belcher, S. I. Bohnenstengel, D. Carruthers, Z. Chalabi, B. Croxford, C. Demanuele, S. Evans, R. Giridharan, J. N. Hacker, I. Hamilton, C. Hogg, J. Hunt, M. Kolokotroni, C. Martin, J. Milner, I. Rajapaksha, I. Ridley, J. P. Steadman, J. Stocker, P. Wilkinson and Z. Ye (2011). "The comfort, energy and health implications of London's urban heat island." *Building Services Engineering Research and Technology* **32**(1): 35-52.
24. Nyuk Hien, W., L. Chun-Qing and Y. Wei (2016). "Effect of Street Design on Outdoor Thermal Comfort in an Urban Street in Singapore." *Journal of Urban Planning and Development* **142**(1).
25. Perini, K. and A. Magliocco (2014). "Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort." *Urban Forestry & Urban Greening* **13**(3): 495-506.
26. Russo, A., F. J. Escobedo and S. Zerbe (2016). "Quantifying the local-scale ecosystem services provided by urban treed streetscapes in Bolzano, Italy." *AIMS Environmental Science* **3**(1): 58-76.
27. Salata, F., I. Golasi, A. d. L. Vollaro and R. d. L. Vollaro (2015). "How high albedo and traditional buildings' materials and vegetation affect the quality of urban microclimate. A case study." *Energy and Buildings* **99**: 32-49.
28. Santamouris, M., N. Papanikolaou, I. Livada, I. Koronakis, C. Georgakis, A. Argiriou and D. N. Assimakopoulos (2001). "On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings." *Solar Energy* **70**(3): 201-216.
29. Santamouris, M., A. Synnefa and T. Karlessi (2011). "Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions." *Solar Energy* **85**(12): 3085-3102.
30. Sanusi, R., D. Johnstone, P. May and S. J. Livesley (2016). "Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer." *Journal of Environmental Quality* **45**(1): 167-174.

31. Schrijvers, P. J. C., H. J. J. Jonker, S. R. de Roode and S. Kenjereš (2016). "The effect of using a high-albedo material on the Universal Temperature Climate Index within a street canyon." *Urban Climate* **17**: 284-303.
32. Smith, C. and G. Levermore (2008). "Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world." *Energy Policy* **36**(12): 4558-4562.
33. Takebayashi, H. (2015). "Evaluation of wind environment in street canyon for use in urban climate map." *Journal of Environmental Engineering (Japan)* **80**(715): 795-801.
34. Taleb, D. and B. Abu-Hijleh (2013). "Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE." *Renewable Energy* **50**: 747-762.
35. Taleb, H. and D. Taleb (2014). "Enhancing the thermal comfort on urban level in a desert area: Case study of Dubai, United Arab Emirates." *Urban Forestry and Urban Greening* **13**(2): 253-260.
36. Taleghani, M., L. Kleerekoper, M. Tenpierik and A. van den Dobbelen (2015). "Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands." *Building and Environment* **83**: 65-78.
37. Taleghani, M., D. J. Sailor, M. Tenpierik and A. van den Dobbelen (2014). "Thermal assessment of heat mitigation strategies: The case of Portland State University, Oregon, USA." *Building and Environment* **73**: 138-150.
38. United Nations. (2014). "World Urbanization Prospects." <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>.
39. Wang, Q., J. Tenhunen, N. Q. Dinh, M. Reichstein, D. Otieno, A. Granier and K. Pilegard (2005). "Evaluation of seasonal variation of MODIS derived leaf area index at two European deciduous broadleaf forest sites." *Remote Sensing of Environment* **96**(3-4): 475-484.
40. Xuan, Y., G. Yang, Q. Li and A. Mochida (2016). "Outdoor thermal environment for different urban forms under summer conditions." *Building Simulation* **9**(3): 281-296.
41. Yahia, M. W. and E. Johansson (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* **125**: 1-16.
42. 何明錦 and 黃國倉 (2013). 臺灣建築能源模擬解析用逐時標準氣象資料 TMY3 之建置與研究. 台北, 內政部建築研究所.
43. 林憲德, 林子平 and 蔡耀賢 (2014). "綠建築評估手冊-社區類." 內政部建築研究所.

綠建築對都市熱島緩和及舒適度提升之量化效益評估研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王安強、黃國倉、曾毅振、陳世禎、李宜臻

出版年月：107年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-05-7463-0（平裝）