

熱適應於景觀環境研究之趨勢分析與展望

謝 燕 芬¹⁾ 吳 振 發²⁾ 歐 聖 榮³⁾

關鍵字：熱環境、熱舒適、調適行為

摘要：20 世紀中期以後，受到全球暖化與氣候變遷影響，全球平均氣溫逐漸升高，極端氣候事件發生比率亦相對提升，使得熱適應對人類的影響越趨重要。然而目前熱適應的研究對於研究的趨勢、未來可能的研究方向，仍然十分模糊。本研究目的為釐清不同熱適應分類間的關係及熱適應和熱舒適間的關係，並提出熱適應研究的趨勢及未來可能的研究方向，作為未來在景觀環境領域相關研究發展的參考。本研究應用文獻回顧法，回顧 35 篇熱適應相關文獻，論述熱適應之重要性及目前熱舒適相關研究，分別進行理論定義、調查方法、熱適應研究重要結果、熱適應分類、熱適應理論模型等五個主題進行探討，以深入了解熱適應理論。研究結果顯示生理、心理及行為適應各有優缺點、相同與相異處，行為適應為民眾最常使用之熱適應方式，但心理適應對熱舒適感受影響也很大。而熱不適會產生壓力，影響保護動機，再影響熱適應。並可發現未來於景觀領域的熱適應相關研究，戶外熱環境、心理適應及各種影響因子對熱舒適與熱適應的影響為重要探討領域，而嚴寒與濕熱地區則為全球重要探討區域。

前 言

20 世紀中期以後，受到全球暖化與氣候變遷影響，全球平均氣溫逐漸升高，極端氣候事件發生比率亦相對提升（中央氣象局，2014；李思瑩、盧孟明，2010），氣溫變化加劇，使得熱環境不舒適機率相對提高。Lin 與 Matzarakis (2008)、Spagnolo 與 de Dear (2003) 的研究皆提及熱環境 (thermal environment) 是一項重要的研究領域，熱環境的變化時常影響人

1) 國立中興大學園藝學系博士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

3) 國立中興大學園藝學系教授。

們的生活，會讓人們產生熱、冷、濕黏或乾燥等生理上的不舒適，並且會影響人們的心情 (Keller *et al.*, 2005)。於熱環境感到不舒適時，熱適應 (thermal adaptation) 便隨之產生，熱適應調查可以讓研究者更了解人們在熱不適 (thermal discomfort) 狀態下的反應，對於提升人們在都市戶外空間的熱舒適 (thermal comfort) 是很重要的。過去許多學者皆提及熱適應的重要性，Rohles (1980) 在炎熱的夏天，於都市街道與公園草地上的測試，熱舒適指標PMV呈現+3 (熱)，但同時民眾表示他們覺得相當舒適，此過程熱適應便扮演了重要的角色，Hensel (1981) 亦提及熱舒適會受到身體的自主調適及行為調整的影響，Lin (2009) 及Lin、de Dear與Hwang (2010a) 提及根據能量平衡所得之熱指數不能完全解釋戶外熱環境的偏好，戶外熱環境偏好還受到經驗、期望及知覺控制等心理調適因素及行為調適因素的影響，Nikolopoulou與Steenackers (2003) 亦曾提及心理適應的重要性，它能用來解釋客觀和主觀舒適評價之間的巨大差異，補充單純使用微氣候參數解釋熱舒適度的不足，因此探討熱適應議題對人們在熱環境中產生不舒適感的改善十分重要。

熱適應理論自70年代中期開始，針對石油衝擊便陸續有研究進行探討 (Brager and de Dear, 1998)，過去研究者探討各式熱適應方式，來了解其對人體熱舒適感受的影響，然而目前熱適應的研究尚處於啟蒙階段，尤其在戶外熱環境，對於熱適應的內涵、研究的趨勢、未來可能的研究方向，仍然十分模糊。本研究應用文獻回顧法，回顧熱適應相關文獻，論述熱適應之重要性及其在熱舒適相關研究上的應用，並以理論定義、調查方法、熱適應研究重要結果、熱適應分類、熱適應理論模型等五個主題進行探討，以深入了解熱適應理論。依據上述之研究背景動機及重要性的陳述，本研究主要的研究目的乃在了解熱適應的理論內涵，過去室內外研究主要調查方式，有哪些重要結果，並比較生理、心理和行為適應的異同及優缺點，以釐清不同熱適應分類間的關係及熱適應和熱舒適間的關係，並提出熱適應研究的趨勢及未來在景觀環境領域可能的研究方向，作為未來熱舒適與熱適應相關研究發展的參考。

文 獻 回 顧

一、理論定義

人類在熱環境不舒適時的因應方式，過去有許多文獻進行調查及研究，回顧相關研究可以發現過去研究多使用「熱適應」及「調適行為」進行名詞定義，由相關研究可發現，熱適應及調適行為在針對熱環境的調適都有研究使用，其中調適行為 (Coping behavior) 源起於心理學研究領域，早期研究多提出心理調適方式，如壓抑、合理化、投射 (James and Norman, 1992)，調適行為之研究包含豐富主題，在遊憩衝突調適、商業管理調適、災難調適、壓力調適、疾病調適等不同領域皆有相關研究，應用到熱環境領域後則為心理和行為調適並用，探討包含產品轉移、合理化、移置、直接行動等調適行為 (高珮詩, 2007)。

於熱舒適研究領域較常將對熱環境的調適以熱適應稱之，熱適應早期研究多提出生理或行為的調適，如馴化、服裝調整 (Brager and de Dear, 1998)，而後發現心理調適亦有很大的影響，漸漸有研究探討心理適應，如期望、經驗 (Lin *et al.*, 2010a)。而過去的熱適應相關研究與熱舒適有密不可分的關係，熱舒適理論起源於 60 年代，美國冷凍空調協會 (ASHRAE) 在美國堪薩斯州立大學環境實驗室中，進行大量的實驗研究，得到了熱舒適條件的數據。Fanger (1972a) 提出影響熱舒適的因子，包括物理環境因子的溫度、濕度、風速、輻射，以及人體的代謝量和衣著量，之後開始有許多研究針對熱舒適進行探討。以下針對調適行為、熱適應及熱舒適加以定義。

(一) 調適行為 (Coping behavior)

