

中文摘要 (NSC 99-2221-E-039-015-MY2)

受大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類遭受日光紫外線及濕熱危害之暴露風險日增，國民使用防護措施之意識亦逐步提升。本計畫探討於日常活動中，人體遭受自然紫外光及熱危害因子暴露時之主觀熱感知與生理反應變化以及變化之幅度，並利用上述主觀熱適應以及生理熱調節變化作為量化指標評估紫外線防護措施，包含使用防護乳液、使用防曬袖套、以及在戶外活動時於日光遮蔽處使用上述個人防曬措施，在濕熱地區如我國之適用性。研究所選定之皮膚生理指標包含：皮膚微血流變化量、經皮水分散失度、皮膚溫度、皮膚濕度、紅斑生成指數與黑色素沉澱指數；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協會 Standard 55 標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。研究包括戶外日光實驗以及室內環境暴露艙實驗。戶外日光實驗部份測量受試者在日光曝曬區或戶外陰涼處經單次或連續暴露後產生之主觀熱感知及生理熱調節反應；暴露艙實驗部份則於人工微氣候實驗室模擬不同環境溫濕度之組合，觀察上述各指標變化。兩階段實驗皆同步評估實驗組(使用防曬乳液/袖套)與控制組(未使用防曬乳液/袖套)參與者皮膚生理指標與人體熱舒適感隨不同環境物理因子改變所產生之變化，以分析生理指標與環境物理因子間之劑量－反應關係、生理指標間之反應－時程關係、以及主、客觀指標間之可能差異。戶外日光實驗過程同時收集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累積輻射量之基準。研究結果顯示：皮膚障壁功能減低與紅斑生成現象於低劑量紫外光暴露(紫外光指數<6)時即可發生，並明顯反應遭受日光曝曬時皮膚使用防曬乳液與否所產生之生理變化差異，為評估乳液防曬效能之良好指標。當環境溫度超過 34°C 時，使用防曬袖套之受試者會因袖套侷限，導致皮膚表面散熱不易，造成經皮水份散失度較低並抑制排汗，導致皮膚表面溫度高達 40°C。以上結果顯示防曬衣物雖可適度防止日光紫外線造成的傷害，但亦對生理熱調節造成抑制。比較防曬乳液與防曬袖套之效能發現，因乳液具有保濕效果且允許皮膚與週邊環境直接接觸，故隨環境溫度升高時使用者之經皮水份散失度與皮膚濕度較使用防曬袖套者高。本研究建立可運用於評估日光紫外線與熱暴露危害潛能之生理指標，分析不同物理環境因子對人體熱舒適之影響，並探討個人防曬措施及其與都市環境因子結合之效能，結果可運用於設計環境管理對策時個人行為因素之考量，有助於未來都市環境或作業環境設計者參考。

關鍵字：日光紫外線、濕熱危害、皮膚生理指標、防曬乳液、防曬袖套、主觀熱感知

ABSTRACT (NSC 99-2221-E-039-015-MY2)

With the deterioration of atmospheric ozone and global warming continuing, the risks of exposure to solar UV radiation and heat stress have exacerbated in the last decades, and people nowadays have become increasingly familiar with the use of protective mechanisms. This project investigated the changes in thermal sensation and skin-based thermoregulatory indicators in response to exposure to solar UV radiation and thermal stress, and evaluated the efficacy of different sun-protective mechanisms, including sunscreen, protective clothing (sun-protective sleeves), and use of these mechanisms under outdoor shading, as well as their applicability in hot-and-humid areas such as Taiwan. The physiological indicators selected in the study included skin blood flow change (SBFC), transepidermal water loss (TEWL), skin temperature, skin moisture, erythema (E-index), and melanogenesis. The subjective sensation was gauged using a standardized questionnaire. The study was conducted both out-of-doors and in a microclimatic laboratory. In the outdoor experiment, the participants were evaluated for immediate/prolonged changes in sensation and skin physiology under the sun or in the shade following single/cumulative exposure. In contrast, various combinations of environmental temperature (temp) and relative humidity were applied in the microclimatic chamber experiment to define the sensational and physiological adjustments in response to microclimatic alteration. In the study, the participants were divided into the treatment group (using protection) and control group (not using protection) to compare between protective mechanisms. Also analyzed were the dose-response relationships between dermal indicators vs. physical variables, the time course between thermoregulatory events, and any variations between physiological and psychological indicators. As the results show, the reduction of skin barrier functions and formation of erythema occurred with UV radiation at a level of UV Index 6 or less, and the TEWL and E-index among all indicators best differentiated the protective efficacy of sunscreen. For sun-protective sleeves, the air pocket confined in the sleeves was over-heated when the temp exceeded 34°C, inhibiting the water vapor evaporating from the skin and resulting in an elevated skin temperature of up to 40°C. This finding suggested that while rendering some protection against solar exposure the sun-protective sleeves also interfered with thermoregulation. When the use of sunscreens and of sun-protective sleeves were compared, the sunscreens were found to maintain skin hydration and function as a permeable membrane in intimate contact with the skin, resulting in an elevated TEWL compared to the levels measured on the skin of sleeve users. The findings of this study could facilitate considerations of personal behaviors in designing strategies of environmental management for urban planning or workplace heat-exposure recommendations.

Keywords: Solar UV exposure, thermal stress, skin physiological indicators, sunscreen, sun-protective sleeves, thermal sensation

目錄

中文摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VII
第一章 前言	1
第二章 研究目的	2
第三章 文獻探討	3
第一節 皮膚微血流變化	4
第二節 經皮水分散失度與皮膚濕度	4
第三節 紅斑生成與黑色素沉澱	5
第四節 使用防曬乳液、防曬袖套對防護紫外線暴露傷害之效能	6
第五節 戶外日光直射處與遮蔭處之紫外光量差異	7
第六節 濕熱環境變化對皮膚生理反應及主觀熱感知之影響	7
第七節 人工氣候環境暴露艙於不同類別研究之應用	8
第八節 文獻總結	8
第四章 研究方法	9
第一節 研究設計	9
第二節 研究對象	9
第三節 研究儀器設備與工具	9
第四節 戶外日光實驗與人工微氣候暴露艙實驗	10
第五節 實驗使用防曬乳液及防曬袖套之成份/材質說明	10
第六節 日光紫外線指數與累積輻射計量之計算	11
第七節 資料統計與分析	11
4.7.1 戶外日光照射實驗結果統計分析	11
4.7.2 暴露艙實驗結果統計分析	12
第五章 結果與討論	15
第一節 戶外日光實驗結果	15
5.1.1 日光紫外線輻射對皮膚微血流變化量之影響	15
5.1.2 日光紫外線輻射對皮膚濕度與經皮水分散失度之影響	16
5.1.3 日光紫外線輻射對紅斑生成與黑色素沉澱之影響	18
5.1.4 環境物理力與使用防曬乳液/袖套與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析	18
第二節 暴露艙實驗結果	19
5.2.1 室內環境熱因子對皮膚微血流變化量之影響	19

5.2.2	室內環境熱因子對皮膚濕度與經皮水分散失度之影響.....	20
5.2.3	室內環境熱因子對皮膚溫度之影響.....	22
5.2.4	環境物理力與使用防曬乳液/袖套與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析.....	22
第三節	結論及建議.....	23
參考文獻	26

表目錄

表 5-1	實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬處)與前臂外側(曝曬處)皮膚於戶外實驗陰涼前階段經皮水份散失度之分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定.....	31
表 5-2	實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬處)與前臂外側(曝曬處)皮膚於戶外實驗曝曬處測得經皮水份散失度之分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定.....	32
表 5-3	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與黑素指數之關係(粗勝算比: crude OR;調整勝算比:adjusted OR;勝算比 95%信賴區間:95% CI).....	33
表 5-4	實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬點)與前臂外側(曝曬點)皮膚於戶外日光實驗曝曬階段黑色素沉澱指數之分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定.....	34
表 5-5	實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬點)與前臂外側(曝曬點)皮膚於戶外日光實驗陰涼後階段黑色素沉澱指數之分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定.....	35
表 5-6	戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應紫外光指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、使用防曬乳液與否之標準化多項式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.....	36
表 5-7	戶外日光實驗曝曬階段前臂外側皮膚生理指標 對應使用防曬袖套與否、環境乾球溫度、環境相對濕度、環境風速、黑球溫度之標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與統計檢定.....	37
表 5-8	實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側皮膚微血流變化之統計檢定.....	38
表 5-9	控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側皮膚微血流變化之統計檢定.....	39
表 5-10	實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側皮膚濕度之統計檢定.....	40
表 5-11	控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側皮膚濕度之統計檢定.....	41
表 5-12	實驗組(使用袖套)於相同相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側經皮水份散失度之統計檢定.....	42
表 5-13	控制組(未使用袖套)於相同相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側經皮水份散失之統計檢定.....	43
表 5-14	實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下,前臂外側皮膚溫度之統計檢定.....	44

表 5-15	控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚溫度之統計檢定.....	45
表 5-16	暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、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.....	46
表 5-17	暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標對應使用防曬袖套與否、環境溫度、環境相對濕度之標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、與統計檢定.....	47

圖目錄

圖 3-1	不同波段紫外光(UVA 與 UVB)進入皮膚表皮層、真皮、及皮下組織的比例.....48
圖 3-2	暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害.....49
圖 4-1	戶外日光實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量、經皮水分散失量、皮膚溫度、皮膚濕度、紅斑生成指數、黑素沉澱指數、人體熱感知之測量調查程序.....50
圖 4-2	暴露艙實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量、經皮水分散失度、皮膚溫度、皮膚濕度、人體熱感知之測量調查程序.....51
圖 5-1	上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....52
圖 5-2	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....53
圖 5-3	日光實驗曝曬階段實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)人員前臂外側皮膚微血流量量測值對應日光紫外線指數之散佈與迴歸方程式.....54
圖 5-4	日光實驗曝曬階段實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)人員前臂外側皮膚微血流量值對應黑球溫度之散佈與迴歸方程式.....54
圖 5-5	上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....55
圖 5-6	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....56
圖 5-7	上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....57
圖 5-8	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....58
圖 5-9	戶外日光實驗實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)前臂外側皮膚經皮水份散失量對數值對應綜合溫度熱指數之散佈:(a)曝曬;(b)陰涼後.....59
圖 5-10	上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)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)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....60
圖 5-11	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)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)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....61
圖 5-12	上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....62
圖 5-13	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....63
圖 5-14	前臂外側之皮膚微血流變化量對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....64
圖 5-15	前臂外側之皮膚濕度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢:(a)實驗組(使用防

	曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....	65
圖 5-16	前臂外側之經皮水分散失度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....	66
圖 5-17	前臂外側之皮膚溫度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....	67
圖 5-18	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚經皮水份散失量對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液).....	68
圖 5-19	前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)....	68

第一章 前言

日光是人類與萬物生存之必要要素；地球上生物生長與維持生命所需之能量皆由日光提供，而日光也是人類從事戶外活動時最直接接觸到的物理因子。隨著自然環境不斷地改變，紫外線暴露與熱危害議題逐漸地受到重視，鑑定與評估過度紫外線與熱危害暴露危害之方法亦因運而生。到達地表之紫外線強度主要是以紫外光指數(Global Solar UV Index, UVI)表示。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[1]。UVI 愈高，對皮膚與眼睛之危害愈大。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。受大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類遭受日光紫外線及濕熱危害之暴露風險日增，世界衛生組織(World Health Organization, WHO)針對日光紫外線曝曬之危害，建議使用防曬乳液、遮陽衣物、及戶外遮蔽因子等防護措施。

近年來，國人使用防曬措施意識逐步提升，在防止過度日光曝曬可能引起的健康傷害方面，防曬乳液是普羅大眾，特別是女性，常使用之防曬措施。然市售防曬乳液之保護時限僅 30 分鐘，逾 30 分鐘後須再補充，此舉對於從事戶外作業之勞工而言十分不便，故此類環境作業勞工往往採取穿戴防曬袖套以避免遭受過度日光紫外線暴露而導致健康傷害。目前市售之防曬袖套多以棉質材質為主，宣稱具有阻抗紫外線之效果，可防止使用者皮膚因紫外線暴露而曬黑或曬傷。但其確切之防護效能則欠缺系統性之探討。

傳統的日光紫外線危害評估著重於測量紫外線抵達地表之能量強度(如紫外線指數)[2]與自然環境中大氣溫度與相對濕度之綜合影響(綜合溫度熱指數；Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)[3]是否超出建議暴露標準，而使用防曬乳液或穿戴防曬袖套抗阻陽光紫外線對皮膚造成傷害之有效程度則較欠缺透過危害減量進行量化評估，故一般大眾難以確切明瞭其暴露所造成之健康風險。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，如紫外線指數的紫外線強度、綜合溫度熱指數中的濕熱環境因子，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。本計劃以皮膚生理反應評估防護措施之效能，評估防曬乳液或防曬袖套之使用對因應日光紫外線曝曬所引起之短、長期傷害之防護效能，並討論其防曬措施是否適用於在我國夏季一般民眾可能面臨之濕熱環境。

第二章 研究目的

本計畫為二年期之計畫。本計畫之先驅研究(「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」(NSC 98-2221-E-039-012))探討特定皮膚生理參數因應環境物理因子、特別是日光紫外線輻射所產生的變化，以及各生理反應間之發生時程順序。本計畫第一年應用以上量化關係評估於日常活動中，遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，使用防曬乳液與否對人體皮膚生理反應變化之影響及影響幅度，並應用建立之生理指標評估紫外線所用防護乳液於濕熱地區如我國之適用性。第二年則探討防曬衣物與不同防護措施之組合，特別是其使用幅度對主觀熱舒適之影響，以及以上熱舒適感變化與人體生理指標變化量之異同。本研究研究所選定之指標包含前臨床(pre-clinical)與臨床(clinical)皮膚生理指標：前臨床指標為皮膚微血流變化(skin blood flow change, SBFC)；臨床指標為經皮水分散失度(transdermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(skin moisture)、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)與黑色素沉澱指數(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 [4]標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。具體研究目的與工作包括：

- 1) SBFC作為評估人體熱舒適乃至熱危害、及日光紫外線曝曬前臨床評估工具之可行性。
- 2) 各環境物理力(包含環境溫度、環境相對濕度、環境風速、日光紫外線輻射)影響前臨床與臨床皮膚生理指標變化之顯著性，以及不同物理力間對皮膚生理指標之影響方式。
- 3) 評估上述各皮膚生理指標在未使用及使用防曬乳液與防曬袖套之狀況下，隨環境物理因子影響所產生變化之差異，進而評估上述防曬措施之使用是否會對皮膚生理指標之適用性產生干擾，進而量化比較其對人體散熱需求之影響。
- 4) 利用皮膚生理指標在熱環境改變時之改變順序及幅度，討論皮膚因應熱環境改變時散熱行為過程中各皮膚生理指標間之時序關係，特別是前臨床指標與臨床指標間之關係。
- 5) 藉由觀察短期與累積性皮膚不同生理指標之變化，量化評估防曬乳液與防曬袖套之防護效能；並探討在使用防曬乳液與防曬袖套狀況下，不同環境物理因子對主觀熱舒適感產生之影響，及該熱舒適感與客觀皮膚生理指標間之異同。
- 6) 藉由短期與累積性紅斑生成及黑素沉澱之變化，量化評估並比較防曬袖套與防曬乳液二者使用時之效能差異。
- 7) 評估使用世界衛生組織建議之保護機制(包括防曬乳液、防曬袖套)時，相對於直接遭受日光曝曬狀況，日光紫外線與不同皮膚生理指標間劑量—反應關係之改變，並進行以皮膚生理指標為基礎之危害減量分析。

第三章 文獻探討

陽光根據波長由短至長分為紫外光(ultraviolet light, UV; 約佔 8.3%)、可見光(visible light, VIS; 約佔 38.9%)、以及紅外線(infrared light, IR; 約佔 52.8%)所組成[2]。當日光照射至皮膚時,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影響最劇[5]。圖 3-1 所示為 UVA 與 UVB 進入皮膚深層的比例[6]。紫外線與可見光皆為源自太陽光的電磁波中的一部分,其電磁波之物理特性依據波長與頻率區分。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(波長為 280-315 nm)所組成。其中 UVB 所造成的生物性危害較 UVA 為高;過度日光曝曬對人體產生之危害約有 80%源自 UVB,另 20%源自 UVA[7]。遭受紫外光過度曝曬時,人體眼部及皮膚可能產生不同之急性與慢性傷害[2]。皮膚為身體最外層之組織,故因紫外光暴露而產生負面健康效應之機率遠高於其他器官。當皮膚遭受紫外線過度曝曬時,可能發生的異常皮膚生理與生化反應包括紅斑生成[8]、表皮細胞異常增生[9-10]、細胞凋亡[11-12]、黑色素沈澱(melanogenesis)[13]、以及免疫抑制[14-16]等。但以上所述各端皆為皮膚遭受過度曝曬後、後期之臨床徵狀。本研究所觀察的皮膚生理變化中皮膚微血流變化主要作為皮膚遭受過度紫外光曝曬後之前臨床徵狀,用以觀察日光紫外光曝曬對皮膚之先期影響。

在防止過度日光曝曬可能引起的健康傷害方面,一般大眾,特別是女性常使用防曬乳液。在選用防曬乳液時,常以日光防曬係數(Sun Protection Factor, SPF)作為選擇的基礎。SPF 數值代表該防曬品在 UVB 照射下可延長保護肌膚不被曬紅、曬傷的時間倍數[17]。例如,原本 5 分鐘可產生曬紅的日光劑量,若使用 SPF 15 的防曬品時,可使皮膚被曬紅的時間延長 15 倍,所以曬紅所須時間為 5 乘 15 等於 75 分鐘。至於 UVA 防曬用品之防護能力則常以日本化妝品職業工會依日本厚生省規範所制定之 UVA 防護級數(Protection Grade of UVA, PA)值表示,PA+表輕度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 2-4 倍),PA++表中度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 4-8 倍),PA+++則表高度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 8 倍以上)[18]。

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、增加體循環之血液流速)以維持生理恆定與避免有害之健康效應發生[19]。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、熱衰竭、脫水與電解質流失等現象,甚至於中暑。熱危害普遍存在於許多室外內的工作環境中,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,因此較難察覺熱危害及其可能產生的健康傷害[3]。圖 3-2 呈現暴露於熱環境時人體相對應之生理效應與可能產生之熱危害[19]。

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)[20]。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[21]。

以下分別介紹本研究中所探討之皮膚生理指標：

第一節 皮膚微血流變化

皮膚微血流(skin blood flow)主要利用雷射-都卜勒(laser Doppler)技術進行測量[22]，常應用於診斷與皮膚微血流變化相關之醫學症狀，如手-手臂振動症候群(hand-arm vibration syndrome, 簡稱HAVS)[23-24]，或判斷由交感神經引起之血管收縮[25]。Laser Doppler技術之測量原理為皮膚動靜脈組織中之微血管可因應皮膚對於外界物理性、化學性或生物性危害調節之需而產生微血流通量(microcirculatory flux)及紅血球移動速率量變化，進而使得射入皮膚表面(表皮深度1 μm 處)之雷射光折射量產生改變，構成血流量量化量測之基礎[26-27]。近年來，一些研究亦利用皮膚微血流變化評估源自人工紫外光源曝曬所產生紅斑生成因人體使用抗氧化劑而產生之改變。Dreher et al. [28]使用非侵入性的生物工程方法，包括皮膚膚色和皮膚微血流，評估維生素E/C與褪黑激素(melatonin)共同施用時，對曝曬30分鐘之寬頻UV輻射可產生之協力防護作用；Perugini et al. [29]利用測量皮膚障壁功能、表皮顏色變化及皮膚微血流改變研究化妝品成分中橄欖多酚(oleuropein)(由橄欖葉葉子和橄欖油萃取之酚類化合物)降低因UVB曝曬導致紅斑生成之效能。當環境熱因子改變時，也可使用laser Doppler技術評估皮膚微血流變化。Bergersen et al. [30-31]曾利用laser Doppler技術觀察手或手指進入可控制溫度之水池，對應環境溫度之冷熱改變，皮膚局部微血管之收縮反應。然而，使用laser Doppler所量測之皮膚微血流變化評估因熱環境變化所引起之健康危害仍屬於發展初期，未臻成熟。以Bergersen et al.的研究為例，在其實驗中所探討之熱環境變化乃利用水浴加熱或降溫形成，與一般環境之熱變化顯著偏離(游泳池除外)；此外當手或手指進入水池時，皮膚局部微血流適應熱環境之機制，當與反應空氣中之熱變化利用排汗散熱之現象不同。

第二節 經皮水分散失度與皮膚濕度

皮膚為良好的熱絕緣體，可有效阻止體內水分之散失，因此具有維持體內生理恆定、阻擋外來物侵入之功能，此功能統稱為皮膚障壁功能[32]。評估皮膚障壁功能及維持生理恆定時較常用的指標為經皮水分散失量(transdermal water loss, TEWL)。TEWL為一非侵入性(non-invasive)之測量方式，主要原理係量測在未知覺流汗狀況下，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[33]。在未自覺出汗的狀況下，TEWL愈大，代表皮膚的屏障效能愈低[34]。美國國家職業安全與衛生研究所(US National Institute for Occupational Safety and Health)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[35]。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。曾有研究顯示，去毛鼠或小鼠之皮膚當遭受：(i)單一、高劑量的UVB曝曬[36]；(ii)重複、低於可引起

紅斑生成劑量之UVB曝曬[37]；(iii) UVA與UVB同時曝曬發生後[38]，TEWL皆呈現上升趨勢。

皮膚表皮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所組成。這些脂質包含神經醯胺(ceramides)、膽固醇(glycerol)、游離脂肪酸(free fatty acids)，以及微量的非極性脂肪(non-polar lipids)與硫酸固醇(cholesterol sulfate)等。Meguro et al. [39]研究經單一劑量(2單位之最小致紅劑量)或連續劑量(每日0.5單位之最小致紅劑量；共14天)之UVB照射後，角質細胞間脂質多層結構之變化。此研究中發現暴露三天後，去毛鼠皮膚之TEWL顯著地上升，且以共價方式結合的神經醯胺含量明顯下降，說明神經醯胺是維繫皮膚障壁功能之重要成分。Akitomo et al. [40]利用TEWL評估倉鼠(hamsters)背部皮膚角質層因紫外線照射產生之皮膚表面脂肪過氧化(lipid peroxidation)是否會影響皮膚障壁功能；發現若將膽固醇先施放至皮膚上，再以能誘發耳朵紅腫現象之最小UVB劑量(minimum ear-swelling dose)照射時，與只單獨照射UVB的部位相較，實驗部位的TEWL上升了至少2倍。上述等研究建議：UVB在活體實驗中(*in vivo*)可直接活化皮脂腺(sebaceous gland)之功能並促進脂肪之分泌，而在紫外線照射時上述脂肪發生過氧化反應，進而使得皮膚障壁功能受損。Jiang et al. [41]評估鼠類角質層中之細胞間脂質經UVB照射後的反應。其實驗以單一劑量的UVB (0.15 J/cm^2)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於照光後第二天開始上升，並於第四天時到達高峰。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)狀況；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. [42]使用人工模擬UVB光源($725 \pm 10 \mu\text{W/cm}^2$)，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。

第三節 紅斑生成與黑色素沉澱

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與黑素沈澱。紅斑生成以及黑素沈澱與膚色、年齡、曝曬位置、紫外線波長、及曝曬劑量有相當的關聯[43]。此兩種指標對因紫外線曝曬或其他危害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。紅斑生成及黑素沉澱常分別以紅斑指數(E-index)以及黑素指數(M-index)表示[44]；兩者亦是許多研究中觀察紫外線暴露數小時乃至數天後生理反應變化選用的指標。

