

綠建築基地喬木綠化樹冠遮蔭防熱之研究

陳海曙*(Chen, Hai-Shu)
中國科技大學建築系所

柯俊佑(Ke, Chun-You)
中國科技大學建築研究所

摘要

目前我國大多建築規劃設計時，對基地內既有喬木不重視而將其移除或砍伐，造成原有環境喬木形成的遮蔭功能、蒸散作用消失，讓基地微氣候及都市熱島問題逐漸惡化。基地喬木遮蔭可創造環境冷卻效果，對減輕都市熱島及節能減碳有所助益，因此喬木綠化設計應考量樹冠遮蔭冷卻之機能與其種植策略。目前國內有關基地喬木熱環控的研究不多，提高喬木遮蔭防熱設計策略探討也欠缺。

本研究依據喬木不同樹形外觀，進行喬木地面與牆面樹冠遮蔭防熱實地調查實驗。結果顯示，水平地面遮蔭表面溫度降溫效果，高闊密喬木溫差為 28.5°C，高闊稀喬木溫差為 21.5°C，兩種喬木相差 7°C。垂直牆面遮蔭表面防熱效果，低樓層喬木遮蔭比高樓層無喬木遮蔭溫差平均值高 4.6°C。水平地面之遮蔭防熱效果以樹冠濃密度影響最明顯，其次是樹冠寬闊度；垂直牆面之遮蔭防熱效果則以樹冠高低度較為重要。

關鍵字：綠建築、都市熱島、樹冠遮蔭、喬木綠化

A Study of Tree Canopy Shading for Green Building Site Thermal Control

Abstract

In the early time, due to ignoring the importance of existing trees in a building site, the most of the trees were cut off in the design stage, that resulted to the lost of solar shading and evaporation effect of the site, and caused the change of local microclimate and deterioration of urban heat island effect. In fact, the tree shade creates the cooling effect for the building site which do help the mitigation of heat island effect and energy saving. Consequently building tree design should develop a strategy of tree planting for better canopy shade and site thermal cooling effect. Currently the research papers about site tree thermal control is few, and the design strategies of tree shading for building cooling also limit.

In this study some field measurements regarding to different type of tree and their canopy shade effect and thermal response both horizontal and vertical plane are conducted. The study results show that the tree canopy with large size and dense leaf will produces better solar shading effect. The temperature cooling differences among them are from 28.5°C by high and wide and dense canopy to 12°C by high and wide and loose canopy for the ground surface, and from 10.3°C by high and narrow and dense canopy to 1.3°C by low and narrow and loose canopy for the wall surface.

Key Word : green building, urban heat island, tree canopy shade, tall tree greenery

一、研究動機與目的

早期台灣日式建築庭園，都種植喬木做為遮蔭防熱之目的，但現今國內建築於規劃設計時，大多對基地內既有喬木不重視而將其移除或砍伐，造成原有環境喬木創造的遮蔭功能、蒸散作用消失，使得都市地區因缺少喬木樹冠遮蔭，讓基地微氣候及都市熱島問題逐漸惡化。我國相關研究顯示，台灣的熱浪主要發生在台北都市內，主要原因是都市熱島效應造成的，並非完全是全球暖化的影響。1960年左右，台北一年只有四天熱浪，但現在一年大約有十天（劉紹臣，2012）。我國都市最高溫度常高達 35°C ，造成台灣夏季熱環境不舒適，進而造成空調耗電增加，外氣溫每增加 1°C 會增加約6%的空調耗電量（陳海曙，2012），都將讓都市熱島及全球暖化問題更顯惡化。由於亞熱帶熱濕環境的台灣，對於都市熱島的降溫比起溫寒帶國家更具敏感，因此我國必須去重視都市熱島退燒的方法。據相關研究結果顯示，喬木樹群綠蔭可創造環境冷卻效果，對於溼熱氣候區基地微氣候調節效果佳，能降低都市氣溫達 3.8°C （陳海曙，2006），對減輕都市熱島及節能減碳有所助益。相關研究結果顯示，喬木成樹之遮蔭性，依據樹幹高度、樹冠寬窄性與樹葉叢的密稀度，喬木樹冠樹形等，可概分為高闊密、高闊稀、高窄密、高窄稀、低闊密、低闊稀、低窄密、低窄稀等八種類型，其樹冠遮蔭潛力值彼此會有很大差異（陳海曙，2012）。喬木對基地熱環境調節及熱島效應會有不同的影響，故不能將綠化量之 CO_2 固定量做直接轉換，目前國內有關基地喬木熱環控的量化研究不多，提高喬木遮蔭防熱設計策略也欠缺，因此有必要對各類喬木熱環控的效果及影響，做進一步實測與調查。本研究之目的如下：(1)進行建築基地喬木樹冠密稀度對水平地面遮蔭熱效應因子調查及分析；(2)進行建築基地喬木樹冠密稀度及高度對垂直牆面遮蔭熱效應因子調查及分析；(3)找出我國綠建築最適化之喬木樹冠遮蔭防熱綠化設計之策略。

