

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造
適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線曝曬健康危
害辨識與因應防護措施效能評估
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 98-2221-E-039-012-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：中國醫藥大學職業安全與衛生系

計畫主持人：陳振華

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳玉潔
碩士班研究生-兼任助理人員：廖育賢

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 26 日

中文摘要 (NSC 98-2221-E-039-012)

受到都市熱島效應及因大氣臭氧層破壞產生地表暖化之影響，人類於生活環境遭受紫外線及熱危害等物理性危害因子暴露之健康風險漸次提高。紫外光指數(ultraviolet index, UVI)與綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)分別為針對日光紫外光與熱環境暴露中廣泛應用之危害通識工具。UVI 以級量數區分暴露之潛在危害，並據以建議對應之防護措施。WBGT 則警示熱因子物理力於室內或戶外環境出現之強度。但該二系統目前並無依據級量數或暴露強度提供因暴露生成健康危害之量化資訊，致使使用者無法充分瞭解過度暴露時可遭受之傷害。

本研究旨在探討於日常活動中因遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，人體皮膚生理反應與主觀熱舒適感之變化趨勢與反應幅度，並評估以此作為暴露危害警示指標之可行性。研究所選定之皮膚生理反應參數包含：經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(moisture)、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)與色素沉澱指數(melanin-index, M-index)；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協會(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, ASHRAE) Standard 55 標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。本研究於戶外定點、定時進行為期六週之實驗；實驗量測人體皮膚接受短期與長期之日光紫外光輻射後上項生理指標之改變，以建立生理指標與物理力間之劑量—反應關係、以及熱感知與生理指標間之異同。實驗過程中同時收集中央氣象局台中氣象站每日台中地區即時紫外光指數作為評估日光紫外光短期與長期輻射強度之基準。

研究結果顯示：TEWL 與皮膚溫度顯著地隨環境溫度呈線性變化，但較不受相對濕度之作用；皮膚濕度為各生理指標中唯一可同時反應環境溫度與濕度影響者。熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)隨環境溫濕度上升而增加，尤以溫度效應最為明顯，且 TSV 與皮膚溫度之相關性最高($r > 0.868$)。皮膚濕度與黑色素沈澱現象分別為警示因遭受短期(急性)與長期(累積性)紫外線輻射生成健康危害之較佳生理指標。紅斑生成現象明顯反應女性皮膚所接受之累積性日光曝曬；但未反應短期曝曬可能產生之曬傷，推測因與研究進行期間台中地區日光紫外線輻射未達產生曬傷強度有關。戶外活動時之熱感知受輻射熱顯著影響，主客觀指標間之差異在熱適應期或熱佔留區最為顯著。本研究同時透過以 E-index 對 UVI、及以 M-index 對紫外線累積輻射量(irradiance)進行之線性迴歸，建立於暴露危害評估適用之劑量(紫外光暴露劑量)—反應(皮膚生理指標變化)量化關係。

關鍵字：紫外光指數、皮膚暴露、經皮水分散失度、皮膚生理指標、主觀熱感知

ABSTRACT (NSC 98-2221-E-039-012)

The exposure of human skin to physical agents present in the environment—solar UV radiation and heat stress—has long been recognized as a health risk, and in the last decades this risk has been exacerbated with the formation of urban heat island effect and the global warming due to depletion of stratospheric ozone. Currently, the Global Solar UV Index (UVI) system and Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) are the predominant tools of communication for the hazards resulting from over-exposure to UV irradiation and heat stress, respectively. The UVI ranks the potential hazard of exposure based on the solar irradiance reaching the earth's surface and correspondingly suggests recommendations of protection. The WBGT reports the intensity of thermal factors present in the indoor or ambient environment. As of current, both systems do not causally relate, in (semi-)quantitative terms, the exposure level to the potential human health impact that may arise from over-exposure to solar UV irradiation or heat stress. Consequently, these systems in their current formats are limited from providing warnings to information users on the health hazard resulting from excess exposure to UV irradiation, heat stress, or both.

This study quantitatively investigated the changes in human skin physiology and in thermal sensation in response to exposure to various thermal factors in the environment, including solar UV radiation, so to evaluate the applicability of these changes as an indicator to health hazards from over-exposure. The skin physiological responses attempted as biomarkers included transepidermal water loss (TEWL), skin temperature, skin moisture, erythema (reported as erythema-index, E-index), and melanogenesis (reported as melanin-index, M-index). Subjective thermal sensation was gauged using a standardized questionnaire developed by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 55. The experiments were conducted outdoors on campus twice a week for a total period of six weeks. In the study, the biomarkers were evaluated for their changes following short- and long-term solar UV radiation, and the dose-response relationships between biomarkers and examined physical forces were developed to investigate any variations between physiological and psychological indicators. Simultaneously collected were the hourly UVI forecasts monitored in the Taichung area by the Central Weather Bureau, Taichung Meteorological Station for evaluation of immediate and cumulative solar UV irradiance reaching the campus where the study took place.

The results show: the TEWL and skin temperature changed significantly with environmental temperature, but responded less to RH. The skin moisture was the only of the above indicators that reflected the alteration in both environmental temperature and RH. As for the psychological indicator, the thermal sensation votes (TSVs) of the participants were influenced proportionally by alterations in the examined thermal factors, particularly

the environmental temperature. The TSV was most significantly correlated to skin temperature ($r > 0.868$). The skin moisture and melanogenesis were better indicators of potential health hazards from single and cumulative solar UV radiation, respectively, than the others. Erythema as reported in M-index corresponded linearly to cumulative solar UV exposure for the female participants, but did not reflect acute injury if any, possibly due to the low intensity of solar UV radiation at Taichung during the period of investigation. The outdoor thermal sensation was markedly influenced by the radiant heat; the variation between the physiological and psychological indicators was most significant when the participants were in the period of thermal adaptation or in a thermal transition zone. The distributions of E-index against UVI and M-index against cumulative UV irradiance were linearly regressed to establish dose (UV irradiance)-response (quantifiable biomarker change) relationships that might be applied in hazard exposure assessments and as a warning tool of harmful UV exposures.

Keywords: Global solar UV Index, skin exposure, transepidermal water loss, skin physiological indicators, thermal sensation

目錄

中文摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	IV
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 前言	1
第二章 研究目的	3
第三章 文獻探討	4
第一節 經皮水分散失度與皮膚濕度	4
第二節 紅斑與黑色素生成	5
第三節 經皮水分散失度、皮膚濕度、紅斑生成與黑素沉澱受溫度影響之測量	5
第四節 日光曝曬對主觀熱舒適影響與男女熱感知差異	6
第五節 常用調查熱感知之工具	7
第六節 總結	7
第四章 研究方法	8
第一節 自然日光照射實驗之研究設計	8
第二節 研究對象	8
第三節 研究儀器設備與工具	9
第四節 資料收集	9
4.4.1 自然日光照射實驗流程	9
4.4.2 日光紫外線指數與累積輻射劑量之計算	10
第五節 自然日光照射實驗結果統計分析	10
第五章 結果與討論	12
第一節 日光紫外線輻射對 TEWL 之影響	12
第二節 日光紫外光輻射對皮膚濕度之影響	13
第三節 日光紫外光輻射對紅斑生成之影響	13
第四節 日光紫外線輻射對黑素沉澱之影響	14
第五節 日光紫外線輻射對主觀熱感知之影響	15
第六節 戶外環境物理因子與性別對於主客觀指標之綜合影響	15
第七節 結論及建議	17
參考文獻	19
成果與自評	40

表目錄

表 5-1	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中經皮水分散失度之測量值、男—女比值、及統計檢定	21
表 5-2	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中(戶外陰涼處)皮膚濕度之測量值、男—女比值、及統計檢定	22
表 5-3	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中皮膚紅斑指數之測量值、男—女比值、及統計檢定	23
表 5-4	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中皮膚黑素指數之測量值、男—女比值、及統計檢定	24
表 5-5	自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、日光紫外線指數、性別之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	25
表 5-6	自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、日光紫外線指數、性別之迴歸方程式逐步迴歸法、相關係數、判定係數、調整判定係數、共線性診斷與統計檢定	26
表 5-7	自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、累積曝曬劑量、性別之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	27
表 5-8	自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、累積曝曬劑量、性別之(複)迴歸方程式—逐步迴歸法、(複)相關係數、(複)判定係數、調整(複)判定係數、共線性診斷與統計檢定	28

圖目錄

圖 4-1	自然日光照射實驗之實驗流程及皮膚生理指標、人體熱舒適感之測量調查方法.....	29
圖 5-1	前臂外側皮膚經皮水分散失度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	30
圖 5-2	前臂外側皮膚經皮水分散失度對應累積日光紫外線曝曬劑量之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	31
圖 5-3	前臂外側皮膚濕度量測值(戶外陰涼處測量)對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	32
圖 5-4	前臂外側皮膚濕度量測值(環境暴露艙測量)對應累積日光紫外線曝曬劑量之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	33
圖 5-5	前臂外側皮膚紅斑指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	34
圖 5-6	前臂外側皮膚紅斑指數對應累積日光紫外線曝曬劑量之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	35
圖 5-7	前臂外側皮膚黑素指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	36
圖 5-8	前臂外側皮膚黑素指數對應累積日光紫外線曝曬劑量之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	37
圖 5-9	自然日光照射實驗中前後熱感知投票值之差異：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性.....	38
圖 5-10	受測人員熱感知投票值對應(a)全體人員上臂內側、(b)不同性別人員上臂內側、(c)全體人員前臂外側、(d)不同性別人員前臂外側之皮膚濕度分佈與線性迴歸.....	39

第一章 前言

戶外活動是人們日常生活中重要的一環，尤其對從事戶外作業的工作者更是如此。於戶外活動時，人體會持續地暴露於各種氣候因子之下並受到顯著地影響。這些因子絕大部分為物理因子，例如日光、環境溫度、濕度等，而這些物理因子亦會透過交互作用影響人體生理機能。當過度暴露於極端環境時，人體生理機能會透過適當的反應以維持生理恆定(homeostasis)與避免有害的健康效應發生。

日光為戶外活動時人體最容易與最直接接觸的物理因子之一。抵達地表之陽光輻射主要由紅外線(infrared light, IR; 佔 52.8%)、可見光(visible light, VIS; 38.9%)、以及紫外光(ultraviolet light, UV; 8.3%)所組成⁽¹⁾。當日光照射至皮膚時，皮膚會因吸收光能量進而發生多種光化反應。由於紫外線的波長短(100-400 nm)、能量高，因此對於皮膚生理反應之誘發影響最劇。穿透臭氧層到達地表的紫外線主要由 UVA (波長為 315-400 nm)與少量的 UVB (280-315 nm)所組成。其中 UVB 所造成的傷害較 UVA 為高。皮膚是身體最外層的組織，因此皮膚遭受紫外光暴露而產生負面健康效應之機率亦遠高於其他器官，且產生不同的異常皮膚生理反應，如紅斑生成(erythema)⁽²⁾、表皮細胞異常增生(epidermal proliferation)⁽³⁾、以及黑色素沈澱(hyperpigmentation)⁽⁴⁾等。

在過去數十年間人類密集的工業活動，如製造與使用氯氟碳化物(chlorofluorocarbons)等，所產生的污染物不斷消耗平流層(stratosphere)中的臭氧，使得因紫外線暴露所產生之皮膚健康危害風險日增。臭氧層能吸收由日光輻射產生的 UVB 射線，是減少 UVB 直接穿透大氣層到達地球表面的主要屏障⁽⁵⁾；若日光未經臭氧層過濾直接抵達地表，則可能對地球上的生物產生危害，並增加人類罹患皮膚癌的可能性。而在戶外作業工作者易遭受高劑量的紫外線暴露，是屬於高風險的暴露族群。

評估到達地表之紫外線強度時，主要是以紫外光指數(Global Solar UV Index, UVI)表示⁽⁶⁾。UVI 為全球通用的日光紫外線曝曬指標與警示系統，並提供一般民眾預防紫外線暴露可採取的合適防護措施。UVI 預報值預測第二天正午時可能抵達地表紫外線之輻射強度；其數值可由 0 (例如夜晚)至 15 或 16 (高海拔之熱帶地區、且無自然遮蔽物處)。UVI 值愈高，代表該紫外線輻射之能量對於皮膚與眼睛的危害愈大。每日當太陽升至最高點時，到達地表之紫外線最為強烈；但若太陽降至接近地平線時，紫外線之能量將會迅速地減少。一般而言，因為紫外線曝曬而生成紅斑所需之時間會受到許多因素影響：包括太陽高度，雲層總量，以及個人皮膚狀況。但當 UVI 為 10 或更高數值時，大約只要 10 分鐘左右之曝曬即可能造成紅斑生成⁽⁶⁾。依據國際照明委員會(International Commission on Illumination, CIE)參考作用光譜(action spectrum)所定義，UVI 可表示為：

$$I_{uv} = k_{er} \cdot \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda \quad (\text{Eq.1-1})$$

Eq. 1-1 中 E_{λ} 為在波長 λ 時之太陽光譜輻射度，單位為 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$ ； $d\lambda$ 則是輻射度加

總時使用的波長區段。 $S_{er}(\lambda)$ 為紅斑作用光譜； k_{er} 為一常數，在日光照射情形下之適用值為 $40 \text{ m}^2/\text{W}$ 。當實際監測與報導 UVI 時，通常 UVI 會以「暴露等級」(exposure category)再加區分。暴露等級在設計上類似於危害等級，主要目的在連結曝曬程度資訊與可使用的防護措施。

除了日光之外，適宜的環境溫度與濕度是生物生長與維持生命的重要環境要素。然而極端的溫濕度環境則會對人體造成熱危害(thermal stress)，尤其目前地球溫室效應情形日益嚴重，故高溫高濕環境暴露生成之健康效應危害日增。當暴露於極端溫濕度時，人體會透過合適的生理反應(如排汗)維持生理恆定。當人體無法負荷或透過生理機能釋放過多的熱量時，則可能會誘發熱暈厥(heat syncope)、熱衰竭(heat exhaustion)、脫水與電解質流失(dehydration and loss of electrolytes)、中暑(heat stroke)等現象。熱危害普遍存在許多室外或室內的工作環境中，然而居住在熱帶與亞熱帶的居民，由於已適應該區域之氣候環境，因此難察覺熱危害及其可能產生的健康傷害⁽⁷⁾。

評估於環境中的熱能時，直接量測環境溫度與相對濕度是最便利與直接的方法。然而，此種測量方法無法充分地量化熱危害的程度，且除環境因子(如環境溫度、濕度、風速與輻射熱等)之外，熱危害程度亦會受人體自身活動所產生之代謝淨熱值(metabolic cost)以及衣著量(clothing level)的影響。因此，熱危害常以綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)⁽⁷⁾進行評估。WBGT 表示環境中實際存在的熱量，其不但考慮到環境溫度與濕度，也一併考慮日光輻射熱，以及空氣溫度與風速所引起的熱對流效應。WBGT 計算方法可依室內(或無日曬情形)與室外有日曬情況分別表示為⁽⁸⁾：

$$\text{WBGT}_{in} = 0.7 T_{nwb} + 0.3 T_g \quad (\text{Eq.1-2})$$

$$\text{WBGT}_{out} = 0.7 T_{nwb} + 0.2 T_g + 0.1 T_{db} \quad (\text{Eq.1-3})$$

Eqs.1-2 與 1-3 中 WBGT_{in} 及 WBGT_{out} 分別為室內與室外之 WBGT； T_{nwb} 為自然濕球溫度(natural wet bulb temperature)； T_g 為黑球溫度(global temperature)； T_{db} 則為乾球溫度(dry bulb temperature)。以上單位可以攝氏或華氏呈現。

綜合以上所述，UVI 與 WBGT 皆為主要危害警示工具之一，能傳達給大眾當暴露於極端環境時，發生潛在危害之資訊。但 UVI 與 WBGT 缺乏以量化或半量化方式說明暴露於過量紫外線與極端溫濕度環境時人體可能產生的有害健康效應，尤其是對皮膚可能構成的傷害，故資訊使用者難以確切瞭解若未採用建議防護措施時可能產生的健康效應。再者，就作為危害警示工具而言，這些指數只考慮個別物理力暴露強度的影響，如 UVI 的紫外線強度、WBGT 中的濕熱環境因子，而未考慮在相同戶外環境下紫外線與濕熱環境因子的綜合效應。是故，目前的危害警示系統未能充分考量環境物理因子之交互作用對人體之影響，也未能在警示中提供上述影響之說明。同時遭受紫外線與熱危害之暴露時，人體生理機能之反應可以加成型態出現。因此，本研究將以皮膚生理效應為主題，探討日光紫外線所引起之短期與長期皮膚生理變化，以及在各種溫濕度組合下，皮膚生理變化之效應與趨勢，並觀察皮膚受上述物理力影響之綜合效應為何。

