

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0409

發展熱危害與日光紫外線暴露之健康危害
生理指標

*Developing Biological Indicators for
Alerting Health Hazards of Exposure to
Thermal Stress and Solar UV Irradiation*

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：陳振華 黃彬芳

學生：吳介銘 Chieh-Ming Wu

學號：9672009

中華民國 98 年 7 月

誌謝

論文寫了這麼久，總算讓我等到寫誌謝的時候了。回顧兩年的研究所生涯，種種事情點滴在心頭，須要感謝的人實在太多。首先感謝我的指導教授 陳振萃老師，感謝您的悉心指導，使我在撰寫論文時擁有明確的方向與目標；也謝謝老師不遺餘力地修改我的論文，真的是辛苦您了。兩年來與老師相處的過程中，我學習到老師的研究精神與處事態度，獲益良多，謹記在心。感謝我共同指導教授 黃彬芳老師在數據統計分析上予以指導與建議，使我節省了不少的寶貴時間，也讓我有多餘的腦細胞可繼續撰寫論文。感謝兩位論文口試委員 黃瑞隆教授與 劉惠銘教授，因為老師們的不吝指導與寶貴意見，引領我有更周詳的思路，使我的論文更加嚴謹完善。此外，感謝系上給我這個機會進入到職安領域中去學習，也謝謝在兩年的求學過程中，所有曾指導過我的老師們，因為老師們的諄諄教誨，讓我在撰寫論文的過程中擁有更多靈感與啟發。

感謝奕君學姐、玉潔學妹、育賢學弟，謝謝你們在實驗上的協助，使得實驗能夠順利地進行與完成；尤其謝謝學姐除了在協助實驗外，也在日常課業與行政事務上提供指導，因為如此而使得很多複雜的問題得以迎刃而解。也感謝維珍、吟蓉、容瑋、葆菁學妹們，實驗室因為妳們，多了許多歡樂的氣氛。還有同甘共苦同學們，謝謝你們在課業上的幫助，讓我在準備報告與考試的時候變得簡單不少。最後，感謝我的家人，

你們的支持與鼓勵，讓我更能夠面對各種問題與挑戰；你們的關心與照顧，讓我沒有後顧之憂的順利完成學業。

本論文為中國醫藥大學編號 CMU96-151 之校內計畫，感謝學校予以充足的研究經費，使本研究得以順利進行。此外，研究承中央氣象局第二組與陳圭宏、林大偉、羅如惠等同仁提供台中地區民國 97 年 5 至 9 月份紫外光指數即時監測值與當日最大值資料，特此致上感謝之意。

兩年的時間，說長不長，說短不短，能夠在這期間踏實地完成每一個工作是我的榮幸與驕傲；最後僅以本文獻給所有曾經支持我、關心我的人，謝謝你們。



吳介銘 謹誌

中華民國九十八年七月

於中國醫藥大學職安系碩士班

中文摘要

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(transepidermal 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。本研究共含三主要階段。第一階段(前置實驗)為於環境暴露艙內測量實驗參與者之生理反應參數值，以篩選於後續實驗中適用之

皮膚暴露點(exposure site)與控制點(control site)。第二階段(暴露艙量測實驗)為於預設環境溫溼度之人工氣候暴露艙量測各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，以分析生理指標與熱暴露間之劑量－反應關係(dose-response relationship)、生理指標間之反應－時程關係(time-course relationship)、以及主、客觀指標間之可能差異。第三階段(自然日光照射實驗)為於戶外定點、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：參與人員上臂內側衣袖遮蓋處與前臂外側皮膚之各項生理指標測量值相近且穩定，故在第二與第三階段中以前臂外側作為實驗暴露點、上臂內側作為實驗對照點。暴露艙實驗結果發現顯示：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。依實驗觀察推論，上述三指標間反應時程關係為：皮膚溫度直接反應環境溫度，其次因應散熱需求表皮濕度顯著上升；而後隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL 顯著上升增加水分排出。E-index 與 M-index 未因環境溫濕度改變而有明顯變化。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 ($r > 0.868$)。日光照射實驗結果則顯示：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

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 thesis aims to quantitatively investigate 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 research as described in this thesis was conducted in three major stages. In the first stage (the preliminary study), study participants were investigated for the changes in the aforementioned physiological indicators in a climatic chamber to determine the skin exposure and control sites appropriate for evaluation in the succeeding stages. The second stage (the exposure chamber study) assessed the variations in objective biomarkers and subjective sensation in response to alternation in environmental temperature and relative humidity (RH); the results were then analyzed to establish the dose-response relationships between physiological indicators and thermal exposure, the time-course relationships among physiological indicators, and the potential variance between physiological and psychological indicators. The third stage, the solar UV exposure study, was conducted outdoors on campus twice a week for a total period of six weeks. In this stage, the biomarkers were evaluated for their changes following short- and long-term solar UV radiation, and, similar to the second stage, attempts were made to develop dose-response relationships between biomarkers and examined physical forces and to investigate any variations between physiological and psychological indicators. Simultaneously collected in this stage 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: among all evaluated positions, the skin at outer forearm

and sleeve-covered inner upper arm shared a similar level of stable response in all examined skin physiological indicators upon thermal challenge, thus were selected as the exposure and control sites in all succeeding studies. Based on the results of exposure chamber study, 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. The events of physiological changes as suggested by experimental observations were: 1) skin temperature directly tracked the change in environmental temperature; 2) skin moisture increased in response to requirement of heat dissipation; and 3) as skin moisture peaked TEWL rose remarkably and eventually leading to substantial sweating-resembling evaporation. The E-index and M-index did not change with varying 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 results from solar exposure study show that 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 may 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

誌謝	I
中文摘要	III
ABSTRACT	VI
目錄	X
表目錄	XV
圖目錄	XXII
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究之重要性	9
第三節 研究目的	10
第四節 研究假設	11
第五節 名詞界定	12
第二章 文獻探討	16
第一節 經皮水分散失度與皮膚濕度	17
第二節 紅斑與黑色素生成	19
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	20
第四節 日光曝曬對主觀熱舒適影響與男女熱感知差異	22

第五節	常用調查熱感知之工具.....	24
第六節	總結.....	25
第七節	研究架構.....	26
第三章	研究方法.....	29
第一節	研究設計.....	29
3.1.1	前置實驗.....	29
3.1.2	暴露艙量測實驗.....	30
3.1.3	自然日光照射實驗.....	30
第二節	研究對象.....	31
3.2.1	基本人體計測資料.....	32
3.2.2	皮膚生理狀況自我評估.....	32
3.2.3	夏季戶外活動狀況.....	35
3.2.4	夏季衣著量.....	37
第三節	研究儀器設備與工具.....	39
第四節	資料收集.....	40
3.4.1	前置實驗流程.....	40
3.4.2	暴露艙量測實驗流程.....	43
3.4.3	自然日光照射實驗流程.....	43
3.4.4	日光紫外線指數與累積輻射劑量之計算.....	47

第五節	資料統計與分析	48
3.5.1	前置實驗結果統計分析	48
3.5.2	暴露艙量測實驗結果統計分析	48
3.5.3	自然日光照射實驗結果統計分析	51
3.5.4	室內與戶外皮膚生理指標變化之比較	53
第四章	研究結果與討論	54
第一節	前置實驗結果	54
第二節	暴露艙量測實驗結果	58
4.2.1	室內環境熱因子對TEWL之影響	58
4.2.2	室內環境熱因子對皮膚溫度之影響	83
4.2.3	室內環境熱因子對皮膚濕度之影響	104
4.2.4	室內環境熱因子對紅斑生成之影響	126
4.2.5	室內環境熱因子對黑色素生成之影響	140
4.2.6	皮膚生理指標間因應環境熱因子變化之反應-時程關係	154
4.2.7	環境熱因子對人體主觀熱感知之影響	165
4.2.8	人體主觀熱感知與客觀生理指標之比較	172
4.2.9	室內環境物理因子與性別對於主客觀熱舒適指標之綜合 影響分析	190
第三節	自然日光照射實驗結果	193

4.3.1	日光紫外線輻射對TEWL之影響.....	193
4.3.2	日光紫外光輻射對皮膚濕度之影響.....	199
4.3.3	日光紫外光輻射對紅斑生成之影響.....	207
4.3.4	日光紫外線輻射對黑素沉澱之影響.....	215
4.3.5	日光紫外線輻射對主觀熱感知之影響.....	220
4.3.6	戶外環境物理因子與性別對於主客觀指標之綜合影響分 析.....	227
4.3.7	日光照射實驗與暴露艙量測實驗中皮膚生理指標之差 異.....	232
第五章	結論與建議.....	236
第一節	結論.....	236
第二節	研究限制.....	240
第三節	應用與建議.....	240
	參考文獻.....	244
附錄A	實驗受試者基本資料調查.....	252
附錄B	環境熱舒適問卷.....	261
附錄C	台灣中部地區 97 年夏季每日紫外線指數即時測報資料.....	263
附錄D	前置實驗結果圖.....	271
附錄E	暴露艙量測實驗結果圖.....	278

附錄 F	全體人員、男性、女性上臂內側與前臂外側皮膚於各溫濕度組合 下紅斑指數之檢定	295
附錄 G	全體人員、男性、女性上臂內側與前臂外側皮膚於各溫濕度組合 下黑素指數之檢定	302
附錄 H	皮膚生理指標間因應環境熱因子變化之非線性反應-時程關係	308



表目錄

表 1-1	不同等級紫外線指數與其對應之暴露類型及世界衛生組織所建議之防護措施	8
表 3-1	暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗受試人員之人體計測資料	33
表 3-2	受試人員自覺皮膚生理狀況	34
表 3-3	受試人員於 2008 年夏季戶外活動狀況	36
表 3-4	夏季白日外出時最常穿著之衣物	38
表 4-1	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境溫濕度之經皮水分散失度測量值、男一女比值、及統計檢定	65
表 4-2	全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂內側經皮水分散失度比值、及統計檢定	66
表 4-3	全體人員於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	67
表 4-4	全體人員於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	69
表 4-5	男性受測者於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	70
表 4-6	男性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂	

	外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	72
表 4-7	女性受測者於同一相對濕度不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	73
表 4-8	女性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度之統計檢定	74
表 4-9	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境濕度之皮膚溫度測量值、男一女比值、及統計檢定	87
表 4-10	全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂內側皮膚溫度比值及統計檢定	89
表 4-11	全體人員於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	90
表 4-12	全體人員於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	91
表 4-13	男性受測者於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	92
表 4-14	男性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	93
表 4-15	女性受測者於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	94

表 4-16	女性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定	95
表 4-17	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境濕度之皮膚濕度測量值、男一女比值、及統計檢定	108
表 4-18	全體人員、男性、及女性於不同環境濕度之前臂外側—上臂內側皮膚濕度比值、及統計檢定	110
表 4-19	全體人員於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	111
表 4-20	全體人員於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	112
表 4-21	男性受測者於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	114
表 4-22	男性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	115
表 4-23	女性受測者於同一相對濕度、不同環境溫度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	116
表 4-24	女性受測者於同一環境溫度、不同相對濕度下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定	117
表 4-25	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境濕	

	濕度之皮膚紅斑指數測量值、男一女比值、及統計檢定	131
表 4-26	全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂內側皮膚紅斑指數比值及統計檢定	132
表 4-27	全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境溫濕度之皮膚黑素指數測量值、男一女比值、及統計檢定	145
表 4-28	全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂內側皮膚黑素指數比值及統計檢定	146
表 4-29	全體人員前臂外側皮膚經皮水分散失度對應皮膚溫度線性迴歸方程式及相關統計分析	157
表 4-30	全體人員前臂外側皮膚濕度對應皮膚溫度線性迴歸方程式及相關統計分析	159
表 4-31	全體人員前臂外側皮膚濕度對應經皮水分散濕度線性迴歸方程式及相關統計分析	162
表 4-32	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚經皮水分散失度之線性迴歸方程式及相關統計分析	174
表 4-33	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚經皮水分散失度之線性迴歸方程式及相關統計分析	177
表 4-34	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚溫度之線性迴歸方程式及相關統計分析	180

表 4-35	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚溫度之線性迴歸方程式及相關統計分析	182
表 4-36	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚濕度之線性迴歸方程式及相關統計分析	185
表 4-37	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚濕度之線性迴歸方程式及相關統計分析	188
表 4-38	環境暴露艙實驗中不同部位皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、性別之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與統計檢定	190
表 4-39	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	198
表 4-40	全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之經皮水分散失度比值及統計檢定	200
表 4-41	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	205
表 4-42	全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中(戶外陰涼處)前臂外側—上臂內側之皮膚濕度比值、及統計檢定	206

表 4-43	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(環境暴露艙)皮膚濕度之測量值、男一女比值、及統計 檢定	208
表 4-44	全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中(環境暴露艙)前 臂外側—上臂內側之皮膚濕度比值、及統計檢定	209
表 4-45	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、男一女比值、及統計檢定	214
表 4-46	全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂 內側之皮膚紅斑指數比值、及統計檢定	216
表 4-47	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、男一女比值、及統計檢定	221
表 4-48	全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂 內側之皮膚黑素指數比值、及統計檢定	222
表 4-49	全體人員、男性、女性熱感知投票值對應上臂內側與前臂外側皮 膚濕度之線性迴歸方程式、皮爾森積差相關係數、判定係數與統 計檢定	227
表 4-50	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、調整複判定係數與統計檢定	228

表 4-51 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、調整複判定係數與統計檢定230

表 4-52 暴露劑量測實驗與日光照射實驗中全體人員、男性、女性前臂外
側對應上臂內側皮膚生理指標之比值、兩階段實驗前臂外側對應
上臂內側皮膚生理指標比值的比值、及統計檢定234



圖目錄

圖 1-1	大氣中影響紫外線傳遞之環境因子以及受紫外線暴露後可能產生之潛在健康危害	2
圖 1-2	暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害	5
圖 2-1	本研究之研究架構與各階段進行之任務	26
圖 3-1	前置實驗之實驗流程與皮膚生理指標量測方法	41
圖 3-2	前置實驗中受測人員於環境溫度 28°C、相對濕度 70%時測量之 5 處人體皮膚部位	42
圖 3-3	暴露艙量測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	44
圖 3-4	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	46
圖 4-1	不同皮膚部位於室內溫度 28°C與相對濕度 70% 時之經皮水分散失度	55
圖 4-2	不同皮膚部位於室內溫度 28°C與相對濕度 70% 時之皮膚溫度	56
圖 4-3	不同皮膚部位於室內溫度 28°C與相對濕度 70% 時之皮膚濕度	57
圖 4-4	不同皮膚部位於室內溫度 28°C與相對濕度 70% 時之紅斑指數	59

圖 4-5	不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之黑素指數	60
圖 4-6	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚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	61
圖 4-7	男性上臂內側及前臂外側皮膚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	62
圖 4-8	女性上臂內側及前臂外側皮膚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	63
圖 4-9	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	76
圖 4-10	男性上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	77
圖 4-11	女性上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	78
圖 4-12	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	80
圖 4-13	男性上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	81
圖 4-14	女性上臂內側及前臂外側皮膚經皮水分散失度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	81

	度熱指數之散佈與線性迴歸	82
圖 4-15	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	84
圖 4-16	男性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	85
圖 4-17	女性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	86
圖 4-18	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	97
圖 4-19	男性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	98
圖 4-20	女性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	99
圖 4-21	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	100
圖 4-22	男性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	101
圖 4-23	女性上臂內側及前臂外側皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	102

圖 4-24	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	105
圖 4-25	男性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	106
圖 4-26	女性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	107
圖 4-27	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	119
圖 4-28	男性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	120
圖 4-29	女性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	121
圖 4-30	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	123
圖 4-31	男性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	124
圖 4-32	女性上臂內側及前臂外側皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	125
圖 4-33	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應室內溫度與相	

	對濕度變化之分佈趨勢	127
圖 4-34	男性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	128
圖 4-35	女性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	129
圖 4-36	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈	134
圖 4-37	男性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈	135
圖 4-38	女性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈	136
圖 4-39	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	137
圖 4-40	男性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	138
圖 4-41	女性上臂內側及前臂外側皮膚紅斑指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	139
圖 4-42	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	141

圖 4-43	男性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	142
圖 4-44	女性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢	143
圖 4-45	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	148
圖 4-46	男性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	149
圖 4-47	女性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢	150
圖 4-48	全體人員上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	151
圖 4-49	男性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	152
圖 4-50	女性上臂內側及前臂外側皮膚黑素指數對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸	153
圖 4-51	全體人員前臂外側皮膚經皮水分散失度對應皮膚溫度之分佈與線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	156
圖 4-52	全體人員前臂外側皮膚濕度對應皮膚溫度之分佈與線性迴歸及	

	其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	158
圖 4-53	全體人員前臂外側皮膚濕度對應經皮水分散失度之分佈與線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	161
圖 4-54	熱感知投票值差異對應環境綜合溫度熱指數之變化趨勢:全體人員、男性、女性	167
圖 4-55	熱感知投票值平均值對應室內溫度之分佈:全體人員、男性、女性	168
圖 4-56	熱感知投票值平均值對應環境相對濕度之分佈:全體人員、男性、女性	170
圖 4-57	前後熱感知投票值平均值對應環境綜合溫度熱指數之分佈:全體人員、男性、女性	171
圖 4-58	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚經皮水分散失度之分佈與線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	173
圖 4-59	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚經皮水分散失度之分佈與線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	176
圖 4-60	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚溫度之分佈與線性迴歸及其對應性別、環境溫度、對濕度之分佈	179
圖 4-61	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚溫度之分佈與	

	線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	181
圖 4-62	全體人員熱感知投票值平均值對應上臂內側皮膚濕度之分佈與 線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	184
圖 4-63	全體人員熱感知投票值平均值對應前臂外側皮膚濕度之分佈與 線性迴歸及其對應性別、環境溫度、相對濕度之分佈	187
圖 4-64	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：全體人員、男性、女性	194
圖 4-65	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：全體人員、男性、女性	196
圖 4-66	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：全體人員、男性、女性	201
圖 4-67	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：全體人員、男性、女性	203
圖 4-68	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：全體人員、男性、女性	210
圖 4-69	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：全體人員、男性、女性	212
圖 4-70	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：全體人員、男性、女性	217

圖 4-71 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：全體人員、男性、女性 219

圖 4-72 自然日光照射實驗中前後熱感知投票值之差異：全體人員、男
性、女性 223

圖 4-73 受測人員熱感知投票值對應全體人員上臂內側、不同性別人員上
臂內側、全體人員前臂外側、不同性別人員前臂外側之皮膚濕度
分佈與線性迴歸 225



第一章 緒論

第一節 研究背景

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⁽²⁾。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；過度日光曝曬的危害約有 80%源自 UVB⁽³⁾。UVB 到達地表強度及可能造成的健康危害會受到不同環境因素之影響；圖 1-1 所示為大氣中可能影響紫外線傳遞的主要環境因素，以及過量暴露時所能造

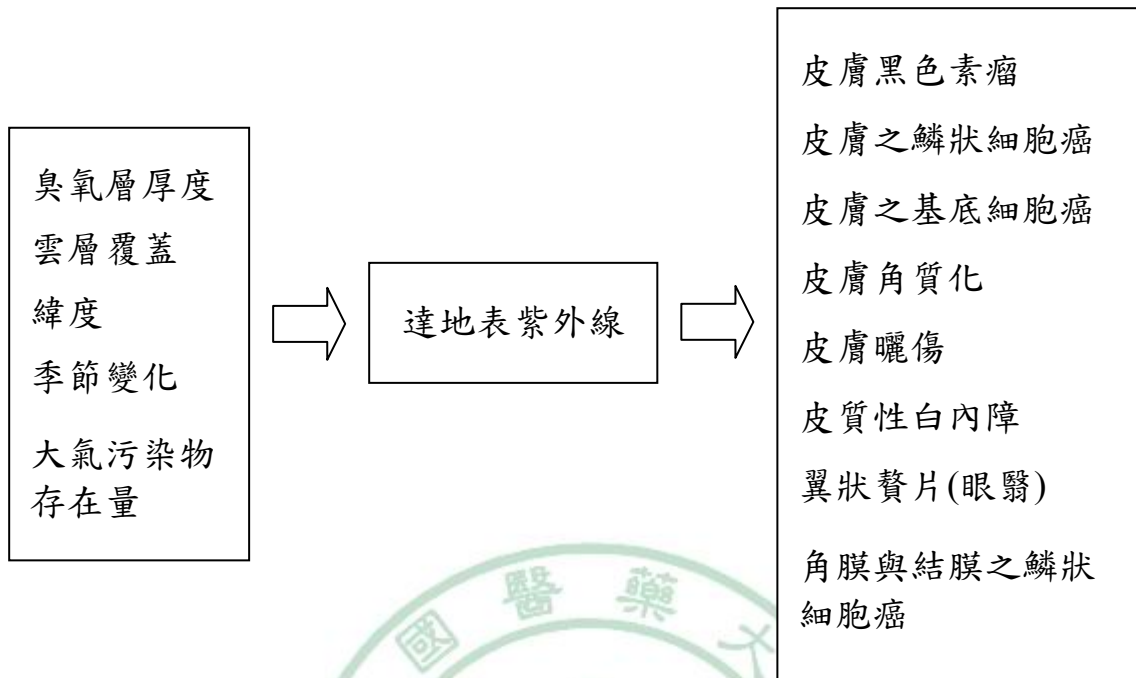


圖 1-1 大氣中影響紫外線傳遞之環境因子以及受紫外線暴露後可能產生之潛在健康危害

成的健康影響。由於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，且若表皮遭受紫外線過度曝曬時會產生不同的異常皮膚生理反應，例如紅斑生成(erythema)⁽⁴⁾、表皮細胞異常增生(epidermal proliferation)^(5, 6)、細胞凋亡(apoptosis)^(7, 8)、黑色素沈澱(hyperpigmentation)⁽⁹⁾、以及免疫抑制(immunosuppression)^(10, 11, 12)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(ozone)，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⁽¹³⁾；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⁽¹⁴⁾。而在戶外作業的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。

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)維持生理恆定與避免有害之健康效應發生⁽¹⁵⁾。

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)等現象，甚至於中暑(heat stroke)。熱危害普遍存在於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，因此較難察覺熱危害及其可能產生的健康傷害⁽¹⁶⁾。圖 1-2 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。當熱儲存比率(heat storage)大於 0 時，人體之核心溫度(core temperature)、皮膚血液流速(skin blood flow)與皮膚溫度(skin temperature)會增加。若因皮膚血液流速增加而使得血管擴張過快，則會引起血壓下降，進而導致腦部血流不足，產生熱暈厥或熱衰竭現象。人體常以增加排汗量降低核心溫度與皮膚溫度。若長時間處於流汗的狀況，皮膚表皮會產生汗疹(heat rash)；若排汗量太高，則水分與鹽份嚴重地流失，造成脫水與熱痙攣。因大量或長時間的排汗導致汗腺疲勞(sweat gland fatigue)，或是因身體脫水後沒有適當地採取措施降低體溫，則體溫不斷的上升，最終導致中暑現象的發生。

近年來，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。傳統的方法著重於測量紫外線抵達地表之能量強度(如紫外線指數)⁽¹⁾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)⁽¹⁶⁾是否

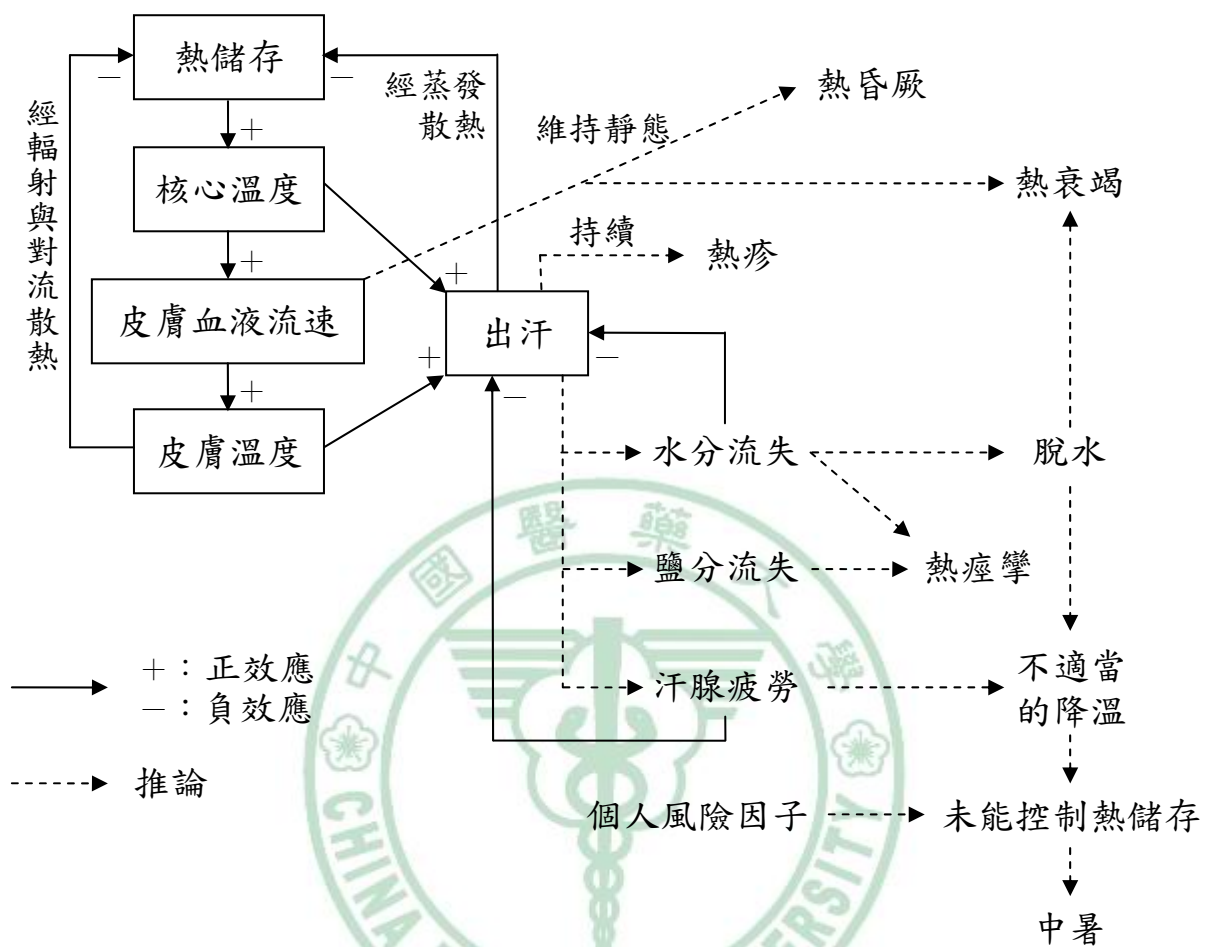


圖 1-2 暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害⁽¹⁵⁾

超出建議暴露標準，而非直接評估當人體暴露於此類環境時可能產生之生理效應為何(如上述物理力之環境變化量與生理效應間之對應關係)，故一般大眾難以確切明瞭其暴露所造成之健康風險。

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⁽¹⁷⁾。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⁽¹⁷⁾。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：

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

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

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⁽¹⁸⁾。因此，熱危害常以綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)⁽¹⁶⁾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⁽¹⁹⁾：

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

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

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 temp-

表 1-1 不同等級紫外線指數(Global Solar UV Index, UVI)與其對應之暴露類型(等級)及世界衛生組織(World Health Organisation, WHO)所建議之防護措施

UVI 數值	暴露等級	建議採取之防護措施
0, 1, 2	微量	使用防曬指數(sun protection factor, SPF) 15 之防曬乳膏
3, 4	低量	SPF 15 之防曬乳膏與防曬衣物
5, 6	中量	SPF 15 之防曬乳膏、防曬衣物、抗 UVA/ UVB 之太陽眼鏡
7, 8, 9	高量	SPF 15 之防曬乳膏、防曬衣物、太陽眼鏡；且盡量避免於 10 am 至 4 pm 時直接照射到日光
10+	過量	SPF 15 之防曬乳膏、防曬衣物、太陽眼鏡；且避免於 10 am 至 4 pm 時直接照射到日光

資料來源：WHO, 2002, Global Solar UV Index: a practical guide⁽¹⁸⁾.

erature)； 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(如表 1-1 所臚列者)。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。

第二節 研究之重要性

受大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類於戶外環境遭受紫外線及

熱危害等物理性危害因子之暴露風險日增；且台灣地屬亞熱帶，因此如何預防紫外線與熱環境危害已成為重要課題。UVI 與 WBGT 分別為針對紫外光與環境熱暴露所廣泛應用之危害通識工具，該二系統警示各物理力於地表出現之強度，但並無依據暴露強度提供因暴露生成健康危害之資訊，致使使用者無法充分瞭解過度曝曬時可遭受之健康傷害。欲改善此缺陷與彌補資訊不足，發展以綜合生理指標的紫外線暴露與熱危害鑑定系統實屬必須。

第三節 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. 測量人體皮膚 TEWL、moisture、skin temperature、erythema 與 skin

pigmentation 隨不同環境溫濕度組合之反應與變化幅度，並評估各生理指標隨溫濕度變化之劑量效應關係(dose-response relationship)；

2. 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；
3. 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。

第四節 研究假設

本研究之主要研究假設包含：

1. 自然日光紫外線輻射可誘發皮膚急性與慢性生理變化；紫外線強度愈高，所產生之急性與慢性健康效應愈趨於嚴重；
2. 除引發皮膚急性與慢性效應外，日光紫外線亦會傷害皮膚障壁功能 (skin barrier function)；曝曬至皮膚之紫外線能量愈強，以 TEWL 顯示之皮膚障壁功能愈差；
3. Skin temperature、moisture、及 TEWL 隨環境溫濕度之綜合效應而改變，各皮膚生理指標之反應時程(time course)與變化幅度具一定差異；
4. 人體遭受日光紫外線與環境溫溼度影響時，個體間之主觀熱感知

(thermal sensation)隨個人感受不同而具差異顯著，但愈是處於極端環境下，主觀熱感知愈趨近一致；作為評估環境物理力影響之工具，主觀熱感知與客觀生理指標隨觀察之生理指標不同亦呈現不同程度差異。

第五節 名詞界定

1. 紫外線(ultraviolet light, UV)：抵達地表之日光由紅外線(infrared light, IR；佔 52.8%)、可見光(visible light, VIS；38.9%)與 UV(8.3%)所組成；紫外線可依波長區分為 UVA (315-400 nm)、UVB (280-315 nm)與 UVC (100-280nm)。當紫外線通過大氣臭氧層時，UVC 與絕大部分的 UVB 會被臭氧吸收，而 UVA 則不受影響。因此，能夠抵達地表之紫外線主要由 UVA (約 98%)與少量的 UVB (2%)所構成。
2. 紫外光指數(Global Solar UV Index, UVI)：UVI 為目前表示日光紫外線到達地表強度之主要指標，其指數可由 0 至 15 或 16，暴露等級區分為微量、低量、中量、高量與過量，單位為 $J/m^2/hr$ 。在正常的情況下，出現紫外線指數最高時段通常為每日 12 時至 14 時之間。
3. 皮膚障壁功能(skin barrier function)：皮膚是人類表面積最大之器官，且為人體阻擋外來危害之第一道防線，亦有防止體內水分散失之功能，這些功能總稱為皮膚障壁功能。皮膚障壁功能主要提供者為表皮

最外層之角質層(stratum corneum)，其主要由扁平長型角質細胞與環繞細胞周圍之脂肪所構成；厚度因部位而異，一般介於 10-20 μm 間。

對於皮膚傷害與吸收物質程度，皮膚障壁功能是重要之評估依據。

4. 經皮水分散濕度(transepidermal water loss, TEWL): 此一指標廣泛應用於評估皮膚障壁功能；測量方式為量測人體表皮水分以蒸氣型態、採被動擴散方式逸散至大氣中之多寡。當皮膚遭受物理性、化學性或生物性危害時會破壞皮膚障壁功能，因此在未自覺出汗之狀況下，所測量 TEWL 會比一般健康皮膚高。
5. 紅斑(erythema)：當皮膚受到傷害時，人體修復機能為供給受傷細胞足夠養分而增加皮膚微血流量，但若微血流量高於微血管擴張速度時，則會導致紅斑生成。一般人體皮膚之紅斑生成會在受到傷害後 24 至 72 小時之間到達高峰。
6. 黑色素沈澱(skin pigmentation)：紫外線是影響黑色素沈澱的主要因素；當紫外線照射至皮膚時會活化黑色素細胞(melanocyte)中的酪胺酸酶(tyrosinase)，進而誘發黑色素(melanin)生成，亦稱為 melanogenesis 或 suntan。此一反應可增加皮膚抵抗紫外線之危害，而顏色較深的皮膚能防禦能量較高的紫外線。一般人體皮膚之色素沈澱會在皮膚受紫外線曝曬後 7 至 14 日到達高峰。
7. 最小皮膚致紅劑量(minimal erythema does, MED)：皮膚受紫外線照射

時，除發生黑色素沈澱外，亦有紅斑生成(曬傷；sunburn)之現象；MED 為一客觀量測皮膚對紫外光耐受力之方式，數值愈高表耐受力愈好，其單位為每單位面積之微焦耳數(mJ/cm^2)。測量方式是將從未曝曬日光之皮膚(如背部、臀部)分為數個單位，各單位分別以由低到高不同劑量之紫外光曝曬 10 分鐘，而後觀察於 24 小時(皮膚紅斑反應標準時間)內能使單一單位完整曝曬面積完全變紅之紫外線劑量。

8. 皮膚溫度(skin temperature)：一般人體皮膚平均溫度為 33°C ，但皮膚溫度會隨著環境溫度而變化，因此評估人體熱舒適時，皮膚溫度為重要參考指標之一。
9. 皮膚濕度(moisture)：為水分停留在皮膚表面之含量，此指標不但會受環境氣候因子影響(如溫度、濕度等)，且個人排汗量差異亦會造成皮膚濕度的改變。
10. 熱舒適(thermal comfort)：美國冷凍空調協會(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)將熱舒適定義為：人體對於周遭環境(微氣候)舒適度之主觀滿意狀態。影響熱舒適的因子包括空氣溫度(air temperature)、平均輻射溫度(mean radiant temperature)、風速(air movement)、相對濕度(relative humidity)、衣著量(insulative clothing)與人體活動程度(activity level)。
11. 熱危害(thermal stress)：其概念與熱舒適相同，即當人體主觀感受對

於周遭熱環境舒適度呈不滿意或生理反應產生異常變化時，則表示人體目前正處於熱危害之環境(如極高溫或極低溫環境)。熱危害常以熱危害指數(Heat Stress Index)與綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index)作為評估指標。

12. 綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)：由有效溫度指數(Effective Temperature, ET)與修正有效溫度指數(Corrected Effective Temperature, CET)發展而來，過去用於評估與控制美國陸軍軍事訓練營之環境熱危害，目前則被廣泛地應用在評估工業熱危害。WBGT 可用公式直接計算，計算方式依室內或無日曬與室外有日曬之情況分別表示為： $WBGT_{indoor} = 0.7 T_{nwb} + 0.3 T_g$ 與 $WBGT_{outdoor} = 0.7 T_{nwb} + 0.2 T_g + 0.1 T_{db}$ ，其中 T_{nwb} 為自然濕球溫度； T_g 為黑球溫度； T_{db} 則為乾球溫度；單位以攝氏或華氏呈現。

第二章 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⁽²⁰⁾；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)⁽²¹⁾。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⁽²²⁾。

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 (transepidermal 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⁽²⁰⁾。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⁽²³⁾。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⁽²⁴⁾；(ii)重複、低於 MED 之 UVB 曝曬⁽²⁵⁾；(iii)UVA 與 UVB 同時曝曬時紫外線後，TEWL 皆呈上升趨勢⁽²⁶⁾。

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。Meguro et al.⁽²⁷⁾研究經單一劑量(2 單位 MED)或連續劑量(每日 0.5 單位 MED; 共曝曬 14 天)之 UVB 照射後，角質細胞間脂質多層結構之變化。研究結果顯示：暴露三天後，

去毛大鼠皮膚之 TEWL 顯著地上升，而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之一。Akitomo et al.⁽²⁸⁾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)對皮膚障壁功能之影響；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。綜合以上研究發現：UVB 在活體實驗中(*in vivo*)可直接活化皮脂腺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.⁽²⁹⁾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/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 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.⁽³⁰⁾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⁽³¹⁾。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⁽³²⁾；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⁽⁴⁾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。Diffey et al.⁽³³⁾(1987)的研究顯示：人體皮膚經 UVA 與 UVB 照射後 24 小時之曝曬劑量對數與紅斑反應間雖未顯示顯著之迴歸關係，但 UVA 照射後的紅斑

生成呈現雙相(biphasic)反應：在暴露發生後紅斑立即顯現，並於曝曬後 6 至 24 小時間上升至並穩定維持在高峰。Park et al.⁽³⁴⁾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。Suh et al.⁽³⁵⁾在為期六個月的研究中，觀察寬頻 UVA (BBUVA)、窄頻(narrow-band) UVB (NBUVB)、以及寬頻 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 至 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⁽³⁶⁾。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.⁽³⁷⁾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⁽³⁸⁾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閾劑量之效果—閾劑量之提升以照射 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⁽³⁹⁾，亦能控制皮膚微循環⁽⁴⁰⁾。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⁽⁴¹⁾。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.⁽⁴²⁾於不同環境溫度(16, 24, 32°C)與相對濕度(35 ± 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.⁽⁴³⁾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 W/m²)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。Ogawa et al.⁽⁴⁴⁾利用三種不同波長的射線(近紅外線、中紅外線與遠紅外線)

於相同有效輻射溫度(effective radiant temperature)下照射受測者之皮膚，觀察受試者於靜坐時的出汗反應。透過比較經照射與未照射之皮膚，發現不同輻射線劑量可引發不同出汗反應。此外，Hodder and Parsons⁽²²⁾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 $200\text{W}/\text{m}^2$ 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.⁽⁴⁵⁾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.⁽⁴⁶⁾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⁽²¹⁾。美國冷凍空調協會(ASHRAE)在其 ASHRAE Standard 55-2004 “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”⁽⁴⁷⁾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(slightly warm)、剛好(neutral)、微涼(slightly 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^(48, 49, 50)，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⁽²¹⁾。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⁽¹⁶⁾。

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。

第七節 研究架構

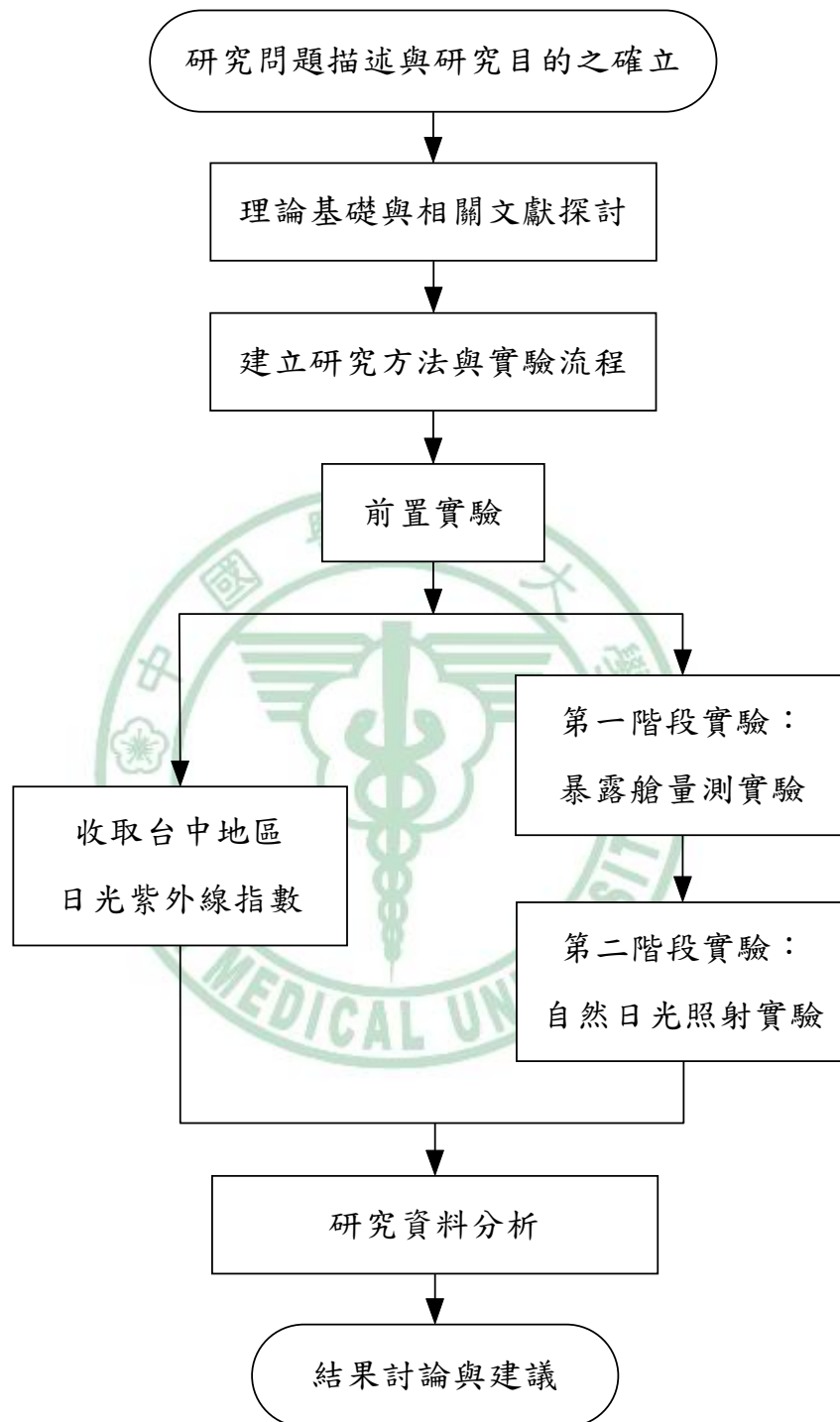


圖 2-1 本研究之研究架構與各階段進行之任務

如圖 2-1 所示，本研究之進程依以下步驟進行：

1. 研究問題描述與研究目的之確立：描述研究之核心問題：1) 紫外線之暴露會引發人體皮膚產生何種生理反應？2) 人體處於熱危害環境之狀態下，個人主觀認知與客觀生理反應間之異同為何？研究目的亦即以本研究實驗方法找尋上述問題之解答。
2. 理論基礎與相關文獻探討：瞭解過去研究人體皮膚於紫外線與熱環境暴露時，常用的量測工具與生理反應，並評估其應用於本研究作為指標之適用性，同時參酌不同研究建立之理論基礎與實驗結果，作為本研究之參考。
3. 建立研究方法與實驗流程：選定研究對象、實驗中所使用之儀器或工具、資料收集與分析方法，並設定研究實驗期程與流程。
4. 前置實驗：目的為評估受試者不同皮膚部位作為暴露量測點之適用性，並觀察實驗儀器之使用限制，以作為建立第一與第二階段實驗時之基線資料；實驗將於第三章中詳述。
5. 第一階段實驗(暴露艙量測實驗)：檢驗人體於各環境溫濕度組合下，對應之皮膚生理效應與個人主觀熱感知，並觀察兩者間之關聯性，據以建立第二階段實驗時之比較基準值；相關實驗方法與流程於第三章中詳述。
6. 第二階段實驗(自然日光照射實驗)：觀察暴露於自然日光與戶外不同

溫濕度環境時，人體皮膚生理指標與主觀熱感知之變化，並瞭解其急性與累積性之健康效應為何；相關實驗方法與流程於第三章中詳述。

7. 收取台中地區日光紫外線指數：評估受試者於本研究進行(第一與第二階段實驗)時，日常戶外活動之日曬情況，並透過第二階段實驗時各受試者暴露期長短與對應紫外線指數之收集，決定受測者之實際暴露劑量；紫外線指數為中央氣象局大氣物理科所提供之每日紫外線指數即時測報。
8. 研究資料分析：統整第一與第二階段所收集之數據資料，利用統計方法分析實驗結果。
9. 結果討論與建議：針對觀察所得現象作深入討論與分析，檢視是否達研究之預設目標，亦探討本研究中之研究方法與其限制，並於討論中建議研究成果可能之應用方式。

第三章 研究方法

第一節 研究設計

本研究主要分三階段依序進行，包含前置實驗、第一階段實驗(暴露艙量測實驗)、及第二階段實驗(自然日光照射實驗)。在各階段實驗中探討下列皮膚生理反應受環境因子影響之變化與幅度以及作為日光紫外線曝曬生理指標之可能性：TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、E-index、M-index，且比較上述生理反應變化於研究中各階段之差異，以嘗試建立反應-時程關係(time-course relationship)劑量-反應關係(dose-response relationship)。第一與第二階段實驗除探討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者主觀熱感知，以評估於不同環境物理因子影響下，受試者自覺反應之變化。

以下為各階段之研究設計與實驗目的：

3.1.1 前置實驗

本階段所進行之實驗為前置型實驗(preliminary study)，目的在探討不同皮膚部位各生理指標於無自然紫外光曝曬情形下隨環境溫度及相對濕度改變產生之變化，以決定後續實驗中使用之暴露點(exposure site)與控制點(control site)，並分析實驗儀器之使用限制，據以設計暴露艙量測實驗及自然日光照射實驗之實驗時程與標準流程。所量測皮膚部位包括：

前臂外側、前臂內側、上臂衣袖遮蓋處、額頭、後背腰際處。詳細實驗內容、步驟與資料收集方法於第四節說明。

3.1.2 暴露艙量測實驗

本階段實驗目的為建立在無自然紫外光曝曬情形下各皮膚生理指標與個人主觀熱感知效應，隨環境溫度及相對濕度產生變化之趨勢，俾以：

1) 評估以上生理指標反應人體對熱環境感受之顯著性；2) 觀察個人熱舒適感隨熱環境因子改變產生之變化；及 3) 探討上述生理指標作為自然紫外光曝曬危害評估工具時，可能遭受戶外溫濕度之影響。相關實驗內容、步驟與資料收集方法於第四節中詳述。

3.1.3 自然日光照射實驗

本階段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，皮膚生理指標與主觀熱感知所產生之變化，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

前置受試人員包含 3 男 5 女，平均年齡 24.5 ± 7.8 歲，平均身高 165.0 ± 6.4 公分，平均體重 59.1 ± 13.4 公斤，平均 BMI 為 $21.5 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 。其中 4 人(2 男 2 女)同意並於前置實驗完成後繼續參與暴露艙量測與自然日光照射實驗。

暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗之研究對象相同，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(「個人基本資料」問卷見附錄 A-1)。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。如附錄 A-2 所示，「受試人員指引說明」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。此外，研究人員亦提醒受測人員於實驗過程中若感身體不適時，應立即向研究人員反應並停止實驗。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(「受試人員同意書」見附錄 A-3)。受測

人員之基本資料分析結果如下：

3.2.1 基本人體計測資料

表 3-1 所示為受試人員之性別、年齡、身高、體重，及身體質量指數 (Body Mass Index, BMI)。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 $22.0 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$ 。

3.2.2 皮膚生理狀況自我評估

「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%)。調查結果見表 3-2。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

表 3-1 暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗受試人員之人體計測資料

	男	女	全體
人數 (n)	6	6	12
平均年齡 (歲)	22.8 ± 1.7	23.0 ± 1.7	22.9 ± 1.6
平均身高 (公分)	172.7 ± 4.1	160.7 ± 6.2	166.7 ± 8.0
平均體重 (公斤)	73.4 ± 11.9	51.4 ± 3.3	61.6 ± 13.8
平均 BMI (kg/m ²)	24.3 ± 3.5	20.1 ± 1.7	22.0 ± 3.3

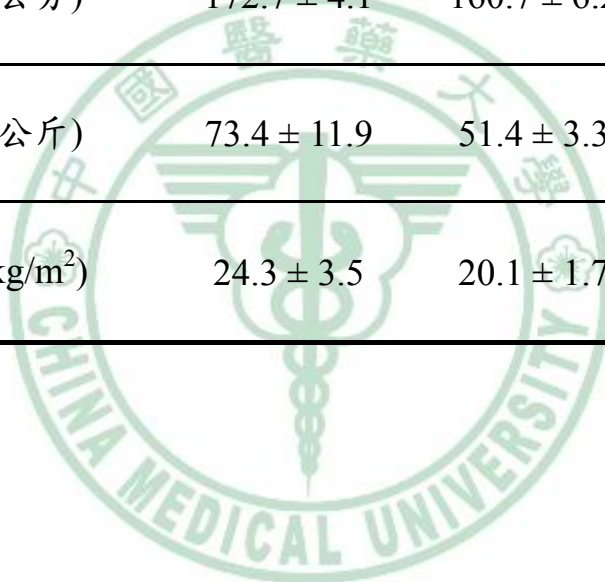


表 3-2 受試人員自覺皮膚生理狀況

	男(人數)	女(人數)	全體(人數)
1. 皮膚乾澀	沒有：3	沒有：3	沒有：6
	偶爾：3	偶爾：2	偶爾：5
	經常：0	經常：1	經常：1
2. 皮膚紅腫	沒有：2	沒有：3	沒有：5
	偶爾：3	偶爾：3	偶爾：6
	普通：1	普通：0	普通：1
3. 皮膚刺激(癢、痛)	沒有：2	沒有：3	沒有：5
	偶爾：3	偶爾：3	偶爾：6
	普通：1	普通：0	普通：1



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。

3.2.3 夏季戶外活動狀況

由於本研究實驗流程中包含日光照射實驗，因此在實驗前必須先行瞭解各受試人員於夏季白日期間外出活動情況，如外出時間、皮膚遭日曬時間、外出活動地點、使用防護措施與否、以及易受陽光照射之皮膚部位，以避免非實驗期間日曬干擾的可能。

表 3-3 為問卷調查結果。在「夏季白日外出時間」與「夏季白日外出遭日曬時間」項目中將其選項分級為：每日 1 小時以下、1-2 小時、2-4 小時、4 小時以上。統計結果發現不論是外出時間或遭日曬時間，有半數之受試人員在 1-2 小時內。外出時間部份 5 人勾選 2-4 小時；相對地日曬時間中有 5 人填寫為 1 小時以下。

問卷中將「平常外出之活動地點」分類為：室內為主、室外為主、室內外皆有(室外較長)、室內外皆有(室內較長)、室內外皆有(兩者無顯著差異)。結果顯示男性與女性間之戶外活動分類地點一致，包含室內為主($n = 2$)以及室內外皆有(室內較長)($n = 4$)，顯示受試人員夏季之活動地點大都處於室內。

「平日外出是否會使用防護措施」項目中之選項分為會與不會。若

表 3-3 受試人員於 2008 年夏季戶外活動狀況

	男(人數)	女(人數)	全體(人數)
夏季 ^a 白日 ^b 外出時間	1 小時以下：0	1 小時以下：1	1 小時以下：1
	1-2 小時：4	1-2 小時：2	1-2 小時：6
	2-4 小時：2	2-4 小時：3	2-4 小時：5
夏季白日外出 遭日曬時間	1 小時以下：3	1 小時以下：2	1 小時以下：5
	1-2 小時：3	1-2 小時：3	1-2 小時：6
	2-4 小時：0	2-4 小時：1	2-4 小時：1
平常外出之 活動地點	室內為主：2	室內為主：2	室內為主：4
	室內外皆有	室內外皆有	室內外皆有
	(室內較長)：4	(室內較長)：4	(室內較長)：8
平日外出是否 使用防護措施	會：0	會：6	會：6
	不會：6	● 使用防護衣物：5	不會：6
		● 防曬乳(霜)：5	
	● 使用陽傘：1		
		不會：0	
易受陽光照射 之皮膚部位 (依圈選頻率 排列)	手掌與手背：3	顏面：3	顏面：5
	顏面：2	頸部：1	手掌與手背：4
	下臂(不含手掌 與手背)：1	手掌與手背：1	頸部：1
		小腿：1	下臂(不含手掌 與手背)：1
			小腿：1

^a 夏季期間為 5 月至 8 月

^b 白日為上午 7 時至晚間 7 時。

受試人員勾選「會」，則請其進一步填寫常用防護措施，含防護衣物、陽傘、防曬乳或防曬霜、或其他。分析發現結果呈現極端現象，所有男性受試人員皆不會使用防護措施，而所有女性受試人員均會採取防護措施，其中 5 人搭配使用防護衣物與防曬乳(霜)、1 人選擇使用陽傘。

在外出活動時易受陽光照射之皮膚部位方面。因自然日光照射實驗中之受試人員暴露點為前臂外側，故在先期問卷中調查受試人員平日外出時易受陽光曝曬之皮膚部位。在此項目中依照受試人員平日外出時皮膚部位之曝曬頻率依序填寫；皮膚部位分為：顏面、頸部、上臂、下臂(不含手掌與手背)、手掌與手背、小腿、大腿。調查發現約近半數受試人員最常受日曬的皮膚部位為顏面(n=5)；其次為手掌與手背(n=4)。

3.2.4 夏季衣著量

問卷同時調查受試人員於夏季期間(5 至 8 月)白日(上午 7 點至晚間 7 點)外出時之衣著情況，以瞭解各受者之平日衣著量，並評估可能遭日曬之皮膚部位。男性上身最常穿著之衣物為短袖 T-shirt，其次短袖襯衫；女性上身最常穿著之衣物亦為短袖 T-shirt，且所有女性皆會加穿外套(表 4-3)。男性下半身最常穿著褲子，其中偏好長褲或短褲人數各半；而女性則以穿著長褲者較多。足部衣物大都選擇一般鞋子，但半數男性受試人員經常穿著拖鞋。

表 3-4 夏季白日外出時最常穿著之衣物(衣物選項依頻率高低排列，最高者為 1)

	男(人數)	女(人數)
上身	1. 短袖 T-shirt : 6 2. 短袖襯衫 : 3	1. 短袖 T-shirt 與外套 : 6
下身	1. 褲子(長褲) : 3 2. 褲子(短褲) : 3	1. 褲子(長褲) : 4 2. 褲子(短褲) : 3
足部	1. 一般鞋子 : 3 2. 拖鞋 : 3 3. 襪子(短襪) : 3	1. 一般鞋子 : 6 2. 襪子(短襪) : 4 3. 襪子(長襪) : 1



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」(空白記錄表見附錄 A-4)。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)⁽⁵¹⁾ 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⁽⁴⁷⁾ 標準問卷為基礎所發展之中文問卷，如附錄 B 所示。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

3.4.1 前置實驗流程

前置實驗場所為中國醫藥大學立夫教學大樓 16 樓職業安全與衛生學系環境暴露艙。實驗於暴露艙內依照下列溫濕度組合進行共 9 次量測；溫度為 22、28、與 34°C 及溼度為 60、70、與 80%。圖 3-1 所示者為前置實驗流程與各皮膚生理指標量測方法。受測人員於測量前先進入暴露艙維持靜止狀態 20-30 分鐘，以適應暴露艙內之熱環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，分別於受測人員前臂外側距腕關節約 10 cm 處依序測量皮膚溼度、TEWL (及皮膚溫度)、皮膚溼度、E-index 及 M-index 值、皮膚溼度、TEWL (及皮膚溫度)、皮膚溼度。皮膚溼度於系列測量中進行四次，分別為第一次及第二次 TEWL 測量前後；各量測收取 4 次測量值，每次 10 秒。四次皮膚溼度測量間之時間間隔為約 2 分鐘。量測 TEWL 與皮膚溫度時先將 probe 靜置於皮膚表面 3 秒，而後收取連續 120 秒之數據。兩次 TEWL 測量之時間間隔為 4 分鐘。E-index 及 M-index 則收取連續 10 次(每秒一次)之測量值。當暴露艙內之環境溫度與相對濕度分別固定於 28°C 與 70%時，測量之人體部位擴大為：上臂內側衣袖遮蓋處、前臂外側、前臂內側、額頭與後背腰際處(圖 3-2)，以比較選取暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗時之皮膚暴露與控制部位。

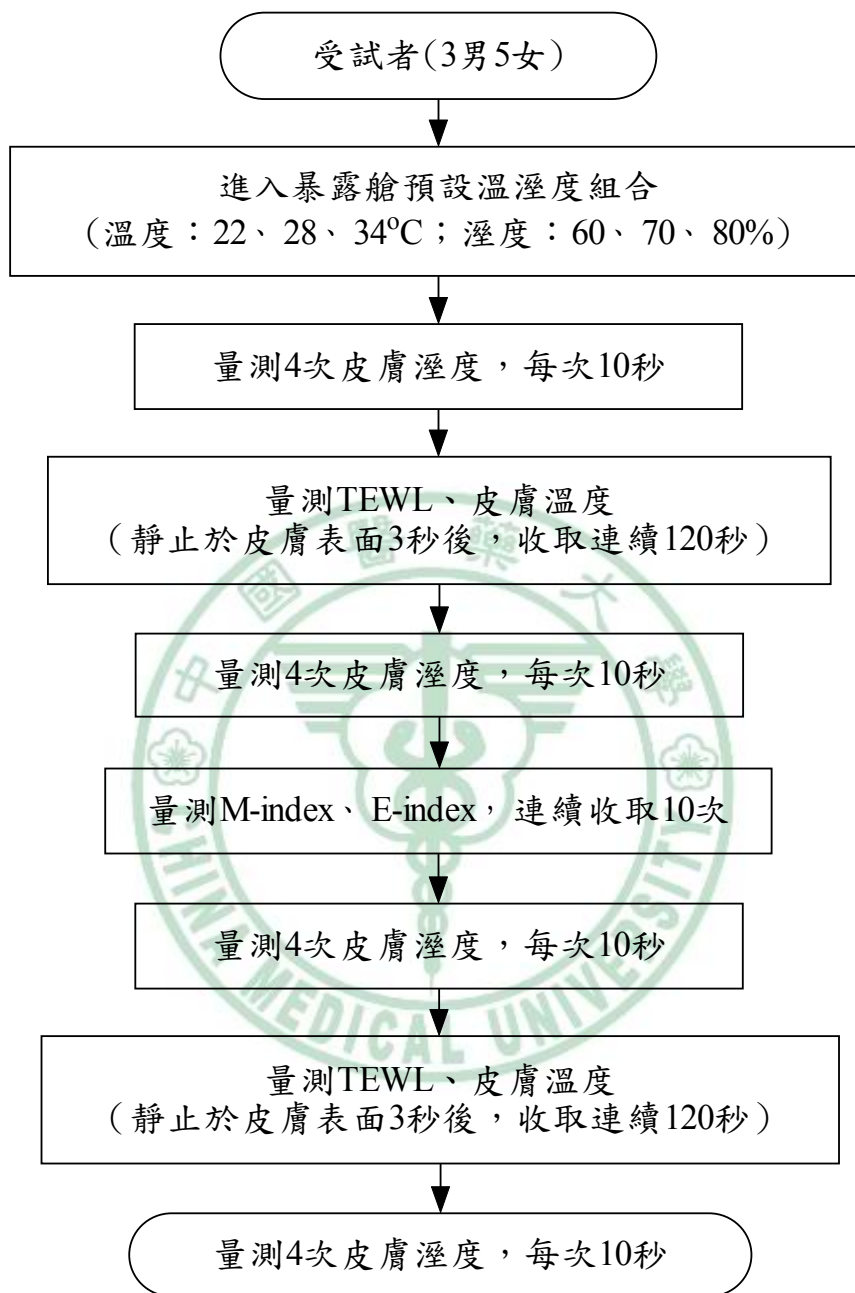


圖 3-1 前置實驗之實驗流程與皮膚生理指標量測方法

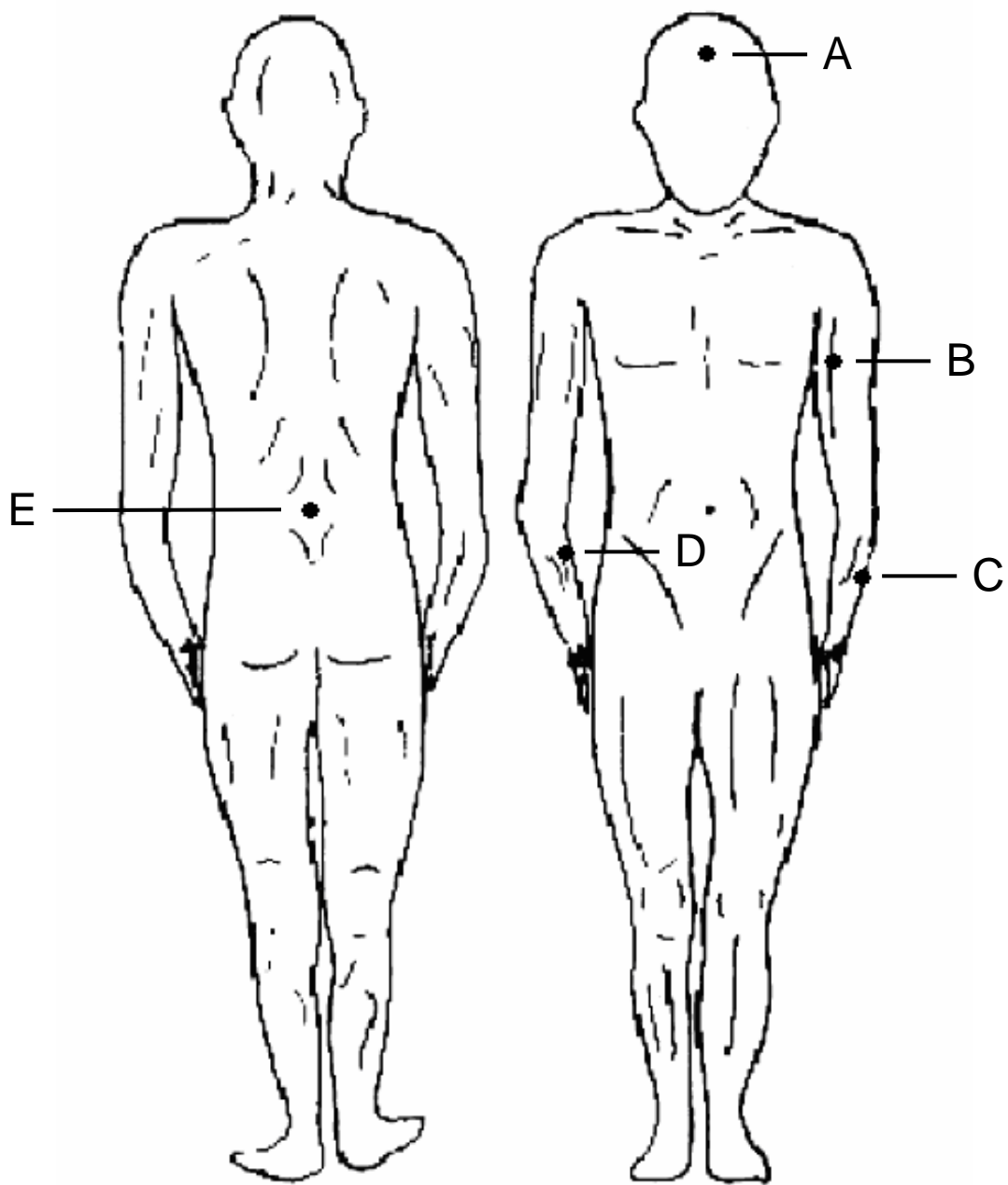


圖 3-2 前置實驗中受測人員於環境溫度 28°C、相對濕度 70%時測量之 5 處人體皮膚部位(A：額頭；B：上臂內側衣袖遮蓋處；C：前臂外側；D：前臂內側；E：後背腰際)

3.4.2 暴露艙量測實驗流程

暴露艙量測實驗之實驗場所為中國醫藥大學立夫教學大樓 16 樓職業安全與衛生學系環境暴露艙。實驗共進行 12 次，包含下列環境溫濕度組合：溫度為 25、28、31、與 34°C；溼度為 60、70、與 80%。圖 3-3 為暴露艙量測實驗之流程與皮膚生理指標量測方法。受測人員於測量前先進入暴露艙維持靜止狀態 20-30 分鐘，以適應暴露艙內之熱環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，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 處依序測量皮膚溼度、TEWL (及皮膚溫度)、E-index 及 M-index 值、與皮膚溼度。皮膚溼度於系列測量中進行兩次，分別為最初與最後；各量測收取 4 次測量值，每次 10 秒。TEWL 與皮膚溫度共量測 90 秒；E-index 及 M-index 則收取連續三次(每秒一次)之測量值。此外，實驗中以問卷方式收取受試人員於暴露艙內對各溫溼度之主觀感受，共計 2 次，分別於進入暴露艙環境 20-30 分鐘後填寫一次，並於所有皮膚指標測量結束後再填寫一次。

3.4.3 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

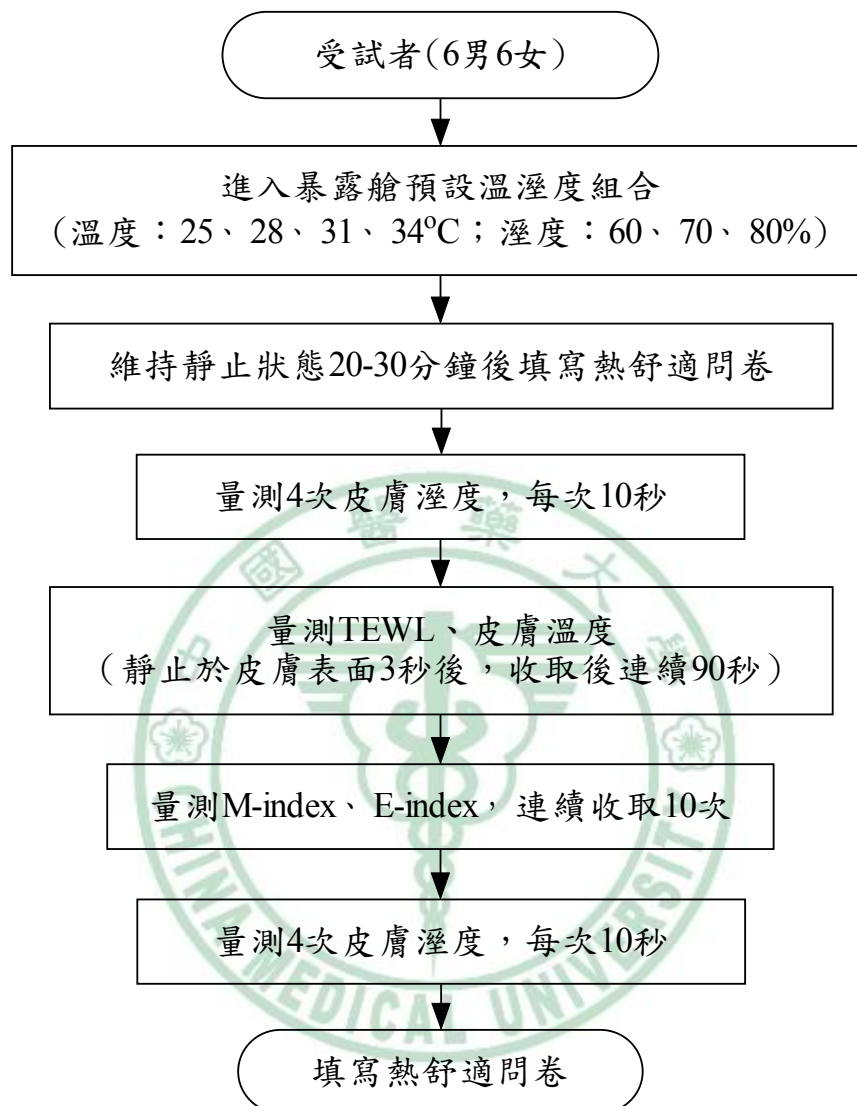


圖 3-3 暴露艙量測實驗之實驗流程及皮膚生理指標、人體熱舒適感之測量調查方法

臂外側測量處不得施用防曬、乳液、化妝、及藥用等產品。

戶外實驗進行之地點為本校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 3-4 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。