Farr and Diffey [8]以E-index評估紫外線曝曬後的健康效應，發現所測得的紅斑生成與紫外線劑量之對數值呈線性關係。此外，Diffey [7]的研究調查顯示：皮膚經UVA與UVB照射後24小時之曝曬劑量對數值與紅斑生成值之迴歸模式雖未顯示顯著的劑量-反應關係，但

UVA照射後的紅斑生成為雙相(biphasic)反應：紅斑經照射後立即顯現，並於曝曬後6至24小時間上升至並維持穩定在高峰。Park et al. [45]利用螢光燈源所產生之寬頻中波長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過程。研究結果發現照射後第1天時E-index為最大值，而後逐漸下降，惟經過28天後仍無法回復至皮膚原先情況；而M-index則緩慢上升，直到第7天時到達高峰。Suh et al. [46]在為期六個月的研究中，觀察寬頻中波長UVA (BBUVA)、窄頻中波長UVB (NBUVB)、以及寬頻中波長UVB (BBUVB)照射所導致之紅斑生成與色素沈澱隨時間的反應變化。實驗結果發現經BBUVA照射後1小時內紅斑生成與色素沈澱最為明顯。若分別以NBUVB與BBUVB輻射誘發皮膚紅斑生成，則紅斑生成分別在照射1天與2天後情況最為嚴重；照射NBUVB後3到6天之間皮膚色素沉澱達到最大，而照射BBUVB則需要4到7天。皮膚照射NBUVB與BBUVB後分別須1個月與3個月方能恢復至原本膚色。

第四節 使用防曬乳液、防曬袖套對防護紫外線暴露傷害之效能

防曬乳液是針對日光紫外線對皮膚生成傷害常用之防護措施。Rigel [47]於其研究中發現，在不同的防曬措施中(如：穿著防護衣物、撐洋傘、置於樹蔭下活動)，除了避免直接曝曬日光紫外線外，擦抹防曬品可提供個人最佳防護，降低由紫外線曝曬引起之皮膚傷害。防曬乳液的防護效能進一步可區分為物理性與化學性。物理性防曬是將太陽光反射或散射，因而具有防禦UVA和UVB的功能；化學性防曬則利用化學防曬劑直接吸收紫外線，達到防曬效果。多數評估防曬乳防護效能之研究集中於防曬乳防止紅斑生成之效果[48]，但相關研究結果對於防曬乳降低皮膚細胞遭紫外線輻射後分子層面傷害(含DNA傷害)之效果無確切定論[28-29,48]，因此對偵測次紅斑生成劑量之曝曬(sub-erythemal doses)傷害而言，宜考慮利用不同之皮膚生理反應進行健康效應觀察。

對於防曬乳液之研究多半集中於防曬品施用後之效能，包含傷害之降低比率、防護時間長短、特別是防曬乳與抗氧化物(如melatonin, α -tocopherol, 及ascorbic acid)併用時可產生之協力效能(synergistic effects) [28-29,48]。抗氧化物之使用效能在於可中和因紫外光輻射於皮膚表面產生之自由基(free radicals)，故降低曬紅現象之產生[49]。Pearse et al. [50]於研究中發現，防曬乳液透過形成皮膚表面之保護膜，可降低日曬後產生的損害。維他命E為常見之防曬乳液成分，亦為有效降低因日光曝曬而導致皮膚老化及傷害之抗氧化物[51]。Touitou and Godin [52]發現在藥妝產品中使用的蘆薈油(Jojoba oil)為較佳之防曬乳液基底溶液(base solution)成份，因其不易穿透完整之皮膚表皮，故可遲滯其他成份因皮膚吸收可產生之系統毒害效應。

近年來皮膚癌逐漸受到國人重視，大多數之皮膚癌可透過減少日光紫外線曝曬和正確使用防曬機制有效預防[53]。防曬機制可進一步區分為物理性與化學性，物理性防曬是將太陽光反射或散射，因而具有同時防禦UVA和UVB的功能；化學性防曬則利用化學防曬劑直接吸收紫外線，達到防曬效果。本研究中採取之防曬袖套屬於物理性防曬措施。Salas et al. [54]研究農場工人長期暴露於紫外線輻射下使用不同防護措施之頻率，發現平均年齡為33歲之男性農場工人中，使用長袖衣物作為防曬措施的比率高於選擇以防曬乳液作為防曬措

施之工人。由以上結果顯示，對於戶外作業之勞工而言，使用長袖衣物或防曬袖套作為防止日光紫外線過度暴露之便利性較高，此亦為本研究選擇防曬袖套作為研究焦點之主因。

第五節 戶外日光直射處與遮蔭處之紫外光量差異

太陽輻射到達地表所產生之紫外光能量，隨地表之海拔、坡度、坡向、陰影遮蔽等因素之不同產生變化[55]。避免直接日光曝曬可降低因遭受紫外光曝曬所產生之病變；樹蔭、屋簷、騎樓等遮蔽物可部份阻擋紫外光對皮膚產生之直接曝曬[56]。Turnabull et al. [57]利用因應太陽紫外線輻射生成維生素D₃之生成量，於澳洲比較全日光直射與日光於遮蔭處反/折射對人體產生暴露量間之差異。研究發現：太陽天頂角(solar zenith angle, SAZ)為5°時，受測者於全日光直射處(輻射強度為0.67 W/m²)所產生之維生素D₃大於在遮蔭處產生之維生素D₃生成量(0.20 W/m²)—於遮蔭處接收太陽輻射所產生之維生素D₃生成量比全日光直射處生成量約減少37至58%。研究結論指出：就利用日光紫外線輻射有效產生維生素D₃的觀點而言，較佳的暴露方式為於每日中午時在遮蔭處接受太陽輻射。

第六節 濕熱環境變化對皮膚生理反應及主觀熱感知之影響

在熱環境對人體皮膚生理反應現象之影響方面，吳介銘[58]於人工氣候暴露艙中預設環境溫溼度調查皮膚生理指標與人體熱舒適感隨環境溫濕度改變所產生之變化，以評估於日常活動中因遭受熱危害因子人體客觀與主觀反應之變化趨勢與反應幅度。該研究選定之皮膚生理反應包含TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、E-index與M-index；主觀熱舒適感則以ASHRAE Standard 55 [4]標準問卷之中文問卷調查。其研究結果顯示：TEWL與皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變呈線性變化，但受相對濕度之影響較小；皮膚濕度為各皮膚生理指標中唯一可同時反應環境溫度與相對濕度影響者。皮膚生理指標間反應時程關係為：皮膚溫度直接反應環境溫度，其次因應散熱需求皮膚濕度顯著上升；而後隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL顯著上升增加水分排出。主觀熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)隨環境溫濕度上升而增加，尤以環境溫度最為明顯。

調查男女熱舒適差異研究大都於實驗室或以實地調查(field survey)方式進行。因為對熱環境舒適之主觀認知因人而異，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. [59]利用ASHRAE Standard 55 [4]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 -value = 0.03)。Lan et al. [60]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)。

第七節 人工氣候環境暴露艙於不同類別研究之應用

欲測量不同環境物理因子對人體生理反應可產生之影響，實驗泰半需要在可控制溫度、濕度之人工氣候環境暴露艙中進行。典型之人工氣候暴露艙(climatic chamber)可透過程式化控制包含空氣溫度、相對濕度、風速、大氣壓力、及輻射熱等環境物理因子，因此可模擬工作環境實際暴露狀況。如Shapior et al. [61]在預測因熱環境改變所產生之流汗反應時，利用可控制溫度之環境艙作為控制型暴露之場所。Givoni et al. [62]於探討預測肛溫模式時亦利用環境艙作為暴露之用。目前暴露艙之發展相當發達，其目的多運用於熱舒適性、室內空氣品質之探討[63-66]，較少考量輻射熱對人體感覺之影響。此外典型的暴露艙實驗條件包含：環境溫度設定於20至35°C之間；相對濕度設定於30至70%之間；風速則多小於0.5 m/s。

第八節 文獻總結

歸結前述各節之研究結果發現：TEWL、皮膚紅斑與色素沈澱生成、皮膚表面溫度的改變、以及皮膚微血流量不同程度地反應出皮膚使用與未使用防曬乳液時遭受紫外光輻射或熱環境變化後可能產生的生理反應，故具有作為評估使用與未使用防曬乳液因日光紫外線曝曬或熱危害造成負面健康效應皮膚生理指標的潛力。

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 研究設計

本計畫第一年應用以上主觀熱感知以及不同皮膚生理指標評估於日常活動中，遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，使用防曬乳液與否對人體皮膚生理反應變化之影響及影響幅度，並應用生理指標評估紫外線所用防護乳液於濕熱地區如我國之適用性。第二年則將探討防曬衣物與不同防護措施之組合，特別是其使用幅度對主觀熱舒適之影響，以及以上熱舒適感變化與人體生理指標變化量之異同。本研究第一、二年各進行二階段實驗，包含暴露艙實驗及戶外日光實驗。在各階段實驗中分別探討皮膚在使用防曬乳液/防曬袖套(實驗組)與未使用(控制組)狀況下，下列皮膚生理反應受環境物理因子影響之變化與幅度：SBFC、TEWL、skin moisture、skin temperature、E-index、M-index。實驗中所探討、可影響皮膚生理指標變化之環境物理因子包括日光紫外光輻射、環境溫度、環境相對濕度、以及環境風速。研究結果透過分析比較上述生理反應變化於各階段之差異，以建立各皮膚生理指標對應環境物理力影響之劑量-反應關係(dose-response relationship)，並將實驗結果應用於評估日光紫外線與濕熱環境暴露時人體可能產生之前臨床與臨床皮膚生理變化。戶外日光實驗與暴露艙實驗除探討皮膚生理反應變化關係外，亦於實驗過程中以問卷方式調查各受試人員主觀熱感知，以評估於不同環境物理因子影響下，受試人員主觀熱感知之變化。

第二節 研究對象

本計畫之研究對象為中國醫藥大學女性職員與大學部/研究所碩士班同學共計 28 名，含暴露艙實驗 14 人及戶外日光照射實驗 14 人。參與各階段實驗 14 人中分為實驗組 7 人以及控制組 7 人；實驗參與者年齡介於 20 至 29 歲間。本研究中以女性為研究對象，原因包括：a)吳介銘[58]針對台中地區同年齡層大專男、女性進行之調查顯示：男性之基礎皮膚生理值(E-index、M-index)偏高，約為女性之 1.5 倍，導致因短期曝曬產生之急性皮膚生理變化與女性相較不易觀察；b)本研究同時調查實驗參與人員經累積性戶外曝曬後之皮膚生理指標變化，惟男性戶外活動程度較女性頻繁[58]，且分散於每日不同時段，包含日光紫外線曝曬強烈時間點(中午 12 時至下午 2 時)，故除非大量增加有效樣本數，難以建立信度高之累積性曝曬與皮膚生理變化之量化關係。所有受試人員於實驗進行前皆已填妥並繳交「受試者基本資料問卷」，內容包含：基本資料(性別、年齡、身高與體重)、夏季戶外活動狀況、個人皮膚生理狀況與夏季衣著量。為使受試人員瞭解本實驗設計，於實驗前提供每位受試人員「受試人員指引說明」，並由工作人員詳細說明。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。受測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，簽署「受測人員同意書」，方得參與實驗。

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) [67] 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 [4] 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 戶外日光實驗與人工微氣候暴露艙實驗

本階段研究之目的在模擬正常戶外活動情形下，實驗參與者使用或未使用防曬乳液/防曬袖套、遭受或未遭受自然陽光曝曬時之各項皮膚生理指標與主觀熱感知之變化，及上述變化受環境溫度、環境相對濕度及環境風速之影響。戶外日光實驗過程同時收集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累積輻射量之基準。實驗流程見圖 4-1。

暴露艙實驗目的在建立實驗參與者於人工氣候環境暴露艙內，在無自然紫外光曝曬情形下，建立實驗參與人員不同皮膚生理反應 (SBFC、TEWL、skin moisture、skin temperature、E-index、M-index) 與主觀熱感知隨不同環境熱因子之組合 (包含環境溫度、環境相對濕度、及環境風速) 產生之變化。受測人員於實驗過程中首先進入暴露艙內維持靜止狀態 30 分鐘，以適應人工氣候環境暴露艙內之熱環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，於受測人員前臂外側測量不同生理指標。實驗流程見圖 4-2。人工氣候環境暴露艙之設定溫度範圍為 10 至 40°C，精確度為 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；相對濕度範圍為 30 至 80%，精確度為 $\pm 0.5\%$ 。

暴露艙實驗進行時同步量測與記錄乾球溫度、黑球溫度、相對濕度、以及環境風速四種環境物理因子。暴露艙實驗設定 15 種溫、濕度變項組合；其中溫度為 22、25、28、31、與 34°C，環境相對濕度為 45、60、與 75%。此外於環境溫度為 28°C 及環境相對濕度 60% 時，利用電風扇製造不同環境風速之測量環境。環境風速包含無風速 (0.1 m/s)、低風速 (0.8 m/s)、中風速 (1.4 m/s)、及高風速 (2.0 m/s)。

第五節 實驗使用防曬乳液及防曬袖套之成份/材質說明

本研究使用之防曬袖套採用市售一般防曬袖套，其材質為 cotton 95% 及 spandex 5%，長度為 59.5cm。此防曬袖套屬於過肘長袖袖套且具有彈性。防曬乳液之 UVB 防曬效能為 SPF 30；UVA 為 PA+++。防曬乳液之成份含：aqua/water, octocrylene, glycerin, alcohol denat, propylene glycol, C12-15 alkyl benzoate, drometrizole trisiloxane, cyclohexasiloxane, cyclopentasiloxane, butyl methoxydibenzoylmethane, ethylhexyl triazone, titanium dioxide,

ethylhexylglycerin, triethanol amine, acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer, dimethiconol, PEG/PPG-18/18 dimethicone, glycine soja/soybean oil, tocopherol, pentasodium ethylenediamine tetramethylene phosphonate, aluminum hydroxide, stearic acid, vitreoscilla ferment, limonene, CI15985/yellow 6, CI16035/red 40, parfum/fragrance。單次使用劑量約為2 g (可塗抹表面積約為450 cm²)，實驗組人員於實驗前30分鐘均勻塗抹於左手前臂及上臂。

第六節 日光紫外線指數與累積輻射計量之計算

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)：

$$Irradiance_{UV} = \sum_{Ist\ Measure}^{Current\ Measure} (UVI_{Hourly} \cdot Weight\ of\ Exposure) \quad (Eq. 4-1)$$

Eq. 4-1中 UVI_{Hourly} 為自戶外日光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7時至下午6時間紫外光即時監測之每小時平均值(每日共有11平均值，分別為上午7-8時、上午8-9時、上午9-10時、上午10-11時、上午11至正午12時、正午12時至下午1時、下午1-2時、下午2-3時、下午3-4時、下午4-5時、下午5-6時之即時監測值之平均數值)。平均值之定義為監測時段起始時間與結束時間點紫外光監測值之平均，如上午7-8時間之平均值為7時正與8時正之即時監測值之平均數值。 $Weight\ of\ Exposure$ 為每日每小時間受測人員實際曝曬時間(依受測人員所提供之「戶外活動紀錄表」決定)加權指數，為0, 1, 2, 3, 4, 5，分別代表曝曬時間為低於10分鐘、10-20分鐘、20-30分鐘、30-40分鐘、40-50分鐘、50-60分鐘。所以 $Irradiance_{UV}$ (100 J/m²/hr)為每次進行戶外實驗時，各受試者自第一次測量日上午7時起，迄該測量日之間的紫外光累積輻射劑量。

第七節 資料統計與分析

4.7.1 戶外日光照射實驗結果統計分析

戶外日光照射實驗所收集之皮膚生理指標依據實驗組、控制組、皮膚測量部位(前臂外側、上臂內側)、曝曬劑量(短期、累積性)以及戶外實驗地點(日光照射處、戶外陰涼處)分類進行統計分析。皮膚生理指標對應 UVI(短期曝曬劑量單位)、irradiance(累積性曝曬劑量單位)、及 WBGT 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、以及 WBGT 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期紫外線曝曬、累積性紫外線曝曬、以及綜合溫濕度環境改變產生之皮膚生理變化。由於戶外日光實驗所量測之皮膚生理指標大都呈非常態分布，因此戶外日光實驗以無母數統計進行分析。實驗組與控制組之皮膚生理指標測量值另以表列方式呈現，使用曼-

惠特尼 U 檢定(Mann-Whitney U test)[68]分析不同測量日量測所得之實驗組與控制組皮膚生理指標值在日光曝曬或無日光暴露情形下是否存有統計顯著差異(p -value < 0.05)。實驗中前臂外側與上臂內側所測量之皮膚生理指標，含 SBFC、TEWL、skin temperature、skin moisture、E-index、以及 M-index，亦以兩兩對應方式觀察其散佈，分析各皮膚生理指標受 UVI、irradiance、WGBT、以及使用防曬機制與否之影響。以上所述各散佈圖另進行以下統計分析：1)關聯性分析(correlation analysis)：以斯皮爾曼等級相關係數(Spearman's rank test correlation coefficient, r_s)呈現皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標間之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數(coefficient of determination, R^2)表示。

在日光照射實驗中，為探討日光照射對受測人員主觀熱舒適隨環境溫濕度改變產生之變化，故於日光照射區及戶外陰涼區測量皮膚生理指標前各進行問卷調查一次，評估受測者之 TSV。日光照射區實驗與戶外陰涼處調查所得之 TSV 則對應同步量測所得之皮膚生理指標分析，以散佈圖之分佈呈現並進行關聯性分析，探討主觀感知與客觀皮膚生理指標之差異，及主、客觀指標與短期、累積性日光紫外線曝曬間之相關性，以及進行線性迴歸探討可能線性關係。TSV 與皮膚生理指標之相關性依組別分類，以探討使用防曬機制與否是否對主觀感知與客觀生理指標間之差異構成影響。以上所述各項分佈另進行以下統計分析探討主觀熱感知與客觀皮膚生理指標間之相關性：1)關聯性分析：以斯皮爾曼等級相關係數呈現主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數表示。

日光照射實驗收集之數據並以多項式複迴歸分析(multiple regression analysis)方法檢驗環境溫度、環境相對濕度、日光輻射(含短期與累積性輻射)、環境風速、以及防曬機制使用與否等因子對於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 linear regression equations)、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(亦即因環境物理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。戶外日光實驗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(stepwise regression)檢驗複迴歸方程式中各環境物理因子變項與皮膚生理指標之相關系，透過移除關聯性低之變數，增加線性迴歸之預測性。

4.7.2 暴露艙實驗結果統計分析

暴露艙實驗結果所收集之皮膚生理指標依據實驗組、控制組、皮膚測量部位(前臂外側)

分類進行統計分析。皮膚生理指標之平均值與標準差對應環境溫度、環境相對濕度、或環境風速變化之線性分佈作圖，探討不同環境物理因子變化對皮膚生理指標之影響程度與幅度。由於暴露艙實驗所量測之皮膚生理指標呈常態分布，因此暴露艙實驗將以有母數統計進行分析。在不同溫度、相對濕度所量測之生理指標利用兩因子變異數分析(two-way ANOVA)進行檢定，評估雙因子(環境溫度與環境相對濕度)對皮膚生理指標之影響是否達顯著性，環境溫度與環境相對濕度是否對皮膚生理指標存在交互作用。另外，亦在不同溫度、相對濕度或風速所量測之生理指標利用一因子變異數分析(one-way ANOVA)進行檢定，評估單一因子(環境溫度、環境相對濕度、環境風速)對皮膚生理指標之影響是否達顯著差異。若差異達統計顯著性，則利用雪費多重比較法(Scheffé's multiple-comparisons procedure)[68]觀察不同溫度間(相同相對濕度)、不同相對濕度間(相同溫度)、或不同風速間(相同溫度、相對濕度)之皮膚生理指標量測值是否達顯著統計差異。實驗觀測之環境溫濕度進一步轉換成 WBGT，分析皮膚生理指標平均值對 WBGT 之分佈與其個別受測人員數值之散佈，並於散佈圖中推導線性迴歸方程式。實驗組與控制組之皮膚生理指標測量值另以表列方式呈現，並使用 student's *t* 檢定(student's *t* tests)分析各溫濕度間之實驗組與控制組生理指標值是否達統計顯著差異。實驗中前臂外側與上臂內側所測量之皮膚生理指標，含 SBFC、TEWL、skin temperature、以及 skin moisture，亦以兩兩對應方式觀察其散佈，分析各皮膚生理指標受環境溫度、環境相對濕度、風速、以及使用防曬乳液與否之影響。以上所述各散佈圖另進行以下統計分析：1)關聯性分析：以皮爾森積差相關係數(Pearson product moment correlation coefficient, r_p)呈現皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標間之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數表示。

在此階段實驗中，受測人員主觀熱感知隨環境溫度、相對濕度改變產生之變化於實驗前後以問卷調查熱感知投票值一次。為研究受測者熱感知隨環境溫度、環境相對濕度、以及環境風速改變所產生之變化並量化其趨勢，受測人員於每次測量時 TSV 值，並對應環境溫度、相對濕度、WBGT、及風速值作分佈圖，評估主觀熱感知受溫濕度之獨立與綜合影響。TSV 對應皮膚生理指標之散佈圖分析進一步依使用防曬機制與否分類，以探討環境溫度、相對濕度或風速對上項分佈之影響，以及該影響是否因使用防曬機制與否而異。以上所述各項分佈另進行以下統計分析探討主觀熱感知與客觀皮膚生理指標間之相關性：1)關聯性分析：以皮爾森積差相關係數呈現主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數表示。

暴露艙實驗收集之數據並以多項式複迴歸分析方法檢驗環境溫度、環境相對濕度、以及防曬機制使用與否等因子對於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、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與相關統計檢定表示。研究分析另以共線性診斷檢驗多項式複迴歸方程式是否具有多元共線性，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大於 10，則該組變數間為顯著相關，於複迴歸方程式中退化為單一變項。複迴歸方程式進一步透過標準化複迴歸方程式之建立，評估在去除各變項單位因素(亦即因環境物理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。暴露艙實驗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物理因子變項與皮膚生理指標之相關性，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 戶外日光實驗結果

5.1.1 日光紫外線輻射對皮膚微血流變化量之影響

圖 5-1 與 5-2 所示為使用防曬乳液組(亦即實驗組；圖(a))與控制組(未使用防曬乳液；圖(b))受試人員皮膚微血流量(量化表示單位為灌流單位，perfusion unit, PU)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側(對照點；圖 5-1)與前臂外側(曝曬點；圖 5-2)皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 SBFC 分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 SBFC 數值介於 3-112 PU 之間。由前臂外側之迴歸方程式中可發現實驗組之血流變化量隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於控制組，顯示實驗組前臂外側皮膚對於短期紫外線暴露反應之敏感度較高。以下為圖 5-1 與 5-2 中之 SBFC 隨 UVI 分佈之迴歸方程式為：

實驗組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.57x + 25.83 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 5-1})$$

實驗組前臂外側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.51x + 17.10 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 5-2})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.77x + 20.13 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 5-3})$$

控制組前臂外側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.27x + 20.41 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 5-4})$$

以 Mann-Whitney U test 檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，上臂內側 SBFC 之 p -value = 0.290，未達統計顯著差異；前臂外側 SBFC 之 p -value = 0.031，達統計顯著差異(p -value < 0.05)。表示於前臂外側(曝曬點，直接曝曬日光下)之使用防曬乳液與否會對 SBFC 造成影響。