第二章 研究目的

本研究著重於人體皮膚受自然日光紫外線與環境物理因子暴露後，皮膚之生理效應與變化幅度。本研究所選取觀察之皮膚生理指標包含：經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)、皮膚濕度(moisture)、皮膚溫度(skin temperature)、紅斑(erythema)與黑色素沈澱(skin skin pigmentation)。此外亦將觀察受測者對於熱環境之主觀熱舒適(thermal comfort)認知，以比較主觀認知與客觀生理反應間之異同。本研究將量化處理暴露狀況與對應皮膚生理變化間之關係，據以發展單項與綜合性物理因子之劑量-反應關係，嘗試建立針對紫外線與熱危害暴露提供綜合性危害警示工具。具體研究目的包括：

- 1) 觀察人體於戶外靜態活動時，皮膚受短期與長期之自然紫外光曝曬下，環境物理因子對 TEWL、moisture、skin temperature、erythema 與 skin pigmentation 之綜合效應，並針對反應明顯之生理指標發展其與紫外線劑量之劑量效應關係；
- 2) 同步觀察在不同熱環境與自然日光紫外線曝曬狀況下，研究參與者之主觀熱舒適認知，藉以瞭解客觀生理指標與主觀熱舒適感間之差異。

第三章 文獻探討

人體皮膚遭受紫外線過度曝曬時可能產生多種反應，包括曬傷、細胞異常增生、及皮膚障壁功能損傷等。源自於自然日光曝曬之皮膚生理變化相關研究迄今有限，且鮮少量化因日光紫外線造成的皮膚傷害。至於連結 UVI 與皮膚健康傷害程度者更付闕如。近年來關於紫外光曝曬引發皮膚傷害現象之研究主要使用人工模擬紫外光(UV light simulator)照射啮齒類動物之角質層與表皮層，並觀察後續之皮膚生理變化；其觀察之生理變化主要為紅斑生成與色素沉澱。在職業衛生領域亦常以經皮水分散失度作為評估皮膚障壁功能的指標。以皮膚濕度評估皮膚表面含水量受環境溫濕度與日光輻射影響之研究文獻亦屬有限。

在熱舒適研究方面，主要調查方法包括：利用可控制室內微氣候(microclimate)之環境暴露艙(environmental exposure chamber)進行比對微氣候變因與主觀熱感受關聯性之實驗，與利用戶外實際調查(field survey)研究對應各種場域與氣候之熱舒適需求。調查人體熱舒適之方法泰半以問卷方式半量化評估受測者對熱環境之感知(thermal sensation)。有關自然日光暴露對於人體熱舒適變化之研究較少；曾有研究使用人工模擬紅外光照射至人體皮膚，觀察皮膚溫度與熱感知之變化幅度⁽⁹⁾。

以下分別介紹上述指標：

第一節 經皮水分散失度與皮膚濕度

評估皮膚障壁功能及維持生理衡定時常用的指標為經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)。TEWL 量測水分以蒸氣的型態從體內透過表皮蒸發逸散至空氣中的量，據以評估皮膚阻絕內外環境之障壁功能是否正常。在未自覺出汗的狀況下，TEWL 愈大，代表皮膚的屏障效能愈低。美國國家職業安全與衛生研究院(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)於近年亦訂定以 TEWL 評估工業化學物暴露導致皮膚障壁功能損害之標準⁽¹⁰⁾。當人類皮膚遭受紫外線照射時，皮膚障壁功能完整性所受之傷害與紫外線波長和強度(暴露劑量)有關。綜合過去研究觀察結果，當去毛小鼠(hairless mice)或大鼠(rats)之皮膚遭受：(i)單一、高劑量的 UVB 曝曬⁽¹¹⁾；(ii)重複、低於 MED 之 UVB 曝曬⁽¹²⁾；(iii)UVA 與 UVB 同時曝曬時紫外線後，TEWL 皆呈上升趨勢⁽¹³⁾。

皮膚表皮層是一具滲透性之障壁，而此障壁主要由角質層細胞及細胞間質中存在的脂質(intercellular lipids)所組成。這些脂質包含神經醯胺(ceramides)、膽固醇(cholesterol)、游離脂肪酸(free fatty acids)，以及微量的非極性脂肪與硫酸固醇(cholesterol sulfate)等。Jiang *et al.*⁽¹⁴⁾評估小鼠角質層中細胞間脂質經 UVB 照射後的反應。其實驗以單一劑量的 UVB (0.15 J/cm²)照射去毛成鼠的皮膚，並以 TEWL 作為評估障壁功能之依據。研究結果顯示單一劑量的 UVB 輻射能夠顯著地增加 TEWL 值—TEWL 於照光後第 2 天開始上升，並於第 4 天時到達高峰。實驗中利用電子顯微

鏡觀察細胞間區域所發生、顯著的異常型態(morphological abnormalities)；異常的型態包括層板顆粒(lamellar granules)之組成改變、其於表皮角質層(stratum corneum)與粒狀層(stratum granulosum)間之含量變化、以及角質細胞中細胞核之不易釋出。

此外，日光輻射能亦能影響皮膚濕度，但目前相關之研究仍然有限，此外亦尚未有研究闡明影響其作用機轉之因素。Li *et al.*⁽¹⁵⁾使用人工模擬 UVB 光源($725 \pm 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)，以每日 6 小時、連續 3 天照射飼養在恆溫室內(23°C)大鼠(Sprague-Dawley rats)之皮膚；研究結果發現在第 1 天曝曬 0 至 2 小時時，皮膚濕度呈下降趨勢，隨後則逐漸回升，但未能恢復至原先正常情況。第 2 天皮膚濕度趨勢與第一天相同，但數值高於第一天量測值。第 3 天皮膚濕度則出現連續下降之趨勢，顯示皮膚已遭受累積性傷害，障壁功能明顯下降。

第二節 紅斑與黑色素生成

遭受紫外線照射時，人體皮膚產生最明顯的生理反應為紅斑生成(erythema)與色素沈澱(skin pigmentation)；紅斑生成以及色素沈澱與膚色、年齡、曝曬位置、紫外線波長、及曝曬劑量具顯著關聯。此兩種指標對於因紫外線曝曬所造成之皮膚病理或生理反應具有高再現性且簡單明瞭的優點。紅斑生成及色素沉澱常分別以紅斑指數(erythema-index, E-index)以及黑素指數(melanin-index, M-index)表示；兩者亦是大多數研究中觀察紫外線暴露後數小時或數天內生理反應變化常選用的指標。

Farr and Diffey⁽²⁾以 E-index 評估人體皮膚經模擬紫外線曝曬後的健康效應，發現所測得的紅斑反應與紫外線劑量之對數呈線性關係。Park *et al.*⁽¹⁶⁾利用螢光燈源(fluorescent sunlamp)所產生之寬頻(broad-band) UVA 與 UVB 射線照射皮膚表面，並以 E-index 與 M-index 檢驗因紫外光暴露生成之皮膚顏色變化進程。研究結果發現照射後 1 天內 E-index 即抵達最大值，而後逐漸下降，但 28 天後仍無法回復至皮膚原先情況；而 M-index 則於曝曬後緩慢上升，直到第 7 天時到達高峰。

第三節 經皮水分散失度、皮膚濕度、紅斑生成與黑素沉澱受溫度影響之測量

人體中多數的生理組織與系統皆會受到溫度影響。若於紫外線照射前與照射後改變周遭之環境溫度，可造成皮膚微血流以及皮膚發炎反應(inflammatory reaction)的改變，並同時影響因紫外線輻射所導致的紅斑生成與色素沈澱。目前以紫外線照射前後皮膚表面溫度變化為主題的研究並不廣泛；但少數研究亦發現皮膚表面溫度可因紫外線曝曬而改變，而上項改變與 TEWL 變化及皮膚生成紅斑程度具關聯。Thiele *et al.*⁽¹⁷⁾研究去毛大鼠遭受紫外線與臭氧同時暴露後皮膚表面溫度與 TEWL 的改變，觀察到兩者間具顯著關係。Shea and Parrish⁽¹⁸⁾於其研究中，先以 UVB (290-320 nm)照射人類皮膚，再立即以 20°C 或更低溫度之水袋冰敷皮膚 1 小時使皮膚表面溫度降低。研究發現曝曬前冰敷具有提高紅斑生成劑量之效果—劑量之提升以照射 4 至 6 小時後最為明顯。Shea and Parrish 建議：可引起發炎反應之訊號物質會因冰敷而改變擴散方

式，因而造成皮膚血流反應之變化或是改變皮膚細胞修復因紫外線曝曬而產生損害之能力。

皮膚濕度為水分停留在皮膚表面之含量，不但可調節皮膚散發多餘體熱，亦能控制皮膚微循環。由於水具有高比熱之特性($S=1$)，對濕度較低的皮膚而言，其比熱較正常狀況為低，因此只要環境熱稍加改變，即可造成皮膚溫度顯著變化；也因此過於乾燥的皮膚會具有較高的皮膚溫度，且無法透過散發多餘熱量避免曬傷情況發生。皮膚濕度亦能影響皮膚血流變化，皮膚愈乾燥，皮膚表面血液流速也就愈高。McLellan *et al.*⁽¹⁹⁾於不同環境溫度(16, 24, 32°C)與相對濕度($35 \pm 10\%$)狀況下，利用暴露艙測量受試者於熱適應後腳掌、下背處與手掌背部之皮膚濕度變化，量測時間為 15 分鐘。結果發現受測者之腳掌皮膚濕度隨環境溫度上升而增加。同時年齡為皮膚濕度影響要素之一：年紀愈高，皮膚表面含水量愈低。

第四節 日光曝曬對主觀熱舒適影響與男女熱感知差異

日光中除紫外線外，亦包含可見光與紅外線；三者間因波長不同，對於皮膚生理效應與人體熱感知之影響也不同。可見光為一高能量之輻射線，但此射線只佔所有電磁頻譜中的一小部份。迄今研究仍未能明確說明具不同波長特性之輻射能量如何影響人體熱感知，也未能清楚界定人體生理是否對於本質為微小波長改變之輻射暴露可產生明顯之變化。Narita *et al.*⁽²⁰⁾調查日光輻射對於人體手掌背面之熱感知效應，在研究中將各實驗受試者之右手掌背暴露於三種不同波長人工輻射線之混合；三波長包含：可見光(波長長 0.30-0.80 nm)、近紅外線(0.80-1.35 nm)以及中紅外線(1.70-2.30 nm)。在右手被以上不同波長輻射線混合照射時，左手掌背同時固定以全波長輻射(0.3-2.5 nm)照射。研究發現暴露於可見光與中紅外線之右手掌背溫度高於左手掌背。當以高輻射劑量($905-1,186 \text{ W/m}^2$)集中照射於表皮上，皮膚溫度將會升高至 38-44°C 且持續約 40-80 秒。此外，Hodder and Parsons⁽⁹⁾觀察到：若將模擬日光輻射照射至人體，則熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)於每增加 200W/m^2 模擬日光輻射劑量時上升 1 級；若以特定頻寬的模擬輻射照射則不會影響人體熱感知。

迄今調查男女熱舒適差異之研究不多；此類型研究大都於實驗室或以實地調查(field survey)方式進行。除性別外，研究觀察重點亦可能包括年齡與人種作為熱舒適感變異之影響因子。因為對熱環境之主觀舒適認知因人而異，故不同性別對熱舒適認知之影響較不易觀察，而該影響亦鮮少透過結合熱舒適調查與皮膚生理反應觀測決定。Hwang *et al.*⁽²¹⁾利用 ASHRAE Standard 55 之室內熱感知問卷調查台灣中南部 7 所大學 36 間教室(26 間設有空調系統，10 間為自然通風)學生之熱舒適與熱接受度，結果顯示：在相同微氣候條件下，男女生之 TSV 具統計上顯著差異($p\text{-value} = 0.03$)。Lan *et al.*⁽²²⁾透過實驗量測中國籍受測者之心率變異度(heart rate variability, HRV)與 17 個身體部位皮膚溫度受環境溫度變化之影響，發現皮膚溫度隨著操作溫度(operative temperature)增加而升高，且男性平均皮膚溫度高於女性 0.5°C。男性於熱環境之 HRV 高於冷環境，女性恰好相反；女性除於冷環境之 HRV 高於男性外，其餘環境下之 HRV

皆低於男性，顯示女性對冷環境之敏感度較男性為高。該研究亦使用 ASHRAE 問卷調查受試者對於環境溫濕度之熱舒適感，發現女性對於溫度變化之敏感度高於男性，但男性則對濕度敏感度較高。男女間之 TSV 未有顯著差異；女性感覺舒適之室內操作溫度(comfortable operative temperature; 26.3°C)高於男性(25.3°C)。

第五節 常用調查熱感知之工具

一般評估熱環境變化時人體之對應主觀認知通常使用問卷調查。美國冷凍空調協會(ASHRAE)在其 ASHRAE Standard 55-2004 “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”⁽²³⁾所發展之問卷目前已廣泛應用於評估與檢測建築物室內與其他工作空間之熱環境、人體熱感知與接受度(thermal acceptability)、以及室內環境之通風系統效能。ASHRAE 問卷中對熱感知之測量分為 7 個級別，分別為熱(hot)、暖(warm)、微暖(pleasantly warm)、剛好(neutral)、微涼(pleasantly cool)、涼(cool)、冷(cold)。此測量方法不但可調查人體於各環境中之熱感知與熱接受度，如居家住宅或公共場所等環境，亦可評估當環境中熱能改變時，受測者會採取何種行為調整(adaptive behaviors)以適應熱環境變化。然而，類似 ASHRAE 問卷受限於其主觀認知調查之設計，無法確切地評估在熱危害環境下，人體實際呈現之生理反應變化及其與潛在負面健康效應之關聯性。在熱危害評估中，出汗率(sweat rate)、核心溫度(core temperature)與心跳率(heart rate)等為常用的生理指標，但其穩定性與一致性較不足，因此尚未能成為可信度高之量化指標⁽⁷⁾。

第六節 總結

歸納上述研究結果發現：TEWL、皮膚紅斑與色素沈澱生成、皮膚濕度、以及皮膚表面溫度的改變，可因皮膚遭受不同程度紫外光輻射產生變化，故具有作為評估因日光紫外線曝曬造成負面健康效應生理指標的潛力；其中，皮膚溫度與濕度亦曾於研究中作為評估熱舒適之指標。

由於人體對於熱環境之滿意程度除涉及主觀心理因素外，亦受客觀生理效應影響，故單獨採用主觀問卷方式調查人體對於熱環境之感受，難以理解熱環境對於人體生理效應之實際影響程度。因此需要以主觀認知與客觀生理反應調查方式一同進行調查，藉以提供人體受熱環境影響時主觀與客觀觀感之異同處。

本研究將探討上述生理指標在受到不同環境物理力作用時所產生之單獨與綜合變化，嘗試建立指標間之時程反應關係以及各指標之劑量反應關係，評估各指標反應環境溫度、環境濕度、以及日光輻射變化對人體影響之敏感性。同時將比較客觀生理與主觀認知間對環境物理力改變反應程度之異同，希冀提供評估熱危害可用之量測工具。

第四章 研究方法

第一節 自然日光照射實驗之研究設計

本研究旨在建立受測人員在正常戶外活動時接受自然陽光曝曬狀況下，皮膚生理指標(TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、E-index、M-index)與個人主觀熱感知(TSV)所產生之變化，以瞭解：1) 以上生理指標是否可有效反應短期與長期日光紫外線暴露可能生成之健康效應，以及上述之暴露(劑量)-反應關係是否受自然環境溫濕度變化之影響；2) 當上述指標可有效反應紫外光曝曬時，指標反應值與自然紫外光強度間是否存有可量化或半量化之關係；及 3) 人體熱舒適受自然環境物理力，包含環境溫濕度與自然日光照射之影響，以及主觀熱舒適認知與皮膚生理變化間之可能關係。自然日光照射實驗共為期 6 週，每週實測 2 次，共計測量 12 次，實驗時間為早上 10 點至 11 點。第四節中將詳述此階段之實驗內容、步驟與資料收集方法。