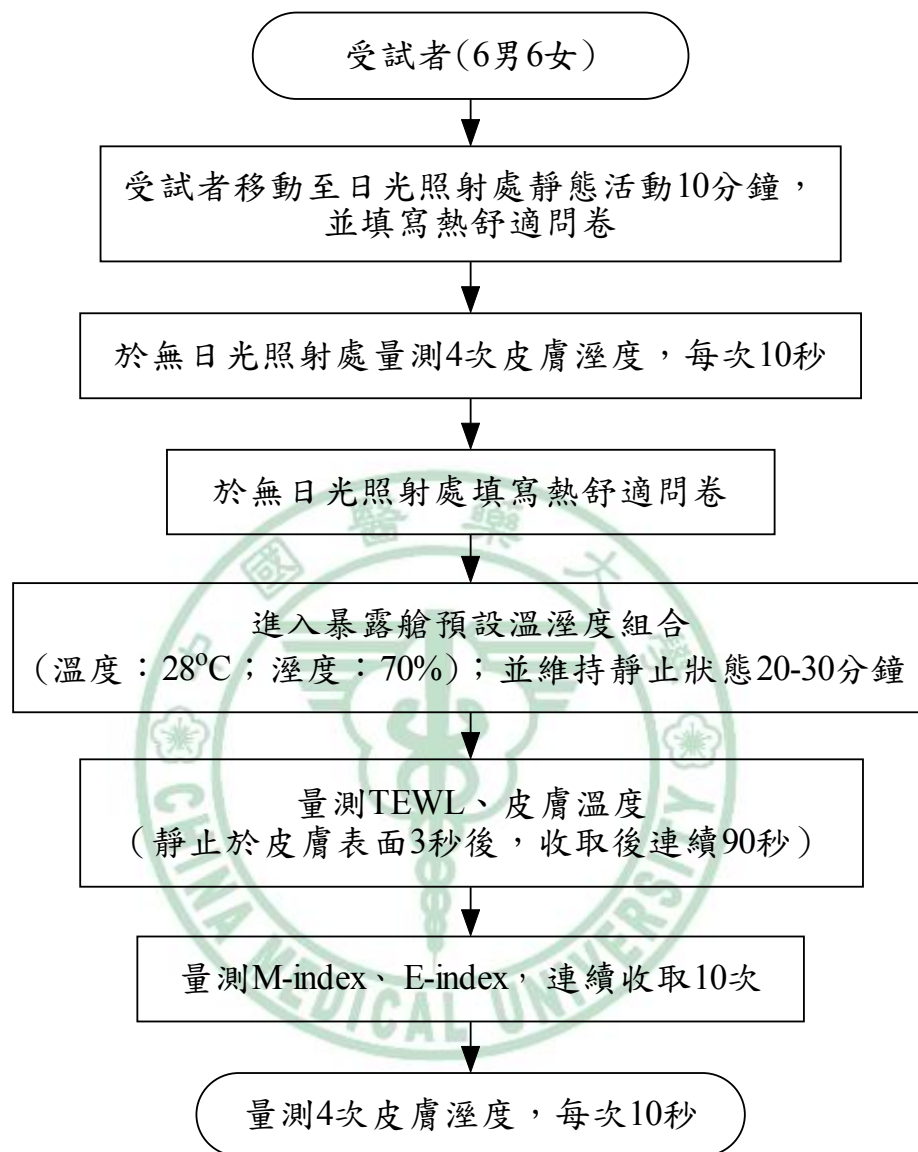


圖 3-4 自然日光照射實驗之實驗流程及皮膚生理指標、人體熱舒適感之測量調查方法

3.4.4 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，收集台灣中部地區 97 年夏季(7 至 9 月)每日紫外線指數(UVI)即時測報資料⁽⁵⁴⁾，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 J/m²/hr。97 年 7 至 9 月之逐日、逐時 UVI 即時測報值收錄於附錄 C。

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 $UVI_{Bihourly}$ 為自戶外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 J/m²/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 資料統計與分析

3.5.1 前置實驗結果統計分析

本階段實驗資料處理著重於評估當暴露艙之環境溫濕度分別固定於 28°C 與 70% 時，上臂內側衣袖遮蓋處、前臂外側、前臂內側、額頭與後背腰際處等不同部位皮膚各生理指標間之差異。各部位皮膚生理指標之平均值與標準差以誤差柱狀圖(error bar graph)表示，並以一方分類變異數分析(Ony-way ANOVA)檢定各部位皮膚之量測值是否達顯著差異 (p -value < 0.05)。若差異達統計顯著性，則進一步以上臂內側衣袖遮蓋處皮膚之測量值為基準，利用 Scheffé's 多重比較法(Scheffé's multiple-comparisons procedure)⁽⁵²⁾檢定各皮膚部位與基準值之差異是否達顯著性。

3.5.2 暴露艙量測實驗結果統計分析

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)及皮膚測量部位(上臂內側、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除以誤差柱狀圖呈現外，並以指標值對環境溫、濕度改變之線性分佈作圖，探討不同環境因子變化對皮膚生理指標之影響與幅度。在不同溫度與濕度所量測之生理指標利用 One-way ANOVA 進行檢定，評估單一因子(環境溫度、相對濕度)對生理

指標之影響是否達顯著差異(p -value < 0.05)。若差異達統計顯著性，則利用 Scheffé's 多重比較法觀察不同溫度間(相同濕度)或不同濕度間(相同溫度)之皮膚生理指標量測值是否達統計差異。實驗之環境溫濕度進一步轉換成 WBGT，分析生理指標平均值對 WBGT 之分佈與其個別受測者數值之散佈，並於散佈圖(scatter plot)中推導線性迴歸方程式(linear regression equation)。全體、男性與女性之皮膚生理指標測量值以表列方式呈現，並使用學生氏 t 檢定(student's t test)各溫濕度間男女生理指標是否達顯著差異。實驗中前臂外側所量測之皮膚生理指標，含 TEWL、皮膚溫度與皮膚濕度，亦以兩兩對應方式觀察其散佈，分析各生理指標配對間之反應-時程關係，及其受環境溫度、相對濕度、性別之影響。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)：以皮爾森積差相關係數(Pearson product-moment correlation coefficient, r)呈現皮膚生理指標與環境熱因子或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：透過線性迴歸探討皮膚生理指標與環境熱因子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。

在本階段實驗中，受測者主觀熱舒適隨環境溫濕度改變產生之變化，是於實驗前後以問卷調查熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)共兩次。兩次 TSV 取其差異值(Δ TSV)對應 WBGT 之變化，檢驗各溫濕度組合之實驗期間受測者熱適應是否於生理指標測量前即已達成。此

外，為研究受測者熱感知隨環境溫濕度改變之變化並量化其趨勢，受測者於單次測量時(特定環境溫濕度組合)前後兩次 TSV 取其平均值，並對應環境溫度、相對濕度、及 WBGT 值作分佈圖，評估主觀熱感知受溫濕度之獨立與綜合影響。主觀認知對應環境溫度分佈中之 TSV 為各受測者於不同濕度測量值之平均值；對應環境濕度分佈之 TSV 為不同溫度平均值。相同環境條件下，主觀認知與客觀生理反應間之差異則以前後兩次 TSV 平均值對應不同生理指標之散佈進行分析。TSV 對應生理指標之散佈分析進一步依性別及皮膚部位分類，以探討環境溫度或相對濕度對上項分佈之影響以及該影響是否因性別、皮膚部位而異。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：透過線性迴歸探討主觀感知對應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(multiple regression analysis)方法檢驗環境溫度、環境相對濕度、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。暴露艙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(stepwise regression)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。

3.5.3 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探討皮膚生理指標變化與長期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。

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。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、偏迴歸係數、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子大於 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。

3.5.4 室內與戶外皮膚生理指標變化之比較

為比較本研究中所採用之各項皮膚生理指標在未遭受與遭受日光紫外線輻射狀況下變化之差異，本研究將各受測人員於暴露艙量測實驗與自然日光照射實驗中前臂外側與上臂內側各皮膚生理指標之比值對比，亦即計算暴露艙量測實驗中前臂外側與上臂內側指標比值除以自然日光照射實驗中前臂外側與上臂內側指標比值之商數，並以學生氏 t 檢定二階段實驗所得之皮膚生理指標比值間是否具統計顯著差異，以評估相對於環境溫濕度等熱因子，日光照射對於人體皮膚生理之健康效應。

第四章 研究結果與討論

第一節 前置實驗結果

圖 4-1 所示為前置實驗中於環境溫度 28°C 及相對溼度 70% 時，各身體部位第一與第二次量測之平均 TEWL 值。第一與第二次個別量測所得之不同身體部位 TEWL 變化詳見於附錄 D (圖 D-1 與 D-2)。前臂內側與額頭皮膚之 TEWL 平均值與變異幅度較高，且以額頭最為明顯。後腰際皮膚 TEWL 較前臂外側與上臂為高(約 7-8 g/m²/hr)。相較之下，前臂外側與上臂所測得之 TEWL 皆較為穩定，且兩者接近(約 5 g/m²/hr)，同為不同身體部位中之最低值。不同部位皮膚之 TEWL 以 One-way ANOVA 檢定呈現顯著差異(p -value = 0.025)；進一步以 Scheffé's 進行不同部位多重比較時發現上臂與額頭間之差異較為顯著(p -value = 0.052)，其他部位兩兩比較則未發現明顯之差異。

五處皮膚溫度(兩次測量之平均值)範圍皆在 29.3°C 至 30.2°C 之間(圖 4-2)。One-way ANOVA 檢定之結果顯示各部位間皮膚溫度差異達統計顯著性(p -value = 0.008)；故進一步使用 Scheffé's 執行多重比較發現前臂內側與額頭部位之皮膚溫度具顯著差異(p -value = 0.019)。第一與第二次個別量測得之不同部位皮膚溫度變化分別見附錄圖 D-3 與 D-4。

額頭部位之平均皮膚濕度明顯高於其他皮膚部位(圖 4-3)。在環境溫

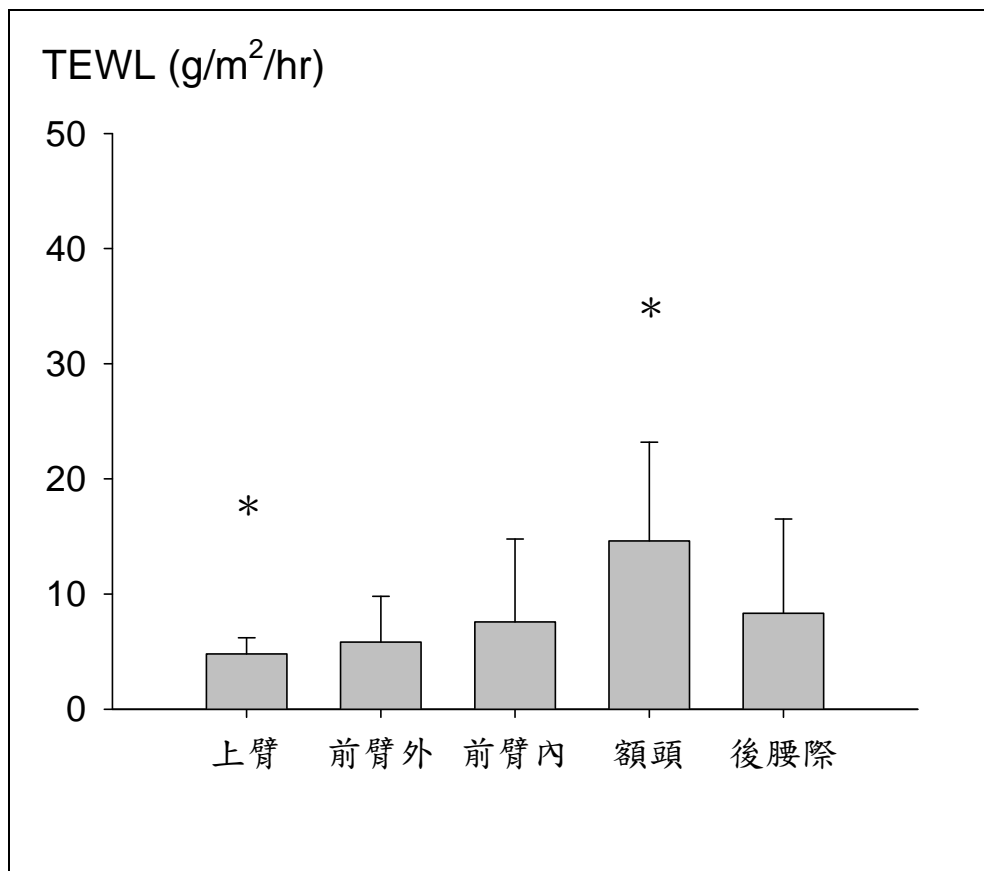


圖 4-1 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差；*表統計顯著差異(p -value = 0.052)

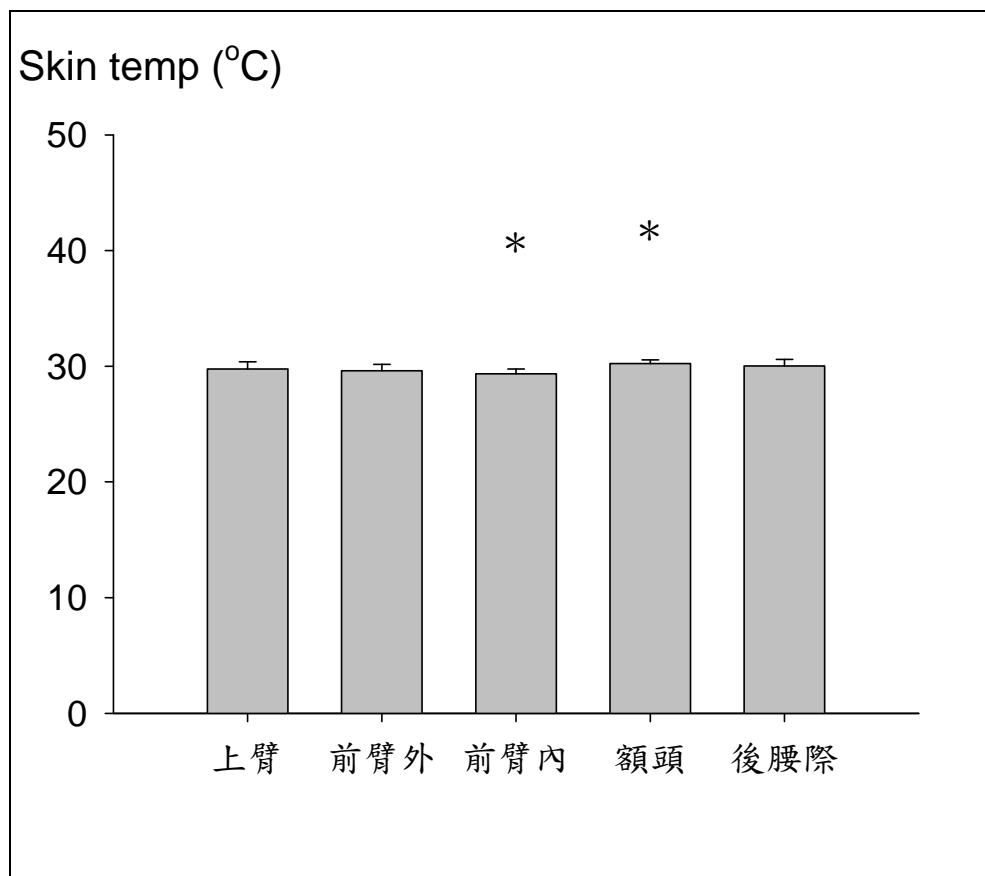


圖 4-2 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚溫度 (skin temp)。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差；*表統計顯著差異(p -value = 0.019)

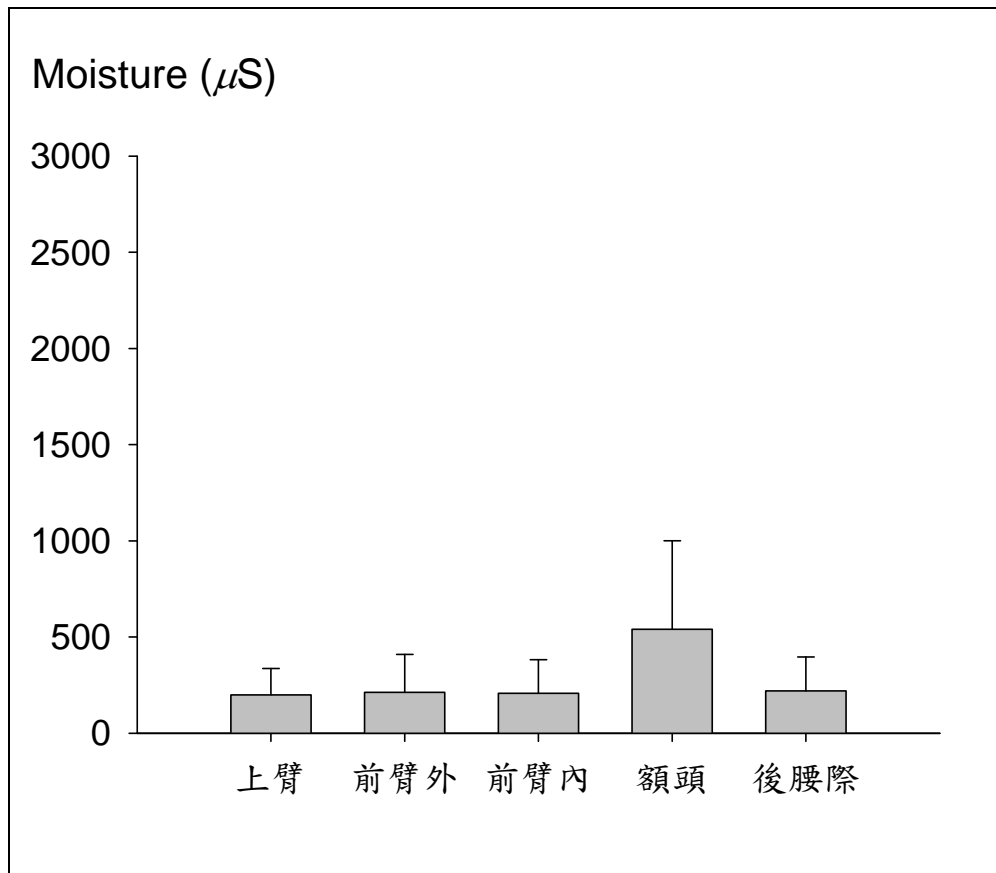


圖 4-3 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚濕度 (moisture)。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差

度 28°C 與相對溼度 70% 時，其餘四處皮膚之平均濕度約為 200 μ S。各部位間之皮膚濕度以 One-way ANOVA 檢定未達統計顯著差異結果 (p -value = 0.080)。第一與第二次皮膚濕度量測之平均值，以及第三與第四次之平均值分別見附錄圖 D-5 與 D-6。

圖 4-4 與 4-5 所示為環境溫度 28°C 與相對溼度 70%時，各皮膚部位之 E-index 及 M-index 分佈。E-index 除額頭皮膚明顯較高外，其餘部位數值約界於 13 至 15 之間；M-index 在同樣溫溼度狀況下，各部位數值約分布於 32 至 37 間。One-way ANOVA 檢定之結果顯示：不同皮膚部位之 E-index 與 M-index 差異均達統計上之顯著性 (p -value < 0.001 for E-index and = 0.001 for M-index)。其中，E-index 以 Scheffé's 多重比較發現額頭皮膚 E-index 與其他部位皮膚之 E-index 皆達統計顯著差異 (p -value \leq 0.001)；M-index 以 Scheffé's 多重比較則發現後腰際皮膚之 M-index 與前臂外側 (p -value = 0.035)、額頭部位 (p -value = 0.040) 達顯著差異。

第二節 暴露艙量測實驗結果

4.2.1 室內環境熱因子對 TEWL 之影響

依據前置測量結果，在暴露艙量測實驗中分別選定上臂內側與前臂外側作為皮膚生理指標暴露及對照測量點。圖 4-6、4-7 及 4-8 分別顯示全體受測者、男性、及女性上臂內側與前臂外側 TEWL 隨環境溫濕度改

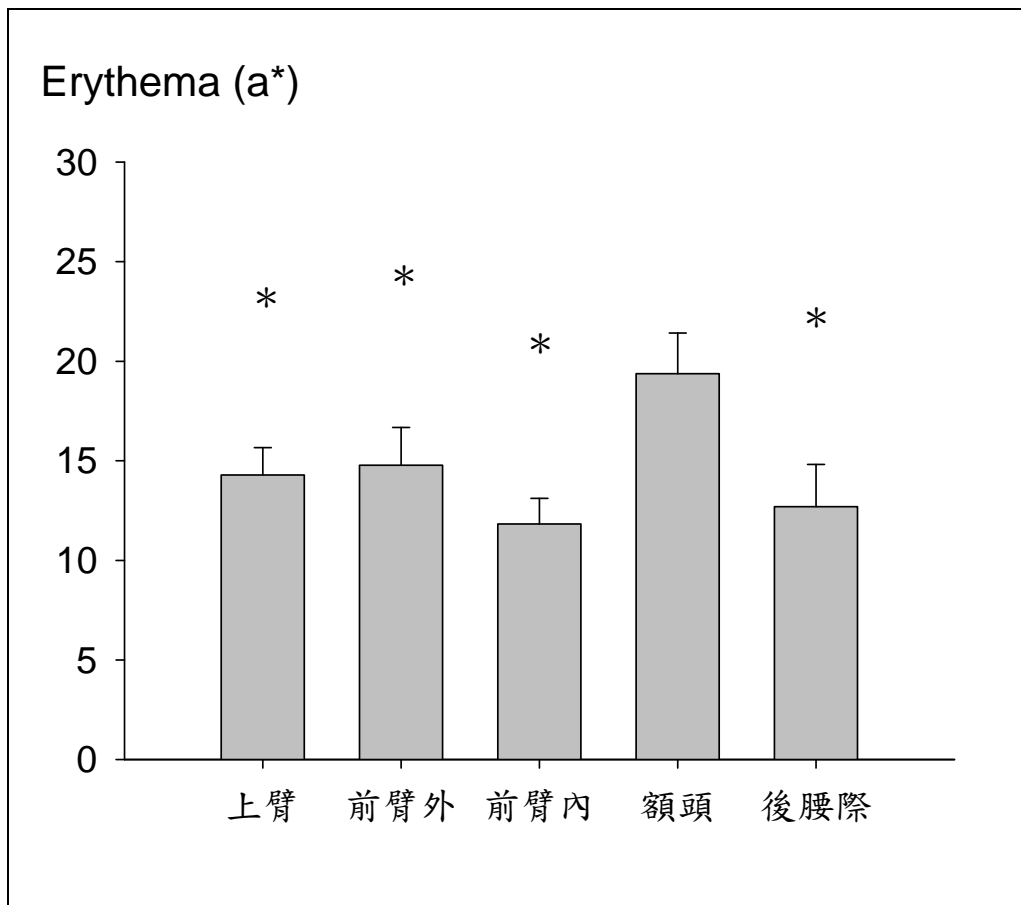


圖 4-4 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之紅斑指數 (erythema-index, E-index)；圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差。*表與額頭數值相較具統計顯著差異(p -value ≤ 0.001)

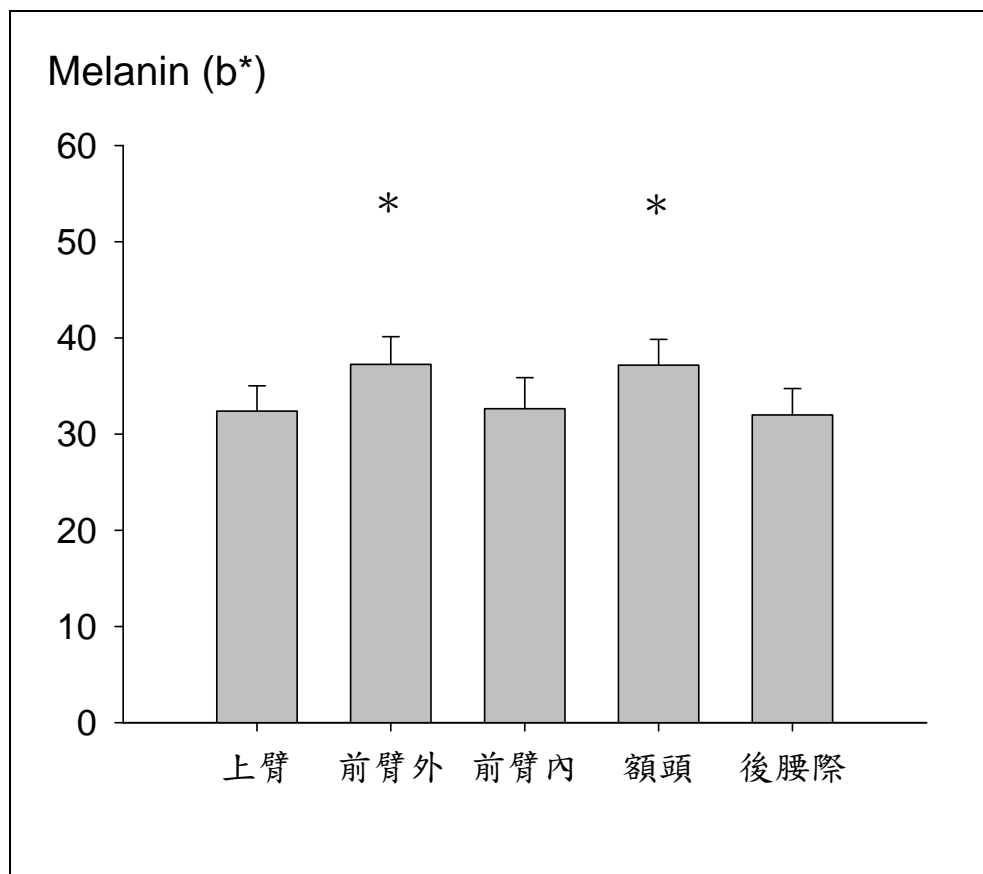


圖 4-5 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之黑素指數 (melanin-index, M-index)；圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差。*表與後腰際數值相較具統計顯著差異(p -value < 0.05)

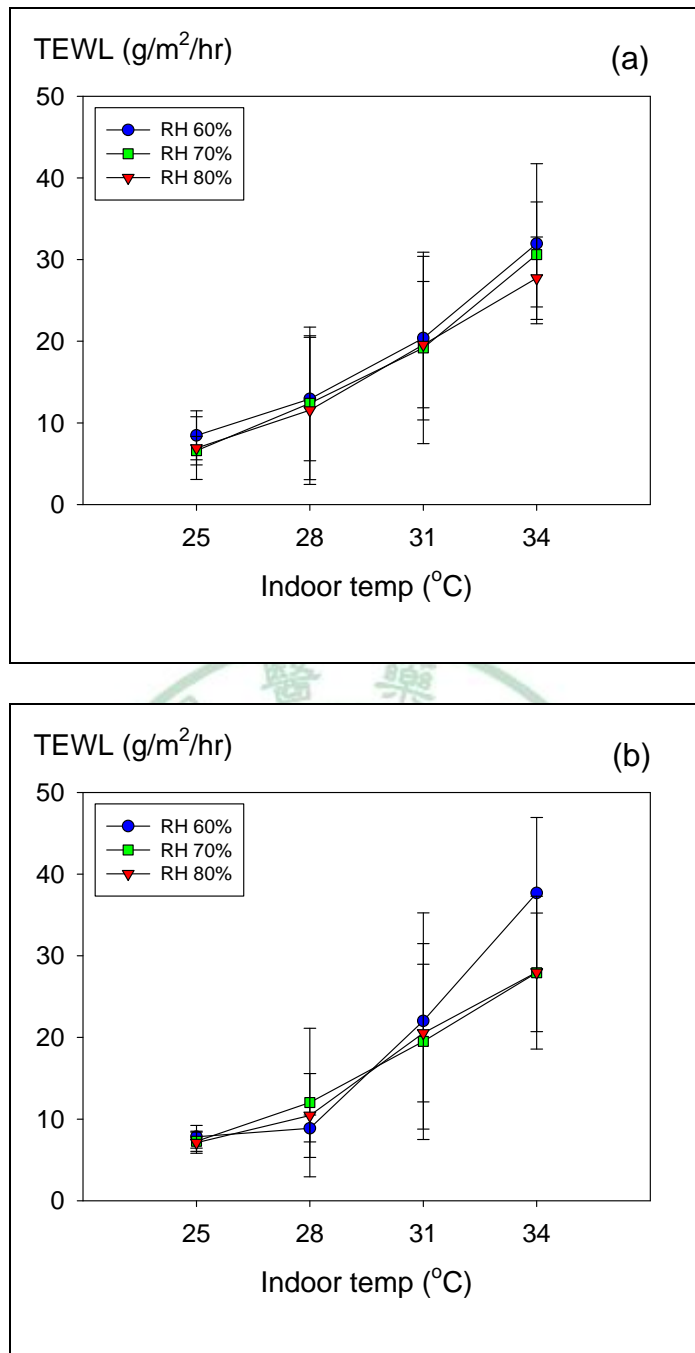


圖 4-6 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

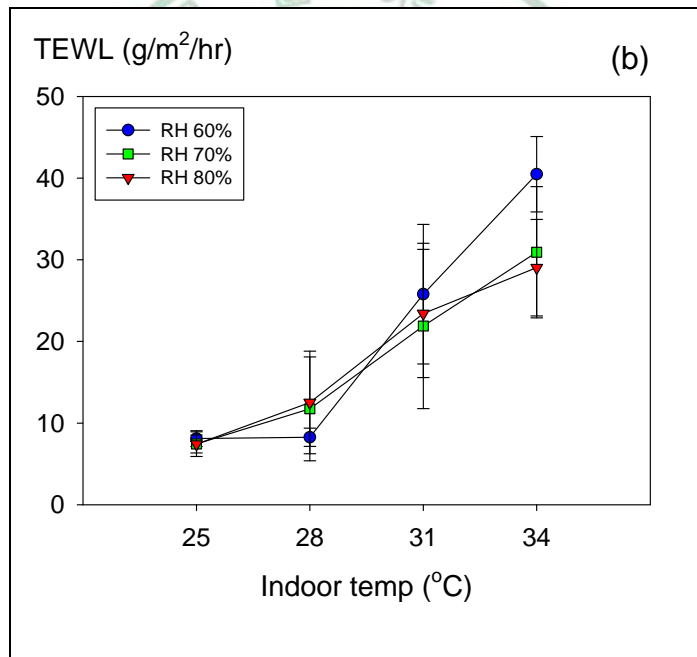
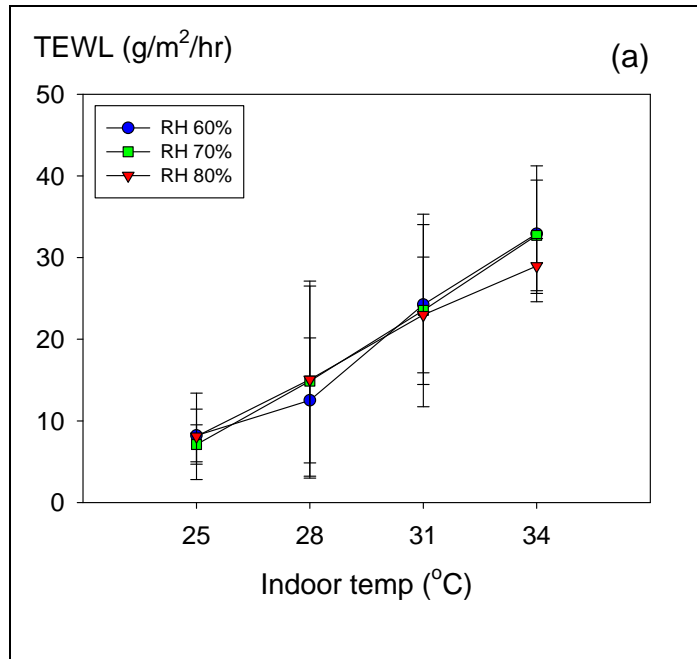


圖 4-7 男性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

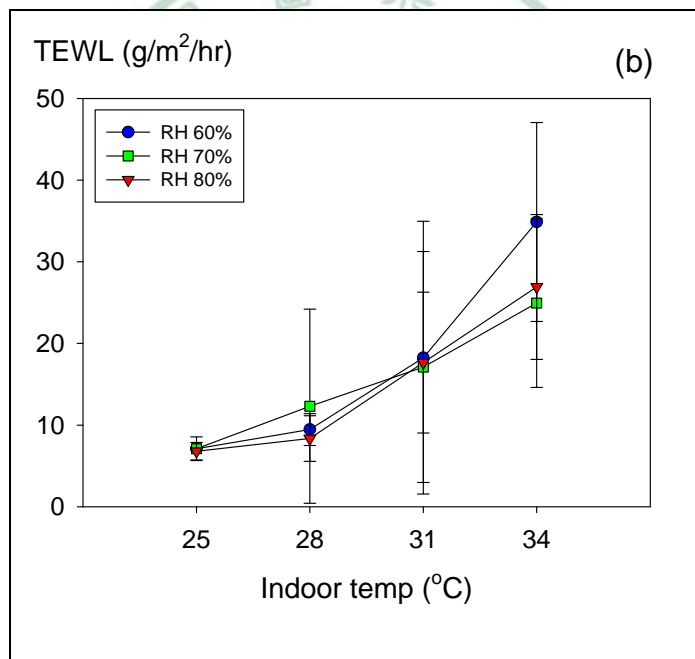
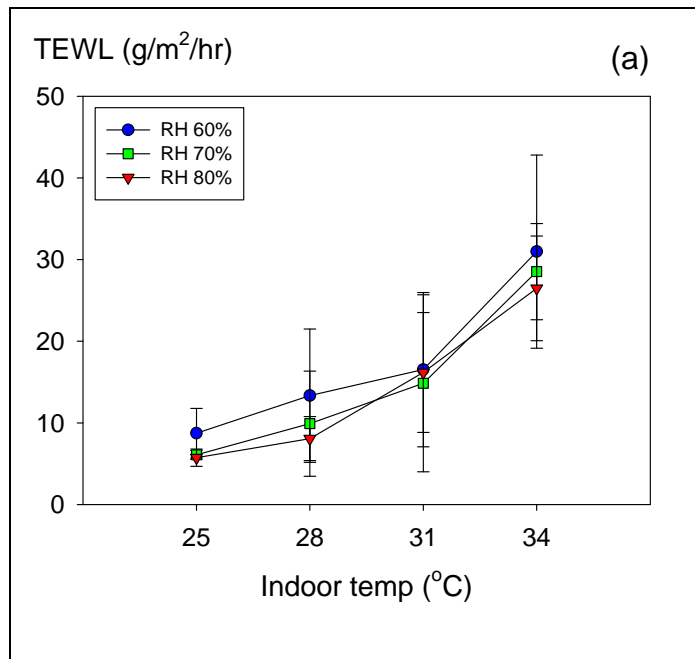


圖 4-8 女性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

變產生之變化。TEWL 明顯受溫度影響：隨溫度升高，TEWL 亦相對呈現上升趨勢，但變異量也隨之增加。與環境溫度相較，環境濕度對於 TEWL 之影響較弱。但當環境溫度逼近高溫(34°C)時，相對溼度對前臂外側 TEWL 之影響較為顯著；同一效應亦可於男性與女性受測人員中觀察到。

在不同溫濕度組合狀況下，男、女性之間皮膚之 TEWL 透過計算男—女比值(表 4-1)及前臂外側—上臂內側比值(表 4-2)比較是否具顯著差異，並以 Student's *t* test 檢驗。比較結果發現：男性受試者皮膚 TEWL 大都高於女性(上臂內側男—女比值：1.86-0.94；前臂外側比值：1.50-0.87)，但兩者未達顯著統計差異(p -value > 0.05)。表 4-2 中計算前臂外側與上臂內側皮膚 TEWL 比值得目的在觀察受試者皮膚暴露部位與控制部位間之差距。結果顯示於環境溫度 28°C 相對濕度 60%與環境溫度 34 °C 相對濕度 70%時比值小於 1 (28°C/60%：0.84；34 °C/70%：0.91)，表示在該熱環境狀況下前臂外側皮膚 TEWL 較上臂內側為低。其他溫濕度組合之比值大都接近 1。以 Student's *t* test 檢定性別間 TEWL 差距與不同部位間 TEWL 比值，結果顯示皆未達顯著差異(p -value > 0.05)。

另外全體受試者於相同濕度不同溫度下上臂內側與前臂外側皮膚之 TEWL 以 One-way ANOVA 檢定， p -value 皆小於 0.001 (表 4-3)，顯示環境溫度顯著地影響 TEWL 之變化。進一步以 Scheffé's 多重比較發現：不

表 4-1 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境溫濕度之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)測量值

^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	8.48 ± 3.00	8.22 ± 3.23	8.74 ± 3.03	0.94	0.778
	70	6.60 ± 1.75	7.12 ± 2.41	6.09 ± 0.53	1.17	0.333
	80	6.92 ± 3.84	8.11 ± 5.29	5.73 ± 1.06	1.42	0.305
28	60	12.93 ± 7.56	12.52 ± 7.65	13.34 ± 8.16	0.94	0.862
	70	12.40 ± 9.34	14.88 ± 11.65	9.91 ± 6.44	1.50	0.382
	80	11.57 ± 9.09	15.06 ± 12.06	8.08 ± 2.69	1.861	0.220
31	60	20.39 ± 10.02	24.25 ± 9.79	16.53 ± 9.45	1.47	0.194
	70	19.19 ± 11.71	23.53 ± 11.79	14.85 ± 10.84	1.58	0.214
	80	19.58 ± 7.74	22.98 ± 7.08	16.18 ± 7.34	1.42	0.133
34	60	31.94 ± 9.80	32.91 ± 8.32	30.98 ± 11.83	1.06	0.750
	70	30.62 ± 6.43	32.71 ± 6.77	28.53 ± 5.88	1.15	0.280
	80	27.72 ± 5.05	28.97 ± 3.36	26.47 ± 6.41	1.09	0.418
前臂外側 TEWL 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	7.84 ± 1.40	8.11 ± 0.97	7.57 ± 1.79	1.07	0.535
	70	7.28 ± 1.23	7.45 ± 1.09	7.12 ± 1.45	1.05	0.670
	80	7.11 ± 1.29	7.43 ± 1.51	6.80 ± 1.07	1.09	0.430
28	60	8.86 ± 1.63	8.26 ± 1.12	9.46 ± 1.95	0.87	0.220
	70	12.03 ± 9.09	11.75 ± 6.35	12.32 ± 11.90	0.95	0.919
	80	10.44 ± 5.12	12.53 ± 6.29	8.36 ± 2.80	1.50	0.169
31	60	22.03 ± 13.24	25.79 ± 8.53	18.26 ± 16.70	1.41	0.348
	70	19.51 ± 11.99	21.90 ± 10.13	17.12 ± 14.14	1.28	0.516
	80	20.54 ± 8.42	22.98 ± 7.85	17.66 ± 8.63	1.33	0.253
34	60	37.68 ± 9.26	40.48 ± 4.61	34.88 ± 12.18	1.16	0.317
	70	27.93 ± 9.36	30.92 ± 8.04	24.94 ± 10.32	1.24	0.289
	80	27.98 ± 7.26	29.04 ± 5.91	26.93 ± 8.86	1.08	0.638

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 TEWL 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-2 全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂內側經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側 TEWL 量測值					
溫度	相對濕度	全體	男	女	<i>p</i> -value
25	60	1.00 ± 0.28	1.10 ± 0.36	0.89 ± 0.12	0.214
	70	1.14 ± 0.20	1.10 ± 0.21	1.17 ± 0.21	0.551
	80	1.13 ± 0.21	1.06 ± 0.26	1.20 ± 0.12	0.256
28	60	0.84 ± 0.29	0.82 ± 0.32	0.86 ± 0.29	0.844
	70	1.05 ± 0.28	0.97 ± 0.32	1.13 ± 0.25	0.379
	80	1.13 ± 0.64	1.20 ± 0.93	1.05 ± 0.16	0.719
31	60	1.08 ± 0.29	1.11 ± 0.18	1.04 ± 0.39	0.709
	70	1.05 ± 0.24	0.98 ± 0.26	1.12 ± 0.21	0.329
	80	1.13 ± 0.47	1.15 ± 0.63	1.10 ± 0.29	0.874
34	60	1.23 ± 0.30	1.29 ± 0.31	1.16 ± 0.30	0.476
	70	0.91 ± 0.24	0.97 ± 0.24	0.85 ± 0.24	0.411
	80	1.01 ± 0.24	1.02 ± 0.26	1.00 ± 0.24	0.897

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 TEWL 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-3 全體人員於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	19.240	< 0.001**	25°C	28°C	0.617	25°C	28°C	0.402	25°C	28°C	0.427
	70%	19.013	< 0.001**		31°C	0.009**		31°C	0.006**		31°C	0.001**
	80%	22.003	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.182	28°C	31°C	0.263	28°C	31°C	0.051
					34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				31°C	34°C	0.012*	31°C	34°C	0.015*	31°C	34°C	0.045*
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	35.261	< 0.001**	25°C	28°C	0.992	25°C	28°C	0.636	25°C	28°C	0.628
	70%	12.379	< 0.001**		31°C	0.002**		31°C	0.017*		31°C	< 0.001**
	80%	28.793	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.004**	28°C	31°C	0.251	28°C	31°C	0.003**
					34°C	< 0.001**		34°C	0.001**		34°C	< 0.001**
				31°C	34°C	< 0.001**	31°C	34°C	0.161	31°C	34°C	0.044*

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

論在何種環境濕度下，於環境溫度 34°C 中所測得之上臂內側與前臂外側皮膚 TEWL 皆與其他環境溫度下之量測值達顯著差異(p -value < 0.05)，而較低溫度間之差異則不明顯，顯示就 TEWL 而言，環境溫度之影響在高溫(> 31°C)較為強烈。

在本研究實驗採用之環境濕度範圍內(60-80%)，與相對濕度相較，環境溫度對 TEWL 影響較為顯著之現象，亦可於圖 4-6 中觀察到。此外，如圖 4-6 所示，低溼度環境中(60%)所量測得 TEWL 值一般較高溼度環境所得數值為高。34°C 時相對溼度對前臂外側 TEWL 之影響與其他溫度狀況比較較為顯著；類似影響在上臂內側皮膚較不明顯。

表 4-4 所示為同一溫度不同濕度狀況下上臂內側與前臂外側皮膚 TEWL 值之 One-way ANOVA 統計檢定，結果顯示 p -value 皆大於 0.05。與上臂內側皮膚相較，前臂外側皮膚於環境溫度 34°C 下，各濕度所測得之 TEWL 具顯著性(p -value = 0.012)；Scheffé's 多重比較進一步顯示前臂外側皮膚 TEWL 於相對濕度 60%與 70%、60%與 80%之測量值間均呈現顯著差異(p -value 分別為 0.033 與 0.034)。但上項差異在其他環境溫度時不存在，建議環境濕度對於 TEWL 之影響惟有在高溫狀況下、亦即皮膚表皮散失水份強烈之時才會顯現。

若將男性受測人員上臂內側與前臂外側皮膚之 TEWL 數據單獨以 One-way ANOVA 檢定，如表 4-5 所示，同一濕度時不同溫度間之上臂內

表 4-4 全體人員於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	1.356	0.272	60%	70%	0.319	60%	70%	0.989	60%	70%	0.957	60%	70%	0.908
	28°C	0.074	0.928		80%	0.451		80%	0.930		80%	0.980		80%	0.384
	31°C	0.045	0.956	70%	80%	0.966	70%	80%	0.973	70%	80%	0.995	70%	80%	0.633
	34°C	1.030	0.368												
前臂外側	25°C	1.000	0.377	60%	70%	0.588	60%	70%	0.453	60%	70%	0.864	60%	70%	0.033*
	28°C	0.810	0.453		80%	0.409		80%	0.819		80%	0.950		80%	0.034*
	31°C	0.418	0.863	70%	80%	0.951	70%	80%	0.817	70%	80%	0.976	70%	80%	1.000
	34°C	5.020	0.012*												

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05, ** : p -value < 0.01

表 4-5 男性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	12.937	< 0.001**	25°C	28°C	0.814	25°C	28°C	0.541	25°C	28°C	0.497
	70%	8.958	0.001**		31°C	0.016*		31°C	0.041*		31°C	0.027*
	80%	8.488	0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	0.001**		34°C	0.002**
				28°C	31°C	0.103	28°C	31°C	0.451	28°C	31°C	0.385
					34°C	0.002**		34°C	0.024*		34°C	0.042*
				31°C	34°C	0.308	31°C	34°C	0.399	31°C	34°C	0.616
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	60.663	< 0.001**	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.786	25°C	28°C	0.534
	70%	12.755	< 0.001**		31°C	< 0.001**		31°C	0.022*		31°C	0.002**
	80%	16.933	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	< 0.001**	28°C	31°C	0.150	28°C	31°C	0.037*
					34°C	< 0.001**		34°C	0.002**		34°C	0.001**
				31°C	34°C	0.001**	31°C	34°C	0.230	31°C	34°C	0.454

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

側皮膚 TEWL 皆達顯著差異(p -value ≤ 0.001)。Scheffé's 多重比較顯示差異主要存在於較低與較高溫度環境之間(如 25/28°C 對應 34°C) (p -value < 0.05)。前臂外側皮膚於相同情況下，TEWL 檢定之顯著性(p -value < 0.001)較上臂內側皮膚為高，且在相對濕度為 60%時最為明顯，80%時次之。此外，分析於同一環境溫度、不同相對濕度男性受測人員上臂內側與前臂外側之 TEWL 量測值(表 4-6)則發現：除在環境溫度 34 °C 時，相對濕度 60%對 80%之前臂外側皮膚 TEWL 量測值達統計顯著差異(p -value = 0.023)，其他溫度下之濕度差異對 TEWL 之影響並不顯著。

女性受測人員於同一相對濕度、不同環境溫度時，上臂內側皮膚 TEWL 之 One-way ANOVA 檢定結果亦皆達統計顯著性(p -value ≤ 0.002)(表 4-7)；Scheffé's 多重比較則顯示於相對濕度 60-80%間，顯著差異存在於較低環境溫度(25、28°C)與較高溫度(34 °C)間。前臂外側皮膚 TEWL 於相對濕度 60%與 80%時，各溫度間量測值皆達顯著差異(p -value ≤ 0.001)；但於相對濕度 70%時溫度間之差異則不明顯(p -value > 0.05)。

以上分析顯示：男性不同皮膚部位 TEWL 數值受環境熱因子影響之幅度相似，但女性受測者之上臂內側與前臂外側皮膚 TEWL 受環境因子之影響幅度存有顯著差異。女性受測者不同部位皮膚之 TEWL 於環境溫度 25 °C 對 34 °C、及 28 °C 對 34 °C 時具顯著差異(p -value ≤ 0.005)。表 4-8 所示分別為女性受測者皮膚 TEWL 在同一環境溫度，但不同相對濕度狀況下

表 4-6 男性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.151	0.861	60%	70%	0.884	60%	70%	0.929	60%	70%	0.992	60%	70%	0.999
	28°C	0.107	0.900		80%	0.999		80%	0.919		80%	0.975		80%	0.586
	31°C	0.026	0.975	70%	80%	0.904	70%	80%	1.000	70%	80%	0.995	70%	80%	0.617
	34°C	0.702	0.511												
前臂外側	25°C	0.611	0.556	60%	70%	0.650	60%	70%	0.524	60%	70%	0.754	60%	70%	0.061
	28°C	1.144	0.345		80%	0.632		80%	0.388		80%	0.900		80%	0.023*
	31°C	0.292	0.751	70%	80%	1.000	70%	80%	0.967	70%	80%	0.957	70%	80%	0.877
	34°C	5.604	0.015*												

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05, ** : p -value < 0.01

表 4-7 女性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較			
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	7.255	0.002**	25°C	28°C	0.841	25°C	28°C	0.824	25°C	28°C	0.886	
	70%	11.893	< 0.001**		31°C	0.511		31°C	0.225		31°C	0.018*	
	80%	20.420	< 0.001**		34°C	0.003**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	0.939	28°C	31°C	0.684	28°C	31°C	0.085
						34°C	0.021*		34°C	0.002**		34°C	< 0.001**
					31°C	34°C	0.070	31°C	34°C	0.025*	31°C	34°C	0.020**
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	8.584	0.001**	25°C	28°C	0.992	25°C	28°C	0.867	25°C	28°C	0.980	
	70%	3.057	0.052		31°C	0.391		31°C	0.464		31°C	0.060	
	80%	12.872	< 0.001**		34°C	0.002**		34°C	0.065		34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	0.556	28°C	31°C	0.892	28°C	31°C	0.128
						34°C	0.005**		34°C	0.268		34°C	0.001**
					31°C	34°C	0.085	31°C	34°C	0.658	31°C	34°C	0.129

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05, ** : p -value < 0.01

表 4-8 女性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	4.599	0.028*	60%	70%	0.081	60%	70%	0.642	60%	70%	0.953	60%	70%	0.883
	28°C	1.111	0.355		80%	0.045*		80%	0.365		80%	0.998		80%	0.663
	31°C	0.054	0.948	70%	80%	0.947	70%	80%	0.878	70%	80%	0.970	70%	80%	0.916
	34°C	0.424	0.662												
前臂外側	25°C	0.417	0.667	60%	70%	0.868	60%	70%	0.790	60%	70%	0.989	60%	70%	0.293
	28°C	0.491	0.622		80%	0.669		80%	0.965		80%	0.997		80%	0.445
	31°C	0.011	0.989	70%	80%	0.933	70%	80%	0.639	70%	80%	0.998	70%	80%	0.948
	34°C	1.494	0.256												

^a TEWL 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

上臂內側與前臂外側間之比較。上臂內側皮膚 TEWL 在環境溫度 25°C 時，於相對濕度 60% 對應 80% 之差異達顯著性 (p -value = 0.045)；但其他溫度狀況下，相對濕度間之差異並不顯著。至於前臂外側皮膚在所有溫度狀況下，所有相對濕度間之差異皆不顯著，再次顯示女性上臂內側與前臂外側皮膚對環境熱因子影響之差異。

為比較環境溫度與相對濕度之交互作用可能對皮膚生理指標產生之影響，實驗設定之環境溫度與相對濕度經轉換為綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 後，同樣以線性分佈呈現全體、男性與女性人員上臂內側、前臂外側之 TEWL 變化趨勢(圖 4-9、4-10、及 4-11；對應全體、男性、及女性)。圖中循橫座標自左至右(隨 WBGT 上升)每 3 個連續觀察值(平均值)屬於同一環境溫度；而反應同一環境溫度之連續觀察值隨 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。如圖所示：全體、男性與女性受測人員上臂內側與前臂外側之 TEWL 皆呈現階梯式上揚趨勢。TEWL 最高數值皆出現於 WBGT 為 31.9°C(環境溫度 34°C、相對濕度 60%)。且從 TEWL 階梯式之變化趨勢分析，再次證明環境溫度對於 TEWL 之量測影響較大，濕度影響較小。當 WBGT > 24.1°C 以後，皮膚 TEWL 之變異幅度明顯加大，建議 TEWL 作為反應熱環境對人體影響之生理指標而言具侷限性，在高 WBGT 狀況下穩定性不足，難以作為量化指標。

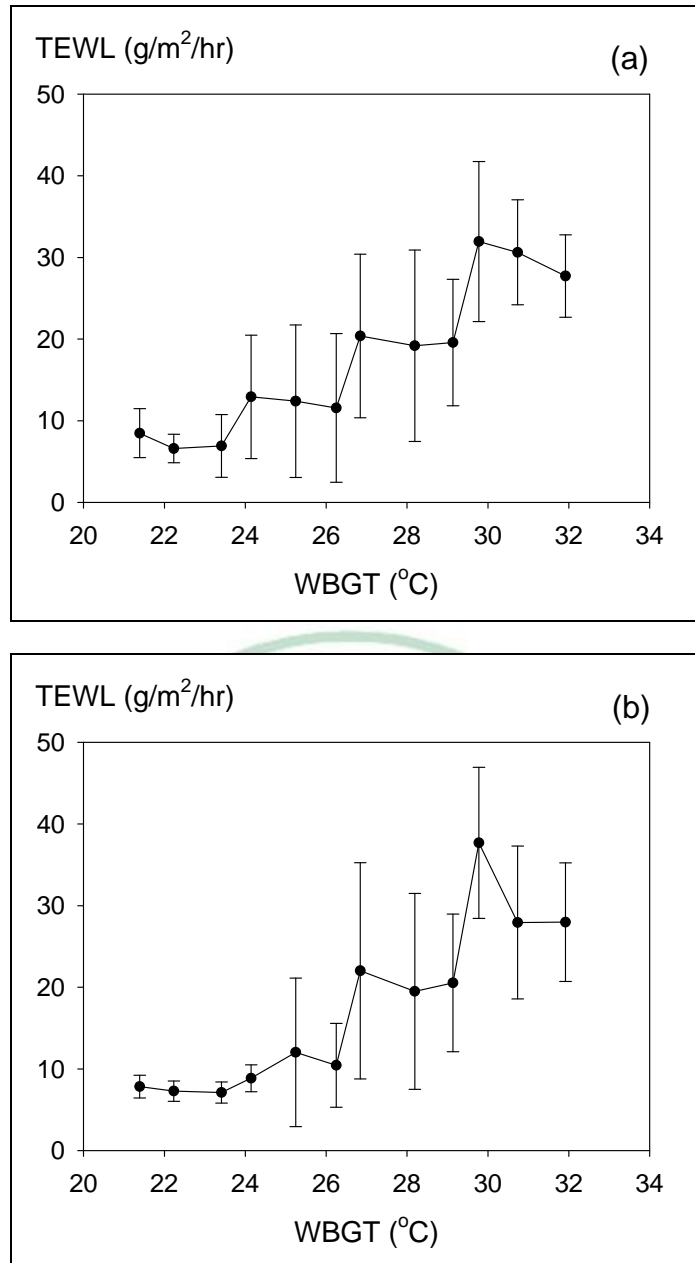


圖 4-9 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

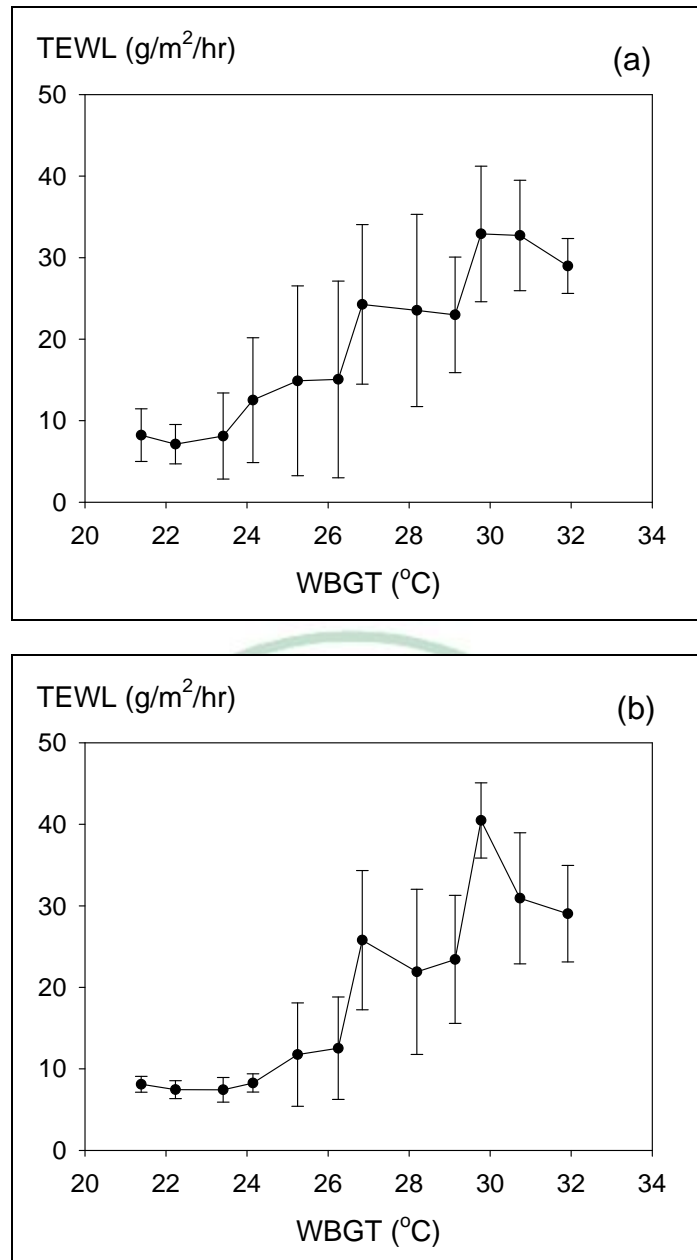


圖 4-10 男性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

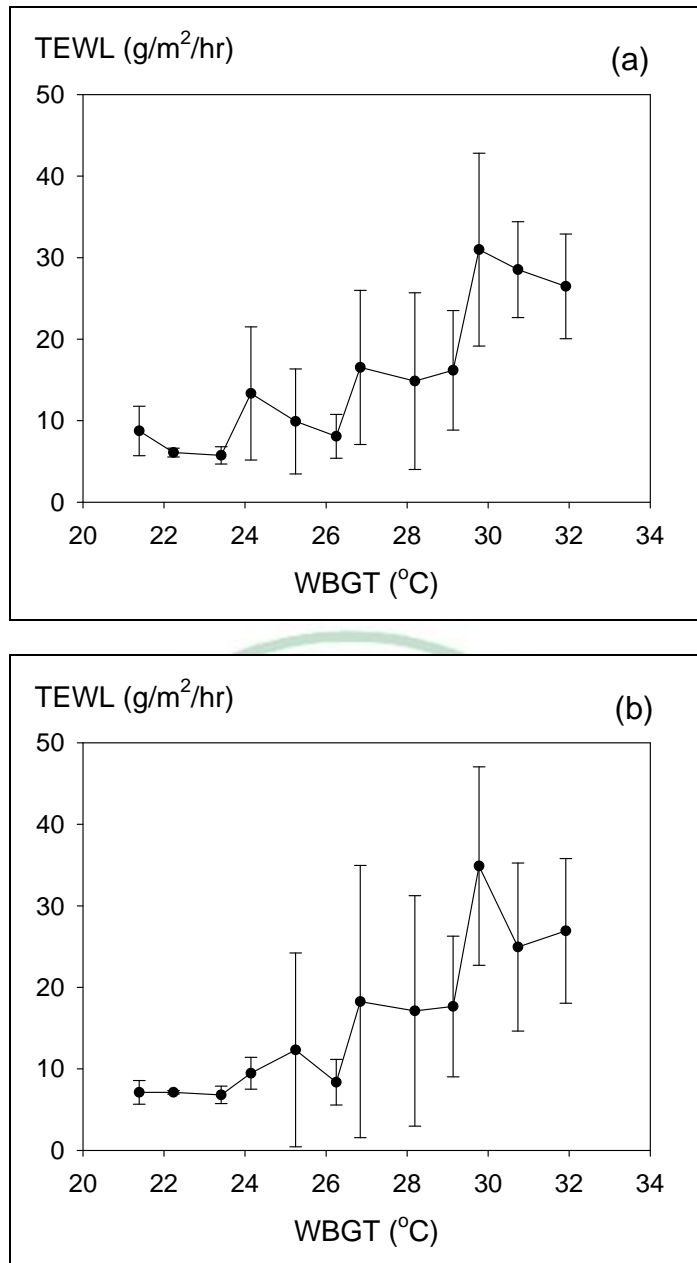


圖 4-11 女性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

除觀察 TEWL 連續走勢外，TEWL 與 WBGT 之對應關係亦以散佈圖呈現，並依散佈趨勢進行線性迴歸分析(圖 4-12、4-13、及 4-14；分別對應全體、男性、及女性)，所示。以下為各散佈圖之迴歸方程式：

全體人員上臂內側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.42x - 47.00 \quad R^2 = 0.49 \quad (\text{Eq. 4-1})$$

全體人員前臂外側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.59x - 51.56 \quad R^2 = 0.48 \quad (\text{Eq. 4-2})$$

男性上臂內側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.62x - 50.54 \quad R^2 = 0.54 \quad (\text{Eq. 4-3})$$

男性前臂外側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.88x - 57.67 \quad R^2 = 0.61 \quad (\text{Eq. 4-4})$$

女性上臂內側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.21x - 43.45 \quad R^2 = 0.47 \quad (\text{Eq. 4-5})$$

女性前臂外側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 2.31x - 45.43 \quad R^2 = 0.38 \quad (\text{Eq. 4-6})$$

由各迴歸方程式可觀察到前臂外側迴歸係數(regression coefficient)皆大於上臂內側(全體、男性、與女性之前臂外側對上臂內側比值分別為 1.07、1.10、及 1.05)，顯示前臂外側皮膚 TEWL 對於環境溫濕度變化較為敏感。受測人員上臂內側與前臂外側 TEWL 線性回歸之判定係數(coeff-

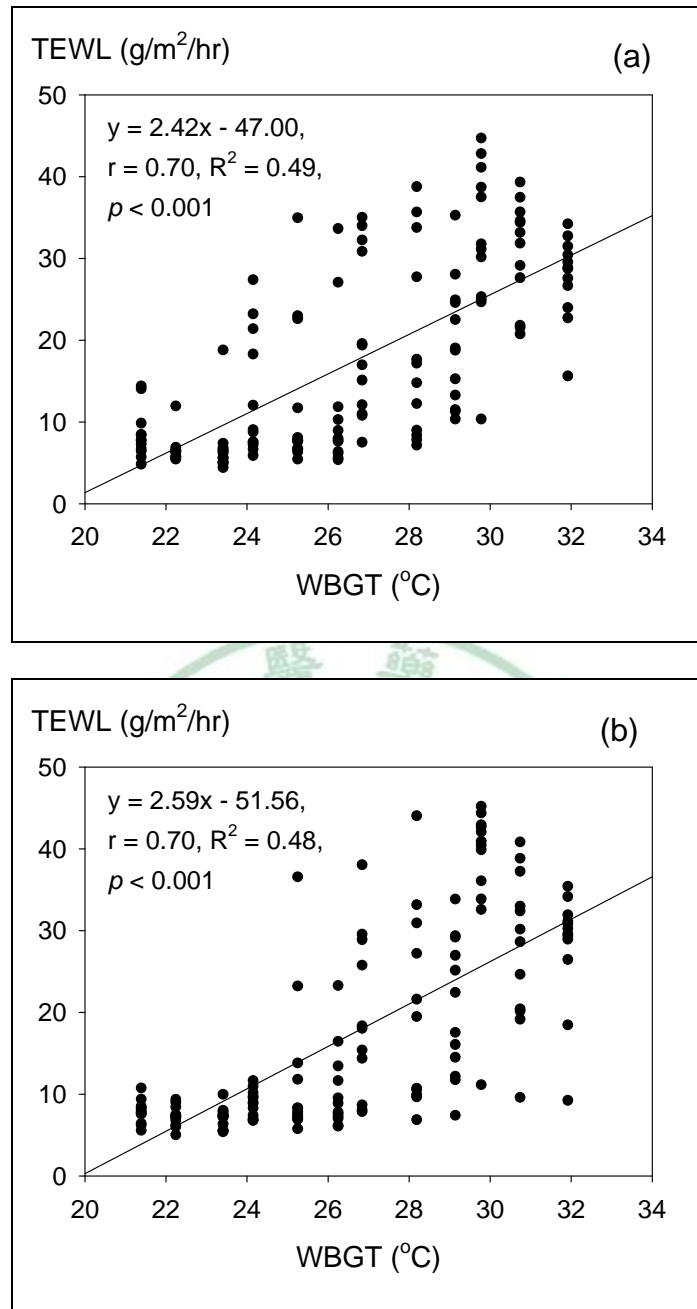


圖 4-12 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

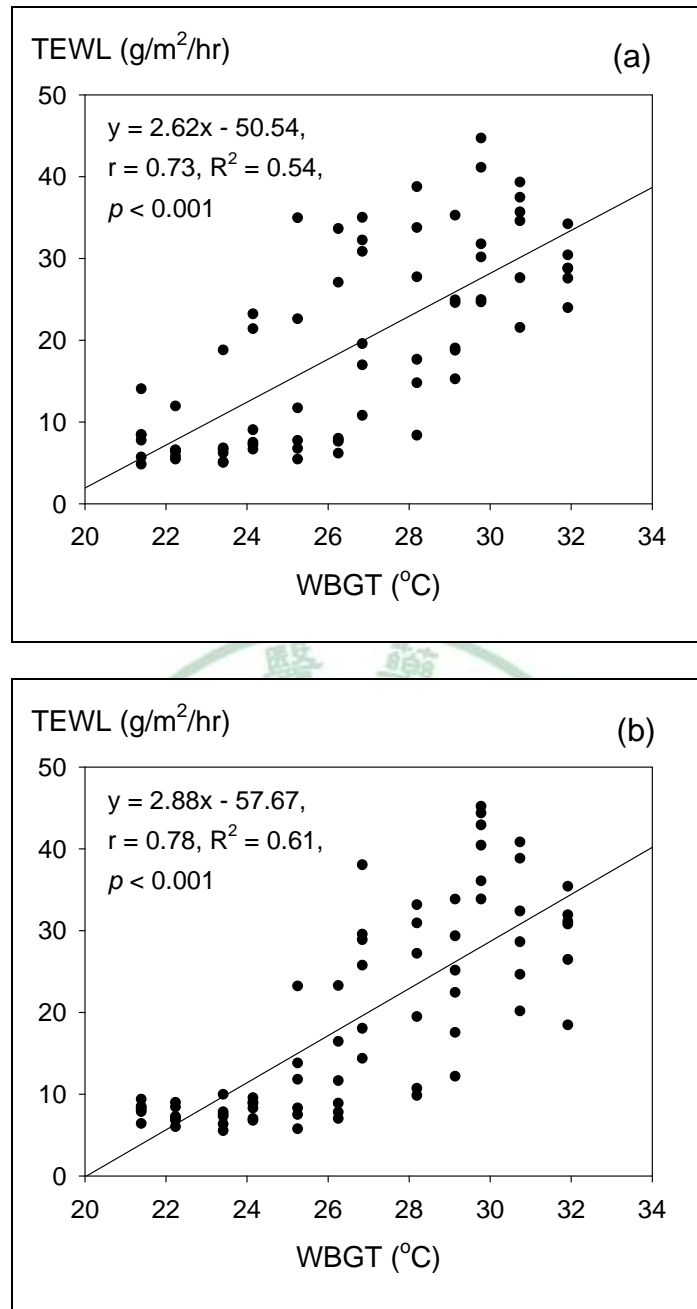


圖 4-13 男性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之散佈與線性迴歸

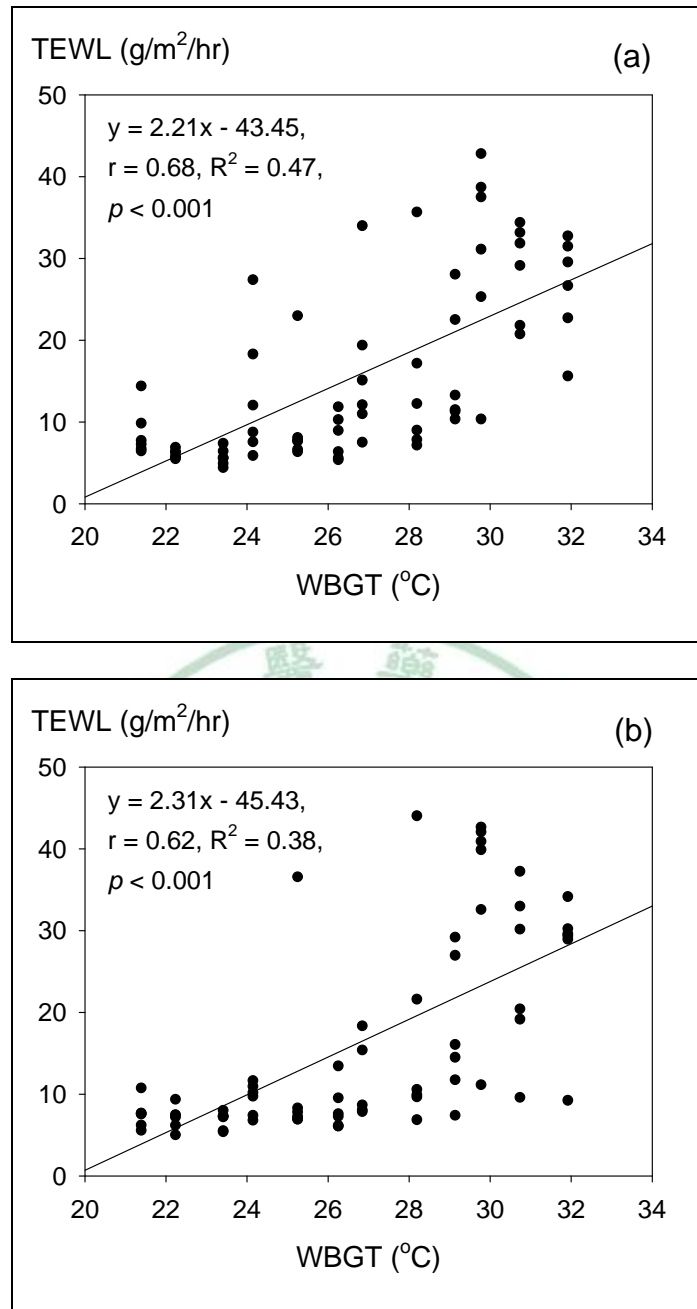


圖 4-14 女性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之散佈與線性迴歸

icient of determination, R^2)接近 0.5，顯示 TEWL 之變化與 WBGT 間呈現一定的線性關係。男性受測人員不論在上臂內側或前臂外側迴歸係數與皆大於女性受試者(男-女迴歸係數比值：上臂內側為 1.19；前臂外側為 1.25)，顯示男性皮膚之水分散失狀況對環境綜合熱因子之變化較女性敏感。