二、喬木樹種遮蔭防熱潛力之理論探討

(一) 喬木樹冠遮蔭防熱之分類

喬木樹冠可提供的環境遮蔭能力，並分為對水平地面的遮蔭及對垂直牆面的遮蔭兩種。前者的樹冠生長需要水平延伸，使其地面投影面積大而有良好遮蔭效果，以減少地面太陽熱的照射與吸收；後者的樹冠需要垂直高聳，讓牆面投影面積大而提高遮蔭效果，減少牆面太陽熱的照射與吸收，就不會有過多的日射熱量形成蓄熱物體，而達到自然的防熱冷卻效果。喬木樹形會因為緯度與海拔的高度而有所差異，於高海拔與高緯度的地區較容易發現圓柱形樹冠，在低緯度的地區則以傘形、圓錐形的樹冠形式較多。隨著緯度的差異，喬木樹冠形狀的變化會受光吸收效率有所影響。在高緯度地區的太陽日射高度角小而偏低，因此圓柱形的樹冠能獲得較大的直射光，而低緯度地區則是以傘形的樹冠較能獲得多來自頂部照射的直射光（Oliver、Larson，1990）。喬木樹冠能提供水平與垂直的遮蔭能力，而影響喬木遮蔭效果的條件有三種，分別是喬木樹形的高度、樹冠的闊窄度及樹葉叢的濃密度，皆會使喬木的遮蔭範圍與效果有所差異。喬木遮蔭防熱潛力分類，與樹木葉片本身的面積大小、形狀、色澤並無直接關係，而是與其樹體的高度，

樹冠的寬闊性，以及樹葉叢的濃密度等三者較有直接關係(陳海曙，2012)。

(二) 喬木綠化對基地微氣候調節之影響評估





日間太陽照射時，因為樹林內的氣溫較低、空氣密度大，樹林外之空地則氣溫較高，將會造成熱對流的物理作用，林內的冷空氣會向林外的較熱空地流動，夜間則會相反，因此利用自然的空氣環流作用，應用於人口密集的都會區，對於減輕都市熱島及降低空氣污濁度，具有深遠影響。美國綠建築評估系統LEED-NC (2009) 提出基地面積50%的硬鋪面部份，可採用現有的喬木樹冠進行遮蔭，或是種植喬木綠化，以利用環境綠化技術減少蓄熱材料的熱吸收，並確保在未來至少5年以上持續提供樹冠遮蔭之功能。喬木樹冠遮蔭之所以能夠達到降低環境溫度之效益，主要原因是葉片可降低，太陽直射光的穿透性(一般約在10~30%左右)，葉片重疊越多，則透過的日射量將會相對的減少(新田伸三，1985)。樹冠對日射消耗熱能作用佔約35~41% 總日射熱能，水分蒸散潛熱作用約佔19~32%總日射熱能，樹冠反射作用約佔20%之總日射熱能。植物樹冠所提供之隔熱效果約佔了80%之總日射熱能(張簡宏裕，2002)。根據文獻資料顯示，一棵喬木在夏季的蒸發量可以達到一天200~400公升，草地上方的相對濕度可增加20%左右(新綠化空間設計指南2，1998)，且在公園綠地周圍局部區域每增加10%的綠覆率，在夏季所能提供的降溫效果有0.2~0.6°C(郭柏巖，2000)。因此在市中心設置大規模的喬木綠化，則有利於都市內創造都市冷島，改善都市熱島效應的問題。