第二節 研究對象

自然日光照射實驗之研究對象，共 6 男 6 女。所有受試人員於實驗進行前皆已填妥並繳交「個人基本資料」，內容包括：基本資料(性別、年齡、身高與體重)、戶外活動狀況、個人皮膚生理狀況與夏季衣著量。為使受試人員清楚瞭解本實驗設計，因此於實驗進行前亦提供每位受試人員受試人員指引說明，並由工作人員詳細解說，內容包含：服裝穿著規定、實驗日期、實驗地點、實驗流程與注意事項、以及所量測之指標。受試人員於瞭解本研究之實驗設計、進程、與步驟，並確認參與意願後，簽屬受試人員同意書，方得參與實驗。受測人員之基本資料分析結果如下：

受試人員包含 6 男 6 女。全體受試人員平均年齡為 22.9 ± 1.6 歲；男性為 22.8 ± 1.7 歲，女性 23.0 ± 1.7 歲。全體平均身高為 166.7 ± 8.0 公分；男性為 172.7 ± 4.1 公分，女性 160.7 ± 6.2 公分。體重部份：全體平均值為 61.6 ± 13.8 公斤；男性平均為 73.4 ± 11.9 公斤，女性 51.4 ± 3.3 公斤。BMI 方面，男性平均 BMI 為 $24.3 \pm 3.5 \text{ kg/m}^2$ ，女性略低於男性，BMI 為 $20.1 \pm 1.7 \text{ kg/m}^2$ ，全體人員平均 BMI 為 $22.0 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 。

個人基本資料亦針對各受試人員過去 6 個月內是否自覺具異常皮膚生理狀況進行初步調查，以瞭解各受試人員在正常狀況下是否可參與實驗，以及其皮膚狀況對實驗設計是否構成干擾因子。每位受試人員在填寫問卷時依個人皮膚狀態之發生異常頻率作自我評估，區分為：沒有(0%)、偶爾(1-25%)、普通(26-50%)、經常(51-75%)、持續(76%-100%)。參與本研究之受測人員，不論男性或女性均自覺個人皮膚生理狀況屬於健康，唯有一女性受試人員自覺皮膚經常處於乾澀情況。但該受測者之 TEWL 與皮膚濕度數值與其他受測者並無明顯區別，故繼續參與本實驗。研究中為有效評估日光紫外線暴露可產生之累積性效應，受試人員於本實驗進行中亦逐日填報「戶外活動紀錄表」。研究人員於每週週一發放紀錄表，受試人員於次週週一繳回。

第三節 研究儀器設備與工具

本研究測量 TEWL、皮膚溫度與皮膚濕度之儀器為 Cortex[®] DermaLab System (Cortex Technology, Hadsund, Denmark)；其中 TEWL 利用 Cortex[®] DermaLab TEWL probe 測量，皮膚溫濕度利用 Cortex[®] DermaLab flat-head moisture probe 測量。E-index 與 M-index 之測量儀器為 Cortex[®] DSM II Colormeter (Cortex Technology, Hadsund, Denmark)。

實驗中同時以 CENTER 314 數位溫濕度表(CENTER 314 Temperature/Humidity Datalogger, Center Technology Corp., Taipei, Taiwan)收錄環境暴露艙內與戶外日光照射實驗地點之乾球溫度(dry bulb temperature)、相對濕度(relative humidity)、及黑球溫度(globe temperature)，並利用相對濕度表(psychrometric chart)⁽²⁴⁾將以上數值換算為自然濕球溫度(natural wet bulb temperature)，並計算其 WBGT 值。

本研究使用之熱舒適問卷為以 ASHRAE Standard 55⁽²³⁾標準問卷為基礎所發展之中文問卷。問卷調查於每次暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗進行系列生理指標測量前、後各進行一次，以嘗試比較測量期間生理值之變化與主觀熱感受之異同。

第四節 資料收集

4.4.1 自然日光照射實驗流程

本階段實驗期間受測人員所應遵守之衣著量及皮膚防護措施使用原則為：1) 受測時服裝為短袖 T-shirt；受試者可選擇穿著短褲或長褲，但在實驗期間穿著須一致；2) 完全避免左上臂直接遭受陽光照射；3) 左前臂外側測量處不得施用防曬、乳液、化妝、及藥用等產品。

自然日光照射實驗進行之地點為中國醫藥大學立夫教學大樓中庭草皮區附近可受陽光照射處，共計測量 12 次，每週實測 2 次(原則上為週二與週五)；每次實驗於上午 10 至 11 時間進行。實驗時受測者於指定地點(戶外)進行靜態活動 10 分鐘。受測人員進行照光活動時，實驗亦同時收錄戶外環境之乾球溫度、相對濕度、及黑球溫度；以上數值並轉換成為 WBGT 值。

圖 4-1 所示為自然日光照射實驗之流程與皮膚生理指標量測方法。受測人員於活動後移動至中國醫藥大學校園陰涼處，待手臂皮膚乾燥後，進行皮膚濕度測量。皮膚溼度於受測人員前臂外測距腕關節約 10 cm 處與上臂內側距肘關節約 15 cm 處測量；每次量測收取 4 次測量值，每次 10 秒。隨後受測人員應立即返回中國醫藥大學立夫教學大樓 16 樓職安系環境暴露艙內，於預設環境溫濕度(溫度 28°C；相對濕度 70%)下維持靜止狀態 20-30 分鐘，以適應暴露艙內之環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，分別於受測人員前臂外測距腕關節約 10 cm 處與上臂內側距肘關節約 15 cm 處依序測量皮膚之 TEWL (及皮膚溫度)、E-index 及 M-index 值。TEWL 與皮膚溫度共量測 90 秒；E-index 及 M-index 則收取連續 10 次(每秒一次)之測量值。另外，

每次進行戶外實驗時，同時進行熱舒適問卷調查兩次。第一次為受測者於戶外照光活動時填寫，第二次為皮膚溼度測量結束時。第二次填寫時間須為陽光照射結束、進入陰涼處至少五分鐘後。

4.4.2 日光紫外線指數與累積輻射劑量之計算

本研究透過與中央氣象局大氣物理科合作，收集實驗期間台灣中部地區每日紫外線指數(UVI)即時測報資料，以評估日光照射實驗期間抵達台中地區地表紫外線之強度。中央氣象局之資料來源為其台中氣象站(位於台中公園內)所監測之每小時整點UVB輻射值，單位為 $100 \text{ J/m}^2/\text{hr}$ 。為有效評估長期接受紫外線曝曬可能對生理指標產生之累積性效應，本研究透過以下公式計算紫外光累積輻射劑量(irradiance)：

$$Irradiance_{UV} = \sum_{1st\ Measure}^{Current\ Measure} (UVI_{Bihourly} \cdot Weight\ of\ Exposure)$$

其中 $UVI_{Bihourly}$ 為自自然日光照射實驗開始至累積曝曬計算時間點間，中央氣象局台中地區每日上午 8 時至下午 6 時間紫外光即時監測值之每兩小時平均值(每日共有 5 平均值，分別為上午 8-10 時、上午 10 時至正午 12 時、正午 12 時至下午 2 時、下午 2-4 時、及下午 4-6 時之即時監測值)；Weight of Exposure 為每日每兩小時間受測者實際曝曬時間(依受測者所提供「戶外活動紀錄表」決定)加權指數，分別為 0, 1, 2, 3, 4, 5，代表曝曬時間為低於 20 分鐘、20-40 分鐘、40-60 分鐘、60-80 分鐘、80-100 分鐘、100-120 分鐘。所以 $Irradiance_{UV}$ ($100 \text{ J/m}^2/\text{hr}$) 為每次進行戶外實驗時，各受測者自第一次測量日上午 8 時起，迄該測量日之間的紫外光累積輻射劑量。

第五節 自然日光照射實驗結果統計分析

本階段研究所收集之皮膚生理指標數據依性別(全體受試人員、男性受試者、女性受試者)、皮膚測量部位(上臂內側、前臂外側)、及曝曬劑量(短期、長期)分類進行統計分析。皮膚生理指標對應對 UVI (短期曝曬劑量單位)及 irradiance (長期曝曬劑量單位)之分佈以散佈圖(scatter plot)呈現，分析皮膚生理指標與日光紫外光曝曬劑量間之相關性，並透過線性迴歸方程式(linear regression equation)量化推導人體皮膚因短、長期紫外線曝曬後產生之生理變化。全體、男性與女性之上臂內側與前臂外側皮膚生理指標測量值另以表列方式呈現，並使用學生氏 t 檢定(student's t test)分析不同測量日量測所得之男女生理指標值是否達統計顯著差異。以上散佈圖同時進行關聯性分析(correlation analysis)：1) 皮爾森積差相關係數(Pearson product-moment correlation coefficient, r)呈現皮膚生理指標變化與長短期日光紫外線曝曬間之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2) 線性分析：透過線性迴歸探討皮膚生理指標與長短期日光紫外線曝曬間或生理指標間之可能線性關係，以判定係數(coefficient of determination, R^2)表示。

為探討日光照射對於主觀熱感受之影響，如前述，受測者於日光照射實驗過程中分別於戶外日照處與陰涼處各填寫一次熱舒適主觀問卷，以問卷調查熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)。全體人員、男性與女性兩次問卷之主觀熱舒適感(TSV值)間之差異(Δ TSV)則對應該日 UVI 值進行比較。TSV 與皮膚生理指標之相關性以受測人員於戶外陰涼處所調查得之 TSV 對應第一次皮膚濕度量測值作散佈圖，並依性別與皮膚部位分類，以探討主觀感知與客觀生理指標間之差異。全體、男性、女性 TSV 對應上臂內側與前臂外側皮膚濕度散佈同時進行關聯性分析以及線性迴歸探討主觀熱感知與皮膚濕度間之相關性。

日光照射實驗收集之數據並以多項式複迴歸分析方法(multiple regression analysis)檢驗環境溫度、環境相對濕度、日光輻射(含短期與累積性輻射)、及性別等因子對於各皮膚生理指標之綜合影響及其影響程度。分析結果以多項式複迴歸方程式(polynomial multiple liner regression equations)、偏迴歸係數(partial-regression coefficient)、複相關係數(multiple correlation coefficient)、複判定係數(coefficient of multiple determination)、調整複判定係數(adjusted coefficient of multiple determination)與相關統計檢定表示。研究分析另以共線性診斷(collinearity diagnostics)檢驗多項式複迴歸方程式是否具有多元共線性(multi-collinearity)，亦即各影響皮膚生理變化之變項是否具顯著相關性。若變數間之變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)大於 10，則該組變數間為顯著相關，於複迴歸方程式中退化(degressed)為單一變項。複迴歸方程式進一步透過標準化複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)之建立，評估在去除各變項單位因素(亦即因環境因子測量單位不同所形成測量值間及其反應在方程式偏迴歸係數間之差異)後，環境物理因子對於皮膚生理指標的實際影響程度。日光照射實驗數據除以複迴歸方程式與標準化複迴歸方程式呈現外，亦以逐步迴歸法檢驗複迴歸方程式中各環境因子變項與生理指標之相關性，透過移除關聯性低之變數，增加線性迴歸之預測性。

第五章 結果與討論

第一節 日光紫外線輻射對 TEWL 之影響

圖 5-1 所示為受測人員前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 TEWL 分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 TEWL 數值介於 5-50 g/m²/hr 之間。但當測量當日 UVI 數值低於 5 時，TEWL 侷限於約 35 g/m²/hr 以下；當 UVI 高於 5 時，TEWL 則呈現擴大發散趨勢。依性別區分對應關係後發現：男性受測者之 TEWL 在 UVI 為 5 時變異最大；女性受測者之 TEWL 則隨 UVI 增加而差異擴大。由各迴歸方程式中可發現女性迴歸係數高於男性，顯示女性前臂外側皮膚對於短期紫外線暴露反應之敏感度較高。若比較迴歸常數則顯示男性高於女性，顯示男性皮膚 TEWL 之基底值高於女性，亦即男性之前臂外側皮膚較女性易於散失水份。由圖 5-1 所示之線性迴歸可發現：TEWL 之變化並未顯著地與日光紫外線短期輻射劑量呈現線性關係，顯示 TEWL 雖然對環境溫濕度可適當反應作為生理指標，但在戶外環境中卻難以作為環境物理力綜合影響之指標，特別是在戶外溫濕度之影響下，其反應日光紫外線暴露急性生理變化之可能效果難以顯現。圖 5-1 中之線性所反應者當為 TEWL 對應輻射熱之變化。

圖 5-2 呈現受測人員前臂外側皮膚經長期紫外光曝曬後，TEWL 隨紫外光累積輻射劑量(irradiance)增加之分佈與線性迴歸。如圖顯示：受測者前臂皮膚 TEWL 值並未明顯呈現可與紫外光累積輻射量變化量化迴歸之趨勢。TEWL 之數值介於 5-50 g/m²/hr 之間。但當累積輻射量較低時，TEWL 之變化幅度較大。進一步分析男女性之差異，發現男性 TEWL 隨累積輻射量增加而上升。女性因為其長期曝曬輻射量於觀測期間可高達約 50 kJ/m²/hr (男性之最高值接近 35 kJ/m²/hr)，故在線性走勢上呈現下滑趨勢。

以上結果顯示 TEWL 在遭受物理力刺激時所生成之急性變化在本質上為反應皮膚散熱之需求，故非累積性日光紫外線曝曬之適當生理指標。值得注意的是，男性受測者 TEWL 對應 irradiance 之線性可能反應：男性皮膚在缺乏適當保護之狀況下，長期遭受紫外線傷害致使皮膚障壁功能減損。

表 5-1 所示為自然日光照射實驗中全體人員上臂內側與前臂外側皮膚 TEWL 之測量值、男一女比值、及統計檢定結果。由表中可觀察到男性上臂內側(對照點) TEWL 測量值高於女性，比值在調查過程中皆大於 1，且於第 3 次實驗時，男女上臂內側 TEWL 差異達統計顯著性 (p -value = 0.017)。男性上臂內側 TEWL 最大值為 19.35 g/m²/hr，女性為 12.69 g/m²/hr。以上結果顯示男性皮膚之水分散失度高於女性，可能原因包括較高之體熱散熱需求或男性皮膚在長期接受物理力侵蝕下造成障壁功能之減損。與上臂內側之情形對比，前臂外側男女間之差異較不明顯(男一女比值：0.48-1.66)。因為前臂外側為男女共同於日常戶外活動中可遭受日光曝曬之區域，故以上結果說明在上臂內側所觀察到之差異，當與該部位皮膚男女間之曝曬狀況不同有直接關係。男女間統計檢定結果皆未達統計顯著性(p -value > 0.05)。比較前臂外側與

上臂內側皮膚 TEWL 比值可觀察到除不論男女前臂外側之水分一般而言散失速度皆高於上臂內側之速度。男性前臂外側與上臂內側皮膚 TEWL 比值小於 1 之次數($n=7$)較多；女性比值小於 1 之次數($n=1$)較少。男女間前臂外側與上臂內側皮膚 TEWL 比值之檢定結果皆未達統計顯著差異($p\text{-value} > 0.05$)。