4.2.2 室內環境熱因子對皮膚溫度之影響

圖 4-15 至 4-17 為受測人員皮膚溫度隨環境熱因子變化之線性分佈。由圖中可發現皮膚溫度隨環境溫度上升而增加，且皮膚溫度直接反應環境溫度之變化，兩者呈線性關係。皮膚溫度受相對濕度影響較小。以上趨勢不受測量皮膚部位與性別因子之影響。

表 4-9 所示為全體、男性及女性之皮膚溫度對應設定環境溫濕度所產生之數值與男女性間之比較。就全體人員分析：表皮溫度高於環境溫度 0.2-1.8 °C(環境溫度 25、28、31、34 °C 時所對應上臂內側皮膚溫度分別為 26.6、29.8、32.2、34.2 °C；所對應之前臂外側溫度分別為 26.6、29.8、32.2、34.2 °C)，且表皮溫度與環境溫度之差距隨環境溫度上升而下降。在固定環境溫濕度狀況下，男性對應女性上臂內側與前臂外側之皮膚溫度比值皆為 0.99-1.04。男女間皮膚溫度平均值達統計顯著差異(p -value < 0.05)發生於環境溫度 25°C、相對濕度 80% (上臂內側與前臂外側)及環境

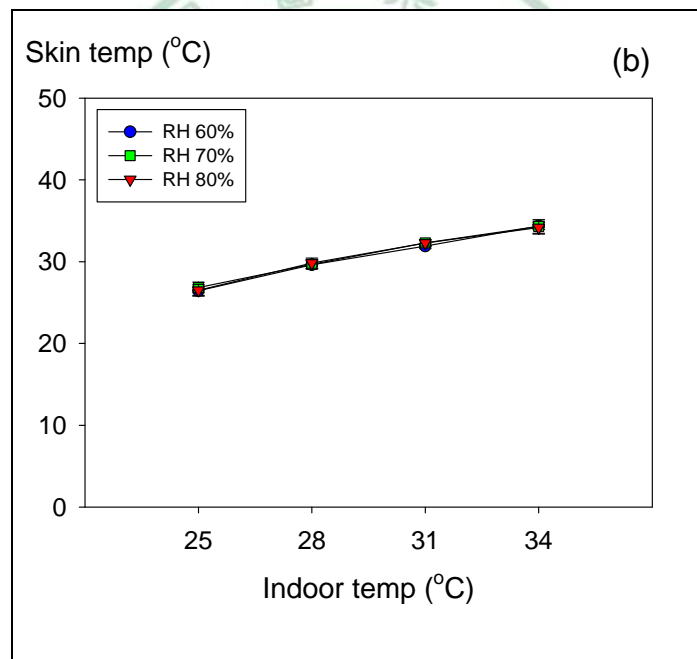
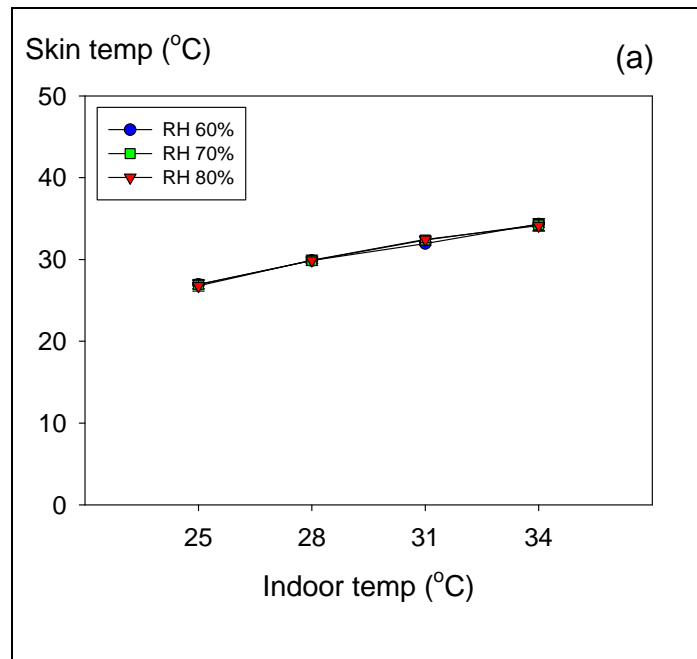


圖 4-15 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分布趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

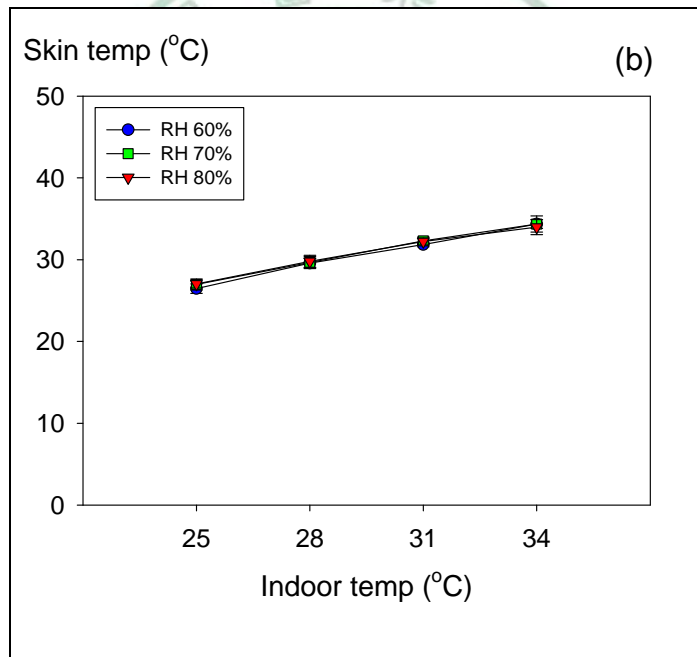
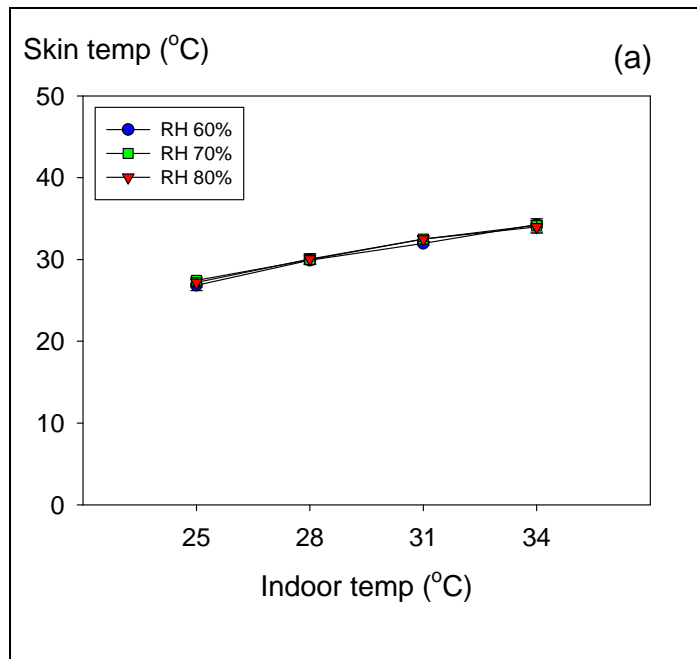


圖 4-16 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

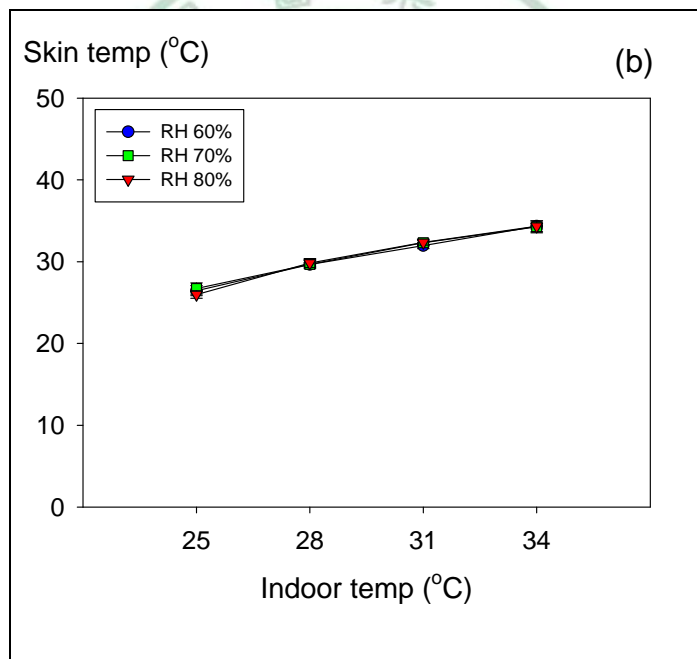
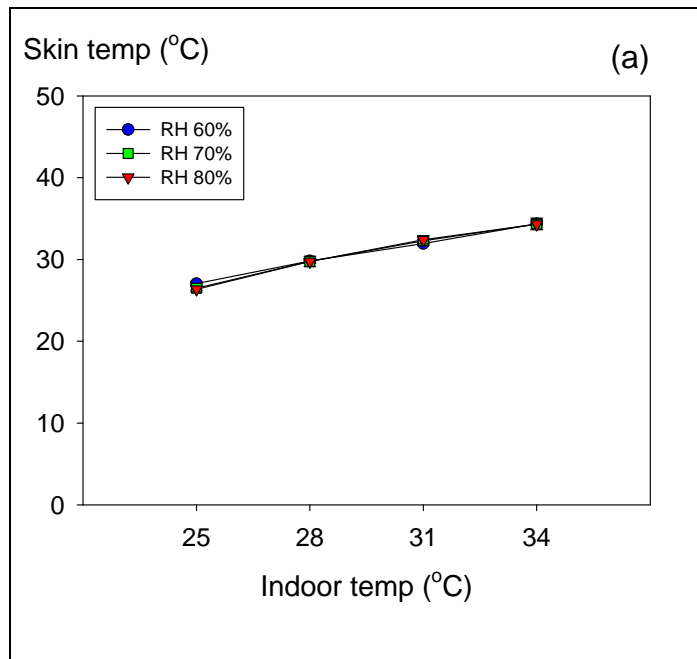


圖 4-17 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

表 4-9 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境濕度之皮膚溫度測量值^a、男一女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚溫度測量值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	27.13 ± 0.19	26.84 ± 0.66	27.05 ± 0.29	0.99	0.499
	70	26.40 ± 0.23	27.40 ± 0.38	26.48 ± 0.23	1.04	0.001**
	80	26.40 ± 0.32	27.21 ± 0.58	26.35 ± 0.35	1.03	0.011*
28	60	29.90 ± 0.14	29.91 ± 0.39	29.82 ± 0.82	1.00	0.651
	70	29.75 ± 0.15	29.97 ± 0.57	29.79 ± 0.20	1.01	0.486
	80	29.78 ± 0.65	30.06 ± 0.65	29.76 ± 0.65	1.01	0.448
31	60	31.98 ± 0.25	31.97 ± 0.23	31.96 ± 0.26	1.00	0.951
	70	32.29 ± 0.17	32.49 ± 0.38	32.28 ± 0.17	1.01	0.259
	80	32.28 ± 0.33	32.49 ± 0.28	32.41 ± 0.49	1.00	0.716
34	60	34.23 ± 0.19	34.29 ± 0.41	34.35 ± 0.40	1.00	0.797
	70	34.16 ± 0.47	34.17 ± 0.82	34.34 ± 0.72	0.99	0.700
	80	34.24 ± 0.58	33.98 ± 0.77	34.32 ± 0.62	0.99	0.415
前臂外側皮膚溫度測量值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	26.45 ± 0.57	26.46 ± 0.57	26.46 ± 0.62	1.00	0.992
	70	26.84 ± 0.66	26.97 ± 0.67	26.72 ± 0.69	1.01	0.534
	80	26.51 ± 0.72	27.04 ± 0.51	25.99 ± 0.46	1.04	0.004**
28	60	29.62 ± 0.51	29.59 ± 0.57	29.66 ± 0.51	1.00	0.816
	70	29.67 ± 0.53	29.66 ± 0.74	29.68 ± 0.24	1.00	0.961
	80	29.82 ± 0.61	29.80 ± 0.72	29.84 ± 0.55	1.00	0.926
31	60	31.90 ± 0.31	31.84 ± 0.26	31.97 ± 0.36	1.00	0.500
	70	32.30 ± 0.36	32.29 ± 0.47	32.31 ± 0.26	1.00	0.952
	80	32.29 ± 0.37	32.22 ± 0.43	32.35 ± 0.32	1.00	0.569
34	60	34.35 ± 0.42	34.36 ± 0.53	34.34 ± 0.34	1.00	0.952
	70	34.31 ± 0.83	34.36 ± 0.99	34.26 ± 0.72	1.00	0.838
	80	34.17 ± 0.79	33.99 ± 0.92	34.34 ± 0.67	0.99	0.465

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚溫度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

溫度 25°C、相對濕度 70%時(上臂內側)，顯示性別因子之影響在低溫時較易顯現。為瞭解受試者上臂內側與前臂外側之皮膚溫度反應外界溫度時之差異，表 4-10 整理並分析前臂外側對應上臂內側皮膚溫度之比值。分析結果顯示：男性與女性之比值皆為 0.98-1.01。以 Student's *t* test 比較男女之間上臂內側與前臂外側皮膚比值，發現僅在環境溫度為 34°C、相對濕度 70%時，比值具顯著差異(p -value = 0.021)。以上結果建議皮膚溫度不易受測量部位與性別差異之影響，且能穩定反應外在環境溫度之變化，是反應環境熱因子對人體影響之良好生理指標。

表 4-11 至 4-16 所示為以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重分析全體(表 4-11 與 4-12)、男性(表 4-13 與 4-14)與女性受測人員(表 4-15 與 4-16)之皮膚溫度於：1) 同一相對濕度、不同環境溫度；2) 同一環境溫度、不同相對濕度下，變化是否具顯著性。檢定結果發現：在相對濕度相同、環境溫度不同狀況下，全體人員、男性、與女性之皮膚溫度變化皆達顯著差異(p -value < 0.001)，且不同皮膚部位皆存在該顯著差異。Scheffé's 多重比較結果亦顯示相同環境濕度下、不同環境溫度間皮膚溫度均存有顯著差異(p -value ≤ 0.004)，再度顯示環境溫度為影響皮膚溫度之重要因子。針對相同環境溫度但不同相對濕度之檢定結果顯示：全體人員上臂內側與前臂外側皮膚溫度於環境溫度 31°C 時，相對濕度 60%之量測值與 70、80%達統計顯著性(表 4-12)；相同的情況發生在男性之上臂內側但不

表 4-10 全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂
內側皮膚溫度比值^a及統計檢定^b

前臂外側—上臂內側皮膚溫度比值					
溫度	相對濕度	全體	男	女	<i>p</i> -value
25	60	0.98 ± 0.01	0.99 ± 0.01	0.98 ± 0.02	0.351
	70	1.00 ± 0.08	0.98 ± 0.03	1.01 ± 0.02	0.107
	80	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01	0.116
28	60	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01	0.453
	70	0.99 ± 0.01	0.99 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.208
	80	1.00 ± 0.01	0.99 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.159
31	60	1.00 ± 0.01	1.00 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.419
	70	1.00 ± 0.01	0.99 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.135
	80	1.00 ± 0.01	0.99 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.160
34	60	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.00	0.345
	70	1.00 ± 0.01	1.01 ± 0.01	1.00 ± 0.00	0.021*
	80	1.00 ± 0.00	1.00 ± 0.01	1.00 ± 0.00	0.901

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性比值差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-11 全體人員於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	844.964	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	412.094	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	344.854	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	< 0.001**	
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	629.595	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	329.475	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	320.906	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	< 0.001**	

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-12 全體人員於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.382	0.686	60%	70%	0.996	60%	70%	0.997	60%	70%	0.009**	60%	70%	0.966
	28°C	0.028	0.972		80%	0.778		80%	0.973		80%	0.002**		80%	0.794
	31°C	8.582	0.001**	70%	80%	0.731	70%	80%	0.987	70%	80%	0.883	70%	80%	0.916
	34°C	0.237	0.790												
前臂外側	25°C	1.223	0.307	60%	70%	0.365	60%	70%	0.980	60%	70%	0.029*	60%	70%	0.990
	28°C	0.423	0.659		80%	0.981		80%	0.684		80%	0.036*		80%	0.818
	31°C	5.091	0.012*	70%	80%	0.469	70%	80%	0.796	70%	80%	0.995	70%	80%	0.885
	34°C	0.223	0.801												

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

表 4-13 男性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	297.384	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	160.707	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	147.725	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	0.001**	
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	271.706	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	112.262	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	121.627	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	0.001**	

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-14 男性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	1.871	0.188	60%	70%	0.191	60%	70%	0.984	60%	70%	0.031*	60%	70%	0.953
	28°C	0.112	0.895		80%	0.538		80%	0.897		80%	0.030*		80%	0.738
	31°C	5.922	0.013*	70%	80%	0.738	70%	80%	0.960	70%	80%	1.000	70%	80%	0.893
	34°C	0.315	0.735												
前臂外側	25°C	1.735	0.210	60%	70%	0.350	60%	70%	0.982	60%	70%	0.172	60%	70%	1.000
	28°C	0.158	0.856		80%	0.265		80%	0.860		80%	0.273		80%	0.755
	31°C	2.300	0.135	70%	80%	0.980	70%	80%	0.936	70%	80%	0.953	70%	80%	0.750
	34°C	0.386	0.686												

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05, ** : p -value < 0.01

表 4-15 女性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	598.765	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	432.985	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	246.051	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	< 0.001**	
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	306.871	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**		25°C	28°C	< 0.001**	
	70%	229.735	< 0.001**			31°C	< 0.001**			31°C	< 0.001**	
	80%	294.981	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	< 0.001**		28°C	31°C	< 0.001**	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	< 0.001**	

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-16 女性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚溫度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	9.669	0.002**	60%	70%	0.014*	60%	70%	0.993	60%	70%	0.277	60%	70%	1.000
	28°C	0.028	0.973		80%	0.003**		80%	0.973		80%	0.102		80%	0.995
	31°C	2.848	0.089	70%	80%	0.768	70%	80%	0.993	70%	80%	0.819	70%	80%	0.998
	34°C	0.005	0.995												
前臂外側	25°C	2.316	0.133	60%	70%	0.758	60%	70%	0.998	60%	70%	0.213	60%	70%	0.970
	28°C	0.284	0.757		80%	0.413		80%	0.796		80%	0.147		80%	1.000
	31°C	2.617	0.106	70%	80%	0.140	70%	80%	0.828	70%	80%	0.972	70%	80%	0.970
	34°C	0.041	0.960												

^a 皮膚溫度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定；*：p-value < 0.05，**：p-value < 0.01

在前臂外側(表 4-14)。女性受測者上臂內側皮膚溫度於環境溫度為 25°C 時，相對濕度 60%之測量值與 70%、80%之測量值達統計顯差異(p -value 分別為 0.014 與 0.003)(表 4-16)。

圖 4-18 至 4-20 所示為全體、男性與女性受測者上臂內側與前臂外側皮膚溫度相對於 WBGT 之線性分佈。圖中循橫座標自左至右(隨 WBGT 上升)每 3 個連續觀察值(平均值)屬於同一環境溫度；而反應同一環境溫度之連續觀察值隨 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。圖中上臂內與前臂外側皮膚溫度隨 WBGT 上升而增加。與 TEWL 對應 WBGT 之分佈相較，在各 WBGT 值之皮膚溫度分佈較為集中(皮膚溫度之 relative standard deviation, RSD 為 0.01 至 0.03；TEWL 為 0.17 至 0.79)，同時標準誤(standard error)亦不隨 WBGT 改變產生顯著變化，再次反應其作為環境熱因子影響生理指標之穩定性。男女性受測人員皮膚溫度之變化趨勢與全體人員皮膚溫度之趨勢相同。

圖 4-21 至 4-23 所示為皮膚溫度與 WBGT 之對應散佈圖。依圖形分析所得之線性迴歸方程式如下：

全體人員上臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.81x + 9.40 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-7})$$

全體人員前臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.84x + 8.29 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-8})$$

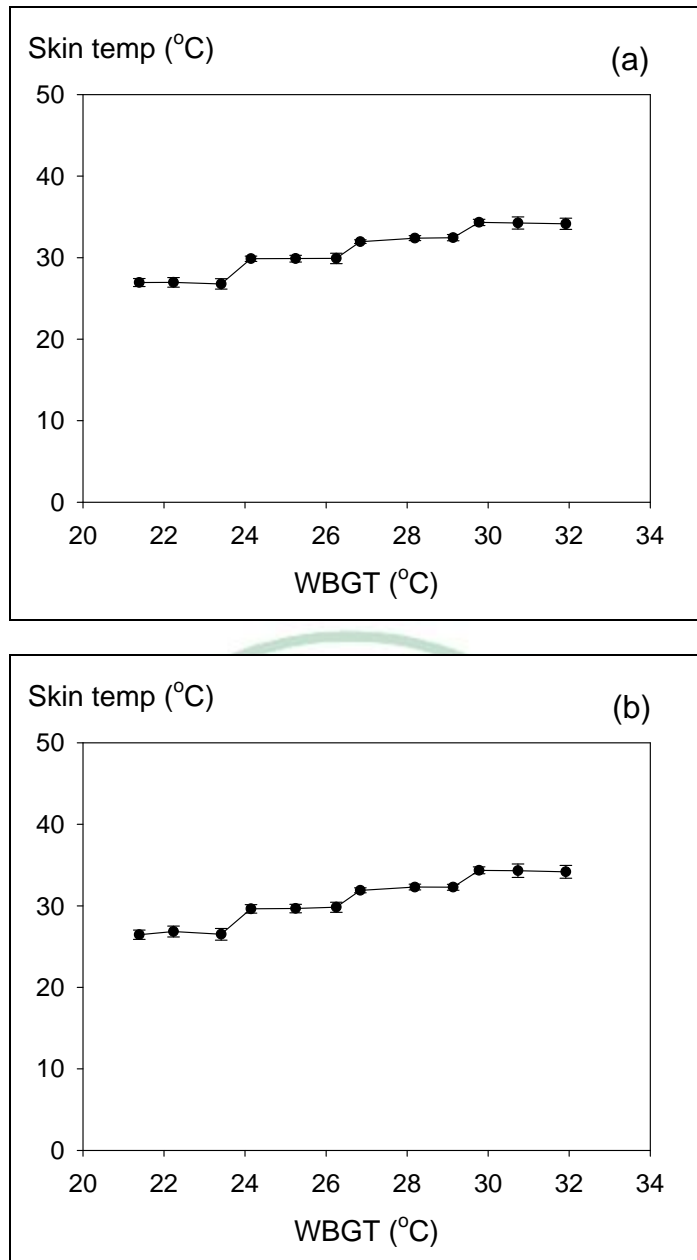


圖 4-18 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

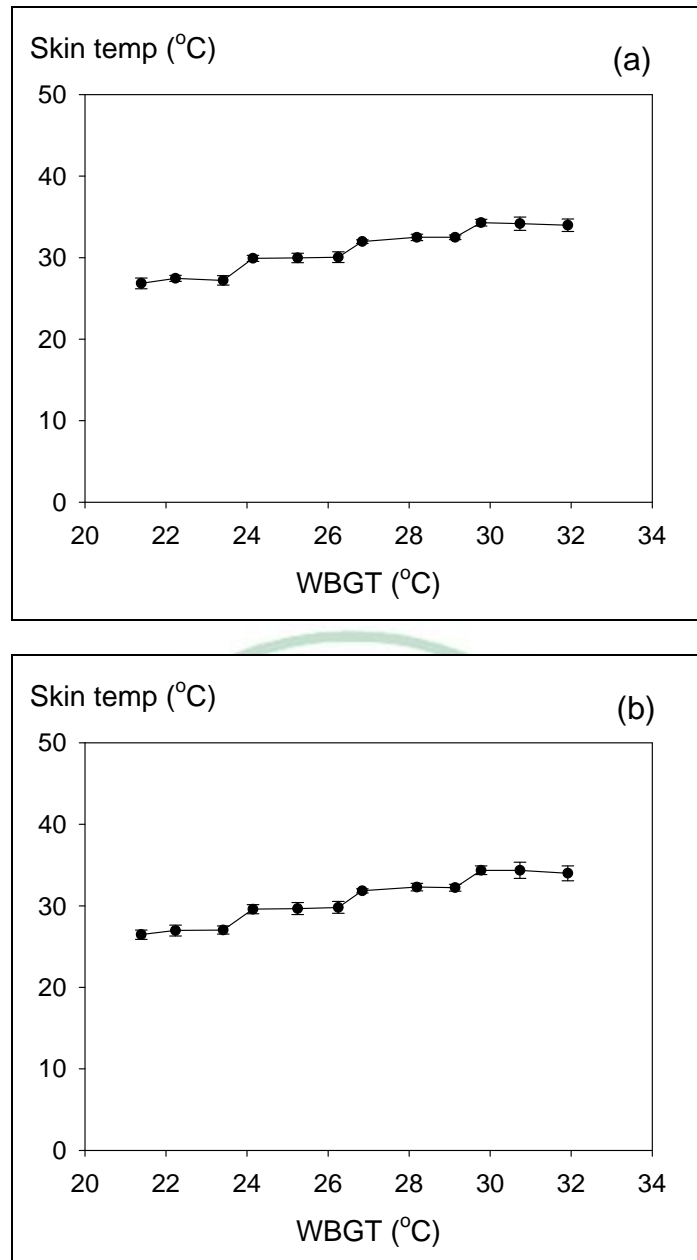


圖 4-19 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

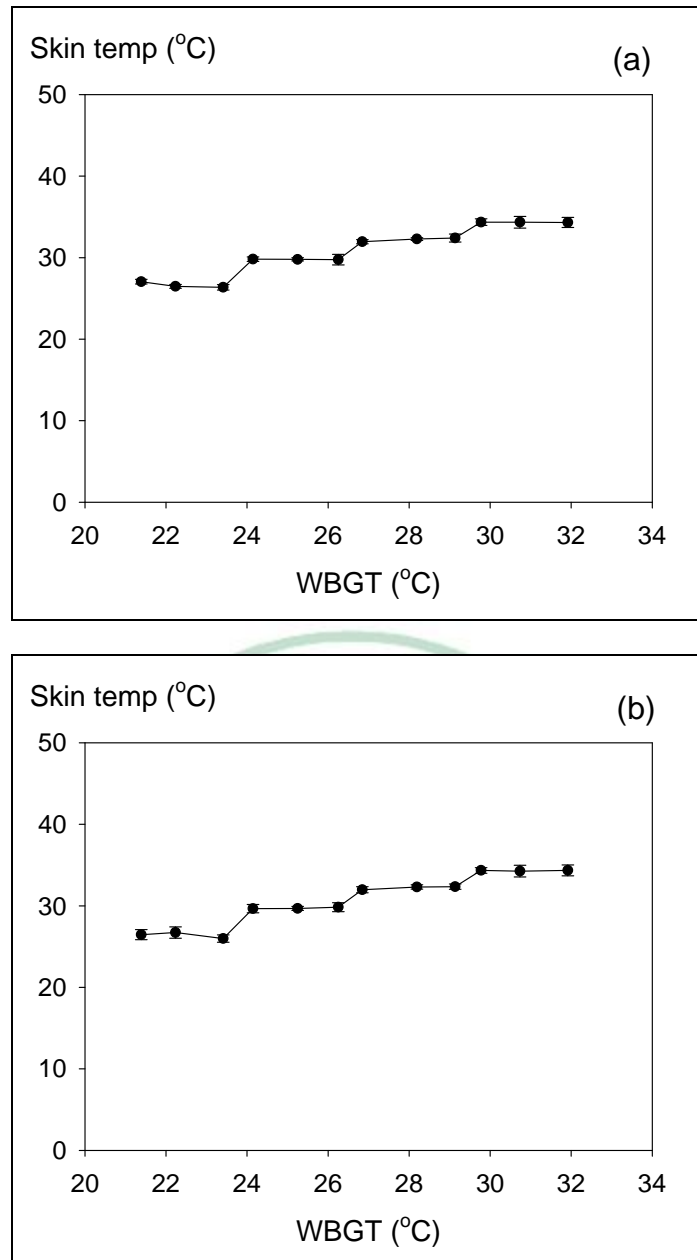


圖 4-20 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

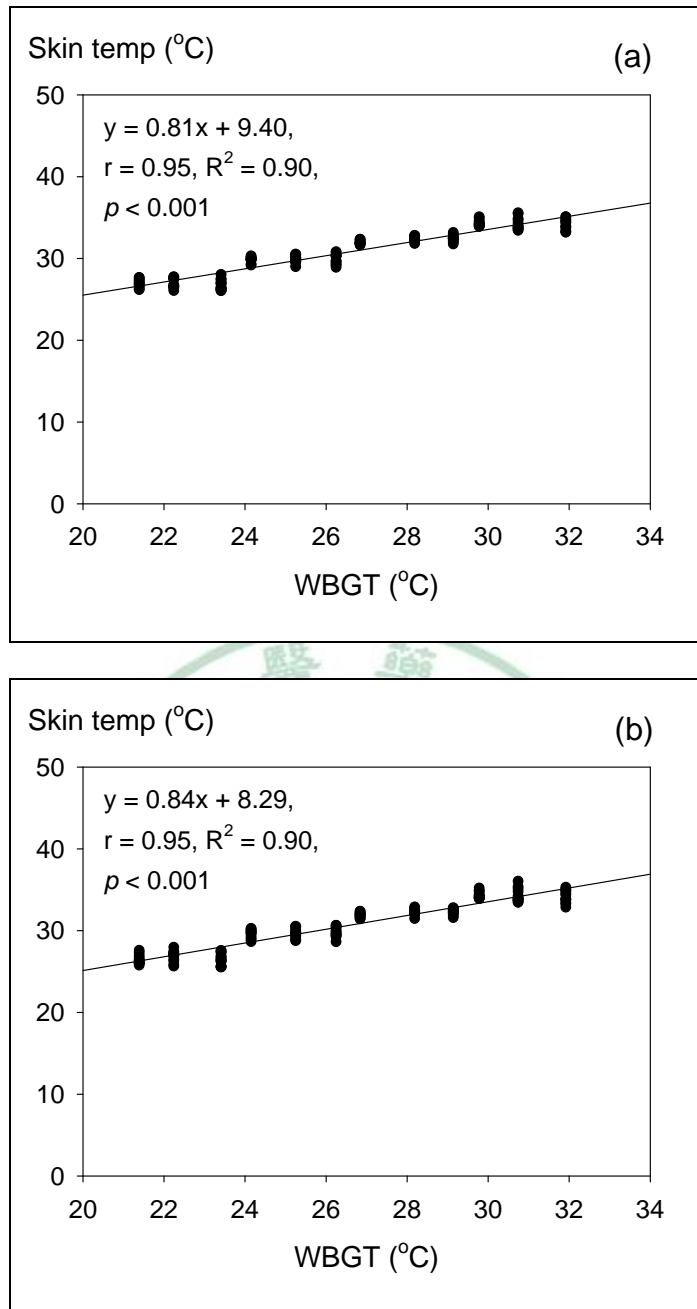


圖 4-21 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

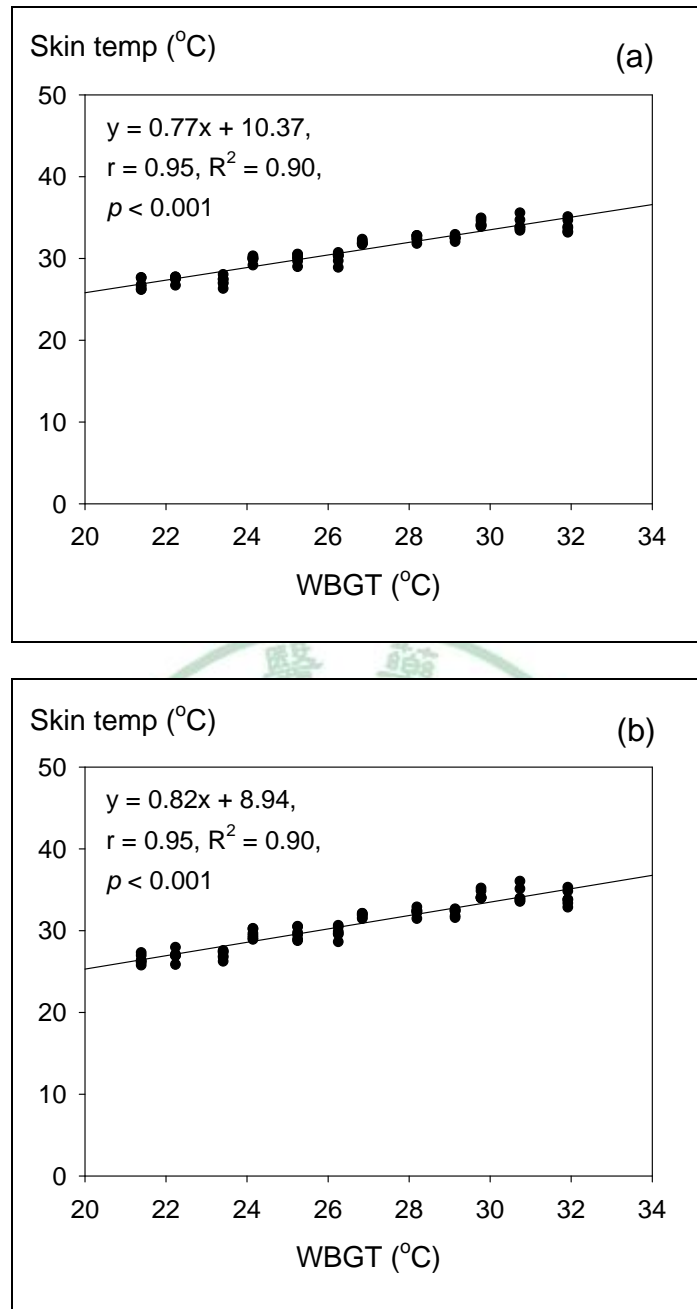


圖 4-22 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

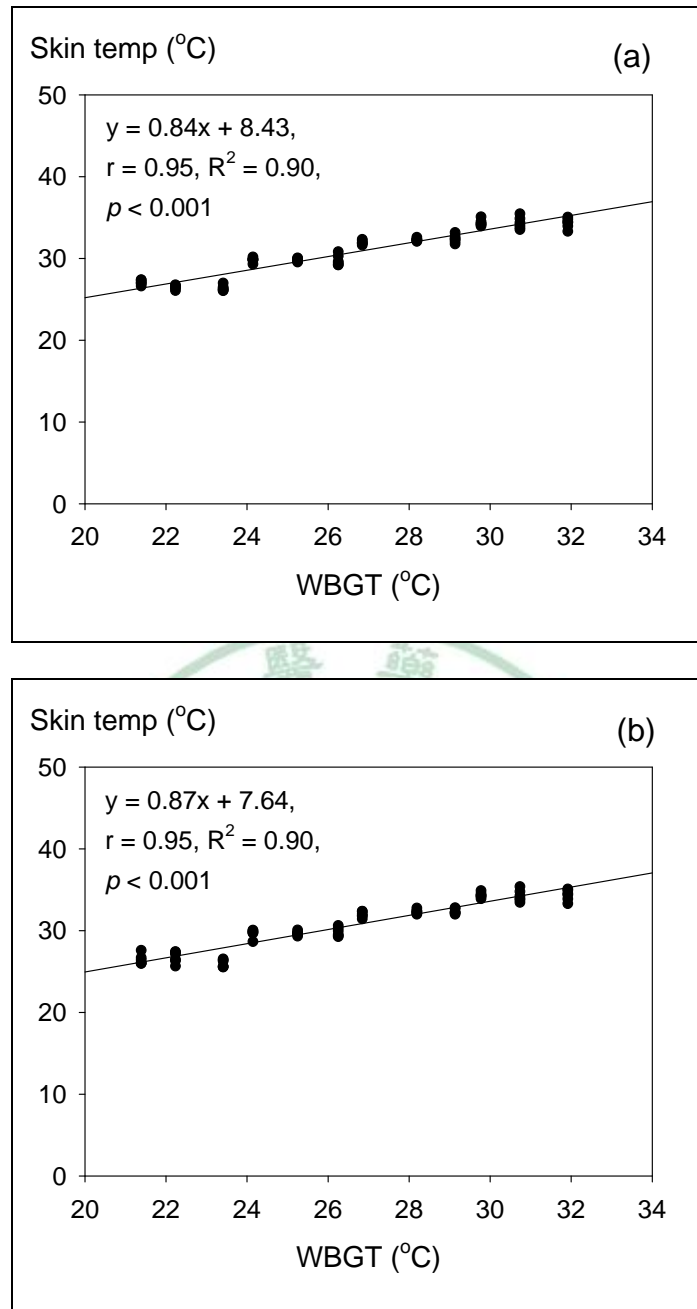


圖 4-23 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temp)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

男性上臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.77x + 10.37 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-9})$$

男性前臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.82x + 8.94 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-10})$$

女性上臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.84x + 8.43 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-11})$$

女性前臂內側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.87x + 7.64 \quad R^2 = 0.90 \quad (\text{Eq. 4-12})$$

由方程式可觀察到前臂外側迴歸係數皆大於上臂內側(全體、男性、與女性之前臂外側對上臂內側比值分別為 1.04、1.06、及 1.04)，顯示前臂外側皮膚溫度對於環境溫濕度變化較為敏感，但在所測量二部位間之差異與 TEWL 相較為小。另外所有線性迴歸之 R^2 皆為 0.9，明顯高於受測人員上臂內側與前臂外側 TEWL 之迴歸線性，顯示皮膚溫度作為熱環境因子對人體影響指標之穩定性遠較 TEWL 為高。另與 TEWL 相異之處為：男性受測人員不論在上臂內側或前臂外側迴歸係數與皆小於女性受試者(男—女迴歸係數比值：上臂內側為 0.92；前臂外側為 0.94)，顯示女性之皮膚溫度對環境綜合熱因子之變化較男性敏感。就迴歸常數(intercept)分析：男性上臂內側與前臂外側數值分別高於女性相同部位數值 1.91 與 1.30°C，顯示男性之基礎皮膚溫度(baseline skin temperature)高於女性。

4.2.3 室內環境熱因子對皮膚濕度之影響

圖 4-24 至 4-26 所示為受測人員上臂內側與前臂外側於不同環境溫度與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，環境溫度與相對濕度兩項環境因子對於皮膚溼度均構成明顯地影響。在較低環境溫度時(如 25°C)，上臂內側與前臂外側之皮膚溼度皆穩定低於 500 μ S。皮膚溼度亦受環境溼度影響：其在相對濕度較高環境中之量測值皆顯著大於較低相對濕度環境下之測量值，尤其以女性受測人員情況最為明顯。男性皮膚濕度之明顯上升出現於環境溫度逾 28°C 後；女性皮膚濕度之明顯變化則於 28°C、相對溼度答 70%後即可觀察到。但整體而言，隨環境溫度逐漸升高，皮膚溼度於固定環境溫濕度狀況下之變異量也隨之增加(25、28、31、34°C 之皮膚濕度 RSD 分別為 0.41、0.38、0.39、0.26；60、70、80%分別為 0.40、0.38、0.30)，故作為環境熱因子影響生理指標之穩定性不若皮膚溫度。

為瞭解於實驗設定之環境溫濕度下，男女性之皮膚濕度對環境之反應是否不同，表 4-17 針對不同部位之皮膚濕度男—女比值進行分析。結果顯示：除環境溫度 34°C、相對濕度 80%之狀況外，男性上臂內側皮膚濕度皆大於女性(男—女比值為 1.07-1.63)。但以 Student's *t* test 進一步檢定則未發現顯著統計差異(*p*-value > 0.05)。前臂外側皮膚濕度之男—女比值為 0.79-0.49，但在高相對濕度時(80%)女性之平均皮膚濕度均高於男性

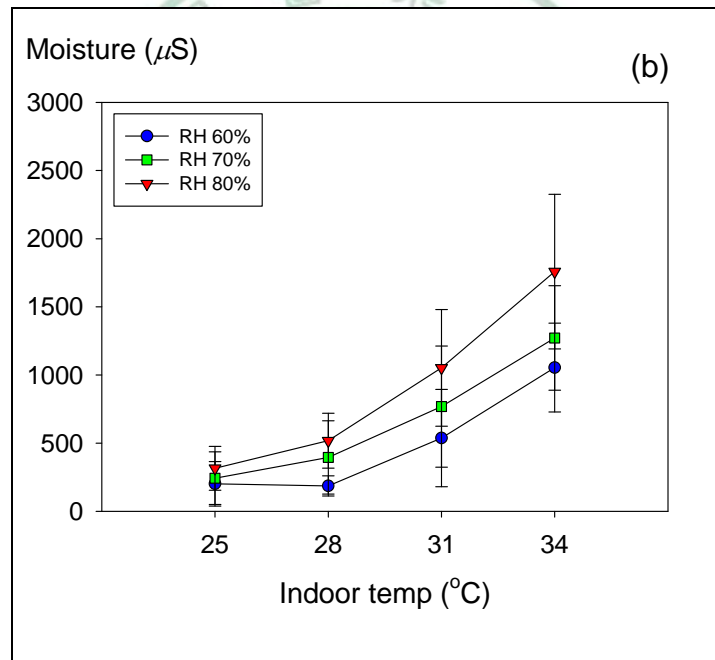
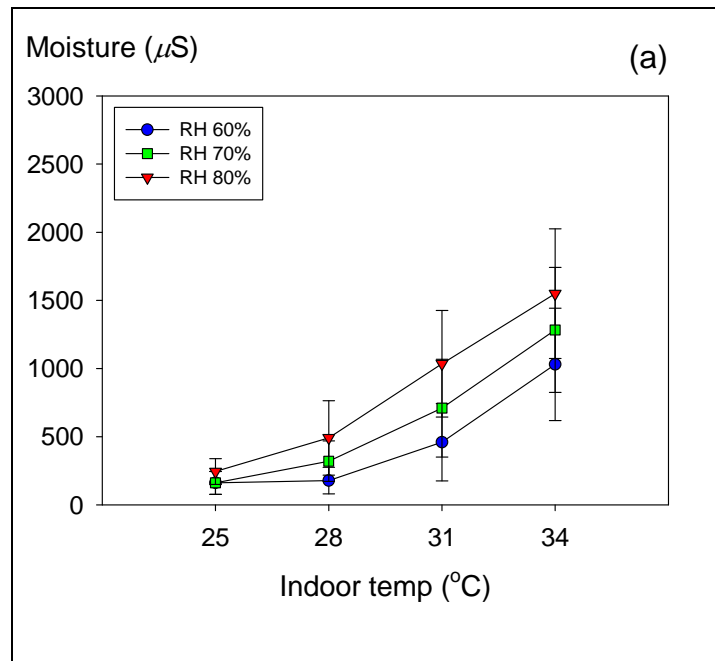


圖 4-24 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分布趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

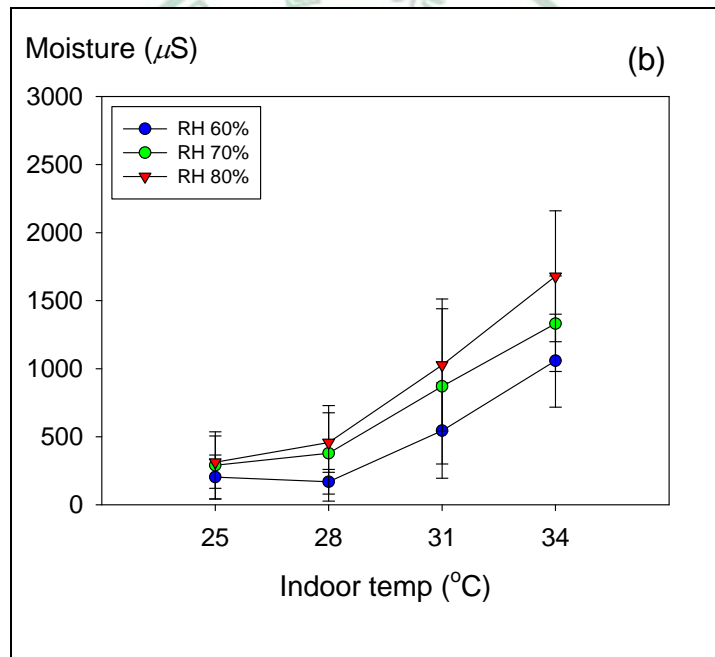
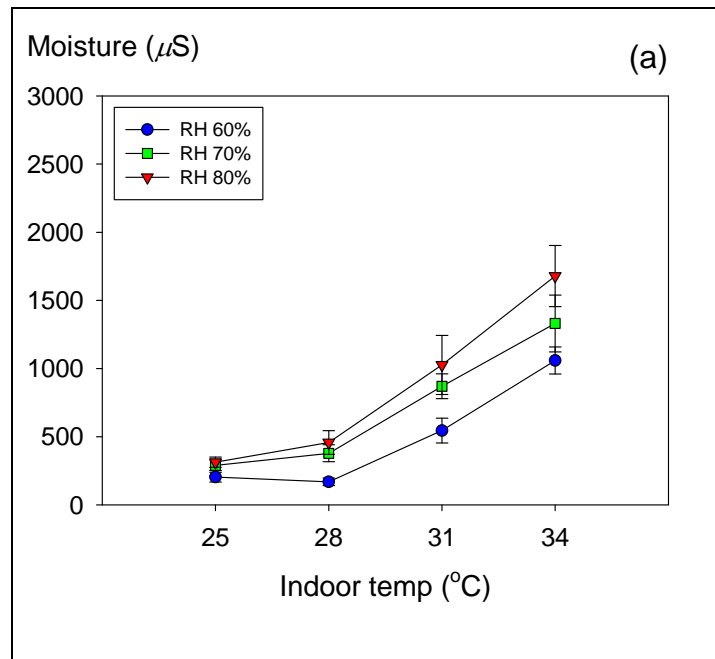


圖 4-25 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

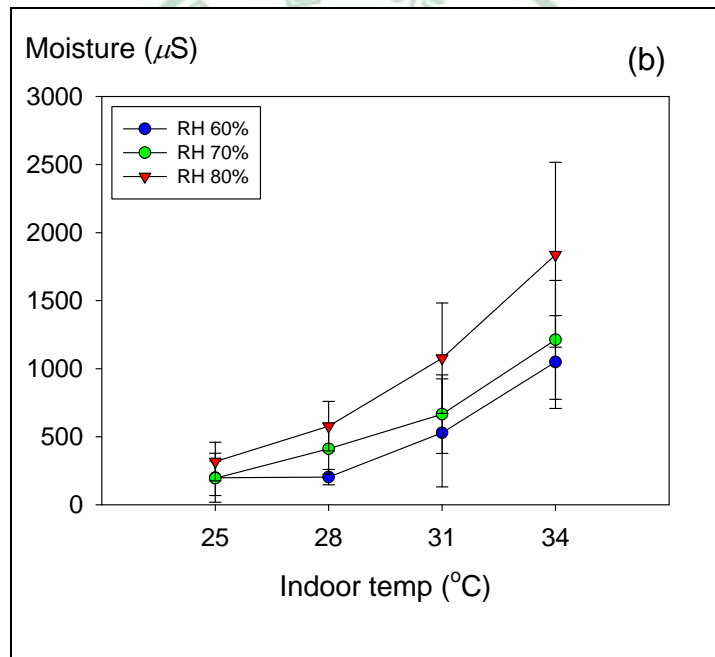
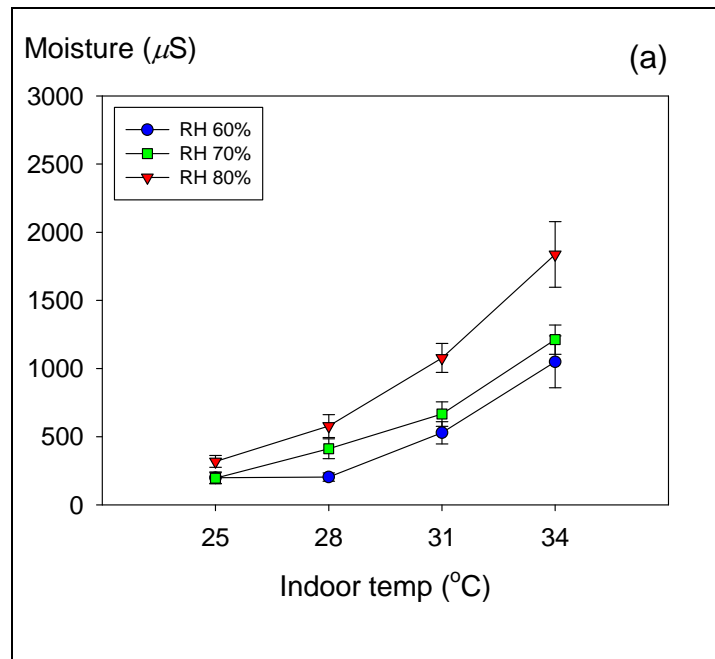


圖 4-26 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

表 4-17 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境

溫濕度之皮膚濕度測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	161 ± 84	175 ± 105	147 ± 63	1.19	0.591
	70	161 ± 84	187 ± 110	135 ± 41	1.39	0.300
	80	244 ± 94	258 ± 110	231 ± 83	1.12	0.644
28	60	178 ± 97	190 ± 138	166 ± 39	1.15	0.690
	70	320 ± 149	332 ± 207	308 ± 77	1.08	0.799
	80	491 ± 273	508 ± 396	474 ± 82	1.07	0.843
31	60	459 ± 283	570 ± 347	349 ± 164	1.63	0.188
	70	710 ± 359	797 ± 414	623 ± 306	1.28	0.428
	80	1035 ± 391	1130 ± 443	940 ± 345	1.20	0.427
34	60	1031 ± 412	1113 ± 507	949 ± 317	1.17	0.518
	70	1283 ± 459	1404 ± 539	1163 ± 371	1.21	0.388
	80	1549 ± 476	1483 ± 461	1615 ± 525	0.92	0.653
前臂外側皮膚濕度量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
25	60	201 ± 163	203 ± 162	199 ± 180	1.02	0.963
	70	242 ± 193	290 ± 246	195 ± 127	1.49	0.421
	80	316 ± 161	313 ± 192	318 ± 141	0.98	0.959
28	60	186 ± 74	169 ± 91	203 ± 57	0.83	0.448
	70	395 ± 269	378 ± 351	411 ± 188	0.92	0.844
	80	518 ± 202	457 ± 219	578 ± 181	0.79	0.322
31	60	537 ± 357	545 ± 350	529 ± 397	1.03	0.940
	70	768 ± 444	870 ± 571	666 ± 289	1.31	0.459
	80	1052 ± 427	1026 ± 486	1078 ± 406	0.95	0.847
34	60	1054 ± 326	1059 ± 342	1049 ± 341	1.01	0.962
	70	1271 ± 383	1330 ± 351	1212 ± 438	1.10	0.616
	80	1758 ± 567	1679 ± 481	1837 ± 679	0.91	0.651

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

環境溫度 28 °C 之量測值亦是如此。表 4-18 所示為前臂外側與上臂內側於各溫濕度組合下之皮膚濕度比值；結果顯示除男性在 31°C、80%之狀況外，所有其他比值皆高於 1，顯示前臂外側皮膚之濕度對於環境熱因子影響較易產生明顯反應，而此現象不受性別影響。以 Student's *t* test 檢定男女間上臂內側與前臂外側皮膚濕度差異，統計結果未達顯著性(p -value > 0.05)。

利用 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較法分析環境溫濕度對於全體人員上臂內側與前臂外側皮膚濕度影響程度之結果顯示：受測人員上臂內側與前臂外側皮膚濕度明顯受環境溫度影響(p -value < 0.001) (表 4-19)，但以上現象在低環境溫度中(如 25°C 與 28°C)較不顯著，顯示高溫環境對於皮膚濕度影響較大。分析環境相對濕度對於皮膚濕度影響的結果顯示：前臂外側皮膚於環境溫度 25°C 時，相對濕度對於皮膚濕度之影響較小(p -value = 0.273)，其餘不同環境溫度下各濕度所測得上臂內側與前臂外側之皮膚濕度皆受相對濕度影響(p -value ≤ 0.001)。Scheffé's 多重比較顯示於同一環境溫度下，在相對濕度 60%與 80%所測量得之上臂內側與前臂外側皮膚濕度皆達統計顯著差異(表 4-20)。上臂內側皮膚於環境溫度 25°C、以及前臂外側皮膚於 34°C 時，70%之皮膚濕度量測值與 80%之量測值達顯著差異。以上結果建議：相對濕度對皮膚濕度造成之影響在 80%時最為顯著，故相較之下，對皮膚濕度造成之影響仍以環境溫度

表 4-18 全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂
內側皮膚濕度比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側皮膚濕度量測值					
溫度	相對濕度	全體	男	女	<i>p</i> -value
25	60	1.23 ± 0.62	1.13 ± 0.47	1.33 ± 0.74	0.556
	70	1.44 ± 0.57	1.44 ± 0.52	1.44 ± 0.62	1.000
	80	1.36 ± 0.53	1.29 ± 0.59	1.43 ± 0.47	0.634
28	60	1.19 ± 0.50	1.09 ± 0.56	1.30 ± 0.41	0.394
	70	1.25 ± 0.49	1.15 ± 0.55	1.35 ± 0.39	0.466
	80	1.27 ± 0.71	1.31 ± 0.94	1.22 ± 0.35	0.824
31	60	1.26 ± 0.61	1.04 ± 0.41	1.49 ± 0.69	0.165
	70	1.13 ± 0.41	1.12 ± 0.53	1.13 ± 0.24	0.962
	80	1.08 ± 0.48	0.99 ± 0.60	1.17 ± 0.29	0.483
34	60	1.08 ± 0.33	1.04 ± 0.32	1.12 ± 0.34	0.571
	70	1.03 ± 0.30	1.02 ± 0.34	1.05 ± 0.24	0.829
	80	1.18 ± 0.33	1.21 ± 0.40	1.15 ± 0.24	0.723

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-19 全體人員於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	29.719	< 0.001**	25°C	28°C	0.999	25°C	28°C	0.651	25°C	28°C	0.378
	70%	32.506	< 0.001**		31°C	0.059		31°C	0.001**		31°C	< 0.001**
	80%	35.169	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.083	28°C	31°C	0.029*	28°C	31°C	0.004**
					34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				31°C	34°C	< 0.001**	31°C	34°C	0.001**	31°C	34°C	0.007**
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
	60%	29.897	< 0.001**	25°C	28°C	0.999	25°C	28°C	0.748	25°C	28°C	0.636
	70%	22.174	< 0.001**		31°C	0.026*		31°C	0.005**		31°C	< 0.001**
	80%	34.329	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.018*	28°C	31°C	0.076	28°C	31°C	0.013*
					34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				31°C	34°C	< 0.001**	31°C	34°C	0.008**	31°C	34°C	0.001**

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-20 全體人員於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	3.640	0.037*	60%	70%	1.000	60%	70%	0.196	60%	70%	0.225	60%	70%	0.399
	28°C	9.338	0.001**		80%	0.080*		80%	0.001**		80%	0.001*		80%	0.028*
	31°C	8.297	0.001**	70%	80%	0.080*	70%	80%	0.099	70%	80%	0.087	70%	80%	0.361
	34°C	3.988	0.028*												
前臂外側	25°C	1.349	0.273	60%	70%	0.843	60%	70%	0.050	60%	70%	0.398	60%	70%	0.486
	28°C	8.518	0.001**		80%	0.282		80%	0.001**		80%	0.016*		80%	0.002**
	31°C	4.725	0.016*	70%	80%	0.590	70%	80%	0.330	70%	80%	0.253	70%	80%	0.035*
	34°C	8.140	0.001**												

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

為主。

進一步分析男性受測者皮膚濕度受環境溫度大小影響之結果顯示(表 4-21 與 4-22)：男性上臂內側與前臂外側於相對濕度 60%與 70%時，環境溫度 34°C 之皮膚濕度量測值與 25°C、28°C 達顯著差異(p -value ≤ 0.005)；環境相對濕度 80%時，亦發現上臂內側與前臂外側於 31°C 所量測之皮膚濕度與 25°C 量測值亦具顯著差異(p -value ≤ 0.029)。但環境溫度 31°C 與 34°C 間之差別則在所有相對濕度狀況下皆不顯著(表 4-21)。若比較同一環境溫度但不同相對濕度之測量值，則發現男性上臂內側與前臂外側之皮膚濕度受環境相對濕度影響較小，統計結果皆未達顯著差異(表 4-22)。

女性分析結果同樣顯示受測部位皮膚濕度顯著受環境溫度影響(表 4-23)；影響幅度甚或大於男性皮膚受影響程度。女性上臂內側與前臂外側之皮膚濕度於環境溫度 34°C 時與其他環境溫度時所測得之皮膚濕度均達統計顯著性(p -value ≤ 0.038)—包含 31°C 與 34°C 間之差異。當上臂內側皮膚處於相對濕度 70%與 80%之環境，以及前臂外側皮膚於相對濕度 80%時，環境溫度 31°C 所測量之皮膚濕度與 25°C 量測值均達顯著差異(p -value ≤ 0.038)。女性皮膚濕度受相對濕度之影響在上臂內側皮膚尤其明顯(表 4-24)；在所有環境溫度下、不同相對濕度對皮膚濕度之影響皆具顯著差異(p -value ≤ 0.042)。Scheffé's 多重比較分析顯示：當環境溫度為 28°C 時，各濕度間之皮膚濕度測量值均達顯著差異(p -value ≤ 0.009)；環

表 4-21 男性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
上臂內側	F-value	p-value	p-value			p-value			p-value			
	60%	11.417	< 0.001**	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.920	25°C	28°C	0.730
	70%	13.964	< 0.001**		31°C	0.237		31°C	0.062		31°C	0.008**
	80%	13.125	< 0.001**		34°C	0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.268	28°C	31°C	0.205	28°C	31°C	0.075
					34°C	0.001**		34°C	0.001**		34°C	0.003**
				31°C	34°C	0.061	31°C	34°C	0.063	31°C	34°C	0.476
前臂外側	F-value	p-value	p-value			p-value			p-value			
	60%	14.951	< 0.001**	25°C	28°C	0.997	25°C	28°C	0.985	25°C	28°C	0.928
	70%	8.798	0.001**		31°C	0.198		31°C	0.129		31°C	0.029*
	80%	16.788	< 0.001**		34°C	< 0.001**		34°C	0.002**		34°C	< 0.001**
				28°C	31°C	0.137	28°C	31°C	0.238	28°C	31°C	0.103
					34°C	< 0.001**		34°C	0.005**		34°C	< 0.001**
				31°C	34°C	0.025*	31°C	34°C	0.290	31°C	34°C	0.051

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-22 男性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	1.018	0.385	60%	70%	0.981	60%	70%	0.668	60%	70%	0.631	60%	70%	0.615
	28°C	2.095	0.158		80%	0.438		80%	0.540		80%	0.086		80%	0.462
	31°C	2.930	0.084	70%	80%	0.544	70%	80%	0.159	70%	80%	0.383	70%	80%	0.963
	34°C	0.902	0.427												
前臂外側	25°C	0.485	0.625	60%	70%	0.766	60%	70%	0.359	60%	70%	0.515	60%	70%	0.511
	28°C	2.225	0.142		80%	0.654		80%	0.159		80%	0.250		80%	0.051
	31°C	1.585	0.237	70%	80%	0.981	70%	80%	0.856	70%	80%	0.853	70%	80%	0.341
	34°C	3.681	0.050*												

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

表 4-23 女性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較						
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value						
	60%	25.529	< 0.001**		25°C	28°C	0.998		25°C	28°C	0.684		25°C	28°C	0.635	
	70%	20.449	< 0.001**			31°C	0.327			31°C	0.022*			31°C	0.010**	
	80%	21.845	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	0.409		28°C	31°C	0.209		28°C	31°C	0.128	
						34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	< 0.001**		31°C	34°C	0.011*		31°C	34°C	0.015*	
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value						
	60%	12.446	< 0.001**		25°C	28°C	1.000		25°C	28°C	0.640		25°C	28°C	0.755	
	70%	14.139	< 0.001**			31°C	0.270			31°C	0.072			31°C	0.038*	
	80%	15.809	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**			34°C	< 0.001**	
					28°C	31°C	0.281		28°C	31°C	0.510		28°C	31°C	0.253	
						34°C	< 0.001**			34°C	0.001**			34°C	< 0.001**	
					31°C	34°C	0.034*		31°C	34°C	0.030*		31°C	34°C	0.038*	

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 4-24 女性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚濕度之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	3.933	0.042*	60%	70%	0.948	60%	70%	0.009**	60%	70%	0.273	60%	70%	0.677
	28°C	30.544	<0.001**		80%	0.113		80%	<0.001**		80%	0.009**		80%	0.044*
	31°C	6.598	0.009**	70%	80%	0.064	70%	80%	0.003**	70%	80%	0.185	70%	80%	0.200
	34°C	4.054	0.039*												
前臂外側	25°C	1.294	0.303	60%	70%	0.999	60%	70%	0.099	60%	70%	0.813	60%	70%	0.858
	28°C	8.873	0.003**		80%	0.412		80%	0.003**		80%	0.063		80%	0.052
	31°C	3.628	0.052	70%	80%	0.392	70%	80%	0.206	70%	80%	0.186	70%	80%	0.136
	34°C	4.053	0.039*												

^a 皮膚濕度差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p -value < 0.05, ** : p -value < 0.01

境溫度為 31°C 與 34°C 時，相對濕度 80%之皮膚濕度與相對濕度 60%達顯著差異(p -value ≤ 0.044)。相較之下，前臂外側皮膚濕度只在環境溫度 28°C 與 34°C 時具顯著性(p -value ≤ 0.039)；其中當環境溫度為 28°C 時，相對濕度 80%與 60%之皮膚濕度為統計顯著差異(p -value = 0.003)。與男性之結果相較，環境相對濕度對於女性皮膚濕度影響較大，亦說明先前關於皮膚濕度受相對濕度影響之觀察主要適用於女性。

圖 4-27 至 4-29 所示為全體、男性與女性人員上臂內側、前臂外側皮膚濕度對應 WBGT 之線性分佈。圖中循橫座標自左至右(隨 WBGT 上升)每 3 個連續觀察值(平均值)屬於同一環境溫度；而反應同一環境溫度之連續觀察值隨 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。如圖顯示，上臂內側與前臂外側皮膚濕度在 WBGT 達 24.1°C 之前無明顯變化，但當 WBGT 逾此數值後則皮膚濕度隨 WBGT 上升而增加。皮膚濕度之上升趨勢呈線型，而非 TEWL 或皮膚溫度對應 WBGT 之階梯式上揚，顯示皮膚濕度同時反應環境溫度與相對濕度之特色，亦說明皮膚濕度是本研究檢視之生理指標中適宜作為不同環境熱因子綜合效應之生理指標。男女性受測人員皮膚溫度之變化趨勢與全體人員皮膚溫度之趨勢相同，所測得最大值之環境同為環境溫度 34°C、相對濕度 80%之 WBGT。值得注意的是：與前臂外側相較，上臂內側皮膚濕度在各 WBGT 值之分佈隨 WBGT 上升出現發散之現象(上臂內側皮膚濕度 RSD 自 WBGT 21.4 至 31.9°C 由