三、喬木地面及牆面遮蔭防熱實驗結果整理

本實驗計畫係選定位台北地區大學校園之喬木遮蔭案例做為研究範圍，調查案例如表一。使用攜帶式量測儀器進行各種實驗，其實驗方式說明如下：

(1)依據相關研究之喬木樹形分類條件，於校園挑選符合條件之實際樹形，分為水平面遮蔭之高闊密與高闊稀兩種喬木，及西晒牆面遮蔭之高窄密與低窄稀兩種喬木，作為本實驗喬木遮蔭熱效應及微氣候因子調查分析對象。(2)配合每小時太陽變化，實測喬木遮蔭在全日晴條件下之熱效應。水平面遮蔭測點皆為柏油鋪面道路；垂直面遮蔭測點皆為同類磁磚貼面牆面。(3)利用攜帶式紅外線熱像儀測計，量測各測點在太陽日射下之表面溫度。並利用溫度計，量測樹蔭下之環境氣溫。

表一 喬木遮蔭調查對象選定案例

水平地面遮蔭案例	1	樹種/實際樹形	榕樹/高闊密	
		樹冠高/樹冠直徑	19m/18m	
		測點材質	柏油道路	
	2	樹種/實際樹形	樟樹/高闊稀	
		樹冠高/樹冠直徑	14m/12m	
		測點材質	柏油道路	
垂直牆面遮蔭案例	1	樹種/實際樹形	白千層/高窄密	
		樹冠高/樹冠直徑	16m/7.4m	
		測點材質	紅色磁磚	
	2	樹種/實際樹形	阿勃勒/高窄稀	
		樹冠高/樹冠直徑	11m/8m	
		測點材質	紅色磁磚	

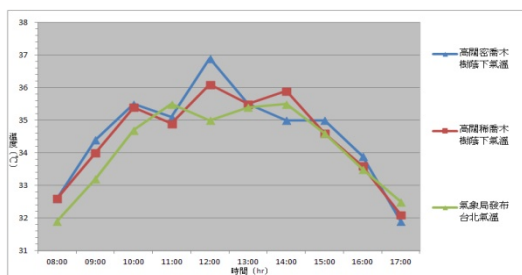
經過現場調查量測得到表面溫度、環境氣溫、日射熱之統計結果，整理如表二，及圖一、圖二、圖三、圖四所示。由表二及圖一顯示，水平地面樹蔭下環境氣溫，最高溫度出現時段為中午12點，其中高闊密喬木為36.9°C，高闊稀喬木則