圖 5-3 為戶外日光實驗曝曬階段使用防曬袖套組(亦即實驗組)與控制組(未使用防曬袖套)人員前臂外側 SBFC 值對應 UVI 之散佈圖與迴歸方程式。圖 5-4 為戶外日光實驗曝曬階段使用防曬袖套組與控制組人員前臂外側 SBFC 測值對應黑球溫度之散佈圖與迴歸。以下為圖 5-3 之方程式：

曝曬階段實驗組前臂外側 SBFC 量測值對應 UVI 之方程式：

$$y = 0.24x + 13.77 \quad R^2 = 0.004 \quad (\text{Eq. 5-5})$$

曝曬階段控制組前臂外側 SBFC 量測值對應 UVI 之方程式：

$$y = 1.31x + 8.82 \quad R^2 = 0.050 \quad (\text{Eq. 5-6})$$

以下為圖 5-4 之方程式：

陰涼後階段實驗組前臂外側 SBFC 量測值對應 UVI 之方程式：

$$y = 0.38x + 0.62 \quad R^2 = 0.035 \quad (\text{Eq. 5-7})$$

陰涼後階段控制組前臂外側 SBFC 量測值對應 UVI 之方程式：

$$y = 0.61x - 7.49 \quad R^2 = 0.045 \quad (\text{Eq. 5-8})$$

如圖所示：在曝曬階段當受試者前臂外側皮膚遭受日光紫外線直接照射時，SBFC 並未隨 UVI 或黑球溫度增加產生明顯變化。如前所述，在本研究中戶外實驗之熱環境與人體熱交換可能無法單純透過 SBFC 達成平衡，故散熱機制推進至類排汗階段，此時 SBFC 逐步回復至穩定狀態，造成 SBFC 與日光紫外線相關之環境物理因子(UVI 以及黑球溫度)關聯性較差。綜合以上觀察，SBFC 易受不同熱環境因子干擾，並非評估日光紫外線皮膚危害之良好生理指標。

5.1.2 日光紫外線輻射對皮膚濕度與經皮水分散失度之影響

圖 5-5 與 5-6 所示為使用防曬乳液組與控制組受試人員皮膚濕度(skin moisture)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與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 之皮膚濕度分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之皮膚濕度數值介於 200-2000 μS 之間。前臂外側之迴歸方程式中可發現控制組方程式斜率高於實驗組之數值，顯示控制組前臂外側皮膚濕度隨 UVI 增加之上升程度較大。如針對日光紫外線輻射對皮膚微血流影響之討論，以上現象可能反應防曬乳液對皮膚與周圍物理環境接觸所造成之隔離效果，故皮膚濕度在使用防護乳液時未與環境濕度直接平衡。以下為各分佈圖(圖 5-5 與 5-6)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 9.29x + 826.46 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 5-9})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 16.73 + 861.34 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 5-10})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 36.44x + 626.32 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 5-11})$$

控制組前臂外側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 21.98x + 729.56 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 5-12})$$

以 Mann-Whitney U test 檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，不同組別間不論上臂內側($p\text{-value} = 0.245$)或前臂外側($p\text{-value} = 0.188$)之皮膚濕度皆未達統計顯著差異。以上推論結果顯示：使用與未使用防曬乳液人員間皮膚濕度未有顯著差異之可能原因為，皮膚濕度主要在反應環境濕度以及環境溫度之變化[58]；除非日光紫外線曝曬強烈

影響皮膚障壁功能之完整，否則皮膚濕度不易直接作為日光紫外線曝曬之生理指標。

圖 5-7 與 5-8 所示為使用防曬乳液組與控制組受試人員經皮水分散失量 (TEWL) 在日光照射區實驗 (戶外有日光照射處) 隨環境物理力產生之改變；圖中所示為受測人員上臂內側與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 分佈與其線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 TEWL 數值介於 10-120 g/m²/hr 之間。由未使用防曬乳液者上臂內側與前臂外側之迴歸方程式可發現其斜率皆高於實驗組之斜率，顯示未使用防曬乳液者之皮膚 TEWL 在遭受短期紫外線暴露後之反應較明顯。亦即因為皮膚角質層之障壁功能受曬傷下降，造成皮膚防止水份過度散失之維持生理衡定功能亦受損。

表 5-1 為使用防曬袖套組與控制組上臂內側 (未曝曬處) 與前臂外側 (曝曬處) 皮膚於戶外日光實驗陰涼前階段 TEWL 之分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定。在陰涼前階段，實驗組上臂內側之 TEWL 值，於第 4 週與第 12 週時低於控制組上臂內側之量測值，但不具統計顯著差異性 (p -value > 0.05)。在所有實驗週次中，實驗組前臂外側之 TEWL 皆高於控制組之量測值，但不具統計顯著差異性 (p -value > 0.05)。表 5-2 為使用防曬袖套組與控制組上臂內側與前臂外側皮膚於戶外日光實驗曝曬處所量測之 TEWL 分佈、實驗組—控制組比值、及統計檢定。當人員位於曝曬處時，實驗組上臂內側之 TEWL 值於實驗第 4 週與第 11 週時低於控制組相同皮膚曝曬點之量測值，但不具統計顯著差異性 (p -value > 0.05)。實驗組前臂外側之 TEWL 值，於實驗第 2 週、第 4 週與第 9 週時低於控制組前臂外側之量測值；其餘實驗週次實驗組之 TEWL 值皆高於控制組，且第 9 週及 15 週之差異具統計顯著 (第 9 週， p -value = 0.024；第 15 週， p -value = 0.015)，其餘實驗週次於統計上則無顯著差異 (p -value > 0.05)。

圖 5-9 為戶外日光實驗曝曬與陰涼後階段使用防曬袖套組與控制組 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之散佈圖。以下為圖 5-9 之方程式：

戶外日光曝曬處實驗組 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之方程式：

$$y = 0.13x - 2.30 \quad R^2 = 0.405 \quad (\text{Eq. 5-13})$$

戶外日光曝曬處控制組 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之方程式：

$$y = 0.13x - 2.47 \quad R^2 = 0.341 \quad (\text{Eq. 5-14})$$

陰涼後階段實驗組 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之方程式：

$$y = 0.13x - 2.29 \quad R^2 = 0.217 \quad (\text{Eq. 5-15})$$

陰涼後階段控制組 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之方程式：

$$y = 0.09x - 1.34 \quad R^2 = 0.158 \quad (\text{Eq. 5-16})$$

在曝曬處因受輻射熱影響，故黑球溫度較陰涼處高，轉換後之 WBGT 亦較高。曝曬處所測量到之前臂外側 TEWL 對數值大多分佈在 1.0-2.1 之間，但陰涼後之 TEWL 對數值則分佈於 0.9-1.9 之間。相形之下曝曬處之 TEWL 對數值較高，說明在曝曬處因受輻射熱影響，皮膚散失水分情形加劇。因受試者間之個人基礎代謝率不盡相同，故曝曬處 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之分佈範圍較廣；陰涼處 TEWL 對數值對應綜合溫度熱指數之分佈較集中。

5.1.3 日光紫外線輻射對紅斑生成與黑色素沉澱之影響

圖 5-10 與 5-11 所示為使用防曬乳液組與控制組受試人員 E-index 在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與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。整體而言,實驗期間測量所得之 E-index 數值介於 3-25 單位(a^*)之間。由前臂外側之迴歸方程式中可發現控制組之 E-index 隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於實驗組,顯示實驗組前臂外側皮膚遭受短期紫外線暴露時增加幅度較低,可推論使用防曬乳液確可提供皮膚防護功能,降低皮膚曬傷所形成之紅斑生成[48-49]。

圖 5-12 與 5-13 所示為使用防曬乳液組與控制組受試人員之 M-index 在戶外日光實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。由圖得知,控制組之黑色素沈澱現象隨累積紫外光曝曬增加而緩慢降低。由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同,故數據進一步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估在上臂內側與前臂外側之 M-index 因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及 95%信賴區間(95% confidence interval, 95% CI);過程中並調整累積性紫外光曝曬量,作為控制干擾因子。表 5-3 所示為分析結果:在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分,使用防曬乳液之 M-index 為未使用防曬乳液之 0.995 倍(95% CI = 0.9576-1.035),因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處未達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分,使用防曬乳液之 M-index 為未使用防曬乳液約 0.990 倍(95% CI = 0.962-1.0195),因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處亦未達統計顯著差異。由以上討論可知:在傳統評估中,針對黑素沉澱現象之討論主要集中在長期日光曝曬所產生之效應上。但本研究之結果則顯示:黑素生成可因短期、高劑量曝曬生成;但因低劑量、累積性曝曬而增加之黑素生成相較之下則未必為嚴重之健康威脅,故在防護觀念上似宜加強對強烈日曬時段之皮膚防護。由表 5-4 至 5-5 可發現,若防護措施為防護袖套,則不論陰涼處或曝曬處之前臂外側 M-index 量測值實驗組於多數週次皆小於控制組,說明使用防曬袖套對日光紫外線長期曝曬所引起之黑色素破裂(曬黑)具防護功能,但防護效果未達統計顯著差異。

5.1.4 環境物理力與使用防曬乳液/袖套與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析

表 5-6 為戶外日光實驗日光照射區之前臂外側皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應 UVI (短期曝曬劑量)、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之標準化逐步迴歸方程式、相關係數、判定係數、調整判定係數、共線性診斷與統計檢定。標準化過程為去除單位可能造成之影響。由比較迴歸係數可發現:環境乾球溫度最能影響 TEWL 測量值(slope = 0.46);環境乾球溫度與環境黑球溫度最能影響皮膚溫度測量值(環境乾球溫度 slope = 0.38 與環境黑球溫度 slope = 0.35)。環境相對濕度最能影響皮膚濕度測量值(slope = 0.17);使用防曬乳液與否最能影響 E-index 測量值(slope = -0.26)。而環境黑球溫度最能影響 TSV 測量值(slope = 0.50)。

表 5-7 為戶外日光實驗曝曬階段之前臂外側皮膚生理指標(含 TEWL, skin moisture, SBFC, skin temperature)對應使用防曬袖套與否、環境溫度、環境相對濕度、環境風速、以及環境黑球溫度之標準化逐步迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與統計檢定。由表中可觀察到標準化複迴歸方程式藉由逐步迴歸修正後, skin moisture 與 SBFC 轉換成為簡單迴歸方程式, 顯示於日光直射處僅環境溫度與前臂外側 skin moisture 與 SBFC 顯著相關(skin moisture 迴歸係數 = 0.55; SBFC 迴歸係數 = 0.41)。環境溫度及環境黑球溫度則影響前臂外側之 TEWL, 迴歸係數分別為 0.32 與 0.38。以上現象說明: 當輻射熱為影響皮膚生理變化之重要熱環境因子時, 熱調節主要透過類排汗方式達成。除使用防曬袖套與否外, 其餘四項環境物理力皆會影響 skin temperature, 迴歸係數分別為 0.49、0.28、-0.12 與 0.49。在以上迴歸中, 防曬袖套使用作為影響因子之重要性被排除, 推估當與不論使用防曬袖套與否, 在日光直射時皮膚表面溫度持續過高, 無法透過迴歸顯示其與自變項間之關聯性有關。環境風速之迴歸係數為負值, 代表環境風速經標準化後對 skin temperature 為負影響。此外, 四項皮膚生理指標之逐步迴歸中皆未發現防曬袖套使用可造成影響, 再次說明於戶外日光照射處, 因暴露之物理因子能量強, 各項皮膚生理指標之反應均極顯著, 故是否使用防曬袖套所產生之效應相形之下不明顯。

第二節 暴露艙實驗結果

5.2.1 室內環境熱因子對皮膚微血流變化量之影響

針對探討防曬乳液之暴露艙實驗, 受測者 SBFC 與 WBGT 之對應關係以散佈圖呈現, 並依散佈趨勢進行線性迴歸分析(圖 5-14)。以下為各散佈圖之迴歸方程式:

實驗組受試人員前臂外側 SBFC 與 WBGT 之迴歸方程式:

$$y = 0.90x - 6.69 \quad R^2 = 0.26 \quad (\text{Eq. 5-17})$$

控制組受試前臂外側 SBFC 與 WBGT 之迴歸方程式:

$$y = 1.34x - 16.00 \quad R^2 = 0.40 \quad (\text{Eq. 5-18})$$

由各迴歸方程式可觀察到控制組前臂外側迴歸係數(regression coefficient)大於實驗組前臂外側係數, 顯示使用防曬乳液在皮膚表面所形成類薄膜之屏障, 對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離效果, 故未始用防曬乳液人員之 SBFC 上升幅度大於使用防曬乳液人員。控制組受測人員前臂外側 SBFC 線性迴歸之判定係數(R^2)接近 0.5, 顯示 SBFC 之變化與 WBGT 間呈現一定的線性關係。

表 5-8 為使用防曬袖套組人員前臂外側皮膚之 SBFC 於相同相對濕度下隨環境溫度之變化; 不同環境溫度間之差異以 one-way ANOVA 檢定。在相對濕度為 60%及 75%時, 不同環境溫度間之 SBFC 存有顯著差異(相對濕度 60%以及 75%之 p -value 分別為 0.001 與 0.002), 顯示於高相對濕度時, 環境溫度之變化對 SBFC 造成影響。使用 Scheffe's 多重比較分析發現, 相對濕度 60%時, 環境溫度 22°C 對應 31°C 與 22°C 對應 34°C 具顯著差異

(p -value 分別為 0.030 與 0.038)；相對濕度 75%時，環境溫度 22°C 對應 34°C 與 25°C 對應 34°C 亦具顯著差異(p -value 分別為 0.039 與 0.026)。以上結果顯示，使用防曬袖套時，SBFC 因應環境溫度變化生成之改變於較高相對濕度(60%與 75%)時較明顯，亦即在高環境相對濕度時使用防曬袖套，只要環境溫度稍具變化，皮膚表面之微血流量則會增加。表 5-9 為控制組(未使用防曬袖套)人員前臂外側皮膚之 SBFC 於相同相對濕度下隨不同環境溫度產生之變化；不同環境溫度間之差異亦以 one-way ANOVA 檢定。在相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間所量測之 SBFC 具顯著差異(相對濕度 60%之 p -value 為 0.001；45%以及 75%之 p -value 皆為 < 0.001)。經 Scheffe's 多重比較分析發現，相對濕度 45%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、環境溫度 25°C 對應 34°C、及環境溫度 28°C 對應 34°C，SBFC 之差別具顯著差異(p -value 分別為 0.001、0.004、及 0.034)；相對濕度為 60%時，環境溫度 22°C 對應 34°C 以及 25°C 對應 34°C 之 SBFC 分佈具顯著差異(p -value 分別為 0.006 以及 0.018)。當相對濕度為 75%時，環境溫度 22°C 對應 31°C 與 34°C 以及 25°C 對應 34°C 之 SBFC 分佈亦具顯著差異(p -value 分別為 0.006、0.036、以及 0.014)。以上結果顯示：未使用防曬袖套人員之 SBFC 對環境溫度之變化較敏感較低，但在低相對濕度時與控制組間無顯著差異，推論可能因使用防曬袖套造成測量當下之 SBFC 並非反應外界環境(即未與外界熱環境進行熱交換)。受到防曬袖套所產生之隔離蓄熱影響，實驗無法確切觀察環境溫度變化對 SBFC 之影響程度高低。

5.2.2 室內環境熱因子對皮膚濕度與經皮水分散失度之影響

圖 5-15 所示為受測人員使用或未使用防曬乳液時前臂外側於不同環境溫度與環境相對濕度下之皮膚濕度變化。由圖中可觀察到：與先前針對 TEWL 與皮膚溫度觀察所得之現象相較，環境溫度與環境相對濕度兩項環境因子對於皮膚濕度均構成明顯地影響。在較低環境溫度時(如 22 與 25°C)，前臂外側之皮膚濕度皆穩定低於 500 μ S。皮膚濕度亦受環境相對濕度影響：其在相對濕度較高環境中之量測值皆顯著大於較低環境相對濕度環境下之測量值。實驗組皮膚濕度之明顯上升出現於環境溫度逾 28°C 後；控制組皮膚濕度之明顯變化則於 25°C。主要差異可能源自防曬乳液提供之皮膚保溼效果(實驗組之皮膚濕度大多高於 200 μ S；控制組之皮膚濕度大多低於 200 μ S，兩組間差距約 200 μ S 以上；此基線間之差異所反應者可能為防曬乳液提供使用者保溼功能)，因此實驗組皮膚濕度之明顯上升於環境溫度至 28°C 後才顯而易見。但整體而言，隨環境溫度逐漸升高，皮膚濕度於固定環境溫、濕度狀況下之變異量也隨之增加，故作為環境熱因子影響生理指標之穩定性不若皮膚溫度良好。

在環境物理因子變化量對 skin moisture 之影響隨防曬袖套使用產生之差異方面：表 5-10 所示為實驗組前臂外側皮膚 skin moisture 於相同相對濕度下隨不同環境溫度之變化；環境溫度組間之差別以 one-way ANOVA 檢定。在相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間所量測之 skin moisture 具統計顯著差異(相對濕度 45%、60%、以及 75%之 p -value 分別為 0.016、0.002、 < 0.001)，顯示環境溫度之變化會對 skin moisture 造成影響。經 Scheffe's 多重比較進一步分析發現：環境相對濕度為 45%時，只有環境溫度 22°C 對應 34°C 時有顯著差異(p -value 為 0.041)；環境相對濕度 60%時，環境溫度 22°C 對應 34°C 與 28°C 對應 34°C

有顯著差異(p -value 分別為 0.024 與 0.048)。當環境相對濕度為 75%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、28°C 對應 34°C、以及 31°C 對應 34°C 皆有顯著差異(22°C、25°C、28°C 對應 34°C p -value 為 < 0.001 、31°C 對應 34°C 則為 0.002)。以上結果顯示，skin moisture 因使用防曬袖套而產生之差異，在環境溫度變化大時較為顯著，尤其於高相對濕度(75%)時更為明顯。亦即在高相對濕度時，若使用防曬袖套，則環境溫度稍具變化，皮膚即會快速於表面累積水份。表 5-11 為未使用防曬袖套者前臂外側皮膚之 skin moisture 於相同相對濕度下隨不同環境溫度之變化；不同環境溫度間之差異亦以 one-way ANOVA 檢定。當環境相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間所量測之 skin moisture 存有差異(相對濕度 45%之 p -value 為 0.018、60%及 75%之 p -value 皆為 < 0.001)。經 Scheffe's 多重比較進一步分析發現，相對濕度 45%時，環境溫度 22°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 為 0.036)；相對濕度 60%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、及 28°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 < 0.001 、0.001、以及 0.002)。當環境相對濕度為 75%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、以及 28°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 0.002、0.003、以及 0.033)。以上結果顯示：未使用防曬袖套人員之 skin moisture 量測值對環境溫度之變化較敏感，而防曬袖套之使用造成人體皮膚表面水分蓄積，故 skin moisture 隨溫度之變化不若控制組顯著。

圖 5-16 顯示使用防曬乳液組與控制組之前臂外側 TEWL 隨環境溫度、環境相對濕度改變產生之變化。TEWL 測量值受環境溫度影響，其中控制組之 TEWL 變化幅度較實驗組測量值大。與環境溫度相較，實驗組之 TEWL 不受環境相對濕度影響；環境溫度為中、低溫(22、25、28°C)時，控制組之 TEWL 測量值會受到環境相對濕度影響，即 TEWL 隨環境相對濕度上升而增加。

表 5-12 為使用防曬袖套受試者前臂外側皮膚之 TEWL 量測值於相同環境相對濕度下隨不同環境溫度之變化；不同溫度間之差異以 one-way ANOVA 檢定。環境相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間之 TEWL 具統計顯著差異(環境相對濕度 45%、60%、以及 75%之 p -value 分別為 0.002、0.001、 < 0.001)，顯示環境溫度之變化確對 TEWL 造成影響。經 Scheffe's 多重比較進一步分析發現，相對濕度 45%時，環境溫度 22°C 對應 34°C 與 25°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 0.010 與 0.016)；相對濕度 60%時，環境溫度 25°C 對應 34°C 與 28°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 0.009 與 0.014)。當相對濕度為 75%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、以及 28°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 0.002、0.003、以及 0.007)。以上結果顯示，防曬袖套使用會對因環境溫度變化產生之 TEWL 變異造成影響，尤其於高環境相對濕度(75%)時更為明顯。以上結果顯示在高溫高濕環境使用防曬袖套時皮膚排汗需求增大。表 5-13 為未使用防曬袖套人員前臂外側皮膚之 TEWL 量測值於相同環境相對濕度下隨不同環境溫度之變化；不同相對濕度組別間之差異以 one-way ANOVA 檢定。結果顯示：環境相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間之 TEWL 具統計顯著差異(環境相對濕度 45%、60%、以及 75%之 p -value 皆為 < 0.001)。經 Scheffe's 多重比較進一步分析發現，環境相對濕度 45%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、28°C 對應 34°C、以及 31°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 < 0.001 、0.001、0.004、以及 0.008)；相對濕度 60%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應

34°C、28°C 對應 34°C、以及 31°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 < 0.001 、 < 0.001 、 < 0.001 、以及 0.004)。當環境相對濕度為 75%時，環境溫度 22°C 對應 34°C、25°C 對應 34°C、以及 28°C 對應 34°C 具顯著差異(p -value 分別為 < 0.001 、 < 0.001 、以及 0.005)。以上結果說明，未使用防曬袖套時受試者之 TEWL 對環境溫度之變化較為敏感；此差異可能肇因於使用防曬袖套易抑制人體皮膚正常排汗，由於環境相對濕度適中時(60%)較為明顯。

5.2.3 室內環境熱因子對皮膚溫度之影響

圖 5-17 所示為使用防曬乳液組與控制組之前臂外側皮膚溫度隨環境溫濕度改變產生之變化。受試人員(含實驗組與控制組)之皮膚溫度明顯受環境溫度影響：環境溫度升高，皮膚溫度亦相對呈現上升趨勢，且線性關係明顯。故皮膚溫度為良好反應外在環境溫度之生理指標。與環境溫度相較，皮膚溫度不受相對濕度之影響。

表 5-14 為使用防曬袖套組人員前臂外側皮膚之 skin temperature 於相同相對濕度下隨不同環境溫度之變化；不同環境溫度間之差異以 one-way ANOVA 檢定。在相對濕度為 45%、60%、以及 75%時，不同環境溫度間所量測之 skin temperature 具顯著差異(相對濕度 45%、60%、以及 75%之 p -value 皆為 < 0.001)，顯示在任何相對濕度時環境溫度之變化皆會對 skin temperature 造成影響。經 Scheffe's 多重比較進一步分析發現，相對濕度 45%、60%、以及 75%時，兩兩環境溫度組之間的 skin temperature 皆具顯著差異(p -value < 0.05)。表 5-15 為未使用防曬袖套人員前臂外側皮膚之 skin temperature 於相同相對濕度下隨不同環境溫度之變化；不同環境溫度間之差異以 one-way ANOVA 檢定。相對濕度為 45%、60%、及 75%時，不同環境溫度間所量測之 skin temperature 具顯著差異(相對濕度 45%、60%、及 75%之 p -value 皆為 < 0.001)。進一步使用 Scheffe's 多重比較分析亦發現，相對濕度為 45%、60%、及 75%時，不同環境溫度間，配對比較之下，skin temperature 之間皆具顯著差異(p -value < 0.05)。以上結果說明 skin temperature 能確實反應環境溫度，故不論於何種相對濕度下，環境溫度之變化皆為影響 skin temperature 之主要環境物理因子。