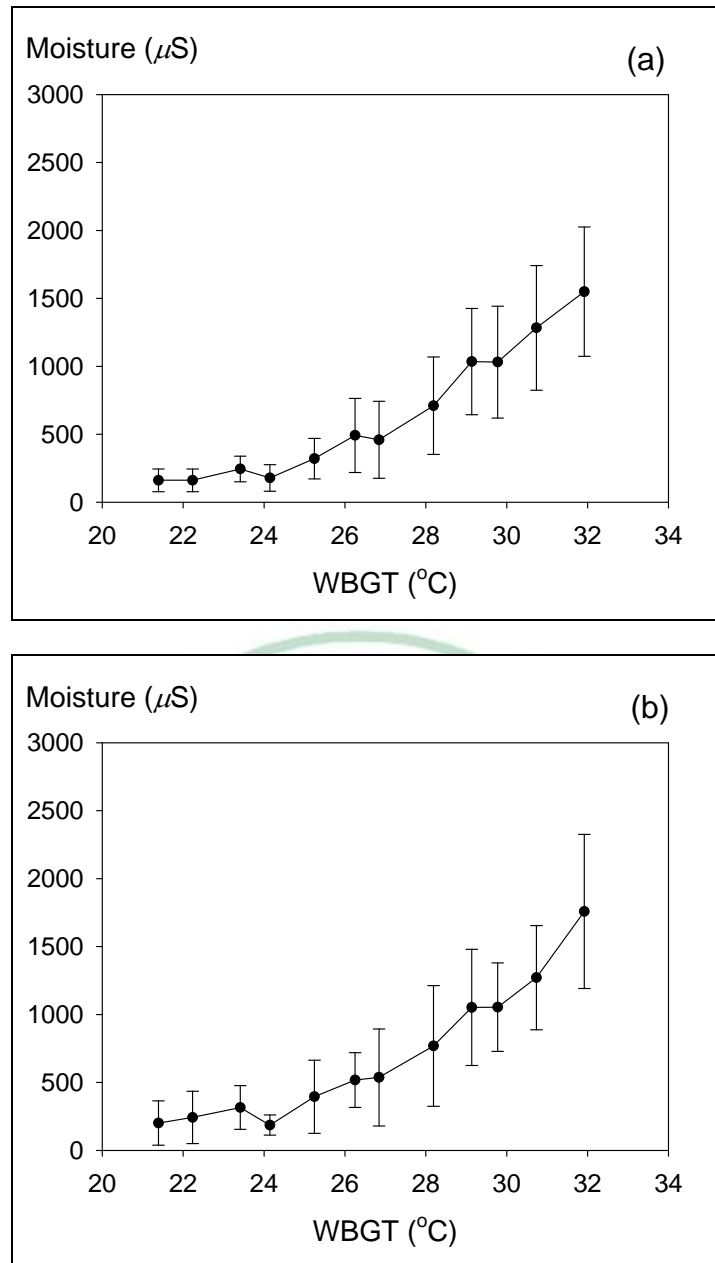


圖 4-27 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

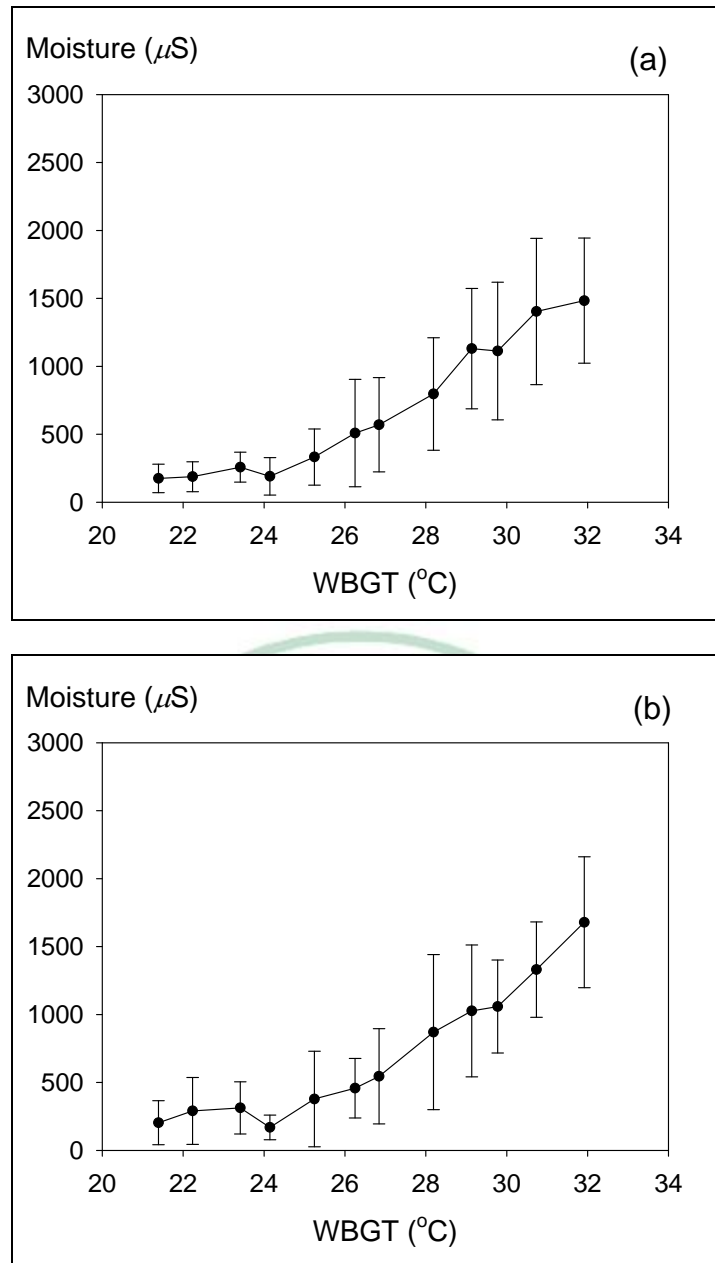


圖 4-28 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

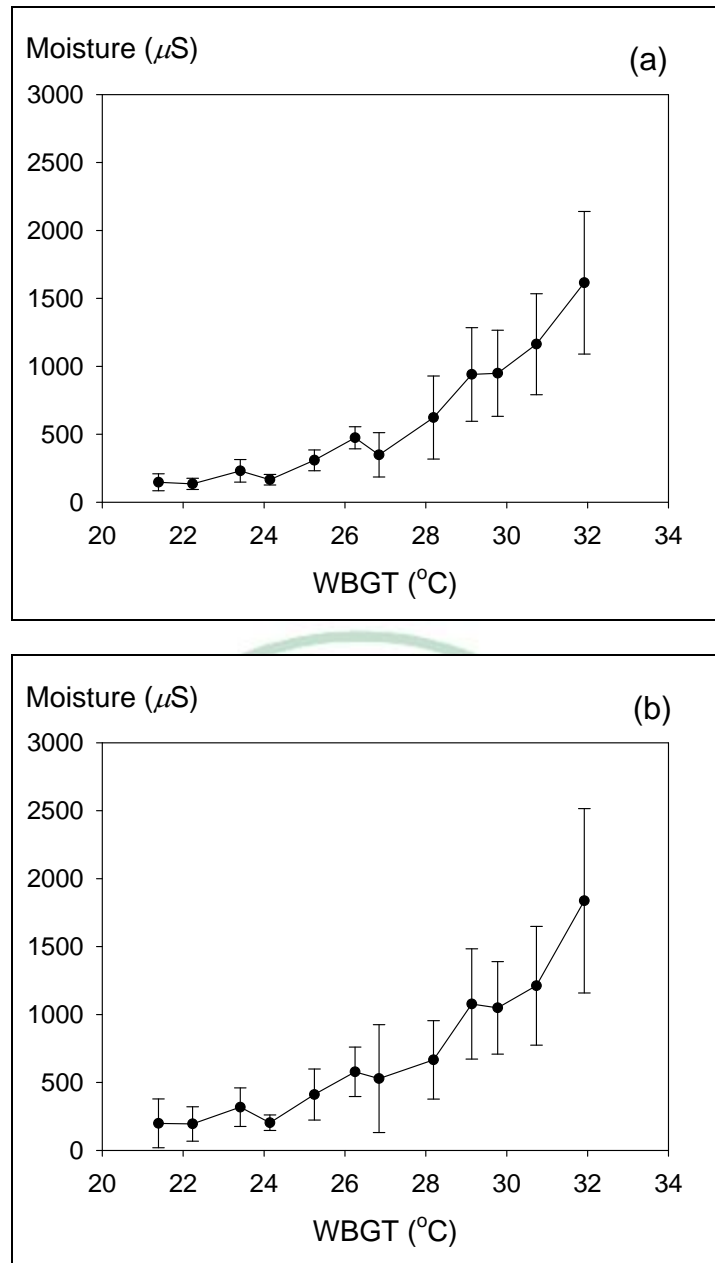


圖 4-29 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分布趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

0.31 至 0.62)，故其作為環境綜合熱因子影響生理指標之穩定性隨環境熱影響程度上升而遞減。

圖 4-30 至 4-32 所示為皮膚濕度對應 WBGT 之散佈關係及其線性迴歸。各散佈圖之迴歸方程式總結如下：

全體人員上臂內側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 134.06x - 2931.7 \quad R^2 = 0.65 \quad (\text{Eq. 4-13})$$

全體人員前臂外側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 136.86x - 2950.2 \quad R^2 = 0.62 \quad (\text{Eq. 4-14})$$

男性上臂內側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 138.14x - 2996.7 \quad R^2 = 0.63 \quad (\text{Eq. 4-15})$$

男性前臂外側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 135.41x - 2909.5 \quad R^2 = 0.61 \quad (\text{Eq. 4-16})$$

女性上臂內側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 129.95x - 2866.1 \quad R^2 = 0.69 \quad (\text{Eq. 4-17})$$

女性前臂外側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 138.31x - 2990.6 \quad R^2 = 0.63 \quad (\text{Eq. 4-18})$$

由全體人員之迴歸方程式可觀察到前臂外側迴歸係數略高於上臂內側(全體之前臂外側對上臂內側比值為 1.02)；女性受測人員亦是如此，但兩者差異較大(女性之比值為 1.06)，顯示女性上臂內側皮膚濕度對於環境溫濕度變化較為敏感。男性受試者則恰好相反，迴歸係數為上臂內側大

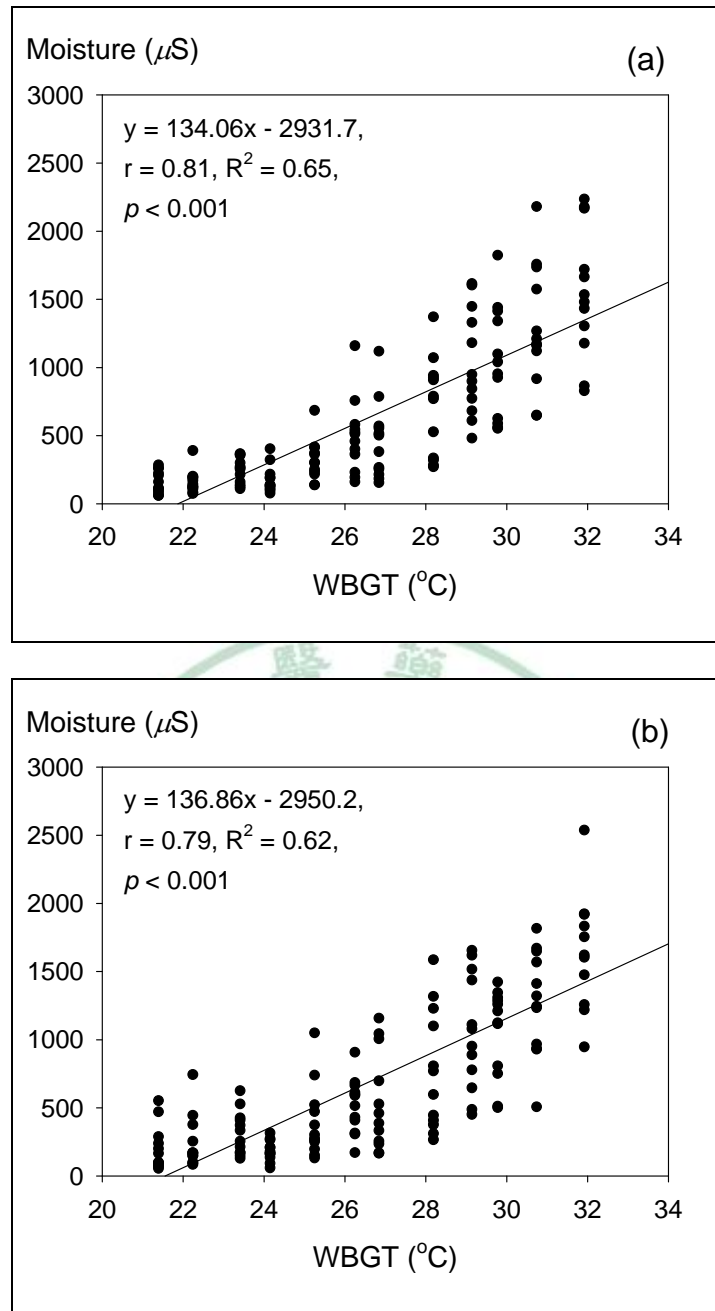


圖 4-30 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

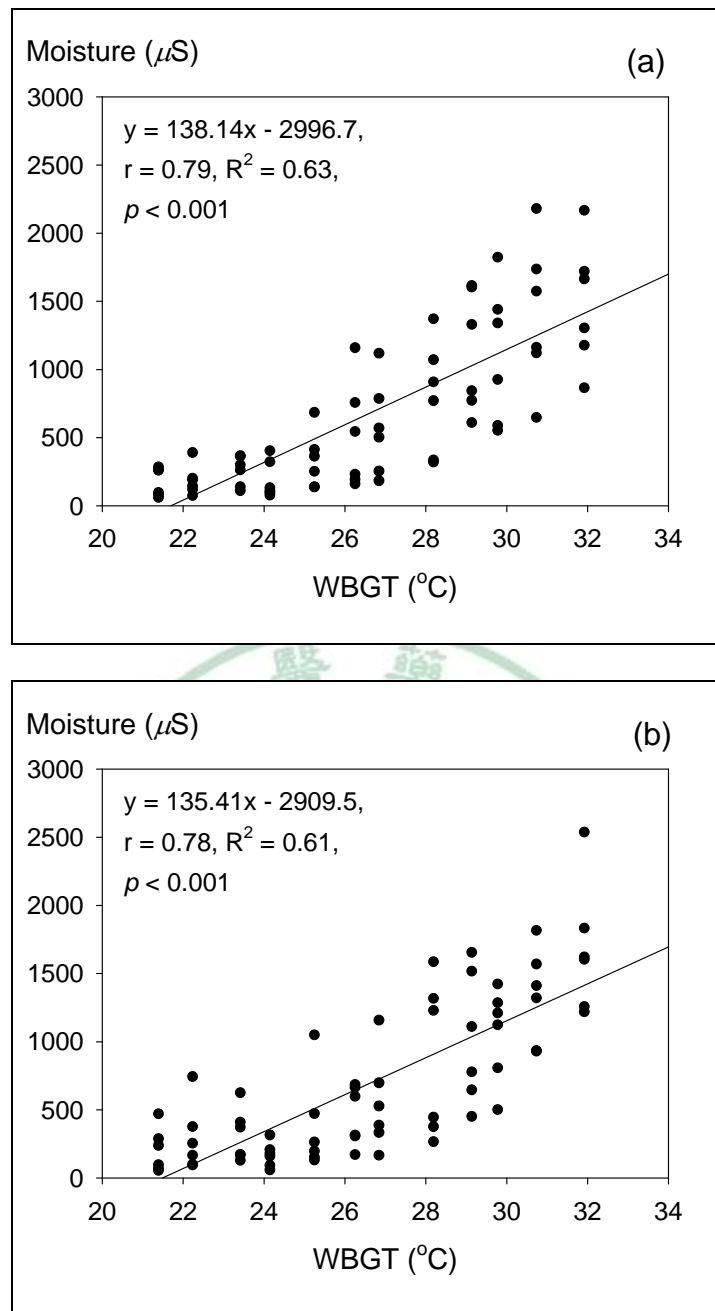


圖 4-31 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

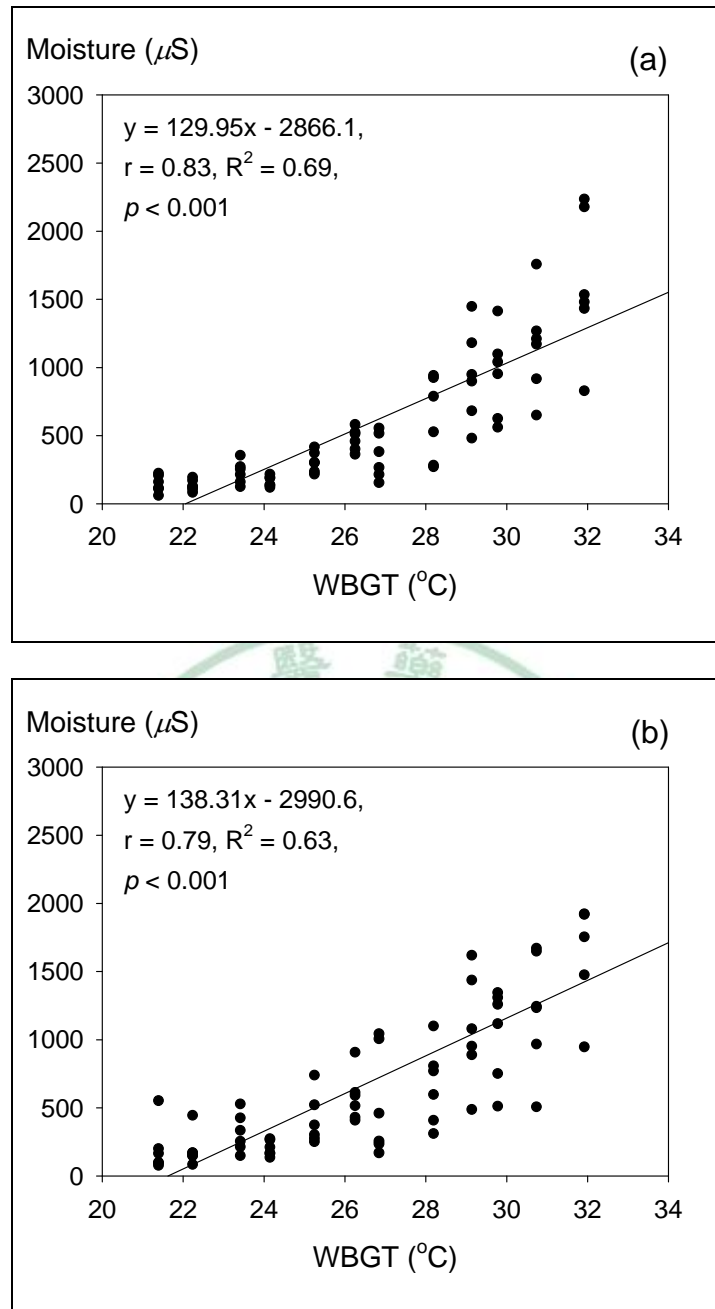


圖 4-32 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

於前臂外側(男性之比值為 0.98)。若以男女性在同一皮膚部位之迴歸係數比較，女性前臂內側數值高於同部位之男性數值，顯示較高之敏感程度。此外，各迴歸方程式之 R^2 皆大於 0.61，尤以女性迴歸線之數值為個別皮膚部位類組中最高，反應女性之皮膚濕度與男性相較可較為精準反應環境溫度與相對濕度兩者變化之觀察。

若與 TEWL 或皮膚溫度之線性迴歸結果相比，可發現皮膚濕度對應 WBGT 之迴歸係數在不同部位之比值為三項指標中最小者，顯示就皮膚濕度而言，上臂內側與前臂外側皮膚之敏感性差異為三項指標中最小者。以上分析建議皮膚濕度作為熱環境因子影響生理指標時不受量測部位之侷限。

4.2.4 室內環境熱因子對紅斑生成之影響

圖 4-33 至 4-35 為受測人員於實驗設定環境溫濕度下，E-index 隨環境溫度變化之分佈。由圖中可發現上臂內側與前臂外側皮膚 E-index 不受環境溫度與相對濕度影響，其分佈呈水平直線。前臂外側皮膚 E-index 皆高於上臂內側(全體人員：前臂外側 13.2-14.2；上臂內側 8.7-9.8)；與女性相較(前臂外側 11.5-12.3；上臂內側 8.6-10.1)，差異情況在男性受測者上更為顯著(前臂外側 14.9-16.2；上臂內側 8.3-9.4)。男女間之差別亦反應在：上臂內側皮膚之 E-index 相近，但以女性數值略高；前臂外側 E-index

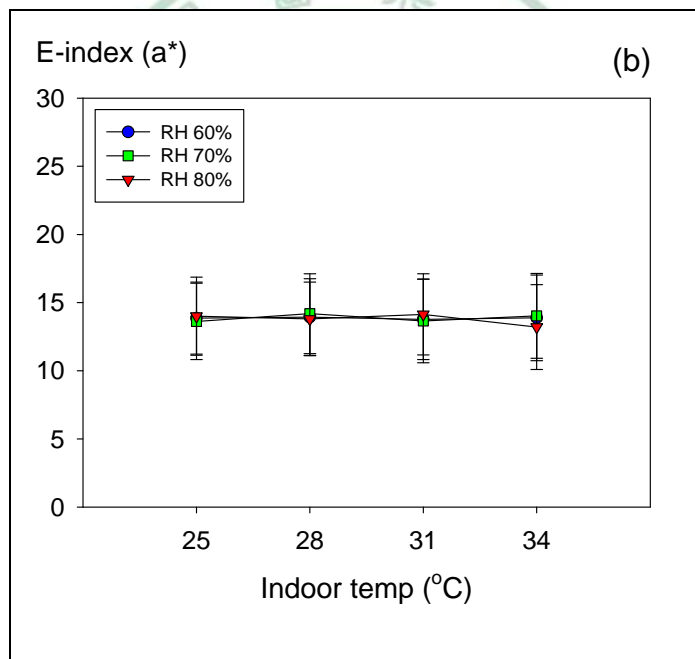
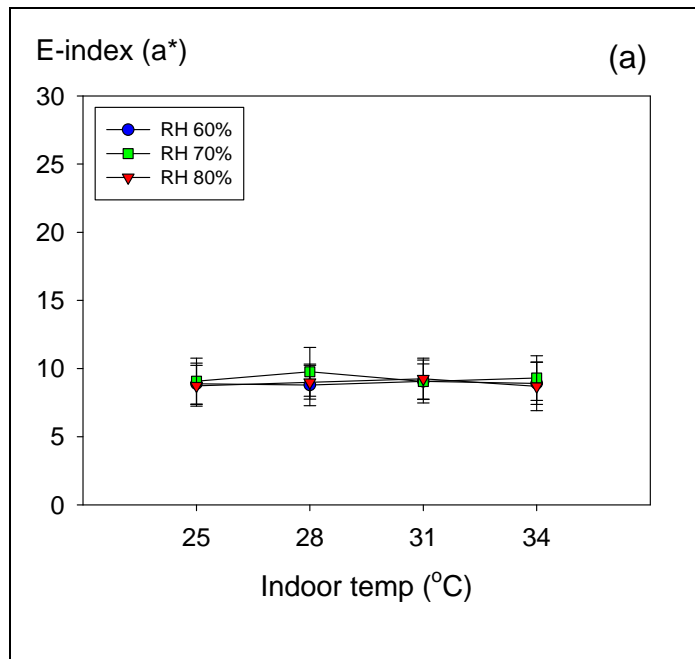


圖 4-33 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚紅斑指數 (erythema-index, E-index) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

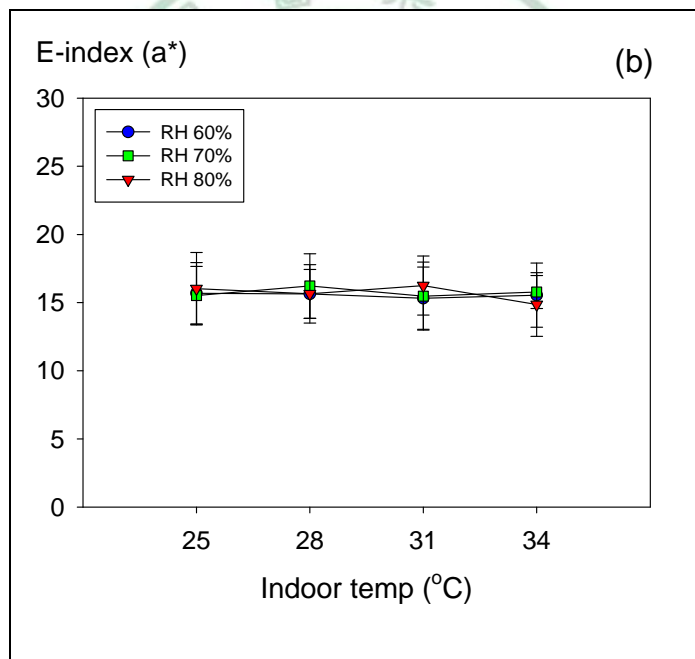
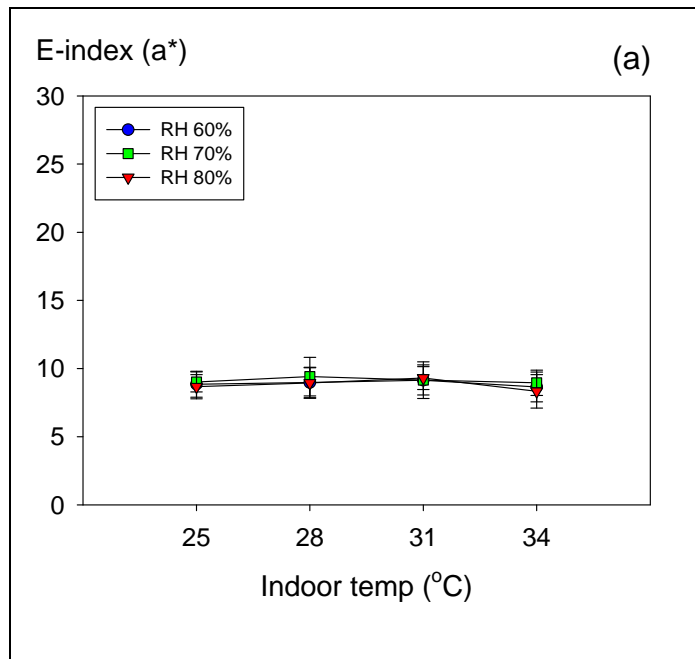


圖 4-34 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

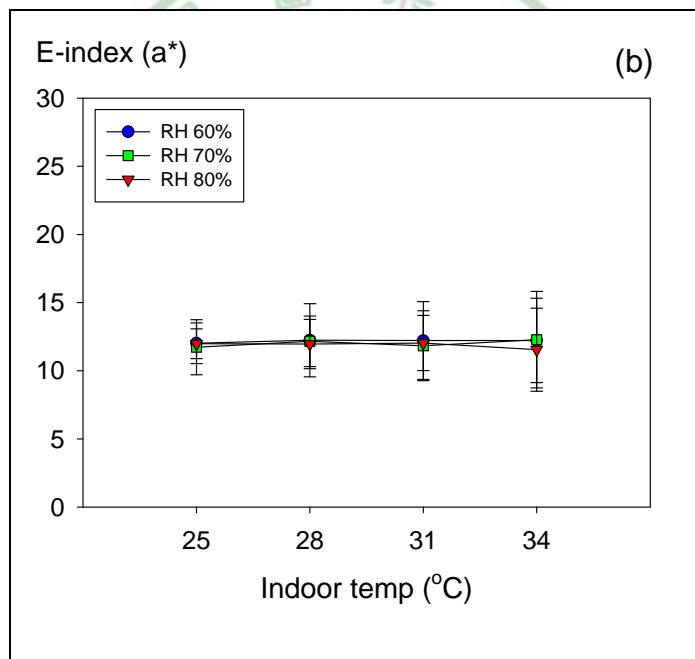
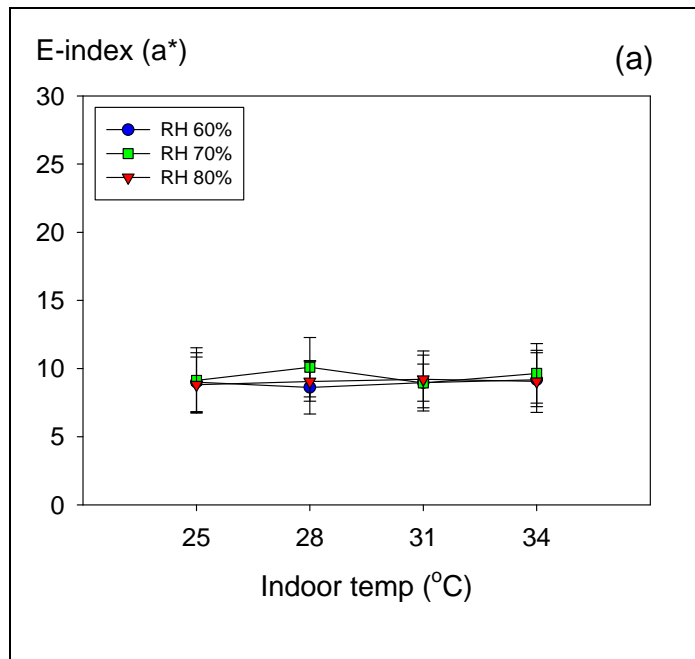


圖 4-35 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

則男性明顯高於女性。前臂外側 E-index 之性別差異當與參加本實驗之男性於夏季較少使用防護裝置(如穿著長袖衣物或使用防曬霜)有關。

表 4-25 所示為男女性皮膚對應不同環境溫濕度組合之 E-index 比值及以 Student's *t* test 檢定結果。結果顯示男一女上臂內側皮膚 E-index 比值接近 1 (0.92-1.04)，統計檢定亦未有顯著差異。男性前臂外側 E-index 則高於女性，比值接近 1.30 (1.25-1.35)；除 31°C/60%與 34°C/60、70、80%之溫濕度組合外，男女皮膚 E-index 之差異皆達顯著性。表 4-26 呈現前臂外側與上臂內側於各溫濕度組合下 E-index 之比值；分析發現全體人員前臂外側皮膚 E-index 皆高於上臂內側，比值均大於 1 (1.48-1.62)。男性之比值(1.70-1.84)顯著高於女性(1.28-1.43)。以 Student's *t* test 檢定男女間上臂內側與前臂外側皮膚 E-index 比值間差異，結果除環境溫度 31°C、相對濕度 60%之比值未達顯著性外，其餘統計結果皆具顯著性(p -value < 0.05)，再次反應男性於夏季遭受日光曝曬狀況與使用防曬機制情形與女性之差異。

One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較觀察環境溫濕度對於受測人員上臂內側與前臂外側皮膚 E-index 之影響分析結果顯示：不同皮膚部位與性別間之 E-index 均不受環境溫度與相對濕度影響；其檢定結果均未達統計顯著性(p -value > 0.05)。E-index 之 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較檢定結果詳見附錄 F。

表 4-25 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境

溫濕度之皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)測量值^a、男—

女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚 E-index 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	p-value
25	60	8.88 ± 0.05	8.85 ± 0.95	8.99 ± 2.16	0.99	0.943
	70	9.07 ± 0.06	9.02 ± 0.73	9.13 ± 2.39	0.99	0.914
	80	8.73 ± 0.12	8.66 ± 0.89	8.81 ± 2.04	0.98	0.877
28	60	8.8 ± 0.06	8.98 ± 1.11	8.62 ± 1.96	1.04	0.707
	70	9.75 ± 0.04	9.41 ± 1.42	10.10 ± 2.18	0.93	0.530
	80	8.99 ± 0.04	8.93 ± 1.12	9.05 ± 1.45	0.99	0.880
31	60	9.05 ± 0.09	9.14 ± 1.34	8.97 ± 1.36	1.02	0.824
	70	9.05 ± 0.13	9.16 ± 1.10	8.94 ± 2.05	1.02	0.822
	80	9.25 ± 0.08	9.30 ± 0.84	9.21 ± 2.09	1.01	0.922
34	60	8.91 ± 0.10	8.65 ± 1.09	9.18 ± 1.97	0.94	0.578
	70	9.30 ± 0.13	8.96 ± 0.93	9.64 ± 2.18	0.93	0.501
	80	8.69 ± 0.04	8.33 ± 1.23	9.06 ± 2.28	0.92	0.505
前臂外側皮膚 E-index 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	p-value
25	60	13.85 ± 0.08	15.69 ± 2.25	12.02 ± 1.49	1.31	0.008**
	70	13.62 ± 0.03	15.52 ± 2.14	11.72 ± 2.01	1.32	0.010**
	80	14.00 ± 0.12	16.02 ± 2.65	11.98 ± 1.10	1.34	0.012*
28	60	13.93 ± 0.03	15.63 ± 1.79	12.24 ± 2.69	1.28	0.028*
	70	14.19 ± 0.07	16.22 ± 2.37	12.16 ± 1.85	1.33	0.008**
	80	13.80 ± 0.03	15.64 ± 2.14	11.96 ± 1.81	1.31	0.009**
31	60	13.77 ± 0.08	15.32 ± 2.29	12.22 ± 2.85	1.25	0.064
	70	13.65 ± 0.06	15.47 ± 2.50	11.84 ± 2.56	1.31	0.032*
	80	14.14 ± 0.04	16.25 ± 2.16	12.03 ± 2.03	1.35	0.006**
34	60	13.88 ± 0.09	15.54 ± 2.35	12.22 ± 3.10	1.27	0.063
	70	14.03 ± 0.06	15.77 ± 1.20	12.28 ± 3.54	1.28	0.061
	80	13.20 ± 0.07	14.86 ± 2.34	11.55 ± 3.05	1.29	0.061

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-26 全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂
內側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)比值^a及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側皮膚 E-index 量測值					
溫度	相對濕度	全體	男	女	<i>p</i> -value
25	60	1.58 ± 0.30	1.77 ± 0.17	1.39 ± 0.29	0.021*
	70	1.52 ± 0.26	1.72 ± 0.15	1.31 ± 0.15	0.001**
	80	1.62 ± 0.29	1.84 ± 0.13	1.41 ± 0.24	0.003**
28	60	1.59 ± 0.26	1.76 ± 0.26	1.43 ± 0.10	0.015*
	70	1.48 ± 0.32	1.73 ± 0.19	1.23 ± 0.20	0.001**
	80	1.54 ± 0.28	1.76 ± 0.17	1.33 ± 0.18	0.002**
31	60	1.53 ± 0.34	1.71 ± 0.38	1.36 ± 0.17	0.076
	70	1.51 ± 0.27	1.70 ± 0.24	1.33 ± 0.13	0.009**
	80	1.54 ± 0.28	1.75 ± 0.22	1.33 ± 0.14	0.003**
34	60	1.56 ± 0.27	1.79 ± 0.07	1.33 ± 0.18	0.001**
	70	1.53 ± 0.32	1.77 ± 0.15	1.28 ± 0.24	0.002**
	80	1.54 ± 0.33	1.79 ± 0.16	1.30 ± 0.28	0.004**

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

圖 4-36 至 4-38 所示為全體人員、男性與女性上臂內側與前臂外側 E-index 對應 WBGT 之分佈。圖中循橫座標自左至右(隨 WBGT 上升)每 3 個連續觀察值(平均值)屬於同一環境溫度；而反應同一環境溫度之連續觀察值隨 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。如圖所示，各部位皮膚之 E-index 不受環境溫度與相對濕度影響，分佈略呈水平直線。前臂外側 E-index 皆高於上臂內側，尤以男性受測者差異情況較為顯著。男女間上臂內側皮膚 E-index 相近，但女性測量值變異量較高(女性 E-index RSD = 0.15-0.26；男性 E-index RSD = 0.08-0.15)。男性受測人員前臂外側 E-index 明顯高於女性。

圖 4-39 至 4-41 所示為 E-index 對應 WBGT 之散佈關係及其線性迴歸。不同性別與皮膚部位之迴歸方程式：

全體人員上臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.005x + 8.90 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-19})$$

全體人員前臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.018x + 14.32 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-20})$$

男性上臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.020x + 9.47 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-21})$$

男性前臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.034x + 16.57 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-22})$$

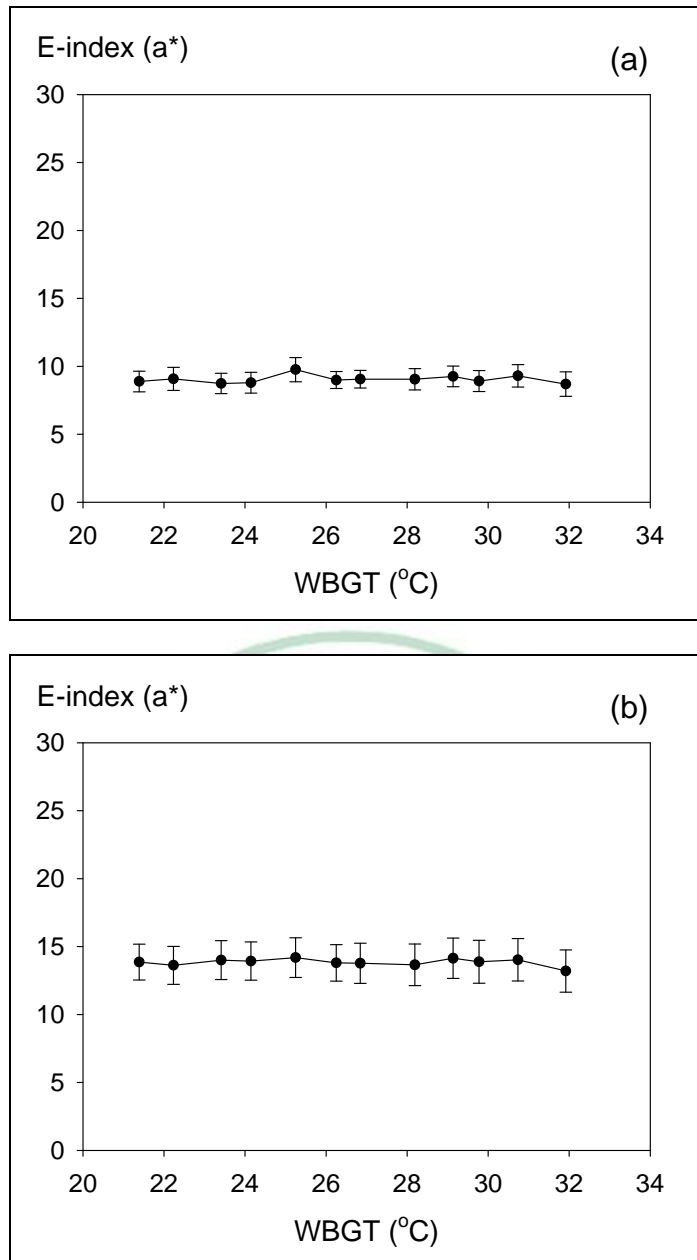


圖 4-36 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚紅斑指數 (erythema-index, E-index) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之分佈 (標號為測量平均值, 誤差線為標準差)

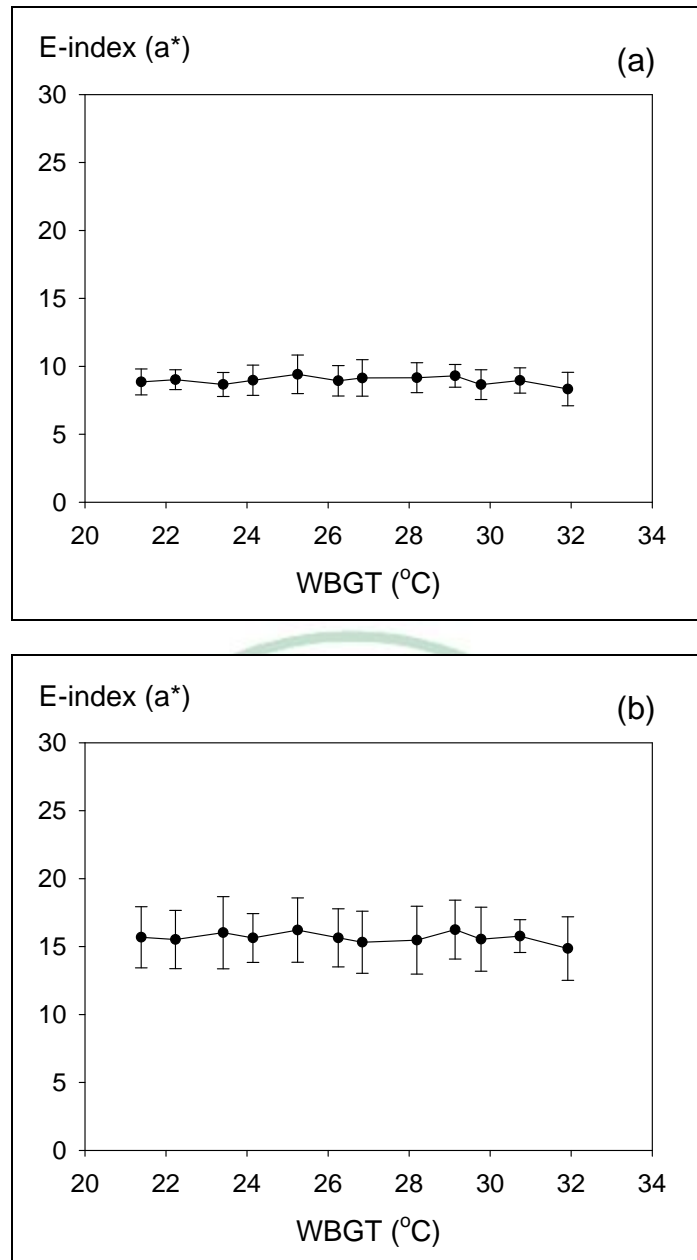


圖 4-37 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

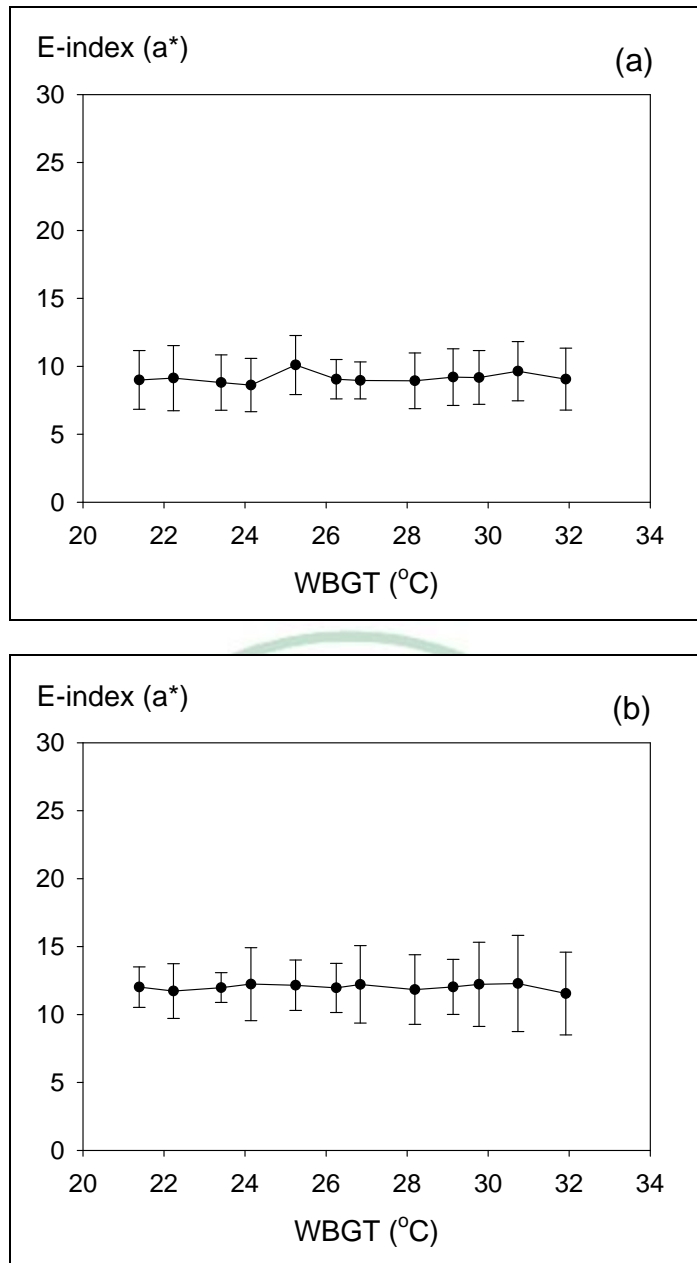


圖 4-38 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

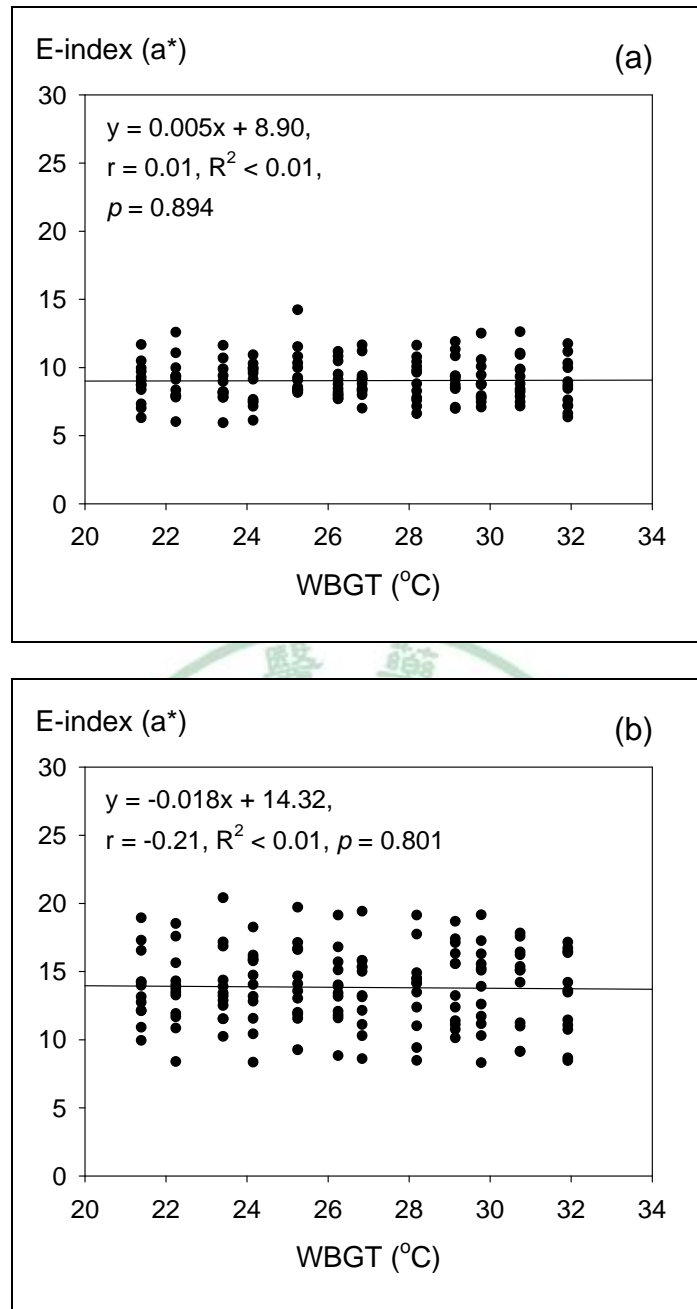


圖 4-39 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚紅斑指數 (erythema-index, E-index) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之散佈與線性迴歸

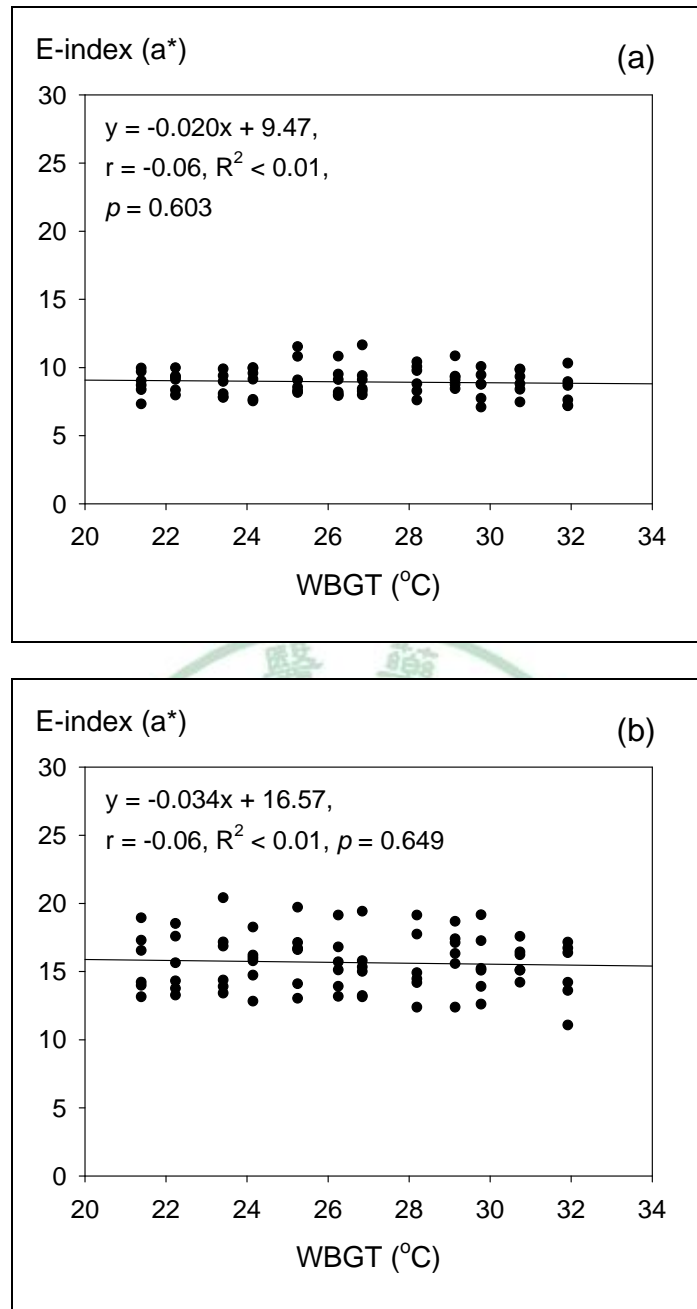


圖 4-40 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

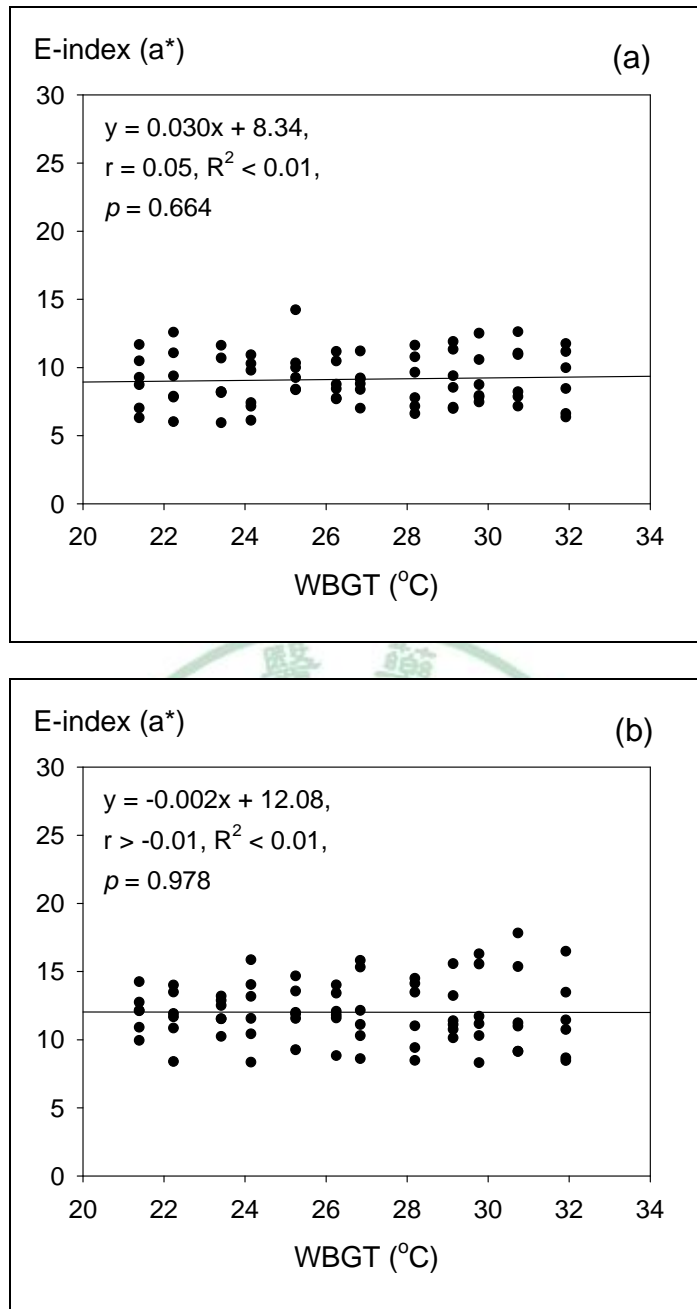


圖 4-41 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

女性上臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.030x + 8.34 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-23})$$

女性前臂內側皮膚 E-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.002x + 12.08 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-24})$$

各迴歸方程式之 R^2 皆小於 0.003，顯示 E-index 與 WBGT 之關聯性小。由於 E-index 不受環境溫濕度變化之影響，故各方程式中斜率均趨近於 0，亦因此方程式中之迴歸常數代表不同性別人員不同部位皮膚在測量當時皮膚出現類紅斑之狀況(曬傷)。不論全體人員、男性、或女性之前臂外側常數皆高於上臂內側，反應前臂外側皮膚較易遭受日曬之現象。男性受測人員上臂內側與前臂外側之常數皆大於女性相同部位之數值，且男性上臂內側與前臂外側之常數差(7.1)約為較女性相同部位之常數差(3.7)兩倍，顯示與女性相較，男性除遭受曝曬情形較為嚴重外，亦較缺乏前臂外側皮膚之保護。

4.2.5 室內環境熱因子對黑色素生成之影響

圖 4-42 至 4-44 所示為受測人員不同部位皮膚 M-index 隨環境溫濕度變化之分佈。與 E-index 相似，上臂內側與前臂外側皮膚之 M-index 皆不受環境溫度與相對濕度影響，其分佈略呈水平直線。前臂外側皮膚 M-index 皆高於上臂內側(全體人員：前臂外側 36.3-38.6；上臂內側 28.8-

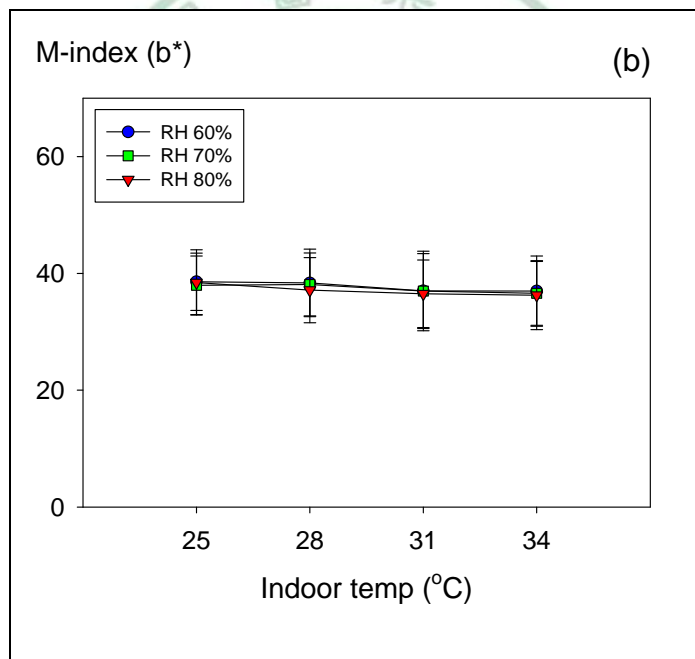
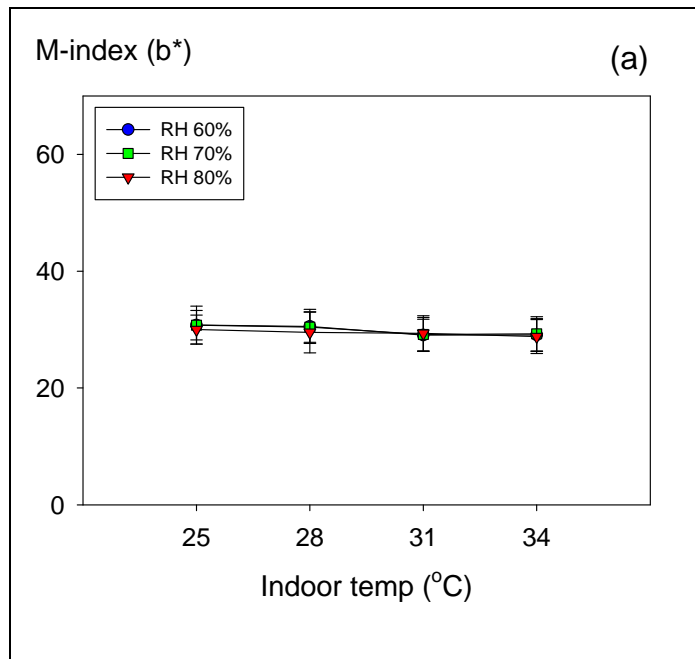


圖 4-42 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚黑素指數 (melanin-index, M-index) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

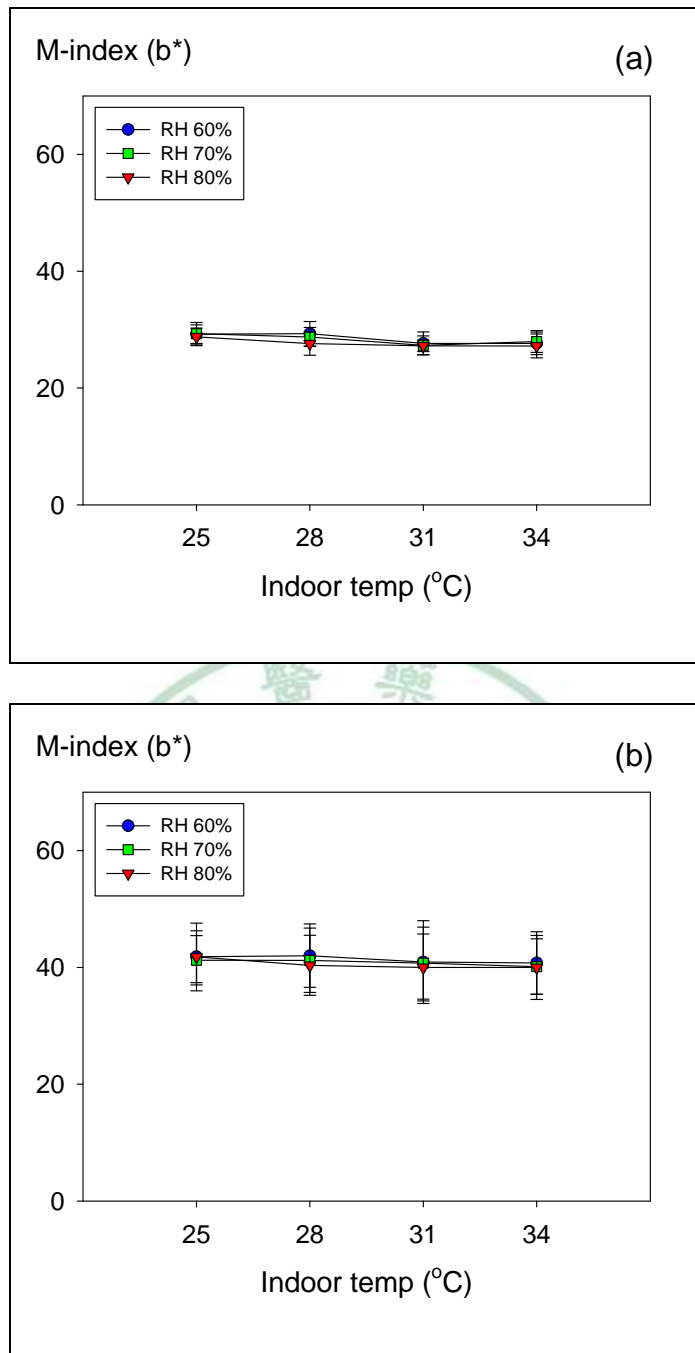


圖 4-43 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

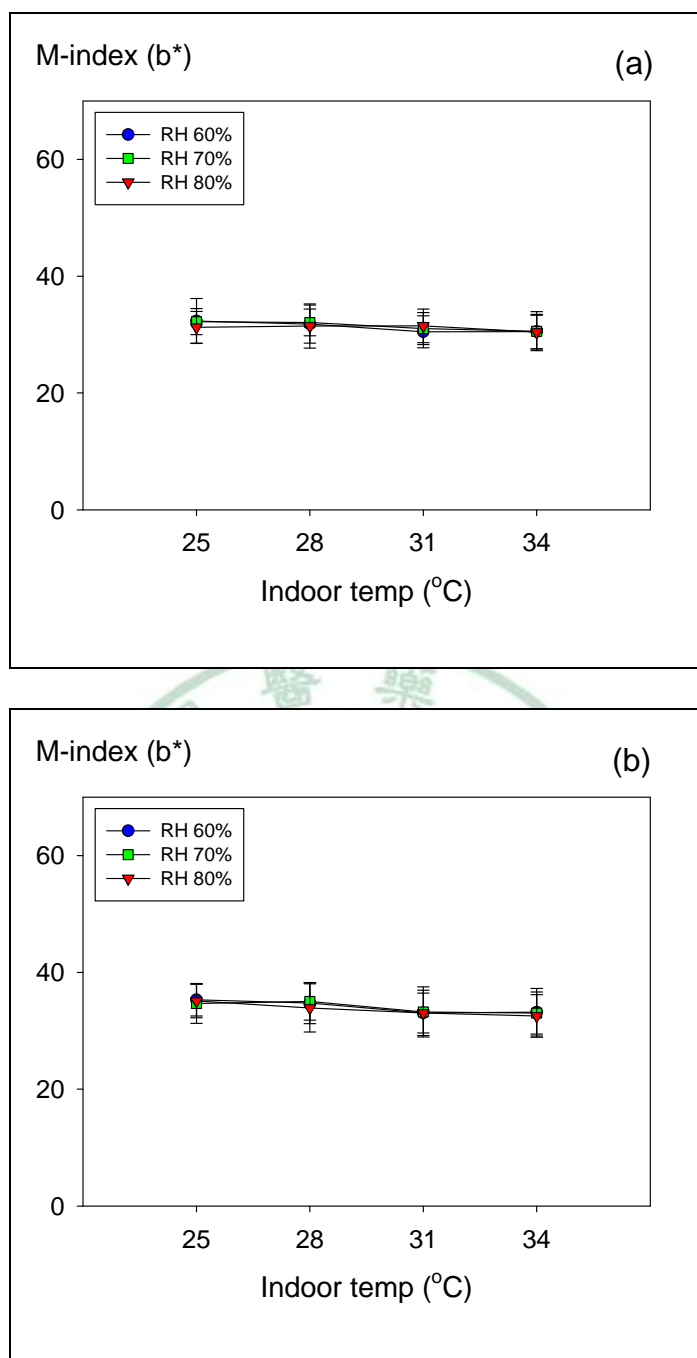


圖 4-44 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

30.8)；與女性相較(前臂外側 32.5-35.3；上臂內側 30.4-32.3)，差異情況在男性受測者上更為顯著(前臂外側 40.0-42.0；上臂內側 27.2-29.3)。男女間之差別亦反應在：上臂內側皮膚之 M-index 女性數值略高於男性，但前臂外側 M-index 則男性明顯高於女性。前臂外側 M-index 之性別差異再次反應參加本實驗之男性於夏季較少使用防護裝置。

表 4-27 所示為男女性皮膚對應不同環境溫濕度組合之 M-index 比值及以 Student's *t* test 檢定結果。結果顯示男一女上臂內側皮膚 M-index 比值低於 1(0.88-0.92)；於 28°C/70%、28°C/80%、31°C/60%、34°C/70%之統計檢定達顯著差異(p -value < 0.05)。以上結果建議本實驗中男性上臂內側皮膚黑色素生成現象不若女性明顯。但在前臂外側部分，男性之 M-index 則明顯高於女性，比值為 1.18-1.24，統計檢定結果皆具顯著性(p -value < 0.05)。表 4-28 呈現前臂外側與上臂內側皮膚於各溫濕度組合下之 M-index 比值；分析發現全體人員前臂外側皮膚 M-index 皆高於上臂內側(比值：1.24-1.29)。男性之比值(1.41-1.49)顯著高於女性(1.05-1.10)。以 Student's *t* test 檢定男女間上臂內側與前臂外側皮膚 M-index 之差異，統計結果皆具顯著性(p -value < 0.01)，再次反應男性於夏季遭受日光曝曬狀況與使用防曬機制情形與女性之差異。

One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較觀察環境溫濕度對於受測人員上臂內側與前臂外側皮膚 M-index 之影響分析結果顯示：不同皮膚部

表 4-27 全體人員、男性、及女性上臂內側與前臂外側皮膚於不同環境

溫濕度之皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)測量值^a、男—女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚 M-index 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	p-value
25	60	30.77 ± 3.23	29.22 ± 1.59	32.32 ± 3.84	0.90	0.097
	70	30.75 ± 2.51	29.29 ± 1.92	32.22 ± 2.25	0.91	0.144
	80	30.00 ± 2.47	28.75 ± 1.51	31.25 ± 2.72	0.92	0.065
28	60	30.54 ± 2.92	29.29 ± 2.10	31.80 ± 3.25	0.92	0.073
	70	30.41 ± 2.57	28.74 ± 1.63	32.07 ± 2.29	0.90	0.035*
	80	29.53 ± 3.52	27.60 ± 2.00	31.47 ± 3.77	0.88	0.016*
31	60	29.06 ± 2.71	27.63 ± 1.96	30.48 ± 2.73	0.91	0.017*
	70	29.16 ± 2.91	27.30 ± 1.62	31.03 ± 2.76	0.88	0.125
	80	29.35 ± 3.03	27.21 ± 0.99	31.49 ± 2.87	0.86	0.077
34	60	29.08 ± 2.81	27.64 ± 1.92	30.52 ± 2.95	0.91	0.051
	70	29.27 ± 2.92	27.97 ± 1.87	30.58 ± 3.34	0.91	0.006**
	80	28.81 ± 2.92	27.21 ± 2.05	30.41 ± 2.90	0.89	0.052
前臂外側皮膚 M-index 量測值						
溫度	相對濕度	全體	男	女	男 / 女	p-value
25	60	38.55 ± 4.91	41.82 ± 4.45	35.29 ± 2.76	1.18	0.012*
	70	37.96 ± 5.01	41.23 ± 4.23	34.68 ± 3.42	1.19	0.021*
	80	38.45 ± 5.59	41.79 ± 5.80	35.10 ± 2.87	1.19	0.046*
28	60	38.37 ± 5.79	42.00 ± 5.43	34.73 ± 3.53	1.21	0.020*
	70	38.11 ± 5.38	41.21 ± 5.51	35.01 ± 3.19	1.19	0.015*
	80	37.13 ± 5.57	40.36 ± 5.13	33.91 ± 4.13	1.19	0.038*
31	60	36.99 ± 6.82	40.91 ± 7.09	33.06 ± 3.86	1.24	0.034*
	70	36.98 ± 6.40	40.73 ± 6.17	33.23 ± 4.28	1.23	0.015*
	80	36.51 ± 5.77	39.98 ± 5.72	33.04 ± 3.41	1.21	0.030*
34	60	36.97 ± 6.02	40.75 ± 5.36	33.18 ± 4.07	1.23	0.037*
	70	36.58 ± 5.47	40.14 ± 4.73	33.03 ± 3.61	1.22	0.029*
	80	36.26 ± 5.90	39.99 ± 5.48	32.54 ± 3.65	1.23	0.020*

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 M-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-28 全體人員、男性、及女性於不同環境溫濕度之前臂外側—上臂
內側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)比值^a及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側皮膚 M-index 量測值					
溫度	相對濕度	全體	男	女	<i>p</i> -value
25	60	1.26 ± 0.19	1.43 ± 0.10	1.10 ± 0.07	< 0.001**
	70	1.24 ± 0.20	1.41 ± 0.13	1.08 ± 0.07	< 0.001**
	80	1.29 ± 0.20	1.45 ± 0.14	1.12 ± 0.04	< 0.001**
28	60	1.26 ± 0.21	1.44 ± 0.16	1.09 ± 0.04	0.001**
	70	1.26 ± 0.21	1.43 ± 0.14	1.09 ± 0.06	< 0.001**
	80	1.27 ± 0.23	1.46 ± 0.15	1.08 ± 0.05	0.001**
31	60	1.28 ± 0.27	1.48 ± 0.25	1.08 ± 0.09	0.011**
	70	1.28 ± 0.26	1.49 ± 0.20	1.07 ± 0.06	0.001**
	80	1.26 ± 0.27	1.47 ± 0.23	1.05 ± 0.06	0.006**
34	60	1.28 ± 0.24	1.48 ± 0.17	1.09 ± 0.05	< 0.001**
	70	1.26 ± 0.21	1.43 ± 0.12	1.08 ± 0.06	< 0.001**
	80	1.27 ± 0.24	1.47 ± 0.18	1.07 ± 0.05	< 0.001**

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 M-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

位與性別間之 M-index 均不受環境溫濕度影響；檢定結果均未達統計顯著性(p -value > 0.05)。M-index 之 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較檢定結果詳見附錄 G。

圖 4-45 至 4-47 所示為全體人員、男性與女性上臂內側與前臂外側 M-index 對應 WBGT 之分佈。圖中循橫座標自左至右(隨 WBGT 上升)每 3 個連續觀察值(平均值)屬於同一環境溫度；而反應同一環境溫度之連續觀察值隨 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。如圖所示，各部位皮膚之 M-index 不受環境溫度與相對濕度影響，分佈略呈水平直線。前臂外側 M-index 皆高於上臂內側，尤以男性受測者差異情況較為顯著，且前臂外側量測值之變異量較高(前臂外側 E-index RSD = 0.10-0.17；上臂內側 E-index RSD = 0.04-0.08)。男女間上臂內側皮膚 M-index 相近，但女性略高，然而測量值變異量以男性較大。男性受測人員前臂外側 M-index 明顯高於女性。

圖 4-48 至 4-50 所示為 M-index 對應 WBGT 之散佈關係及其線性迴歸。不同性別與皮膚部位之迴歸方程式：

全體人員上臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.19x + 34.79 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-25})$$

全體人員前臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.22x + 43.36 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-26})$$