為36.1℃；於下午5點高闊稀喬木為32.5℃，高闊密喬木則降到31.9℃。

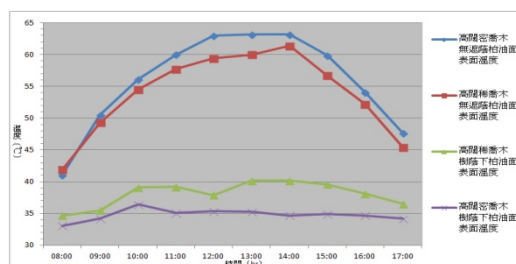
表二 喬木遮蔭案例量測結果統計

測量喬木種類	測量時間	氣候狀況 測點 量測項目	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
			■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天	■晴天 □陰晴 □雨天
水平地面案例	高闊密喬木	樹蔭中心氣溫℃	32.6	34.4	35.5	35.1	36.9	35.5	35.0	35.0	33.9	31.9
		樹蔭下表面溫度℃	33.1	34.2	36.4	35.1	35.4	35.3	34.7	34.9	34.7	34.2
	參考點表面溫度℃	41.1	50.5	56.1	60.0	63.0	63.2	63.2	59.9	54.1	47.7	
	氣象局發布台北溫度℃	31.9	33.2	34.7	35.5	35.0	35.4	35.5	34.6	33.5	32.5	
高闊稀喬木	樹蔭中心氣溫℃	32.6	34.0	35.4	34.9	36.1	35.5	35.9	34.6	33.6	32.1	
	樹蔭下表面溫度℃	34.7	35.5	39.1	39.2	37.9	40.2	40.2	39.6	38.1	36.5	
垂直牆面案例	高窄密喬木	1樓樹蔭中心氣溫℃	31.9	33.5	34.5	35.9	36.3	36.1	35.9	36.0	35.9	34.9
		6樓測點表面溫度℃	30.3	30.7	32.1	32.7	34.3	38.7	40.2	44.3	45.1	43.1
		5樓測點表面溫度℃	29.7	29.9	30.3	31.2	33.5	38.4	40.0	44.1	44.3	38.6
		4樓測點表面溫度℃	30.3	30.4	30.9	31.8	34.2	38.3	39.6	40.4	36.8	36.2
		3樓測點表面溫度℃	31.6	31.6	31.5	32.0	34.7	38.3	37.4	37.8	36.6	36.1
		2樓測點表面溫度℃	31.1	31.2	31.6	31.9	34.7	38.7	36.5	36.8	35.7	35.7
	低窄稀喬木	1樓樹蔭中心氣溫℃	32.2	33.6	35.0	35.8	36.6	36.1	36.1	36.1	35.4	34.6
		3樓測點表面溫度℃	31.1	31.1	32.5	34.1	35.5	40.4	43.8	43.8	44.7	40.3
		2樓測點表面溫度℃	31.2	31.1	32.2	33.7	35.2	39.5	39.3	39.2	37.8	36.0
		參考點表面溫度℃	30.5	31.1	31.8	32.2	35.0	39.3	40.9	45.2	46.0	43.2
氣象局發布台北溫度℃	30.8	32.2	33.8	35.1	35.9	35.4	35.7	35.1	34.9	34.0		
備註	1.牆面測點皆為西晒面。2.上午8點至12點無太陽直接照射，標示為深灰色；下午有受樹冠遮蔭，標示為淺灰色。											

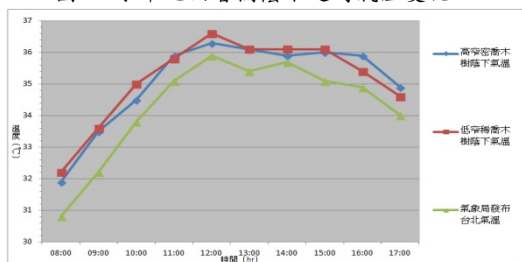
由表二及圖二顯示，水平面樹蔭下之表面溫度，最高溫出現的時間點及溫度，分別為高闊稀喬木下午1點與2點40.2℃、高闊密喬木為上午10點36.4℃；於下午5點高闊稀喬木為36.5℃，高闊密喬木為34.2℃。由表二及圖三顯示，牆面樹蔭下之最高氣溫，多集中於中午時段，其中以低窄稀喬木環境氣溫最高為36.6℃，其次為高窄密喬木36.3℃。當日下午5點測點環境氣溫皆為34℃，高窄密喬木為34.9℃，而低窄稀喬木為34.6℃。由表二及圖四顯示，牆面最高表面溫度，高窄密喬木6樓下午4點是45.1℃，其次為5樓下午4點是44.3℃、4樓下午3點是40.4℃、3樓下午1點是38.3℃、2樓下午1點是38.7℃；低窄稀喬木3樓下午4點是44.7℃，其次為2樓下午1點是39.5℃。至下午5點，受樹冠遮蔭的牆表面溫度皆在36℃左右，沒有受高窄密喬木樹冠遮蔭的6樓與5樓分別為43.1℃與38.6℃；而高窄密喬木2樓及3樓的表面溫度，分別為35.7℃與36.1℃。低窄稀喬木2樓及3樓的表面溫度，分別為36.0℃與40.3℃。



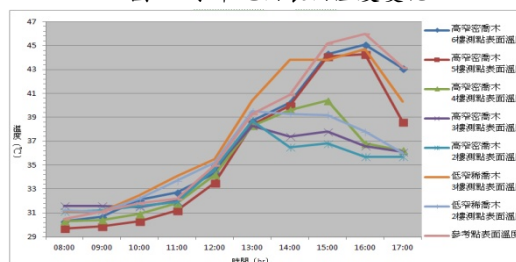
圖一 水平地面層樹蔭下逐時氣溫變化



圖二 水平地面表面溫度變化



圖三 1樓地面層牆邊樹蔭下逐時氣溫變化



圖四 牆面表面溫度變化

四、綜合分析比較

(一) 水平地面喬木遮蔭環境氣溫分析

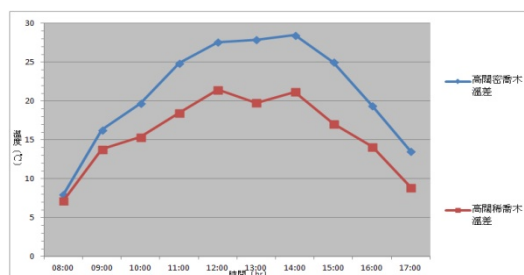
將高闊密喬木與高闊稀喬木氣溫測值做比對，得到遮蔭對周邊氣溫降溫影響，如表三所示。高闊密喬木遮蔭處氣溫略高，應是受到高闊密喬木所在位置周邊環境氣溫較高影響所致。