調適行為是單一或整體的心理過程，提出策略去對抗環境的適應要求，當這樣的要求使他受到壓力或超過個人的調節能力 (Stewart, 2009)。Lazarus 與 Folkman 在 1984 年所提出的壓力/調適理論 (transactional stress/coping theory) 提出個人和情境因子會影響認知評估，產生壓力時，會出現調適反應進而影響長時間和短時間的結果，此調適反應即為調適行為，為當壓力產生時個體會產生調適的行為 (高珮詩, 2007)。

(二) 熱適應 (Thermal adaptation)

American Psychological Association [APA] (2007) 提及適應為調整心理過程 (認知、情感和行為)，使他們反應環境需求，作出回應。熱適應早期研究多在室內環境，早期研究將之定義為逐漸減少對重覆環境刺激的生物反應，並納入建築居住者為了改進「適合」室內氣候，以符合個人或共同需求的經歷 (Brager and de Dear, 1998)。後續研究將研究範圍擴展至室內外環境，熱適應定義便不單指在改進室內氣候，其定義也變更為室內外環境皆適用，為人們自發的採取行動，讓自己感覺熱舒適 (Lin *et al.*, 2010a)，Nikolopoulou (2004) 提及熱適應為人們經歷改變適合的環境及需求的所有過程。並經由反覆接觸刺激，逐步減少對環境的反應，包括使他們適合在這樣的環境中生存的所有行動 (Nikolopoulou and Steemers, 2003)。為人透過與環境相互影響、更改自己的行為、逐漸使自己的期望與熱環境相平衡，創造偏好的舒適環境 (Brager and de Dear, 1998)。由彙整結果可歸納熱適應之定義為人調整心理過程 (認知、情感和行為) 或採取行動，以反應對熱環境的需求，創造偏好的舒適環境的所有過程。

(三) 熱舒適 (Thermal comfort)

Hensen (1991) 提出熱舒適為不會驅使人以行為去修正環境的狀態；ASHRAE (1992) 指出熱舒適的具體條件為 80% 以上的使用者表示當下氣候條件為可接受之熱環境；ISO 7730 (1994) 表示熱舒適為人體對當下所處的熱環境表示滿意時的狀況，需經由詢問當下熱環境使用者的舒適與否而得知；Nikolopoulou 與 Steemers (2003) 認為熱舒適是一種對於熱環境之調適過程，為了達到心理與生理之平衡；ASHRAE (2004) 提出，熱舒適為心中對熱環境表示滿意的情況；Djongyang、Tchinda 與 Njomo (2010) 描述，熱舒適為心理或滿意度的情況，其強調舒適的看法是認知的過程，涉及許多身體、生理、心理和其他因

素的影響。綜合以上可得出，「熱舒適」被表示為人對所處的熱環境表示滿意時的狀況，為 80% 以上的使用者表示當下氣候條件為可接受，受許多身體、生理、心理和其他因素的影響，是一動態的認知調適過程。

二、調查方法

熱適應的調查方法在實驗型研究與室內外熱適應研究中，可以發現研究者有幾項不同的做法。

(一) 實驗型研究：

在實驗型研究中，研究者多利用請受測者到實驗室，在固定溫度、衣著、姿勢、及停留時間的情況下進行熱感覺調查，主要用以分析馴化的影響 (Chung and Tong, 1990; de Dear *et al.*, 1991; Fanger, 1972b; Fanger *et al.*, 1977; Fanger and Langkilde, 1975; Gonzalez, 1979; Humphreys, 1994b)。

(二) 室內外熱適應研究：

在室內外熱適應調查的研究中，研究者則有不同的調查方法，包含：1. 利用熱環境物理因子及人體生理因子測量，搭配詢問熱舒適度，調查人體自主調適 (Black and Milroy, 1996; Rowe *et al.*, 1995)；2. 搭配主觀因子及社經背景問卷，分析心理適應的間接影響 (林子平、林彥廷, 2007; Cena *et al.*, 1986; Hwang *et al.*, 2010; Lin, 2009; Lin *et al.*, 2010a)；3. 搭配穿著服裝等行為調整的觀察，分析熱適應與熱環境狀態的關係 (黃靜宜, 2005; de Dear and Brager, 1998; Fishman and Pimbert, 1982; Humphrey, 1994a; Hwang *et al.*, 2010; Nakano and Tanabe, 2004; Nicol and Raja, 1996; Nicol *et al.*, 1994)；4. 搭配熱適應策略問卷調查，分析熱適應策略與熱環境狀態及熱感覺的關係 (李建鋒, 2008; 林子平、林彥廷, 2007; 吳芋菁, 2011; 高珮詩, 2007; 鄭明仁等人, 2009; Baker and Standeven, 1994, 1996; Benton and Brager, 1994; Hwang and Chen, 2010; Indraganti, 2010; Leaman and Bordass, 1993; Lin, 2009; Lin *et al.*, 2010b)。

在熱環境物理因子及人體生理因子的測量方法則可依研究用途不同分為三大類，第一類調查內容較為詳細嚴謹，第三類較為簡單，第二類則介於兩者之間，詳如表 1 所示。調查時則須注意以下四項較易影響熱環境物理因子及人體生理因子測量結果的因素，包含：1. 衣服或整體的絕緣值難以評估精準；2. 椅子的絕緣效果易被忽略；3. 活動型態及代謝率連結的程度；4. 物理測量結果較難精準 (Brager and de Dear, 1998)。

調查中使用的熱適應策略調查問卷則可被分為非結構與結構式兩種問卷結構，非結構式問卷主要是使用開放式選項詢問民眾會採取什麼措施回應熱的感覺，來收集受測者會採用的熱適應策略 (Baker and Standeven, 1994, 1996; Lin *et al.*, 2010b)，使用非結構式問卷調查能得到較多資訊，但較難整理分析；而結構式問卷則是用來評估熱適應的認知強度或同意程度，常被使用的方式為提供熱適應選項讓受測者進行勾選。常被使用的熱適應調查問項則包括尋求遮蔽、到樹蔭下、穿脫衣服、撐傘、戴帽子、喝飲料等行為適應方式 (林子平、林彥廷, 2007; 李建鋒, 2008; 鄭明仁等人, 2009; Lin, 2009)，較少數研究使用心

表 1. 熱環境物理因子及人體生理因子測量

Table. 1. The methods of the thermal environmental and physiological factors survey.