5.2.4 環境物理力與使用防曬乳液/袖套與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析

表 5-16 所示為針對防曬乳液進行之暴露艙實驗中前臂外側皮膚生理指標與主觀感受對環境物理因子與性別之逐步迴歸方程式、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。藉由逐步迴歸修正後，原 SBFC 複迴歸方程式中之防曬乳液使用因子被移除；修正後方程式中之影響因子為環境溫度與環境相對濕度因子。以上結果說明環境溫度與環境相對濕度為主要影響 SBFC 變化之主要因素。原 TEWL 與原皮膚溫度之複迴歸方程式經修正後成為簡單線性迴歸，僅有環境溫度為影響因子。而皮膚濕度之方程式經逐步迴歸後，最佳影響因子為依舊保留環境溫度、環境相對濕度、以及使用防曬乳液與否—皮膚濕度除受環境溫度與環境相對濕度作用外，同時亦受到使用防曬乳液與否之影響，符合先前所觀察到之結論。在暴露艙實驗中，人體主觀 TSV 對應環境物理力與使用防曬乳液與否之複迴歸方程式由逐步迴歸法修正後發現具影響力之二因子為環境溫度與環境相對

濕度，顯示人體主觀感受主要受環境溫度與相對濕度影響，若配合標準化多項式複迴歸方程式即可發現影響 TSV 變化之主要因素為環境溫度(slope = 0.824)。而防曬乳液之使用，除對皮膚濕度造成影響外，並不改變其他熱舒適相關之主客觀指標。

表 5-17 為針對防曬袖套效應之暴露艙實驗結果標準化多項式複迴歸方程式之逐步迴歸方程式。此處經過逐步迴歸處理後之結果與未標準化多項式複迴歸方程式之逐步迴歸結果一致；環境溫度仍為對皮膚生理指標影響最大之因子。以上結果說明對於室內熱環境而言，環境溫度是最主要影響皮膚生理指標變化之環境物理力。若要避免生理熱調節負荷過度變化及皮膚障壁功能降低，最有效之方法為適當控制室內環境之溫度，避免於高溫環境中長時間置留。

第三節 結論及建議

針對防曬乳液效應之探討，本研究主要透過戶外日光實驗與暴露艙實驗調查日光紫外線與環境熱因子對於使用乳液之人體皮膚生理與主觀熱感知影響。經由研究結果之分析與探討，歸納結論如下：

- 1) SBFC 為一高敏感之皮膚生理指標，故僅需少量之環境物理因子(如太陽光線產生之輻射熱與溫度)刺激即可產生顯著變化，惟變化形成之後環境物理因子之持續增強則不必然導致皮膚微血流變化量之擴大。顯見皮膚微血流變化量為本研究選取皮膚生理指標中對環境物理因子影響之先期指標。
- 2) 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。本研究中經皮水分散失量測量結果局部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；在高暴露劑量狀況下作為量化指標之效能較受侷限。
- 3) 皮膚溫度為本研究所使用生理指標當中，可明顯且穩定隨環境溫度變化而改變之指標，且其變化量透過環境暴露艙實驗發現與環境溫度變化量呈良好線性關係；環境相對濕度對於皮膚溫度之影響並不顯著。以上結果說明皮膚溫度從作為生理指標之觀點而言，同時兼具與外部環境熱平衡(感受並傳遞外界熱環境改變之訊息至人體)及維持生理恒定(作為人體因應熱環境改變產生散熱行為之節流閥)之功能。
- 4) 皮膚濕度為所有探討之生理指標中，惟一同時顯著地反應環境溫度與環境相對濕度影響者；其測量值與變異幅度隨著環境溫度與環境相對濕度上升而增加。戶外日光實驗時，戶外相對濕度變異量幅度不大，而未明顯發現皮膚濕度隨相對濕度改變而影響。皮膚濕度除受環境溫度與環境相對濕度影響外，亦受防曬機制使用與否而呈現明顯差異。
- 5) E-index 明顯受使用防曬乳液與否之影響。當遭受日光紫外線曝曬時，使用防曬乳液提供皮膚適當防護，故有效降低曬傷、紅斑生成之現象。黑色素沉澱現象傳統認知為長期、累積性曝曬後可產生之健康效應，但本研究發現黑色素沉澱現象亦反應皮膚受紫外線短期曝曬後所造成之健康效應，故可作為皮膚受日光短期曝曬後之替代生理指標。
- 6) 戶外日光實驗結果發現：TEWL、皮膚濕度、以及 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標。皮膚障壁功能減低與紅斑生成現象於低劑量

紫外光暴露(紫外光指數 < 6)時即可發生，並明顯反應遭受日光曝曬時皮膚使用防曬乳液與否所產生之生理變化差異，為評估乳液效能之良好指標(圖5-18與圖5-19)。

- 7) 因應熱環境改變產生之生理熱調節需求，不同皮膚生理指標間之反應—時程關係為：人體散熱需求增加時，皮膚微血流量增加以將熱量帶至表皮，而後表皮濕度顯著上升。隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL增加以排出水分。散熱後皮膚溫度與周邊熱環境達到平衡。
- 8) 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。其中日光曝曬之影響主要應源自於日光輻射熱。主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之相關性由高至低依序為：皮膚溫度($R^2 > 0.75$)、皮膚微血流變化量、皮膚濕度、及經皮水分散失度；皮膚溫度最能充分反應出人體主觀熱感知。
- 9) 風速對皮膚生理指標(皮膚微血流變化量、經皮水分散失度、皮膚溫度、及皮膚濕度)之影響為二分式，亦即有或無，而非循線性模式發生(即皮膚生理指標之變化不隨風速變化呈現量化關係)。
- 10) 防曬乳液之使用主要目的在防止日光紫外線曝曬造成之傷害。但在使用時，防曬乳液在皮膚表面所形成之類薄膜屏障，提供皮膚保溼效能，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離效果，因此對不同皮膚生理指標反應外界熱環境變化之效能造成影響，如遲滯SBFC與TEWL對外界熱環境變化之反應。以上影響在防護乳液使用初期並不明顯，所反應者為防護乳液本身具有之涼膚效果。

本研究同時調查環境熱因子與夏季日光紫外線對於在使用防曬袖套情形下對人體皮膚生理指標與主觀熱感知之影響，並透過以上影響分析防曬袖套作為日光紫外線防護措施於濕熱地區如我國之適用性。歸納研究結論如下：

- 1) 使用防曬袖套會阻隔皮膚與外界熱環境之直接接觸；防曬袖套與皮膚間形成獨立之熱環境。該熱環境與外界熱環境之熱交換因隔離而遲滯。在此局部空間內，熱持續散發，造成空間內之熱含量與外界熱環境相較為高，進而產生悶熱感，循環刺激並強化受試者之生理熱調節以滿足散熱需求。在此狀況下，單以皮膚水分蓄積已無法滿足散熱需求，故熱調節進階至類排汗階段，亦即本研究中所觀測之經皮水份散失現象。
- 2) 與使用防曬袖套或未使用任何防曬措施時相較，受試者使用防曬乳液時手臂皮膚與外界環境直接接觸部位(前臂外側)之皮膚濕度明顯較高。可能原因為防曬乳液本身具保溼效果，故乳液使用皮膚之皮膚濕度於低環境溫度時會高於使用防曬袖套及未使用防曬措施之受試者。此外，防曬乳液在皮膚表面可形成障壁，將皮膚與自然環境阻隔，使皮膚於高溫環境時不易散熱，只能以水分累積方式將體熱轉移出體外，故在高環境溫度時防曬乳液使用者之皮膚濕度高於使用防曬袖套或未使用任何防曬措施者。
- 3) 日光照射對於皮膚生理反應以及主觀熱感知之影響具延續性—受試者於曝曬時直接遭受日光紫外線照射，但曝曬時所接受到之輻射熱能量並不因離開日光直射環境而立即消失。此輻射熱能量隨離開日光直射環境之時間增加而逐漸減弱；當皮膚生理指標恢復至接近曝曬前之量測值時，可合理推估輻射熱殘留效應已消失。因不同個體之基礎代謝率不同，故皮膚障壁功能恢復至遭受日光紫外線直接曝曬前之時間長短亦不盡相同。

- 4) 輻射熱對本研究所調查之皮膚生理變化影響以在遭受日光直接曝曬時較為顯著。皮膚濕度及經皮水份散失量屬於對輻射熱較敏感者。若輻射熱並非熱環境之主要影響因子，則皮膚生理反應當以與環境溫度關聯性良好之皮膚溫度為主。但若熱環境中輻射熱顯著存在，則即便環境溫度相同，皮膚散熱機制亦可能趨動至排汗階段，此時主要生理指標當為皮膚濕度及經皮水分散失度。當輻射熱為影響熱調節之主要環境物理因子時，皮膚濕度為熱調節之主要作為。
- 5) 透過長期(4個月)觀察防曬袖套使用對累積紫外線曝曬量發現，長期使用防曬袖套可適度降低皮膚對日光紫外線之吸收，有效減少黑色素之生成。
- 6) 透過戶外日光曝曬實驗結果，本研究進一步推論人體反應熱環境改變時，皮膚生理變化間之反應時程中，環境物理因子對反應時程之影響。結果發現環境溫度以及輻射熱會於皮膚散熱各階段產生顯著影響，而環境相對濕度則於皮膚散熱後期，即皮膚濕度及經皮水份散失量增加期與皮膚溫度最後反應期產生影響。環境風速則對皮膚微血流改變及皮膚溫度造成影響。

參考文獻

1. WHO. 2002. Global Solar UV Index: a practical guide. WHO/SDE/OEH/02.2. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).
2. 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 (WHO).
3. ACGIH. 2006. Heat stress and strain. Documentation of the TLVs[®] and BEIs[®] with Other Worldwide Occupational Exposure Values. 2006 CD-ROM. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
4. ASHRAE. 2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE).
5. WHO. 1994. Ultraviolet radiation. Environmental Health Criteria 160. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).
6. USEPA. 2006. The burning facts. EPA 430-F-06-013. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air and Radiation.
7. Diffey, B.L. 2002. Source and measurement of ultraviolet radiation. *Methods* 28:4-13.
8. Farr, P.M. and Diffey, B.L. 1985. The erythematous response of human skin to ultraviolet radiation. *Br J Dermatol* 113:65-76.
9. Nordlund, J.J., Collins, C.E., and Rheins, L.A. 1981. The proliferative and toxic side effects of ultraviolet light and inflammation on epidermal pigment cells. *J Invest Dermatol* 77:361-368.
10. Kondo, S., Kono, T., Sauder, D.N., and McKenzie, R.C. 1993. IL-8 gene expression and production in human keratinocytes and in their modulation by UVB. *J Invest Dermatol* 101:690-694.
11. Schwarz, A., Bhardwaj, R., Aragane, Y., Mahnke, K., Riemann, H., Metze, D., Luger, T.A., and Schwarz, T. 1995. Ultraviolet-B-induced apoptosis of keratinocytes: evidence for partial involvement of tumor necrosis factor- α in the formation of sunburn cells. *J Invest Dermatol* 104:922-927.
12. Aufiero, B.M., Talwar, H., Young, C., Krishnan, M., Hatfield, J.S., Lee, H.K., Wong, H.K., Hamzavi, I., and Murakawa, G.J. 2006. Narrow-band UVB induces apoptosis in human keratinocytes. *J Photochem Photobiol B: Biol* 82:132-139.
13. Stanojević, M., Stanojević, Z., Jovanović, D., and Stojiljković, M. 2004. Ultraviolet radiation and melanogenesis. *Arch Oncol* 12:203-205.
14. Mommaas, A.M., Mulder, A.A., and Vermeer, B.J. 1993. Short-term and long-term UVB induced immunosuppression in human skin exhibit different ultrastructural features. *Eur J Morphol* 31:30-34.
15. Narbutt, J., Lesiak, A., Skibinska, M., Wozniacka, A., van Loveren, H., Sysa-Jedrzejowska,

- A., Lewy-Trenda, I., Omulecka, A., and Norval, M. 2005. Suppression of contact hypersensitivity after repeated exposures of humans to low doses of solar simulated radiation. *Photochem Photobiol Sci* 4:517-522.
16. Steerenberg, P.A., Daamen, F., Weesendorp, E., and Van Loveren, H. 2006. No adaptation to UV-induced immunosuppression and DNA damage following exposure of mice to chronic-UV exposure. *J Photochem Photobiol B: Biology* 84:28-37.
 17. USFDA. 2009. Sunburn protection factor. <http://www.fda.gov/AboutFDA/CentersOffices/CDER/ucm106351.htm>; accessed on: May 6, 2011. Silver Spring, MD: U.S. Food and Drug Administration (USFDA).
 18. JCIA. 1995. Measurement standards for UVA protection efficacy. Japan Cosmetic Industry Association Technical Bulletin. Issued Nov 21, 1995. Tokyo, Japan: Japan Cosmetic Industry Association (JCIA).
 19. Bernard, T.E. 2002. Thermal stress. In: *Fundamentals of industrial hygiene*. 5th ed., Plog, B.A. and Quinlan, P.J., eds. Itasca, IL: National Safety Council, pp. 327-356.
 20. Hwang, R.L., Yang, K.H., Chen, C.P., and Wang, S.T. 2008. Subjective responses and comfort reception in transitional spaces for guests versus staff. *Build Environ* 43:2013-2021.
 21. Hodder, S.G. and Ken, P. 2006. The effects of solar radiation on thermal comfort. *Int J Biometeorol* 51:233-250.
 22. Holloway, G.A., Jr. and Watkins, D.W. 1977. Laser Doppler measurement of cutaneous blood flow. *J Invest Dermatol* 69:306-309.
 23. Miyai, N., Terada, K., Sakaguchi, S., Minami, Y., Tomura, T., Yamamoto, H., Tomida, K., and Miyashita, Y. 2005. Preliminary study on the assessment of peripheral vascular response to cold provocation in workers exposed to hand-arm vibration using laser Doppler perfusion imager. *Ind Health* 43:548-555.
 24. Terada, K., Miyai, N., Maejima, Y., Sakaguchi, S., Tomura, T., Yoshimasu, K., Morioka, I., and Miyashita, K. 2007. Laser Doppler imaging of skin blood flow for assessing peripheral vascular impairment in hand-arm vibration syndrome. *Ind Health* 45:309-317.
 25. Eicke, B.M., Milke, K., Schlereth, T., and Birklein, F. 2004. Comparison of continuous wave Doppler ultrasound of the radial artery and laser Doppler flowmetry of the fingertips with sympathetic stimulation. *J Neurol* 251:958-962.
 26. Öberg, P.A. 1990. Laser-Doppler flowmetry. *Crit Rev Biomed Eng* 18:125-163.
 27. Moor Instruments. 2009. Basic theory and operating principles of laser Doppler blood flow monitoring and Imaging (LDF&LDI). Issue 1. Devon, UK: Moor Instruments, Ltd.
 28. Dreher, F., Garbard, B., Schwindt, D.A., and Maibach, H.I. 1998. Topical melatonin in combination with vitamins E and C protects skin from ultraviolet-induced erythema: a human study in vivo. *Brit J Dermatol* 139:332-339.
 29. Perugini, P., Vettor, M., Rona, C., Troisi, L., Villanova, L., Genta, I., Conti, B., and Pavanetto, F. 2008. Efficacy of oleuropein against UVB irradiation: preliminary evaluation.

Int J Cosmetic Sci 30:113-120.

30. Bergersen, T.K., Eriksen, M., and Walløe, L. 1995. Effect of local warming on hand and finger artery blood velocities. *Am J Physiol* 269(2 Pt 2):R325-330.
31. Bergersen, T.K., Eriksen, M., and Walløe, L. 1997. Local constriction of arteriovenous anastomoses in the cooled finger. *Am J Physiol* 273(3 Pt 2):R880-886.
32. Roberts, M.S. and Walters, K.A. 1998. The relationship between structure and barrier function of skin. In: *Dermal Absorption and Toxicity Assessment*, Roberts, M.S. and Walters, K.A., eds. New York, NY: Marcel Dekker.
33. Pinnagoda, J., Tupker, R.A., Coenraads, P.J., and Nater, J.P. 1989. The intra- and inter-individual variability and reliability of transepidermal water loss measurements. *Contact Dermatitis* 21:255-259.
34. Fluhr, J.W., Feingold, K.R., and Elias, P.M. 2006. Transepidermal water loss reflects permeability barrier status: validation in human and rodent in vivo and ex vivo models. *Exp Dermatol* 15:483-492.
35. NIOSH. 2009. NIOSH Current Intelligence Bulletin 61: A strategy for improvement of skin notations. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-147. 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 (NIOSH).
36. Haratake, A., Uchida, Y., Schmuth, M., Tanno, O., Yasuda, R., Epstein, J.H., Elias, P.M., and Holleran, W.H. 1997. UVB-induced alterations in permeability barrier function: roles of epidermal hyperproliferation and thymocyte-mediated response. *J Invest Dermatol* 108:769-775.
37. Bissett, D.L., Hannon, D.P., and Orr, T.V. 1987. An animal model of solar-aged skin: histological, physical, and visible changes in UV-irradiated hairless mouse skin. *Photochem Photobiol* 46:367-378.
38. Bronaugh, R.L. and Stewart, R. 1985. Methods for in vitro percutaneous absorption studies V: permeation through damaged skin. *J Pharm Sci* 74:1062-1066.
39. Meguro, S., Arai, Y., Masukawa, Y., Uie, K., and Tokimitsu, I. 2000. Relationship between covalently bound ceramides and transepidermal water loss. *Arch Dermatol Res* 292:463-468.
40. Akitomo, Y., Akamatsu, H., Okano, Y., Masaki, H., and Horio, T. 2003. Effects of UV irradiation on the sebaceous gland and sebum secretion in hamsters. *J Dermatol Sci* 31:151-159.
41. Jiang, S.J., Chen, J.Y., Lu, Z.F., Yao, J., Che, D.F., and Zhou, X.J. 2006. Biophysical and morphological changes in the stratum corneum lipids induced by UVB irradiation. *J Dermatol Sci* 44:29-36.
42. 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.

43. Fitzpatrick, T.B. (1988). The validity and practicality of sun-reaction skin types I through VI. *Arch Dermatol* 124:869-871.
44. Takiwaki, H., Shirai, S., Kohno, H., Soh, H., and Arase, S. (1994). The degree of UVB-induced erythema and pigmentation correlate linearly and are reduced in a parallel manner by topical anti-inflammatory agents. *J Invest Dermatol* 103:642-646.
45. Park, S.-B., Huh, C.-H., Choe, Y.-B., and 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.
46. Suh, K.-S., Roh, H.-J., Choi, S.-Y., Jeon, Y.-S., Doh, K.-S., Bae, J.-H., and Kim, S.-T. (2007). Long-term evaluation of erythema and pigmentation induced by ultraviolet radiations of different wavelengths. *Skin Res Technol* 13:154-161.
47. Rigel, D.S. 2002. The effect of sunscreen on melanoma risk. *Dermatol Clin* 20:601-606.
48. Gasparro, F.P. 2000. Sunscreens, skin photobiology, and skin cancer: the need for UVA protection and evaluation of efficacy. *Environ Health Persp* 108(Suppl 1):71-78.
49. Zhai, H., Behnam, S., Villarama, C.D., Arens-Corell, M., Choia, M.J., and Maibacha, H.I. 2005. Evaluation of the antioxidant capacity and preventive effects of a topical emulsion and its vehicle control on the skin response to UV exposure. *Skin Pharmacol Physiol* 18:288-293.
50. Pearse, A.D. and Marks, R. 1983. Response of human skin to ultraviolet radiation: dissociation of erythema and metabolic changes following sunscreen protection. *J Invest Dermatol* 80:191-194.
51. Hongbo, Z., Myeong, J.C., Michaela A.C., Birgit A.N., and Howard I.M. 2003. A rapid, accurate, and facile method to quantify the antioxidative capacity of topical formulations. *Skin Res Tech* 9:254-256.
52. Touitou, E. and Godin, B. 2008. Skin nonpenetrating sunscreens for cosmetic and pharmaceutical formulations. *Clin Dermatol* 26:375-379.
53. ACS. 2006. *Cancer facts & figures 2006*. Atlanta, GA: American Cancer Society (ACS).
54. Salas, R., Mayer, J.A., and Hoerster, K.D. (2005). Sun-protective behaviors of California farmworkers. *J Occup Environ Med* 47:1244-1249.
55. Rich, P.M., Hetrick, W.A., and Saving, S.C. 1995. Modeling topographic influences on solar radiation: a manual for the solar flux model. Los Alamos National Laboratory (LANL) Report LA-12989-M. Los Alamos, NM: U.S. Dept. of Energy, LANL.
56. Diffey, B.L. 2002. Human exposure to solar ultraviolet radiation. *J Cosmet Dermatol* 1:124-130.
57. Turmabull, D.J. and Parisi, A.V. 2010. Latitudinal variations over Australia of the solar UV-radiation exposures for vitamin D₃ in shade compared to full sun. *Radiat Res* 173:373-379.

58. 吳介銘：發展熱危害與日光紫外線暴露之健康危害生理指標(碩士論文)。台中市，台灣：中國醫藥大學。2009。
59. Hwang, R.L., Lin, T.P., and Kuo, N.J. (2005). Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energ Build* 38:53-62.
60. Lan, L., Lian, Z., Liu, W., and Liu, Y. (2007). Investigation of gender difference in thermal comfort for Chinese people. *Eur J Appl Physiol* 102:471-480.
61. Shapiro, Y., Moran, D., Epstein, Y., Stroschein, L., and Pandolf, K.B. 1995. Validation and adjustment of the mathematical prediction model for human sweat rate responses to outdoor environmental conditions. *Ergonomics* 38:981-986.
62. Givoni, B. and Goldman, R.F. 1973. Predicting heart rate response to work, environment, and clothing. *J Appl Physiol* 34:201-204.
63. de Dear, R.J., Leow, K.G., and Ameen, A. 1991. Thermal comfort in the humid tropics-part I: climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore. *ASHRAE Trans* 97:874-879.
64. de Dear, R.J., Leow, K.G., and Ameen, A. 1991. Thermal comfort in the humid tropics-part II: climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore. *ASHRAE Trans* 97:880-886.
65. Fang, L., Clausen, G., and Fanger, P.O. 1998. Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures. *Indoor Air* 8:276-284.
66. Wyon, D.P. and Sandberg, M. 1996. Discomfort due to vertical thermal gradients. *Indoor Air* 6:48-54.
67. Trane, Inc. 1983. Psychrometric chart (SI units). Pub. No. 1-43.196. La Crosse, WI: Trane, Inc.
68. Rosner, B. 2006. *Fundamentals of Biostatistics*. 6th ed. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.