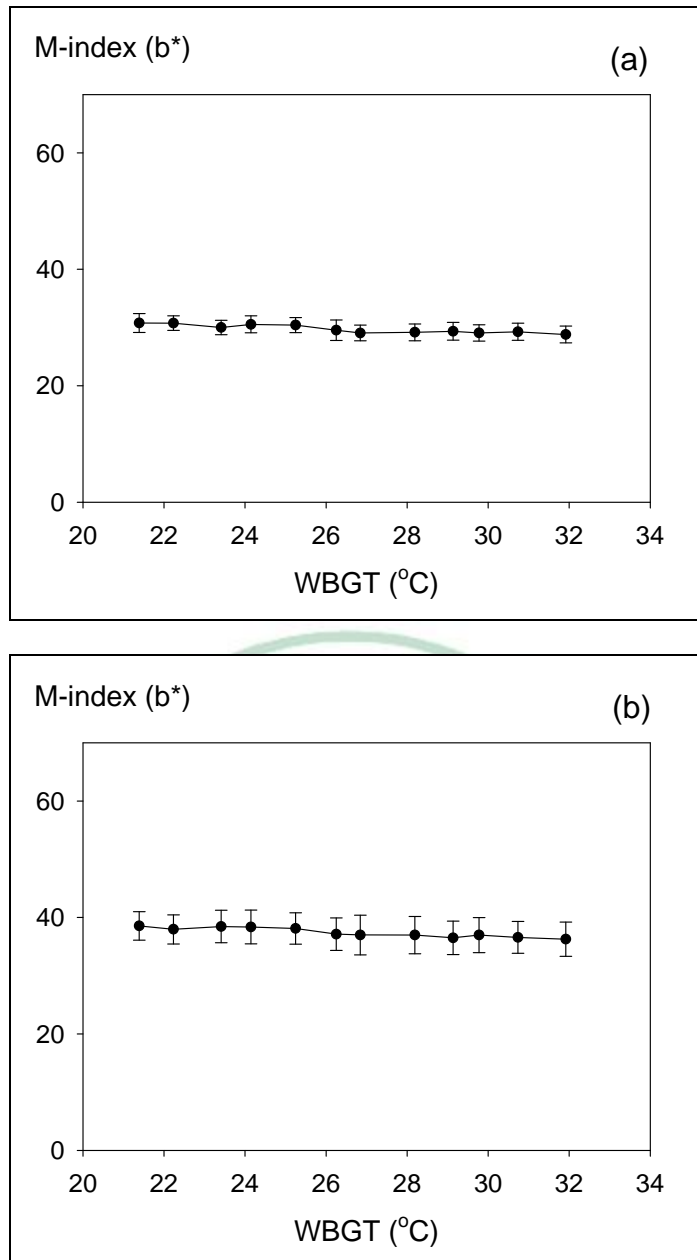


圖 4-45 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚黑素指數 (melanin-index, M-index) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之分佈趨勢 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

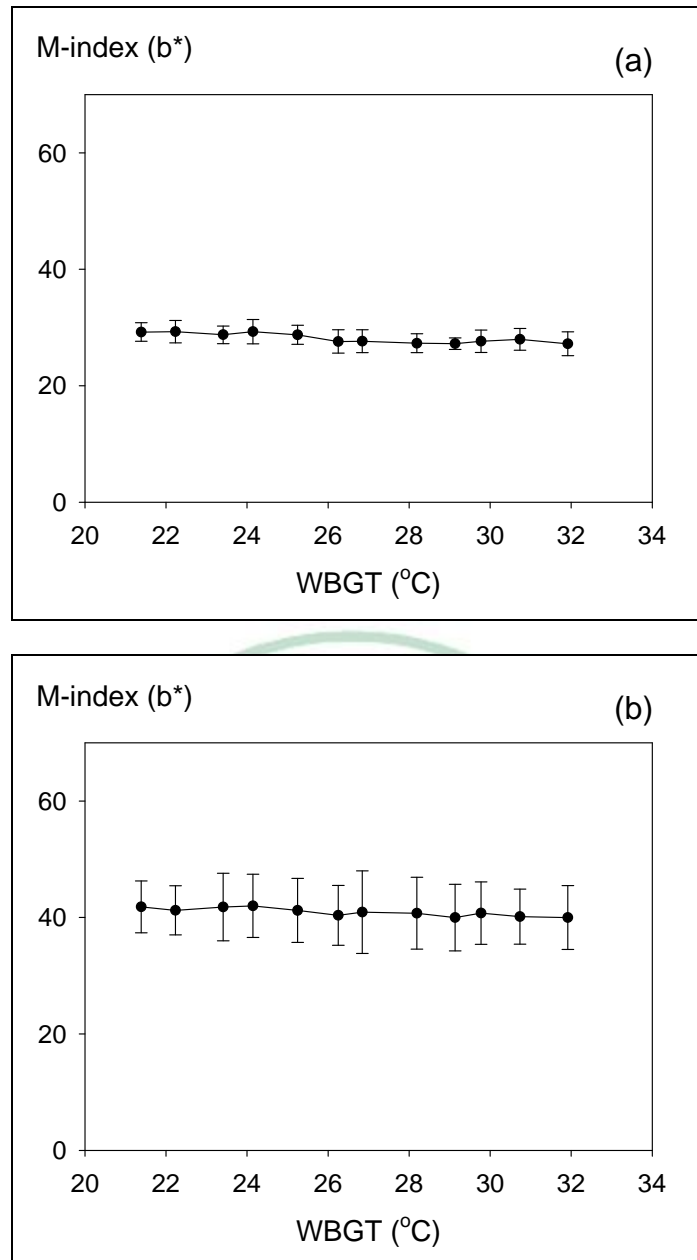


圖 4-46 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

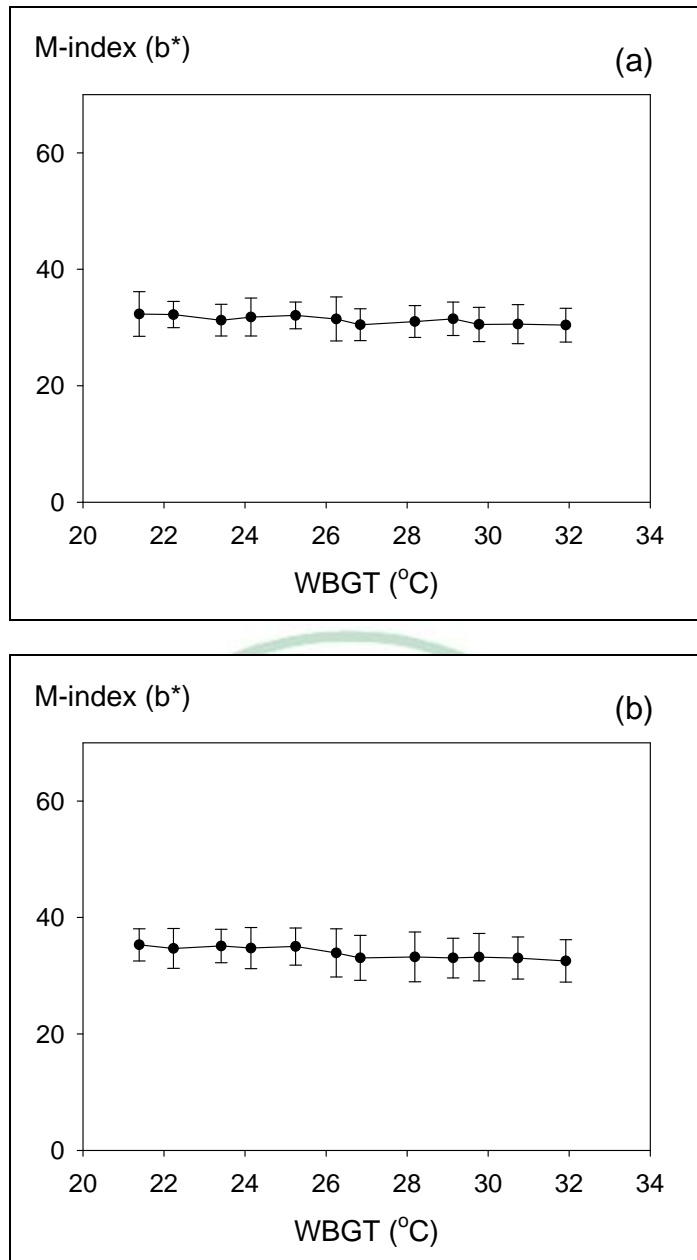


圖 4-47 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

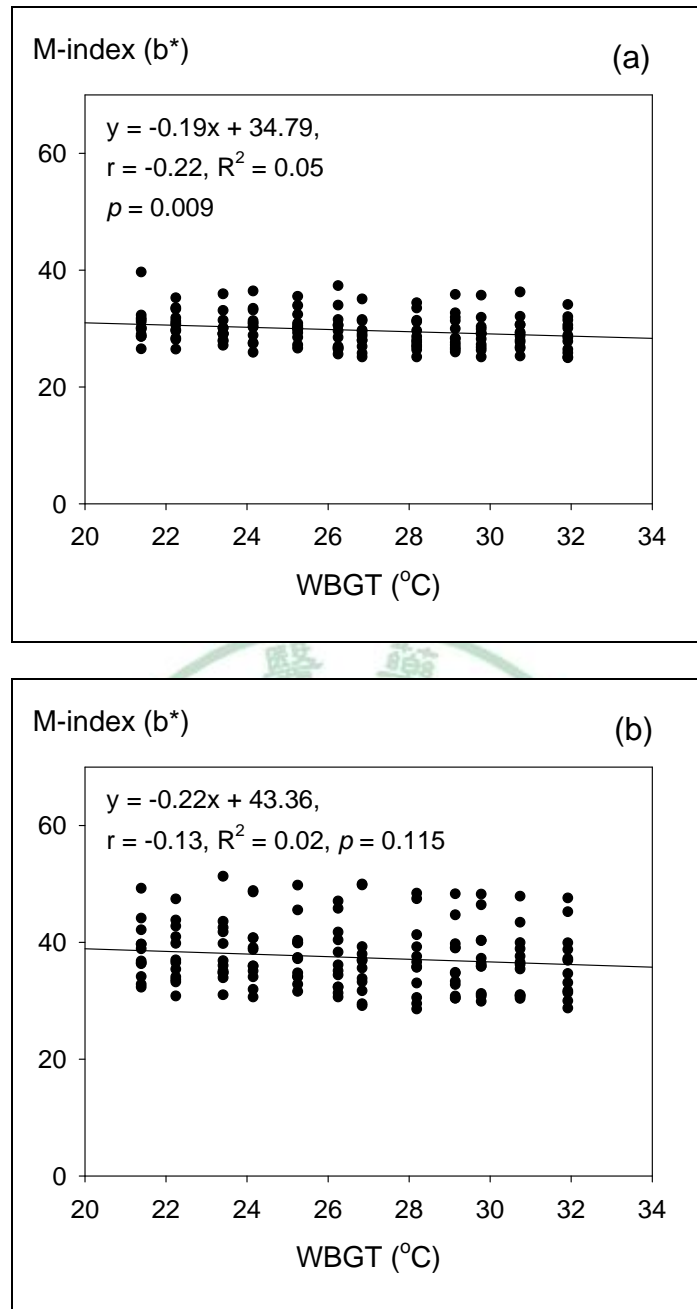


圖 4-48 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚黑素指數 (melanin-index, M-index) 對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT) 之散佈與線性迴歸

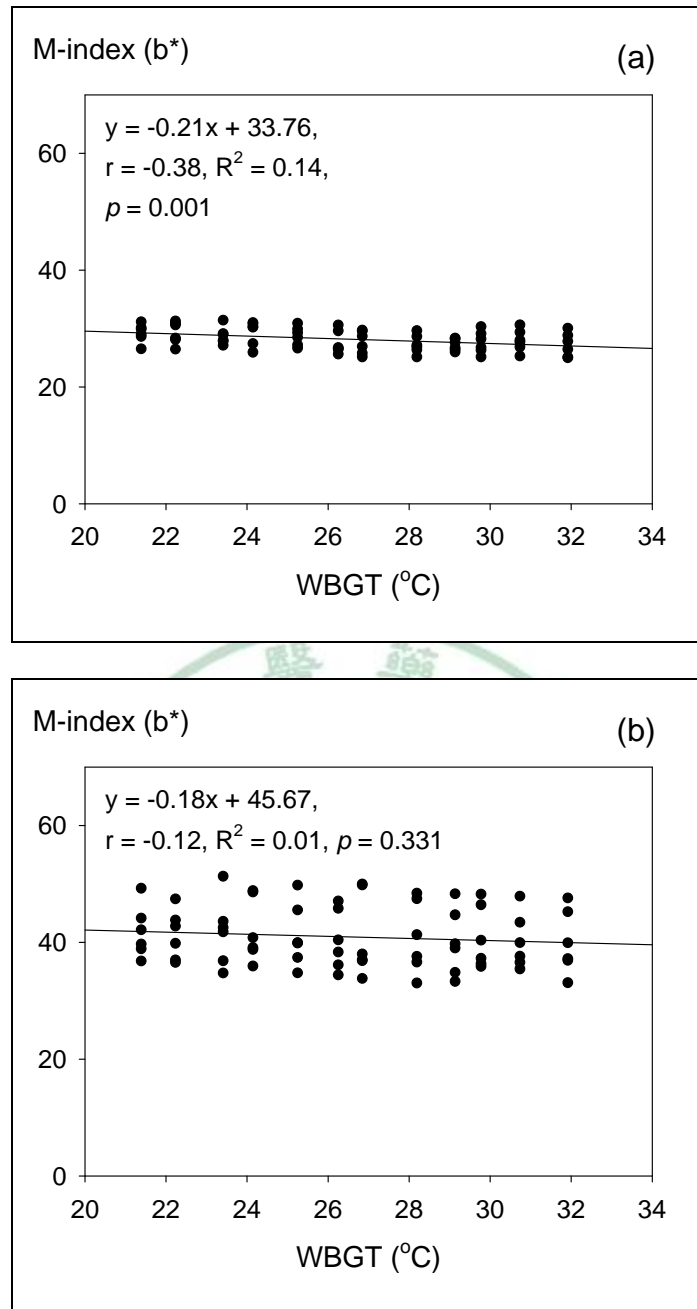


圖 4-49 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

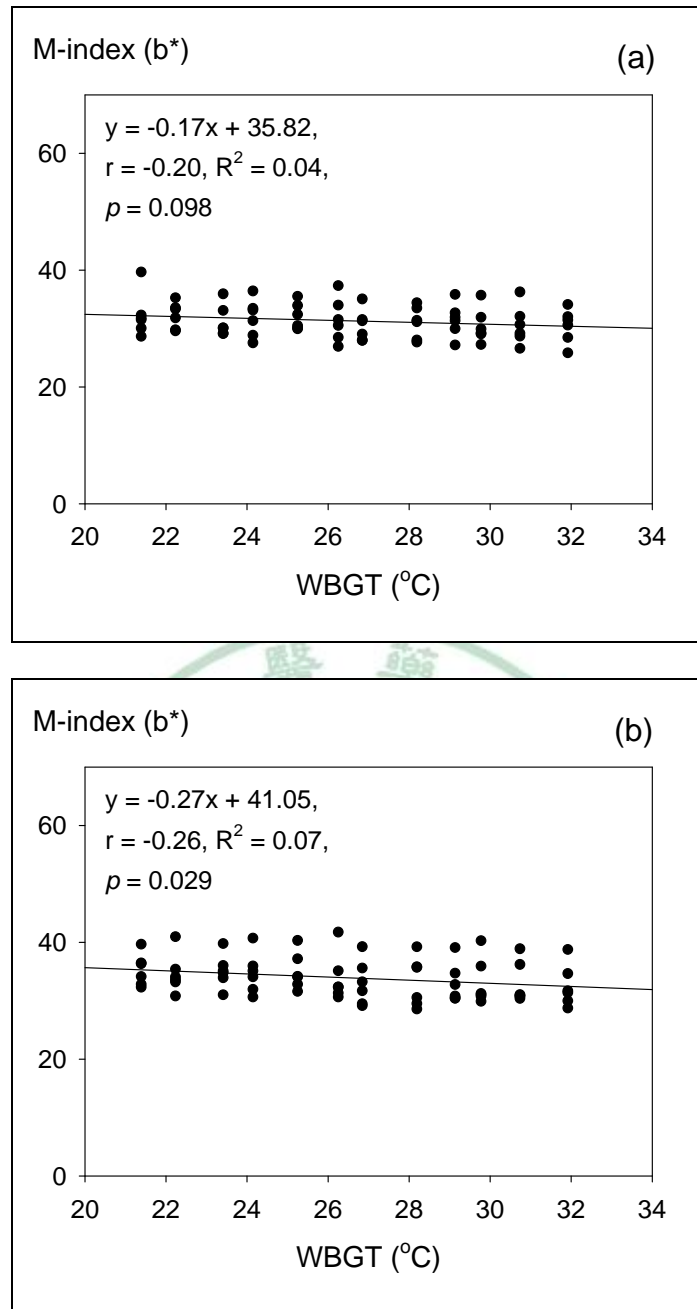


圖 4-50 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸

男性上臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.21x + 33.76 \quad R^2 = 0.14 \quad (\text{Eq. 4-27})$$

男性前臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.18x + 45.67 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-28})$$

女性上臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.17x + 35.82 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-29})$$

女性前臂內側皮膚 M-index 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.27x + 41.05 \quad R^2 = 0.07 \quad (\text{Eq. 4-30})$$

以上迴歸方程式之 R^2 皆偏低，最高值僅為 0.14，顯示 M-index 與 WBGT 之相關性低。由於 M-index 不受環境溫濕度變化之影響，故各方程式中斜率均趨近於 0，亦因此方程式中之迴歸常數代表不同性別人員不同部位皮膚在測量當時皮膚色素沉澱之狀況(曬黑)。不論全體人員、男性、或女性之前臂外側常數皆高於上臂內側，反應前臂外側皮膚較易因長期日曬形成色素沉澱之現象。男性受測人員上臂內側之迴歸常數小於女性，但前臂外側則大於女性。

4.2.6 皮膚生理指標間因應環境熱因子變化之反應-時程關係

實驗中前臂外側所量測之皮膚生理指標—TEWL、皮膚溫度與皮膚濕—透過兩兩對應方式觀察其相對分佈以分析不同生理指標間之反應-時程關係，以及各時程-反應關係受性別、環境溫度、相對濕度之影響。圖

4-51 所示為 TEWL 與皮膚溫度之反應-時程關係；表 4-29 則呈現前臂外側 TEWL 對應皮膚溫度之線性迴歸方程式、 r 值、 R^2 值與相關統計檢定，及其受性別、環境溫度、相對濕度之影響分析結果。整體而言，TEWL 之變化與皮膚溫度之改變呈線性相關($R^2 = 0.50$)。在相同皮膚溫度時，男性皮膚之 TEWL 略高於女性。線性迴歸分析結果顯示：與女性相較，男性前臂外側 TEWL 對應皮膚溫度之變化為敏感($\text{slope} = 3.38$)且相關性較高($r = 0.80$ ； $R^2 = 0.63$)；男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。在環境溫度影響方面，皮膚溫度隨環境溫度上升而增加，但受相對濕度之影響則較不顯著。當環境溫度高於 31°C 時，TEWL 對應皮膚溫度之散佈範圍明顯擴大；顯示皮膚溫度過高時，個體間之 TEWL 出現顯著差異。在環境濕度影響方面，TEWL 隨皮膚溫度之變化在相對濕度為 60% 時最為劇烈($\text{slope} = 3.72$)，在 70% 與 80% 時則變化幅度相似。相對濕度 60% 時之 r (0.76)、 R^2 (0.58) 均高於其他相對濕度，顯示 TEWL 於低濕環境下對於前臂外側皮膚溫度之變化較為敏感且線性關係較高。不同相對濕度下前臂外側 TEWL 對應皮膚濕度之線性迴歸統計檢定均達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。

圖 4-52 所示為皮膚濕度與皮膚溫度之反應-時程關係；表 4-30 則呈現前臂外側皮膚濕度對應皮膚溫度之線性迴歸方程式、 r 值、 R^2 值與相關統計檢定，及其受性別、環境溫度、相對濕度之影響分析結果。皮膚濕

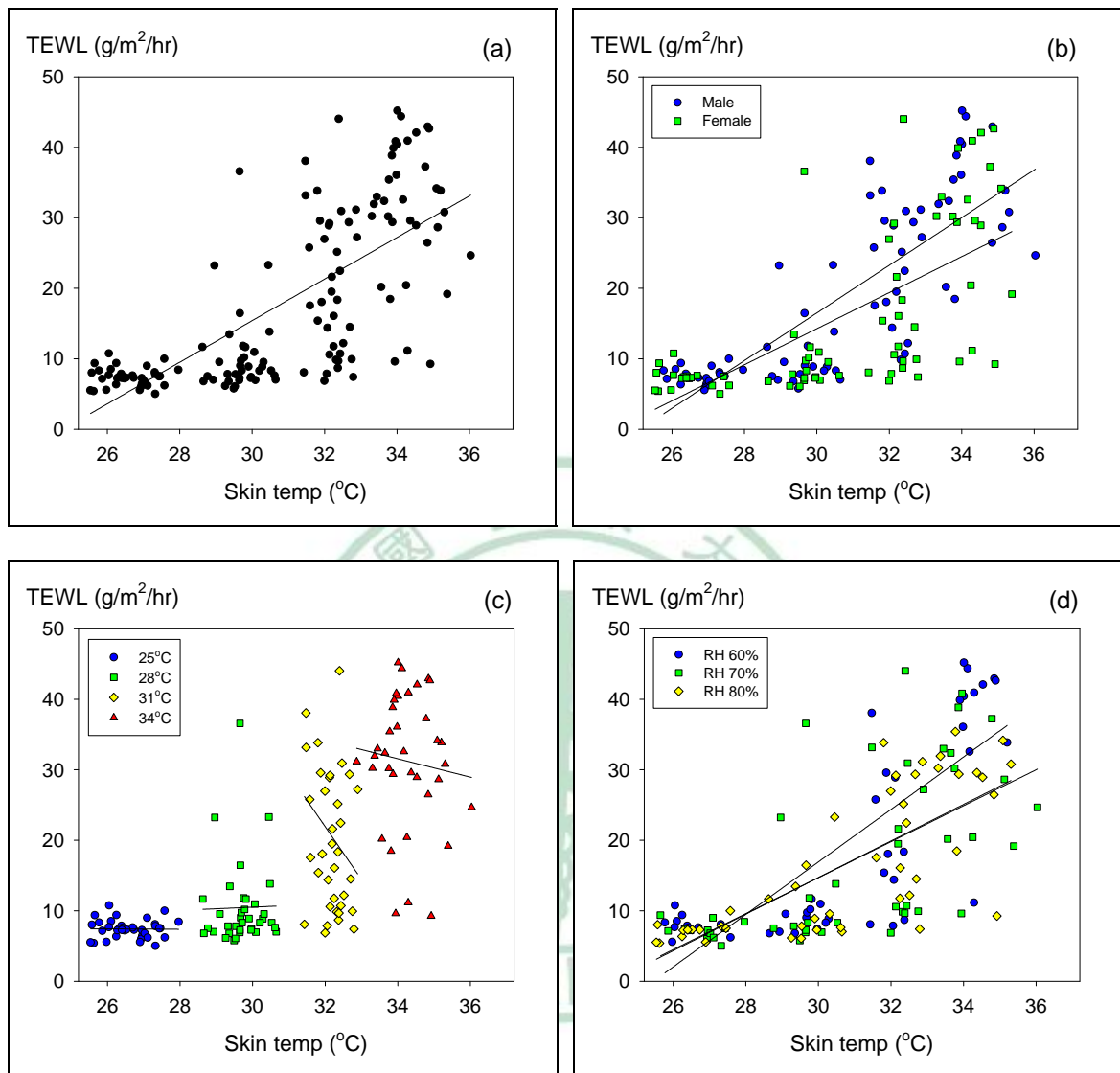


圖 4-51 全體人員(a)前臂外側皮膚經皮水分散失度(trans epidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之分佈與線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-29 全體人員前臂外側皮膚經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)線性迴歸方程式及相關統計分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 2.95x - 73.144$	0.70	0.50	< 0.001**
Male	$y = 3.38x - 84.94$	0.80	0.63	< 0.001**
Female	$y = 2.56x - 62.48$	0.63	0.39	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = -0.03x + 8.11$	0.01	< 0.01	0.940
28°C	$y = 0.23x + 3.72$	0.02	< 0.01	0.907
31°C	$y = -7.48x + 261.24$	-0.26	0.07	0.127
34°C	$y = -1.30x + 75.93$	-0.09	< 0.01	0.589
RH^c				
60%	$y = 3.72x - 94.74$	0.76	0.58	< 0.001**
70%	$y = 2.55x - 61.83$	0.66	0.40	< 0.001**
80%	$y = 2.59x - 63.13$	0.75	0.56	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TEWL 對應皮膚溫度之迴歸方程式是否具有線性關係；* : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

^c RH = relative humidity

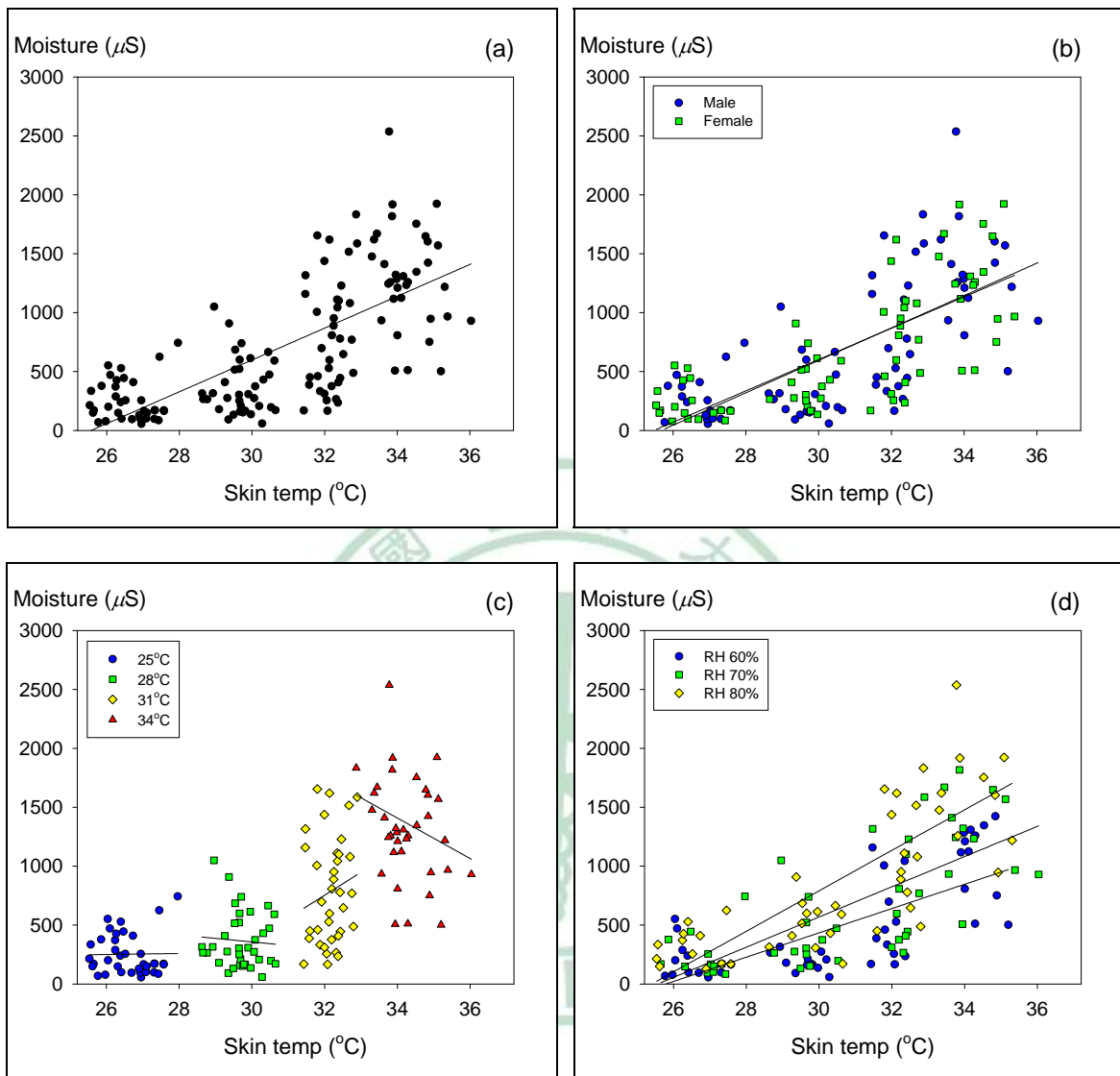


圖 4-52 全體人員(a)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應皮膚溫度(skin temperature)之分佈與線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-30 全體人員前臂外側皮膚濕度 (moisture) 對應皮膚溫度 (skin temperature) 線性迴歸方程式及相關統計分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 135.11x - 3454.8$	0.69	0.48	< 0.001**
Male	$y = 137.56x - 3531.8$	0.69	0.47	< 0.001**
Female	$y = 132.94x - 3386.1$	0.70	0.48	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 4.1545x + 142.5$	0.02	< 0.01	0.928
28 °C	$y = -29.99x + 1257.1$	-0.07	< 0.01	0.691
31 °C	$y = 194.55x - 5471.9$	0.17	0.03	0.334
34 °C	$y = -171.93x + 7254.2$	-0.23	0.05	0.182
RH^c				
60%	$y = 103.12x - 2659.2$	0.71	0.50	< 0.001**
70%	$y = 128.22x - 3277.6$	0.72	0.52	< 0.001**
80%	$y = 171.91x - 4366.4$	0.76	0.57	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TEWL 對應皮膚溫度之迴歸方程式是否具有線性關係；* : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

^c RH = relative humidity

度之變化與皮膚溫度之改變呈線性相關($R^2 = 0.48$)，同時其關聯性不受性別影響。男女性之皮膚濕度－皮膚溫度間線性關係均達統計顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。在環境溫度之影響方面，皮膚濕度隨皮膚溫度升高而明顯增加，但當環境溫度逾 31°C 時，不同受測者間皮膚濕度在相同皮膚溫度下之差異擴大。此外在相同皮膚濕度狀況下觀察，可發現環境溫度與皮膚溫度之關聯性高。各環境溫度下皮膚濕度對應前臂外側皮膚溫度線性迴歸之檢定均未達統計顯著差異($p\text{-value} > 0.05$)。就環境濕度之影響分析，皮膚濕度對皮膚溫度變化之敏感性及線性關係均隨環境相對濕度之上升而增加(RH 60% : slope = 103.12, $r = 0.71$, $R^2 = 0.50$; RH 80% : slope = 171.91, $r = 0.76$, $R^2 = 0.58$)，亦即於同一皮膚溫度下，高濕環境具有較高的皮膚濕度量測值。不同相對濕度下前臂外側皮膚濕度對應皮膚溫度之線性迴歸統計檢定均達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。

圖 4-53 所示為皮膚濕度與 TEWL 之關係；表 4-31 則呈現前臂外側皮膚濕度對應 TEWL 之線性迴歸方程式、 r 值、 R^2 值與相關統計檢定，及其受性別、環境溫度、相對濕度之影響分析結果。測量值集中之區域為 TEWL $15\text{ g/m}^2/\text{hr}$ 以下、皮膚濕度 $1,000\ \mu\text{S}$ 以下之範圍；在此區域內之測量值絕大多數反應之環境溫度為 25 及 28°C 。顯示在環境溫度為 28°C 及以下時，皮膚濕度與 TEWL 並未產生顯著之變化，亦即皮膚生理反應並未受到環境熱因子刺激產生散熱之需求。隨著環境溫度上升，皮膚濕

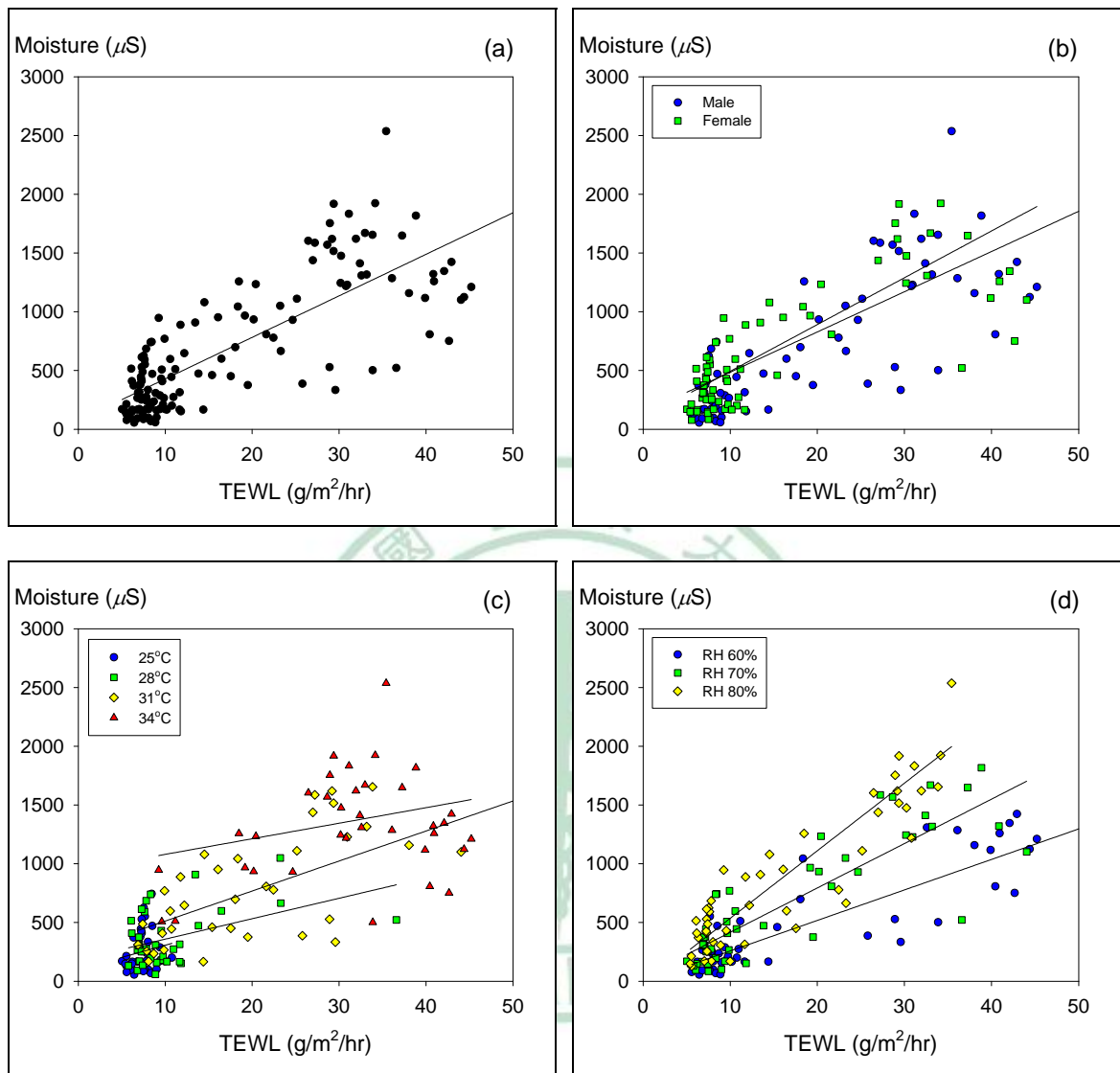


圖 4-53 全體人員(a)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)之分佈與線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-31 全體人員前臂外側皮膚濕度(moisture)對應經皮水分散濕度 (transepidermal water loss, TEWL)線性迴歸方程式及相關統計分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value
Overall	$y = 35.36x + 74.97$	0.76	0.57	< 0.001**
Male	$y = 30.79x + 6.04$	0.80	0.55	< 0.001**
Female	$y = 34.24x + 143.45$	0.73	0.53	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 20.73x + 99.36$	0.16	0.02	0.364
28 °C	$y = 17.40x + 184.47$	0.44	0.20	0.007**
31 °C	$y = 25.55x + 257.09$	0.63	0.39	< 0.001**
34 °C	$y = 13.24x + 947.85$	0.25	0.06	0.149
RH				
60%	$y = 25.96x - 1.35$	0.87	0.76	< 0.001**
70%	$y = 37.80x + 38.26$	0.85	0.73	< 0.001**
80%	$y = 57.50x - 39.16$	0.88	0.77	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TEWL 對應皮膚溫度之迴歸方程式是否具有線性關係；* : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

^c RH = relative humidity

度快速增加，而後再以線性關係逐漸提升全體受測者之 TEWL ($R^2 = 0.57$)。就性別間之差異分析，可發現女性前臂外側皮膚濕度對應 TEWL 之變化較為敏感(女性 slope = 34.24；男性 = 30.79)，但男性皮膚濕度對應 TEWL 之相關性則較高(女性 $R^2 = 0.53$ ；男性 = 0.55)。女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。在環境溫度之影響方面，如前述，皮膚濕度與 TEWL 間之線性關係在高環境溫度區(31 及 34°C)較為顯著。當環境溫度增高至 31°C 以上時，皮膚濕度對應 TEWL 之測量值亦產生較大之變異。皮膚濕度於環境溫度 31°C 時對前臂外側 TEWL 之變化亦較為敏感(slope = 25.55)，且線性較佳($r = 0.63$ ； $R^2 = 0.39$)；當環境溫度為 28°C 與 31°C 時，皮膚濕度對應前臂外側 TEWL 線性迴歸之檢定達統計顯著差異(p -value < 0.01)。在環境濕度之影響方面，皮膚濕度對 TEWL 之敏感度隨環境濕度上升而增加且呈現較佳之線性(RH 80% slope = 57.5， $r = 0.88$ ， $R^2 = 0.77$)；亦即在相同 TEWL 值下，高相對濕度之環境可刺激產生較高的皮膚濕度。在相同的皮膚濕度下，TEWL 之測量值則以在低環境濕度下較高，顯示高環境濕度可抑制皮膚濕度以水蒸氣型態散失，故多數水份以皮膚濕度之型態蓄積於表皮內。不同相對濕度下前臂外側皮膚濕度對應 TEWL 之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

綜合以上觀察與分析可獲致以下之推論：當接受熱環境刺激時，皮膚

溫度直接反應外在環境溫度之變化，並透過其變化將熱環境刺激反應至體內；而後人體透過皮膚水份之增加以及水份散失，逐步將體熱散出體外。在未明顯排汗之狀況下，皮膚濕度之增加所反應者為逸散體熱之初期皮膚生理變化；隨著表皮蓄積水份接近飽和，皮膚水份以水蒸氣型態逐步散失，故以作為反應因應熱環境之生理變化指標而言，皮膚濕度具先期性之優點，且穩定性較 TEWL 為高。

以上所探討生理指標反應-時程關係主要以單純線性趨勢分析為主，主要目的在於比較不同皮膚生理指標因應熱環境變化所產生改變間之關聯性。就數據分佈線性之代表性而言，上項關係亦可透過非線性之反應-時程關係分析。上述生理指標以非線性曲線擬合分析(curve-fitting)所得之圖表、迴歸方程式與相關係數均收錄於附錄 H 中。TEWL 與皮膚濕度對應皮膚溫度之關係是以 sigmoidal (4-parameter) 分析；皮膚濕度對應 TEWL 之關係則是以 logarithm (2nd Order) 表示。使用上述線型之原因在於以上述方法分析時，曲線擬合所得迴歸方程式各相關係數值最高。須注意的是：TEWL 與皮膚濕度對應皮膚溫度之關係受環境溫度影響方面，由於並未觀察到上述生理指標間之相關性會明顯受環境溫度之影響(無明顯線性或非線性關係)，因此無法以 sigmoidal shape 分析。由圖 H-1 與 H-2 中可觀察到當皮膚溫度在 30°C 以下時，TEWL 與皮膚濕度未有明顯變化；若皮膚溫度持續上升至 30-34°C 時，兩者顯著增加；而後在皮膚溫度趨近

34°C 時 TEWL 與皮膚濕度漸趨飽和，符合傳統觀察生物指標變化之劑量-反應曲線。以上分析亦建議：當皮膚溫度在 30°C 以下時，人體並未產生明顯之散熱需求，故 TEWL 與皮膚濕度無明顯增加；而當皮膚溫度接近高溫(34°C)時，人體之排汗機能(TEWL 與皮膚濕度)已達最高效能，故無法再有明顯增加。因此在高溫環境下作業之勞工須特別嚴防持續作業，以避免排汗機能效用無法滿足人體散熱需求，產生中暑或熱衰竭之現象。至於在皮膚濕度變化對應 TEWL 變化之分佈方面，可觀察到在 TEWL 值較低、亦及皮膚乾燥時($< 10 \text{ g/m}^2/\text{hr}$)，皮膚濕度隨每單位 TEWL 之增加快速上升；但隨著 TEWL 值漸高，亦即皮膚逐漸產生排汗現象後，皮膚濕度之增加則漸趨飽和。以上尤以女性較為顯著；男性之分佈則仍較接近簡單線性模式。以熱環境因子而言，上述曲線分佈模式會在高環境溫度(34°C)時出現；在低環境相對濕度(60 與 70%)時亦出現類似分佈，但線性較不明顯。

4.2.7 環境熱因子對人體主觀熱感知之影響

圖 4-54 所示為全體者於各單次暴露艙實驗前後兩次問卷調查所得之 TSV 差異對 WBGT 值之分佈。圖中自左每 3 個標點(平均值)為同一環境溫度；同一環境溫度之 WBGT 由小到大依序為相對濕度 60、70 與 80%。如圖所示：受測人員於各溫濕度組合下之 ΔTSV 趨近於 0；變異幅度(標準

差)不超過±1。若依性別區分，男性受測者 Δ TSV 在 WBGT 為 25.25、25.25、29.14、30.74°C 時為負值，且個體間 TSV 差異不大；女性 Δ TSV 則除 24.15、30.74、31.92°C 外皆為正值，且 TSV 變異幅度較高。顯示一般而言，當 WBGT 超過 24.15°C 後，20-30 分鐘之熱適應期對男性而言較為不足，故其熱感知於實驗末期仍逐漸上升。女性在所測量之溫濕度範圍內，20-30 分鐘之熱適應期亦為不足。但相對於男性，女性在環境暴露艙適應末期則以熱感知下降者居多。但不論男性或女性，熱感知之變化均在誤差範圍內。

圖 4-55 所示為全體受測者、男性及女性之 TSV 對應環境溫度之變化。受測人員之熱感知明顯受到環境溫度影響；TSV 隨溫度增加而線性方式上升。上述線性關係並無性別上之差異；各迴歸方程式之 R^2 皆超過 0.8。以下為各分佈之迴歸方程式：

全體人員 TSV 平均值對應環境溫度之迴歸方程式：

$$y = 0.33x - 8.57 \quad R^2 = 0.84 \quad (\text{Eq. 4-31})$$

男性 TSV 平均值對應環境溫度之迴歸方程式：

$$y = 0.33x - 8.41 \quad R^2 = 0.79 \quad (\text{Eq. 4-32})$$

女性 TSV 平均值對應環境溫度之迴歸方程式：

$$y = 0.34x - 8.72 \quad R^2 = 0.88 \quad (\text{Eq. 4-33})$$

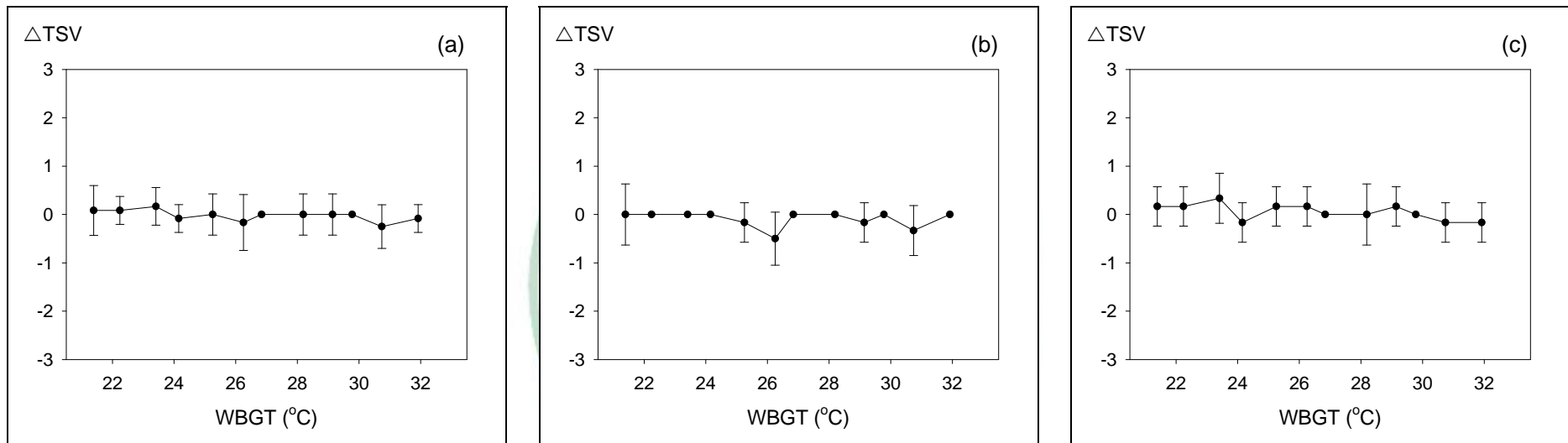


圖 4-54 熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)差異($TSV_{前} - TSV_{後}$, ΔTSV)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之變化趨勢：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性 (標號為測量平均值，誤差線為標準差)

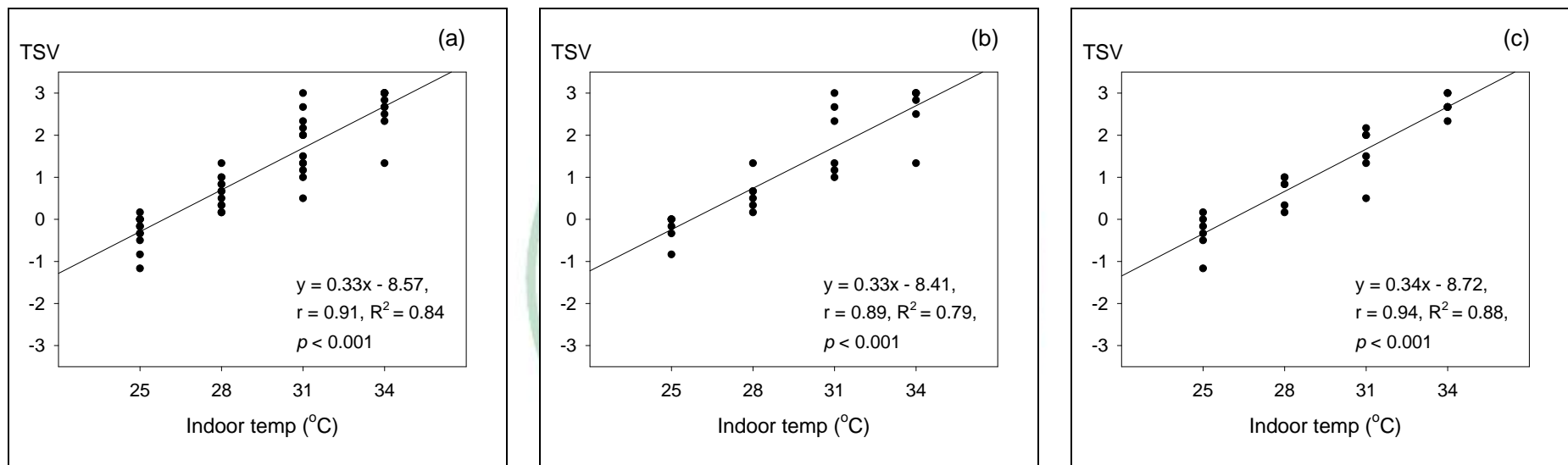


圖 4-55 熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對應室內溫度(indoor temp)之分佈：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性 (圖中直線代表該 TSV 平均值與環境溫度之線性迴歸)

圖 4-56 所示為全體受測者、男性及女性之 TSV 對應相對溼度之變化。相對濕度雖對於受測人員 TSV 影響較小，各線性迴歸之 R^2 僅 0.09，且 TSV 隨相對溼度增加而上升之趨勢(全體人員 slope = 0.015)與隨環境溫度增加之上升趨勢(slope = 0.33)相較之下，明顯緩慢。此外 TSV 不受性別因子影響，男女間之線性關係相似。以下為各分佈圖之迴歸方程式：

受測人員 TSV 平均值對應相對濕度之迴歸方程式：

$$y = 0.015x - 0.14 \quad R^2 = 0.09 \quad (\text{Eq. 4-34})$$

男性 TSV 平均值對應相對濕度之迴歸方程式：

$$y = 0.017x - 0.063 \quad R^2 = 0.09 \quad (\text{Eq. 4-35})$$

女性 TSV 平均值對應相對濕度之迴歸方程式：

$$y = 0.014x - 0.219 \quad R^2 = 0.09 \quad (\text{Eq. 4-36})$$

若將上項分析中之環境溫濕度轉換為 WBGT 以評估不同環境熱因子對主觀熱感知之綜合影響(圖 4-57)，則發現不論全體人員、男性或女性之 TSV 均隨 WBGT 上升呈現類似之線性增加。以下為各分佈圖之迴歸方程式：

全體人員 TSV 平均值對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.34x - 7.76 \quad R^2 = 0.76 \quad (\text{Eq. 4-37})$$

男性 TSV 平均值對應 WBGT 之迴歸方程式：

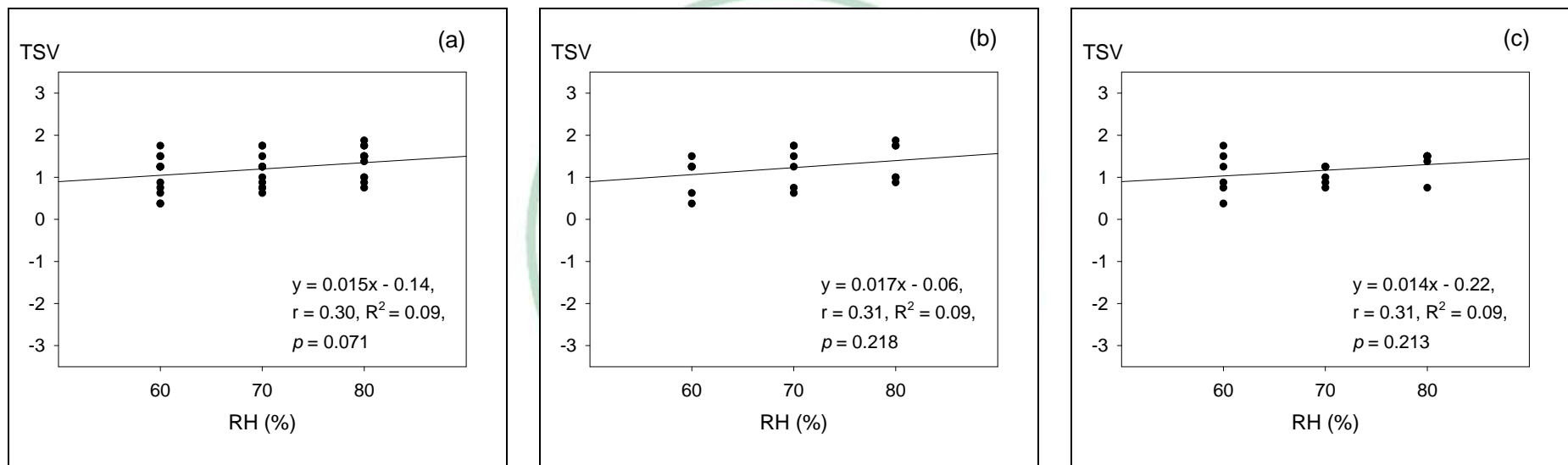


圖 4-56 熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對應環境相對濕度(relative humidity, RH)之分佈：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性 (圖中直線代表該 TSV 平均值與環境相對濕度之線性迴歸)

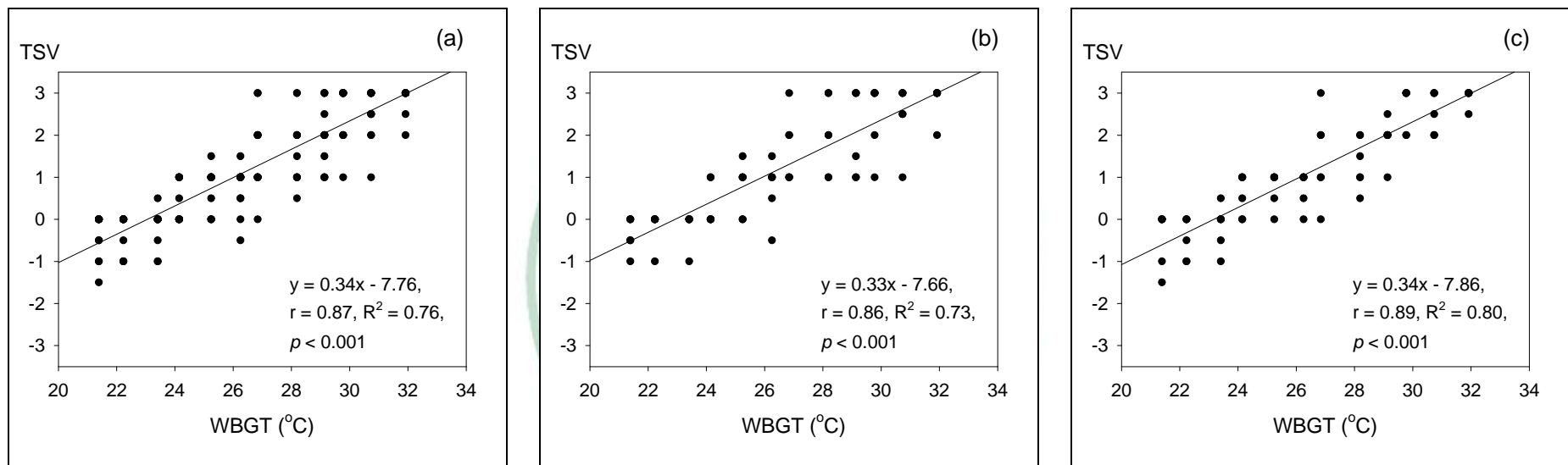


圖 4-57 前後熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性 (圖中直線代表該 TSV 平均值與 WBGT 之線性迴歸)

$$y = 0.33x - 7.66 \quad R^2 = 0.73 \quad (\text{Eq. 4-38})$$

女性 TSV 平均值對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.34x - 7.86 \quad R^2 = 0.80 \quad (\text{Eq. 4-39})$$

4.2.8 人體主觀熱感知與客觀生理指標之比較

本研究同時調查 TEWL、皮膚溫度、及皮膚濕度對應 TSV 平均值之分佈趨勢，及上項分佈受性別、環境溫度、相對濕度之影響。此外亦依照性別、環境溫度、相對濕度計算各生理指標對應主觀熱感知之線性迴歸方程式、 r 、 R^2 與相關統計檢定。圖 4-58 所示為受測人員各次暴露艙實驗前後 TSV 平均值對應上臂內側 TEWL 之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-32。TSV 與 TEWL 之間呈現正相關(全體人員 $r = 0.66$)。不同性別之間，以女性 TSV 對應上臂內側 TEWL 之變化較為敏感($\text{slope} = 0.081$)，且線性關係較高($R^2 = 0.48$)。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。圖中高 TSV(TSV = 3)所對應之 TEWL 分佈範圍極大($\text{TEWL} \approx 5\text{-}45 \text{ g/m}^2/\text{hr}$)，反應先前所討論，在高環境溫度時 TEWL 變異性大，難以作為穩定生理指標之特性。在環境溫度影響方面，環境溫度對 TSV 之影響顯著—TSV 值隨環境溫度上升而增加。在環境溫度為 25°C 時，因皮膚尚未產生大量水分散失，故 TSV 對上臂內側 TEWL 之變化與其他環境溫度時相較正相關性較高。各環境溫度下 TSV 對應上臂內側 TEWL 線性迴歸之檢定均未達統計顯著差

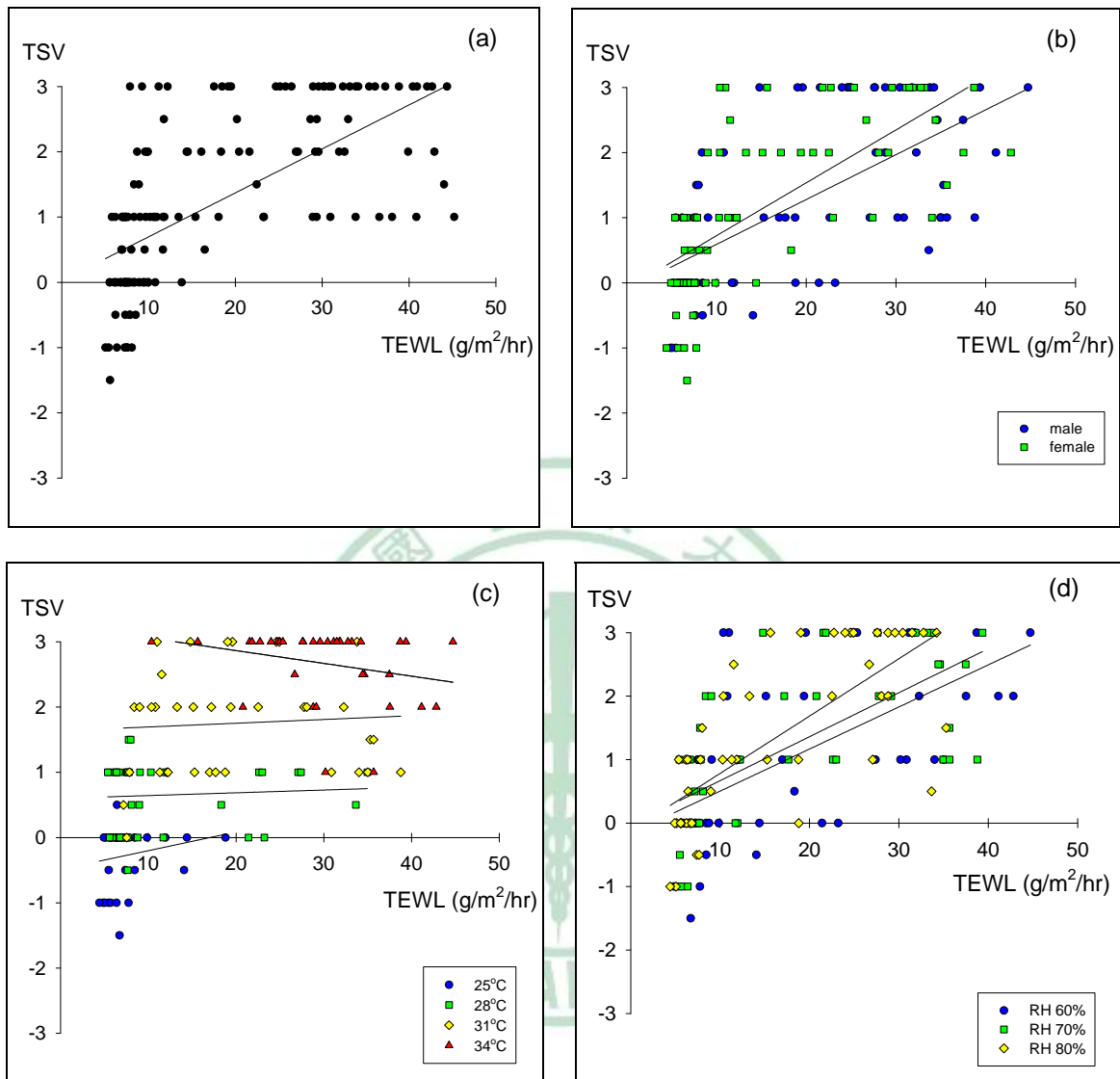


圖 4-58 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應上臂內側皮膚經皮水分散失度(transepidermal water loss,
 TEWL)之分佈與線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)
 相對濕度之分佈

表 4-32 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應上臂內側皮膚經皮水分散失度(transepidermal water loss,
TEWL)之線性迴歸方程式及相關統計分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.073x - 0.066$	0.66	0.43	< 0.001**
Male	$y = 0.069x - 0.099$	0.63	0.40	< 0.001**
Female	$y = 0.081x - 0.089$	0.69	0.48	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 0.029x - 0.488$	0.18	0.03	0.282
28°C	$y = 0.004x + 0.601$	0.07	< 0.01	0.688
31°C	$y = 0.006x + 1.637$	0.07	< 0.01	0.696
34°C	$y = -0.020x + 3.257$	-0.26	0.07	0.129
RH ^c				
60%	$y = 0.066x - 0.160$	0.61	0.37	< 0.001**
70%	$y = 0.069x - 0.026$	0.68	0.47	< 0.001**
80%	$y = 0.090x - 0.121$	0.73	0.53	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應 TEWL 之迴歸方程式是否具線性關係；* : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

^c RH = relative humidity

異(p -value > 0.05)。在環境濕度影響方面，TSV 對應 TEWL 之變化隨環境相對濕度之增加而遞增；顯示在高環境濕度時，人體對水份流失之主觀感知較為敏感，且線性關係高。相對濕度為 80% 時之線性迴歸係數(slope = 0.090)、 r (0.73)、 R^2 (0.53)均高於其他相對濕度。不同相對濕度下 TSV 對應上臂內側 TEWL 之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

圖 4-59 所示為受測人員 TSV 平均值對應前臂外側 TEWL 之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-33。與上臂內側情形相似，TSV 與 TEWL 之間呈現正相關(全體人員 $r = 0.65$)。男性 TSV 對應前臂外側 TEWL 之變化較為敏感(slope = 0.071)，且線性關係較高($R^2 = 0.45$)。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。圖中高 TSV(TSV = 3)所對應之 TEWL 分佈範圍 ≈ 5 -45 g/m²/hr。環境溫度對 TSV 之影響顯著；TSV 值隨環境溫度上升而增加。TSV 於環境溫度 25 °C 時對前臂外側 TEWL 之變化較為敏感，且 r 與 R^2 較高，其數值分別為 0.35 與 0.13，顯示於此環境溫度下 TSV 與前臂外側 TEWL 之相關性較高；此外唯有在環境溫度 25 °C 時，TSV 對應前臂外側 TEWL 線性迴歸之檢定達統計顯著差異(p -value = 0.035)。在環境濕度影響方面，TSV 對應 TEWL 之變化隨環境相對濕度之增加而遞增；相對濕度為 80% 時之線性迴歸係數(slope = 0.089)、 r (0.71)、 R^2 (0.50)均高於其他相對濕度。不同相對濕度下 TSV 對應前臂外側 TEWL 之線性迴歸統計檢定均達

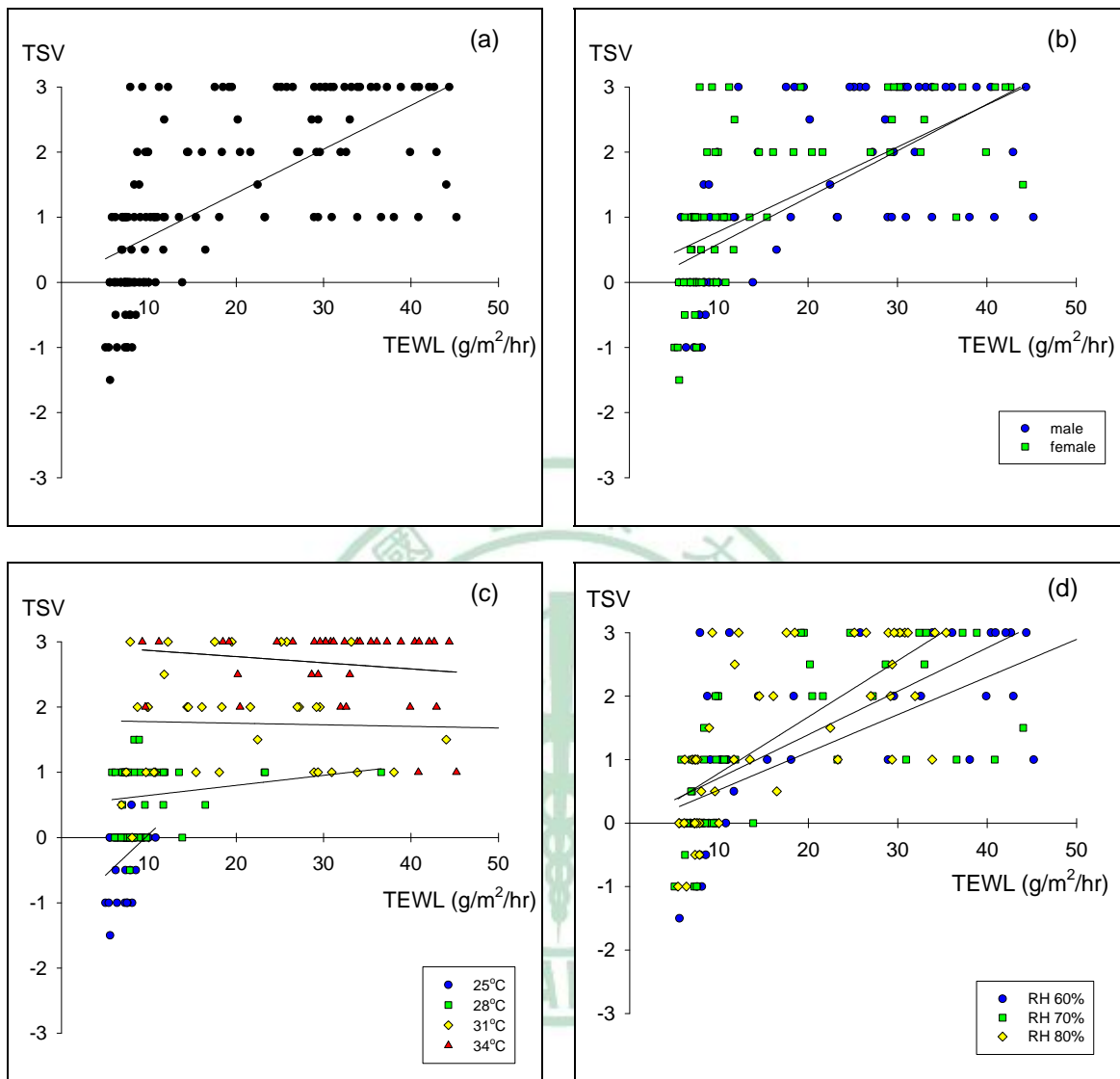


圖 4-59 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應前臂外側皮膚經皮水分散失度(transdermal water loss,
 TEWL)之分佈與線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)
 相對濕度之分佈

表 4-33 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應前臂外側皮膚經皮水分散失度(transepidermal water loss,
TEWL)之線性迴歸方程式及相關統計分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.067x + 0.023$	0.65	0.43	< 0.001**
Male	$y = 0.071x - 0.121$	0.67	0.45	< 0.001**
female	$y = 0.065x + 0.132$	0.63	0.40	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 0.127x - 1.216$	0.35	0.13	0.035*
28 °C	$y = 0.015x + 0.492$	0.18	0.03	0.294
31 °C	$y = -0.002x + 1.800$	-0.03	< 0.01	0.850
34 °C	$y = -0.010x + 2.962$	-0.16	0.03	0.344
RH ^c				
60%	$y = 0.059x - 0.069$	0.66	0.44	< 0.001**
70%	$y = 0.068x + 0.025$	0.66	0.43	< 0.001**
80%	$y = 0.089x - 0.100$	0.71	0.50	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應 TEWL 之迴歸方程式是否具線性關係；* : p-value < 0.05 , ** : p-value < 0.01

^c RH = relative humidity

顯著差異(p -value < 0.001)。

圖 4-60 所示為受測人員 TSV 平均值對應上臂內側皮膚溫度之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-34。與 TEWL 相較，TSV 隨皮膚溫度上升之變化呈現甚為明顯之線性趨勢(全體人員 $r = 0.88$ ， $R^2 = 0.77$)。性別構成之影響較不明顯，但男性之線性迴歸係數(0.411)高於女性(0.388)，顯示男性 TSV 對應上臂內側皮膚溫度之變化較為敏感。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

就環境溫度影響而言，因為皮膚溫度如先前討論可直接感應與反應外在之環境溫度變化，故在不同之環境溫度下，仍能與 TSV 變化呈現不同程度之正相關($r = 0.06$ - 0.26)。TSV 於環境溫度 34°C 時對上臂內側皮膚溫度之變化較為敏感(slope = 0.241)，且相關性為所有環境溫度最高者($r = 0.26$)，顯示皮膚溫度為所評估皮膚生理變化中在高環境溫度狀況下最能適切反應主觀熱感知之指標。各環境溫度下 TSV 對應上臂內側皮膚溫度 TEWL 線性迴歸之檢定均未達統計顯著差異(p -value > 0.05)。TSV 對皮膚溫度之分佈較不受環境相對濕度之影響；不同相對濕度下 TSV 對應上臂內側皮膚溫度之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