第二節 日光紫外光輻射對皮膚濕度之影響

自然日光照射實驗中皮膚濕度共量測兩次，第一次在曝曬自然紫外光後立即於戶外陰涼處下量測，以評估皮膚濕度受日光曝曬後之急性反應；第二次量測地點為環境暴露艙(預設溫度為 28°C 、相對濕度 70%)，藉以評估皮膚濕度受累積性曝曬後之長期健康效應。所以選擇固定預設溫度之原因，在於去除環境溫濕度變化可能對皮膚濕度造成之效應，藉以觀察源自日光輻射所產生之長期反應。圖 5-3 所示為戶外陰涼處下，受測人員前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後皮膚濕度對應曝曬期間 UVI 之分佈與線性迴歸。皮膚濕度隨 UVI 上升而增加，且以男性受測人員增加幅度情況最為明顯(男性迴歸係數 = 80.66；女性 = 0.10)，女性受測人員前臂外側皮膚濕度受紫外光照射強度影響較小。女性皮膚濕度不隨 UVI 值而改變，始終維持恆定之原因當與其使用防曬用品有關，因一般市售防曬用品皆具保濕功能。圖 5-4 所示為受測者前臂皮膚濕度值對應紫外光累積輻射量變化量化迴歸之趨勢。皮膚濕度值為每次實驗第二次測量值。由圖中可觀察到前臂外側皮膚受累積性曝曬後，皮膚濕度未有明顯變化趨勢，顯示皮膚濕度亦屬於反應短期曝曬之立即性指標。男性人員皮膚濕度隨累積曝曬劑量增加而出現減少之趨勢，與其 TEWL 數值隨暴露劑量增加而緩步上升對應，支持前述關於男性皮膚經長期曝曬後障壁功能減損之觀察。

表 5-2 為自然日光照射實驗中受測人員上臂內側與前臂外側皮膚皮膚濕度(戶外陰涼處第一次測量結果)之測量值、男一女比值、及統計檢定結果。除第 10 與 12 次測量外，其餘時間男性上臂內側皮膚濕度量測值皆高於女性(男一女比值：1.09-1.66)，但男女間之差異未達統計顯著性($p\text{-value} > 0.05$)。與上臂內側情形比較，前臂外側皮膚濕度於戶外陰涼處所量測 12 次中，男女比值只有 4 次高於 1，顯示男性受測人員前臂外側皮膚濕度較低，反應男性皮膚受日光曝曬區域之保濕能力較女性為差。但兩者間統計檢定結果仍未具顯著差異($p\text{-value} > 0.05$)。比較戶外陰涼處下前臂外側與上臂內側皮膚濕度量測值之比值時發現：男性受測人員多數時間前臂外側對上臂內側之比值皆低於 1，顯示上臂內側保濕能力較佳。女性受測人員前臂外側皮膚濕度於第 2 次實驗時低於上臂內側，其餘測量日之皮膚濕度比值皆大於 1。男女間不同部位皮膚濕度比值之統計檢定未達顯著性。

第三節 日光紫外光輻射對紅斑生成之影響

圖 5-5 所示為受測人員前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 E-index 分佈與線性迴歸。在觀察期間 E-index 數值分佈於 9-21 單位(a^*)

間，並呈現隨 UVI 增加而緩慢上升之趨勢。整體而言，E-index 作為短期曝曬急性生理指標之功能不如預期，當與實驗期間台中地區日光紫外線之強度較弱(最高值為 8.87)，以致紅斑生成現象較不顯著有關。以上假設可以透過檢驗高 UVI 值之數據獲得驗證：當 UVI 值高於 7 時(WHO 建議暴露等級為高量之暴露)，E-index 數值最低值亦高於 12。若實驗期內之日光曝曬強度增加，則 E-index 作為短期曝曬生理指標之適用性當更為明顯。進一步依性別分類後發現：男性 E-index 分佈範圍為 12-21 單位(a*)間，女性則是 9-18 單位(a*)，顯示男性皮膚在較缺乏防護下，處於受損較劇烈之情況。

圖 5-6 現受測人員前臂外側皮膚經長期紫外光曝曬後，E-index 隨紫外光累積輻射劑量增加之分佈與線性迴歸。可觀察到在累積輻射量較低之時(irradiance < 1.5 kJ/m²/hr)，E-index 數值分佈於 8-22 單位(a*)間；但隨著累積輻射量逐漸增加(irradiance > 1.5 kJ/m²/hr)，E-index 逐漸收斂，分佈於 12-19 單位之間，且隨 UVI 增加呈現小幅上升的趨勢(迴歸係數 = 0.73)。依性別區分後發現男性前臂外側 E-index 隨累積輻射量增加而變化之趨勢並不顯著，但女性則具有上升趨勢。值得注意的是，女性數據之迴歸係數與全體人員之係數非常接近，顯示男女間之顯著差異。男性 E-index 未隨長期曝曬劑量出現可觀察趨勢之原因，當與男性 E-index 之背景值較女性為高，故不易觀察出明顯變化有關。

表 5-3 所示為自然日光照射實驗中全體人員上臂內側與前臂外側皮膚 E-index 之測量值、男一女比值、及統計檢定結果。由表中可觀察到男性上臂內側皮膚 E-index 為 8.47-9.67，女性為 9.10-10.09。男一女比值除第 3 與 9 次實驗外，其餘數值皆小於 1 (0.90-1.00)。男女間上臂內側皮膚 E-index 測量值未達統計顯著差異。男性前臂外側皮膚 E-index 為 15.23-16.86，女性為 13.13-14.50。男一女比值均高於 1 (1.10-1.25)。以上結果顯示：在未遭受陽光照射之情形下，男女性皮膚之發紅狀況相似；但使用防護機制與否則造成男女性受日光照射之皮膚紅斑生成上之顯著差異。

第四節 日光紫外線輻射對黑素沉澱之影響

圖 5-7 所示為受測人員前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 M-index 分佈與線性迴歸。圖中顯示全體人員前臂外側皮膚 M-index 分佈範圍為 30-55 單位(b*)間，並無明顯之上升之趨勢。男性 M-index 分佈範圍為 35-55 單位(b*)間，女性為 30-45 單位(b*)間，但男性線性趨勢呈現負值(-0.08)，女性為正值(0.28)；各線性迴歸之 R² 皆偏低(< 0.0192)。黑素沉澱一般而言所反應者為較長期性、累積日光曝曬之健康效應，故短期效應較難透過 M-index 預測。但以男性而言，負線性之出現所反應者為因男性背景值過高而產生數據不確定性。但不論男女，M-index 之分佈與其他生理指標相較均較為集中。圖 5-8 所示為受測人員前臂外側皮膚經長期紫外光曝曬後，M-index 隨紫外光累積輻射劑量增加之分佈與線性迴歸。前臂外側皮膚 M-index 隨累積曝曬量增加而上升，且以男性上升趨勢較為明顯，各線性迴歸之 R² 均高於 0.12。如前所述，因應黑素沉澱之特性，M-index 為累積性曝曬較常使用之生理指標，故以上符合預期之趨勢。女性 M-index 上升之趨勢較緩，可能原因與女性

使用防護機制與皮膚保養品有關。

表 5-4 所示為自然日光照射實驗中全體人員上臂內側與前臂外側皮膚 M-index 之測量值、男—女比值、及統計檢定結果。由表中可觀察到全體人員、男性、女性上臂內側皮膚 M-index 分別為 30.25-31.84、28.47-30.63、31.59-33.84；男性 M-index 數值小於女性(男—女比值：0.88-0.94)。男女間之差異於第 1、4、6、10、12 次實驗時達統計顯著(p -value < 0.05)。全體人員、男性、女性前臂外側皮膚 M-index 分別為 38.84-41.83、42.23-46.66、35.45-38.14；男性 M-index 皆顯著地高於女性(男—女比值：1.15-1.26)。男女間之差異只於第 3 與次 7 實驗時未達統計顯著性。檢驗全體人員、男性、及女性前臂外側—上臂內側之 M-index 比值發現：全體人員為 1.30-1.36，男性為 1.45-1.56，女性為 1.11-1.17；男女間 M-index 比值之差異均達統計顯著性(p -value < 0.05)。男性前臂外側與上臂內側間高達 30%之差距，說明男性使用皮膚防護機制之必要性。

第五節 日光紫外線輻射對主觀熱感知之影響

圖 5-9 所示為受測人員於戶外日照處與隨後進入戶外陰涼處所測量 TSV 之差異情況。一般而言，當受測人員處於熱暫留區(thermal transition zone)時，主觀熱感知可產生明顯變化。以本研究為例，當人員自陽光照射處進入陰涼處之時，TSV 產生顯著之下降(全體人員 Δ TSV 平均值除第 10 次實驗外均高於 1)，顯示日光照射以輻射熱之型態對於人體主觀熱感知造成顯著地影響。 Δ TSV 最大值出現在第 3 次測量 (Δ TSV = 1.92)，當日戶外環境溫度為 35.0°C、相對濕度 48.2%，WBGT 為 30.10 °C； Δ TSV 最小值則發生於第 10 次測量 (Δ TSV = 0.25)，當日戶外環境溫度為 28.9°C、相對濕度 74.0%，WBGT 為 26.34 °C。整體而言， Δ TSV 隨環境溫度升高而增加，但與環境濕度之變化則無明顯之關係。男性 Δ TSV 最大值在第 4 次測量日(Δ TSV = 2.17)中出現，當日戶外環境溫度為 34.6°C、相對濕度 51.0%，WBGT 為 30.02 °C；女性 Δ TSV 最大值在第 3 次測量日中出現(Δ TSV = 2.00)。男性於受測期間之 Δ TSV 總體平均為 1.46，高於女性之 1.33，同時男性 Δ TSV 之變化較密切反應環境溫度之變化，顯示男性之主觀熱感受較女性易受環境溫度之影響。

圖 5-10 所示為受測人員於戶外陰涼處之 TSV 值對應上臂內側與前臂外側皮膚濕度第一次量測值。由圖中可觀察到 TSV 對應上臂內側與前臂外側皮膚濕度線性迴歸趨近於水平直線，顯示兩者間未有顯著線性關係，亦即主觀熱感知強弱不受皮膚濕度高低影響。以上現象不受性別差異之影響。

第六節 戶外環境物理因子與性別對於主客觀指標之綜合影響

表 5-5 所示為自然日光照射實驗中前臂外側皮膚濕度、E-index、M-index、及 TSV 對應環境溫度、相對濕度、UVI(短期曝曬劑量)、性別之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。因性別變項為

類別型數據，故在複迴歸方程式標準化過程中成為獨立變項(即未標準化)。由表中可觀察到在環境物理力(環境溫度、相對濕度、及日光紫外線指數)固定下，前臂外側皮膚濕度、E-index 與 M-index 均明顯受性別差異之影響(皮膚濕度、E-index、及 M-index 之 slope 分別為 0.231、-1.057、及 -1.259)；E-index 與 M-index 之偏迴歸係數皆為負值，說明男性前臂外側 E-index 與 M-index 測量值均高於女性；但皮膚濕度則女性較高。皮膚濕度經標準化後複迴歸方程式之複相關係數仍偏低($r = 0.21$)，檢定結果亦未達統計顯著差異($p\text{-value} = 0.160$)，顯示多項式複迴歸無法適切分析皮膚濕度與本研究所有囊括影響因子間之關係，或本研究選擇之環境物理因子無法完全解釋皮膚濕度在戶外熱環境中之變化。此外，由主觀感知對應環境物理力與性別之標準化複迴歸方程式中可觀察到當性別因子固定時，環境溫度最能影響 TSV 之變化($\text{slope} = 0.244$)，其次為 UVI ($\text{slope} = -0.037$)。TSV 標準化複迴歸方程式之複相關係數與複判定係數分別為 0.21 與 0.04；統計檢定未達顯著差異($p\text{-value} = 0.177$)，顯示多項式複迴歸無法適切分析主觀熱感知與本研究所有囊括影響因子間之關係，或本研究選擇之環境物理因子無法完全解釋主觀熱感知在戶外熱環境中之變化。

表 5-6 所示為自然日光照射實驗中前臂外側生理指標與主觀感受對應環境物理因子與性別之逐步迴歸方程式。由表中可觀察到複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後均轉換成為簡單迴歸方程式(simple regression equations)，顯示只有單項因子可影響至主客觀指標變化。就皮膚濕度而言，其變化唯有受 UVI 顯著影響，迴歸係數為 42.338，但相關性不顯著($r = 0.18$)。對 E-index 與 M-index 影響最大之因子為性別差異；迴歸係數分別為 -2.572 與 -7.129。TSV 則是受環境溫度影響較大，迴歸係數為 0.082。此外藉由逐步迴歸法修正後，迴歸方程式之檢定結果均達統計顯著差異($p\text{-value} < 0.05$)，顯示兩者間之線性關係已上升。由於各迴歸方程式中均僅一個自變項，因此迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 皆降低至 1.00。

表 5-7 所示為自然日光照射實驗中前臂外側皮膚濕度、E-index、M-index、及 TSV 對應環境溫度、相對濕度、irradiance(累積曝曬劑量)、性別之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到在固定環境物理力下，前臂外側皮膚濕度、E-index、與 M-index 均明顯受性別差異之影響(皮膚濕度、E-index、及 M-index 之 slope 分別為 0.203、-0.981、-1.147)。若固定性別因子後可觀察到皮膚濕度受環境相對濕度影響較高，E-index 與 M-index 則是均受累積曝曬量影響較大，其中尤以 M-index 為甚。皮膚濕度標準化複迴歸方程式之複相關係數仍偏低($r = 0.16$)，檢定結果亦未達統計顯著差異($p\text{-value} = 0.436$)。由主觀感知對應環境物理力與性別之標準化複迴歸方程式中可觀察到：在固定性別因子後，環境溫度最能影響 TSV 之變化($\text{slope} = 0.314$)，其次為環境相對濕度($\text{slope} = 0.096$)及紫外光累積輻射量($\text{slope} = 0.074$)。TSV 標準化複迴歸方程式之複相關係數與複判定係數分別為 0.22 與 0.05；統計檢定未達顯著差異($p\text{-value} = 0.144$)。

表 5-8 所示為自然日光照射實驗中前臂外側生理指標與主觀感受對應環境物理因子與性別之逐步迴歸方程式。由表中可觀察到皮膚濕度之複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後發現未有任何因子進入逐步迴歸方程式中，說明環境熱因子、累積性紫外光

曝曬、與性別並不能顯著地影響前臂外側皮膚濕度之變化。E-index 與 M-index 之複迴歸方程式經修正後之主要影響因子為紫外光累積曝曬量與性別，顯示此二因子較能影響 E-index 與 M-index 變化；複相關係數分別為 0.57 與 0.69，檢定結果均達統計顯著差異(p -value < 0.001)。由於逐步迴歸法為減少相關性較低之自變項，因此 E-index 與 M-index 共線性診斷結果，VIF 均降低至 1.04。TSV 之複迴歸方程式經逐步迴歸法修正後轉換成為簡單迴歸方程式(simple regression equations)，顯示只有環境溫度可影響至 TSV 變化(slope = 0.082)。迴歸方程式之檢定結果達統計顯著差異(p -value = 0.012)，顯示兩者間之線性關係已上升。由於 TSV 迴歸方程式中均僅一個自變項，因此迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 皆降低至 1.00。

第七節 結論及建議

依據環境熱因子與夏季日光紫外線對於人體皮膚生理與主觀熱感知影響之研究結果進行分析與探討後，本研究歸納出之結論如下：

1. TEWL 顯著地受環境溫度影響，其測量值與變異幅度隨環境溫度上升而顯著增加；環境濕度影響幅度較低。TEWL 在不同皮膚部位與性別上並無顯著差異。本研究中 TEWL 測量結果無法有效地反應人體皮膚經日光紫外線短期或長期曝曬後之生理變化。
2. 皮膚濕度為反應男性皮膚受日光紫外線短期曝曬之良好生理指標。
3. E-index 在本研究中未能適度反應短期日光紫外線曝曬後所產生之皮膚健康效應，但對於長期日光紫外線曝曬之危害具指標功能。
4. 本研究中除觀察到 M-index 能充分反應皮膚受紫外線長期曝曬後所造成之健康效應外，亦可作為女性皮膚受日光短期曝曬後之較佳生理指標。
5. 男性於日常活動中受日光曝曬皮膚部位之 E-index 與 M-index 基準值均較女性為高，反應本研究男性參與者較不擅於使用皮膚防護機制之現象，故性別間之差異主要來自日常活動型態與行為上之差別，而非男女皮膚生理上之差別。缺乏對過度日光紫外光曝曬之防護，亦使男性參與者受曝曬部位皮膚之保濕能力與障壁功能較女性為低。
6. 人體主觀熱感知明顯受環境溫度及日光曝曬所影響，受環境相對濕度影響較低。男女性主觀熱感知未有顯著差異。皮膚溫度最能充分反應出人體主觀熱感知。
7. 針對戶外環境與性別因子影響主客觀指標之多項式複迴歸分析結果顯示：不論所對應的是 UVI (短期紫外線輻射劑量)或 irradiance (長期紫外線輻射劑量)，前臂外側皮膚濕度之複相關係數皆偏低；TSV 亦有此現象發生，顯示二指標反應室外環境物理力與性別因子之合適性不足，統計檢定結果均未達顯著差異(p -value > 0.05)。性別因子對皮膚濕度、E-index 與 M-index 之變化頗具影響性，且不受短期與長期紫外線曝曬差別之影響。在人體主觀熱感知變化方面，TSV 明顯受環境溫度影響，但若對應短期紫外線輻射劑量則發現影響之次級因子為 UVI。逐