表 5-1 實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬處)與前臂外側(曝曬處)皮膚於戶外實驗陰涼前階段經皮水份散失度(trans epidermal water loss, TEWL)之分佈^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	29.67 ± 13.49	28.63 ± 9.25	1.17 ± 0.72	0.870
2	26.15 ± 9.66	28.21 ± 12.60	1.26 ± 0.97	0.738
3	29.68 ± 13.93	30.24 ± 14.91	1.30 ± 1.01	0.944
4	23.07 ± 15.25	28.58 ± 14.04	0.97 ± 0.74	0.495
5	25.87 ± 13.51	25.17 ± 13.43	1.31 ± 0.93	0.925
6	26.53 ± 15.57	28.12 ± 9.99	1.11 ± 0.88	0.825
7	20.14 ± 8.27	21.80 ± 11.18	1.17 ± 0.74	0.759
8	21.09 ± 12.64	19.36 ± 5.81	1.18 ± 0.78	0.748
9	15.64 ± 10.27	15.61 ± 6.98	1.14 ± 0.81	0.994
10	15.52 ± 8.89	17.77 ± 9.37	1.05 ± 0.72	0.653
11	19.43 ± 9.08	17.43 ± 10.38	1.34 ± 0.75	0.709
12	14.29 ± 8.07	19.49 ± 12.89	0.96 ± 0.69	0.383
13	12.79 ± 5.34	13.09 ± 5.81	1.12 ± 0.57	0.922
14	13.62 ± 3.69	16.45 ± 11.32	1.11 ± 0.56	0.541
15	9.46 ± 3.06	7.81 ± 1.25	1.24 ± 0.42	0.211
前臂外側 TEWL 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	30.96 ± 17.17	34.53 ± 13.65	1.11 ± 0.91	0.674
2	34.93 ± 14.89	37.22 ± 21.66	1.77 ± 1.95	0.822
3	35.76 ± 17.41	32.88 ± 15.49	1.42 ± 1.15	0.749
4	32.04 ± 22.03	33.12 ± 11.28	1.13 ± 0.96	0.911
5	35.83 ± 18.11	24.76 ± 12.56	1.82 ± 1.30	0.209
6	32.44 ± 18.58	31.24 ± 13.24	1.25 ± 0.93	0.892
7	29.30 ± 13.33	27.16 ± 10.60	1.32 ± 0.95	0.745
8	27.20 ± 18.09	16.16 ± 5.94	1.86 ± 1.33	0.151
9	16.16 ± 7.79	16.41 ± 9.66	1.23 ± 0.80	0.957
10	19.34 ± 14.14	20.25 ± 8.40	1.09 ± 0.87	0.886
11	20.83 ± 11.55	16.15 ± 6.63	1.44 ± 0.89	0.370
12	16.84 ± 12.36	17.39 ± 9.83	1.21 ± 1.02	0.928
13	11.96 ± 3.55	11.53 ± 2.22	1.07 ± 0.35	0.789
14	18.82 ± 12.12	14.05 ± 7.61	1.64 ± 1.22	0.396
15	9.48 ± 2.29	7.51 ± 0.95	1.28 ± 0.33	0.058

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬袖套與否之 TEWL 差異以 Student *t* test 檢定

表 5-2 實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬處)與前臂外側(曝曬處)皮膚於戶外實驗曝曬處測得經皮水份散失度(transepidermal water loss, TEWL)之分佈^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	40.87 ± 12.70	44.17 ± 17.47	1.09 ± 0.60	0.693
2	34.70 ± 13.82	39.45 ± 25.98	1.27 ± 0.89	0.677
3	38.79 ± 21.91	43.96 ± 17.40	1.08 ± 0.89	0.634
4	30.01 ± 28.49	35.81 ± 15.78	0.99 ± 1.04	0.646
5	56.91 ± 22.47	58.37 ± 20.02	1.07 ± 0.52	0.900
6	48.33 ± 28.76	50.54 ± 23.66	1.26 ± 1.09	0.878
7	41.14 ± 23.48	40.20 ± 20.80	1.50 ± 1.50	0.938
8	24.68 ± 15.49	20.67 ± 6.98	1.35 ± 0.98	0.544
9	27.01 ± 14.80	30.95 ± 12.93	1.10 ± 0.95	0.605
10	34.57 ± 21.93	31.61 ± 19.33	1.62 ± 1.50	0.793
11	45.40 ± 25.35	55.28 ± 14.88	0.89 ± 0.57	0.391
12	24.70 ± 15.48	20.92 ± 11.94	1.57 ± 1.29	0.619
13	21.56 ± 15.88	19.18 ± 12.95	1.57 ± 1.49	0.764
14	30.29 ± 9.68	27.22 ± 17.37	1.50 ± 0.87	0.690
15	10.95 ± 3.11	9.14 ± 2.11	1.27 ± 0.49	0.225
前臂外側 TEWL 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	45.29 ± 12.75	48.97 ± 20.59	1.16 ± 0.76	0.695
2	31.31 ± 18.32	53.19 ± 28.60	0.75 ± 0.57	0.114
3	53.32 ± 24.05	48.73 ± 20.83	1.42 ± 1.15	0.709
4	31.52 ± 28.00	43.18 ± 12.15	0.81 ± 0.79	0.332
5	72.11 ± 38.78	60.73 ± 21.03	1.29 ± 0.76	0.508
6	68.28 ± 36.19	60.35 ± 24.15	1.34 ± 0.94	0.638
7	55.78 ± 24.90	54.70 ± 24.89	1.62 ± 1.87	0.937
8	27.49 ± 17.90	22.38 ± 13.33	1.49 ± 1.09	0.556
9	29.28 ± 20.18	61.48 ± 26.19	0.76 ± 1.08	0.024*
10	39.52 ± 29.45	41.62 ± 25.84	1.57 ± 1.88	0.890
11	56.92 ± 28.03	55.97 ± 26.67	1.29 ± 0.97	0.950
12	28.49 ± 17.95	23.42 ± 13.68	1.71 ± 1.50	0.563
13	26.66 ± 22.65	26.65 ± 22.65	1.81 ± 2.35	1.000
14	36.08 ± 13.50	43.43 ± 36.64	1.50 ± 1.16	0.627
15	12.13 ± 2.43	8.77 ± 2.00	1.49 ± 0.60	0.015*

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬袖套與否之 TEWL 差異以 student t test 檢定

^c p-value < 0.05

表 5-3 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與黑素指數(melanin-index, M-index)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.001	0.966-1.038	0.995	0.957-1.035
前臂外側 (遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	0.992	0.965-1.019	0.990	0.962-1.019

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

表 5-4 實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬點)與前臂外側(曝曬點)皮膚於戶外日光實驗曝曬階段黑色素沉澱指數(melanin-index, M-index)之分佈^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 M-index 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	29.46 ± 3.60	27.35 ± 6.04	1.13 ± 0.28	0.442
2	30.21 ± 3.89	28.96 ± 5.63	1.08 ± 0.25	0.638
3	29.93 ± 2.23	31.21 ± 5.04	0.98 ± 0.17	0.551
4	27.32 ± 3.59	27.39 ± 5.86	1.05 ± 0.31	0.980
5	29.49 ± 4.01	29.89 ± 3.29	1.00 ± 0.16	0.842
6	31.17 ± 3.68	29.98 ± 2.77	1.05 ± 0.15	0.509
7	31.86 ± 4.44	29.33 ± 3.06	1.10 ± 0.18	0.237
8	28.06 ± 5.29	30.53 ± 2.89	0.93 ± 0.19	0.299
9	31.20 ± 8.41	30.16 ± 2.66	1.04 ± 0.28	0.762
10	30.38 ± 4.40	29.91 ± 7.51	1.07 ± 0.27	0.889
11	29.85 ± 3.65	30.56 ± 4.61	1.00 ± 0.20	0.756
12	29.80 ± 6.95	30.57 ± 7.76	1.03 ± 0.33	0.848
13	30.85 ± 6.33	31.39 ± 7.18	1.03 ± 0.30	0.884
14	30.36 ± 10.21	26.14 ± 7.75	1.24 ± 0.50	0.401
15	24.28 ± 3.25	25.13 ± 2.21	0.97 ± 0.14	0.575
前臂外側 M-index 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	31.27 ± 6.33	31.25 ± 8.14	1.11 ± 0.53	0.997
2	32.49 ± 4.77	33.24 ± 7.98	1.03 ± 0.27	0.834
3	32.18 ± 3.61	35.59 ± 5.34	0.92 ± 0.17	0.486
4	30.75 ± 4.40	33.69 ± 6.58	0.95 ± 0.23	0.345
5	31.14 ± 3.97	34.22 ± 5.47	0.93 ± 0.17	0.251
6	33.53 ± 6.01	36.51 ± 5.52	0.94 ± 0.22	0.353
7	32.55 ± 7.27	33.41 ± 4.08	0.99 ± 0.24	0.790
8	31.28 ± 6.75	32.37 ± 4.65	0.98 ± 0.24	0.731
9	28.90 ± 6.51	35.26 ± 3.28	0.83 ± 0.19	0.040 ^c
10	30.97 ± 3.23	30.66 ± 12.76	1.18 ± 0.52	0.952
11	29.36 ± 5.80	37.36 ± 4.34	0.80 ± 0.17	0.013 ^c
12	27.13 ± 4.65	34.10 ± 7.58	0.84 ± 0.24	0.060
13	28.61 ± 9.45	30.95 ± 9.00	1.01 ± 0.47	0.645
14	28.31 ± 12.57	30.48 ± 4.35	0.95 ± 0.42	0.674
15	24.77 ± 6.84	29.34 ± 6.88	0.88 ± 0.29	0.236

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬袖套與否之 M-index 差異以 Student *t* test 檢定

^c 表具統計顯著差異

表 5-5 實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)之上臂內側(未曝曬點)與前臂外側(曝曬點)皮膚於戶外日光實驗陰涼後階段黑色素沉澱指數(melanin-index, M-index)之分佈^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 M-index 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	30.46 ± 3.83	31.58 ± 3.93	0.98 ± 0.16	0.599
2	30.12 ± 3.85	31.37 ± 4.00	0.97 ± 0.16	0.561
3	29.57 ± 3.22	31.94 ± 4.41	0.94 ± 0.17	0.273
4	28.69 ± 3.21	29.87 ± 3.78	0.97 ± 0.16	0.538
5	28.69 ± 2.97	28.87 ± 3.76	1.01 ± 0.16	0.922
6	29.58 ± 2.78	28.64 ± 3.42	1.04 ± 0.14	0.585
7	29.64 ± 3.24	29.69 ± 3.52	1.01 ± 0.15	0.979
8	28.96 ± 3.25	30.20 ± 4.12	0.97 ± 0.16	0.543
9	29.93 ± 4.10	29.67 ± 4.87	1.03 ± 0.20	0.915
10	29.29 ± 4.78	29.93 ± 4.41	1.00 ± 0.21	0.800
11	30.26 ± 2.58	31.39 ± 7.11	1.00 ± 0.20	0.699
12	28.74 ± 3.30	28.92 ± 4.49	1.01 ± 0.18	0.935
13	27.76 ± 2.41	28.66 ± 4.85	1.00 ± 0.19	0.668
14	26.66 ± 3.26	26.48 ± 4.81	1.03 ± 0.20	0.937
15	25.80 ± 3.79	25.90 ± 3.68	1.01 ± 0.19	0.963
前臂外側 M-index 量測值				
週次	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
1	32.70 ± 4.43	37.01 ± 5.63	0.90 ± 0.17	0.137
2	32.10 ± 3.97	36.02 ± 6.87	0.92 ± 0.17	0.216
3	32.82 ± 3.99	36.77 ± 5.93	0.92 ± 0.19	0.169
4	31.60 ± 3.33	34.76 ± 6.12	0.94 ± 0.20	0.255
5	32.91 ± 3.23	33.01 ± 3.23	1.01 ± 0.13	0.953
6	32.53 ± 3.21	33.40 ± 3.82	0.98 ± 0.14	0.851
7	32.41 ± 3.34	35.20 ± 5.22	0.94 ± 0.16	0.256
8	32.38 ± 4.17	34.62 ± 4.64	0.95 ± 0.17	0.361
9	32.09 ± 4.11	35.19 ± 4.36	0.92 ± 0.15	0.196
10	32.24 ± 4.50	34.65 ± 5.66	0.95 ± 0.20	0.395
11	30.35 ± 1.99	34.46 ± 4.00	0.89 ± 0.11	0.032 ^c
12	31.61 ± 5.03	33.18 ± 5.21	0.97 ± 0.20	0.578
13	30.43 ± 3.84	32.07 ± 2.80	0.96 ± 0.14	0.380
14	29.34 ± 3.86	29.05 ± 4.74	1.03 ± 0.20	0.902
15	28.14 ± 4.85	30.46 ± 5.00	0.94 ± 0.20	0.395

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬袖套與否之 M-index 差異以 Student *t* test 檢定

^c 表具統計顯著差異

表 5-6 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應紫外光指數(x_1)、環境乾球溫度(x_2)、環境黑球溫度(x_3)、環境相對濕度(x_4)、環境風速(x_5)、使用防曬乳液與否(x_6)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、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)^c與統計檢定

	標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^d	VIF
SBFC	$y = 0.21x_1 - 0.34x_2 + 0.21x_3 + 0.7x_4 + 0.04x_5 + 0.11x_6$	0.267	0.071	0.043	0.022 ^e	2.265
TEWL	$y = 0.46x_2 - 0.32x_6$	0.552	0.305	0.298	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.38x_2 + 0.35x_3$	0.699	0.489	0.484	< 0.001 ^e	3.484
Skin moisture	$y = 0.17x_2$	0.169	0.028	0.024	0.012 ^e	1.000
TSV	$y = 0.50x_3 + 0.18x_6$	0.531	0.282	0.276	< 0.001 ^e	1.000

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temp)、以及皮膚濕度(skin moisture)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 使用防曬乳液與否以虛擬變項(dummy variable)呈現，未使用防曬乳液受試人員 = 0、使用防曬乳液受試人員 = 1

^c 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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p -value < 0.05

表5-7 戶外日光實驗曝曬階段前臂外側皮膚生理指標^a 對應使用防曬袖套與否(x_1)^b、環境乾球溫度(x_2)、環境相對濕度(x_3)、環境風速(x_4)、黑球溫度(x_5)之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、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)與統計檢定

標準化多項式複迴歸方程式之逐步迴歸		r	R^2	Adj. R^2	p -value ^c
TEWL	$y = 0.32x_2 + 0.38x_5 - 0.02$	0.677	0.458	0.453	< 0.001
Skin moisture	$y = 0.55x_2 - 0.02$	0.559	0.313	0.310	< 0.001
SBFC	$y = 0.41x_2 + 0.01$	0.410	0.168	0.164	< 0.001
Skin temperature	$y = 0.49x_2 + 0.28x_3 - 0.12x_4 + 0.49x_5 - 0.02$	0.812	0.659	0.652	< 0.001

^a 測量皮膚生理指標包括：經皮水分散失量(trans epidermal water loss, TEWL)、皮膚濕度(skin moisture)、皮膚微血流變化量(skin capillary blood flow, SBFC)、以及皮膚溫度(skin temperature)

^b 使用防曬袖套與否以虛擬變項(dummy variable)呈現，使用防曬袖套受試者 = 1、未使用防曬袖套受試者 = 0

^c 檢定標準化多項式複迴歸方程式之逐步迴歸法是否具有線性關係

表 5-8 實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚微血流變化(skin blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較			60%之 Scheffe's 多重比較			75%之 Scheffe's 多重比較		
		F-value	p-value	p-value			p-value			p-value		
前 臂 外 側	45%	0.941	0.454	22°C	25°C	0.977	22°C	25°C	0.948	22°C	25°C	1.000
				28°C	1.000	28°C	0.997	28°C	0.606			
				31°C	0.891	31°C	0.030 ^b	31°C	0.087			
				34°C	0.953	34°C	0.038 ^b	34°C	0.039 ^b			
	60%	5.767	0.001 ^b	25°C	28°C	0.948	25°C	28°C	0.995	25°C	28°C	0.501
				31°C	0.570	31°C	0.156	31°C	0.059			
				34°C	0.697	34°C	0.189	34°C	0.026 ^b			
	75%	5.487	0.002 ^b	28°C	31°C	0.940	28°C	31°C	0.068	28°C	31°C	0.770
				34°C	0.980	34°C	0.085	34°C	0.561			
				31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.997

^a SBFC 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-9 控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚微血流變化(skin blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較			60%之 Scheffe's 多重比較			75%之 Scheffe's 多重比較				
F-value		p-value		p-value			p-value			p-value		
前 臂 外 側	45%	7.992	0.000 ^b	22°C	25°C	0.987	22°C	25°C	0.994	22°C	25°C	0.998
				28°C	0.700	28°C	0.091	28°C	0.214			
				31°C	0.086	31°C	0.680	31°C	0.006 ^b			
				34°C	0.001 ^b	34°C	0.006 ^b	34°C	0.036 ^b			
	60%	6.204	0.001 ^b	25°C	28°C	0.934	25°C	28°C	0.209	25°C	28°C	0.360
				31°C	0.234	31°C	0.893	31°C	0.014 ^b			
				34°C	0.004 ^b	34°C	0.018 ^b	34°C	0.074			
	75%	6.959	0.000 ^b	28°C	31°C	0.679	28°C	31°C	0.714	28°C	31°C	0.562
				34°C	0.034 ^b	34°C	0.809	34°C	0.920			
				31°C	34°C	0.455	31°C	34°C	0.146	31°C	34°C	0.960

^a SBFC 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b p -value < 0.05

表 5-10 實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚濕度(skin moisture)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較		60%之 Scheffe's 多重比較		75%之 Scheffe's 多重比較				
		F-value	p-value	p-value		p-value		p-value				
前 臂 外 側	45%	3.609	0.016 ^b	22°C	25°C	0.991	22°C	25°C	0.996	22°C	25°C	0.939
				28°C		0.841	28°C		0.999	28°C		0.671
				31°C		0.358	31°C		0.144	31°C		0.231
				34°C		0.041 ^b	34°C		0.024 ^b	34°C		0.000 ^b
	60%	5.386	0.002 ^b	25°C	28°C	0.978	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.979
				31°C		0.634	31°C		0.286	31°C		0.662
				34°C		0.114	34°C		0.059	34°C		0.000 ^b
	75%	15.991	0.000 ^b	28°C	31°C	0.923	28°C	31°C	0.247	28°C	31°C	0.935
				34°C		0.330	34°C		0.048 ^b	34°C		0.000 ^b
				31°C	34°C	0.815	31°C	34°C	0.934	31°C	34°C	0.002 ^b

^a Skin moisture 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-11 控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚濕度(skin moisture)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較		60%之 Scheffe's 多重比較		75%之 Scheffe's 多重比較				
		F-value	p-value	p-value		p-value		p-value				
前 臂 外 側	45%	3.534	0.018 ^b	22°C	25°C	0.993	22°C	25°C	0.997	22°C	25°C	1.000
				28°C	0.929	28°C	0.990	28°C	0.823			
				31°C	0.895	31°C	0.300	31°C	0.110			
				34°C	0.036 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.002 ^b			
	60%	9.478	0.000 ^b	25°C	28°C	0.996	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.897
				31°C	0.990	31°C	0.487	31°C	0.155			
				34°C	0.096	34°C	0.001 ^b	34°C	0.003 ^b			
	75%	7.781	0.000 ^b	28°C	31°C	1.000	28°C	31°C	0.570	28°C	31°C	0.611
				34°C	0.204	34°C	0.002 ^b	34°C	0.033 ^b			
				31°C	34°C	0.243	31°C	34°C	0.088	31°C	34°C	0.514

^a Skin moisture 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-12 實驗組(使用袖套)於相同相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側經皮水份散失度(transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較			60%之 Scheffe's 多重比較			75%之 Scheffe's 多重比較		
		F-value	p-value	p-value			p-value			p-value		
前 臂 外 側	45%	5.629	0.002 ^b	22°C	25°C	1.000	22°C	25°C	1.000	22°C	25°C	1.000
				28°C	0.895	28°C	0.998	28°C	0.990			
				31°C	0.236	31°C	0.397	31°C	0.363			
				34°C	0.010 ^b	34°C	0.070	34°C	0.002 ^b			
	60%	6.430	0.001 ^b	25°C	28°C	0.945	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.998
				31°C	0.308	31°C	0.466	31°C	0.461			
				34°C	0.016 ^b	34°C	0.009 ^b	34°C	0.003 ^b			
	75%	7.820	0.000 ^b	28°C	31°C	0.750	28°C	31°C	0.576	28°C	31°C	0.649
				34°C	0.095	34°C	0.014 ^b	34°C	0.007 ^b			
				31°C	34°C	0.656	31°C	34°C	0.357	31°C	34°C	0.178

^a TEWL 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-13 控制組(未使用袖套)於相同相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側經皮水份散失度(trans epidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較			60%之 Scheffe's 多重比較			75%之 Scheffe's 多重比較		
		F-value	p-value	p-value			p-value			p-value		
前 臂 外 側	45%	9.322	0.000 ^b	22°C	25°C	1.000	22°C	25°C	0.999	22°C	25°C	0.999
				28°C	0.953	28°C	0.993	28°C	0.797			
				31°C	0.859	31°C	0.771	31°C	0.043			
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	60%	11.274	0.000 ^b	25°C	28°C	0.984	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.876
				31°C	0.927	31°C	0.895	31°C	0.072			
				34°C	0.001 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	75%	10.981	0.000 ^b	28°C	31°C	0.999	28°C	31°C	0.947	28°C	31°C	0.391
				34°C	0.004 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.005 ^b			
				31°C	34°C	0.008 ^b	31°C	34°C	0.004 ^b	31°C	34°C	0.327

^a TEWL 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-14 實驗組(使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚溫度(skin temperature)之統計檢定^a

		One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較		60%之 Scheffe's 多重比較		75%之 Scheffe's 多重比較				
		F-value	p-value	p-value		p-value		p-value				
前 臂 外 側	45%	240.482	0.000 ^b	22°C	25°C	0.005 ^b	22°C	25°C	0.000 ^b	22°C	25°C	0.001 ^b
				28°C	0.000 ^b	28°C	0.000 ^b	28°C	0.000 ^b			
				31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b			
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	60%	185.337	0.000 ^b	25°C	28°C	0.000 ^b	25°C	28°C	0.000 ^b	25°C	28°C	0.000 ^b
				31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b			
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	75%	172.114	0.000 ^b	28°C	31°C	0.000 ^b	28°C	31°C	0.000 ^b	28°C	31°C	0.010 ^b
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
				31°C	34°C	0.000 ^b	31°C	34°C	0.004 ^b	31°C	34°C	0.000 ^b

^a Skin temperature 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-15 控制組(未使用袖套)於同一相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚溫度(skin temperature)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffe's 多重比較		60%之 Scheffe's 多重比較		75%之 Scheffe's 多重比較						
F-value		p-value		p-value		p-value		p-value				
前 臂 外 側	45%	169.774	0.000 ^b	22°C	25°C	0.001 ^b	22°C	25°C	0.000 ^b	22°C	25°C	0.000 ^b
				28°C	0.000 ^b	28°C	0.000 ^b	28°C	0.000 ^b			
				31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b			
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	60%	107.233	0.000 ^b	25°C	28°C	0.000 ^b	25°C	28°C	0.004 ^b	25°C	28°C	0.000 ^b
				31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b	31°C	0.000 ^b			
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
	75%	282.295	0.000 ^b	28°C	31°C	0.000 ^b	28°C	31°C	0.000 ^b	28°C	31°C	0.000 ^b
				34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b	34°C	0.000 ^b			
				31°C	34°C	0.000 ^b	31°C	34°C	0.063	31°C	34°C	0.000 ^b

^a Skin temperature 差異以 one-way ANOVA 與 Scheffe's 多重比較進行檢定

^b 表具統計顯著差異

表 5-16 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境溫度(x₁)、相對濕度(x₂)、使用防曬乳液與否(x₃)^b 之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

	多項式複迴歸方程式 逐步迴歸法	標準化多項式複迴歸方程式 逐步迴歸法	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = 1.070x_1 + 0.095x_2 - 20.682$	$y = 0.562x_1 + 0.144x_2$	0.581	0.337	0.331	< 0.001 ^e	1.000
TEWL	$y = 1.364x_1$	$y = 0.626x_1$	0.626	0.392	0.389	< 0.001 ^e	1.000
Skin temp	$y = 0.957x_1$	$y = 0.974x_1$	0.974	0.948	0.948	< 0.001 ^e	1.000
Skin moisture	$y = 36.392x_1 + 10.523x_2 + 185.576x_3 - 1361.690$	$y = 0.483x_1 + 0.403x_2 + 0.290x_3$	0.693	0.480	0.473	< 0.001 ^e	1.000
TSV	$y = 0.279x_1 + 0.011x_2 - 8.076$	$y = 0.824x_1 + 0.094x_2$	0.830	0.689	0.686	< 0.001 ^e	1.000