	第一類 (實地實驗)	第二類 (實地實驗)	第三類 (實地研究)
測量內容	1. 物理因子：測量氣溫 (Ta)、相對濕度 (RH)、氣壓 (VP)、球輻射 (G)、風速 (V)、輻射溫度 (Tg)、clo (衣服絕緣值) ¹ 、met (代謝率) ² 2. 主觀因子：熱問卷 (熱感覺、熱舒適、可接受性、衣著量、活動量)	1. 物理因子：Ta (氣溫)、Tr、V (風速)、Rh (相對溼度)、clo (衣服絕緣值)、met (代謝率) 2. 主觀因子：熱問卷	1. 物理因子：溫度、溼度 2. 主觀因子：等級尺度問卷
分析內容	PMV ³ /PPD ⁴ 或 SET* ⁵ 、PET ⁶ 、Tn ⁷ 、首選溫度 ⁸ 、Tmrt ⁹ 、可接受範圍	PMV/PPD 或 SET*、Tn	Tn
程序	同一時間及地點	同一時間及地點	非同期或非連續
離地高度	0.1m、0.6m、1.2m	同一高度	無特殊規範
用途	得到精準的數據，用以仔細調查熱環境物理因子細微的影響。	用以評估行為調適對主觀反應的影響。	提供簡單的熱反應，發表數據最廣泛。

註 1：Iclo (clothing 衣服絕緣值)：在輻射溫度=21.2°C，相對濕度=50%，風速=0.1m/s 之靜坐條件下，人體感覺到舒服的衣著量 (陳啟中, 1996)，ASHRAE (2004) 定義：夏季衣服為 0.35~0.6 clo、冬季衣服為 0.8~1.2 clo。

註 2：I_{met} (metabolic 新陳代謝) 為 58.2W/m²(陳啟中, 1996)，吸入氧氣及呼出二氧化碳量會影響 met (Djongyang *et al.*, 2010)。

註 3：PMV (預料平均投票)：考量環境參數及受訪者的衣著和代謝率計算而得 (Nikolopoulou, 2004)。

註 4：PPD (預測不滿意百分比)：感覺太冷或太熱的百分比，即抱怨環境的百分比 (Djongyang *et al.*, 2010)。

註 5：SET* (標準有效溫度)：考量氣溫=平均輻射溫度，相對濕度為 50%，風速=0.15 m/s，個人穿戴 0.6 clo，新陳代謝率 1.2 mets，相同的皮膚溫度和溼度的環境氣溫計算而得 (Lin, 2009)。

註 6：PET (生理等效溫度)：考量氣溫=平均輻射溫度，水蒸汽壓力 = 12 hPa，風速 = 0.1 m/s 的氣溫，人體的核心和皮膚溫度平衡的狀況，並轉換成空氣溫度來表示 (Lin, 2009)。

註 7：Tn (中立溫度)：溫度感覺剛好或熱感覺等於 0，人們感覺不冷也不熱 (Fanger, 1972a)。

註 8：首選溫度 (preferred temperature)：個人比較喜歡溫暖或稍涼的溫度 (Fanger, 1973)。

註 9：Tmrt (平均輻射溫度)：Ta (氣溫)+V (風速)+Tg (輻射溫度) (Lin *et al.*, 2010a)。

資料來源：Brager and de Dear, 1998，本研究整理

理適應問項，如產品轉移、合理化（吳芋菁，2011；高珮詩，2007）等，使用結構式調查問卷的優點是能快速了解民眾欲採取之調適策略，缺點則是得到的資訊較為局限。

三、熱適應研究重要結果

熱適應依研究類型的不同可分為室內研究、室外研究、實驗型研究與理論型研究，過去熱適應的研究，早期大多都著重於室內熱適應與實驗型研究的探討，室外熱適應及理論型研究則發展得較晚，討論也相對較少，本研究將不同類型的重要結果整理如下。

(一) 室內研究

過去室內熱適應的相關研究，主要探討空調建築和通風建築的熱適應差異、常用的熱適應行為及服裝調整與溫度的關係，研究結果可發現在自然通風建築與空調建築的熱舒適有很大的差異，而人們對熱環境之熱適應，於心理及行為部份包含許多面向，其中在建築內可以找到多種行為適應方式，而休息、喝冷熱飲、開窗、服裝調整、新陳代謝調整、使用風扇、空調等為較常被使用的行為適應方式，也有研究提及期望、預期、過去經驗等心理適應的存在，在服裝調整的研究最多，它被發現與戶外溫有的強烈關係，而熱適應的選擇可能為造成熱舒適差異的關鍵（Baker and Standeven, 1994, 1996; Benton and Brager, 1994; Black and Milroy, 1996; Brager and de Dear, 1998; Fishman and Pimbert, 1982; Hwang and Chen, 2010; Indraganti, 2010; Nicol and Raja, 1996）。

(二) 室外研究

室外熱適應的相關研究，則主要探討戶外環境常用之熱適應方式、遮蔭的影響及服裝調整與溫度的關係，研究結果可發現，區內移置至遮蔭處為戶外環境最主要的熱適應方式，並証實過去經驗、期望、知覺控制等心理適應的存在，還有服裝與氣溫的強烈關係，及其在不同季節、年齡有差異（李建鋒，2008；林子平、林彥廷，2007；黃靜宜，2005；吳芋菁，2011；鄭明仁等人，2009；Hwang *et al.*, 2010; Lin, 2009; Lin *et al.*, 2010a）。

(三) 實驗型研究

實驗型研究則主要探討馴化等生理適應，而研究結果多無法證明熱馴化的存在（Chung and Tong, 1990; de Dear *et al.*, 1991; Fanger, 1972b; Fanger *et al.*, 1977; Fanger and Langkilde, 1975; Gonzalez, 1979），僅有 Humphreys (1994b) 研究發現馬來西亞 (28.7°C) 的溫度偏好較倫敦 (25.7°C) 高三度。

(四) 理論型研究

理論型研究主要為蒐集分析過去建築環境熱適應、心理適應研究，整合提出熱適應概念或發展趨勢，重要結果為發現熱知覺受到熱的歷史、非熱因素和熱預期的影響，且適應行為只能部份解釋對熱舒適的影響，預期等心理調適有重要的影響，而心理適應的不同變項之間有強大的相互影響力，可預期未來心理適應的研究可能較為重要（Brager and de Dear, 1998；Nikolopoulou and Steemers, 2003；Stewart, 2009）。

四、熱適應方式分類

Stewart (2009) 提及，人們會以不同的看法、計畫和行為來適應相同的熱環境，顯示

熱適應方式應該有多重分類，本研究整理熱適應相關研究，發現熱適應方式主要可區分為生理適應、心理適應及行為適應三大類。以下針對不同分類詳述之。

表 2. 熱適應分類表

Table. 2. Thermal adaptation classification.