步迴歸法分析結果顯示：在反應短期紫外線之逐步迴歸方程式方面，不論主客觀指標，方程式均修正為簡單線性迴歸；由修正模式中觀察到皮膚濕度之主要影響因子為 UVI；E-index 與 M-index 則是受性別差異影響甚大。環境溫度仍是造成 TSV 變化之主要因素。反應長期紫外線之逐步迴歸方程式中，皮膚濕度複迴歸方程式經修正後未有任何因子可進入模式中，顯示指標變化不受室外環境與性別因子之影響。E-index 與 M-index 同樣是受到累積曝曬量與性別之影響較大。由 TSV 修正模式中觀察到環境溫度是影響主觀感知之主要因素。

依據研究之發現，本研究亦作出以下建議：

UVI 以級量數表示日光紫外線到達地表之能量，WBGT 則是警示室內外環境熱因子之強度，兩者為目前警示二物理力之常用工具，但未明確說明人體過度暴露時所產生之健康效應，因此本研究旨在量化紫外線與熱環境暴露時人體皮膚生理效應之變化，以及於該環境下人體主觀熱感知與客觀皮膚生理指標間之關聯性。本研究發現與成果可循以下方式應用：

1. 監測日光紫外線所造成短期與長期之皮膚健康效應：男性可分別以皮膚濕度與 M-index 作為評估指標，女性則以 M-index 作為評估紫外線長短效應。E-index 可作為不分性別之累積性曝曬評估工具。以上皮膚生理指標可配合 UVI 或 irradiance 後作為量化警示工具，藉以彌補目前危害評估與警示資訊上的不足。
2. 於研究中觀察到可適切反應人體暴露在熱環境變化之生理指標為皮膚溫度，且該指標與人體主觀熱感知之相關性最高。顯示皮膚溫度不僅可作為熱危害之評估工具，亦可反應人體主觀熱感受，故可配合傳統主觀熱舒適問卷調查，作為輔助評估之工具。TEWL 與皮膚濕度在高環境溫濕度之變異幅度過大，因此在低環境溫度(< 25°C)下使用該二皮膚生理指標作為評估工具較為適當。

参考文献

1. World Health Organization (WHO). 2006. Solar Ultraviolet Radiation—Global Burden of Disease from Solar Ultraviolet Radiation. Environmental Burden of Disease Series, No. 13. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
2. Farr PM, Diffey BL. 1985. The erythematous response of human skin to ultraviolet radiation. *Br J Dermatol* 113:65-76.
3. Kondo S, Kono T, Sauder DN, McKenzie RC. 1993. IL-8 gene expression and production in human keratinocytes and in their modulation by UVB. *J Invest Dermatol* 101:690-694.
4. Stanojević M, Stanojević Z, Jovanović D, Stojiljković M. 2004. Ultraviolet radiation and melanogenesis. *Arch Oncol* 12:203-205.
5. World Meteorological Organization (WMO). 2007. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, Pursuant to Article 6 of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 50. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
6. World Health Organization (WHO). 2002. Global Solar UV Index: a Practical Guide. WHO/SDE/OEH/02.2. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
7. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2006. Heat stress and strain. In: Documentation of the TLVs[®] and BEIs[®] with Other Worldwide Occupational Exposure Values, 2006 CD-ROM. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
8. International Organization for Standardization (ISO). 1982. Hot Environments—Estimation of Heat Stress on Working Man Based on the WBGT Index (Wet Bulb Globe Temperature). ISO 7243. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
9. Hodder SG, Ken P. 2006. The effects of solar radiation on thermal comfort. *Int J Biometeorol* 51:233-250.
10. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2007. A Strategy for Improvement of Skin Notations, Draft Document. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.
11. Haratake A, Uchida Y, Schmuth M, Tanno O, Yasuda R, Epstein JH, et al. 1997. UVB-induced alterations in permeability barrier function: roles of epidermal hyperproliferation and thymocyte-mediated response. *J Invest Dermatol* 108:769-775.
12. Bissett DL, Hannon DP, Orr TV. 1987. An animal model of solar-aged skin: histological, physical, and visible changes in UV-irradiated hairless mouse skin. *Photochem Photobiol* 46:367-378.

13. Bronaugh RL, Stewart R. 1985. Methods for in vitro percutaneous absorption studies V: permeation through damaged skin. *J Pharm Sci* 74:1062-1066.
14. Jiang SJ, Chen JY, Lu ZF, Yao J, Che DF, Zhou XJ. 2006. Biophysical and morphological changes in the stratum corneum lipids induced by UVB irradiation. *J Dermatol Sci* 44:29-36.
15. Li MJ, Lin SY, Liang RC. 1999. Change in the skin moisture contents, skin color, and skin protein conformational structures of Sprague-Dawley rats after Ultraviolet B irradiation. *Skin Pharmacol Appl Skin Physiol* 12:336-343.
16. Park S-B, Huh C-H, Choe, Y-B, Youn J-I. 2002. Time course of ultraviolet-induced skin reactions evaluated by two different reflectance spectrophotometers: DermaSepctrophotometer[®] and Minolta spectrophotometer CM-2002[®]. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 18:23-28.
17. Thiele JJ, Dreher F, Maibach HI, Packer L. 2003. Impact of ultraviolet radiation and ozone on the transepidermal water loss as a function of skin temperature in hairless mice. *Skin Pharmacol Appl Skin Physiol* 16:283-290.
18. Shea CR, Parrish JA. 1982. Effects of temperature on ultraviolet-induced erythema of human skin. *Arch Dermatol Res* 273:233-239.
19. McLellan K, Petrofsky JS., Bains G, Zimmerman G, Prowse M, Lee S. 2008. The effects of skin moisture and subcutaneous fat thickness on the ability of the skin to dissipate heat in young and old subjects, with and without diabetes, at three environmental room temperatures. *Medical Engineering and Physics* 31:165-172.
20. Nartia C, Tanabe S, Ozeki Y, Konishi M. 2001. Effects of spectral property of solar radiation on thermal sensation at the back of hands. In: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, Conference Proceedings*, 393-400.
21. Hwang RL, Lin TP, Kuo NJ. 2005. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy Build* 38: 53-62.
22. Lan L, Lian Z, Liu W, Liu Y. 2007. Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people. *Eur J Appl Physiol* 102: 471-480.
23. American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers, Inc. (ASHRAE). 2004. *Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55-2004*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
24. Trane, Inc. 1983. *Psychrometric chart (SI units)*. Pub. No. 1-43.196. La Crosse, WI:Trane, Inc.

表 5-1 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL) 之測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值						
次數		全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次		12.54 ± 8.60	14.77 ± 11.65	10.32 ± 3.90	1.43	0.395
第 2 次		13.29 ± 10.47	18.57 ± 13.06	8.01 ± 1.85	2.32	0.105
第 3 次		13.93 ± 10.16	19.35 ± 12.08	8.52 ± 3.32	2.27	0.017 ^c
第 4 次		14.19 ± 10.92	15.68 ± 11.67	12.69 ± 10.99	1.24	0.657
第 5 次		11.81 ± 5.34	12.31 ± 5.76	11.31 ± 5.38	1.09	0.761
第 6 次		10.33 ± 6.88	13.26 ± 8.74	7.39 ± 2.67	1.79	0.167
第 7 次		9.70 ± 3.17	10.01 ± 3.71	9.38 ± 2.85	1.07	0.751
第 8 次		13.16 ± 9.11	15.20 ± 10.14	11.11 ± 8.35	1.37	0.463
第 9 次		9.87 ± 4.39	11.10 ± 5.41	8.65 ± 3.10	1.28	0.359
第 10 次		8.92 ± 5.92	10.74 ± 8.12	7.11 ± 1.82	1.51	0.329
第 11 次		8.86 ± 4.21	9.00 ± 3.10	8.72 ± 5.42	1.03	0.916
第 12 次		9.29 ± 9.27	10.72 ± 12.56	7.85 ± 5.14	1.37	0.616
前臂外側 TEWL 量測值						
次數	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次	3.78	9.99 ± 2.82	9.96 ± 2.60	10.01 ± 3.28	1.00	0.979
第 2 次	6.04	11.27 ± 5.48	13.35 ± 6.44	9.19 ± 3.78	1.45	0.210
第 3 次	6.61	12.83 ± 9.00	13.50 ± 9.28	12.15 ± 9.52	1.11	0.809
第 4 次	7.67	12.24 ± 9.48	12.46 ± 7.95	12.02 ± 11.60	1.04	0.941
第 5 次	5.92	13.04 ± 8.53	14.40 ± 11.35	11.68 ± 5.18	1.23	0.606
第 6 次	5.54	11.32 ± 7.00	14.14 ± 9.02	8.50 ± 2.70	1.66	0.194
第 7 次	6.86	13.82 ± 13.08	8.93 ± 2.22	18.71 ± 17.72	0.48	0.236
第 8 次	7.14	12.33 ± 6.46	13.02 ± 7.82	11.65 ± 5.42	1.12	0.733
第 9 次	3.71	10.16 ± 5.14	9.34 ± 3.36	10.99 ± 6.72	0.85	0.604
第 10 次	2.07	9.19 ± 4.62	10.35 ± 6.28	8.02 ± 2.08	1.29	0.408
第 11 次	5.65	10.91 ± 6.96	10.38 ± 4.67	11.44 ± 9.17	0.91	0.806
第 12 次	5.45	9.08 ± 7.12	9.84 ± 10.18	8.31 ± 2.55	1.18	0.728

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 TEWL 差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

^d *p*-value < 0.01

表 5-2 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中(戶外陰涼處)皮膚濕度之測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值(戶外陰涼處)						
次數		全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次		633 ± 419	790 ± 538	476 ± 196	1.66	0.226
第 2 次		675 ± 447	837 ± 573	514 ± 217	1.63	0.242
第 3 次		644 ± 379	809 ± 411	479 ± 287	1.69	0.138
第 4 次		510 ± 321	634 ± 393	386 ± 190	1.64	0.195
第 5 次		739 ± 445	846 ± 571	632 ± 287	1.34	0.437
第 6 次		545 ± 471	718 ± 574	371 ± 295	1.93	0.217
第 7 次		604 ± 541	680 ± 726	528 ± 319	1.29	0.653
第 8 次		733 ± 541	764 ± 700	702 ± 388	1.09	0.853
第 9 次		599 ± 417	656 ± 566	534 ± 234	1.21	0.666
第 10 次		390 ± 267	339 ± 298	441 ± 249	0.77	0.534
第 11 次		489 ± 351	532 ± 420	445 ± 300	1.20	0.688
第 12 次		613 ± 404	603 ± 483	624 ± 354	0.97	0.934

前臂外側皮膚濕度量測值(戶外陰涼處)						
次數	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次	3.78	564 ± 248	578 ± 308	550 ± 200	1.05	0.852
第 2 次	6.04	517 ± 346	606 ± 459	429 ± 181	1.41	0.400
第 3 次	6.61	545 ± 345	552 ± 286	539 ± 424	1.02	0.954
第 4 次	7.67	554 ± 211	514 ± 124	593 ± 281	0.87	0.545
第 5 次	5.92	706 ± 327	678 ± 305	734 ± 375	0.92	0.784
第 6 次	5.54	486 ± 343	622 ± 426	351 ± 184	1.77	0.196
第 7 次	6.86	547 ± 402	475 ± 394	620 ± 434	0.76	0.556
第 8 次	7.14	742 ± 494	623 ± 492	860 ± 510	0.72	0.431
第 9 次	3.71	614 ± 424	478 ± 390	750 ± 446	0.64	0.287
第 10 次	2.07	376 ± 316	274 ± 269	478 ± 349	0.57	0.283
第 11 次	5.65	567 ± 356	480 ± 361	655 ± 360	0.73	0.421
第 12 次	5.45	613 ± 424	467 ± 395	759 ± 434	0.62	0.251

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

^d *p*-value < 0.01

表 5-3 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側 E-index 量測值						
次數		全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次		8.92 ± 1.68	8.47 ± 1.44	9.38 ± 1.90	0.90	0.372
第 2 次		9.41 ± 1.70	9.24 ± 1.48	9.59 ± 2.02	0.96	0.738
第 3 次		9.37 ± 1.60	9.64 ± 1.27	9.10 ± 1.96	1.06	0.582
第 4 次		9.15 ± 1.53	8.75 ± 1.31	9.56 ± 1.74	0.92	0.386
第 5 次		9.03 ± 1.69	8.83 ± 1.30	9.23 ± 2.12	0.96	0.697
第 6 次		9.16 ± 1.73	8.70 ± 1.35	9.63 ± 2.06	0.90	0.378
第 7 次		9.48 ± 1.77	9.16 ± 2.00	9.81 ± 1.63	0.93	0.551
第 8 次		9.30 ± 0.196	9.32 ± 1.82	9.29 ± 2.27	1.00	0.978
第 9 次		9.39 ± 1.53	9.67 ± 1.32	9.11 ± 1.80	1.06	0.548
第 10 次		9.79 ± 1.99	9.49 ± 1.14	10.09 ± 2.68	0.94	0.623
第 11 次		9.69 ± 1.71	9.69 ± 1.45	9.69 ± 2.09	1.00	0.999
第 12 次		9.49 ± 1.90	9.03 ± 1.43	9.94 ± 2.33	0.91	0.435

前臂外側 E-index 量測值						
次數	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次	3.78	14.19 ± 2.04	15.23 ± 1.58	13.16 ± 2.02	1.16	0.076
第 2 次	6.04	14.35 ± 2.62	15.53 ± 2.39	13.16 ± 2.45	1.18	0.122
第 3 次	6.61	14.51 ± 2.75	15.89 ± 2.58	13.13 ± 2.34	1.21	0.081
第 4 次	7.67	14.71 ± 2.76	16.02 ± 2.90	13.40 ± 2.06	1.20	0.101
第 5 次	5.92	14.52 ± 2.44	15.89 ± 1.94	13.14 ± 2.18	1.21	0.044 ^c
第 6 次	5.54	15.00 ± 2.52	16.55 ± 1.67	13.46 ± 2.34	1.23	0.025 ^c
第 7 次	6.86	15.24 ± 2.31	15.97 ± 1.93	14.50 ± 2.58	1.10	0.290
第 8 次	7.14	14.49 ± 2.49	16.30 ± 1.95	13.59 ± 2.34	1.20	0.055
第 9 次	3.71	15.33 ± 2.43	16.67 ± 1.88	13.99 ± 2.26	1.19	0.050 ^c
第 10 次	2.07	15.14 ± 2.92	16.86 ± 2.22	13.43 ± 2.61	1.25	0.034 ^c
第 11 次	5.65	15.26 ± 2.30	16.41 ± 2.02	14.10 ± 2.08	1.16	0.080
第 12 次	5.45	15.12 ± 2.28	16.43 ± 1.59	13.81 ± 2.19	1.19	0.039 ^c

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

^d *p*-value < 0.01

表 5-4 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於自然日光照射實驗中皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側 M-index 量測值						
次數		全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次		30.25 ± 2.61	28.47 ± 2.02	32.03 ± 1.83	0.89	0.010 ^d
第 2 次		30.78 ± 3.20	29.23 ± 2.77	32.33 ± 3.02	0.90	0.093
第 3 次		30.36 ± 2.60	29.13 ± 2.34	31.59 ± 2.39	0.92	0.102
第 4 次		30.48 ± 2.68	28.78 ± 2.13	32.17 ± 2.10	0.89	0.020 ^c
第 5 次		31.76 ± 2.78	30.39 ± 2.63	33.12 ± 2.38	0.92	0.088
第 6 次		31.84 ± 2.77	29.84 ± 1.98	33.84 ± 1.81	0.88	0.004 ^d
第 7 次		31.65 ± 2.79	30.62 ± 3.04	32.69 ± 2.31	0.94	0.214
第 8 次		31.89 ± 3.01	30.63 ± 3.38	33.15 ± 2.17	0.92	0.155
第 9 次		31.09 ± 2.24	30.07 ± 2.33	32.10 ± 1.77	0.94	0.121
第 10 次		30.99 ± 2.79	29.35 ± 2.22	32.63 ± 2.39	0.90	0.033 ^c
第 11 次		31.50 ± 2.67	30.27 ± 3.05	32.73 ± 1.65	0.92	0.112
第 12 次		30.93 ± 3.19	28.74 ± 2.74	33.12 ± 1.81	0.87	0.009 ^d