^a 測量皮膚生理指標包括：皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temp)、以及皮膚濕度(skin moisture)；主觀指標為熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)

^b 使用防曬乳液與否以虛擬變項(dummy variable)呈現，未使用防曬乳液受試人員=0、使用防曬乳液受試人員=1

^c 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

^d 檢定多項式複迴歸方程式逐步迴歸法與標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p-value < 0.01

表5-17 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標^a 對應使用防曬袖套與否(x_1)^b、環境溫度(x_2)、環境相對濕度(x_3)之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸(stepwise regression)、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)、與統計檢定

	標準化多項式逐步複迴歸方程式	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^c
TEWL	$y = 0.61x_2 + 0.11$	0.626	0.392	0.389	< 0.001
Skin moisture	$y = 0.54x_2 + 0.40x_3 + 0.12$	0.678	0.459	0.454	< 0.001
SBFC	$y = 0.53x_2 + 0.11x_3 + 0.08$	0.574	0.330	0.323	< 0.001
Skin temperature	$y = 0.97x_2 + 0.02$	0.976	0.953	0.953	< 0.001

^a 測量皮膚生理指標包括：經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚濕度(skin moisture)、黑素指數(melanin-index, M-index)、以及紅斑指數(erythema-index, E-index)、皮膚微血流變化量(skin capillary blood flow, SBFC)、以及皮膚溫度(skin temperature)

^b 使用防曬袖套與否以虛擬變項(dummy variable)呈現，使用防曬袖套受試者 = 1、未使用防曬袖套受試者 = 0

^c 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

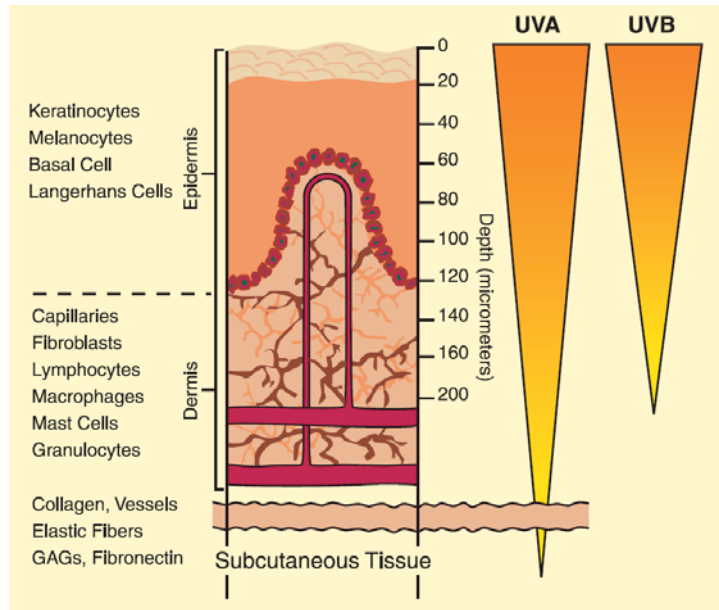


圖 3-1 不同波段紫外光(UVA 與 UVB)進入皮膚表皮層、真皮、及皮下組織的比例[6]

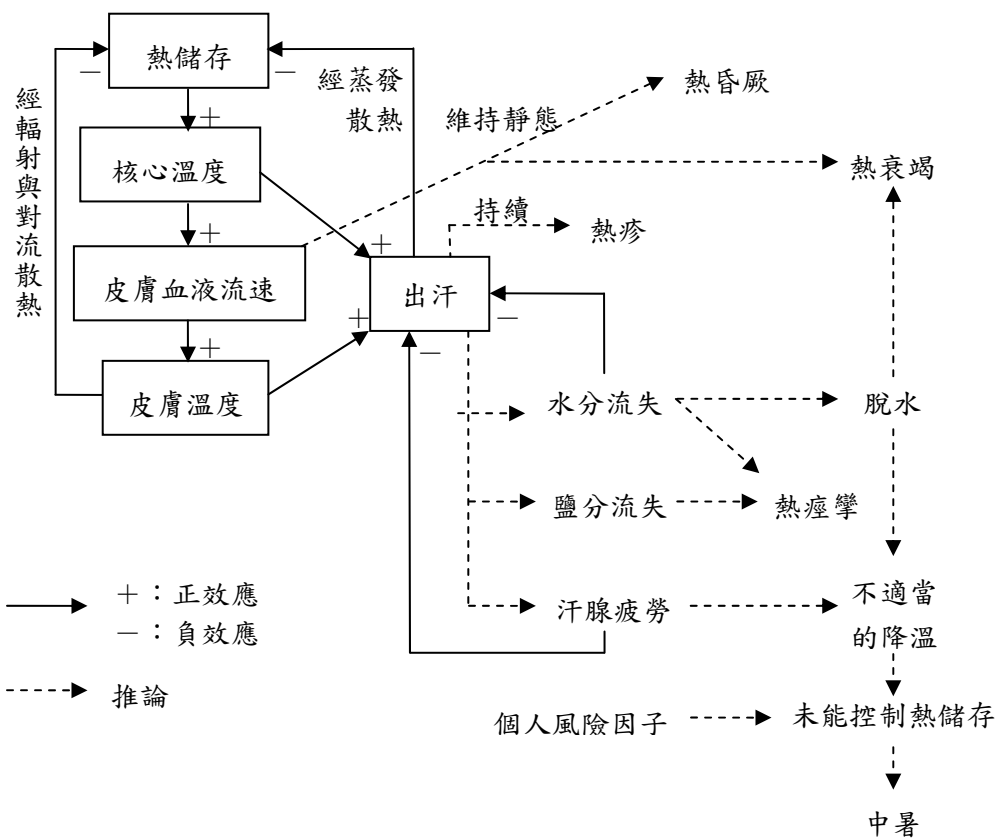


圖 3-2 暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害[19]

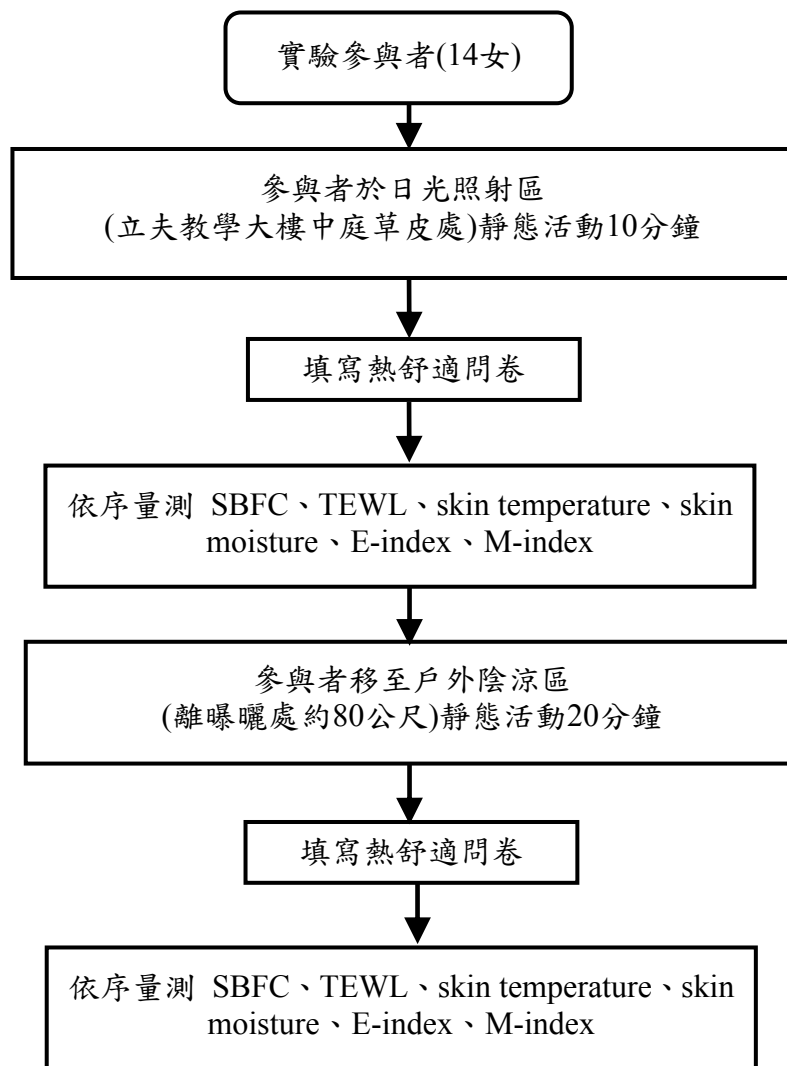


圖 4-1 戶外日光實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失量(transdermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(skin moisture)、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)、黑素沉澱指數(melanin-index, M-index)、人體熱感知之測量調查程序

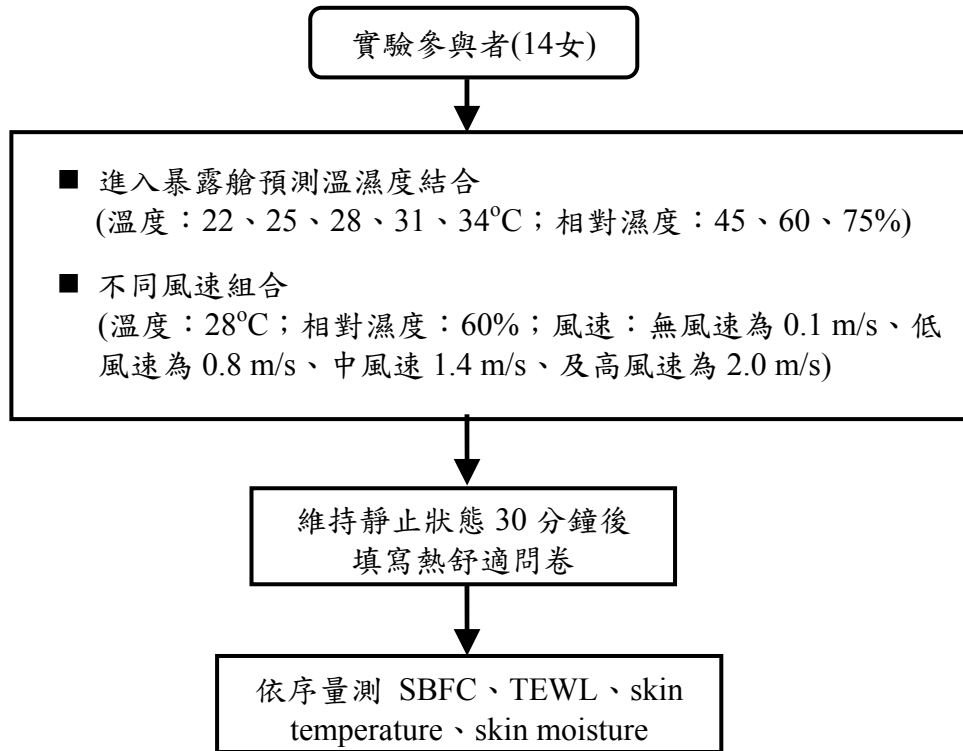


圖4-2 暴露艙實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(skin moisture)、人體熱感知之測量調查程序

SBFC (PU)

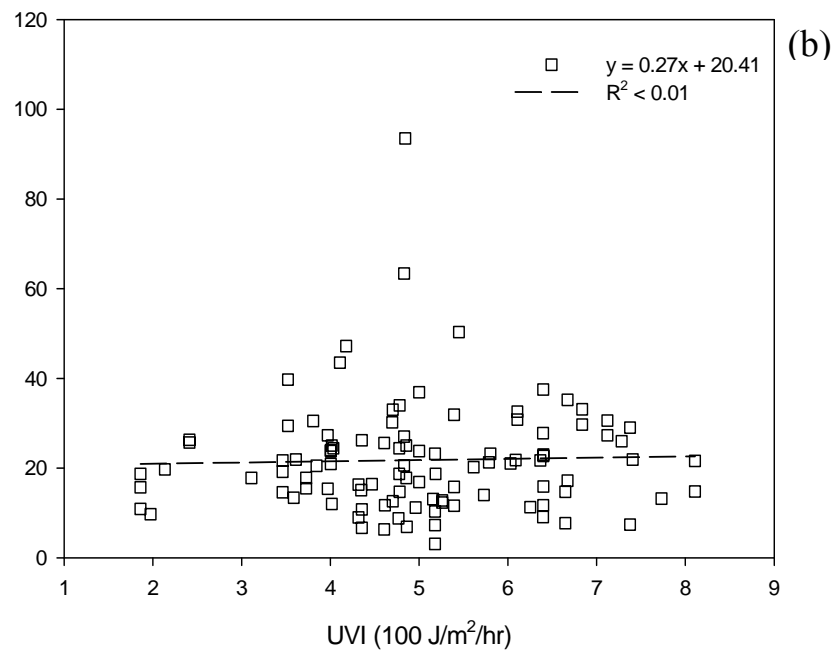
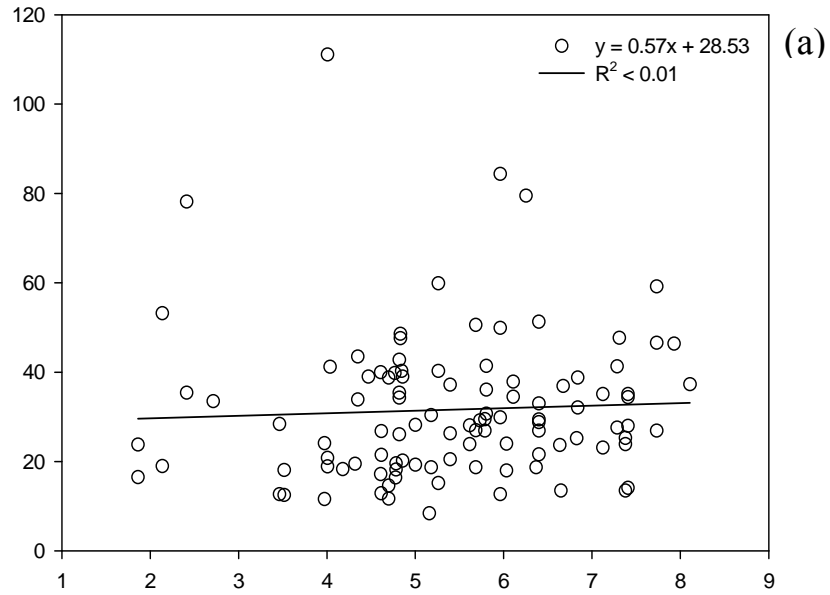


圖 5-1 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC) 對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

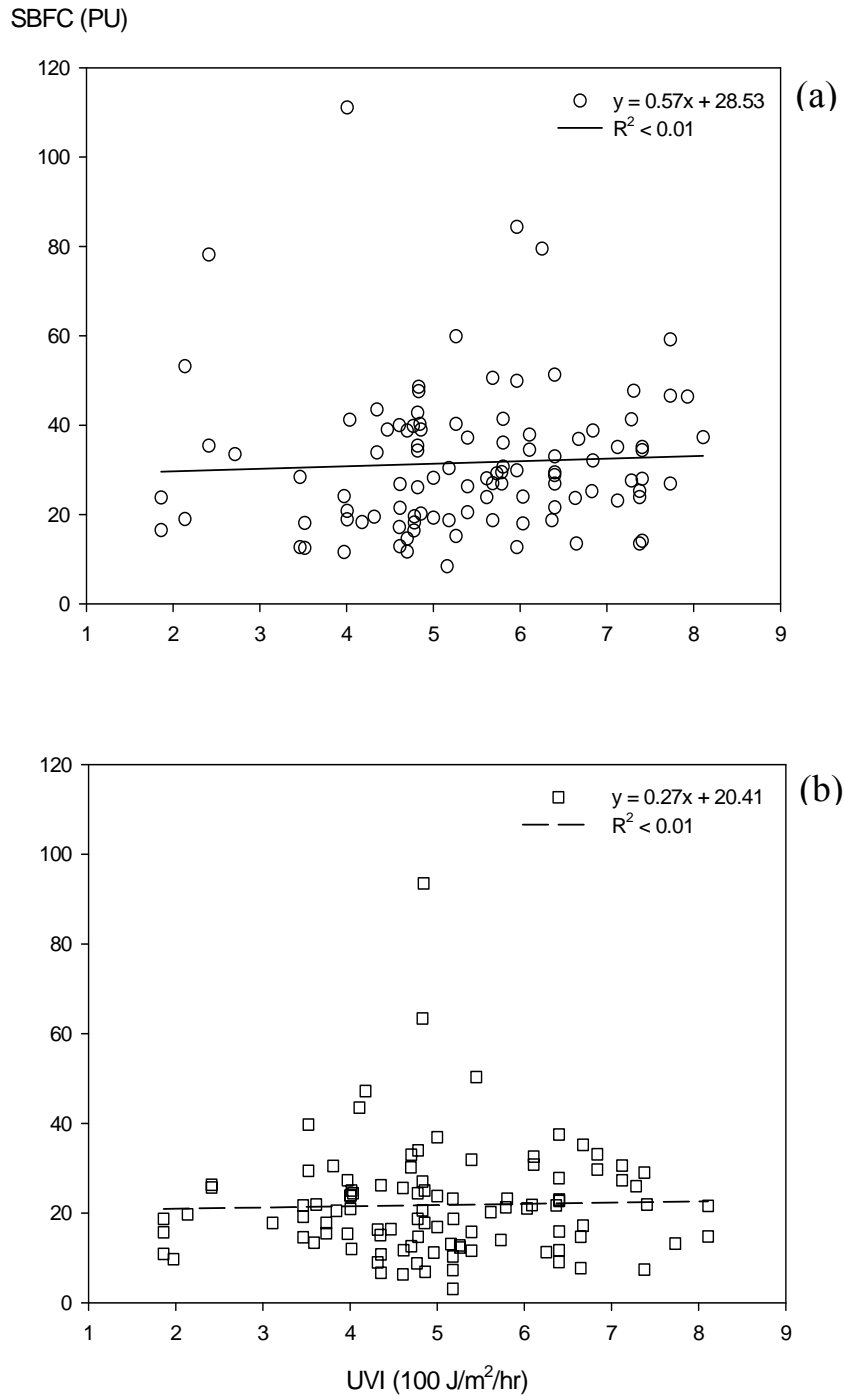


圖 5-2 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

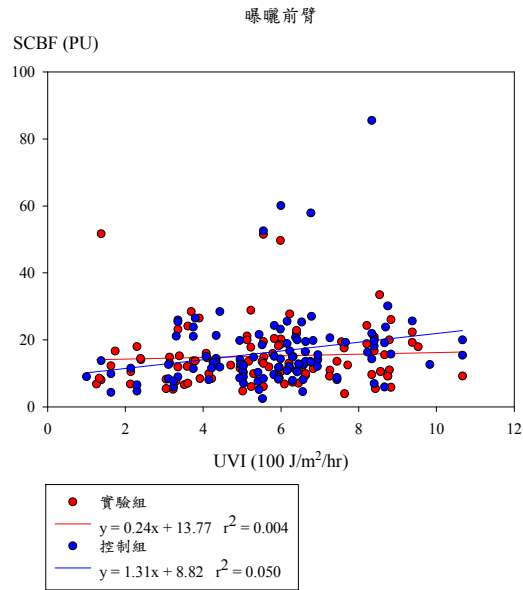


圖 5-3 日光實驗曝曬階段實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)人員前臂外側皮膚微血流量(skin capillary blood flow, SCBF)量測值對應日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之散佈與迴歸方程式

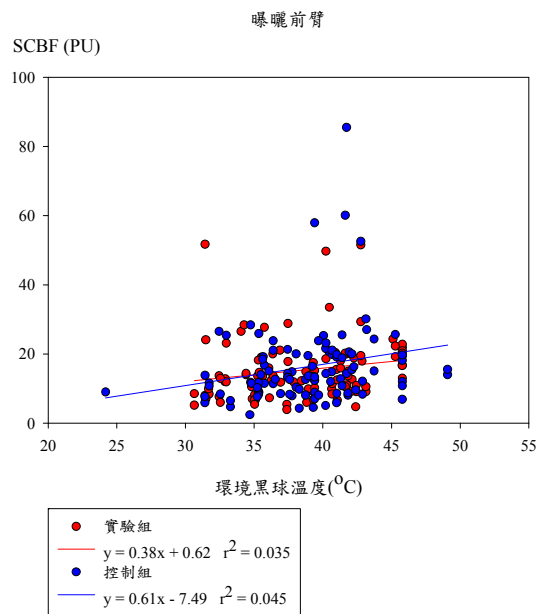


圖 5-4 日光實驗曝曬階段實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)人員前臂外側皮膚微血流量(skin capillary blood flow, SCBF)值對應黑球溫度之散佈與迴歸方程式

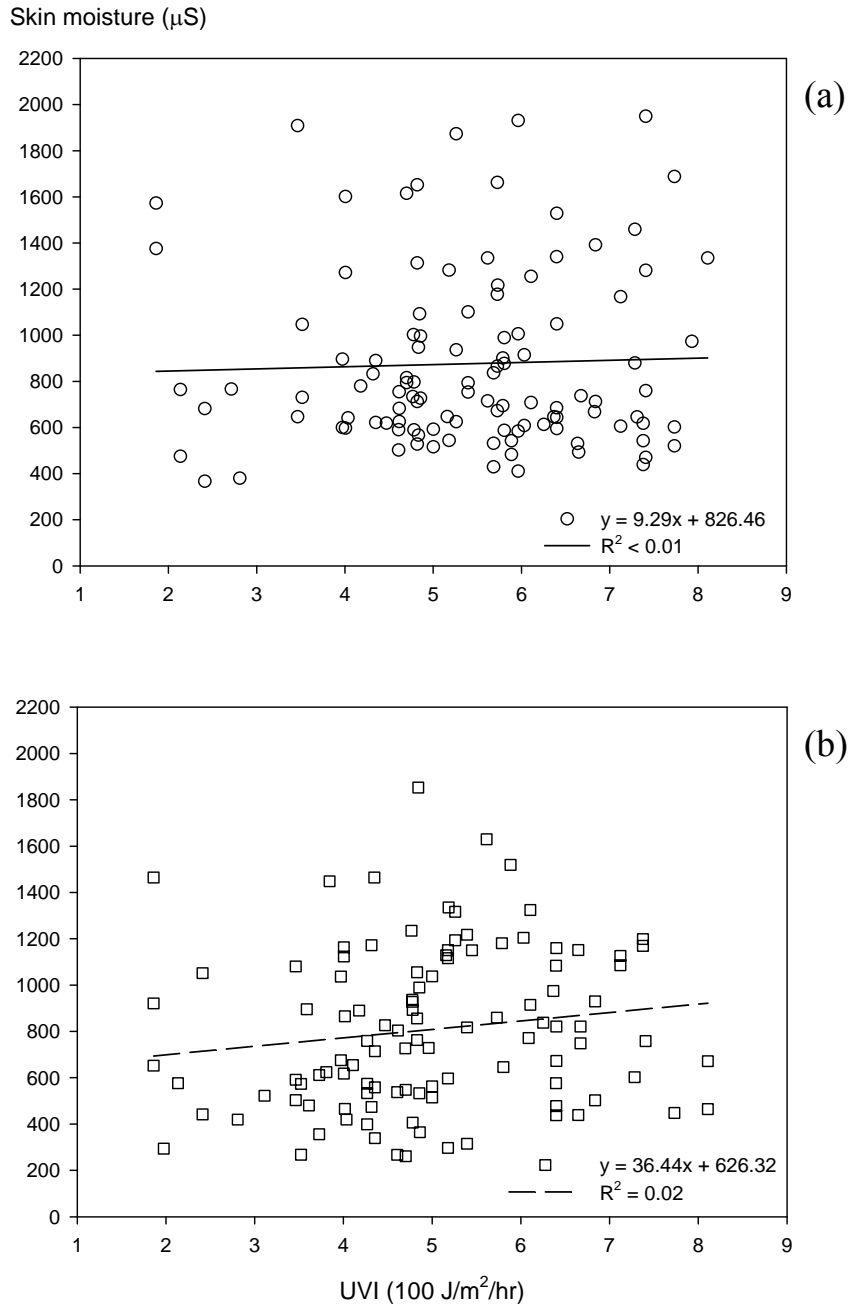


圖 5-5 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

Skin moisture (μS)