表三 水平地面喬木樹冠遮蔭下氣溫比較(°C)

測量時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	加總
高闊密喬木	32.6	34.4	35.5	35.1	36.9	35.5	35.0	35.0	33.9	31.9	
高闊稀喬木	32.6	34.0	35.4	34.9	36.1	35.5	35.9	34.6	33.6	32.1	
Δt	0	0.4	0.1	0.2	0.8	0	-0.9	0.4	0.3	-0.2	1.1

(二) 喬木遮蔭水平地面防熱效果分析

將高闊密喬木及高闊稀喬木樹蔭下地面表面溫度分別與參考點地面表面溫度做比對，得到喬木水平遮蔭降溫效果，如表四及圖五所示。結果顯示高闊密喬木最大溫差為28.5°C，與高闊稀喬木最大溫差21.5°C多出7°C；高闊密喬木表面溫差平均值為21.08°C，高闊稀喬木為15.75°C，前者多出5.33°C。因此得知樹冠密度高對地面表面溫度的降溫多，故防熱效果較佳。



圖五 水平地面喬木樹冠遮蔭表面溫差變化

表四 水平地面喬木樹冠遮蔭下表面溫差(°C)

測量時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	平均
高闊密喬木	8.0	16.3	19.7	24.9	27.6	27.9	28.5	25.0	19.4	13.5	21.08
高闊稀喬木	7.2	13.8	15.4	18.5	21.5	19.8	21.2	17.1	14.1	8.9	15.75

(三) 垂直牆面喬木遮蔭環境氣溫分析

將高窄密喬木與低窄稀喬木氣溫測值做比對，得到喬木垂直遮蔭對周邊氣溫降溫影響，如表五所示。結果顯示高窄密喬木遮蔭處氣溫多較低，各小時溫差值加總為-0.6°C，降溫效果較佳。由於兩種喬木所在位置相近，周遭環境條件相似，因此喬木樹冠密度大對環境氣溫調節效果較佳。

表五 垂直牆面喬木樹冠遮蔭下氣溫比較(°C)

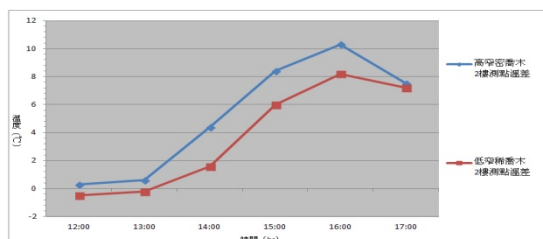
測量時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	加總
高窄密喬木	31.9	33.5	34.5	35.9	36.3	36.1	35.9	36.0	35.9	34.9	
低窄稀喬木	32.2	33.6	35.0	35.8	36.6	36.1	36.1	36.1	35.4	34.6	
Δt	-0.3	-0.1	-0.5	0.1	-0.3	0	-0.2	-0.1	0.5	0.3	-0.6

(四) 喬木遮蔭垂直牆面防熱效果分析

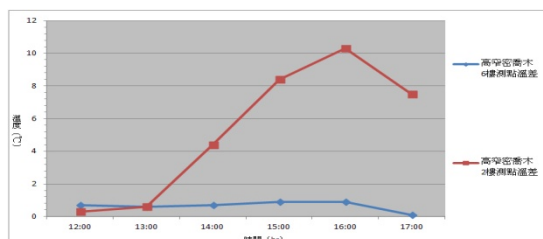
將高窄密喬木及低窄稀喬木牆面表面溫度與參考點表面溫度做比對，得到喬木垂直遮蔭降溫效果，如表六及圖六所示。結果顯示在2樓時，高窄密喬木最大溫差為10.3°C，與低窄稀喬木最大溫差8.2°C多出2.1°C；高窄密喬木表面溫差平均值為5.25°C，低窄稀喬木為3.77°C，前者多出1.48°C。因此得知樹冠密度大對牆面表面溫度的降溫較多，故防熱效果佳。