熱適應類別	生理適應	心理適應	行為適應
熱適應方式	遺傳適應。	個人的選擇、預期、習慣、知覺控制、過去經驗、抱怨、自然、暴露時間、環境刺激、產品轉移、合理化。	個人調整：調整衣著（服裝、頭髮、帽子、傘）、調整活動、調整姿勢、調整飲食（吃/喝、熱/冷的食物或飲料）、區內移置（到樹下、到陰涼處）、區外移置（回室內、快速通過）、時間移置、離開及搧風。
	環境適應：長期適應、短期適應。		技術或環境調整：打開 / 關閉窗戶或窗簾、打開風扇或暖氣、阻塞風口、打開遮陽傘、以其他空調控制、種植樹木、加花架涼亭、更改鋪面材質、增加牆面。

資料來源：Brager and de Dear, 1998; Carver *et al.*, 1989; Djongyang *et al.*, 2010; Givoni, 1992; Humphreys, 1975; Nikolopoulou, 2004; Nikolopoulou and Steemers, 2003; 林子平、林彥廷，2007；李建鋒，2008；吳芊菁，2011；高珮詩，2007，本研究整理

(一) 生理適應

生理適應為人體熱平衡的自主調適，意指當熱擾動發生，身體的溫度控制系統會嘗試維持在37°C的現象 (Djongyang *et al.*, 2010)。杜月香 (1991) 將過去熱舒適領域常提及的人體熱平衡方程式轉化為： $S = M \pm R \pm C - E$ ，解釋此一生理適應現象，此方程式表示人的體內蓄熱與人體生熱、人體由周圍輻射和對流所接受或散失之熱和由蒸發所散失之熱，會達成平衡，其中S指體內蓄熱；M指人體生熱；R指人體由周圍輻射所接受或散失之熱；C指人體依對流所接受或散失之熱；E指人體由蒸發所散失之熱。

Brager與de Dear (1998) 則指出生理適應指反覆暴露於刺激中，導致壓力逐步下降，造成生理變化，包含「遺傳適應」及「環境適應」兩大面向：1. 遺傳適應 (Genetic adaptation) 指改變個人或一群人部分的遺傳。2. 環境適應 (acclimation or acclimatization) 指改變人體在環境中的體溫調節系統。環境適應又可區分為長期適應與短期適應，其中長期適應相關研究主要探討處於不同氣候或不同環境，首選溫度是否有差異，研究結果主要得出不論在何種環境，首選溫度均無顯著差異 (Fanger, 1972b; Fanger and Langkilde, 1975; Fanger *et al.*,

1977; de Dear *et al.*, 1991; Chung and Tong, 1990)；而短期適應相關研究則主要探討短期天氣變化，首選溫度是否有差異，研究結果主要得出，短期炎熱天氣後，發現首選溫度明顯增加，但統計上沒有顯著差異 (Gonzalez, 1979)。

Nikolopoulou與Stemmers (2003) 指出生理適應較常見於極端環境的調適，於一般環境較不易顯著發生，Brager與de Dear (1998) 亦指出遺傳適應發展時間尺度超出個人的一生，因此過去研究較少提及，而環境適應的時間在幾天或幾週以上，過去研究多以室內實驗進行，針對暴露於單一或組合的熱環境壓力進行實驗。

(二) 心理適應

心理適應指利用情緒調整的方式來減緩壓力，改變對熱環境的感覺和反應，造成人的熱經驗和期望 (Brager and de Dear, 1998; Nikolopoulou and Stemmers, 2003)，包含多項熱適應方式詳見表2。

(三) 行為適應

行為適應指利用實際的行為來減緩壓力，包含「個人調整」及「技術或環境調整」兩大面向。

1. 個人調整：指以各種適應活動或改變個人可變因素以適應周圍環境，包含多項熱適應方式詳見表2。
2. 技術或環境調整：指當環境可以控制時，改變環境本身，包含多項熱適應方式詳見表2。

五、熱適應理論模型

過去熱適應相關研究提出各種模型討論人對熱環境的感受與熱適應之間的關係，本研究將過去各研究提出的理論模型整理如下，並比較各模型的異同處及提出未來應用方向，如表3所示。

(一) 人類體溫調節模式

Hensel 於 1981 年提出人類體溫調節模式 (圖 1)，說明身體的回饋控制。該模型提及人類的體溫調節系統如一複雜的高度非線性數學，包含多個傳感器，多重反饋迴路和多個輸出。受控制變量是身體內部溫度和皮膚溫度。該控制系統受內部和外部的熱擾動影響，體溫調節系統會透過自主調整與行為調整進行控制行動。採取控制行動每一次不一定是相同，也不會互相依賴。

(二) 環境行為折衷模式—天氣對人的影響

聶筱秋等人譯 (2003) 將環境行為折衷模式運用於天氣 (圖 2)，該模式提出不同之天氣狀態以及個人差異會形成對天氣的知覺，於知覺不適時會產生壓力，針對壓力人會產生調適因應，調適因應的成效會回饋到天氣知覺和影響個人的差異。此模式將壓力視為天氣與調適的中介變項。

(三) 保護動機理論 (Protection Motivation Theory) 及風險感覺 (risk-as-feelings) 觀點

保護動機論 (Protection Motivation Theory) (圖3) 最早是作為病害防治和健康提升的模型，Stewart於2009年將保護動機理論運用於氣候變化的適應，此架構的理論表示，人的

適應受到人類自我保護動機的影響。理論內容提及環境和人之間及人的內心所提出的資訊會導致威脅評估和調適評估，威脅評估會被內在獎勵（如：內心的興奮感）和外在獎勵（如：朋友的鼓勵）及天氣的嚴苛程度和人的脆弱度影響，調適評估會被自我效能（個人完成行為的能力）和反應效能（適應行為的效果）及反應成本（完成行為的成本）影響，它們會和恐懼共同影響保護動機，再影響人的適應。Kahneman與Tversky於2000年提出風險感覺觀點（圖4）挑戰保護動機理論，認為人的調適並非來自客觀的評估，預期和主觀情緒才是調適的主要影響。

(四) 心理適應相互關係

Nikolopoulou 與 Steemers 於 2003 年提出心理適應的相互關係圖（圖 5），顯示戶外空間的熱評定，心理調適有重要的影響，且不同變項之間有強大的相互影響力。關係圖顯示自然、預期、過去經驗、曝露時間、知覺控制和環境刺激之間有相互的影響關係，且有些關係是相互影響的，如知覺控制和預期，而其中自然會影響其他變量，但沒有受到任何參數影響。

表 3. 熱適應理論模型比較表

Table. 3. Thermal adaptation theoretical model comparison table.