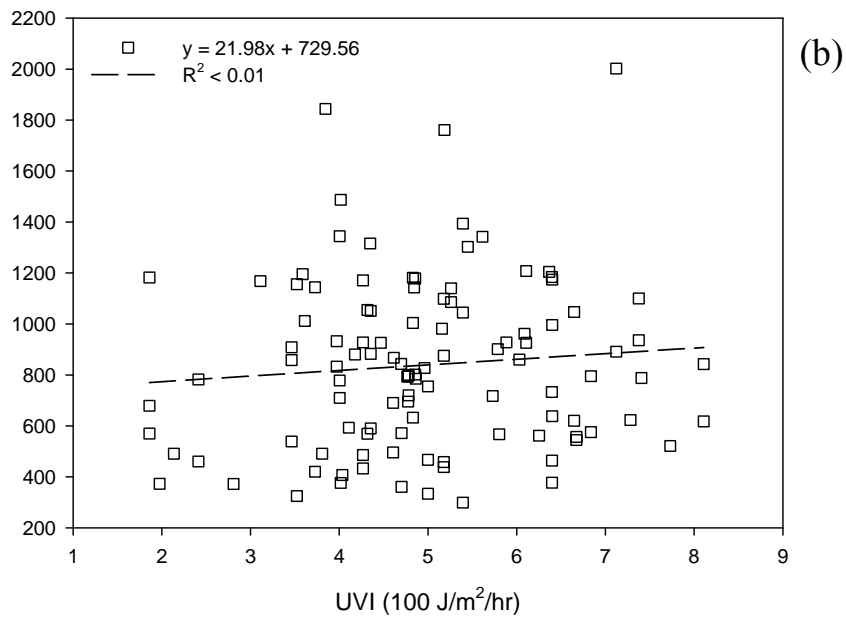
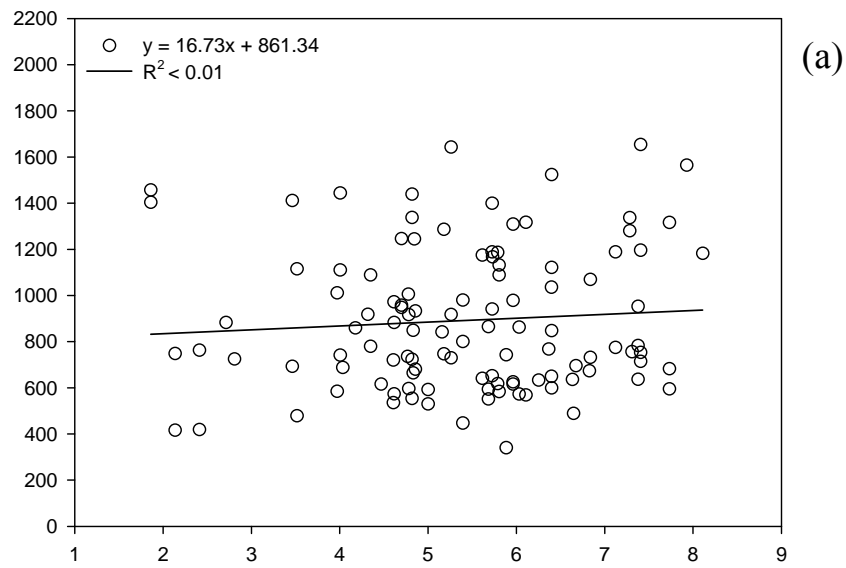


圖 5-6 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

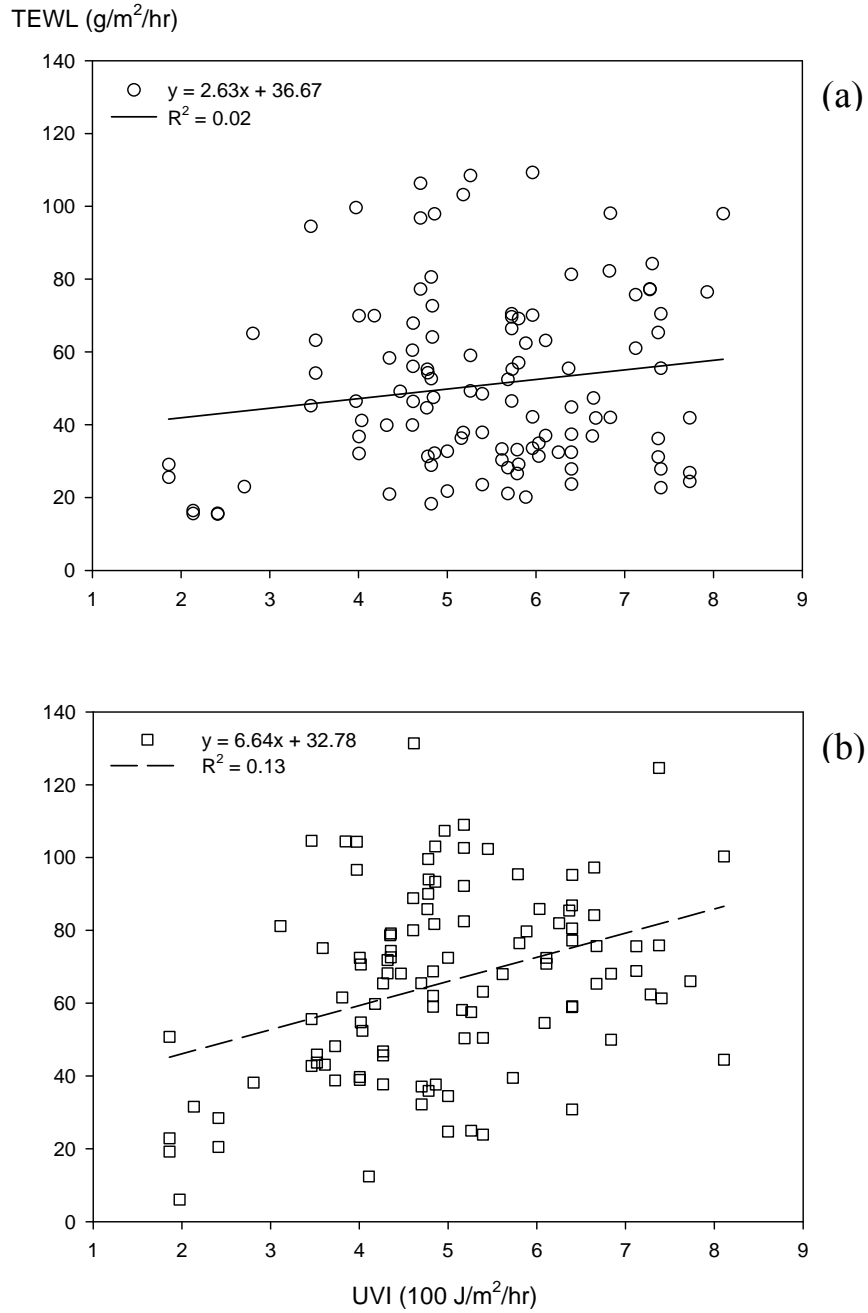


圖 5-7 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans-epidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

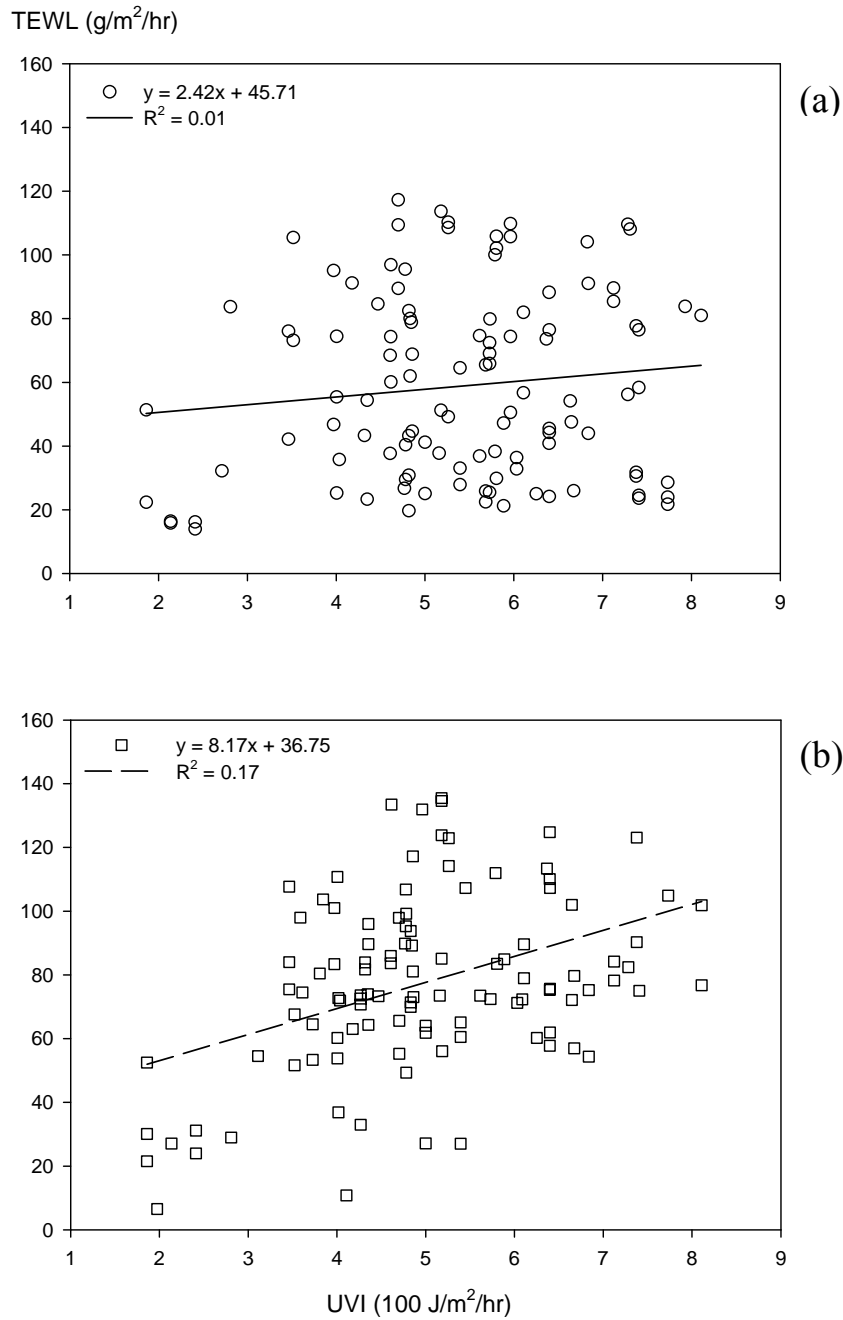


圖 5-8 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans-epidermal water loss, TEWL) 對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組 (使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

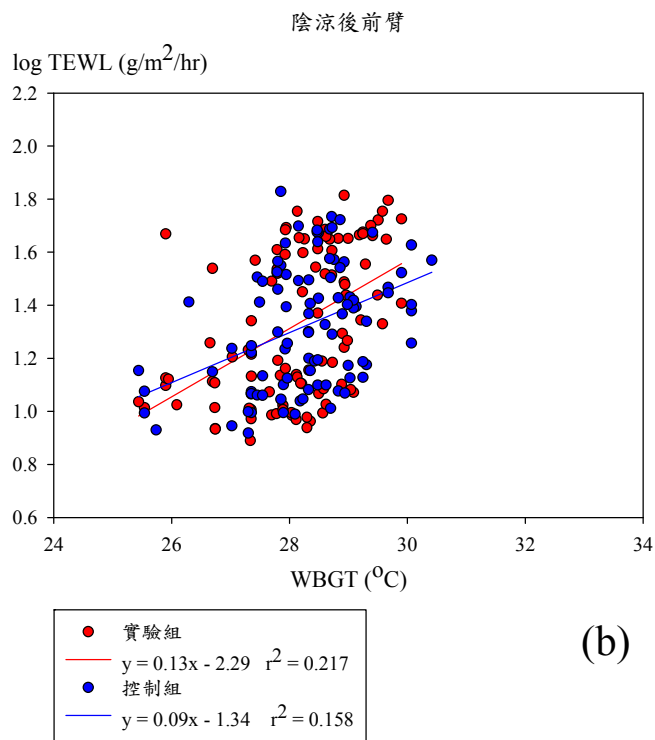
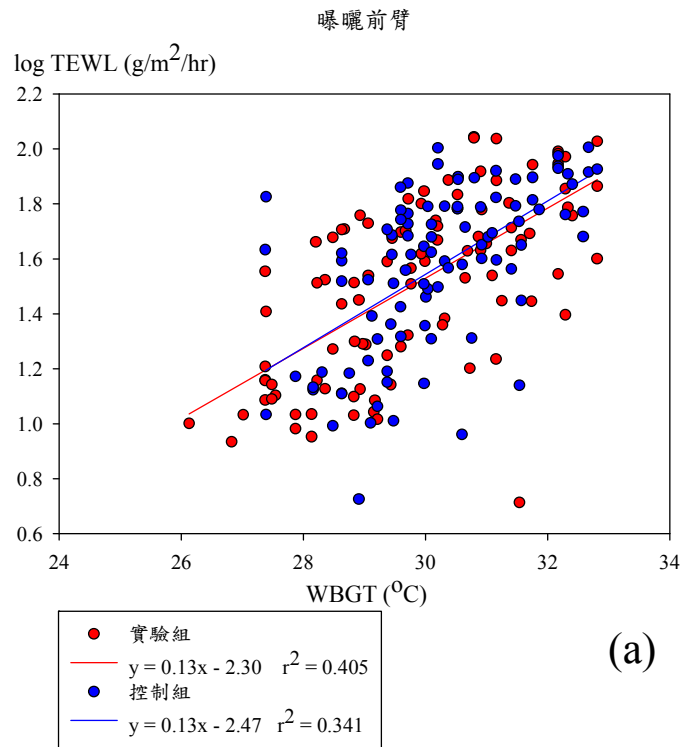


圖 5-9 戶外日光實驗實驗組(使用袖套)與控制組(未使用袖套)前臂外側皮膚經皮水份散失量(trans epidermal water loss, TEWL)對數值對應綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈：(a)曝曬；(b)陰涼後