前臂外側 M-index 量測值						
次數	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
第 1 次	3.78	38.84 ± 5.25	42.23 ± 4.95	35.45 ± 2.93	1.19	0.016 ^c
第 2 次	6.04	39.59 ± 5.64	42.72 ± 5.89	36.45 ± 3.42	1.17	0.048 ^c
第 3 次	6.61	39.66 ± 5.85	42.81 ± 6.28	36.50 ± 3.47	1.17	0.057
第 4 次	7.67	39.22 ± 5.96	42.59 ± 6.35	35.84 ± 3.25	1.19	0.043 ^c
第 5 次	5.92	40.47 ± 5.58	43.99 ± 5.39	36.96 ± 3.13	1.19	0.020 ^c
第 6 次	5.54	41.86 ± 6.32	45.83 ± 6.39	37.90 ± 3.07	1.21	0.028 ^c
第 7 次	6.86	41.09 ± 5.94	44.03 ± 6.54	38.14 ± 3.73	1.15	0.084
第 8 次	7.14	41.29 ± 5.64	44.84 ± 5.40	37.75 ± 3.28	1.19	0.020 ^c
第 9 次	3.71	41.83 ± 6.38	46.66 ± 4.88	37.01 ± 3.16	1.26	0.002 ^d
第 10 次	2.07	40.30 ± 6.23	44.44 ± 5.82	36.17 ± 3.22	1.23	0.012 ^c
第 11 次	5.65	41.30 ± 5.89	44.76 ± 5.91	37.84 ± 3.56	1.18	0.034 ^c
第 12 次	5.45	39.97 ± 4.74	43.30 ± 4.26	36.64 ± 2.16	1.18	0.007 ^d

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

^d *p*-value < 0.01

表 5-5 自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應環境溫度(x_1)、相對濕度(x_2)、日光紫外線指數(x_3)、性別(x_4)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)^c、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^d與統計檢定

前臂外側生理指標	Standardized multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^e	VIF _{Mean} ^h
Moisture	$y = -0.008x_1 - 0.020x_2 + 0.175x_3 + 0.231x_4 - 0.115$	0.21	0.05	0.02	0.160	4.94
E-index	$y = -0.330x_1 - 0.284x_2 + 0.035x_3 - 1.057x_4 + 0.529$	0.54	0.30	0.28	< 0.001**	4.94
M-index	$y = -0.149x_1 - 0.169x_2 + 0.014x_3 - 1.259x_4 + 0.629$	0.64	0.40	0.39	< 0.001**	4.94
主觀感知	Standardized multiple regression equation	R	R^2	Adj. R^2	p -value	VIF _{Mean} ⁱ
TSV	$y = 0.244x_1 + 0.017x_2 - 0.037x_3 + 0.005x_4 + 0.001$	0.21	0.04	0.02	0.177	4.91

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚濕度(moisture)、紅斑指數(erythema-index, E-index)、黑素指數(melanin-index, M-index)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 性別以虛擬變項(Dummy variable)呈現，男性 = 0、女性 = 1

^c 針對環境溫度與相對濕度進行標準化

^d 以變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)表示：VIF \geq 10，共線性問題高；VIF < 10，共線性問題低

^e 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^f p -value < 0.05

^g p -value < 0.01

^h VIF_{Mean} 為各變數 VIF 平均值； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 之 VIF 分別為 8.51、8.87、1.39、1.00

ⁱ VIF_{Mean} 為各變數 VIF 平均值； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 之 VIF 分別為 8.42、8.81、1.42、1.00

表 5-6 自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應環境溫度(x_1)、相對濕度(x_2)、日光紫外線指數(x_3)、性別(x_4)^b之迴歸方程式(regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)^c、相關係數(r)、判定係數(R^2)、調整判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^d與統計檢定

前臂外側生理指標	Stepwise regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^e	VIF ^h
Moisture	$y = 42.338x_3 + 355.877$	0.18	0.03	0.03	0.031 ^f	1.00
E-index	$y = -2.572x_4 + 16.146$	0.53	0.28	0.28	< 0.001 ^g	1.00
M-index	$y = -7.129x_4 + 44.017$	0.63	0.40	0.40	< 0.001 ^g	1.00
主觀感知	Stepwise regression equation	R	R^2	Adj. R^2	p -value	VIF ⁱ
TSV	$y = 0.082x_1 - 2.452$	0.21	0.04	0.04	0.012 ^f	1.00

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚濕度(moisture)、紅斑指數(erythema-index, E-index)、黑素指數(melanin-index, M-index)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 性別以虛擬變項(Dummy variable)呈現，男性 = 0、女性 = 1

^c 依據 Group partial F test 分析結果作為自變項入選準則： p -value ≤ 0.05 則入選； p -value ≥ 0.10 則刪除

^d 以變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)表示：VIF ≥ 10 ，共線性問題高；VIF < 10 ，共線性問題低

^e 檢定迴歸方程式是否具有線性關係

^f p -value < 0.05

^g p -value < 0.01

^h VIF 為各變數 VIF 值； x_3 (moisture)、 x_4 (E-index 與 M-index)之 VIF 均為 1.00

ⁱ VIF 為 x_1 變數 VIF 值；VIF 為 1.00

表 5-7 自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應環境溫度(x_1)、相對濕度(x_2)、累積曝曬劑量(x_3)、性別(x_4)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)^c、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^d與統計檢定

前臂外側生理指標	Standardized multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^e	VIF_{Mean} ^f
Moisture	$y = -0.059x_1 - 0.155x_2 - 0.057x_3 + 0.203x_4 - 0.102$	0.16	0.03	< 0.01	0.437	5.28
E-index	$y = -0.143x_1 - 0.147x_2 + 0.194x_3 - 0.981x_4 + 0.491$	0.57	0.33	0.31	< 0.001 ^g	5.28
M-index	$y = 0.121x_1 + 0.054x_2 + 0.281x_3 - 1.147x_4 + 0.573$	0.69	0.47	0.45	< 0.001 ^g	5.28
主觀感知	Standardized multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value	VIF_{Mean} ^g
TSV	$y = 0.314x_1 + 0.096x_2 + 0.074x_3 + 0.037x_4 - 0.016$	0.22	0.05	0.02	0.144	5.23

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚濕度(moisture)、紅斑指數(erythema-index, E-index)、黑素指數(melanin-index, M-index)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 性別以虛擬變項(Dummy variable)呈現，男性 = 0、女性 = 1

^c 針對環境溫度與相對濕度進行標準化

^d 以變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)表示： $VIF \geq 10$ ，共線性問題高； $VIF < 10$ ，共線性問題低

^e 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^f p -value < 0.05

^g p -value < 0.01

^h VIF_{Mean} 為各變數 VIF 平均值； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 之 VIF 分別為 9.60、9.26、1.19、1.05

ⁱ VIF_{Mean} 為各變數 VIF 平均值； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 之 VIF 分別為 9.50、9.17、1.19、1.05

表 5-8 自然日光照射實驗中不同皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應環境溫度(x_1)、相對濕度(x_2)、累積曝曬劑量(x_3)、性別(x_4)^b之(複)迴歸方程式(regression equations)—逐步迴歸法(stepwise regression)^c、(複)相關係數(r)、(複)判定係數(R^2)、調整(複)判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^d與統計檢定

前臂外側生理指標	Stepwise regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^e	VIF ^h
Moisture	$y = -0.059x_1 - 0.155x_2 - 0.057x_3 + 0.203x_4 - 0.102$	0.16	0.03	< 0.01	0.437	5.28
E-index	$y = 0.005x_3 - 2.368x_4 + 15.466$	0.57	0.32	0.31	< 0.001 ^g	1.04
M-index	$y = 0.014x_3 - 6.539x_4 + 42.051$	0.69	0.46	0.46	< 0.001 ^g	1.04
主觀感知	Stepwise regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value	VIF ⁱ
TSV	$y = 0.082x_1 - 2.452$	0.21	0.04	0.04	0.012 ^f	1.00

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚濕度(moisture)、紅斑指數(erythema-index, E-index)、黑素指數(melanin-index, M-index)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 性別以虛擬變項(Dummy variable)呈現，男性 = 0、女性 = 1

^c 依據 Group partial F test 分析結果作為自變項入選準則： p -value ≤ 0.05 則入選； p -value ≥ 0.10 則刪除

^d 以變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)表示：VIF ≥ 10 ，共線性問題高；VIF < 10 ，共線性問題低

^e 檢定迴歸方程式是否具有線性關係

^f p -value < 0.05

^g p -value < 0.01

^h VIF 為各變數 VIF 平均值； x_3 、 x_4 之 VIF 均為 1.04

ⁱ VIF 為 x_1 變數 VIF 值；VIF 為 1.00

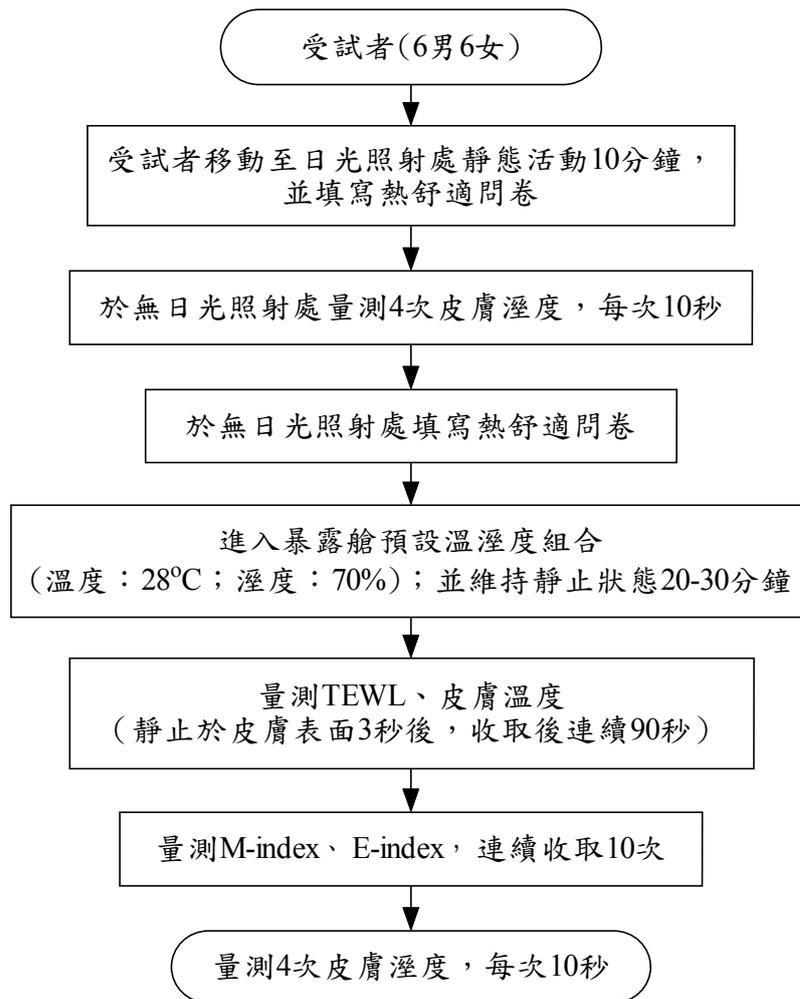


圖 4-1 自然日光照射實驗之實驗流程及皮膚生理指標、人體熱舒適感之測量調查方法

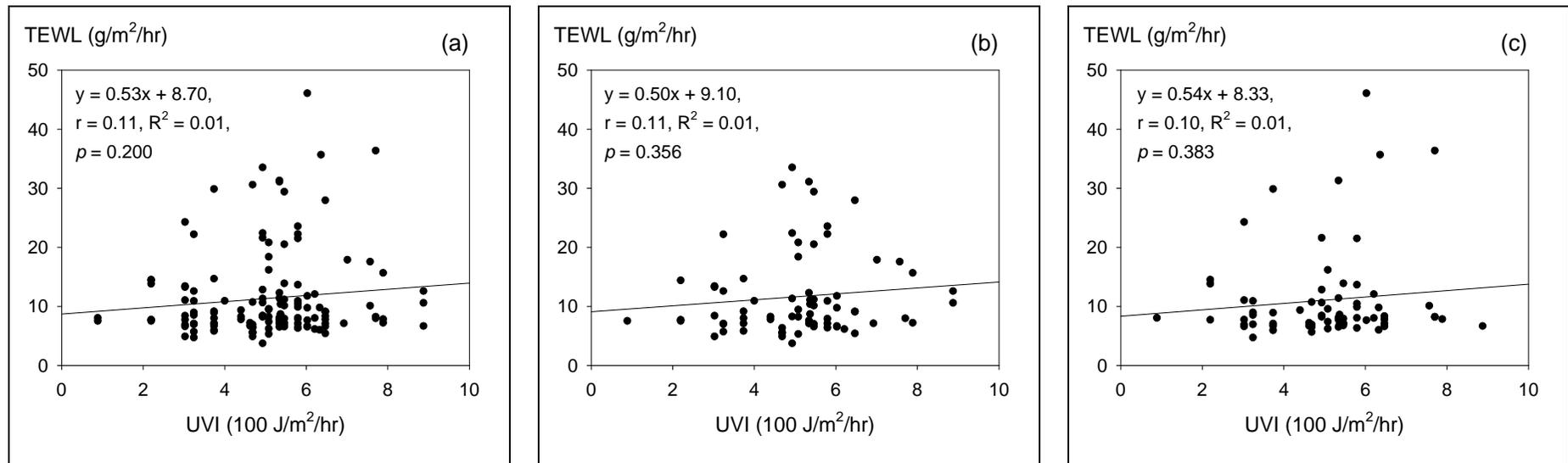


圖 5-1 前臂外側皮膚經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

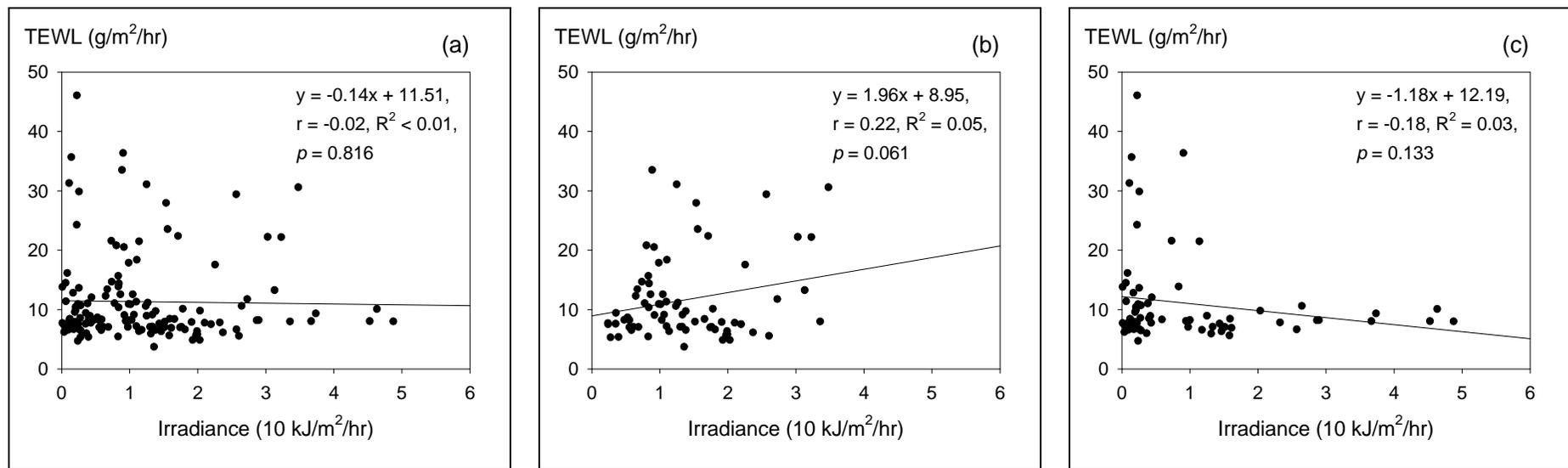


圖 5-2 前臂外側皮膚經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：
(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