圖 4-61 所示為受測人員 TSV 平均值對應前臂外側皮膚溫度之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-35。與上臂

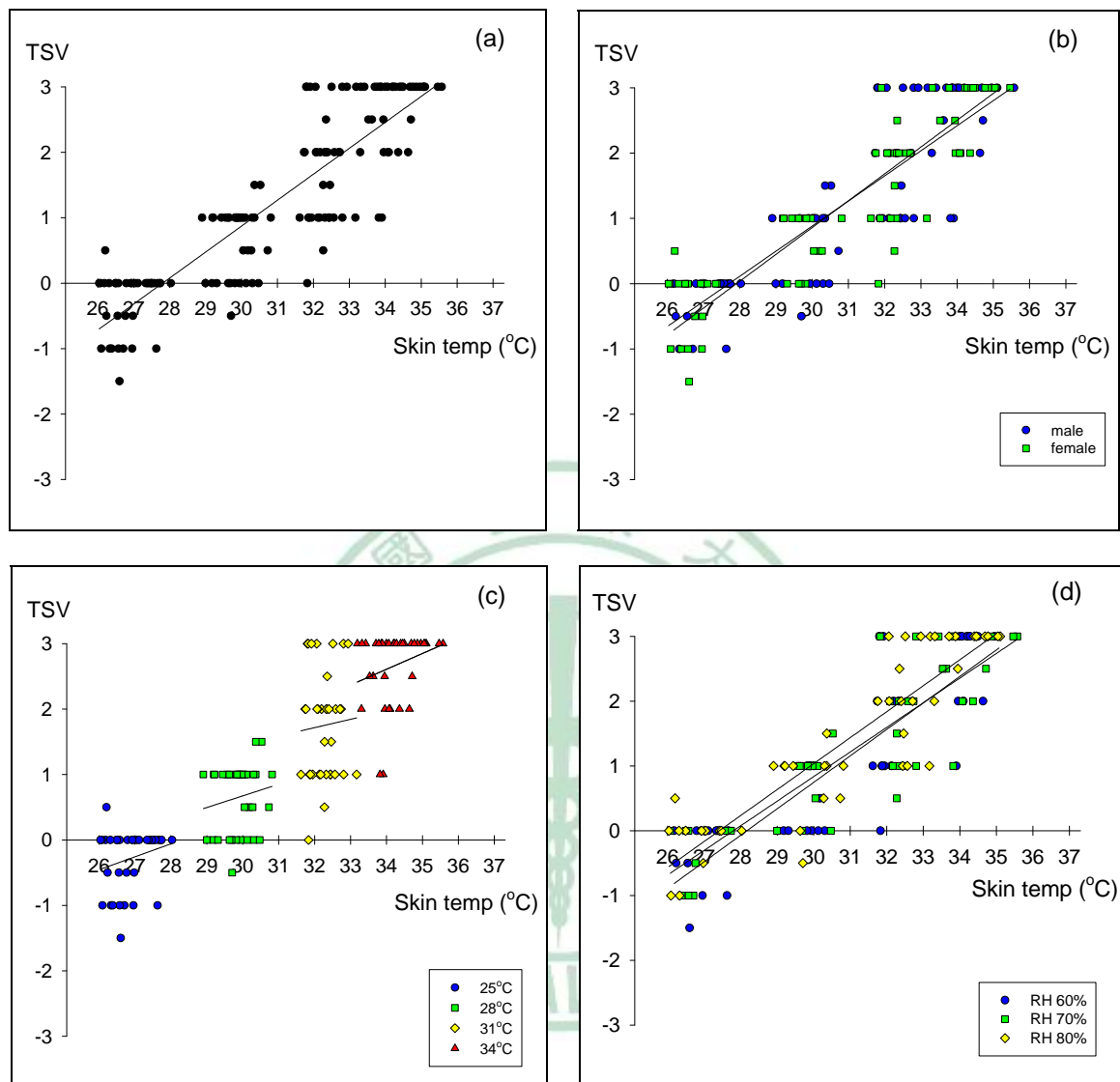


圖 4-60 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應上臂內側皮膚溫度(skin temp)之分佈與線性迴歸及其對應
 (b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-34 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應上臂內側皮膚溫度(skin temp)之線性迴歸方程式及相關統計
分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.397x - 11.027$	0.88	0.77	< 0.001**
Male	$y = 0.411x - 11.474$	0.86	0.74	< 0.001**
Female	$y = 0.384x - 10.651$	0.89	0.80	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 0.198x - 5.603$	0.24	0.06	0.160
28 °C	$y = 0.178x - 4.663$	0.16	0.03	0.350
31 °C	$y = 0.128x - 2.368$	0.06	< 0.01	0.737
34 °C	$y = 0.241x - 5.580$	0.26	0.07	0.123
RH ^c				
60%	$y = 0.409x - 11.516$	0.87	0.75	< 0.001**
70%	$y = 0.380x - 10.566$	0.88	0.77	< 0.001**
80%	$y = 0.401x - 10.992$	0.89	0.80	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應皮膚溫度之迴歸方程式是否具線性關係; *: p-value < 0.05, **: p-value < 0.01

^c RH = relative humidity

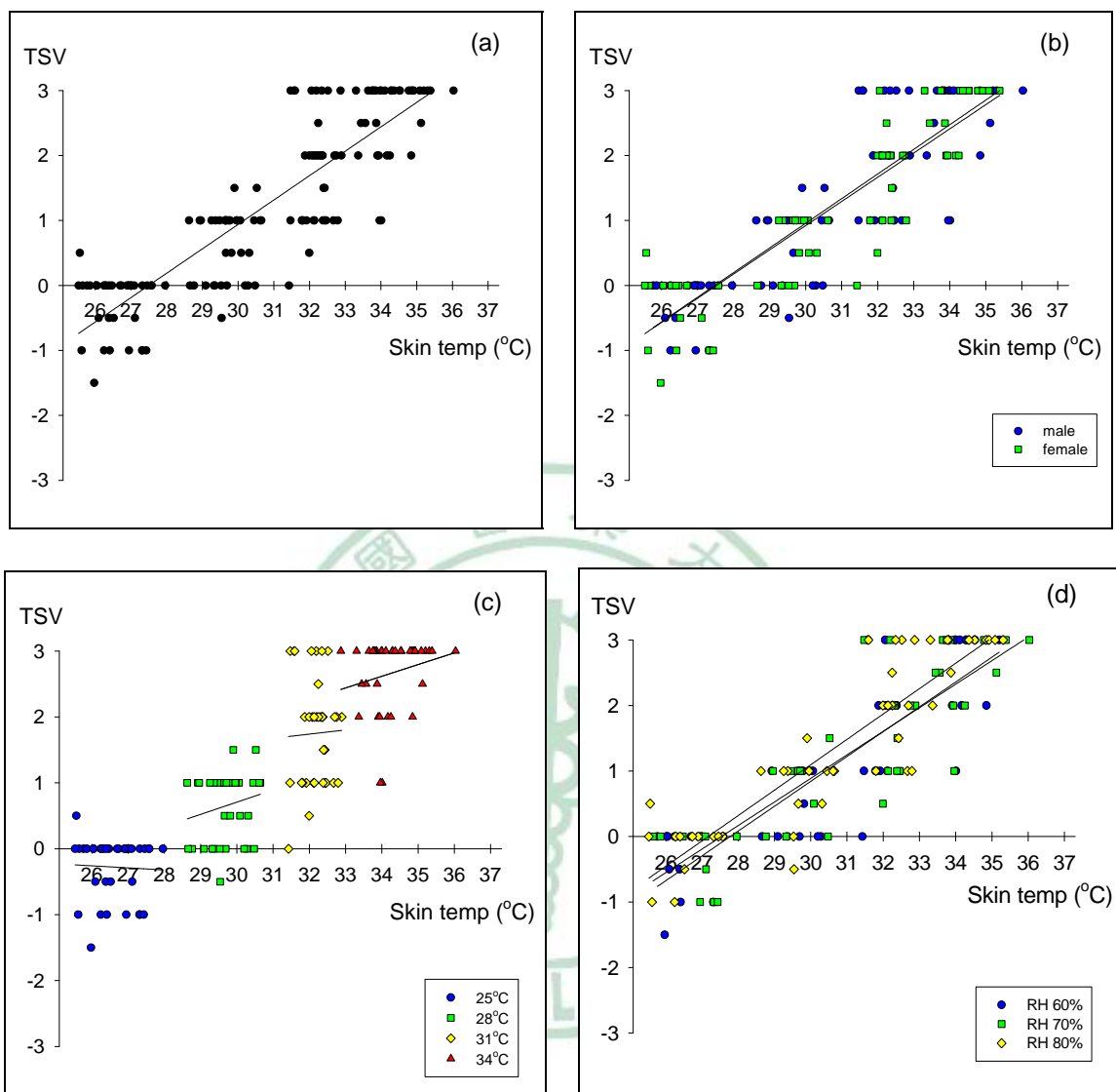


圖 4-61 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應前臂外側皮膚溫度(skin temp)之分佈與線性迴歸及其對應
 (b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-35 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應前臂外側皮膚溫度(skin temp)之線性迴歸方程式及相關統計
分析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.376x - 10.334$	0.87	0.75	< 0.001**
Male	$y = 0.379x - 10.424$	0.84	0.71	< 0.001**
Female	$y = 0.373x - 10.253$	0.89	0.80	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = -0.031x + 0.555$	-0.04	< 0.01	0.800
28 °C	$y = 0.185x - 4.849$	0.19	0.04	0.257
31 °C	$y = 0.063x - 0.288$	0.03	< 0.01	0.864
34 °C	$y = 0.177x - 3.413$	0.22	0.05	0.203
RH ^c				
60%	$y = 0.379x - 10.532$	0.87	0.75	< 0.001**
70%	$y = 0.360x - 9.900$	0.87	0.73	< 0.001**
80%	$y = 0.387x - 10.528$	0.89	0.80	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應皮膚溫度之迴歸方程式是否具線性關係; *: p -value < 0.05, **: p -value < 0.01

^c RH = relative humidity

內側相似，TSV 隨皮膚溫度增加而上升，但性別與相對濕度所構成之影響不甚明顯。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。在環境溫度為 28、31、34°C 時，TSV 隨皮膚溫度之變化均為正相關($r = 0.03$ - 0.22)。各環境溫度下 TSV 對應前臂外側皮膚溫度 TEWL 線性迴歸之檢定均未達統計顯著差異(p -value > 0.05)。在相對濕度為 80% 時，TSV 對應前臂外側皮膚溫度之迴歸係數(0.387)、 r (0.89)、 R^2 (0.80) 均高於其他相對濕度，顯示 TSV 於高濕環境下對於前臂外側皮膚溫度之變化較為敏感且線性關係高。不同相對濕度下 TSV 對應前臂外側皮膚溫度之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

圖 4-62 所示為受測人員各次暴露艙實驗前後 TSV 平均值對應上臂內側皮膚濕度之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-36。TSV 與皮膚濕度之間呈現正相關(全體人員 $r = 0.69$)。不同性別之間，以女性 TSV 對應上臂內側 TEWL 之變化較為敏感($\text{slope} = 0.0019$)，且線性關係較高($R^2 = 0.62$)。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。圖中高 TSV (TSV = 3)所對應之皮膚濕度分佈範圍極大(≈ 250 - $2,300 \mu\text{S}$)，顯示在高環境溫度時皮膚濕度變異性大。各環境溫度下 TSV 對應上臂內側 TEWL 線性迴歸之檢定均未達統計顯著差異(p -value > 0.05)。在環境濕度影響方面，TSV 對應皮膚濕度之變化隨環境相對濕度之增加而遞減；顯示在高環境濕度時，人體對水份流

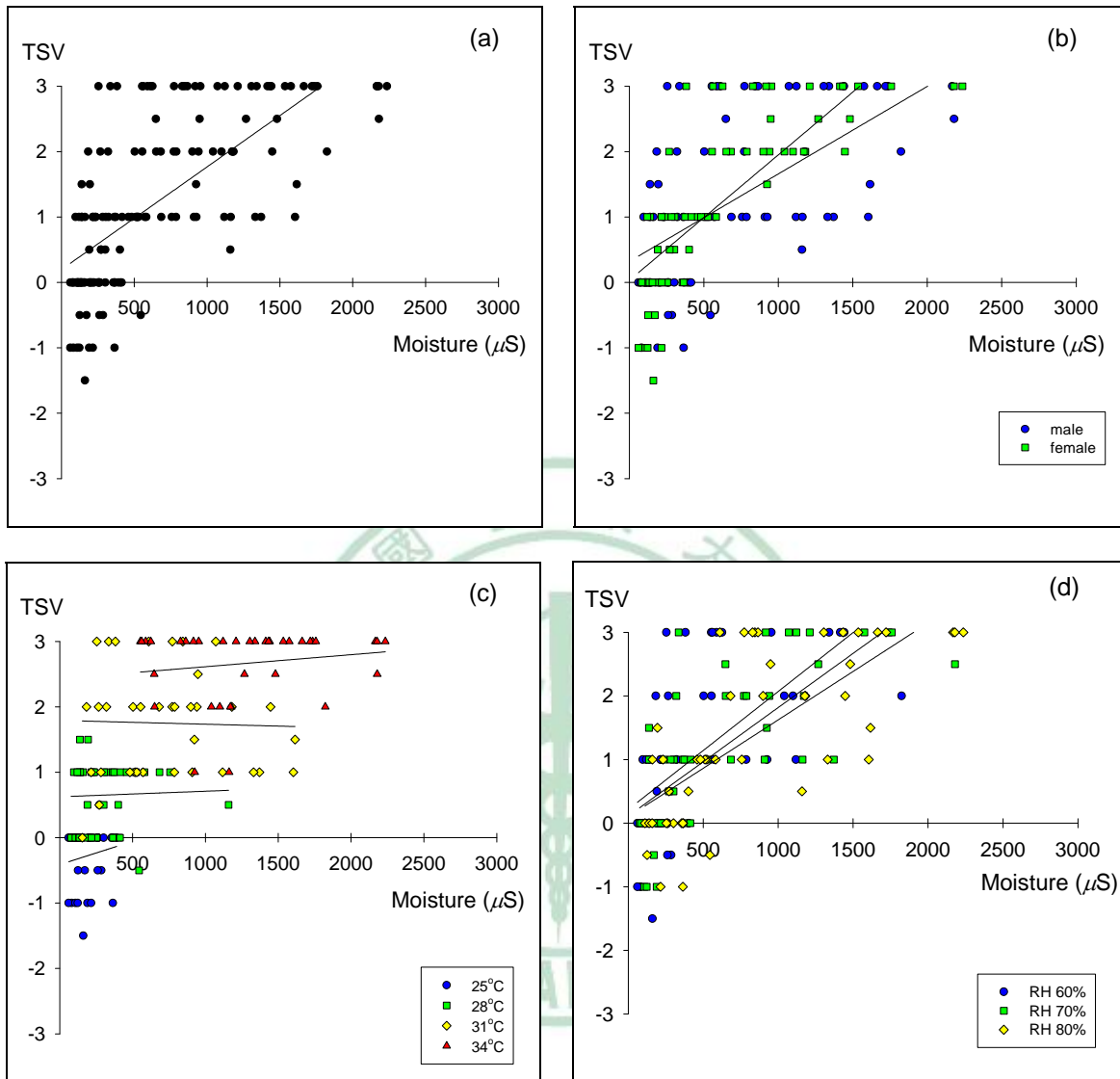


圖 4-62 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應上臂內側皮膚濕度(moisture)之分佈與線性迴歸及其對應(b)
 性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-36 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應上臂內側皮膚濕度(moisture)之線性迴歸方程式及相關統計分
析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.0016x + 0.187$	0.69	0.47	< 0.001**
Male	$y = 0.0013x + 0.321$	0.60	0.36	< 0.001**
Female	$y = 0.0019x + 0.031$	0.79	0.62	< 0.001**
Temp				
25°C	$y = 0.0007x - 0.412$	0.14	0.02	0.410
28 °C	$y = 0.00009x + 0.625$	0.04	< 0.01	0.831
31 °C	$y = -0.00006x + 1.793$	-0.03	< 0.01	0.867
34 °C	$y = 0.0002x + 2.430$	0.16	0.03	0.352
RH ^c				
60%	$y = 0.0019x + 0.214$	0.62	0.38	< 0.001**
70%	$y = 0.0017x + 0.112$	0.74	0.54	< 0.001**
80%	$y = 0.0015x + 0.101$	0.72	0.52	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應皮膚濕度之迴歸方程式是否具線性關係; *: $p\text{-value} < 0.05$, **: $p\text{-value} < 0.01$

^c RH = relative humidity

失之主觀感知較不敏感。相對濕度 60%時之迴歸係數(0.0019)較其他相對濕度為高；但以線性關係而論，當相對濕度為 70%時之 r 與 R^2 均高於其他相對濕度，其數值分別為 0.74 與 0.54，顯示 TSV 與上臂內側皮膚濕度於該相對濕度下之線性關係較高。不同相對濕度下 TSV 對應上臂內側 TEWL 之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

圖 4-63 所示為受測人員各次暴露艙實驗前後 TSV 平均值對應前臂外側皮膚濕度之分佈與線性趨勢分析；相關迴歸方程式與統計分析結果則收錄於表 4-37。與上臂內側情形接近，TSV 與前臂外側皮膚濕度間呈現正相關(全體人員 $r = 0.67$)。不同性別之間，以女性 TSV 對應上臂內側 TEWL 之變化較為敏感(slope = 0.0016)，且線性關係較高($R^2 = 0.55$)。男女性線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。圖中高 TSV (TSV = 3)所對應之皮膚濕度變異幅度大(≈ 200 - $2,500 \mu\text{S}$)。TSV 於環境溫度 25°C 時對前臂外側皮膚濕度之變化較為敏感，且 r 值為 0.28，顯示於此環境溫度下 TSV 與前臂外側皮膚濕度之相關性亦較高。各環境溫度下 TSV 對應前臂外側 TEWL 線性迴歸之檢定均未達統計顯著差異(p -value > 0.05)。在環境濕度影響方面，與上臂內側相似，TSV 對應前臂外側皮膚濕度之變化隨環境相對濕度之增加而遞減。相對濕度 60%時之迴歸係數(0.0019)較其他相對濕度為高。不同相對濕度下 TSV 對應前臂外側皮膚濕度之線性迴歸統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。

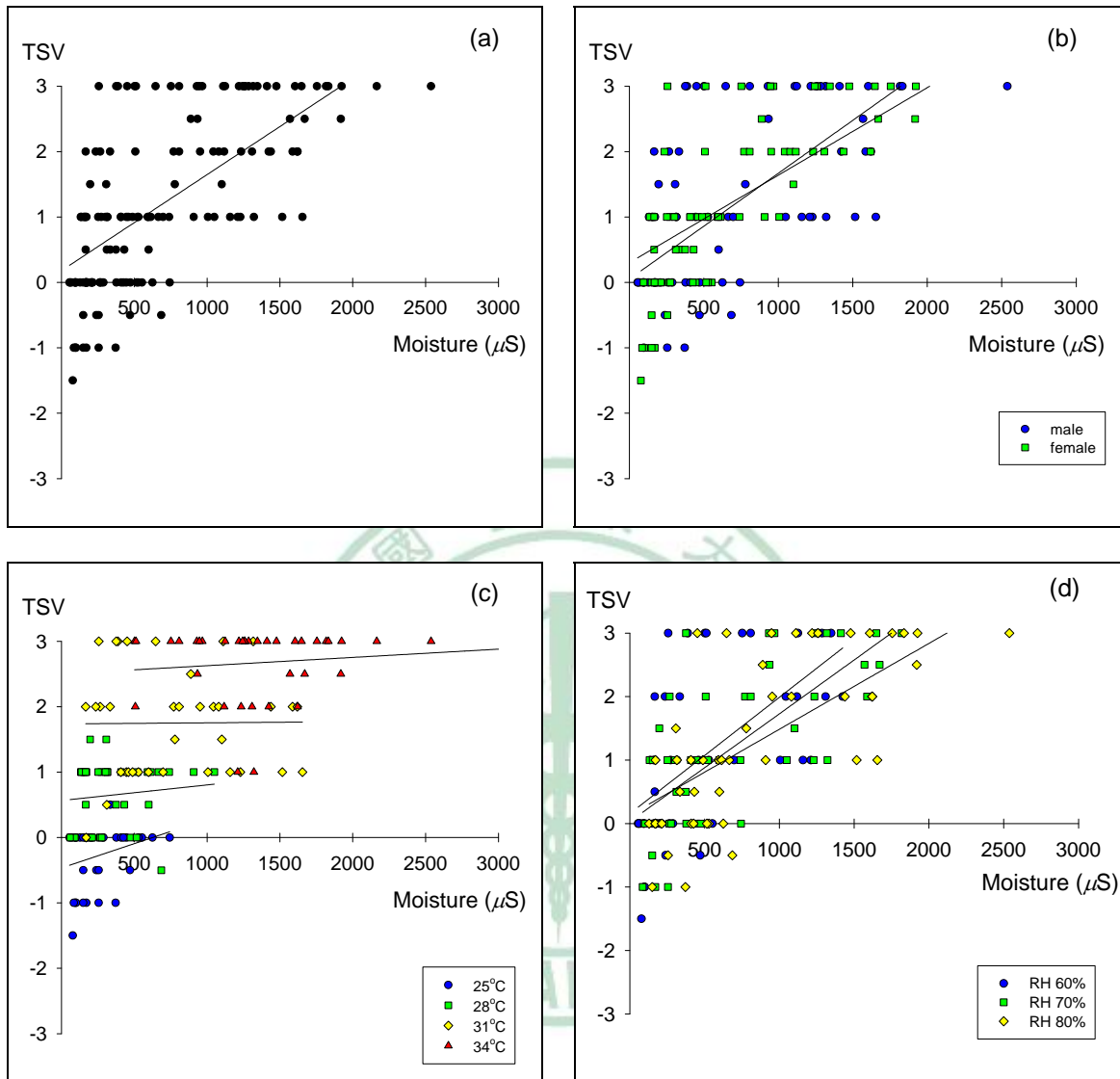


圖 4-63 全體人員(a)熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值
 對應前臂外側皮膚濕度(moisture)之分佈與線性迴歸及其對應(b)
 性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 4-37 全體人員熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)平均值對
應前臂外側皮膚濕度(moisture)之線性迴歸方程式及相關統計分
析^a

	Regression equation	r	R ²	p-value ^b
Overall	$y = 0.0015x + 0.174$	0.67	0.45	< 0.001**
Mela	$y = 0.0013x + 0.301$	0.60	0.35	< 0.001**
Female	$y = 0.0016x + 0.050$	0.74	0.55	< 0.001**
Temp				
25 °C	$y = 0.0007x - 0.466$	0.28	0.08	0.102
28 °C	$y = 0.0002x + 0.566$	0.11	0.01	0.526
31 °C	$y = 0.00002x + 1.737$	< 0.01	< 0.01	0.957
34 °C	$y = 0.0001x + 2.521$	0.10	< 0.01	0.565
RH ^c				
60%	$y = 0.0018x + 0.156$	0.61	0.37	< 0.001**
70%	$y = 0.0017x + 0.031$	0.72	0.52	< 0.001**
80%	$y = 0.0014x + 0.133$	0.71	0.50	< 0.001**

^a 分析結果包括皮爾森積差相關係數(r)與判定係數(R²)

^b 檢定 TSV 對應皮膚濕度之迴歸方程式是否具線性關係; *: p-value < 0.05, **: p-value < 0.01

^c RH = relative humidity

4.2.9 室內環境物理因子與性別對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析

表 4-38 所示為暴露艙量測實驗中上臂內側與前臂外側 TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、E-index、M-index、及 TSV 對應環境溫度、相對濕度、性別之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與統計檢定。由表中可觀察到當環境溫濕度固定時，性別對於上臂內側 TEWL、E-index 與 M-index 具明顯影響，偏迴歸係數為各方程式變數項(variables)中最高者。環境溫度為所有因子中對皮膚溫度與皮膚濕度影響最大者；其對 TEWL 亦具顯著影響(偏迴歸係數 = 2.524)，但不若性別之影響強烈(-3.820)。環境濕度對各項生理指標之影響均為探討因子中較低者；尤其未能影響至 E-index 變化，偏迴歸係數值為 0。就複迴歸線性關係而言，皮膚溫度之複相關係數與調整複判定係數為各迴歸模式中最高者，分別為 0.98 與 0.96；其次為皮膚濕度複迴歸方程式，分別為 0.82 與 0.66。各方程式中複相關係數與調整複判定係數之最低值為 E-index，其數值分別為 0.06 與低於 0.01，說明當皮膚未受過度紫外光曝曬時，皮膚紅斑生成現象不受室內環境熱因子與性別之影響。相較之下，黑素生成現象則具有性別上之差異，但依先前觀察結果，當與男女性夏季外出活動行為、型態較相關。統計檢定結果唯有 E-index 複迴歸方程式之統計檢定亦未達顯著差異(p -value = 0.909)。

表 4-38 環境暴露艙實驗中不同部位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)、性別(x₃)^b之多項式複迴歸方程式(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)與統計檢定

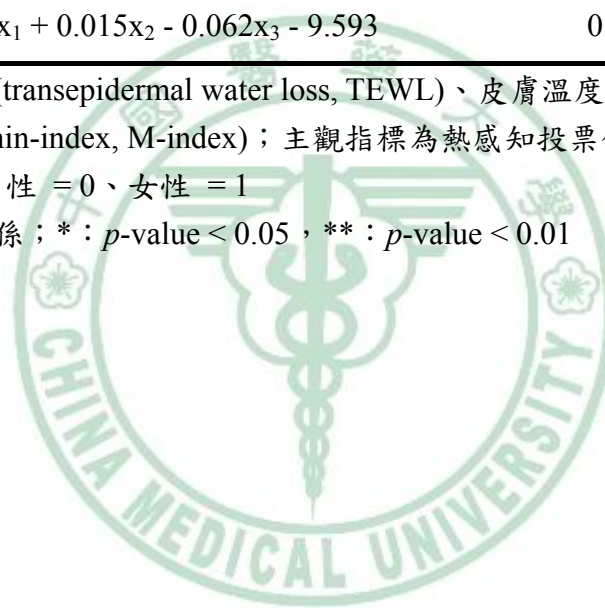
上臂內側生理指標	Multiple regression equation	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^c
TEWL	$y = 2.524x_1 - 0.099x_2 - 3.820x_3 - 48.214$	0.77	0.59	0.58	< 0.001**
Skin temp	$y = 0.814x_1 + 0.002x_2 - 0.159x_3 + 6.725$	0.98	0.96	0.96	< 0.001**
Moisture	$y = 123.389x_1 + 18.633x_2 - 87.188x_3 - 4265.468$	0.82	0.66	0.66	< 0.001**
E-index	$y = 0.005x_1 + 0x_2 + 0.186x_3 + 8.780$	0.06	< 0.01	< 0.01	0.909
M-index	$y = -0.109x_1 - 0.003x_2 + 3.150x_3 + 31.617$	0.57	0.32	0.31	< 0.001**
前臂外側生理指標	Multiple regression equation	r	R ²	Adj. R ²	p-value
TEWL	$y = 2.720x_1 - 0.129x_2 - 2.972x_3 - 52.276$	0.76	0.58	0.57	< 0.001**
Skin temp	$y = 0.849x_1 + 0.006x_2 - 0.057x_3 + 5.273$	0.98	0.96	0.95	< 0.001**
Moisture	$y = 124.776x_1 + 20.816x_2 - 3.794x_3 - 444.593$	0.79	0.63	0.62	< 0.001**

E-index	$y = -0.016x_1 - 0.004x_2 - 3.643x_3 + 16.396$	0.65	0.42	0.41	< 0.001**
M-index	$y = -0.145x_1 + 0.002x_2 - 7.007x_3 + 45.023$	0.64	0.41	0.39	< 0.001**
主觀感知	Multiple regression equation	r	R ²	Adj. R ²	p-value
TSV	$y = 0.331x_1 + 0.015x_2 - 0.062x_3 - 9.593$	0.89	0.78	0.78	< 0.001**

^a 測量皮膚生理指標包括：經皮水分散失度(trans epidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temp)、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 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係；*：p-value < 0.05，**：p-value < 0.01



在前臂外側方面，由表中同樣可觀察到性別對於 TEWL、E-index 與 M-index 影響較其他因子為高；偏迴歸係數為各方程式中最高值(TEWL = -2.972；E-index = -3.643；M-index = -7.007)。環境溫度之影響以對皮膚溫度與皮膚濕度最大；環境濕度則對所有生理指標之影響均為所探討之因子中最低者。皮膚溫度之複相關係數與調整複判定係數為各方程式中最高值，分別為 0.98 與 0.95；其次為皮膚濕度，分別為 0.79 與 0.62。各方程式中複相關係數絕對值與調整複判定係數之最低值為 M-index，分別為 0.64 與 0.39。各複迴歸方程式之統計檢定結果均達統計顯著差異(p -value < 0.001)。與上臂內側不同的是，前臂外側 E-index 之線性關係亦屬顯著(p -value < 0.001)，且差異主要源自於性別因子。因前臂外側為夏季日常活動中容易曝曬日光之皮膚部位，以上觀察再次說明男性較不擅於日光曝曬之防護與皮膚保養。

在人體主觀熱感知變化方面，TSV 明顯受環境溫度影響(偏迴歸係數 = 0.331)，其次為性別(-0.062)與相對濕度(0.015)。值得注意的是：性別因子之偏迴歸係數為負值，代表相同室內熱環境下，男性具有較高之主觀熱感知。TSV 複迴歸方程式之複相對係數絕對值與調整複判定係數分別為 0.89 與 0.78；方程式之統計檢定具顯著差異(p -value < 0.001)。

第三節 自然日光照射實驗結果

4.3.1 日光紫外線輻射對 TEWL 之影響

圖 4-64 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。以下為各分佈圖之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚 TEWL 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.53x + 8.70 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-40})$$

男性前臂外側皮膚 TEWL 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.50x + 9.10 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-41})$$

女性前臂外側皮膚 TEWL 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.54x + 8.33 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-42})$$

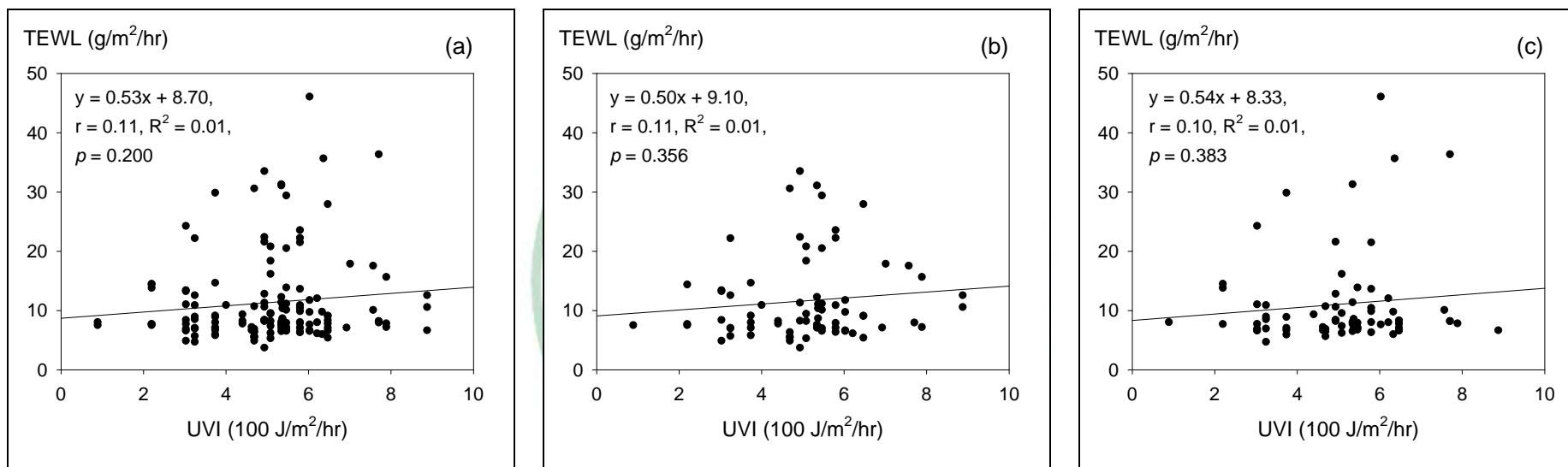


圖 4-64 前臂外側皮膚經皮水分散失度(trans-epidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈

與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

由 Eqs. 4-40 至 4-42 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。Eqs. 4-40 至 4-42 中之線性所反應者當為 TEWL 對應輻射熱之變化。

圖 4-65 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。以下為各分佈圖之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚 TEWL 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = -0.14x + 11.51 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-43})$$

男性前臂外側皮膚 TEWL 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 1.96x + 8.95 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-44})$$

女性前臂外側皮膚 TEWL 對應 irradiance 之迴歸方程式：

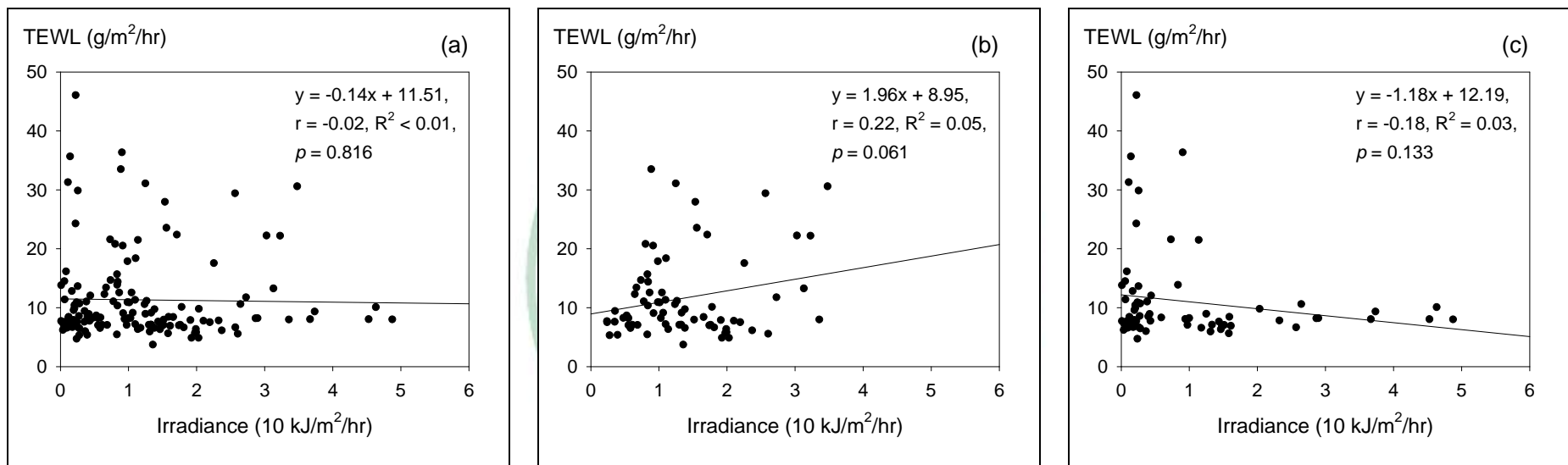


圖 4-65 前臂外側皮膚經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)

之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

$$y = -1.18x + 12.19 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-45})$$

結果顯示 TEWL 在遭受物理力刺激時所生成之急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 4-39 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，且於實驗日期為 8 月 8 日時，男女上臂內側 TEWL 差異達統計顯著性 ($p\text{-value} = 0.017$)。男性上臂內側 TEWL 最大值為 $19.35 \text{ g/m}^2/\text{hr}$ ，女性為 $12.69 \text{ g/m}^2/\text{hr}$ 。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。在前臂外側皮膚部分，男性皮膚 TEWL 於實驗日期 8 月 1 日、22 日、29 日、9 月 5 日時小於女性，其餘測量日皆較高。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

表 4-39 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						
日期	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value	
8/1	12.54 ± 8.60	14.77 ± 11.65	10.32 ± 3.90	1.43	0.395	
8/5	13.29 ± 10.47	18.57 ± 13.06	8.01 ± 1.85	2.32	0.105	
8/8	13.93 ± 10.16	19.35 ± 12.08	8.52 ± 3.32	2.27	0.017*	
8/12	14.19 ± 10.92	15.68 ± 11.67	12.69 ± 10.99	1.24	0.657	
8/15	11.81 ± 5.34	12.31 ± 5.76	11.31 ± 5.38	1.09	0.761	
8/19	10.33 ± 6.88	13.26 ± 8.74	7.39 ± 2.67	1.79	0.167	
8/22	9.70 ± 3.17	10.01 ± 3.71	9.38 ± 2.85	1.07	0.751	
8/26	13.16 ± 9.11	15.20 ± 10.14	11.11 ± 8.35	1.37	0.463	
8/29	9.87 ± 4.39	11.10 ± 5.41	8.65 ± 3.10	1.28	0.359	
9/2	8.92 ± 5.92	10.74 ± 8.12	7.11 ± 1.82	1.51	0.329	
9/5	8.86 ± 4.21	9.00 ± 3.10	8.72 ± 5.42	1.03	0.916	
9/9	9.29 ± 9.27	10.72 ± 12.56	7.85 ± 5.14	1.37	0.616	
前臂外側 TEWL 量測值						
日期	UVI	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	9.99 ± 2.82	9.96 ± 2.60	10.01 ± 3.28	1.00	0.979
8/5	6.04	11.27 ± 5.48	13.35 ± 6.44	9.19 ± 3.78	1.45	0.210
8/8	6.61	12.83 ± 9.00	13.50 ± 9.28	12.15 ± 9.52	1.11	0.809
8/12	7.67	12.24 ± 9.48	12.46 ± 7.95	12.02 ± 11.60	1.04	0.941
8/15	5.92	13.04 ± 8.53	14.40 ± 11.35	11.68 ± 5.18	1.23	0.606
8/19	5.54	11.32 ± 7.00	14.14 ± 9.02	8.50 ± 2.70	1.66	0.194
8/22	6.86	13.82 ± 13.08	8.93 ± 2.22	18.71 ± 17.72	0.48	0.236
8/26	7.14	12.33 ± 6.46	13.02 ± 7.82	11.65 ± 5.42	1.12	0.733
8/29	3.71	10.16 ± 5.14	9.34 ± 3.36	10.99 ± 6.72	0.85	0.604
9/2	2.07	9.19 ± 4.62	10.35 ± 6.28	8.02 ± 2.08	1.29	0.408
9/5	5.65	10.91 ± 6.96	10.38 ± 4.67	11.44 ± 9.17	0.91	0.806
9/9	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; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

著性(p -value > 0.05)。

表 4-40 計算前臂外側與上臂內側皮膚 TEWL 比值之目的在觀察受試者暴露皮膚部位與控制皮膚部位間之差距。可觀察到除 8 月 1 日與 12 日之比值小於 1 外，其餘皆大於 1。顯示不論男女前臂外側之水分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 -value > 0.05)。

4.3.2 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 4-66 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)，

表 4-40 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)比值^a及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側 TEWL 量測值					
日期	UVI	全體	男	女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	0.99 ± 0.40	0.92 ± 0.43	1.05 ± 0.40	0.594
8/5	6.04	1.00 ± 0.28	0.87 ± 0.26	1.13 ± 0.25	0.100
8/8	6.61	1.12 ± 0.52	0.93 ± 0.58	1.31 ± 0.40	0.218
8/12	7.67	0.98 ± 0.32	0.98 ± 0.39	0.99 ± 0.28	0.954
8/15	5.92	1.18 ± 0.64	1.16 ± 0.69	1.21 ± 0.65	0.904
8/19	5.54	1.14 ± 0.12	1.11 ± 0.14	1.17 ± 0.11	0.418
8/22	6.86	1.35 ± 0.93	0.94 ± 0.23	1.75 ± 1.20	0.160
8/26	7.14	1.11 ± 0.38	0.97 ± 0.37	1.24 ± 0.39	0.251
8/29	3.71	1.09 ± 0.34	0.94 ± 0.30	1.24 ± 0.33	0.126
9/2	2.07	1.11 ± 0.23	1.09 ± 0.33	1.13 ± 0.07	0.793
9/5	5.65	1.21 ± 0.25	1.17 ± 0.28	1.25 ± 0.24	0.615
9/9	5.45	1.10 ± 0.29	1.01 ± 0.21	1.20 ± 0.35	0.278

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 TEWL 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

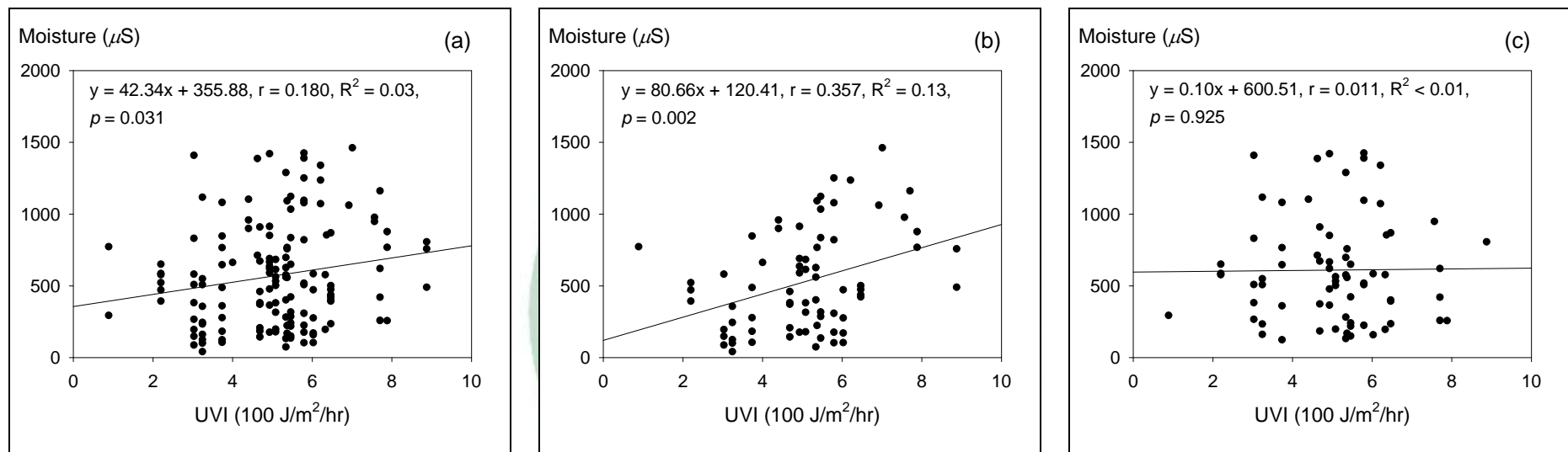


圖 4-66 前臂外側皮膚濕度(moisture)量測值(戶外陰涼處測量)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴

歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

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。以下為各分佈圖之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚濕度對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 42.34x + 355.88 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-46})$$

男性前臂外側皮膚濕度對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 80.66x + 120.41 \quad R^2 = 0.13 \quad (\text{Eq. 4-47})$$

女性前臂外側皮膚濕度對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.10x + 600.51 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-48})$$

圖 4-67 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。

以下為各分佈圖之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚濕度對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 2.67x + 453.81 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-49})$$

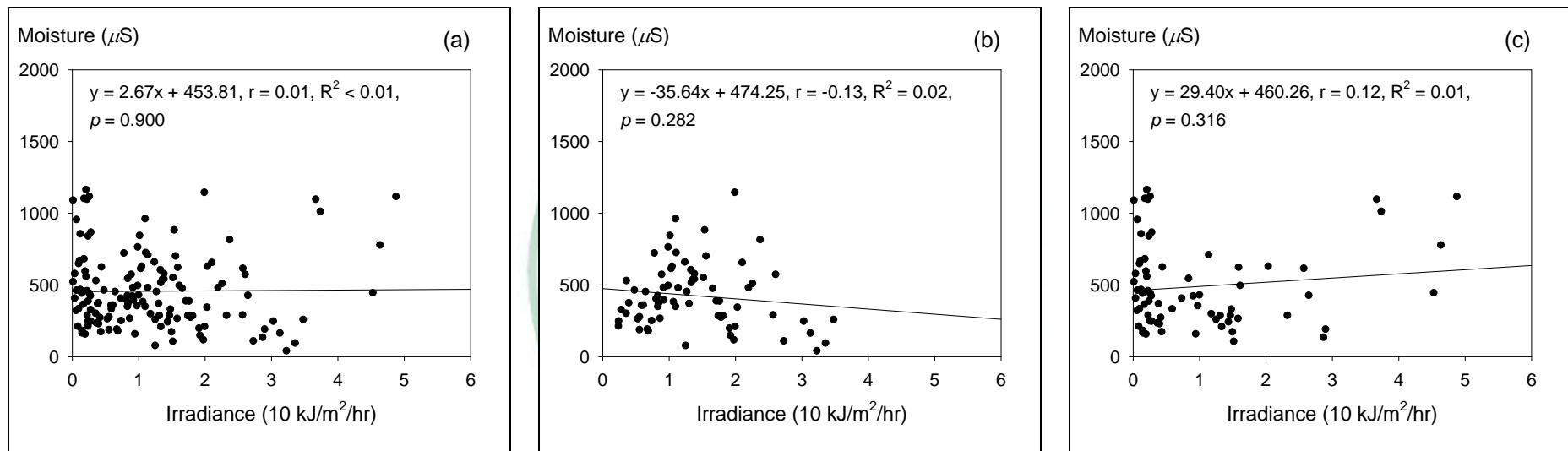


圖 4-67 前臂外側皮膚濕度(moisture)量測值(環境暴露艙測量)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

男性前臂外側皮膚濕度對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = -35.64x + 474.25 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-50})$$

女性前臂外側皮膚濕度對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 29.40x + 460.26 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-51})$$

表 4-41 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 9 月 2 日與 9 日外，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(8 月 1 日、5 日、8 日、19 日)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 ($p\text{-value} > 0.05$)。

表 4-42 所示為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。男性受測人員於 8 月 12 日、15 日、19 日之比值大於 1，但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 8 月 5 日時低於上臂內側，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。

表 4-41 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、男一女比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值(戶外陰涼處)						
日期	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value	
8/1	633 ± 419	790 ± 538	476 ± 196	1.66	0.226	
8/5	675 ± 447	837 ± 573	514 ± 217	1.63	0.242	
8/8	644 ± 379	809 ± 411	479 ± 287	1.69	0.138	
8/12	510 ± 321	634 ± 393	386 ± 190	1.64	0.195	
8/15	739 ± 445	846 ± 571	632 ± 287	1.34	0.437	
8/19	545 ± 471	718 ± 574	371 ± 295	1.93	0.217	
8/22	604 ± 541	680 ± 726	528 ± 319	1.29	0.653	
8/26	733 ± 541	764 ± 700	702 ± 388	1.09	0.853	
8/29	599 ± 417	656 ± 566	534 ± 234	1.21	0.666	
9/2	390 ± 267	339 ± 298	441 ± 249	0.77	0.534	
9/5	489 ± 351	532 ± 420	445 ± 300	1.20	0.688	
9/9	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)						
日期	UVI	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	564 ± 248	578 ± 308	550 ± 200	1.05	0.852
8/5	6.04	517 ± 346	606 ± 459	429 ± 181	1.41	0.400
8/8	6.61	545 ± 345	552 ± 286	539 ± 424	1.02	0.954
8/12	7.67	554 ± 211	514 ± 124	593 ± 281	0.87	0.545
8/15	5.92	706 ± 327	678 ± 305	734 ± 375	0.92	0.784
8/19	5.54	486 ± 343	622 ± 426	351 ± 184	1.77	0.196
8/22	6.86	547 ± 402	475 ± 394	620 ± 434	0.76	0.556
8/26	7.14	742 ± 494	623 ± 492	860 ± 510	0.72	0.431
8/29	3.71	614 ± 424	478 ± 390	750 ± 446	0.64	0.287
9/2	2.07	376 ± 316	274 ± 269	478 ± 349	0.57	0.283
9/5	5.65	567 ± 356	480 ± 361	655 ± 360	0.73	0.421
9/9	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; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-42 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中(戶外陰涼處)

前臂外側—上臂內側之皮膚濕度比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側皮膚濕度量測值(戶外陰涼處)					
日期	UVI	全體	男	女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	1.04 ± 0.33	0.86 ± 0.30	1.21 ± 0.28	0.061
8/5	6.04	0.88 ± 0.37	0.84 ± 0.44	0.93 ± 0.32	0.691
8/8	6.61	0.94 ± 0.43	0.79 ± 0.44	1.10 ± 0.39	0.236
8/12	7.67	1.43 ± 0.75	1.17 ± 0.81	1.70 ± 0.66	0.239
8/15	5.92	1.10 ± 0.51	1.04 ± 0.73	1.17 ± 0.16	0.697
8/19	5.54	1.06 ± 0.42	1.01 ± 0.37	1.12 ± 0.48	0.673
8/22	6.86	1.09 ± 0.44	0.99 ± 0.47	1.20 ± 0.43	0.436
8/26	7.14	1.07 ± 0.35	0.93 ± 0.41	1.21 ± 0.25	0.174
8/29	3.71	1.09 ± 0.50	0.83 ± 0.39	1.35 ± 0.50	0.070
9/2	2.07	0.99 ± 0.52	0.92 ± 0.70	1.06 ± 0.30	0.654
9/5	5.65	1.32 ± 0.67	0.97 ± 0.30	1.67 ± 0.78	0.083
9/9	5.45	1.08 ± 0.44	0.87 ± 0.31	1.29 ± 0.46	0.093

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-43 為受測人員於自然日光照射實驗中，適應暴露艙環境(溫度 28°C、相對濕度 70%)後所測得上臂內側與前臂外側之皮膚濕度。結果顯示：男性上臂內側皮膚濕度於 8 月 29 日、9 月 2 日、5 日、9 日之量測值小於女性外，其他量測結果皆高於女性，但兩者間之差異未達統計顯著性(p -value > 0.05)。前臂外側皮膚濕度測量結果與上臂內側差異甚大，男性前臂外側皮膚濕度測量值只在 8 月 5 日、12 日、15 日、19 日大於女性，其餘數值皆低於女性，顯示男性受日光照射處皮膚保濕能力較低，但兩者間仍未具統計顯著差異(p -value > 0.05)。

表 4-44 呈現暴露艙環境下前臂外側與上臂內側皮膚濕度量測值之比值。全體人員皮膚濕度比值只在 8 月 19 日與 9 月 2 日時小於 1，女性比值之情況亦是如此；男性前臂外側與上臂內側皮膚濕度比值小於 1 之次數為 6 次(8 月 1 日、5 日、8 日、19 日、26 日與 9 月 2 日)，顯示男女間皮膚濕度比值存在差異性，但此差異並未達統計顯著性。

4.3.3 日光紫外光輻射對紅斑生成之影響

圖 4-68 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

表 4-43 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(環境暴露艙)皮膚濕度之測量值^a、男一女比值、及
統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值(環境暴露艙)						
日期	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value	
8/1	488 ± 347	575 ± 459	402 ± 191	1.43	0.423	
8/5	483 ± 335	629 ± 420	337 ± 135	1.87	0.155	
8/8	391 ± 156	423 ± 150	259 ± 168	1.18	0.509	
8/12	442 ± 261	509 ± 356	374 ± 109	1.36	0.410	
8/15	588 ± 301	725 ± 362	452 ± 153	1.60	0.134	
8/19	388 ± 226	497 ± 245	280 ± 156	1.77	0.098	
8/22	487 ± 305	491 ± 323	482 ± 318	1.02	0.963	
8/26	637 ± 409	712 ± 492	563 ± 336	1.27	0.552	
8/29	506 ± 280	416 ± 255	596 ± 296	0.70	0.285	
9/2	410 ± 283	393 ± 341	428 ± 243	0.92	0.845	
9/5	399 ± 275	327 ± 206	470 ± 333	0.69	0.390	
9/9	513 ± 241	486 ± 241	540 ± 260	0.90	0.715	
前臂外側皮膚濕度量測值(環境暴露艙)						
日期	UVI	全體	男	女	男 / 女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	446 ± 263	366 ± 187	526 ± 319	0.70	0.314
8/5	6.04	475 ± 190	505 ± 205	444 ± 187	1.14	0.600
8/8	6.61	385 ± 239	318 ± 128	452 ± 314	0.70	0.355
8/12	7.67	486 ± 182	517 ± 224	456 ± 144	1.13	0.585
8/15	5.92	541 ± 188	589 ± 199	493 ± 181	1.20	0.402
8/19	5.54	306 ± 164	378 ± 149	233 ± 155	1.62	0.129
8/22	6.86	440 ± 268	391 ± 174	489 ± 349	0.80	0.551
8/26	7.14	631 ± 369	583 ± 377	679 ± 391	0.86	0.677
8/29	3.71	486 ± 312	376 ± 235	596 ± 361	0.63	0.240
9/2	2.07	340 ± 230	290 ± 227	390 ± 244	0.74	0.479
9/5	5.65	404 ± 292	307 ± 149	502 ± 378	0.61	0.267
9/9	5.45	544 ± 273	484 ± 196	604 ± 342	0.80	0.472

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-44 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中(環境暴露艙)

前臂外側—上臂內側之皮膚濕度比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側皮膚濕度量測值(環境暴露艙)					
日期	UVI	全體	男	女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	1.11 ± 0.42	0.89 ± 0.43	1.33 ± 0.29	0.063
8/5	6.04	1.13 ± 0.30	0.94 ± 0.29	1.31 ± 0.19	0.024
8/8	6.61	1.01 ± 0.45	0.80 ± 0.36	1.21 ± 0.45	0.117
8/12	7.67	1.32 ± 0.62	1.31 ± 0.72	1.33 ± 0.57	0.984
8/15	5.92	1.14 ± 0.56	1.06 ± 0.66	1.21 ± 0.49	0.683
8/19	5.54	0.87 ± 0.26	0.89 ± 0.33	0.85 ± 0.19	0.819
8/22	6.86	1.03 ± 0.49	1.04 ± 0.72	1.03 ± 0.13	0.983
8/26	7.14	1.08 ± 0.31	0.86 ± 0.12	1.30 ± 0.28	0.005**
8/29	3.71	1.05 ± 0.47	1.10 ± 0.59	1.00 ± 0.37	0.720
9/2	2.07	0.94 ± 0.48	0.90 ± 0.55	0.98 ± 0.44	0.787
9/5	5.65	1.05 ± 0.38	1.05 ± 0.43	1.05 ± 0.36	0.989
9/9	5.45	1.16 ± 0.47	1.20 ± 0.59	1.12 ± 0.36	0.777

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

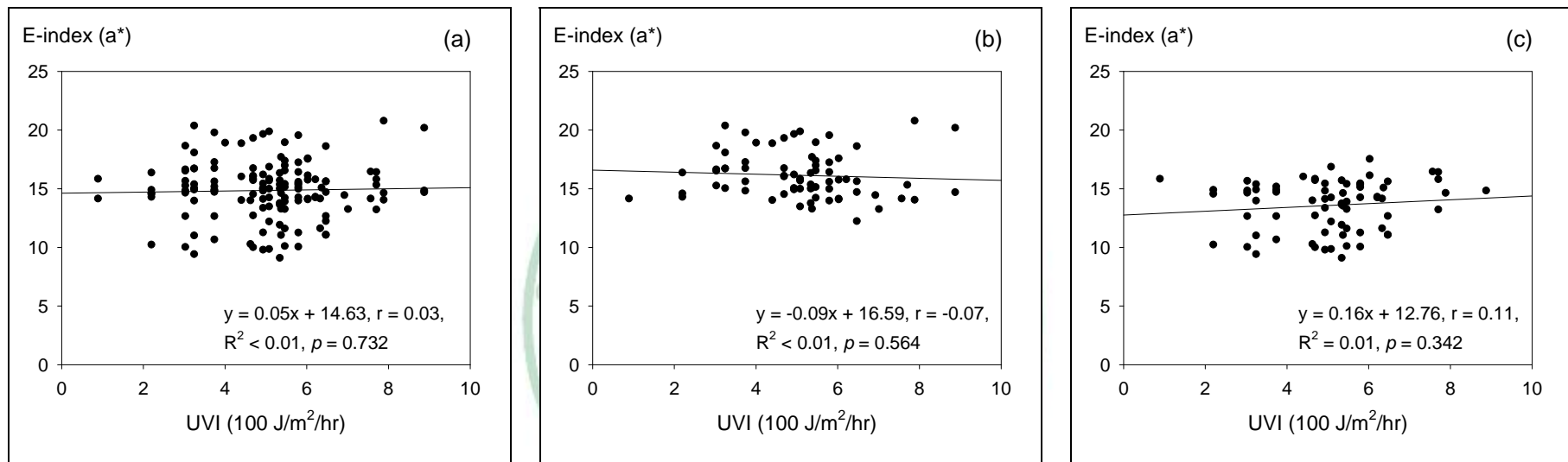


圖 4-68 前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸:(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

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。各分佈圖中之迴歸方程式如下所示：

全體人員前臂外側皮膚 E-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.05x + 14.63 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-52})$$

男性前臂外側皮膚 E-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -0.09x + 16.59 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-53})$$

女性前臂外側皮膚 E-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.16x + 12.76 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-54})$$

圖 4-69 呈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

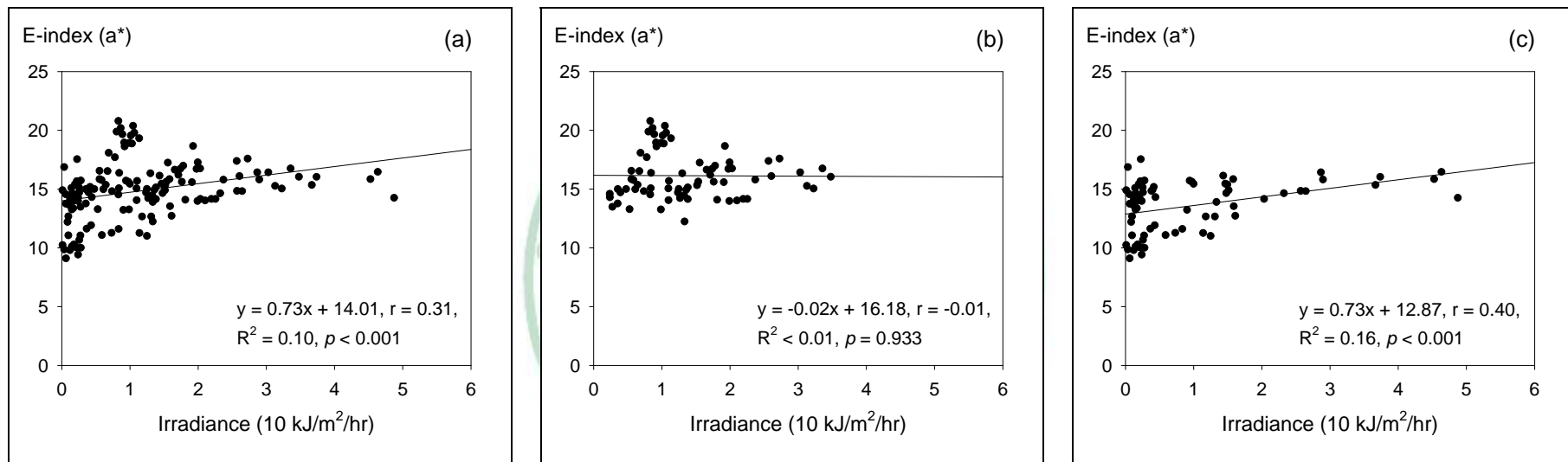


圖 4-69 前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

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。以下為各分佈圖中之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚 E-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 0.73x + 14.01 \quad R^2 = 0.10 \quad (\text{Eq. 4-55})$$

男性前臂外側皮膚 E-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = -0.02x + 16.18 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-56})$$

女性前臂外側皮膚 E-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 0.73x + 12.87 \quad R^2 = 0.16 \quad (\text{Eq. 4-57})$$

表 4-45 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—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—女比值除 8 月 8 日與 29 日外，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—女比值均高於 1 (1.10-1.25)，兩者

表 4-45 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						
日期	全體	男	女	男 / 女	p-value	
8/1	8.92 ± 1.68	8.47 ± 1.44	9.38 ± 1.90	0.90	0.372	
8/5	9.41 ± 1.70	9.24 ± 1.48	9.59 ± 2.02	0.96	0.738	
8/8	9.37 ± 1.60	9.64 ± 1.27	9.10 ± 1.96	1.06	0.582	
8/12	9.15 ± 1.53	8.75 ± 1.31	9.56 ± 1.74	0.92	0.386	
8/15	9.03 ± 1.69	8.83 ± 1.30	9.23 ± 2.12	0.96	0.697	
8/19	9.16 ± 1.73	8.70 ± 1.35	9.63 ± 2.06	0.90	0.378	
8/22	9.48 ± 1.77	9.16 ± 2.00	9.81 ± 1.63	0.93	0.551	
8/26	9.30 ± 0.196	9.32 ± 1.82	9.29 ± 2.27	1.00	0.978	
8/29	9.39 ± 1.53	9.67 ± 1.32	9.11 ± 1.80	1.06	0.548	
9/2	9.79 ± 1.99	9.49 ± 1.14	10.09 ± 2.68	0.94	0.623	
9/5	9.69 ± 1.71	9.69 ± 1.45	9.69 ± 2.09	1.00	0.999	
9/9	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						
日期	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
8/1	3.78	14.19 ± 2.04	15.23 ± 1.58	13.16 ± 2.02	1.16	0.076
8/5	6.04	14.35 ± 2.62	15.53 ± 2.39	13.16 ± 2.45	1.18	0.122
8/8	6.61	14.51 ± 2.75	15.89 ± 2.58	13.13 ± 2.34	1.21	0.081
8/12	7.67	14.71 ± 2.76	16.02 ± 2.90	13.40 ± 2.06	1.20	0.101
8/15	5.92	14.52 ± 2.44	15.89 ± 1.94	13.14 ± 2.18	1.21	0.044*
8/19	5.54	15.00 ± 2.52	16.55 ± 1.67	13.46 ± 2.34	1.23	0.025*
8/22	6.86	15.24 ± 2.31	15.97 ± 1.93	14.50 ± 2.58	1.10	0.290
8/26	7.14	14.49 ± 2.49	16.30 ± 1.95	13.59 ± 2.34	1.20	0.055
8/29	3.71	15.33 ± 2.43	16.67 ± 1.88	13.99 ± 2.26	1.19	0.050*
9/2	2.07	15.14 ± 2.92	16.86 ± 2.22	13.43 ± 2.61	1.25	0.034*
9/5	5.65	15.26 ± 2.30	16.41 ± 2.02	14.10 ± 2.08	1.16	0.080
9/9	5.45	15.12 ± 2.28	16.43 ± 1.59	13.81 ± 2.19	1.19	0.039*

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

間前臂外側皮膚 E-index 於 8 月 15 日、19 日、29 日、9 月 2 日、9 日達統計顯著差異(p -value < 0.05)。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。表 4-46 為自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之皮膚 E-index 比值。一般而言，前臂外側之 E-index 數值均顯著高於上臂內側：全體人員為 1.55-1.67，男性為 1.67-1.93，女性為 1.36-1.55。男女間前臂外側—上臂內側比值達統計顯著差異之測量日為 8 月 1 日、12 日、15 日、19 日、29 日、9 月 2 日、9 日。

4.3.4 日光紫外線輻射對黑素沉澱之影響

圖 4-70 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)；各線性回歸之 R^2 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。以下為各分佈

表 4-46 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側 E-index 量測值					
日期	UVI	全體	男	女	<i>p</i> -value
8/1	3.78	1.64 ± 0.37	1.85 ± 0.40	1.42 ± 0.19	0.039*
8/5	6.04	1.55 ± 0.29	1.71 ± 0.28	1.39 ± 0.22	0.053
8/8	6.61	1.56 ± 0.26	1.67 ± 0.31	1.45 ± 0.14	0.152
8/12	7.67	1.64 ± 0.39	1.87 ± 0.41	1.42 ± 0.20	0.035*
8/15	5.92	1.64 ± 0.31	1.83 ± 0.31	1.45 ± 0.18	0.028*
8/19	5.54	1.67 ± 0.34	1.93 ± 0.29	1.41 ± 0.11	0.005**
8/22	6.86	1.64 ± 0.33	1.80 ± 0.37	1.49 ± 0.19	0.093
8/26	7.14	1.64 ± 0.27	1.79 ± 0.27	1.49 ± 0.20	0.058
8/29	3.71	1.64 ± 0.15	1.73 ± 0.13	1.55 ± 0.10	0.019*
9/2	2.07	1.57 ± 0.28	1.78 ± 0.17	1.36 ± 0.21	0.004**
9/5	5.65	1.60 ± 0.23	1.71 ± 0.20	1.48 ± 0.21	0.081
9/9	5.45	1.64 ± 0.34	1.86 ± 0.34	1.42 ± 0.16	0.022*

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

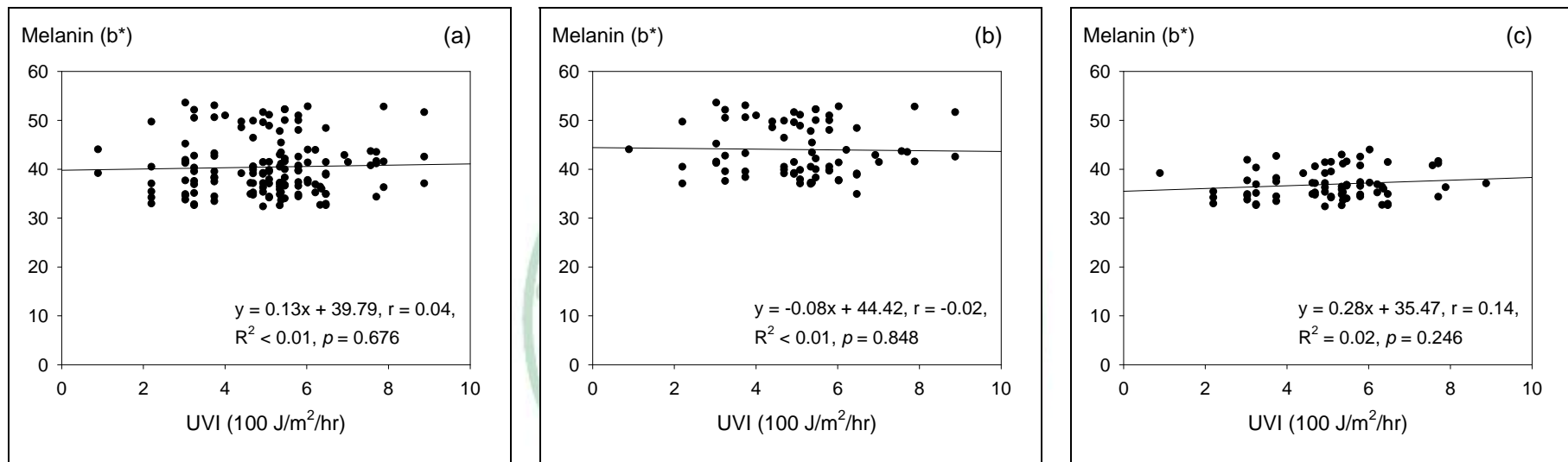


圖 4-70 前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)

全體人員、(b)男性、(c)女性

之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚 M-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.13x + 39.79 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-58})$$

男性前臂外側皮膚 M-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -0.08x + 44.42 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-59})$$

女性前臂外側皮膚 M-index 對應 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.28x + 35.47 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-60})$$

圖 4-71 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 R^2 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。以下為各分佈之迴歸方程式：

全體人員前臂外側皮膚 M-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 2.07x + 38.03 \quad R^2 = 0.14 \quad (\text{Eq. 4-61})$$

男性前臂外側皮膚 M-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 2.34x + 40.80 \quad R^2 = 0.12 \quad (\text{Eq. 4-62})$$