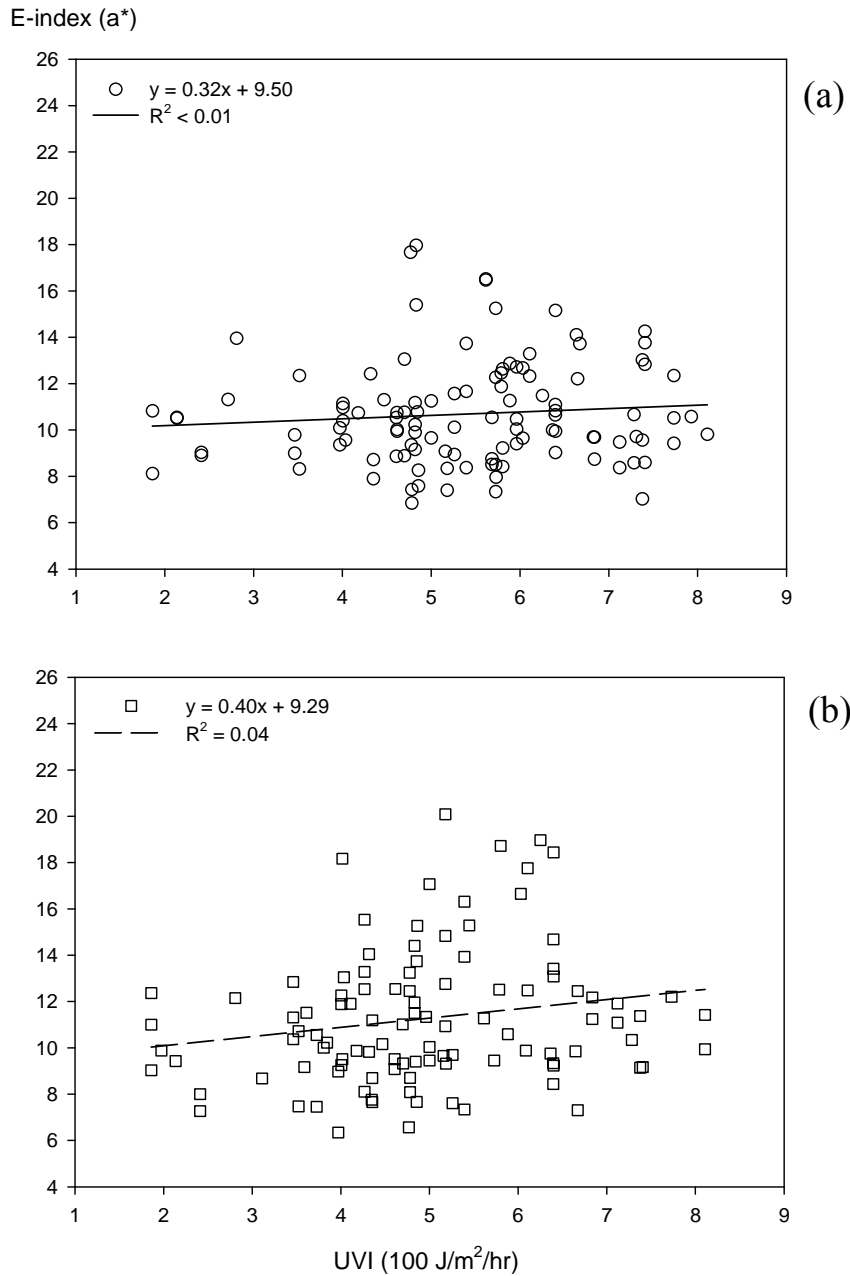


圖 5-10 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

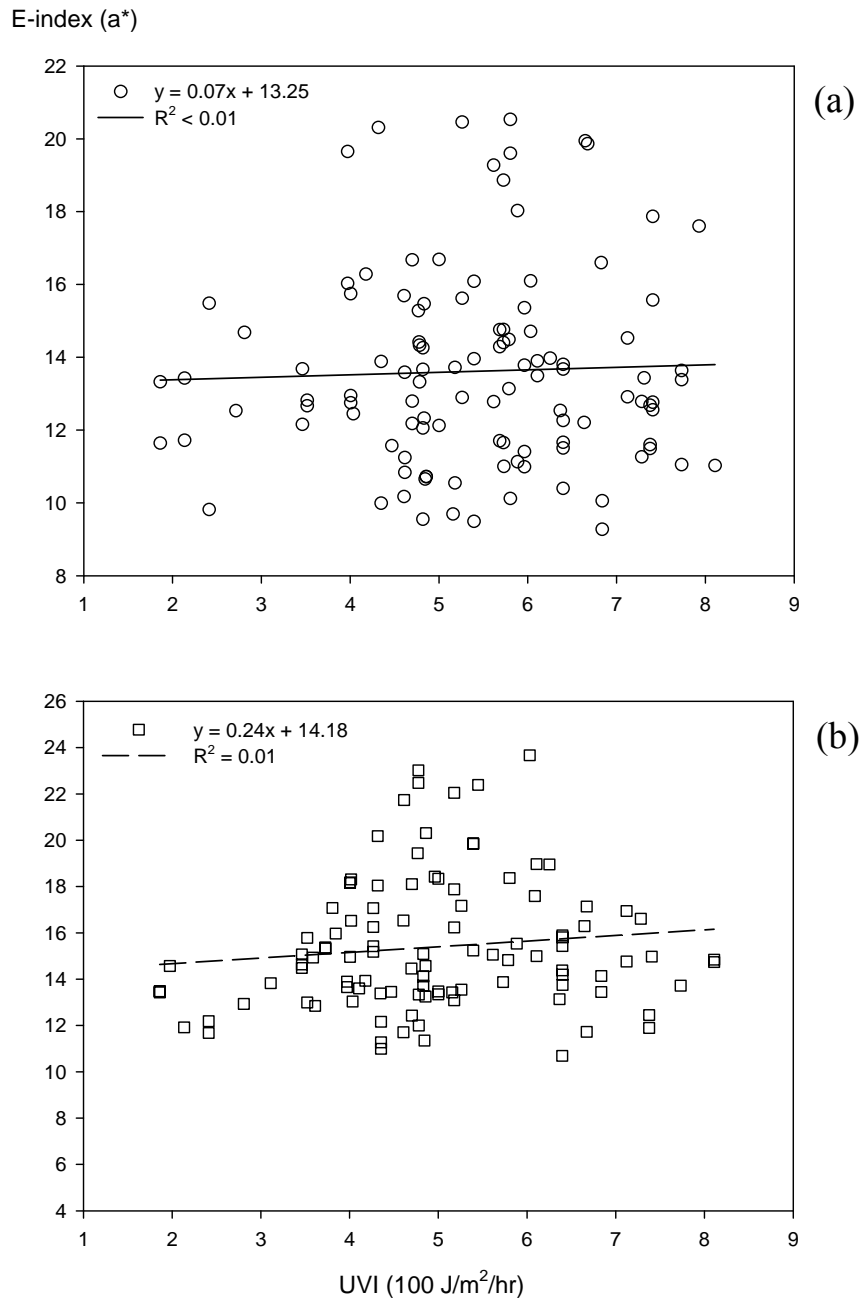


圖 5-11 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

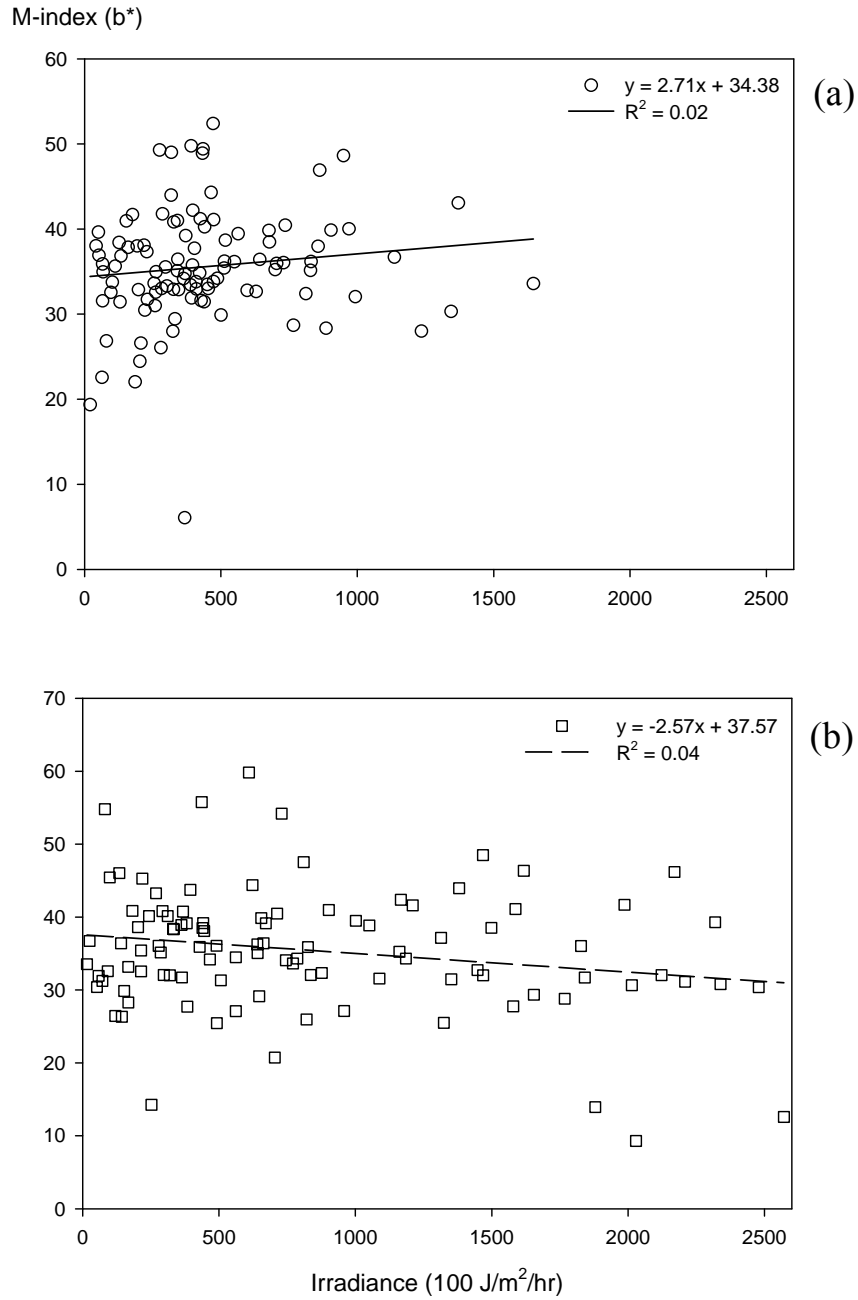


圖 5-12 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

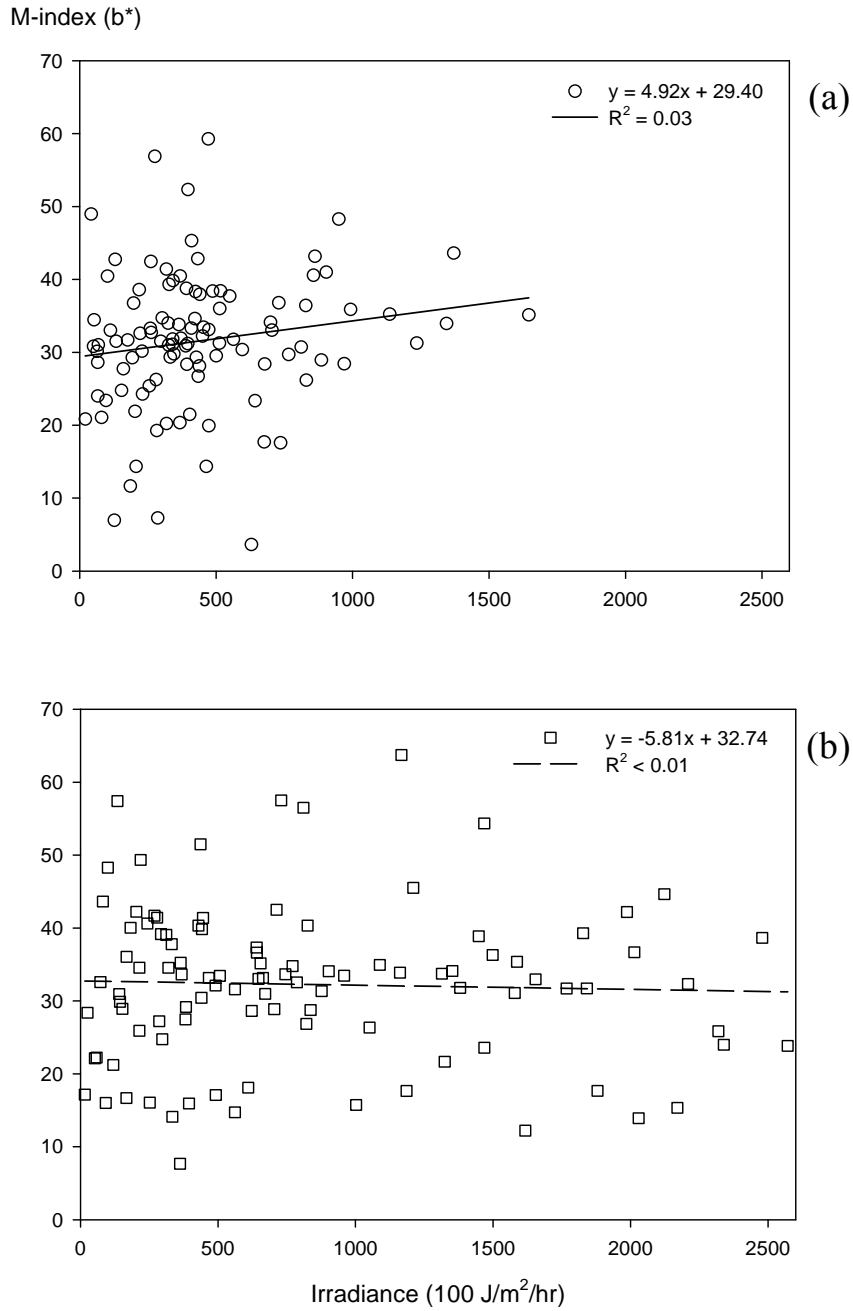


圖 5-13 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

SBFC (PU)

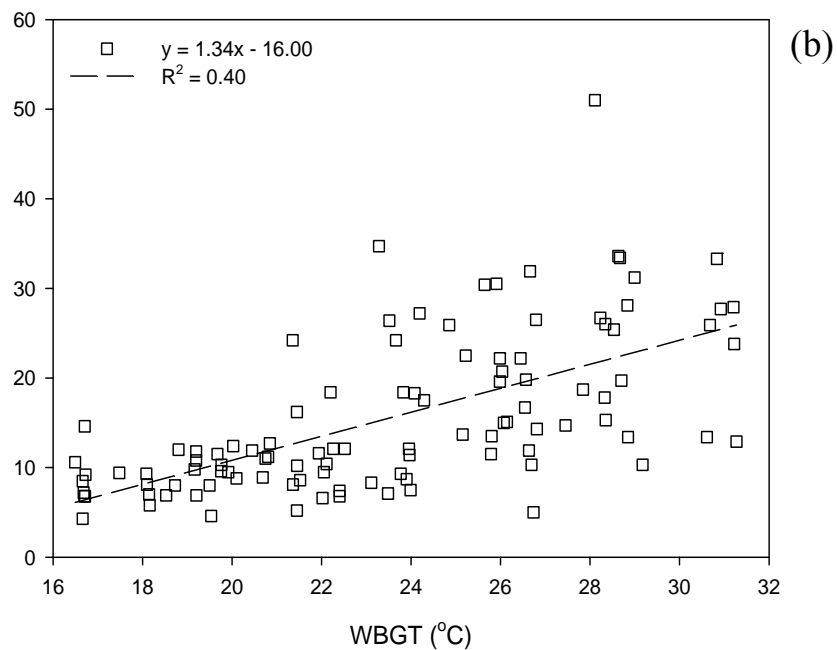
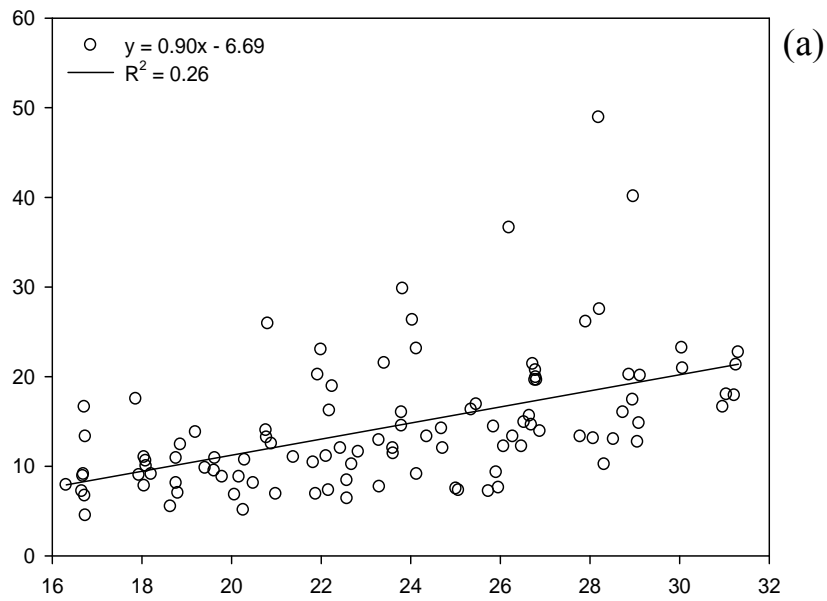


圖 5-14 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

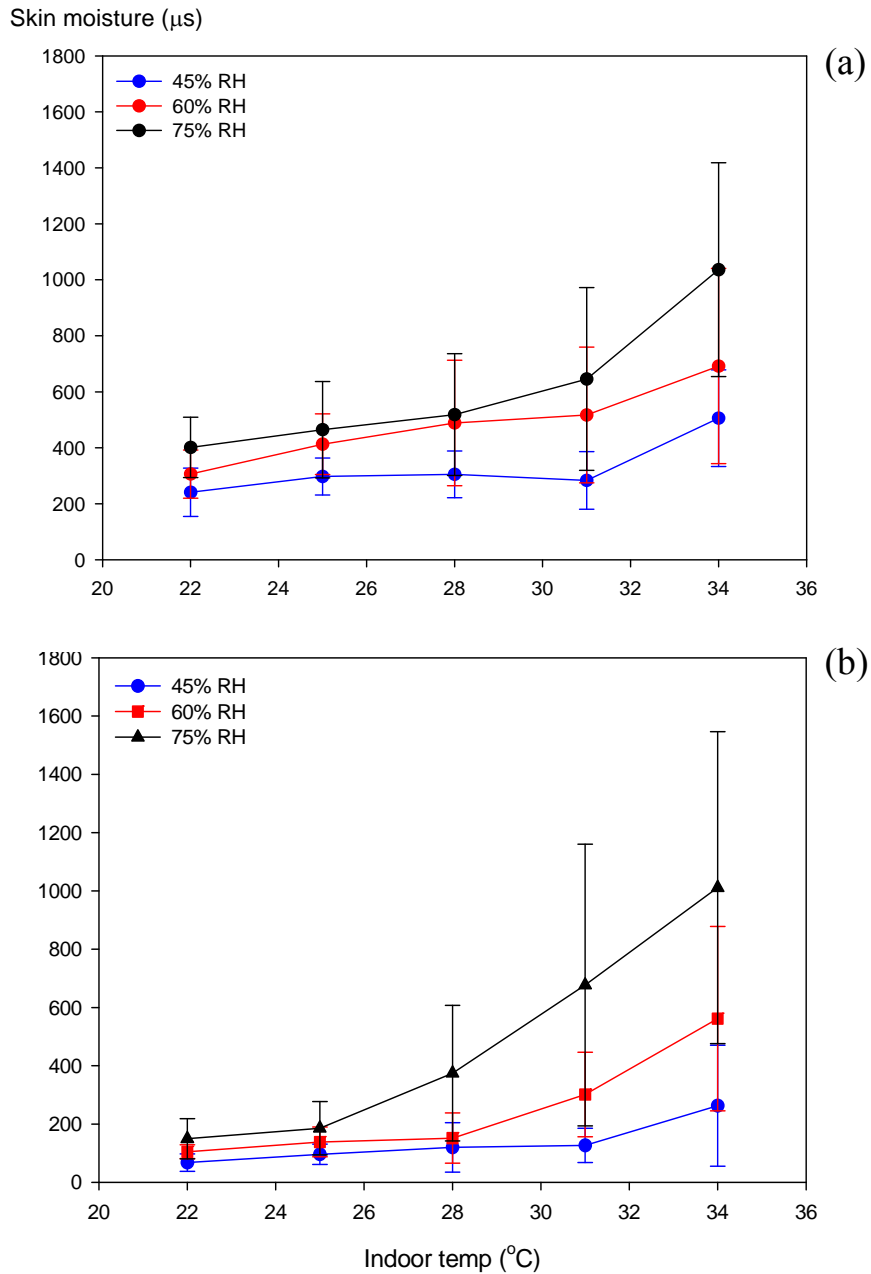


圖 5-15 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值, 誤差線為標準差): (a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

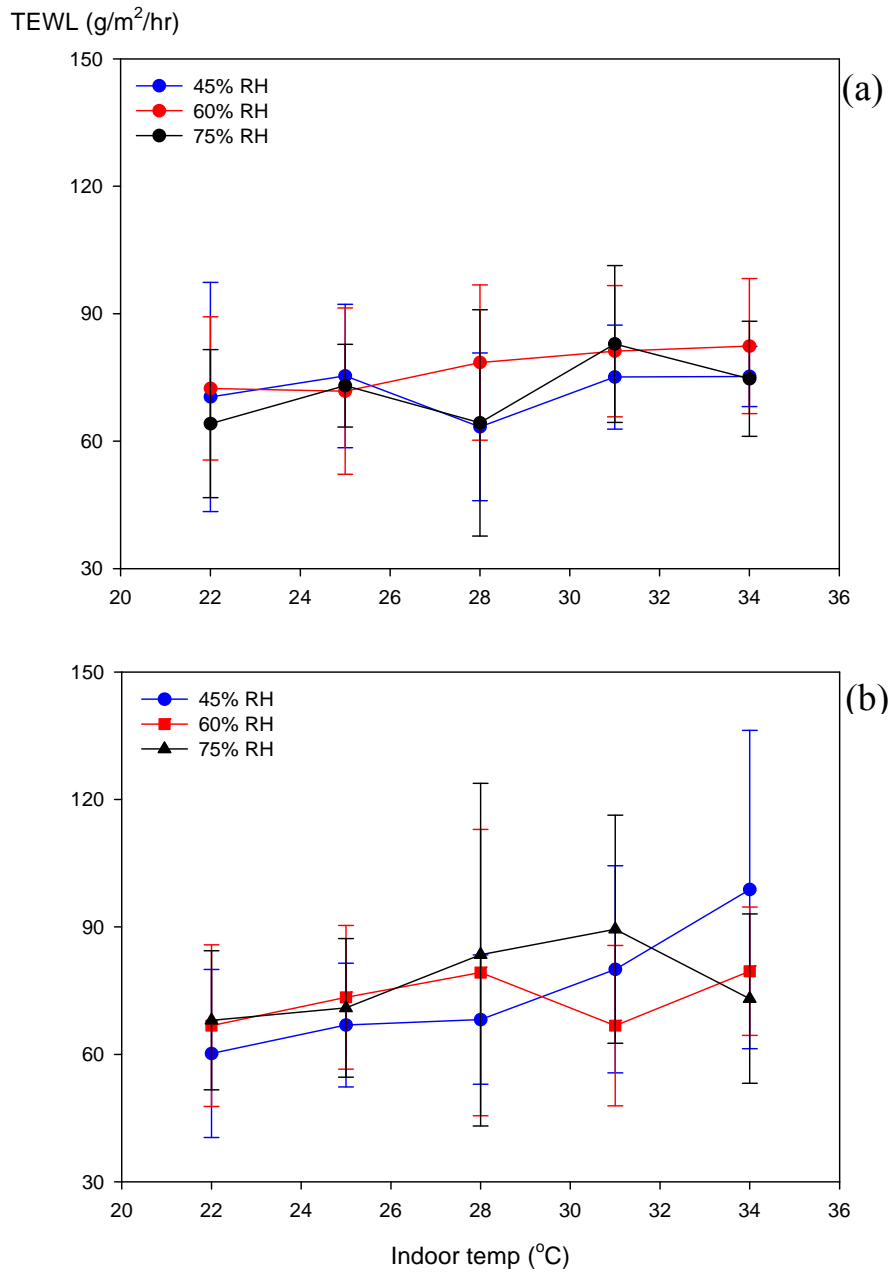


圖 5-16 前臂外側之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

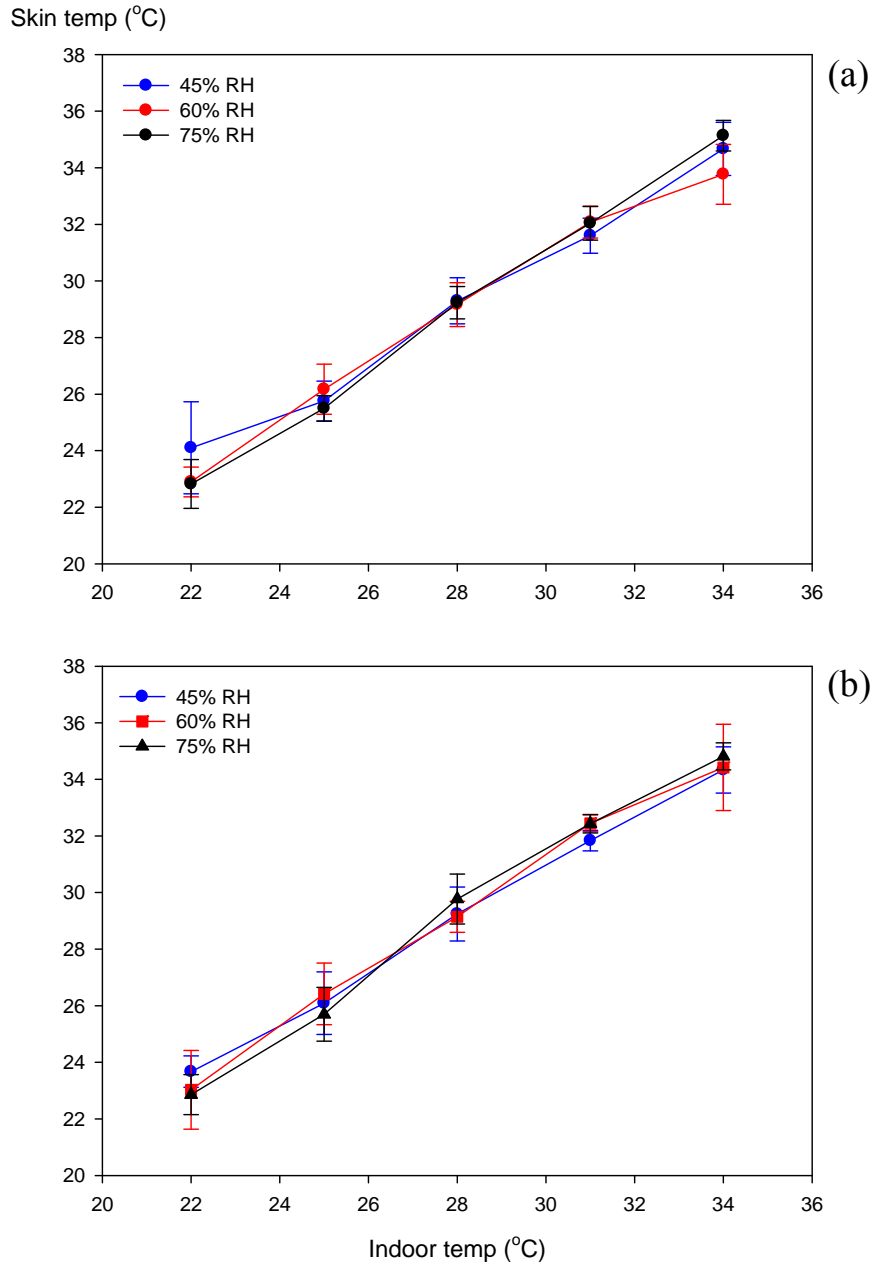


圖 5-17 前臂外側之皮膚溫度(skin temperature)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a) 實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

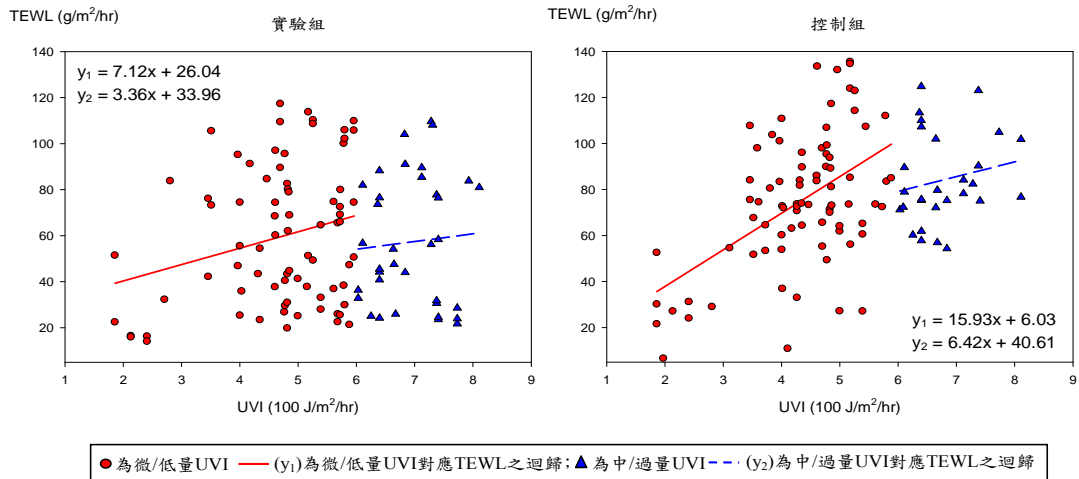


圖 5-18 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚經皮水份散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

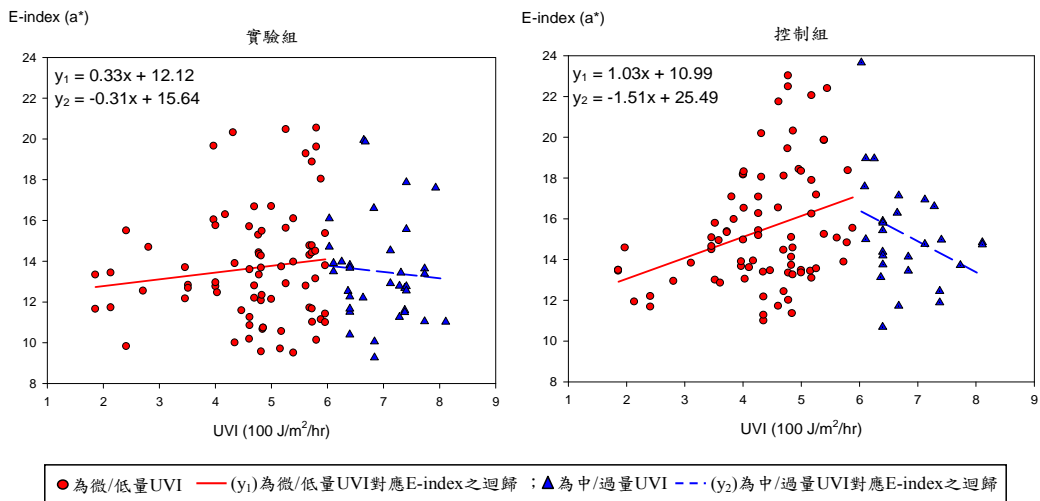


圖 5-19 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(Solar UV Index, UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)