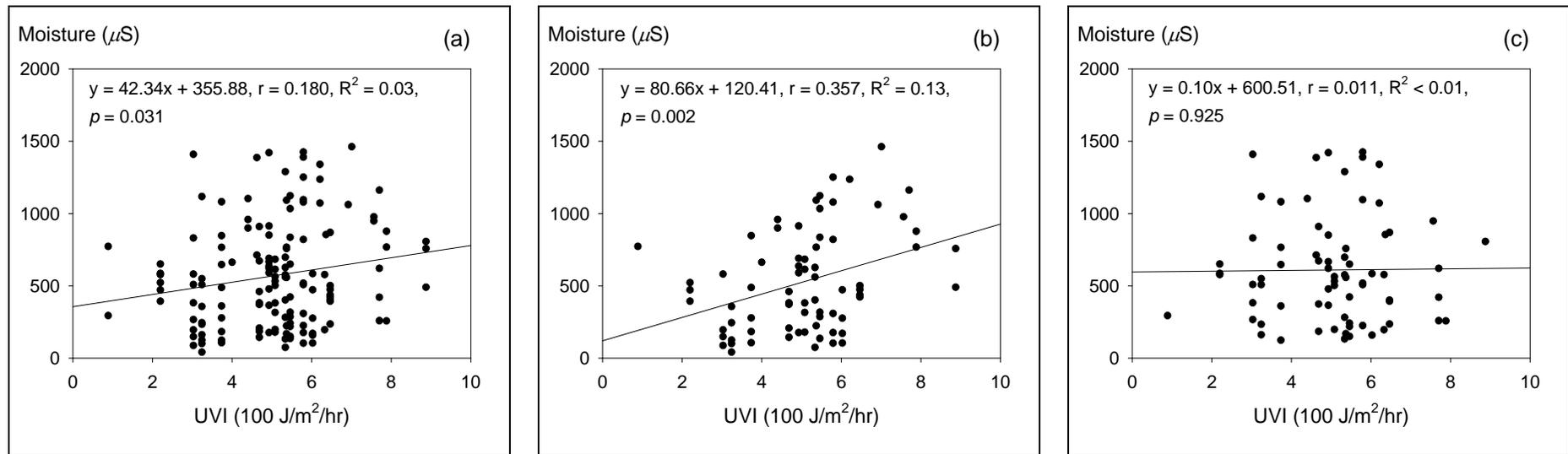


圖 5-3 前臂外側皮膚濕度(moisture)量測值(戶外陰涼處測量)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

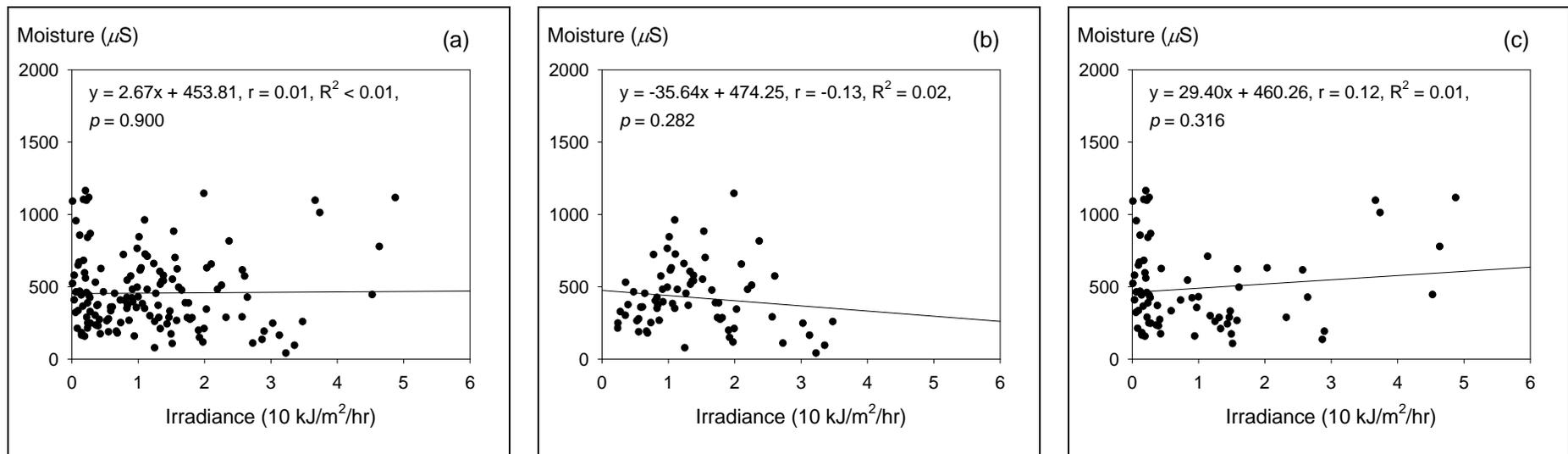


圖 5-4 前臂外側皮膚濕度(moisture)量測值(環境暴露艙測量)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

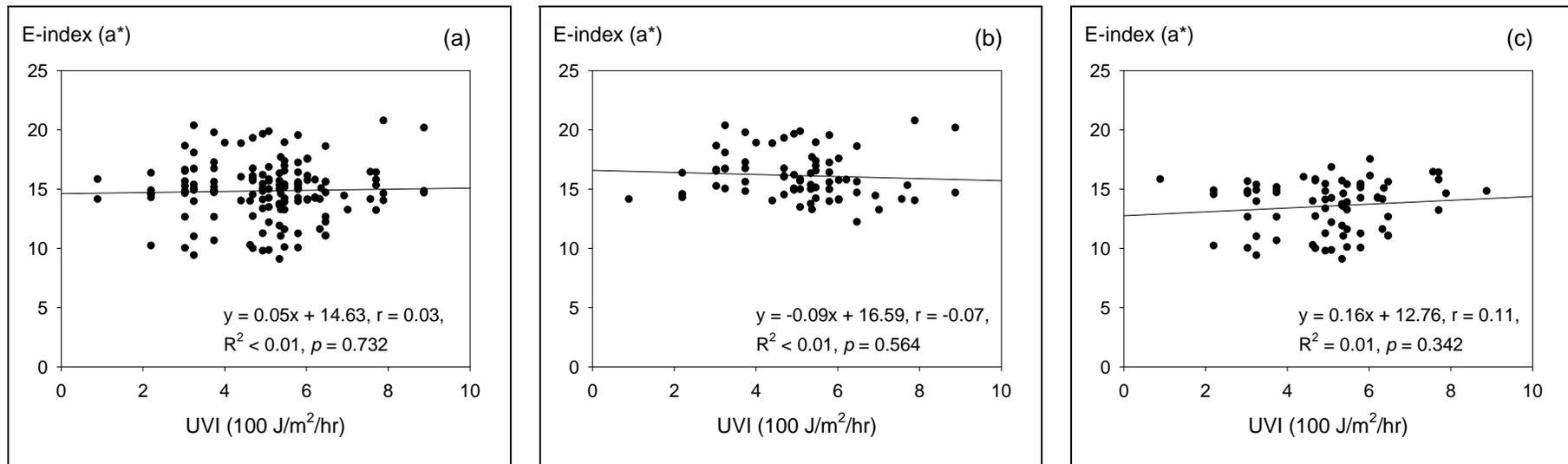


圖 5-5 前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

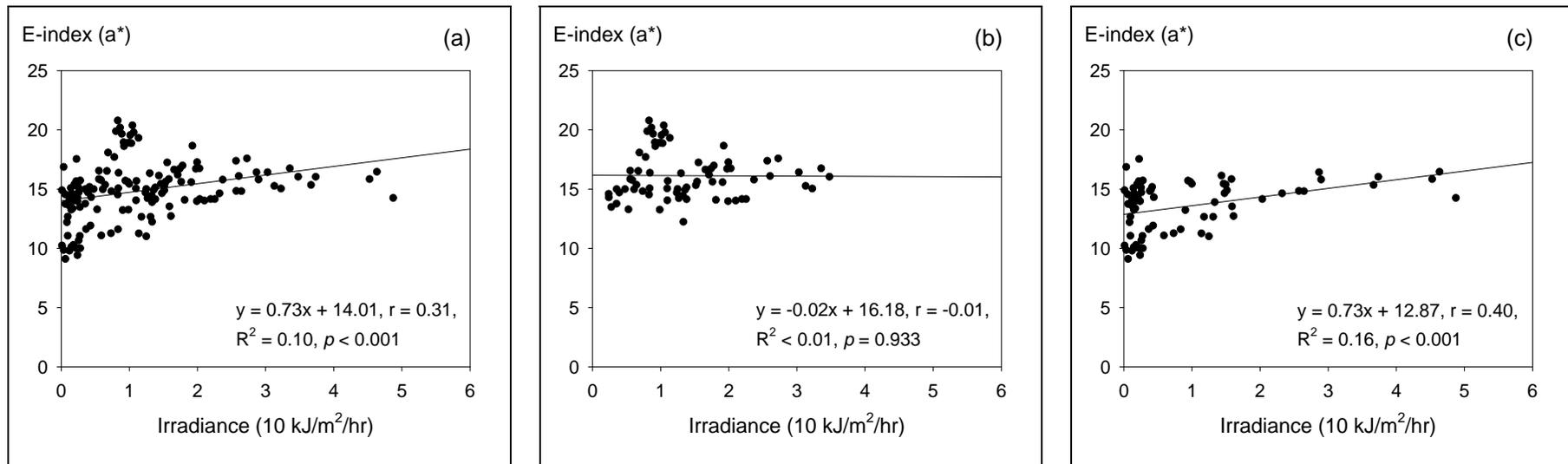


圖 5-6 前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

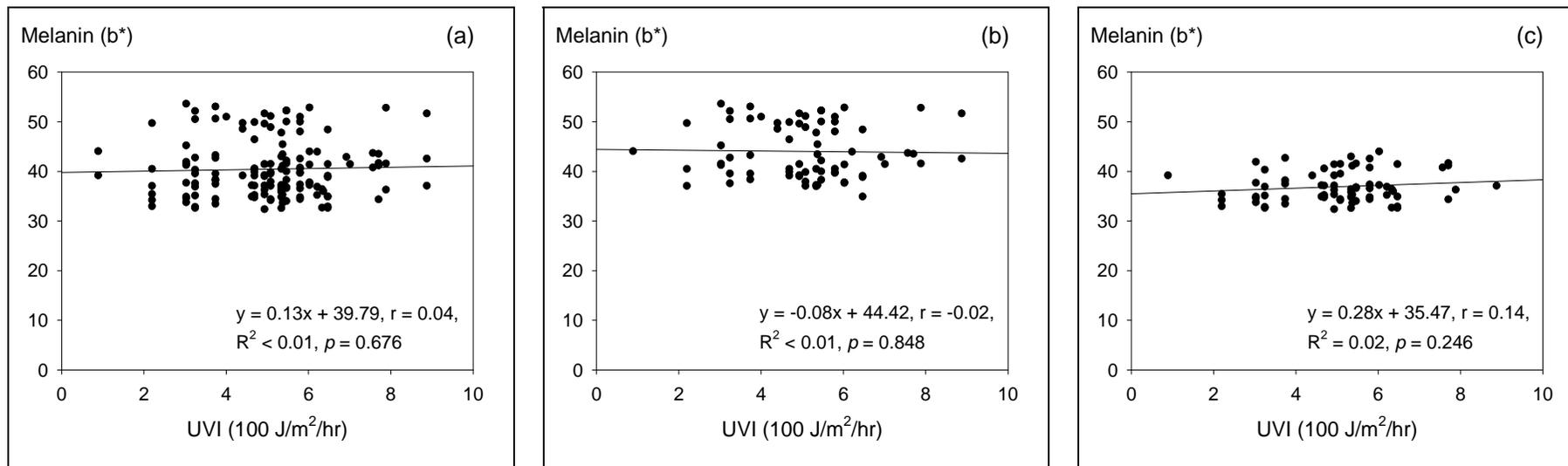


圖 5-7 前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

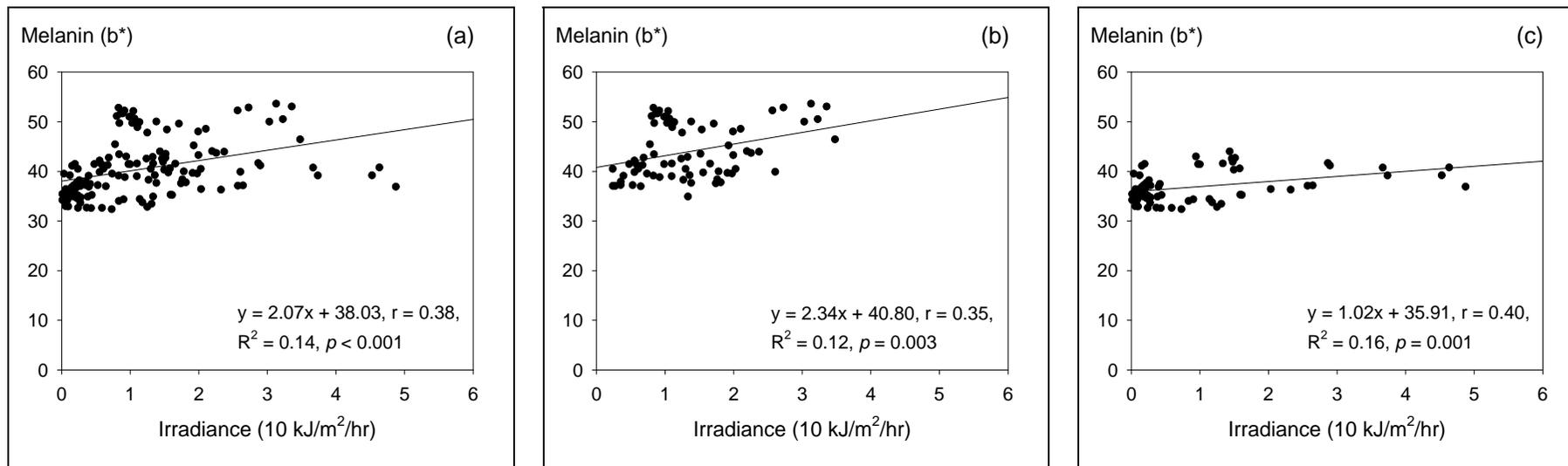


圖 5-8 前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

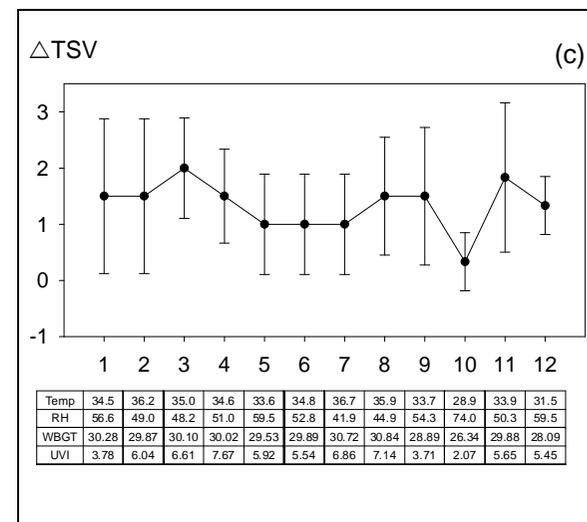
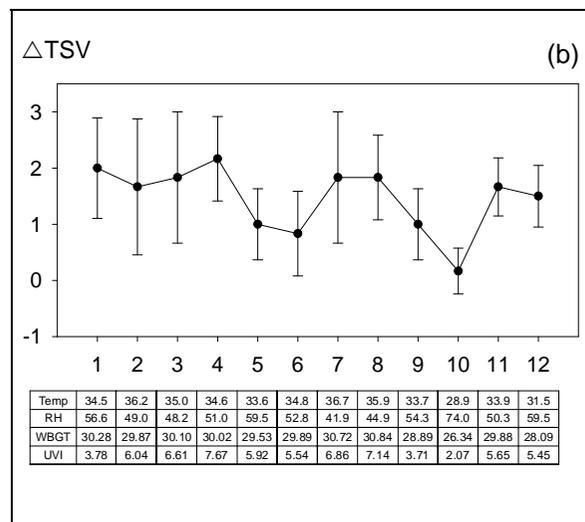
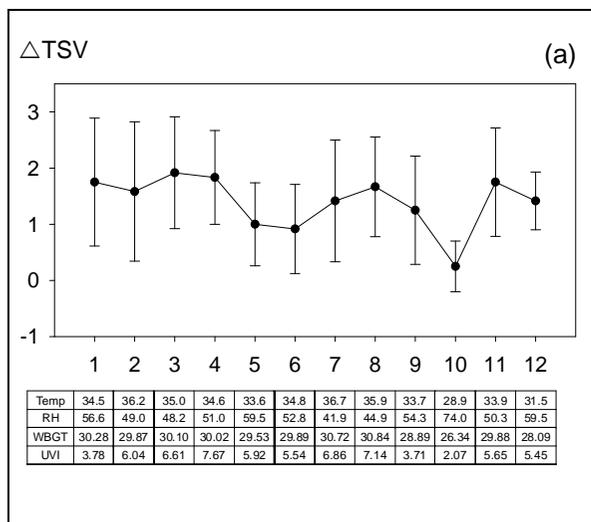