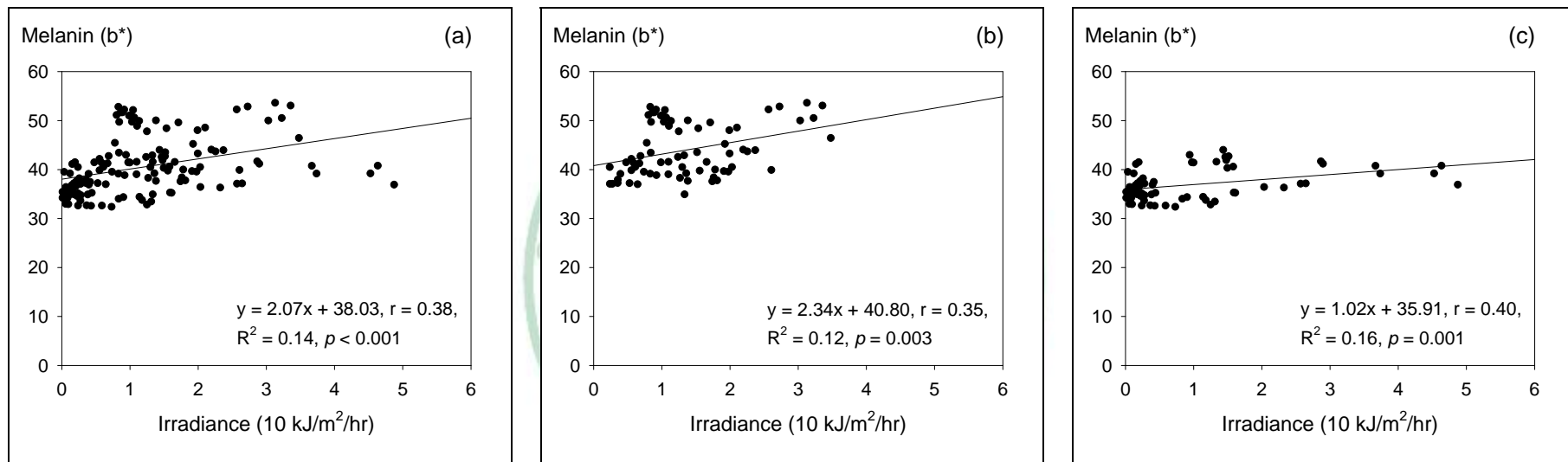


圖 4-71 前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應累積日光紫外線曝曬劑量(irradiance)之分佈與線性迴

歸：(a)全體人員、(b)男性、(c)女性

女性前臂外側皮膚 M-index 對應 irradiance 之迴歸方程式：

$$y = 1.02x + 35.91 \quad R^2 = 0.16 \quad (\text{Eq. 4-63})$$

表 4-47 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、男一女比值、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(男一女比值：0.88-0.94)。男女間之差異於 8 月 1 日、12 日、19 日、9 月 2 日、9 日時達統計顯著(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(男一女比值：1.15-1.26)。男女間之差異只於 8 月 8 日與 22 日時未達統計顯著性(p -value 分別為 0.057 與 0.084)。

表 4-48 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之 M-index 比值。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，亦說明男性使用皮膚防護機制之必要性。

4.3.5 日光紫外線輻射對主觀熱感知之影響

圖 4-72 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

表 4-47 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						
日期	全體	男	女	男 / 女	p-value	
8/1	30.25 ± 2.61	28.47 ± 2.02	32.03 ± 1.83	0.89	0.010**	
8/5	30.78 ± 3.20	29.23 ± 2.77	32.33 ± 3.02	0.90	0.093	
8/8	30.36 ± 2.60	29.13 ± 2.34	31.59 ± 2.39	0.92	0.102	
8/12	30.48 ± 2.68	28.78 ± 2.13	32.17 ± 2.10	0.89	0.020*	
8/15	31.76 ± 2.78	30.39 ± 2.63	33.12 ± 2.38	0.92	0.088	
8/19	31.84 ± 2.77	29.84 ± 1.98	33.84 ± 1.81	0.88	0.004**	
8/22	31.65 ± 2.79	30.62 ± 3.04	32.69 ± 2.31	0.94	0.214	
8/26	31.89 ± 3.01	30.63 ± 3.38	33.15 ± 2.17	0.92	0.155	
8/29	31.09 ± 2.24	30.07 ± 2.33	32.10 ± 1.77	0.94	0.121	
9/2	30.99 ± 2.79	29.35 ± 2.22	32.63 ± 2.39	0.90	0.033*	
9/5	31.50 ± 2.67	30.27 ± 3.05	32.73 ± 1.65	0.92	0.112	
9/9	30.93 ± 3.19	28.74 ± 2.74	33.12 ± 1.81	0.87	0.009**	
前臂外側 M-index 量測值						
日期	UVI	全體	男	女	男 / 女	p-value
8/1	3.78	38.84 ± 5.25	42.23 ± 4.95	35.45 ± 2.93	1.19	0.016*
8/5	6.04	39.59 ± 5.64	42.72 ± 5.89	36.45 ± 3.42	1.17	0.048*
8/8	6.61	39.66 ± 5.85	42.81 ± 6.28	36.50 ± 3.47	1.17	0.057
8/12	7.67	39.22 ± 5.96	42.59 ± 6.35	35.84 ± 3.25	1.19	0.043*
8/15	5.92	40.47 ± 5.58	43.99 ± 5.39	36.96 ± 3.13	1.19	0.020*
8/19	5.54	41.86 ± 6.32	45.83 ± 6.39	37.90 ± 3.07	1.21	0.028*
8/22	6.86	41.09 ± 5.94	44.03 ± 6.54	38.14 ± 3.73	1.15	0.084
8/26	7.14	41.29 ± 5.64	44.84 ± 5.40	37.75 ± 3.28	1.19	0.020*
8/29	3.71	41.83 ± 6.38	46.66 ± 4.88	37.01 ± 3.16	1.26	0.002**
9/2	2.07	40.30 ± 6.23	44.44 ± 5.82	36.17 ± 3.22	1.23	0.012*
9/5	5.65	41.30 ± 5.89	44.76 ± 5.91	37.84 ± 3.56	1.18	0.034*
9/9	5.45	39.97 ± 4.74	43.30 ± 4.26	36.64 ± 2.16	1.18	0.007**

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

表 4-48 全體人員、男性、及女性於自然日光照射實驗中前臂外側—上臂內側之皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)比值^a、及統計檢定^b

前臂外側 / 上臂內側 M-index 量測值					
日期	UVI	全體	男	女	p-value
8/1	3.78	1.30 ± 0.26	1.49 ± 0.24	1.11 ± 0.06	0.010**
8/5	6.04	1.30 ± 0.23	1.47 ± 0.22	1.13 ± 0.05	0.011*
8/8	6.61	1.31 ± 0.22	1.47 ± 0.21	1.15 ± 0.04	0.013*
8/12	7.67	1.30 ± 0.25	1.48 ± 0.22	1.11 ± 0.07	0.008**
8/15	5.92	1.28 ± 0.22	1.45 ± 0.18	1.12 ± 0.05	0.005**
8/19	5.54	1.33 ± 0.29	1.55 ± 0.27	1.12 ± 0.05	0.011*
8/22	6.86	1.30 ± 0.20	1.44 ± 0.19	1.17 ± 0.07	0.014*
8/26	7.14	1.31 ± 0.23	1.47 ± 0.21	1.14 ± 0.06	0.009**
8/29	3.71	1.36 ± 0.26	1.56 ± 0.20	1.15 ± 0.05	0.004**
9/2	2.07	1.31 ± 0.25	1.52 ± 0.17	1.11 ± 0.05	0.001**
9/5	5.65	1.32 ± 0.23	1.49 ± 0.22	1.15 ± 0.06	0.012*
9/9	5.45	1.31 ± 0.25	1.52 ± 0.18	1.11 ± 0.03	0.002**

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 男女性 E-index 差異以 Student's *t* test 檢定; * : *p*-value < 0.05 , ** : *p*-value < 0.01

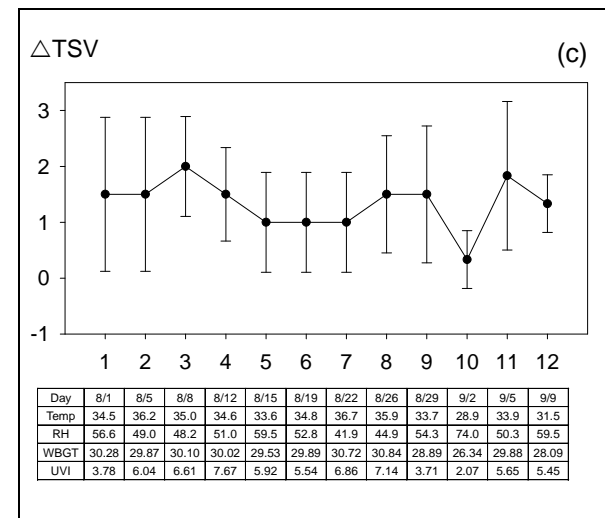
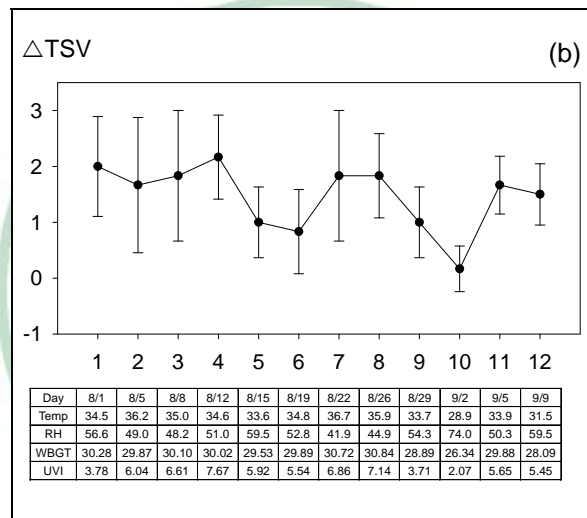
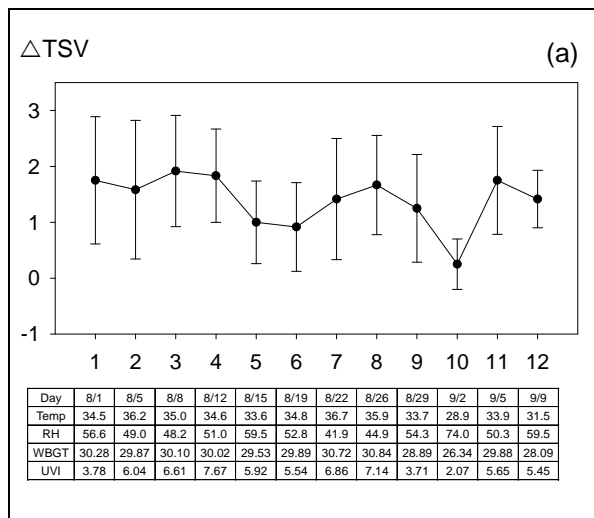


圖 4-72 自然日光照射實驗中前後熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)之差異($TSV_{前} - TSV_{後}$, ΔTSV): (a)全體人員、(b)男性、(c)女性；(標號為測量平均值，誤差線為標準差)

TSV 之差異情況。一般而言，當受測人員處於熱暫留區(thermal transitionzone)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 9 月 2 日外均高於 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 最大值出現在第三次測量日(8 月 8 日； 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 最小值則發生於第十次測量日(9 月 2 日； 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 最大值在第四次測量日(8 月 12 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；最小值同樣出現於第十次測量日(9 月 2 日； Δ TSV = 0.17)。與全體人員相似，女性 Δ TSV 最大值在第三次測量日中出現(8 月 8 日； Δ TSV = 2.00)；最小值於第十次測量日中(9 月 2 日； Δ TSV = 0.33)出現。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亦受環境溫度之影響。

圖 4-73 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

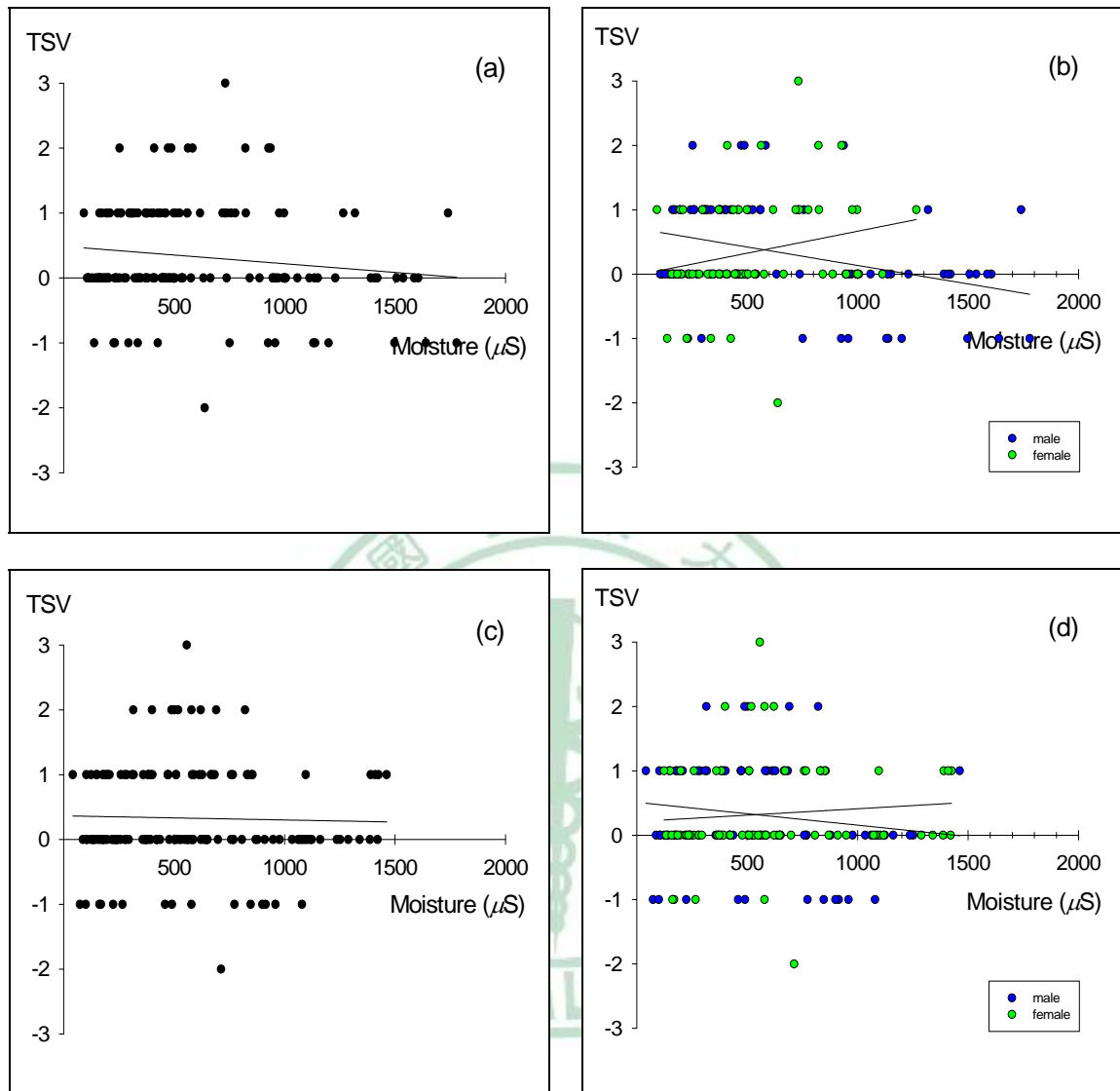


圖 4-73 受測人員熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)對應(a)全體人員上臂內側、(b)不同性別人員上臂內側、(c)全體人員前臂外側、(d)不同性別人員前臂外側之皮膚濕度(moisture)分佈與線性迴歸

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。表 4-49 所示為全體人員、男性、女性 TSV 對應上臂內側與前臂外側皮膚濕度之線性迴歸方程式、 r 、 R^2 與統計檢定。由表中可觀察到上臂內側與前臂外側迴歸係數皆為負值，並以上臂內側情況較為明顯。以全體人員而論，不同皮膚部位之統計檢定均未達顯著差異(p -value > 0.05)。若以性別區分兩者之相關性，則可發現女性 TSV 與上臂內側及前臂外側皮膚濕度均呈正相關，而男性均呈負相關。男女性上臂內側之相關性具統計顯著性(男性 p -value = 0.003；女性 = 0.042)。亦即女性皮膚濕度增加時，主觀熱感知亦上升；男性則相反。上臂內側迴歸係數絕對值女性略高於男性，顯示女性 TSV 對於上臂內側皮膚濕度變化較為敏感，但男性絕對值 r 與 R^2 高於女性，因此男性 TSV 與上臂內側皮膚濕度之相關性較高。前臂外側迴歸係數絕對值則是男性高於女性，且絕對值 r 與 R^2 亦是如此，顯示男性 TSV 對於前臂外側皮膚濕度之變化較為敏感且線性關係較高。男女性 TSV 對應前臂外側皮膚濕度之統計檢定均未達顯著差異(p -value > 0.05)。

4.3.6 戶外環境物理因子與性別對於主客觀指標之綜合影響分析

表 4-50 為自然日光照射實驗中前臂外側皮膚濕度、E-index、M-index

表 4-49 全體人員、男性、女性熱感知投票值(Thermal Sensation Vote, TSV)對應上臂內側與前臂外側皮膚濕度(moisture)之線性迴歸方程式(Regression equation)、皮爾森積差相關係數(r)、判定係數(R^2)與統計檢定^a

TSV 對應上臂內側皮膚濕度				
	Regression equation	r	R^2	p-value
全體	$y = -0.0003x + 0.49$	-0.14	0.02	0.103
男性	$y = -0.0006x + 0.71$	-0.35	0.12	0.003**
女性	$y = 0.0007x - 0.02$	0.24	0.06	0.042*
TSV 對應前臂外側皮膚濕度				
	Regression equation	r	R^2	p-value
全體	$y = -0.00006x + 0.37$	-0.03	< 0.01	0.736
男性	$y = -0.0004x + 0.51$	-0.15	0.02	0.207
女性	$y = 0.0002x + 0.21$	0.09	< 0.01	0.441

^a 檢定 TSV 對應皮膚濕度之迴歸方程式是否具有線性關係；*：p-value < 0.05，**：p-value < 0.01

表 4-50 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之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)、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

前臂外側	Multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^c
Moisture	$y = -0.546x_1 - 0.667x_2 + 41.224x_3 + 82.721x_4 + 374.449$	0.21	0.05	0.02	0.161
E-index	$y = -0.390x_1 - 0.086x_2 + 0.056x_3 - 2.569x_4 + 33.728$	0.54	0.30	0.28	< 0.001**
M-index	$y = -0.401x_1 - 0.113x_2 + 0.050x_3 - 7.127x_4 + 63.492$	0.64	0.40	0.39	< 0.001**
主觀感知	Multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value
TSV	$y = 0.097x_1 + 0.002x_2 - 0.019x_3 + 0.005x_4 - 3.009$	0.21	0.05	0.02	0.174

^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 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係；*： p -value < 0.05，**： p -value < 0.01

、及 TSV 對應環境溫度、相對濕度、UVI (短期曝曬劑量)、性別之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與統計檢定。由表中觀察到前臂外側皮膚濕度、E-index 與 M-index 明顯受性別影響，偏迴歸係數為各方程式中最高值。在固定環境因子影響下，女性 E-index 與 M-index 低於男性(E-index slope = -2.569；M-index = -7.127)；但皮膚濕度則高於男性(82.721)。UVI 亦能影響皮膚濕度之變化。M-index 之複相對係數與調整複判定係數為各方程式中最高值，分別為 0.64 與 0.39；其次為 E-index 複迴歸方程式，分別為 0.54 與 0.28。方程式中複相關係數與調整複判定係數之最低值為皮膚濕度，分別為 0.21 與低於 0.02。統計檢定結果唯有皮膚濕度複迴歸方程式之統計檢定未達顯著差異 (p -value = 0.161)。人體主觀熱感知部分，TSV 明顯受環境溫度影響，其次為 UVI。TSV 複迴歸方程式之複相對係數與調整複判定係數分別為 0.21 與 0.02；但統計檢定未達顯著差異 (p -value < 0.174)。

表 4-51 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、調整複判定係數與統計檢定。由表中觀察到性別對於前臂外側皮膚濕度與 M-index 影響甚大—對皮膚濕度為正相關；對 M-index 為負相關。同時其偏迴歸係數為各方程式中最高值。在 E-index 部分，唯有累積曝曬劑量能影響

表 4-51 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之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)、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

前臂外側	Multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^c
Moisture	$y = -9.631x_1 - 6.726x_2 - 0.198x_3 + 72.757x_4 + 1244.464$	0.16	0.03	< 0.01	0.437
E-index	$y = -0.170x_1 - 0.045x_2 + 0.005x_3 - 2.383x_4 + 23.696$	0.57	0.33	0.31	< 0.001**
M-index	$y = 0.338x_1 + 0.039x_2 + 0.015x_3 - 6.492x_4 + 28.261$	0.69	0.47	0.45	< 0.001**
主觀感知	Multiple regression equation	r	R^2	Adj. R^2	p -value
TSV	$y = 0.125x_1 + 0.010x_2 + 0.001x_3 + 0.031x_4 - 4.566$	0.22	0.05	0.02	0.140

^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 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係；*： p -value < 0.05，**： p -value < 0.01

E-index 變化，偏迴歸係數值為 1.000，且其複相對係數與調整複判定係數為各方程式中最高值，同為 1.00。以上結果顯示：E-index 是所有生理指標當中，最適合作為評估累積性日光紫外線曝曬生成潛在健康傷害之指標，且其適用性不受其他物理因子與性別差異之干擾。雖然一般認為 M-index 是較適合作為評估累積日光紫外線曝曬之生理指標，但本研究結果發現，M-index 除顯著受日光照射影響外(偏迴歸係數為 1.278)，亦會受到性別差異之影響(-0.179)。M-index 複迴歸方程式之複相關係數與調整複判定係數分別為 0.78 與 0.60，具明顯線性，但與 E-index 相較易受不同因子干擾，故在實際評估長期日光紫外線暴露生成危害上預測能力較低。統計檢定結果唯有皮膚濕度複迴歸方程式之統計檢定亦未達顯著差異(p -value = 0.375)。人體主觀熱感知投票值明顯受累積曝曬劑量影響(偏迴歸係數 = -0.073)，其次為性別(-0.179)。TSV 複迴歸方程式之複相對係數與調整複判定係數分別為 0.28 與 0.05；方程式之統計檢定達顯著差異(p -value = 0.023)。

4.3.7 日光照射實驗與暴露艙量測實驗中皮膚生理指標之差異

表 4-52 所示為日光照射實驗與暴露艙量測實驗中全體人員、男性、女性前臂外側對應上臂內側皮膚生理指標比值之平均值、兩階段實驗中不同皮膚部位比值之比值、及統計檢定。由表中可觀察到暴露艙量測實

驗中全體人員、男性、女性前臂外側對應上臂內側 TEWL 之平均值分別為 1.06、1.06、1.05；於日光紫外線照射實驗中之平均值分別為 1.11、1.01、1.22。二階段實驗中不同皮膚部位比值之比值(日光照射實驗比值除以暴露艙量測實驗比值之商數)分別為 1.06、0.95、1.17，顯示受測人員前臂外側皮膚經日光曝曬後障壁功能已出現些微損害，尤以女性情況較為明顯(p -value = 0.013)。男性皮膚障壁功能變化相對之下較不明顯(p -value = 0.231)，推論可能原因為男性之 TEWL 數值在暴露艙實驗階段即因平日皮膚遭受日光曝曬受損而偏高，導致在日光曝曬實驗階段 TEWL 之增加相形之下有限。

在皮膚溫度方面，暴露艙量測實驗中全體人員、男性、女性前臂外側對應上臂內側皮膚溫度之平均值分別為 1.00、0.99、1.00；日光紫外線照射實驗中之平均值則分別為 0.99、0.98、1.00。二階段實驗中全體人員與男性皮膚溫度比值檢定結果雖達統計顯著差異(p -value = 0.031、0.009)，但其比值分別為 1.00、0.99、1.00，顯示二部位比值仍相當接近。全體人員、男性、女性於暴露艙量測實驗中皮膚濕度之比值平均值分別為 1.21、1.15、1.27，於日光紫外線照射實驗中戶外陰涼處之平均值則為 1.11、0.97、1.22，日光紫外線照射實驗中暴露艙測量值之比值平均值為 1.07、1.00、1.14。分別比較兩階段實驗後，可發現日光紫外線照射實驗中之比值均低於暴露艙量測實驗中之比值。在戶外陰涼處全體人員、男

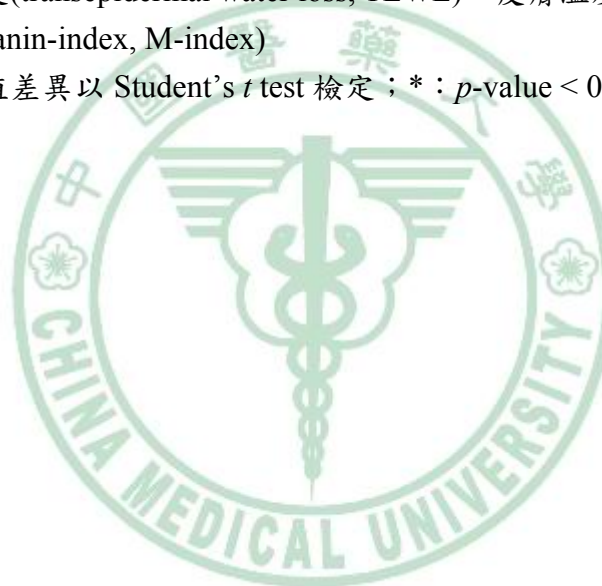
表 4-52 暴露艙量測實驗與日光照射實驗中全體人員、男性、女性前臂外側對應上臂內側皮膚生理指標^a之比值、
兩階段實驗前臂外側對應上臂內側皮膚生理指標比值之比值、及統計檢定

		TEWL	Skin temp	Moisture	E-index	M-index
暴露艙量測實驗						
	全體	1.06 ± 0.11	1.00 ± 0.01	1.21 ± 0.12	1.55 ± 0.04	1.27 ± 0.01
	男	1.06 ± 0.12	0.99 ± 0.01	1.15 ± 0.14	1.76 ± 0.04	1.45 ± 0.03
	女	1.05 ± 0.12	1.00 ± 0.01	1.27 ± 0.15	1.34 ± 0.06	1.08 ± 0.02
日光紫外線照射實驗						
				陰涼處	暴露艙	
	全體	1.11 ± 0.10	0.99 ± 0.00	1.11 ± 0.13	1.07 ± 0.12	1.62 ± 0.04
	男	1.01 ± 0.10	0.98 ± 0.01	0.97 ± 0.15	1.00 ± 0.15	1.79 ± 0.08
	女	1.22 ± 0.19	1.00 ± 0.01	1.22 ± 0.25	1.14 ± 0.16	1.45 ± 0.05
不同皮膚部位比值之比值						
	全體	1.06	1.00	0.92	0.89	1.05
	男	0.95	0.99	0.84	0.87	1.02
	女	1.17	1.00	0.96	0.90	1.08

<i>p</i> -value ^b						
全體	0.202	0.031*	0.098	0.010**	< 0.001**	< 0.001**
男	0.231	0.009**	0.005**	0.019*	0.165	0.007**
女	0.013*	0.534	0.587	0.065	< 0.001**	< 0.001**

^a 測量皮膚生理指標包括：經皮水分散失度(trans epidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temp)、皮膚濕度(moisture)、紅斑指數(erythema-index, E-index)、黑素指數(melanin-index, M-index)

^b 不同實驗階段之皮膚生理指標量測值比值差異以 Student's *t* test 檢定；*：*p*-value < 0.05，**：*p*-value < 0.01



性、女性兩階段比值平均值之比值分別為 0.92、0.84、0.96；在室內暴露艙兩階段比值平均值之比值則為 0.89、0.87、0.90，顯示前臂外側皮膚經日光曝曬後保溼效能略有降低，且以男性較為明顯。兩階段實驗之統計結果顯示除全體人員於日光照射實驗(室內暴露艙量測)與暴露艙量測實驗之比值平均值差異達顯著差異(p -value = 0.010)外，男性比值平均值不論於戶外陰涼處或室內暴露艙對應暴露艙量測實驗之統計檢定結果均達顯著差異(p -value = 0.005, 0.019)。女性差異情形並未達統計顯著差異(p -value > 0.05)，再次證明女性皮膚之保溼效能較男性為高。

兩階段實驗中全體人員、男性、女性 E-index 比值平均值分別為：暴露艙量測實驗：1.55、1.76、1.34；日光紫外線照射實驗：1.62、1.79、1.45。比值平均值之比值為：1.05、1.02、1.08。結果顯示全體人員前臂外側皮膚紅斑生成情況略有上升並達統計顯著差異(p -value < 0.001)，且女性增加幅度較為明顯，統計檢定結果亦達顯著差異(p -value < 0.001)。

全體人員、男性、女性於二階段實驗中之 M-index 比值平均值分別為：暴露艙量測實驗：1.27、1.45、1.08；日光紫外線照射實驗：1.31、1.49、1.13。比值平均值之比值則為：1.03、1.03、1.04。與 E-index 情況相似，全體人員前臂外側皮膚 M-index 略有上升，且男女性均達統計顯著差異(p -value < 0.007)，並以女性差異情況較為明顯。

第五章 結論與建議

第一節 結論

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，但觀察到低環境相對濕度時所測得之 TEWL 較高相對濕度時為高。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. 皮膚溫度量測值與實驗中所設定之暴露艙環境溫度相近，且穩定性高；相對濕度對於皮膚溫度影響並不顯著。皮膚溫度不因皮膚部位與性別上之差異而有所不同。
3. 皮膚濕度顯著地同時受環境溫度與相對濕度影響，其測量值與變異幅度隨著環境溫濕度上升而增加。不同皮膚部位與性別之皮膚濕度並未具有顯著差異。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。
4. 皮膚 E-index 不受環境溫度與相對濕度影響；前臂外側皮膚 E-index 顯著高於上臂內側，尤以男性差距情況最為明顯。男女間上臂內側

E-index 未有顯著差異，但男性前臂外側 E-index 顯著高於女性。

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。

5. 皮膚 M-index 不受環境溫度與相對濕度影響；前臂外側皮膚 M-index 高於上臂內側，且以男性較為顯著。男女間前臂外側 M-index 差異情況較上臂內側顯著，男性上臂內側 M-index 低於女性，但前臂外側則顯著高於女性。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。
6. 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。
7. 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。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、皮膚濕度、TEWL；三者相關係數分別為 0.868、0.669、0.652，顯示皮膚溫度最能充分反應出人體主觀熱感知。

8. 人體遭遇熱環境時皮膚生理之可能反應-時程關係為：皮膚溫度反應環境溫度後，人體為散發多餘熱量而蓄水於皮膚表皮層，並造成皮膚濕度上升；皮膚濕度上升至一定程度時，因排汗散熱需求而使得 TEWL 增加。在同一皮膚溫度下，男性 TEWL 值較女性高，但女性皮膚濕度則是高於男性。
9. 針對室內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：上臂內側 E-index 反應室內環境物理力與性別因子之合適性不足，複相關係數僅 0.06；其餘主客觀指標複迴歸方程式之複相關係數均高於 0.50 (0.57-0.98)。標準化複迴歸分析結果顯示：在固定環境因子下，性別對 E-index 與 M-index 具明顯影響；若固定性別因子，則可發現環境溫度為所有因子中對 TEWL、皮膚溫度與皮膚濕度影響最大者。在人體主觀熱感知變化方面，TSV 明顯受環境溫度影響，其次為相對濕度與性別。逐步迴歸法分析結果顯示：不論上臂內側或前臂外側，TEWL 主要受環境溫度與相對濕度影響；皮膚溫度受環境溫度影響；皮膚濕度受環境溫度與相對濕度影響；性別因子則是造成 M-index 差異之主要因素。上臂內側 E-index 複迴歸方程式經修正後未有任何因子可進入模式中，顯示不受環境與性別因子之影響；但前臂外側 E-index 修正結果則發現其變化主要源自於性別因子，推測與不同性別受測者遭受日光曝曬程度差異有關。由 TSV 修正模式中觀

察到環境溫度與相對濕度是影響主觀感知之主要因素。

10. 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($p\text{-value} > 0.05$)。標準化複迴歸分析結果顯示：若固定環境因子，則可發現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 依然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；長期紫外線輻射劑量為環境相對濕度。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。

第二節 研究限制

在日光照射實驗中，受測人員平均曝曬之紫外線指數為 5.04 ± 1.52 (男性為 5.06 ± 1.54 ；女性 5.02 ± 1.51)，故受測人員所接受之紫外線強度屬於中量級，因而不易觀察皮膚生理指標在反應短期或長期紫外線曝曬時之劑量效應。顯示本類型研究主要限制之一為日光紫外線強度。此外，本研究之男性受測人員前臂外側(日光曝曬點)皮膚生理指標之基準值較高，致使因日光照射產生之皮膚生理變化相對不明顯。再者，研究分析個人基本資料後發現所有女性受測人員在平日外出時均會使用防曬用品，雖在研究開始前已有明確規定於實驗期間不可使用，但仍無法確切得知使用與否。上述因素是否造成研究干擾值得討論，但可確定受測人員本身即為一研究限制。戶外活動紀錄表為計算累積性紫外線曝曬量之重要研究工具，受測人員須逐日依外出曝曬情況填表，並於次週週一繳回，由於本研究無法精確掌握每位受測人員填表情況，因此紀錄表是否能真實反應受測人員實際日曬情況有待商榷，但此為研究設計上瞭解每位受測人員平日外出曝曬情況之最適切與便利的方法。

第三節 應用與建議

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($< 25^{\circ}\text{C}$)下使用該二皮膚生理指標作為評估工具較為適當。

有關環境熱因子與日光紫外線對於皮膚生理變化之劑量-反應關係以及人體主客觀感受之相關性已於本研究中建立，建議後續研究議題可進行之方向如下：

1. 研究結果觀察到高環境溫度與相對濕度對人體皮膚生理與主觀感受之影響，但研究所設計之低溫溫度(25°C)為冷房溫度，而相對濕度(60-80%)屬一般室內外之環境濕度，因此在極低環境溫濕度下並未發現皮膚生理與主觀感受之反應與相關性，因此建議後續之研究可增加環境溫度與相對濕度範圍，藉以觀察在人體可負荷之冷危害下，皮膚生理指標以及主觀感受之反應幅度。
2. TEWL 與 E-index 在反應日光紫外線曝曬時缺乏合適性，主要原因在於受測人員所曝曬之 UVI 強度不足，由於實驗設計進行時段之 UVI 平均為 5.04 ± 1.52 ，屬中量級，故未能造成研究所選用之皮膚生理指標產生顯著反應。因此建議日後進行相似研究時，應選擇高 UVI 出現頻率較高之時段進行日照實驗，以確切瞭解高劑量之日光紫外線造成人體皮膚生理危害之效應為何。
3. 人體皮膚溫度、紅斑生成與皮膚血流變化(cutaneous blood flow)有關。血液能夠將體內多餘的熱量帶至皮膚表面，並將較低溫度的血液回傳至體內，因此皮膚血流為人體散熱機制之重要因子。若在後續研究中增加此生理指標，即可建立皮膚溫度、皮膚濕度、TEWL、以及皮膚血流變化之反應-時程關係，以瞭解人體由內至外的散熱反應。此外，人體為供給受傷細胞足夠養分而增加皮膚血流量，但若微血管擴張速度不及微血流量增加時，則會導致紅斑生成，因此皮膚血流變

化亦可作為皮膚曬傷反應前之警示工具；如此，即可建立短期、長期紫外線曝曬與皮膚血流變化之劑量-反應關係，以避免日光曝曬所造成之危害。



參考文獻

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. World Health Organization (WHO). 1994. Ultraviolet Radiation. Environmental Health Criteria 160. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
3. Diffey BL. 2002. Source and measurement of ultraviolet radiation. *Methods* 28:4-13.
4. Farr PM, Diffey BL. 1985. The erythral response of human skin to ultraviolet radiation. *Br J Dermatol* 113:65-76.
5. Nordlund JJ, Collins CE, Rheins LA. 1981. The proliferative and toxic side effects of ultraviolet light and inflammation on epidermal pigment cells. *J Invest Dermatol* 77:361-368.
6. 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.
7. Schwarz A, Bhardwaj R, Aragane Y, Mahnke K, Riemann H, Metzger D, et al. 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.

8. Aufiero BM, Talwar H, Young C, Krishnan M, Hatfield JS, Lee HK, et al. 2006. Narrow-band UVB induces apoptosis in human keratinocytes. *J Photochem Photobiol B: Biol* 82:132-139.
9. Stanojević M, Stanojević Z, Jovanović D, Stojiljković M. 2004. Ultraviolet radiation and melanogenesis. *Arch Oncol* 12:203-205.
10. Mommaas AM, Mulder AA, Vermeer BJ. 1993. Short-term and long-term UVB induced immunosuppression in human skin exhibit different ultrastructural features. *Eur J Morphol* 31:30-34.
11. Narbutt J, Lesiak A, Skibinska M, Wozniacka A, van Loveren H, Sysa-Jedrzejowska A, et al. 2005. Suppression of contact hypersensitivity after repeated exposures of humans to low doses of solar simulated radiation. *Photochem Photobiol Sci* 4:517-522.
12. Steerenberg PA, Daamen F, Weesendorp E, 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.
13. 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.
14. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). 2006. Human Health Benefits of Stratospheric Ozone Protection. Washington, DC: U.S.

Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Global Programs Division.

15. Bernard TE. 2002. Thermal stress. In: Fundamentals of Industrial Hygiene, 5th ed (Plog BA, Quinlan PJ, eds). Itasca, IL: National Safety Council, 327-356.
16. 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.
17. World Health Organization (WHO). 2002. Global Solar UV Index: a Practical Guide. WHO/SDE/OEH/02.2. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
18. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1997. Criteria for a Recommended Standard—Occupational Exposure to Hot Environments. DHHS (NIOSH) Pub. No. 97-106. 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.
19. 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.

20. Fluhr JW, Feingold, KR, Elias PM. 2006. Transepidermal water loss reflects permeability barrier status: validation in human and rodent in vivo and ex vivo models. *Exp Dermatol* 15:483-492.
21. Hwang RL, Yang KH, Chen CP, Wang ST. 2008. Subjective responses and comfort reception in transitional spaces for guests versus staff. *Build Environ* 43:2013-2021.
22. Hodder SG, Ken P. 2006. The effects of solar radiation on thermal comfort. *Int J Biometeorol* 51:233-250.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. Bronaugh RL, Stewart R. 1985. Methods for in vitro percutaneous absorption studies V: permeation through damaged skin. *J Pharm Sci* 74:1062-1066.

27. Meguro S, Arai Y, Masukawa Y, Uie K, Tokimitsu I. 2000. Relationship between covalently bound ceramides and transepidermal water loss. *Arch Dermatol Res* 292:463-468.
28. Akitomo Y, Akamatsu H, Okano Y, Masaki H, Horio T. 2003. Effects of UV irradiation on the sebaceous gland and sebum secretion in hamsters. *J Dermatol Sci* 31:151-159.
29. 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.
30. 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.
31. Fitzpatrick TB. 1988. The validity and practicality of sun-reaction skin types I through VI. *Arch Dermatol* 124:869-871.
32. Takiwaki H, Shirai S, Kohno H, Soh H, 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.
33. Diffey BL, Farr PM, Oakley AM. 1987. Quantitative studies on UVA-induced erythema in human skin. *Br J Dermatol* 117:57-66.
34. 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.

35. Suh K-S, Roh H-J, Choi S-Y, Jeon Y-S, Doh K-S, Bae J-H, et al. 2007. Long-term evaluation of erythema and pigmentation induced by ultraviolet radiations of different wavelengths. *Skin Res Technol* 13:154-161.
36. Youn CS, Kwon OS, Hwang EJ, Jo SJ, Lee MJ, Lee HS, et al. 2005. The effects of heating and cooling on ultraviolet radiation-induced erythema and pigmentation in human skin. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 21:198-203.
37. 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.
38. Shea CR, Parrish JA. 1982. Effects of temperature on ultraviolet-induced erythema of human skin. *Arch Dermatol Res* 273:233-239.
39. Maglinger PE, Sessler DI, Lenhardt R. 2005. Cutaneous heat loss with three surgical drapes, one impervious to moisture. *Anesth Analg* 100:738-742.
40. Petrofsky JS, McLellan K, Bains G, Prowse M, Ethiraju G, Lee S, et al. In press. The influence of diabetes on the ability of the skin to dissipate

heat; the impact of skin thickness and subcutaneous. J Appl Res.

41. Shvartz E, Bhattacharya A, Sperinde SJ, Brock PJ, Sciaraffa D, Van Beaumont W. 1979. Sweating responses during heat acclimation and moderate conditioning. J Appl Physiol 46:675-680.
42. 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.
43. 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.
44. Ogawa T, Sugeno J, Ohnishi N, Natsume K, Ochiai M, Nishida M, et al. 1991. Dynamic sweating response of man to infrared irradiation in various spectral regions. Int Biometeorol 35: 18-23.
45. Hwang RL, Lin TP, Kuo NJ. 2005. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. Energy Build 38: 53-62.
46. 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.
47. 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.

48. Cheng V, Ng E. 2006. Comfort temperatures for naturally ventilated buildings in Hong Kong. *Arch Sci Rev* 49:179-182.
49. Corgnati SP, Filippi M, Viazzo S. 2007. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: subjective preferences and thermal comfort. *Build Environ* 42:951-959.
50. de Dear RJ, Brager G.S. 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energ Build* 34:549-561.
51. Trane, Inc. 1983. Psychrometric chart (SI units). Pub. No. 1-43.196. La Crosse, WI:Trane, Inc.
52. Rosner B. 2006. *Fundamentals of Biostatistics*. 6th ed. Belmont, CA:Thomson Brook/Cole.

附錄 A 實驗受試者基本資料調查(受試者基本資料問卷、受試者指引說明、每週戶外活動紀錄表、受試者同意書)



附錄 A-1 受試者基本資料問卷

中國醫藥大學 職業安全與衛生學系

※ 個人基本資料 ※

您好，感謝您填寫本問卷。本問卷目的在瞭解室內濕熱環境變化對皮膚維持生理恆定功能的影響，以評估皮膚生理反應做為環境舒適性指標的可行性。本問卷僅供學術研究探討，不另作他用，敬請惠予支持與協助。

中國醫藥大學職業安全與衛生學系 皮膚防護研究室 敬上
聯絡人：陳振葦老師 電話(研究室)：(04) 22053366 #6207

填表日期：____年____月____日

一、 基 本 資 料	<p>1. 姓名：_____</p> <p>2. 性別： <input type="radio"/>男 <input type="radio"/>女</p> <p>3. 生日：_____年_____月_____日</p> <p>4. 聯絡電話：_____</p> <p>5. 身高：_____公分、體重：_____公斤、BMI：_____ [BMI = 體重(公斤) ÷ 身高²(公尺)]</p>
------------------------	---

二、戶外活動狀況

以下問題所指的“夏季期間”為5月至8月；“白日”為上午7點至晚間7點

1. 夏季期間白日您大約一天外出活動多久？

- 1小時以下 1小時至2小時 2小時至4小時 4小時以上

2. 在以上的外出活動中可能直接受陽光照射(未使用防護措施)的時間多久？

- 1小時以下 1小時至2小時 2小時至4小時 4小時以上

3. 您平常外出時的活動地點：

- 絕大多數在室內
 絕大多數在室外
 室內外兩者皆有，但室外時間較長
 室內外兩者皆有，但室內時間較長
 室內外兩者皆有，且兩者時間差不多

4. 您在平日外出時會使用防護措施嗎？

- 會 (回答「會」者請自以下選項中勾選防護措施；可複選) 不會

- 防護衣物(遮陽帽、太陽眼鏡、外套、手套等)
 陽傘
 防曬乳或防曬霜
 其他_____

5. 您在平日外出時容易受到陽光照射的皮膚包括哪些部位？(可複選，若複選時請就您的選項依曝曬頻率高低編號，頻率最高者為1，以此類推)

- 顏面 頸部 上臂 下臂 (不含手掌與手背) 手掌與手背 小腿 大腿

三、夏季衣著量

以下問題所指的“夏季期間”為 5 月至 8 月；“白日”為上午 7 點至晚間 7 點

1. 夏季期間白日您外出活動時最常穿著之衣物包括(可複選，若複選時請就您的選項依衣著頻率高低編號，頻率最高者為 1，以此類推)：

- 衛生衣：短袖、長袖
- T-shirt：短袖、長袖
- 襯衫：短袖、長袖
- 背心
- 褲(裙)子：短褲(裙)、長褲(裙)
- 外套
- 襪子：短(膝蓋以下)、長(膝蓋以上)、襪襪
- 鞋子：拖鞋、其他種類
- 其他(如手套、帽子等等) _____

附錄 A-2 受試者指引說明

受試者指引說明

各位受試者您好：

歡迎參與「建立紫外光指數相容之紫外線暴露健康危害生理指標」研究。本研究分為兩階段進行，第一階段為暴露艙實驗，第二階段為日光照射實驗。此研究目的在於瞭解在正常日光照射下，皮膚所產生之生理反應（包含經皮水分喪失度(TEWL)、紅斑生成指數(Erythema index)、色素沉澱指數(Melanin index)、皮膚溼度、皮膚溫度）變化，並將實驗結果應用於建立評估日光紫外線暴露健康效應之生理指標。本研究僅供學術研究探討，不另作他用，敬請惠予支持與協助。以下為各實驗階段之指引說明，請各位受試者務必遵守，如有疑問，請立即提出詢問，謝謝。

中國醫藥大學職業安全與衛生學系 皮膚防護研究室 敬上

研究主持人：陳振華 聯絡電話：研究室 0422053366#6207

研究聯絡人：吳介銘 聯絡電話：研究室 0422053366#6207

第一階段實驗（暴露艙實驗）：

1. 請各位受試者穿著短袖 T 恤(請勿穿著無袖背心)；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. 在第一階段實驗中，受測人員應每週填報繳交該週「每週戶外活動紀錄表」（前臂外側受測部位遭日光照射之時間）；研究人員將提供每週戶外活動紀錄表。
3. 實驗場所為中國醫藥大學立夫教學大樓 16 樓職安系環境暴露艙，請各受試者於實驗前 10 分鐘到達（每測量日分兩班測量，每班人數原則上為 6 人；第一班測量時間為早上 10 點整，第二班為測量時間為下午 2 點整）；測量日期為自 7 月

- 14 日起兩週之週一至週五。
- 量測將依照下列溫濕度之組合進行 12 次；溫度：25、28、31、與 34°C；溼度：60、70、與 80%。預計各組合之量測需一個工作天完成。
 - 受測人員於測量前先進入暴露艙維持靜止狀態 20~30 分鐘，以適應暴露艙內之熱環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。
 - 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 處依序測量皮膚之皮膚溼度、TEWL（及皮膚溫度）、Erythema index 及 Melanin index 值、皮膚溼度。皮膚溼度於系列測量中進行兩次，分別為最初與最後。
 - 熱舒適問卷調查將於每次暴露艙實驗中測量前、後各進行一次；問卷填寫完畢，請繳回至工作人員。
 - 若於實驗過程中，受測人員有任何身體不適，請立即向工作人員反應。

第二階段實驗（日光照射實驗）：

- 受測人員於受測期間應遵守衣著量及皮膚防護裝置之使用規定：a)受測時服裝為短袖 T 恤；受試者可選擇穿著短褲或長褲，但在實驗期間穿著須一致；b)實驗期間須完全避免左上臂直接遭受陽光照射；c)實驗期間左前臂外側測量處請勿施用防曬、乳液、化妝、及藥用等產品。
- 在第二階段實驗中，受測人員應每週填報繳交該週「每週戶外活動紀錄表」（前臂外側受測部位遭日光照射之時間）；研究人員將提供每週戶外活動紀錄表。
- 實驗場所為立夫教學大樓中庭草皮區附近可受陽光照射處。
- 第二階段共為期 6 週，每週實測 2 次，共計測量 12 次，預計自 7 月 29 日（週二）開始進行，於 9 月 5 日（週五）結束。每週測量日以週二與週五為原則，受測人員集合時間為上午 10 時。
- 每次實驗時受測者應於指定地點（戶外）進行靜態活動 10 到 15 分鐘；在活動進

行時受測者所處的位置須能直接受到陽光照射。

6. 在於戶外活動時，受測者應填寫熱舒適問卷。
7. 受測人員於活動後，移動至校園陰涼處，在確定手臂皮膚乾燥後，進行皮膚濕度測量。
8. 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。
9. 皮膚溼度測量結束時，受測人員應於該處同時再度填寫熱舒適問卷。
10. 隨後受測人員應立即返回立夫教學大樓 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。
11. 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）、erythema index 及 melanin index 值。
12. 若於實驗過程中，受測人員有任何身體不適，請立即向實驗人員反應。

附錄 A-3 受測者同意書

受測者同意書

姓名：_____ 受測者編號：_____

1. 本人同意參加建立與紫外光指數相容之紫外線暴露生理指標研究計畫，將誠實填寫個人基本資料。
2. 本人於受測前六個月內無接觸型刺激性及過敏性皮膚炎。
3. 本人已詳細閱讀研究「受試者指引說明」並且了解研究流程及步驟，願意配合遵守各相關規定。
4. 本人了解本實驗所蒐集到的相關個人資料，將被妥善完整保存，而本人姓名不會出現在任何報告中。

同意人簽名：_____

實驗人員簽名：_____

日期：_____年_____月_____日

附錄 A-4 每週戶外活動紀錄表

每週戶外活動紀錄表

填表說明：請於下表詳實記錄您本周每日進行戶外活動時前臂外側受測區域直接遭受陽光照射（未使用防曬品、乳液、化妝品、及藥用品等）之時間長度。時間長度之代號為：A. 小於 20 分鐘；B. 約 20 至 40 分鐘；C. 約 40 至 60 分鐘；D. 約 60 至 80 分鐘；E. 約 80 至 100 分鐘；F. 約 100 至 120 分鐘。若有特殊陽光暴露情形，請於「備註事項」欄說明。

受試人員姓名：_____

本週週一為 97 年____月____日

	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日
8 am ~ 10 am							
10 am ~ 12 pm							
12 pm ~ 2 pm							
2 pm ~ 4 pm							
4 pm ~ 6 pm							
備註事項							



附錄 B 環境熱舒適問卷

日期：_____

環境熱舒適性問卷

您好。感謝您填寫本問卷。本問卷目的在瞭解室內（外）濕熱環境變化對皮膚維持生理恆定功能的影響，以評估皮膚生理反應做為環境舒適性指標的可行性。本問卷僅供學術研究探討，不另作他用，敬請惠予支持與協助。

中國醫藥大學職業安全與衛生學系 皮膚防護研究室 敬上
研究主持人：陳振華 聯絡電話：研究室 0422053366#6207
研究聯絡人：吳介銘 聯絡電話：研究室 0422053366#6207

受訪者基本資料

1.姓名：_____ 性別：_____ 年紀：_____ 身高：_____cm 體重：_____Kg

以下的問題目的為了解您對目前室內狀況的感覺

2-1 請根據您目前整個熱環境的感覺，直接圈選合適的數值代表

Cold	Cool	Slightly Cool	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot
-3	-2	-1	0	1	2	3
冷	涼	微涼	剛好	微暖	暖	熱

2-2 【 】 您覺得目前整體的熱環境：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

2-3 【 】 您覺得目前整體的熱環境：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不舒適

3-1 請根據您目前對整個環境的溫度感覺

3-2 【 】 您覺得目前環境的溫度：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

3-3 【 】 您覺得目前環境的溫度：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不舒適

4-1 請根據您目前對整個環境的溼度感覺

4-2 【 】 您覺得目前環境的溼度：

1.完全可接受 2.剛好可接受 3.剛好不接受 4.完全不接受

4-3 【 】 您覺得目前環境的溼度：

1.非常舒適 2.舒適 3.剛好舒適 4.剛好不舒適 5.不舒適 6.非常不舒適

附錄 C 台灣中部地區 97 年夏季(7 至 9 月)每日紫外線
指數即時測報資料(UVI)



表 C-1 台灣中部地區 97 年 7 月每日紫外線指數即時測報資料(UVI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MAX
2008/7/1	0	0	0	0	0	0	0.3514	1.6784	3.9739	6.2894	6.949	5.8132	6.2737	5.917	5.2731	3.1984	1.0919	0	0	0	0	0	0	0	6.949
2008/7/2	0	0	0	0	0	0	0.2558	1.3384	3.5284	4.6981	3.7324	4.8108	5.7665	5.9809	4.8265	3.1831	1.387	0.2476	0	0	0	0	0	0	5.9809
2008/7/3	0	0	0	0	0	0	0.1509	0.8023	2.4539	5.9598	7.914	8.3203	5.1907	7.4456	5.4682	3.1959	1.4105	0.269	0	0	0	0	0	0	8.3203
2008/7/4	0	0	0	0	0	0	0.2258	1.307	3.4032	5.9652	7.894	7.0318	5.9234	7.3104	5.7187	3.1538	1.4244	0.2779	0	0	0	0	0	0	7.894
2008/7/5	0	0	0	0	0	0	0.0656	1.1597	3.0843	4.2936	4.5771	5.9348	7.9878	6.8541	4.4527	1.012	0.1102	0	0	0	0	0	0	0	7.9878
2008/7/6	0	0	0	0	0	0	0.1345	0.6435	2.1575	4.6324	4.9346	5.9941	4.768	3.0625	0.8972	0.1908	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9941
2008/7/7	0	0	0	0	0	0	0.2975	1.6288	4.0574	4.3649	5.8956	5.9934	5.5321	4.829	5.1365	1.5286	0.0057	0	0	0	0	0	0	0	5.9934
2008/7/8	0	0	0	0	0	0	0.0631	1.0737	3.4399	7.2547	8.1358	7.4966	7.3086	4.5582	2.2698	1.1098	0	0	0	0	0	0	0	0	8.1358
2008/7/9	0	0	0	0	0	0	0.3128	1.6552	3.4428	6.4175	8.9071	5.9798	1.3245	1.5568	1.0552	0.087	0	0	0	0	0	0	0	0	8.9071
2008/7/10	0	0	0	0	0	0	0.2065	1.4968	3.7699	6.1046	7.4845	8.6381	6.1082	5.7212	3.4253	0.6139	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6381
2008/7/11	0	0	0	0	0	0	0.2865	1.4362	2.5203	6.1104	8.4715	10.482	4.5479	5.7447	5.5624	1.2414	0.6571	0.1381	0	0	0	0	0	0	10.482
2008/7/12	0	0	0	0	0	0	0.2572	1.4743	3.5904	5.3962	7.3047	8.468	7.6443	7.1006	5.6288	1.469	0	0	0	0	0	0	0	0	8.468
2008/7/13	0	0	0	0	0	0	0.0503	1.1322	3.0639	5.6309	7.625	9.6427	7.726	5.845	5.6249	1.8667	1.0937	0.2137	0	0	0	0	0	0	9.6427
2008/7/14	0	0	0	0	0	0	0.1941	1.2439	2.2021	2.918	4.8654	4.5497	5.7565	7.091	4.971	2.8966	1.2988	0.2219	0	0	0	0	0	0	7.091
2008/7/15	0	0	0	0	0	0	0.1056	0.8519	2.3972	4.9492	7.208	8.0791	8.3299	8.1141	6.1542	3.8616	1.49	0.1826	0	0	0	0	0	0	8.3299
2008/7/16	0	0	0	0	0	0	0.1841	1.194	3.1049	4.5376	3.5009	3.7849	5.3587	5.4315	4.137	2.8303	0.4958	0	0	0	0	0	0	0	5.4315
2008/7/17	0	0	0	0	0	0	0.0228	0.6813	0.9407	2.9886	2.7072	3.177	2.4539	0.9218	0.4712	0.0357	0	0	0	0	0	0	0	0	3.177
2008/7/18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1541	0.5016	0.9	0.7142	0.3596	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9
2008/7/19	0	0	0	0	0	0	0	0.4138	1.1875	2.989	2.837	4.7295	2.785	1.9873	1.5197	0.8779	0.8808	0.2137	0	0	0	0	0	0	4.7295
2008/7/20	0	0	0	0	0	0	0.244	1.5411	3.8113	6.6569	9.0919	10.058	5.3177	6.2163	4.361	3.1848	1.4034	0.3018	0	0	0	0	0	0	10.058
2008/7/21	0	0	0	0	0	0	0.2615	1.4965	3.7067	6.4146	8.9228	9.9698	8.204	8.1747	6.1307	3.5006	1.6449	0.3407	0	0	0	0	0	0	9.9698
2008/7/22	0	0	0	0	0	0	0.2255	1.3755	3.436	5.7979	7.1734	8.9742	7.7898	7.7673	5.3213	2.0269	1.0391	0.2483	0	0	0	0	0	0	8.9742
2008/7/23	0	0	0	0	0	0	0.178	1.3877	3.5544	5.5831	6.0643	7.7085	8.5917	7.4413	5.627	3.1524	1.4808	0.2743	0	0	0	0	0	0	8.5917
2008/7/24	0	0	0	0	0	0	0.2308	1.448	3.6539	6.4378	8.886	10.395	10.015	8.6181	6.2737	3.6136	1.4804	0.2683	0	0	0	0	0	0	10.395
2008/7/25	0	0	0	0	0	0	0.2073	1.3299	3.4296	6.009	8.351	9.6309	8.4491	5.4183	3.9293	2.7957	1.1997	0.1759	0	0	0	0	0	0	9.6309
2008/7/26	0	0	0	0	0	0	0.1156	0.8326	2.6109	3.2195	4.6242	4.0132	5.7237	6.4243	4.4933	2.6615	1.3488	0.2069	0	0	0	0	0	0	6.4243
2008/7/27	0	0	0	0	0	0	0.1249	0.7245	1.2518	5.3427	7.7121	9.6066	6.2106	5.6923	6.2052	2.7554	1.2432	0.1894	0	0	0	0	0	0	9.6066
2008/7/28	0	0	0	0	0	0	0	0	0.163	0.2497	0.2372	0.463	2.2467	3.5915	1.4251	0.3225	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5915
2008/7/29	0	0	0	0	0	0	0	0.0057	0.2579	1.4865	2.1521	4.1509	4.794	4.2686	2.5103	1.7365	0.8412	0.0371	0	0	0	0	0	0	4.794
2008/7/30	0	0	0	0	0	0	0.0628	0.8954	2.8167	4.5625	5.1818	5.0505	5.3801	3.9732	2.9612	1.3463	0.9104	0.1976	0	0	0	0	0	0	5.3801
2008/7/31	0	0	0	0	0	0	0.2358	1.4972	3.7192	6.4243	8.3188	6.9608	5.7993	5.4401	3.7349	1.6734	0.4851	0.0307	0	0	0	0	0	0	8.3188

表 C-2 台灣中部地區 97 年 8 月每日紫外線指數即時測報資料(UVI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MAX
2008/8/1	0	0	0	0	0	0	0.0817	0.9963	2.0394	2.1985	5.3673	5.0384	6.2834	5.3202	4.5183	2.6587	1.1979	0.1684	0	0	0	0	0	0	6.2834
2008/8/2	0	0	0	0	0	0	0.112	1.0613	2.9548	5.1351	6.3419	6.7389	7.2765	7.2358	5.6434	3.2633	1.4087	0.2187	0	0	0	0	0	0	7.2765
2008/8/3	0	0	0	0	0	0	0.0881	0.651	1.4176	3.6407	5.9106	5.5635	5.1971	5.007	3.8031	2.8335	1.179	0.1598	0	0	0	0	0	0	5.9106
2008/8/4	0	0	0	0	0	0	0.0781	1.1811	3.2248	4.305	3.3557	3.9322	3.2576	2.5973	2.1817	1.3573	0.3596	0	0	0	0	0	0	0	4.305
2008/8/5	0	0	0	0	0	0	0.1645	1.1904	2.8691	5.0784	7.0075	3.558	5.2556	3.335	1.2015	0.3574	0.0567	0	0	0	0	0	0	0	7.0075
2008/8/6	0	0	0	0	0	0	0.1766	1.368	3.5155	6.3265	6.9587	9.373	9.5542	7.9168	4.402	2.0761	0.483	0	0	0	0	0	0	0	9.5542
2008/8/7	0	0	0	0	0	0	0	0.5294	1.591	4.0018	5.7633	6.7453	6.5927	6.1635	4.875	2.781	0.9136	0.1452	0	0	0	0	0	0	6.7453
2008/8/8	0	0	0	0	0	0	0.0574	0.9935	2.9284	5.3395	7.8829	6.5752	2.7632	4.0239	4.5718	2.6769	1.011	0.1327	0	0	0	0	0	0	7.8829
2008/8/9	0	0	0	0	0	0	0.0731	1.1137	2.1924	3.4998	5.2795	5.0905	6.7254	6.1778	4.2136	2.7486	1.1865	0.1537	0	0	0	0	0	0	6.7254
2008/8/10	0	0	0	0	0	0	0.1188	1.0645	2.6997	4.3046	6.2513	6.1621	4.5679	1.9263	2.9623	2.2274	0.7209	0	0	0	0	0	0	0	6.2513
2008/8/11	0	0	0	0	0	0	0.1762	1.0045	2.2574	3.6422	5.1765	8.4701	6.2577	7.3125	3.8798	0.92	1.1437	0.1127	0	0	0	0	0	0	8.4701
2008/8/12	0	0	0	0	0	0	0.1798	1.3969	3.6397	6.4678	8.8728	8.7501	6.9144	6.323	5.8257	3.5783	1.4019	0.1787	0	0	0	0	0	0	8.8728
2008/8/13	0	0	0	0	0	0	0.1655	1.352	3.5016	6.3611	8.2782	9.5692	9.1985	6.5638	5.3316	2.9994	0.31	0	0	0	0	0	0	0	9.5692
2008/8/14	0	0	0	0	0	0	0.1156	1.1005	2.8217	5.0391	6.9009	7.4738	7.8037	4.8265	3.3233	0.1117	0.1505	0.0171	0	0	0	0	0	0	7.8037
2008/8/15	0	0	0	0	0	0	0.1191	0.8005	2.8253	4.9292	6.9201	6.5951	5.3049	5.2988	3.6875	2.2784	0.5212	0	0	0	0	0	0	0	6.9201
2008/8/16	0	0	0	0	0	0	0.0738	0.6414	1.571	3.8391	6.1289	4.5821	6.2941	5.5221	4.6974	2.7803	0.6974	0	0	0	0	0	0	0	6.2941
2008/8/17	0	0	0	0	0	0	0.0118	0.9489	3.2009	5.4283	8.1526	7.0657	3.7827	5.0951	3.9454	0.467	0.666	0.0574	0	0	0	0	0	0	8.1526
2008/8/18	0	0	0	0	0	0	0.1502	1.3859	3.6522	5.8164	5.8285	2.8324	2.8181	2.1257	0.936	0.6803	0.2872	0	0	0	0	0	0	0	5.8285
2008/8/19	0	0	0	0	0	0	0	1.011	3.335	5.4593	5.6209	5.5639	4.2675	3.0011	1.8557	1.0206	0.5123	0	0	0	0	0	0	0	5.6209
2008/8/20	0	0	0	0	0	0	0.1031	0.7969	2.6651	5.3641	5.0334	4.5422	2.9683	3.0026	4.5343	2.3929	0.8661	0	0	0	0	0	0	0	5.3641
2008/8/21	0	0	0	0	0	0	0.1013	0.8276	2.0148	4.6217	2.7561	3.583	3.0607	3.975	1.1704	1.0513	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6217
2008/8/22	0	0	0	0	0	0	0.1391	1.2475	3.3482	6.0244	7.7031	7.243	9.6944	8.4883	5.6127	1.9599	0.5736	0	0	0	0	0	0	0	9.6944
2008/8/23	0	0	0	0	0	0	0.1366	1.2614	3.2394	5.9869	7.9618	9.4582	9.5635	6.5395	5.1511	2.8588	1.1223	0.0942	0	0	0	0	0	0	9.5635
2008/8/24	0	0	0	0	0	0	0.1381	1.2714	3.4353	5.8514	6.9323	7.9757	8.1426	4.6093	4.976	2.9005	1.0884	0.1031	0	0	0	0	0	0	8.1426
2008/8/25	0	0	0	0	0	0	0.1295	1.1594	3.0008	4.6103	6.2427	6.4778	7.5465	7.645	5.474	2.9423	1.0737	0.0856	0	0	0	0	0	0	7.645
2008/8/26	0	0	0	0	0	0	0.1156	0.8572	3.0414	5.7932	8.4833	9.9334	9.3591	7.9539	5.4583	2.9879	1.0081	0.0239	0	0	0	0	0	0	9.9334
2008/8/27	0	0	0	0	0	0	0.1049	1.0802	2.8406	4.7723	6.5324	5.8335	6.6144	5.9873	4.7024	2.3769	0.89	0.0246	0	0	0	0	0	0	6.6144
2008/8/28	0	0	0	0	0	0	0.0688	1.0049	2.1368	4.6478	6.0119	6.4221	6.1913	4.8044	2.5863	1.9149	0.4794	0	0	0	0	0	0	0	6.4221
2008/8/29	0	0	0	0	0	0	0	0.4976	2.1247	3.0265	4.3991	4.2012	2.2584	1.7248	3.9268	2.3811	0.752	0.0364	0	0	0	0	0	0	4.3991
2008/8/30	0	0	0	0	0	0	0.0528	0.8404	2.6744	5.2239	6.3558	5.3858	3.9383	4.9496	3.9047	2.3241	0.8055	0.0243	0	0	0	0	0	0	6.3558
2008/8/31	0	0	0	0	0	0	0	0.5979	1.3545	2.9116	3.5245	4.1805	6.1813	4.6571	4.0463	2.3669	0.6749	0	0	0	0	0	0	0	6.1813