理論模型	人類體溫調節模式	環境行為折衷模式-天氣對人的影響	保護動機理論及風險感覺觀點	心理適應相互關係	aPMV熱舒適模型
異同處	與其他模型差異較大，著重於生理適應的過程。	與aPMV熱舒適模型較接近，著重於熱適應與環境刺激和熱感覺間的關係，但將熱不適視為壓力源。	與其他模型差異較大，著重於接收到熱環境資訊後的心理傳導過程。	與其他模型差異較大，著重於各個心理適應間的相互影響關係。	與環境行為折衷模式較接近，著重於熱適應與環境刺激和熱感覺間的關係。
未來應用	未來主要可以應用於說明熱適應對人體內部生理反應的影響，並著重於說明生理適應的影響。	未來主要可以應用於說明天氣對人影響的過程。	未來主要可以應用於心理反應過程的釐清。	未來主要可以應用於心理適應的探討。	未來主要可以應用於心理與行為適應間關係的探討。

資料來源：Hensel, 1981; Stewart, 2009; Nikolopoulou and Steemers, 2003; Yao *et al.*, 2009; 聶筱秋等人譯，2003，本研究整理

(五) aPMV 熱舒適模型

Yao、Li與Liu等學者於2009年提出自適應預測平均投票 (adaptive predicted mean vote, aPMV) 熱舒適機制 (圖6)，該模型討論了影響熱舒適的因子，同時考慮到氣候、文化、社會、心理和行為適應等因素，該模型顯示環境物理刺激和熱感覺之間會受到適應影響，包括社經背景與經驗，會共同影響熱預期，再影響心理適應和行為適應。

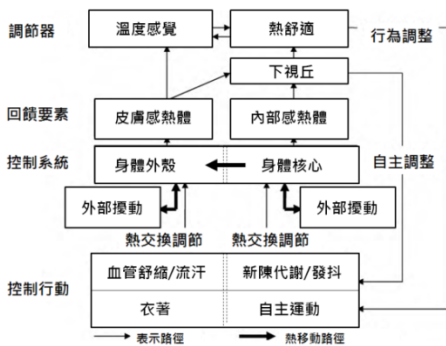


圖 1. 人類體溫調節模式

Fig. 1. Autonomic and behavioural human temperature regulation.

資料來源：Hensel, 1981

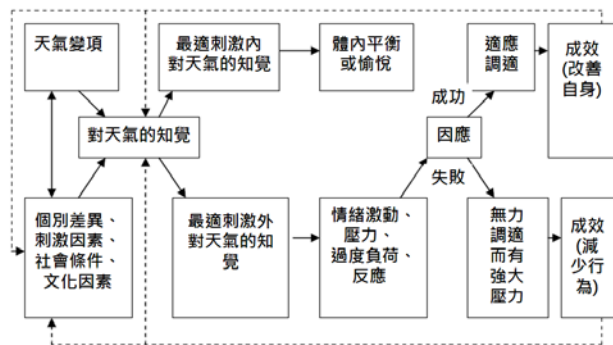


圖 2. 環境行為折衷模式-天氣對人的影響

Fig. 2. Model of environmental behavior caused by weather.

資料來源：聶筱秋等人譯，2003

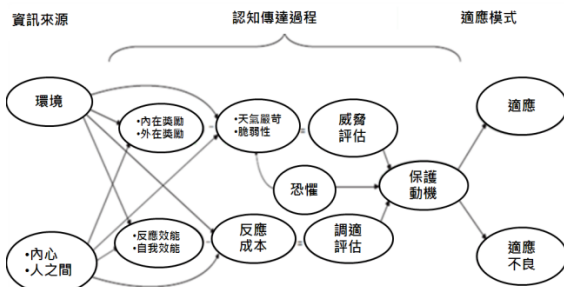


圖 3. 應用保護動機理論於天氣和氣候變化適應

Fig. 3. Protection motivation theory applies to adaptation to weather and climate changes

資料來源：Floyd, Prentice-Dunn and Rogers, 2000，引自 Stewart, 2009

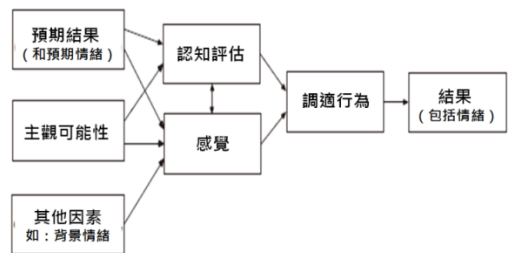


圖 4. 風險感覺觀點

Fig. 4. Risk-as-feelings perspective.

資料來源：Loewenstein, Weber et al., 2001，引自 Stewart, 2009

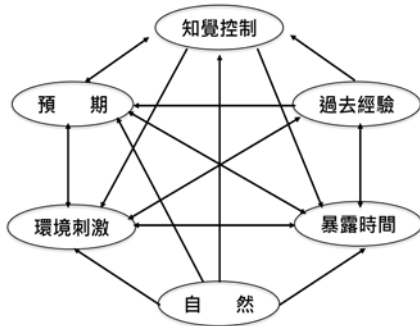


圖 5. 心理適應各變數間相互關係

Fig. 5. Lines of influence between the different parameters of psychological adaptation.