圖 5-9 自然日光照射實驗中前後熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)之差異(TSV 前-TSV 後, Δ TSV)：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性；(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

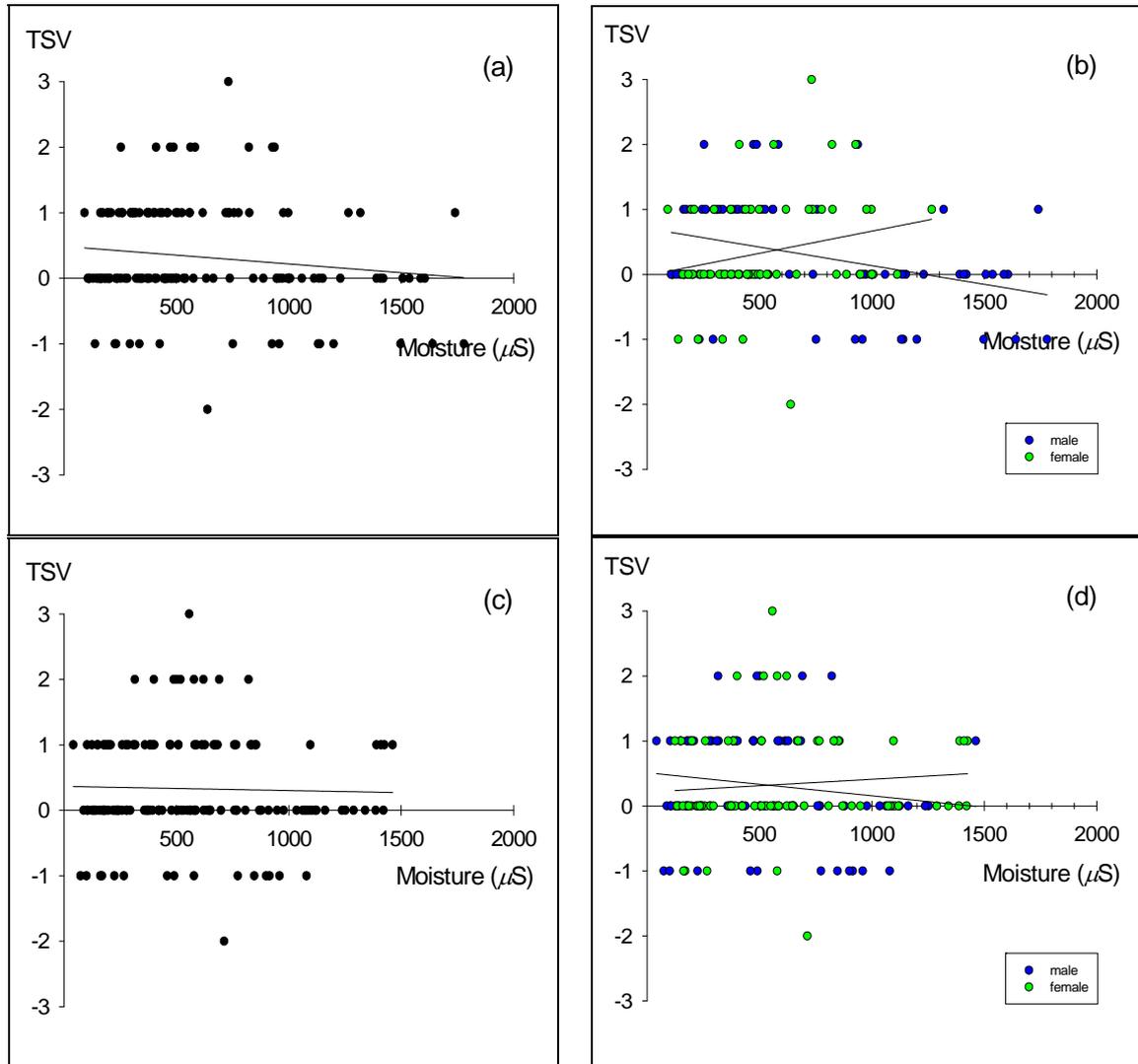


圖 5-10 受測人員熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)對應(a)全體人員上臂內側、(b)不同性別人員上臂內側、(c)全體人員前臂外側、(d)不同性別人員前臂外側之皮膚濕度(moisture)分佈與線性迴歸

成果與自評

研究內容與原計畫相符程度、預期目標達成情況、與研究成果應用

本專題研究計畫承 行政院國家科學委員會補助(NSC 98-2221-E-039-012)，於民國 98年8月1日起執行，至99年7月31日結束，為期一年。研究之目的為探討人體皮膚受自然日光紫外線與環境物理因子暴露後，皮膚之生理效應與變化幅度，並對照受測者對於熱環境之主觀熱舒適認知，以比較主觀認知與客觀生理反應間之異同。最終目標為量化處理暴露狀況與對應皮膚生理變化間之關係，據以發展單項與綜合性物理因子之劑量-反應關係，建立針對紫外線與熱危害暴露之綜合性危害警示工具。執行期內，本計畫依據第二章所述之具體研究目的完成以下主要工作：

- 1) 觀察人體於戶外靜態活動時，皮膚受短期與長期之自然紫外光曝曬下，不同環境物理因子(含環境溫度、相對濕度、紫外光輻射等因子)對不同皮膚生理變化之個別與綜合影響；
- 2) 同步觀察在不同熱環境與自然日光紫外線曝曬狀況下，研究參與者之主觀熱舒適認知，藉以瞭解客觀生理指標與主觀熱舒適感間之差異；
- 3) 針對反應明顯之生理指標發展其與紫外線劑量之劑量-效應關係及與其他個別環境熱因子或綜合溫度熱指數之劑量-效應關係，以作為日光紫外線輻射之健康危害警示工具，並可作為紫外線防護措施使用效能之評估基礎。

以上工作項目之完成，達成本研究原計畫中之預期目標；且研究內容亦與原計畫書中各項目相符。本研究之研究成果，目前已應用作為後續研究調查日光紫外線防護措施使用效能及對人體熱舒適感影響評估所需之工具(「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線因應防護措施效能及其使用對健康與熱舒適影響評估」，NSC 99-2221-E-039-015-MY2；目前進行中)。

本研究為整合型計畫(「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—總計畫」，NSC 98-2221-E-035-075)下轄之子計畫。在計畫執行期間，總計劃與各子計畫主持人透過頻繁的討論與協調，預計將有國際研討會及學術期刊之產出，成果當可預期。此外前述刻正進行之計畫亦為整合型計畫之一環(「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—總計畫」，NSC 99-2221-E-035-079-MY2)，研究團隊將再接再厲，延續本計畫執行期間所建立之團隊合作方式，尋求研究成果之國際化與於高知名度國際學術期刊發表。

長期以來，針對戶外環境物理性因子如日光紫外線曝曬以及輻射熱等可能產生的暴露風險，皆是透過對其抵達地表之強度進行測量，迄今未能具體量化曝曬強度與潛在健康威脅間之關係。本計畫具體利用皮膚生理指標建立上項關係，與現有暴露強度資訊(如日光紫外線指數及綜合溫度熱指數等)併用時，可提供資訊使用者較佳之防護資訊，並據以設計不同之逾量日光紫外線及熱危害之防護措施，進而提供本計畫整合團隊設計以健康舒適及節能減熱觀點、可適應氣候之都市環境之熱舒適具體指標。此外在技術面上，本研究突破傳統利用核心溫度評估人體熱調節生理機制之方式，直接以人體散熱最終階段之皮膚生理變化作為人體與週遭熱環境之平衡指標。以上指標當具有進一步應用於作業環境皮膚防護評估之潛能。

國際研討會與期刊論文發表

計畫主持人已於2010年4月與5月分別參與EPICOH (International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Epidemiology in Occupational Health)-MEDICHEM 2010 (Taipei, Taiwan, April 21-25, 2010) 及 American Industrial Hygiene Conference and Expo (AIHce) 2010 (Denver, CO, USA, May 22-27, 2010) 等二國際研討會發表相關研討會論文兩篇。發表論文名稱分別為：

- **Chen CP*** and Wu CM. 2010. Variation between skin physiological changes and subjective thermal sensation in response to alterations in indoor microclimate. *EPICOH-MEDICHEM 2010 Program Book*, p. 35. Session Th-S-8: Occupational Hazards and Health, EPICOH (International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Epidemiology in Occupational Health)-MEDICHEM 2010, Taipei, Taiwan, April 21-25, 2010. (NSC 98-2221-E-039-012)
- **Chen C***, Wu C, and Chen Y. 2010. Skin physiology-based indicators for indoor microclimatic change. *AIHce 2010 Abstract Book*, pp. 91-92. Poster Session 402: Exposure assessment strategies, American Industrial Hygiene Conference and Expo (AIHce) 2010, Denver, CO, USA, May 22-27, 2010. (NSC 98-2221-E-039-012)

另外並於民國99年10月參加「台灣公共衛生學會、台灣流行病學學會暨台灣事故傷害預防與安全促進學會2010聯合年會」(台北市，臺灣，民國99年10月2-3日) 發表研討會論文一篇。發表論文名稱為：

- 張詩吟*，呂羽婷，**陳振華**。室內熱環境因子對人體皮膚生理與主觀熱感知熱適應行為之影響。台灣公共衛生學會、台灣流行病學學會暨台灣事故傷害預防與安全促進學會2010聯合年會，陽明大學活動中心，台北市，臺灣，民國99年10月2-3日。(NSC 98-2221-E-039-012)

此外，計畫主持人刻正準備研究成果論文稿兩篇，將於近期投稿國際學術期刊發表。其中關於皮膚生理指標對應日光紫外線輻射之劑量-反應關係討論預計投稿 *International Journal of Radiation Biology* (2009 Impact Factor = 1.842; ranked 3/33 in “Nuclear Science and Technology”)；關於遭受環境熱因子暴露時主觀熱感知與客觀皮膚生理指標間之差異討論預計投稿 *International Journal of Biometeorology* (2009 Impact Factor = 1.840; ranked 26/63 in “Meteorology and Atmospheric Sciences”)。

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳振萃		計畫編號：98-2221-E-039-012-				
計畫名稱：由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估						
成果項目		量化			單位	備註(質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等)
		實際已達成數(被接受或已發表)	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	<p>此處所指報告為為本計畫 (NSC 98-2221-E-039-012) 國科會期末報告。本研究為整合型計畫(「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—總計畫」，NSC 98-2221-E-035-075) 下轄之子計畫；該總計畫之國科會期末報告不列入此處計算。</p> <p>本計畫研究成果於民國 99 年 10 月透過「台灣公共衛生學會、台灣流行病學學會暨台灣事故傷害預防與安全促進學會 2010 聯合年會」(台北市，臺灣，民國 99 年 10 月 2-3 日)發表研討會論文一篇。發表論文名稱為：</p> <p>張詩吟*，呂羽婷，陳振萃。室內熱環境因子對人體皮膚生理與主觀熱感知熱適應行為之影響。台灣公共衛生學會、台灣流行病學學會暨台灣事故傷害預防與安全促進學會 2010 聯合年會，陽明大學活動中心，台北市，臺灣，民國 99 年 10 月 2-3 日。(NSC 98-2221-E-039-012)</p>
		研究報告/技術報告	1	1	100%	
		研討會論文	1	2	100%	

		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	2	100%	篇	計畫主持人刻正準備研究成果論文稿兩篇，將於近期投稿國際學術期刊發表。其中關於皮膚生理指標對應日光紫外線輻射之劑量-反應關係討論預計投稿 International Journal of Radiation Biology (2009 Impact Factor = 1.842 ; ranked 3/33 in 'Nuclear Science and Technology') ; 關於遭受環境熱因子暴露時主觀熱感知與客觀皮膚生理指標間之差異討論預計投稿 International Journal of Biometeorology (2009 Impact Factor = 1.840 ; ranked 26/63 in 'Meteorology and Atmospheric Sciences')。
		研究報告/技術報告	0	0	100%		

						<p>計畫主持人已於 2010 年 4 月與 5 月分別參與 EPICOH (International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Epidemiology in Occupational Health)-MEDICHEM 2010 (Taipei, Taiwan, April 21-25, 2010) 及 American Industrial Hygiene Conference and Expo (AIHce) 2010 (Denver, CO, USA, May 22-27, 2010) 等二國際研討會發表相關研討會論文兩篇。發表論文名稱分別為：</p> <p>Chen CP* and Wu CM. 2010. Variation between skin physiological changes and subjective thermal sensation in response to alterations in indoor microclimate. EPICOH-MEDICHEM 2010 Program Book, p. 35. Session Th-S-8: Occupational Hazards and Health, EPICOH (International Commission on Occupational Health Scientific Committee on Epidemiology in Occupational Health)-MEDICHEM 2010, Taipei, Taiwan, April 21-25, 2010. (NSC 98-2321-E-020-012)</p>
		研討會論文	2	2	100%	

	專利	專書	0	0	100%	章/本	
		申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
專任助理		0	0	100%			

其他成果 (無法以量化表達之 成果如辦理學術活 動、獲得獎項、重要 國際合作、研究成果 國際影響力及其他協 助產業技術發展之具 體效益事項等，請以 文字敘述填列。)	無						
--	---	--	--	--	--	--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

計畫主持人已於 2010 年 4 月與 5 月分別參與 EPICOH-MEDICHEM 2010 (Taiwan) 及 AIHce 2010 (USA) 等二國際研討會發表研討會論文兩篇；於同年 10 月參加台灣公共衛生學會 2010 年會發表論文一篇。此外計畫主持人刻正準備論文稿兩篇，將於近期投稿國際學術期刊。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究之成果，目前已應用作為後續研究調查日光紫外線防護措施使用效能及對人體熱舒適感影響評估所需之工具（「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線因應防護措施效能及其使用對健康與熱舒適影響評估」，NSC 99-2221-E-039-015-MY2；目前進行中）。目前進行之計畫亦為整合型計畫之一環（NSC 99-2221-E-035-079-MY2），研究團隊將再接再厲，尋求研究成果之國際化與於高知名度國際學術期刊發表。長期以來，針對戶外環境物理性因子如日光紫外線曝曬以及輻射熱等可能產生的暴露風險，皆是透過對其抵達地表之強度進行測量，迄今未能具體量化曝曬強度與潛在健康威脅間之關係。本計畫利用皮膚生理指標建立上項關係，與現有暴露強度資訊（如日光紫外線指數）併用時，可提供資訊使用者較佳之防護資訊，並據以設計不同之逾量日光紫外線及熱危害防護措施。此外在技術面上，本研究突破傳統利用核心溫度評估人體熱調節生理機制之方式，直接以皮膚生理變化作為人體與週遭熱環境之平衡指標，當具有近一步應用於作業環境皮膚防護評估之潛能。