將高窄密喬木6樓與2樓牆面表面溫度與參考點表面溫度做比對，得到喬木垂直遮蔭降溫效果，如表七及圖七所示。結果顯示6樓最大溫差為0.9°C，與2樓最大

溫差 10.3°C 少掉 9.4°C ；6樓表面溫差平均值為 0.65°C ，3樓為 5.25°C ，少於 4.6°C 。因此得知牆面長時間遮蔭，比完全無遮蔭表面溫度的降溫大，故防熱效果佳。



圖六 喬木垂直牆面樹冠遮蔭表面溫差變化



圖七 牆面6樓無遮蔭與2樓喬木樹冠遮蔭表面溫差變化

表六 垂直牆面喬木樹冠遮蔭表面溫差($^{\circ}\text{C}$)

測量時間		12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	平均
測量喬木及高度								
高窄密喬木	2樓	0.3	0.6	4.4	8.4	10.3	7.5	5.25
低窄稀喬木	2樓	-0.2	-0.2	1.6	6.0	8.2	7.2	3.77

表七 垂直牆面6樓全無喬木遮蔭處與2樓長時間喬木樹冠遮蔭表面溫差($^{\circ}\text{C}$)

測量時間		12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	平均
測量高度								
6樓(無遮蔭)		0.7	0.6	0.7	0.9	0.9	0.1	0.65
2樓(長時間遮蔭)		0.3	0.6	4.4	8.4	10.3	7.5	5.25

五、結論與建議

(一) 結論

本研究進行各種喬木遮蔭防熱效果實驗，結果顯示水平地面高闊密喬木樹蔭下表面溫度最高溫差比高闊稀喬木多 7°C ，平均溫差值多 5.33°C ，故樹冠密度高對地面防熱效果較佳。牆面高窄密喬木樹蔭下表面溫度最大溫差比低窄稀喬木多 2.1°C ，平均溫差值多 1.48°C ，故樹冠密度大對牆面防熱效果較佳。低樓層牆面有遮蔭比高樓無遮蔭牆面溫度差多 9.4°C ，平均溫差值多 4.6°C ，因此牆面長時間遮蔭，比完全無遮蔭者防熱效果較佳，故喬木高度大對牆面防熱有明顯助益。

(二) 建議

由研究結果得知，喬木樹冠之樹葉濃密度高低對水平地面及垂直牆面遮蔭防熱效果有正面影響，因此為達調節基地微氣候及降低都市熱島目的，基地綠化應多選用樹冠密度大之喬木較適當。喬木樹形高度大小，對垂直牆面遮蔭防熱效果影響大，因此為達降低外殼東西晒熱負荷及都市熱島目的，牆邊綠化應多選用樹形高度大的喬木較適合。如果基地硬鋪面多的情況下，為減少都市熱島現象應多種闊密之喬木為佳。不同喬木樹種之遮蔭防熱特性不同，未來各喬木之遮蔭防熱係數應予以研擬建立，以利基地綠化設計之參考與規範。

參考文獻

- 許晃雄、陳正達、盧孟明、陳永明、周佳、吳宜昭等，臺灣氣候變遷科學報告 2011，行政院國家科學委員會，2011。
- 陳海曙，綠建築基地綠化喬木樹冠遮蔭防熱潛力分類之研究，2012 第四屆第一次會員大會暨第十屆年營建工程研究成果發表會論文集，2012。
- 陳海曙，濕熱氣候區都市熱島效應緩和之對策-以都市戶外空間綠地及廣場為例，台日建築環境與文化國際研討會論文集，2006。
- Oliver C.D., B.C. Larson I, Forest stand dynamics. McGraw-Hill, New York, 1990。
- USGBC, LEED Reference Package For New Construction & Major Renovations, 2009。
- 新田伸三原，植栽理論與技術，詹氏書局，1985。
- 張簡宏裕，屋頂覆土植栽之熱收支研究-以鵝掌藤為例，國立台灣科技大學營建工程系碩士論文，2002。
- 新綠化空間設計指南 2 技術手冊，日本株式會社誠文堂新光社，1998。
- 郭柏巖，都市公園微氣候觀測解析，國立成功大學建築研究所博士論文，2000。