資料來源：Nikolopoulou and Steemers, 2003

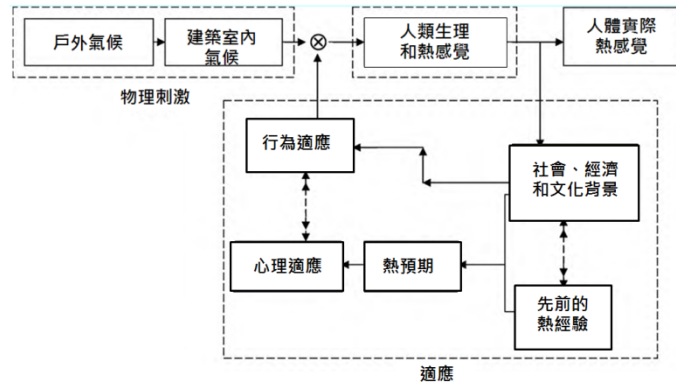


圖 6. 熱舒適自適應模型機制

Fig. 6. The thermal comfort adaptive model mechanism.

資料來源：Yao et al., 2009

結果與討論

一、不同熱適應分類間的關係

回顧過去研究可發現，熱適應方式大致可區分為生理適應、心理適應及行為適應，不同熱適應方式各有其優缺點，而各種熱適應方式間，可發現存在相同處與相異處，以下針對不同熱適應分類間的關係整理如下表 4。其中生理適應由於牽涉生理狀況的調整，並且達成的時間需花費較長，因此在研究上橫斷式的研究方法較難獲取有用的資訊，於未來研究可利用縱貫研究設計或透過跨國性的研究於不同緯度國家間進行比較，亦可藉由生理測量儀器輔助可使研究進行更加順利；心理適應則由於心理的感受瞬息萬變，在研究上研究者較難掌握受測者的感受，受測者亦可能無法很精確的表達做過哪些心理適應，因此於未來研究可以使用提供受測者量表的方式，以引導受測者提供較完整的資訊，並且應盡量縮減調查時間，以利獲得當下的感受；行為適應由於研究限制較少，在研究上資料相對容易取得，但此熱適應方式受限於可控制的資源多寡，未來研究應多著墨於後續整體環境或配套設施可達成的改變，利用環境的改變來引導及滿足行為適應的發生。

表 4. 熱適應分類比較分析

Table. 4. Comparative analysis of thermal adaptation.

熱適應	生理適應	心理適應	行為適應
優點	熱適應達成後，可維持的時間較長。	熱適應方式的使用，不受時間地點的限制。	熱適應方式使用後，能達成良好的效果。
缺點	熱適應達成的時間需花費較長。	熱適應達成的效果因人而異，效果穩定性較低。	熱適應方式的使用，受限於對環境的可控制程度。
相同處	1. 都適用於減緩熱環境帶來的壓力。 2. 調查方法皆以問卷調查受測者的熱反應為主。		
相異處	1. 熱適應方式本質上有差異，生理適應主要為調整人類本身的生理狀況，心理適應主要為調整人內心的想法，行為適應則針對外在條件進行改變調整。 2. 熱適應完成的時間上有差異，生理適應的達成需要幾天到幾週的時間才能完成，而心理及行為適應則常是一個觀念的改變或一個行動就可以達成。 3. 常用的研究方法有差異，生理適應主要研究方法為實驗，心理及行為適應則大多為實地調查。 4. 熱適應效果易達成的程度行為適應>心理適應>生理適應。		

資料來源：Brager and de Dear, 1998; Djongyang *et al.*, 2010; Nikolopoulou, 2004; Nikolopoulou and Steemers, 2003; 林子平、林彥廷, 2007; 李建鋒, 2008; 吳芋菁, 2011; 高珮詩, 2007, 本研究整理

二、熱適應和熱舒適間的關係

Nikolopoulou與Steemers (2003) 針對熱舒適與熱適應的關係提出說明，表示熱舒適是一種對於熱環境之調適過程，為了達到心理與生理之平衡，進而在心理及行為上產生適應或調適行為。本研究綜合過去熱適應相關研究，將熱適應與熱舒適間的關係，整理提出熱舒適與適應關係架構(圖7)，此架構將環境物理因子至熱適應發生的循環釐清，由此架構顯示，環境物理因子會影響熱感覺、熱舒適、產生壓力影響保護動機，再影響調適行為。社經背景和預期會與環境物理因子共同影響熱感覺，生理回饋控制會影響熱舒適和自主控制，威脅評估影響因子和調適評估影響因子會共同影響保護動機，調適行為和自主控制會共同影響適應及產生成效，調適行為會回饋到環境的熱感覺，成效則會回饋到熱感覺和社經背景。此架構有助於釐清熱舒適與熱適應間的關係，提供未來熱適應與景觀環境調整相關研究一個更明確的思考架構，使得熱適應有更明確的定位。

三、熱適應研究的趨勢及未來在景觀環境領域可能的研究方向

(一) 戶外熱環境為重要探討領域

回顧過去熱適應相關研究可發現，熱適應過去研究於室內熱適應及實驗型研究探討較多，主要的研究主題圍繞於建築物與服裝之間，室外熱適應及理論型研究則發展得較晚，討論也相對較少，目前多圍繞於都市空間和遮蔭效果為主，討論的熱適應方式則集中於少數行為適應方式 (Lin, 2009; 李建鋒, 2008; 林子平、林彥廷, 2007; 鄭明仁等人, 2009)。因此未來在景觀環境領域的研究發展方向，可針對戶外熱環境的熱舒適與熱適應進行探討，全面的了解戶外熱環境不舒適時，民眾會採取的熱適應策略，找出適合用於戶外熱環境之熱適應方式，並可提出適合戶外熱環境研究的量表，做為未來瞭解戶外環境熱適應之測量依據。另可針對民眾於戶外環境的熱適應需求，設計合適的景觀環境，以輔助民眾更容易達到熱舒適。

(二) 心理適應為重要探討領域

由過去研究趨勢可看出過去研究已發現心理適應的重要性，Nikolopoulou與Stemmers (2003) 及Lin *et al.*, (2010a) 皆提及心理適應為一重要的研究領域，而心理適應的探討過去研究相對較分散 (Brager and de Dear, 1998; Lin, 2009; Lin *et al.*, 2010a; Nikolopoulou and Stemmers, 2003; 高珮詩, 2007)，顯示心理適應尚有較多探討空間，因此未來在景觀環境領域的研究可針對心理適應領域進行深入探討，探討民眾於不同環境會採取哪些心理適應方式，有哪些使用方式，及其和其他適應方式的關係。並可透過景觀環境設計，使民眾更容易達成心理適應的轉換。

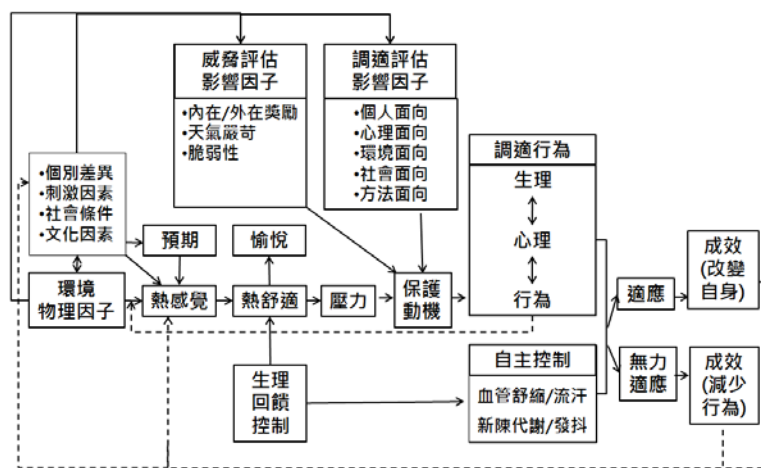


圖 7. 熱舒適與適應關係架構圖

Fig. 7. Relationship between thermal comfort and adaptation relationship chart.

資料來源：本研究繪製

(三) 各種影響因子對熱舒適與熱適應的影響為重要探討領域

目前之熱適應研究主要針對人類因應熱環境的不舒適狀況，所產生的熱舒適與熱適應進行探討，針對其他影響因子對熱舒適與熱適應的影響探討較少，但由過去研究可看出除了溫度、濕度、平均輻射溫度、風速、太陽輻射等環境物理因子，尚有其他影響熱舒適與熱適應的因素存在，因此未來在景觀環境領域的研究，可針對其他景觀、園藝的影響因子或各種人體感官知覺對熱舒適與熱適應的影響進行探討，以釐清各種影響因子對熱舒適與熱適應的影響因素。

(四) 嚴寒與濕熱地區為重要探討區域

針對過去熱適應研究的全球發展區域，可發現氣候較為嚴寒的北歐區域與氣候較為濕熱的東南亞及亞洲地區，由於有較不舒適的天氣，使得熱適應相關研究更為重要，因此未來在景觀環境領域可多發展嚴寒與濕熱地區的熱適應研究，針對嚴寒與濕熱地區的熱適應方式進行深入探討，全面的了解熱環境不舒適時，使用者會採取的熱適應策略，以提高這些環境的舒適度。

參 考 文 獻

- 中央氣象局。2014年4月23日。氣候話題：全球暖化與氣候變遷【網站文字資料】。取自 http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/backgrounds/backgrounds_2.html
- 杜月香。1991。建築物理環境。逢甲電腦打字印刷行。
- 李思瑩、盧孟明。2010。近五十年台灣極端高溫之分析。2010台北災害管理研討會論文集：5-6。
- 李建鋒。2008。校園戶外環境熱舒適之研究-以大學、小學為例。逢甲大學建築學系研究所碩士論文。
- 林子平、林彥廷。2007。熱舒適性對戶外遊憩行為及熱適應之影響-以台灣美術館前廣場夏季為例。中華民國戶外遊憩學會主編。第九屆休閒、遊憩、觀光學術研討會論文集第VI篇：358-365。
- 吳芊菁。2011。都市綠園道環境熱舒適與使用者調適行為之研究-以台中市經國綠園道為例。國立中興大學園藝學系研究所碩士論文。170pp。
- 高珮詩。2007。天氣造成遊客壓力與調適行為之研究-以阿里山國家森林遊樂區為例。國立中興大學森林學系研究所碩士論文。69pp。
- 陳啟中。1996。建築物理概論。詹氏書局。
- 黃靜宜。2005。新竹地區居民體感溫度的識覺與衣著調適行為之研究。國立臺灣師範大學地理學系研究所碩士論文。69pp。
- 鄭明仁、羅仁豪、李建鋒。2009。大學校園戶外環境熱舒適性之實測調查研究。建築學報

69 : 1-16 。

- 聶筱秋、胡中凡、唐筱雯、葉冠伶譯。2003。Bell, P.A., T. C. Greene, J. D. Fisher, and A. Baum 著。環境心理學。新加坡商亞洲湯姆生國際出版有限公司。708 pp. 。
- American Psychological Association. 2007. APA dictionary of psychology. APA Press, Washington. DC. 1008 pp.
- ASHRAE. 1992. Standard 55 Thermal Environmental Conditions for Human occupancy. American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ASHRAE. 2004. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Inc.
- Baker, N. and M. Standeven. 1994. Renewable Energy 5 (5-8): 977-984.
- Baker, N. and M. Standeven. 1996. Energy Buildings 24: 175-182.
- Benton, C. C. and G. S. Brager. 1994. Sunset Building: A study of occupant thermal comfort in support of PG&E's advanced customrrtechnology test (ACT2) for Maximum Energy Efficiency. Final Report. CEDR-06-94, Center for Environmental Design Resarch. University of California. Berkeley.
- Black, F. A. and E. A. Milroy.1996. J. Inst. Heat. Vent. Engrs. 34: 188-196.
- Brager, G. S. and R. J. de Dear. 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings 27: 83-96.
- Carver, C. S., M. F. Scheier, and J. K. Weintraub. 1989. Assessing coping strategies: a theoretically based approach. Journal of Personality and Social Psychology 56: 267-283.
- Cena, K. M., J. R. Spotila, and H. W. Avery. 1986. ASHRAE Trans. 92(2): 329-342.
- Chung, T. M. and W. C. Tong. 1990. Building Environ. 25(4): 317-328.
- de Dear, R. and G. Brager. 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Trans. 104(1): 27-49.
- de Dear, R. J., K. G. Leow, and A. Ameen. 1991. ASHRAE Trans. 97(1): 880-886.
- Djongyang, N., R. Tchinda, and D. Njomo. 2010. Thermal comfort: A review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 2626-2640.
- Fanger, P. O. 1972a. Thermal Comfort. McGraw Hill: New York.
- Fanger, P. O. 1972b. Biometeorology 2: 31-41.
- Fanger, P. O. 1973. Conditions for thermal comfort-a review. In the Symposium on Thermal Comfort and Moderate Heat Stress (CIBW45). Garston.
- Fanger, P. O. and G. Langkilde. 1975. ASHRAE Trans. 81(2): 140-147.
- Fanger, P. O., J. H. Hohjene, and J. O. B. Thomsen. 1977. Int. J. Biometeorol. 21(1): 44-50.
- Fishman, D. S. and S. L. Pimhcrt. 1982. Energy Buildings 5(2): 109-116.

- Givoni, B. 1992. *Energy Buildings*. 18(1): 11-23.
- Gonzalez, R. R. 1979. Role of natural acclimatization (cold and heat) and temperature: effect on health and acceptability in the built environment. In: *Indoor Climate Danish Building Research Institute*, Fanger and Valborn (eds.), Copenhagen. pp. 737-751.
- Hensel, H. 1981. Thermoreception and temperature regulation. In: *Monographs of the physiological society* 38. Academic Press. London.
- Hensen, J. L. M. 1991. On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. Unpublished doctoral dissertation, Technische Universiteit Eindhoven.
- Humphreys, M. A. 1975. Field studies of thermal comfort compared and applied. U.K. Department of Environmental Building Research Establishment. Current Paper.
- Humphreys, M. A. 1994a. *Renewable Energy* 5 (ii): 985-992.
- Humphreys, M. A. 1994b. Field Studies and climate chamber experiments in thermal comfort research. In: *Thermal Comfort: Past, Present and Future*. Oseland and Humphreys (eds.), BRE, UK.
- Hwang, R. L. and C. P. Chen. 2010. Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. *Indoor Air* 20(3): 235-245.
- Hwang, R. L., T. P. Lin, M. J. Cheng, and J. H. Lo. 2010. Adaptive comfort model for tree-shaded outdoors in Taiwan. *Building and Environment* 45(8): 1873-1879.
- Indraganti, M. 2010. Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. *Energy and Buildings* 42(7): 1019-1025.
- ISO 7730. 1994. Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Standard Organization. Geneva.
- James, D. A. P. and S. E. Norman. 1992. Coping with coping assessment: a critical review. *European Journal of Personality* 6: 321-344.
- Kahneman, D. and A. Tversky. Eds. 2000. *Choices, values, and frames*. Cambridge University Press, New York. 840pp.
- Keller, M. C., B. L. Fredrickson, O. Ybarra, S. Cote, K. Johnson, and J. Mikels. 2005. A warm heart and a clear head – the contingent effects of weather on mood and cognition. *Psychological Science* 16: 724–31.
- Leaman, A. and B. Bordass. 1993. Building design, complexity and manageability. *Facilities* 11 (9): 16-27.
- Lin, T. P. 2009. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment* 44(10): 2017-2026.

- Lin, T. P., R. J. de Dear, and R. L. Hwang. 2010a. Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. *Int. J. Climatol.* (in press, DOI: 10.1002/joc.2120).
- Lin, T. P., R. L. Hwang, K. T. Huang, C. Y. Sun, and Y. C. Huang. 2010b. Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles, *International Journal of Biometeorology*. *Int. J. Biometeorol.* 54: 221–230. DOI 10.1007/s00484-009-0273-9
- Lin, T. P. and A. Matzarakis. 2008. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake. *Int. J. Biometeorol.* 52: 281-290.
- Nakano, J. and S. Tanabe. 2004. Thermal comfort and adaptation in semi-outdoor environments. *ASHRAE Trans.* 110(2): 543-553.
- Nicol, J. F., G. N. Jamy, O. Sykes, M. A. Humphreys, S. Roaf, and M. Hancock. 1994. A survey of comfort temperatures in Pakistan: towards new indoor temperature standards, School of Architecture. Oxford Brookes Univ., England.
- Nicol, J. F. and I. A. Raja. 1996. Thermal comfort, time and posture: exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort. School of Architecture, Oxford Brookes Univ.. England.
- Nikolopoulou, M. 2004. Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach. Greece: C.R.E.S..
- Nikolopoulou, M. and Steemers, K. 2003. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy Build.* 35: 95-101.
- Rohles, H. 1980. Temperature or temperament: a psychologist looks at thermal comfort. *ASHRAE Transactions* 86(1): 5-13.
- Rowe, D. M., W. G. Lambert., and S. E. Wilke. 1995. Pale green, simple and user friendly: occupant perceptions of thermal comfort in office buildings. In: *Standards for Thermal Comfort*. Nicol, Humphreys, Sykes, and Roaf (eds), E and FN Spon. London. pp. 59-69.
- Spagnolo, J. and R. J. de Dear. 2003. A field study of thermal comfort in outdoor and semioutdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Build. Environ.* 38: 721-738.
- Stewart, A. E. 2009. Psychological Perspectives on Adaptation to Weather and Climate. In *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*, Ebi, Burton, and McGregor (eds.), Germany: springer pp. 211-232.
- Yao, R., B. Li, and J. Liu. 2009. A theoretical adaptive model of thermal comfort adaptive predicted mean vote (aPMV). *Build. Environ.* 44: 2089–2096.

Development and Perspective on Thermal Adaptation of Landscape Environmental Research

Yen-Fen Hsieh ¹⁾ Chen-Fa Wu ²⁾ Sheng-Jung Ou ³⁾

Key words: Thermal environment, thermal comfort, coping behavior

Summary

After the mid-20th century, by the impact of global warming and climate change, the global average temperature is gradually increased, the ratio of extreme weather events is also relatively increased. This makes thermal adaptation issues become important. However, thermal adaptation of trend and future directions are still very vague. The purpose of this study is to clarify the relationship between the different thermal adaptation method, and the relationship between the thermal adaptation method and thermal comfort in order to propose thermal adaptation research and possible future trends in research used and as a reference for future landscape research development. In this study, using literature review method was 35 thermal adaptation researches were reviewed. In discussing the importance of thermal adaptation and thermal comfort studies, the study identified five topics: theoretical definitions, survey methodology, the important results of thermal adaptation research, thermal adaptation classification, thermal adaptation model, to better understand the thermal adaptation theory. The results showed the advantages and disadvantages, similarities and differences each physiological, psychological and behavior adaptation. People most commonly used behavioral adaptation, but the psychological adaptation had also great effects on thermal comfort. Thermal discomfort would generate pressure to influence the protection motivation, then influence thermal adaptation. The study suggested that the important research field include the outdoor thermal environment, psychological adaptation, and various factors on the thermal comfort and thermal adaptation. Furthermore, the cold and damp-hot areas are the important areas to be researched in the future.

1) Ph. D. student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.

3) Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.