表 C-3 台灣中部地區 97 年 9 月每日紫外線指數即時測報資料(UVI)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MAX
2008/9/1	0	0	0	0	0	0	0.0949	1.0192	2.5727	5.3409	7.7049	9.2959	5.4486	1.5047	1.017	0.7648	0.2158	0	0	0	0	0	0	0	9.2959
2008/9/2	0	0	0	0	0	0	0	0.4812	2.4368	3.2423	0.889	0.6232	1.1865	1.7169	2.1907	1.5068	0.4095	0	0	0	0	0	0	0	3.2423
2008/9/3	0	0	0	0	0	0	0	0.7819	1.8639	2.7675	4.1312	1.8403	0.3735	5.5214	2.6191	1.184	0.528	0.0118	0	0	0	0	0	0	5.5214
2008/9/4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1929	2.8688	6.1414	6.7674	4.6324	1.2353	2.8042	0.3157	0	0	0	0	0	0	0	0	6.7674
2008/9/5	0	0	0	0	0	0	0	0.4723	2.0501	3.7353	7.5647	7.1991	5.2114	5.1429	3.7149	2.4817	0.2711	0	0	0	0	0	0	0	7.5647
2008/9/6	0	0	0	0	0	0	0.0892	1.0745	2.8998	5.286	7.3742	7.7399	7.8323	6.5117	3.7713	0.5597	0	0	0	0	0	0	0	0	7.8323
2008/9/7	0	0	0	0	0	0	0.092	1.0652	2.9219	5.2524	7.2776	8.3634	7.3742	6.1817	4.5415	2.2445	0.7623	0	0	0	0	0	0	0	8.3634
2008/9/8	0	0	0	0	0	0	0.0696	0.9525	2.5121	4.249	5.6256	6.7896	8.2871	5.7222	3.9383	2.1004	0.5936	0	0	0	0	0	0	0	8.2871
2008/9/9	0	0	0	0	0	0	0.0771	0.9785	2.6765	4.686	6.2081	6.8017	5.775	6.5095	4.2554	2.0758	0.7374	0	0	0	0	0	0	0	6.8017
2008/9/10	0	0	0	0	0	0	0.0635	0.9428	2.5031	4.5971	5.6031	6.9112	7.5833	5.6074	3.0646	2.0958	0.5408	0	0	0	0	0	0	0	7.5833
2008/9/11	0	0	0	0	0	0	0	0.1941	1.037	3.4645	6.145	2.6505	3.1099	3.8405	3.9946	2.419	0.7156	0	0	0	0	0	0	0	6.145
2008/9/12	0	0	0	0	0	0	0.0628	0.9321	2.5035	5.9901	6.197	9.5456	4.9214	3.7545	2.3412	0.7316	0.3706	0	0	0	0	0	0	0	9.5456
2008/9/13	0	0	0	0	0	0	0	0.0428	0.6414	1.7818	1.8207	1.5742	1.6481	1.6003	1.1854	0.508	0.0064	0	0	0	0	0	0	0	1.8207
2008/9/14	0	0	0	0	0	0	0	0.1063	0.1295	0	0.1202	0.3421	0.2301	0.2675	0.1298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3421
2008/9/15	0	0	0	0	0	0	0	0.2683	0.3232	0.467	0.2297	0.5058	2.6672	2.0533	0.8597	0.8333	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6672
2008/9/16	0	0	0	0	0	0	0	0.2558	1.3623	3.086	5.6238	7.9143	5.5164	2.0901	3.4424	1.4954	0.498	0	0	0	0	0	0	0	7.9143
2008/9/17	0	0	0	0	0	0	0	0.3303	0.8083	4.2664	5.4707	6.303	4.5693	4.8579	3.9943	2.1165	0.5822	0	0	0	0	0	0	0	6.303
2008/9/18	0	0	0	0	0	0	0.0185	0.8326	2.3048	3.461	4.2261	5.663	3.9101	3.2198	1.6413	0.7088	0.0635	0	0	0	0	0	0	0	5.663
2008/9/19	0	0	0	0	0	0	0.0378	0.8954	2.4807	4.5219	5.6776	3.5291	3.3971	3.7485	3.3243	1.5635	0.3061	0	0	0	0	0	0	0	5.6776
2008/9/20	0	0	0	0	0	0	0.0185	0.8069	2.1871	2.8096	4.7231	5.0391	4.6585	3.2829	2.5292	1.4269	0.4006	0	0	0	0	0	0	0	5.0391
2008/9/21	0	0	0	0	0	0	0	0.4213	1.6021	2.6401	2.6152	5.0056	3.3957	3.2405	2.9901	1.4829	0.3788	0	0	0	0	0	0	0	5.0056
2008/9/22	0	0	0	0	0	0	0.0057	0.7324	2.089	4.2607	6.0454	7.0874	7.5972	6.1293	4.0128	1.9513	0.3842	0	0	0	0	0	0	0	7.5972
2008/9/23	0	0	0	0	0	0	0.0314	0.936	2.7821	5.4633	6.0922	6.1186	4.5051	3.3218	1.2774	0.6071	0.0703	0	0	0	0	0	0	0	6.1186
2008/9/24	0	0	0	0	0	0	0.0567	0.9839	2.7275	4.6952	5.4693	6.3825	5.8485	5.3452	3.8616	1.9588	0.3054	0	0	0	0	0	0	0	6.3825
2008/9/25	0	0	0	0	0	0	0.0453	0.9257	2.5135	3.7253	3.9354	4.306	4.925	2.7625	1.9324	1.3377	0	0	0	0	0	0	0	0	4.925
2008/9/26	0	0	0	0	0	0	0.0453	1.0035	2.75	4.0321	2.7967	3.5344	4.5183	5.2439	1.7544	0.467	0.0057	0	0	0	0	0	0	0	5.2439
2008/9/27	0	0	0	0	0	0	0.0432	0.9995	2.5759	5.3088	7.4948	7.935	7.0767	6.4771	3.5915	1.6363	0.3435	0	0	0	0	0	0	0	7.935
2008/9/28	0	0	0	0	0	0	0	0	0.188	1.6784	1.7355	1.5735	3.0978	2.7033	1.352	0.676	0.0753	0	0	0	0	0	0	0	3.0978
2008/9/29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2205	0.4677	0.6014	0.3967	0.4406	0.1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6014
2008/9/30	0	0	0	0	0	0	0	0.3535	1.6252	2.8049	2.8659	3.9871	4.2957	5.1262	3.5227	1.7244	0.3728	0	0	0	0	0	0	0	5.1262

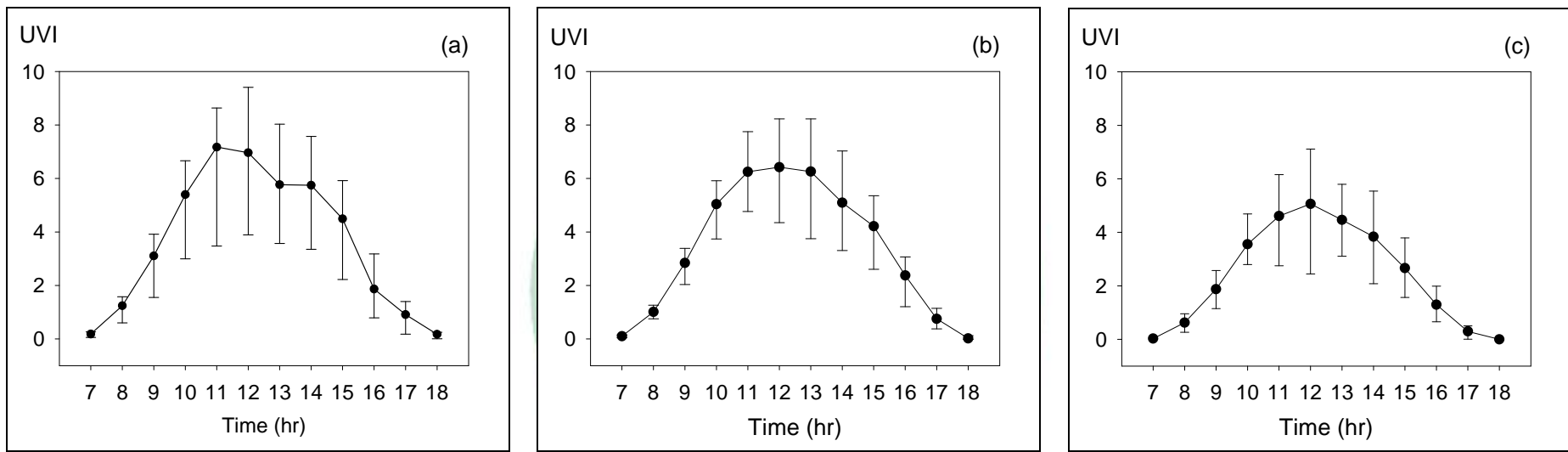


圖 C-1 台中地區 97 年(a) 7 月、(b) 8 月、(c) 9 月份每日 7 時至 18 時逐時日光紫外線指數(UVI)平均值(標號為平均值，誤差線為標準差)

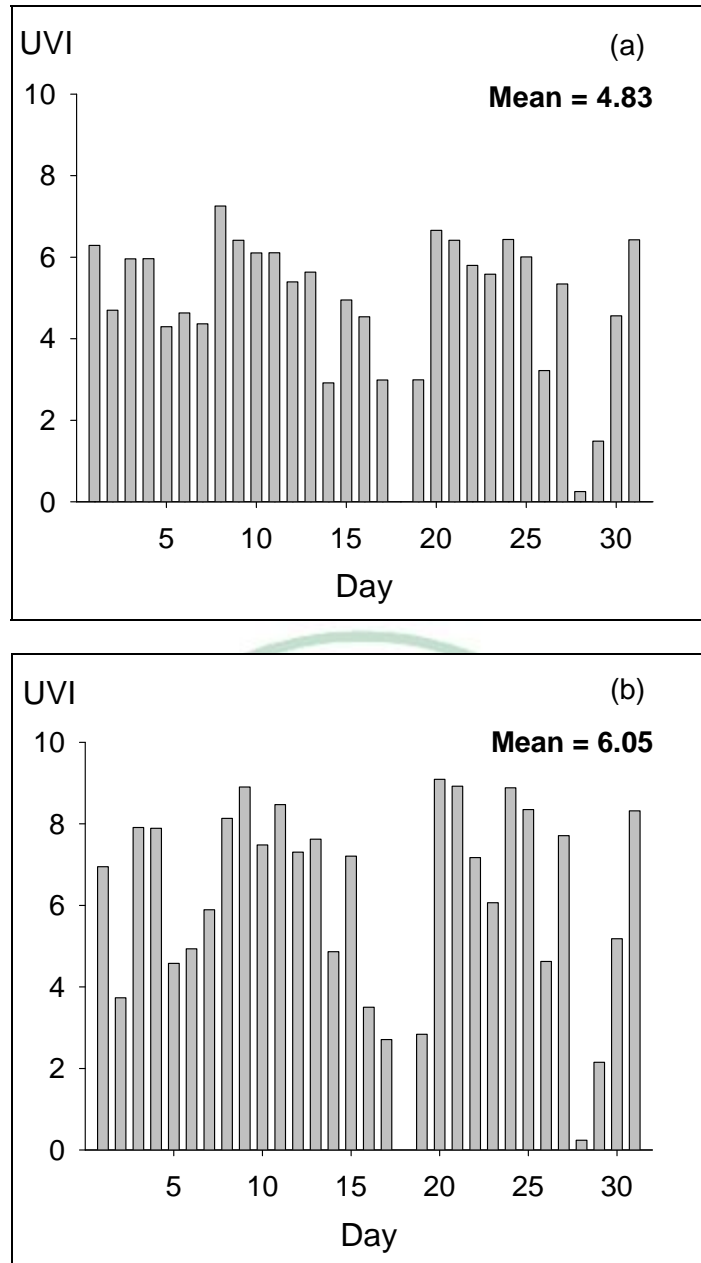


圖 C-2 台中地區 7 月份每日(a) 10 時與(b) 11 時之日光紫外線指數(UVI) 平均值

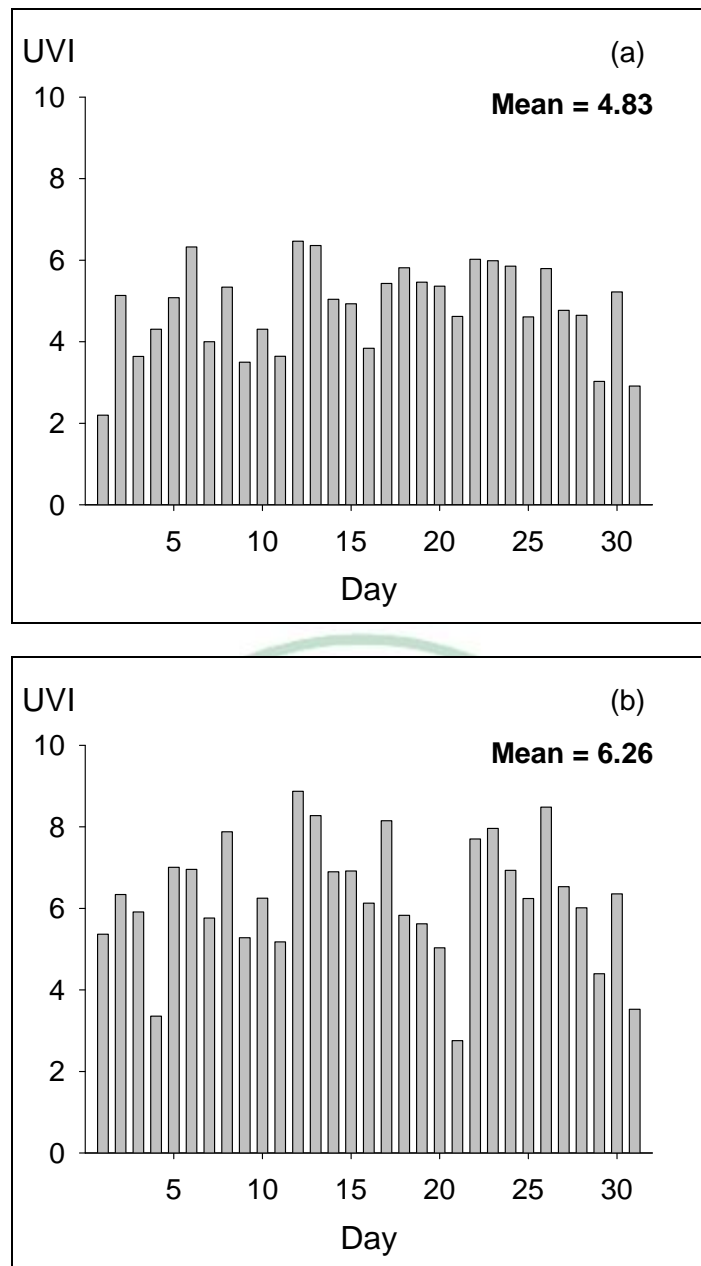


圖 C-3 台中地區 8 月份每日(a) 10 時與(b) 11 時之日光紫外線指數(UVI) 平均值

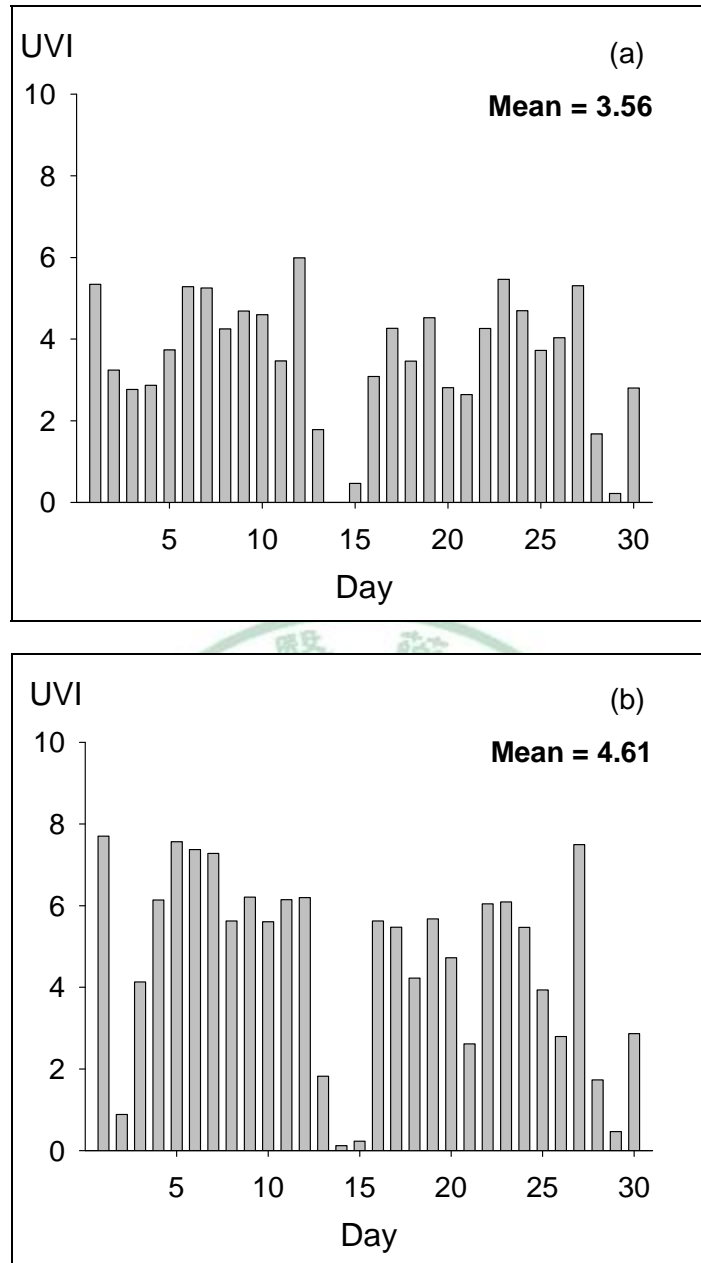


圖 C-4 台中地區9月份每日(a) 10時與(b) 11時之日光紫外線指數(UVI) 平均值



附錄 D 前置實驗結果圖

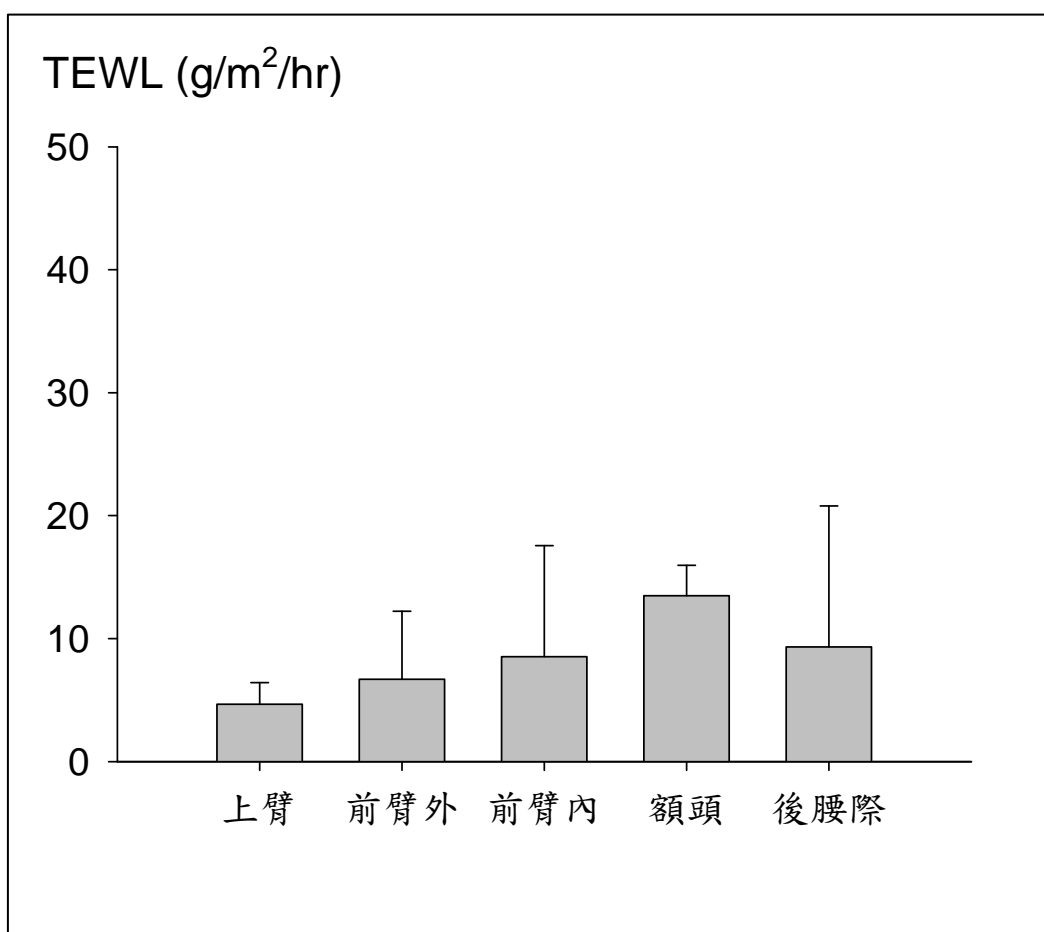


圖 D-1 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)第一次量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差

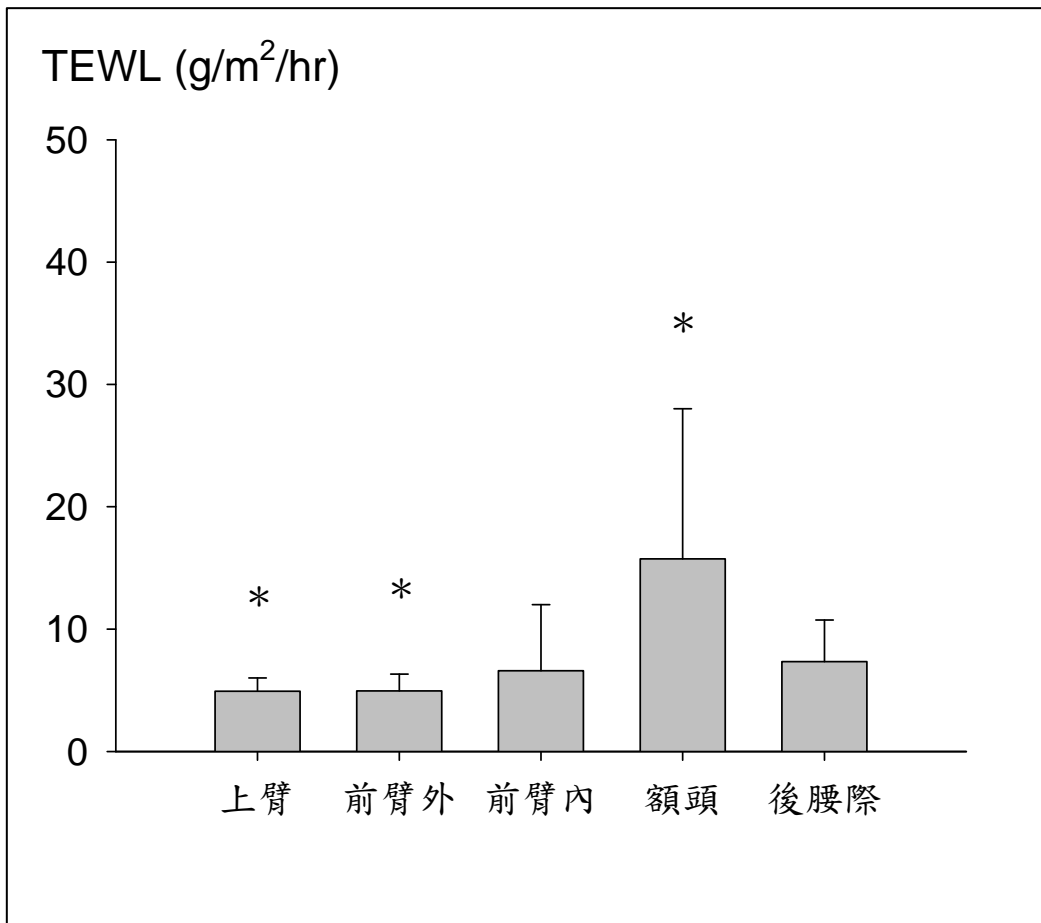


圖 D-2 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)第二次量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差；*表統計顯著差異 (p -value = 0.015)

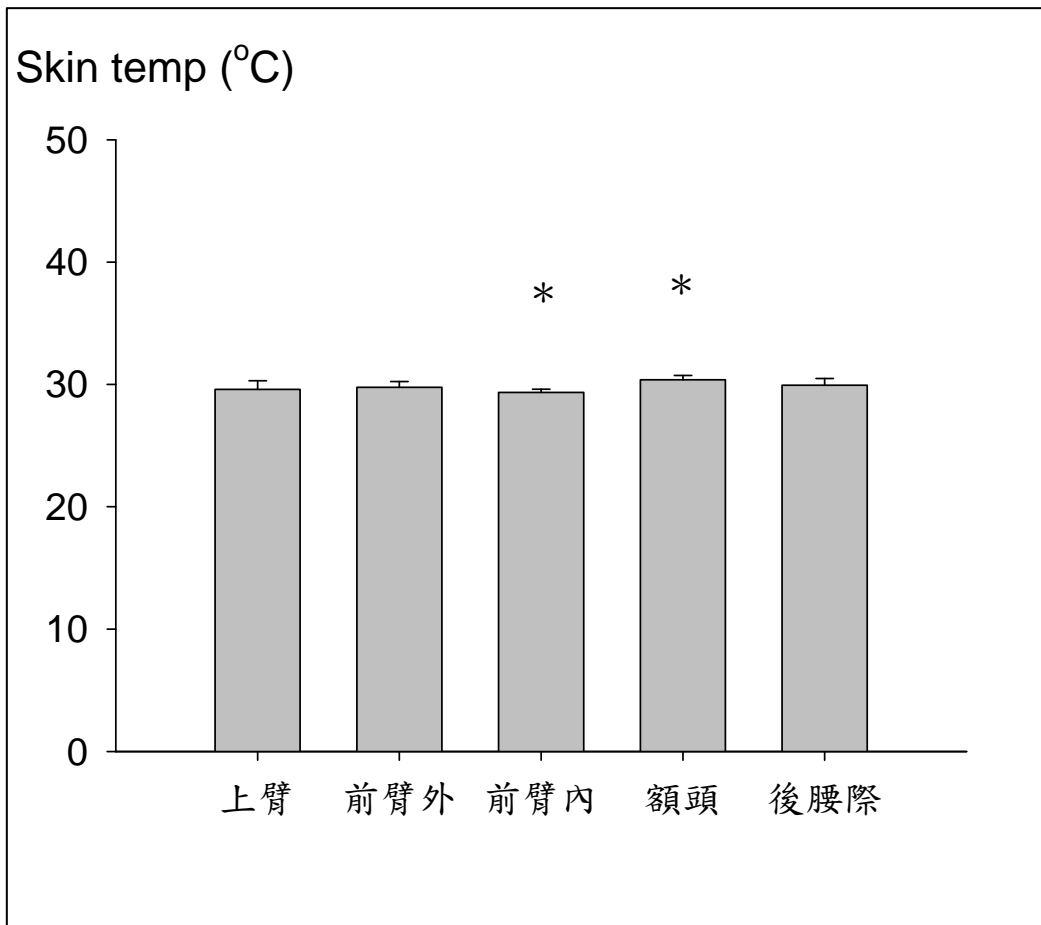


圖 D-3 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚溫度 (skin temperature) 第一次量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差；*表統計顯著差異(p -value = 0.007)

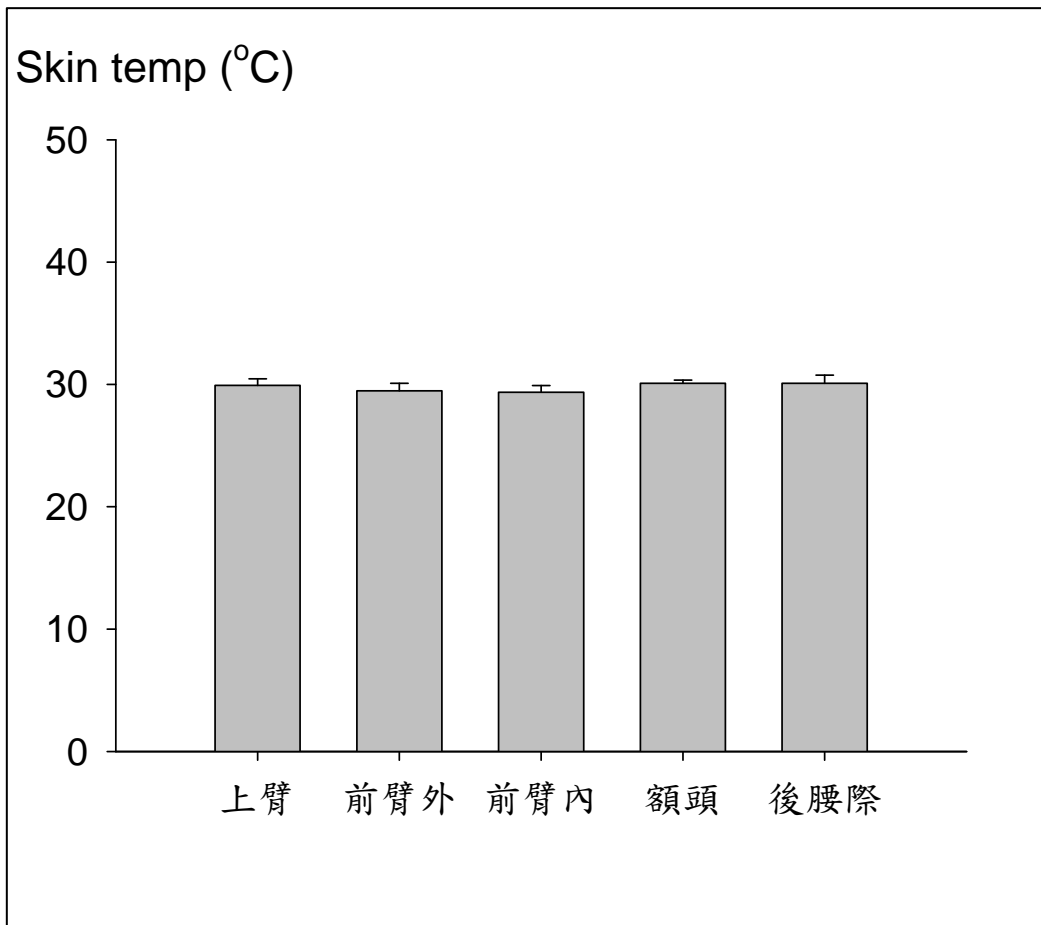


圖 D-4 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚溫度 (skin temperature) 第二次量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差

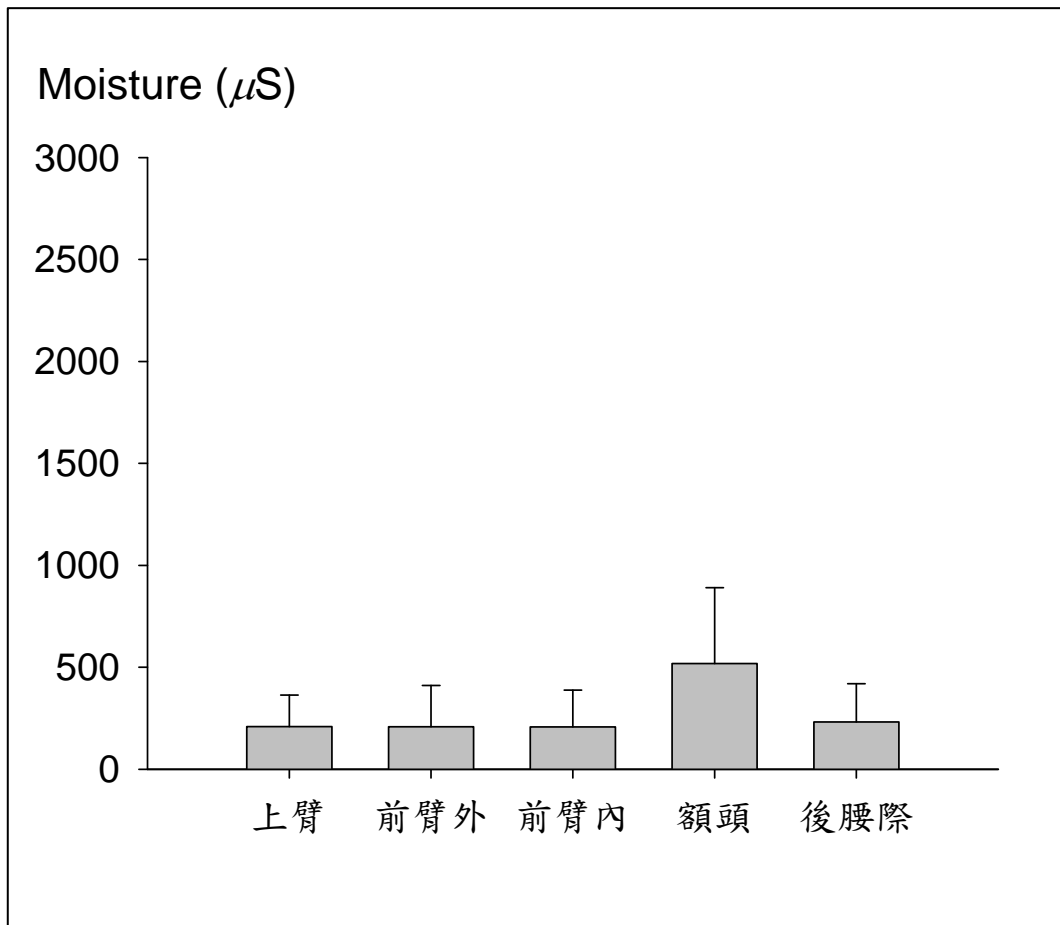


圖 D-5 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚濕度 (moisture) 第一與第二次平均量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差

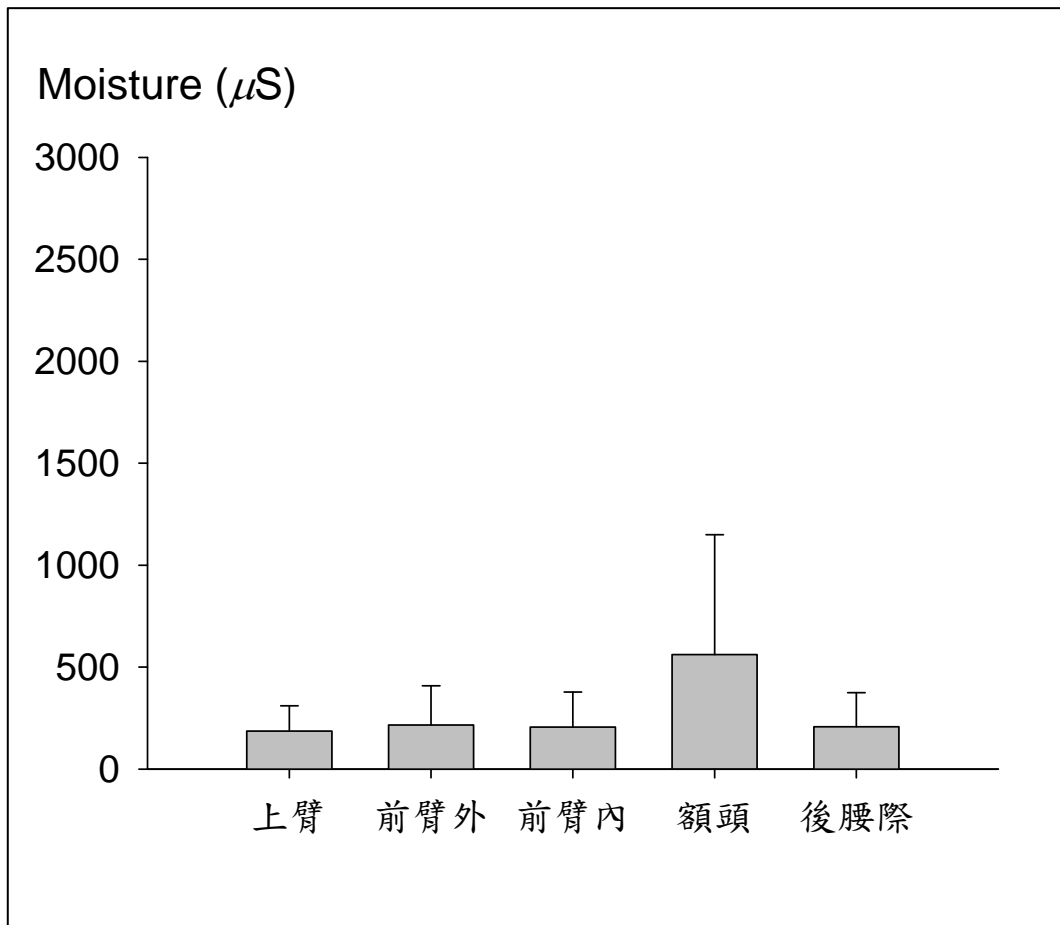


圖 D-6 不同皮膚部位於室內溫度 28°C 與相對濕度 70% 時之皮膚濕度 (moisture) 第三與第四次平均量測值。圖中柱狀值為測量平均值，誤差線為標準差

附錄 E 暴露艙量測實驗結果圖



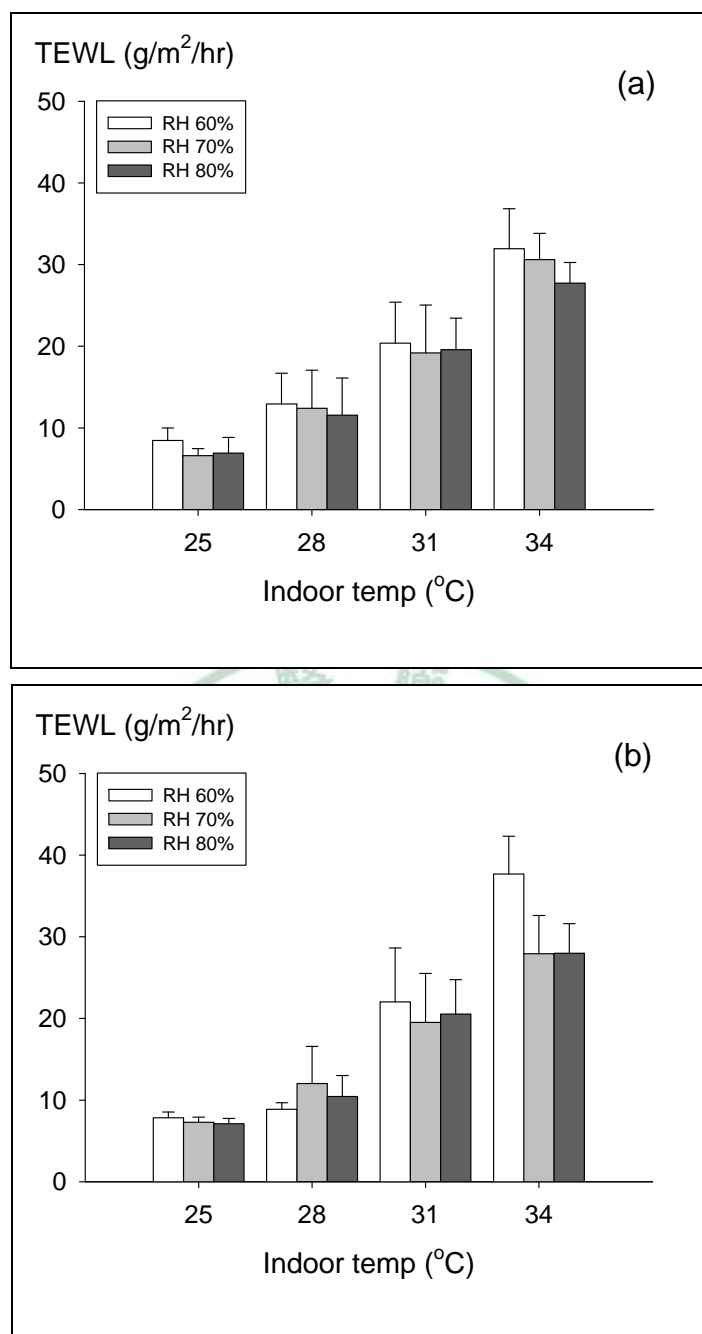


圖 E-1 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

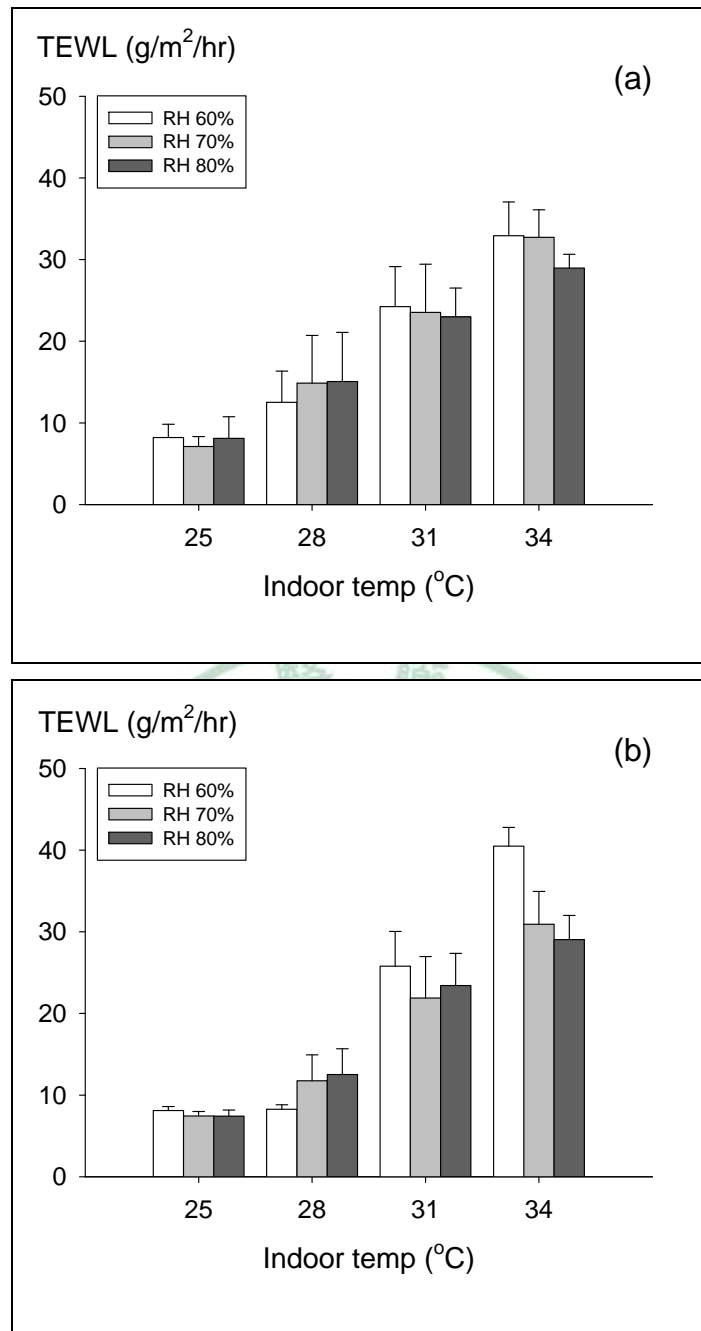


圖 E-2 男性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

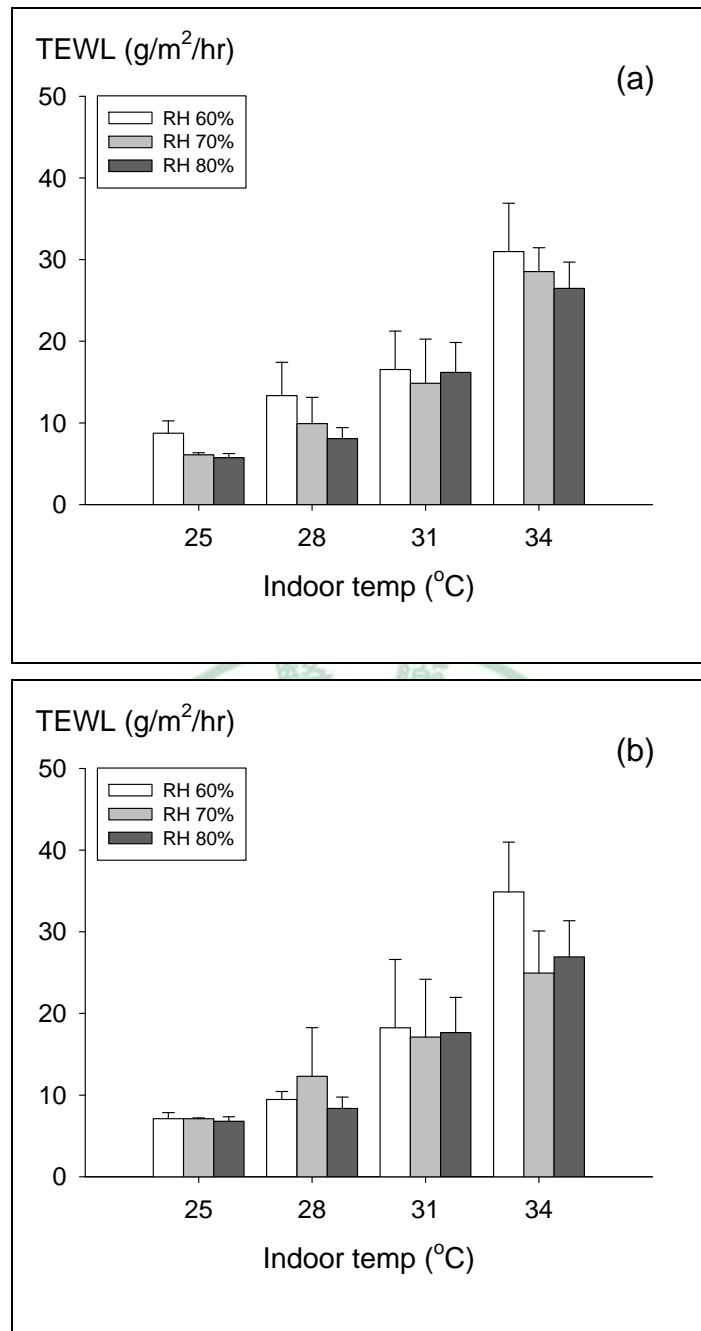


圖 E-3 女性 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚經皮水分散失度 (transepidermal water loss, TEWL) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

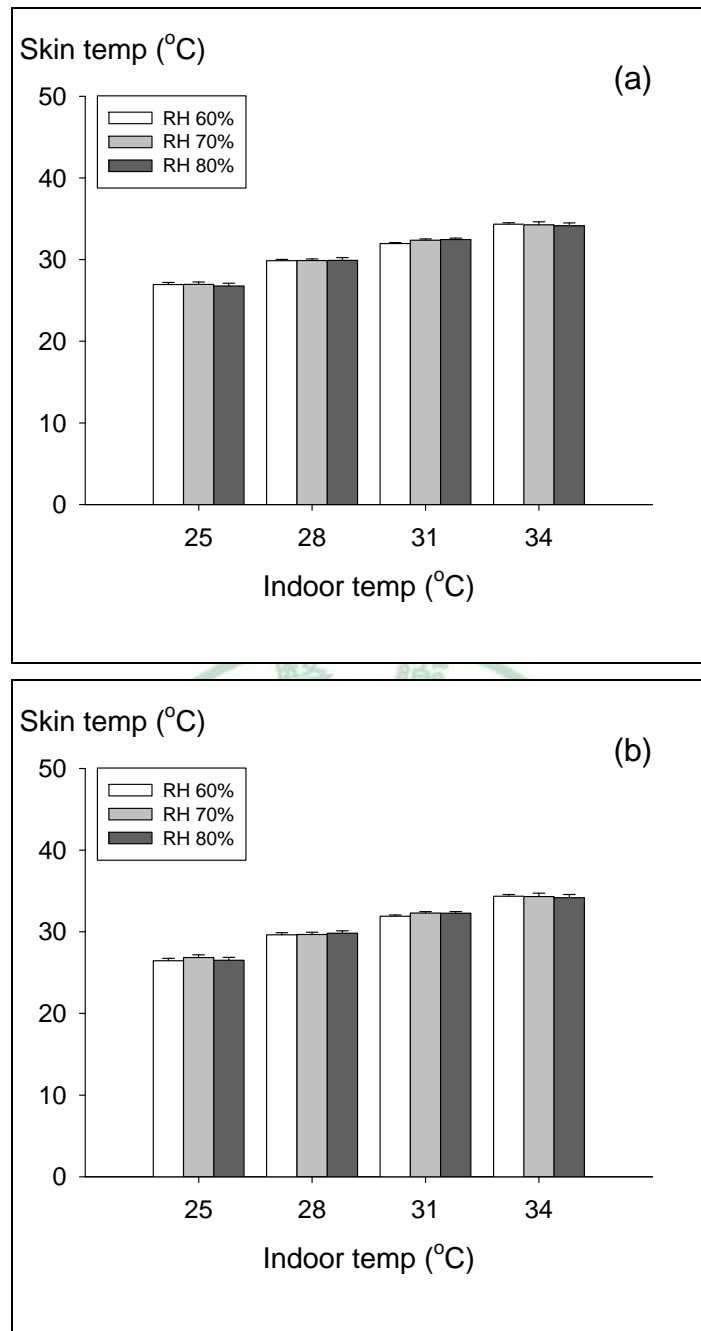


圖 E-4 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temperature)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

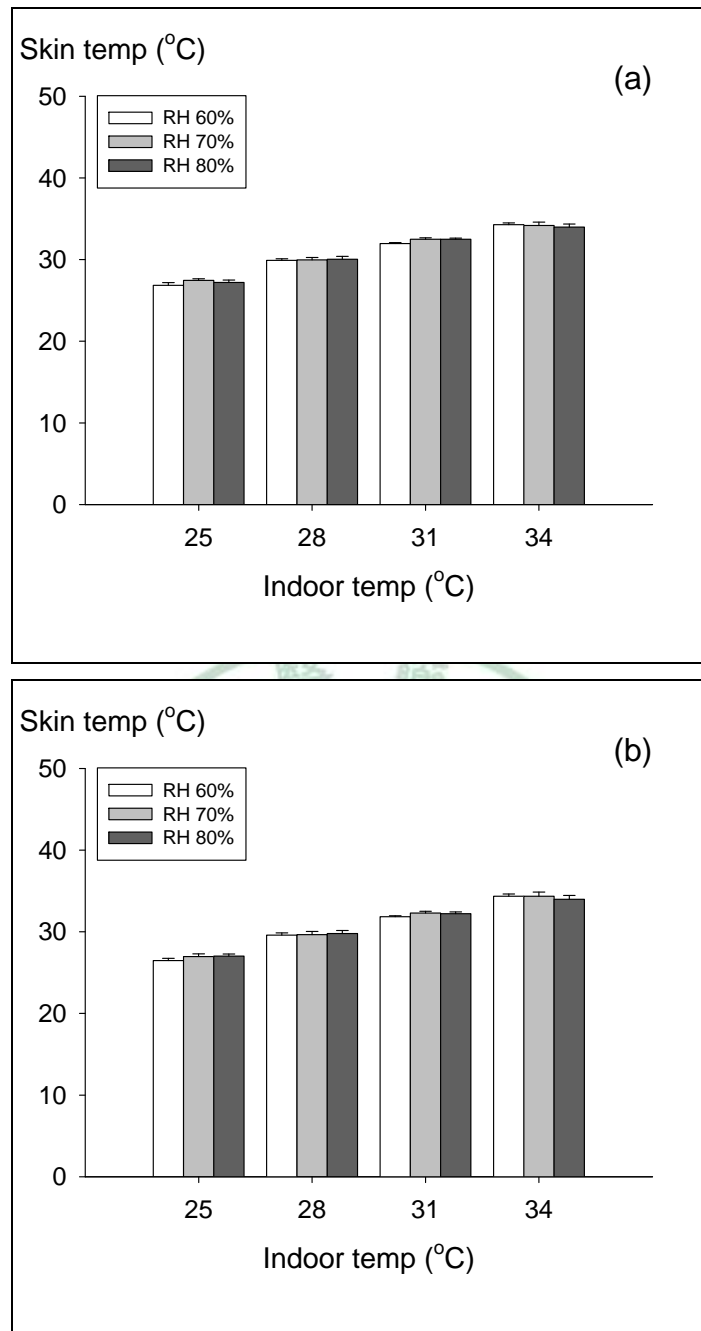


圖 E-5 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temperature)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

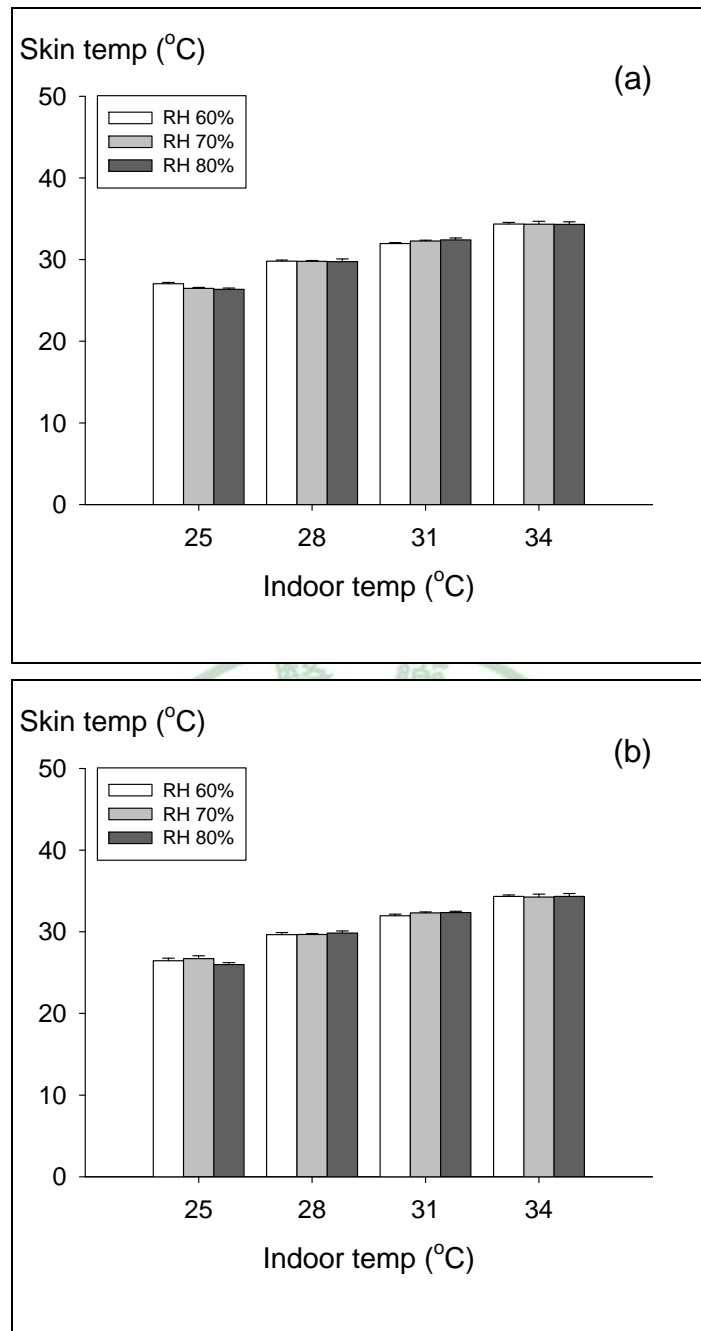


圖 E-6 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚溫度(skin temperature)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

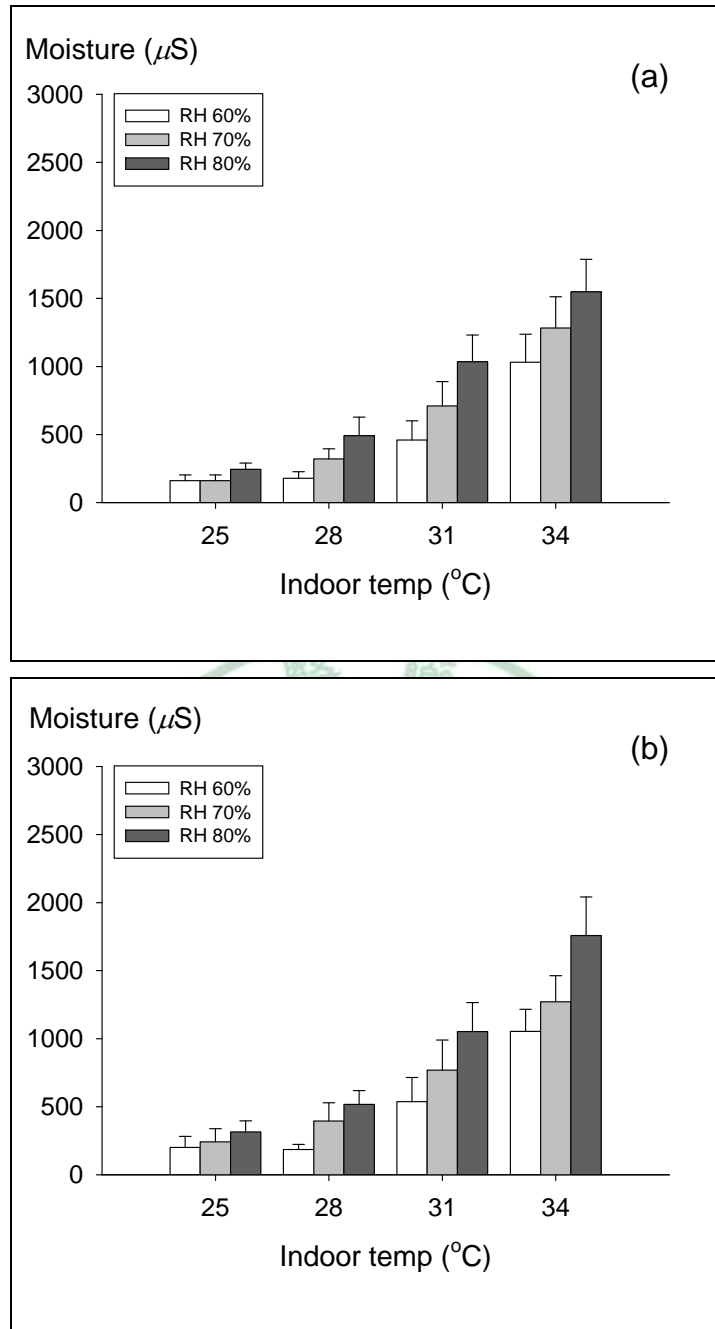


圖 E-7 全體人員(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

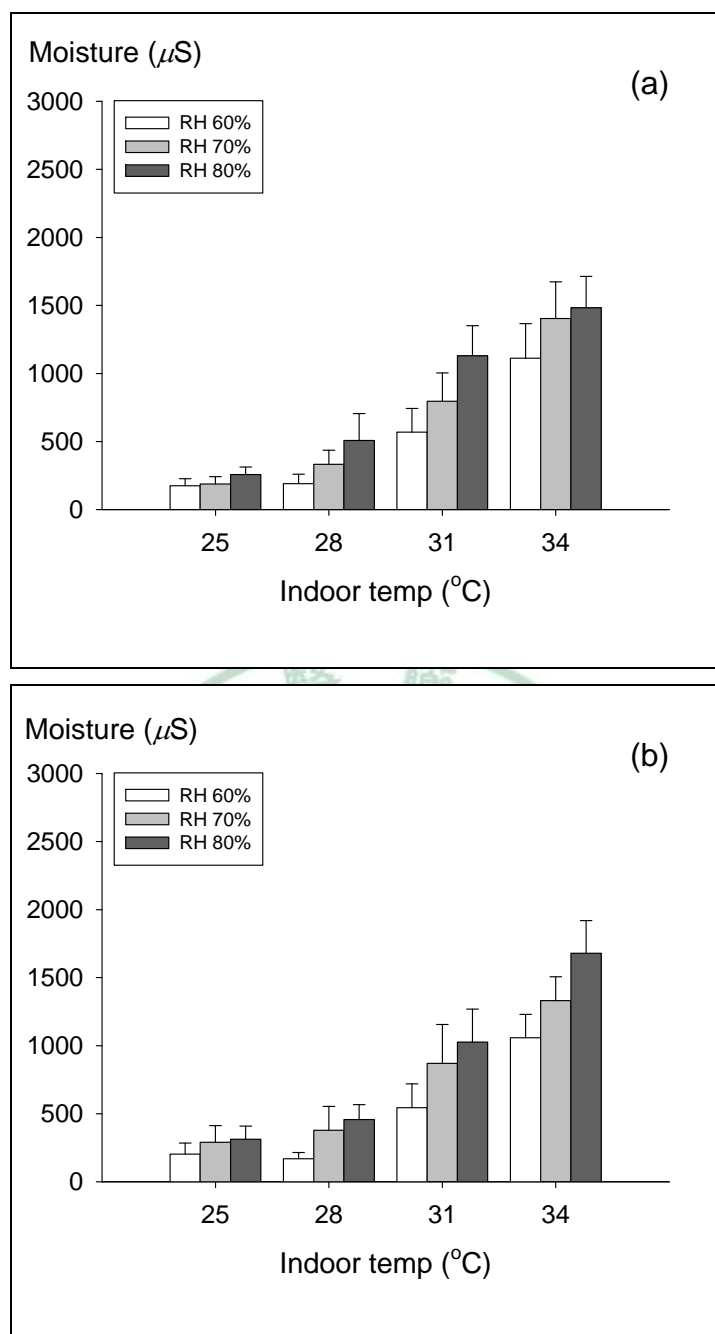


圖 E-8 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

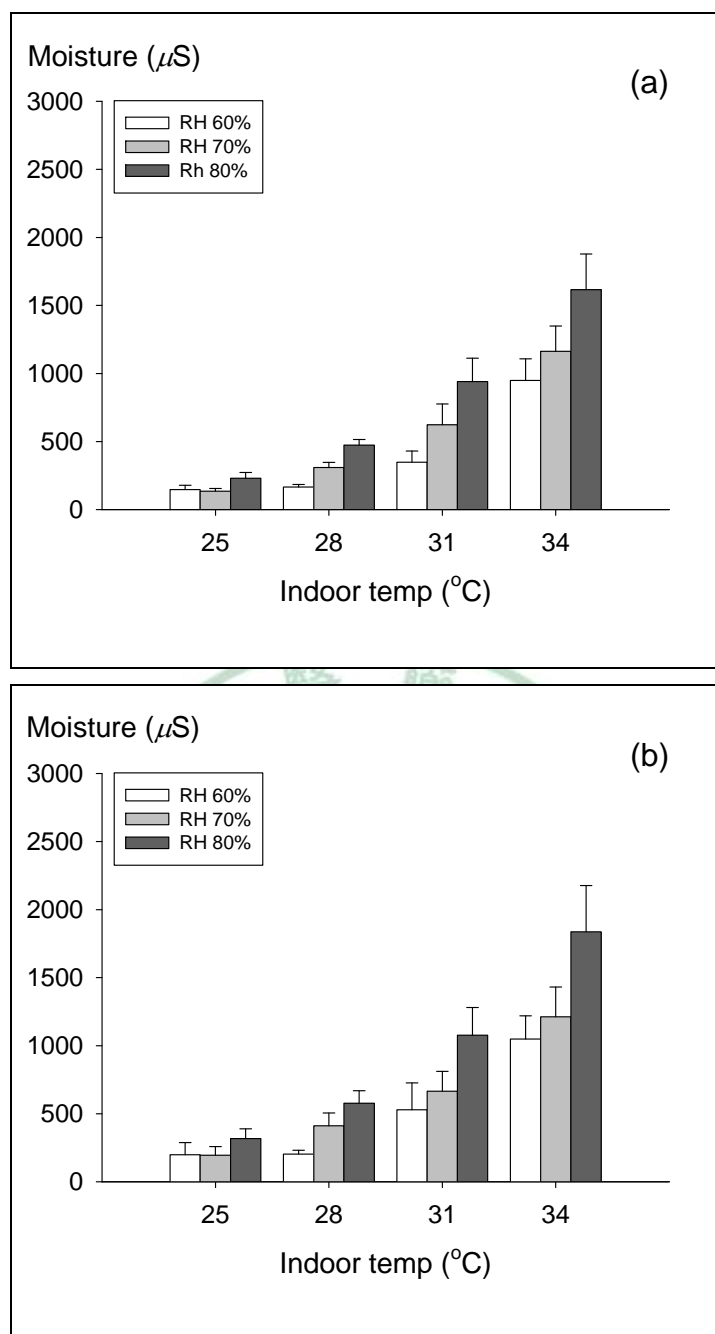


圖 E-9 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

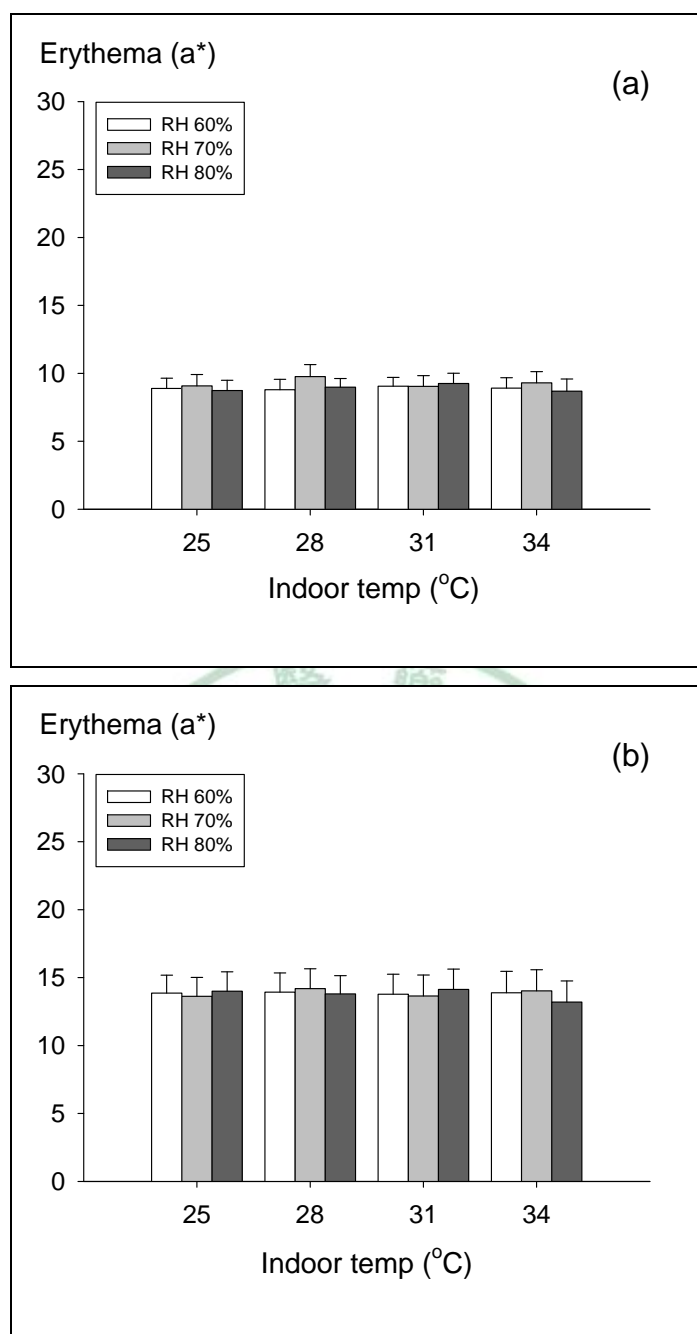


圖 E-10 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚紅斑指數 (erythema-index, E-index) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

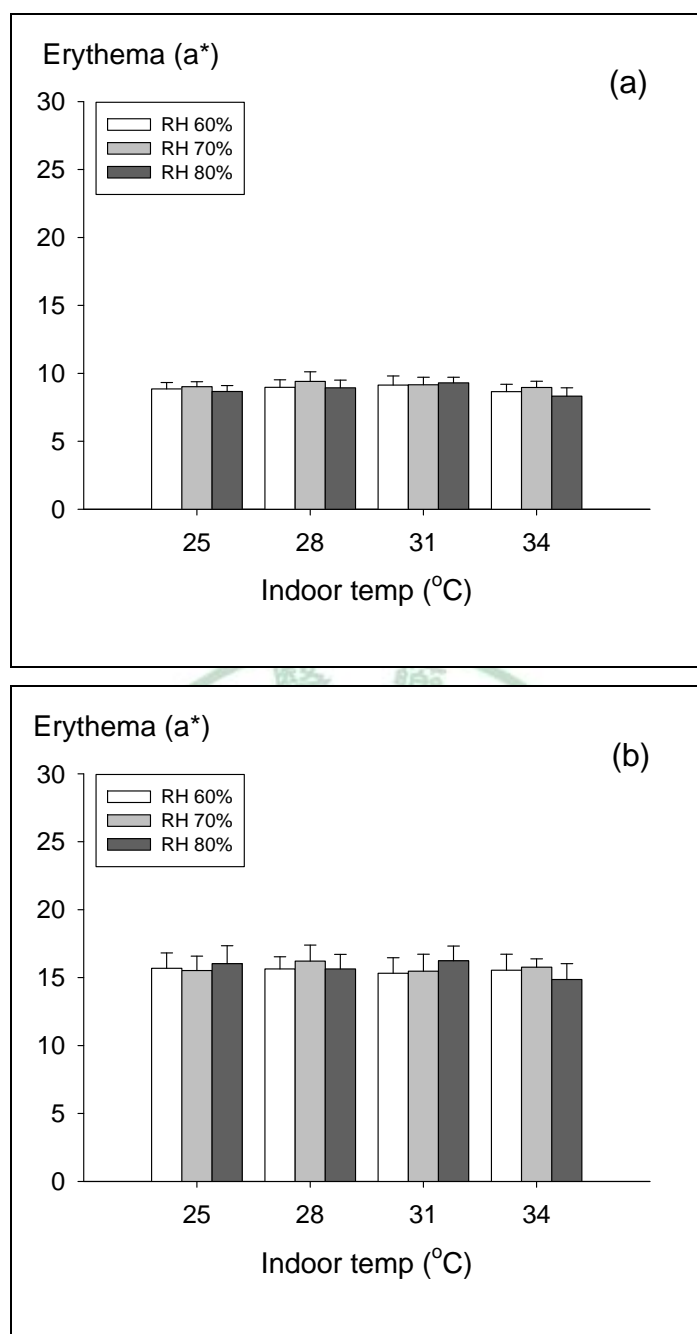


圖 E-11 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index) 對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

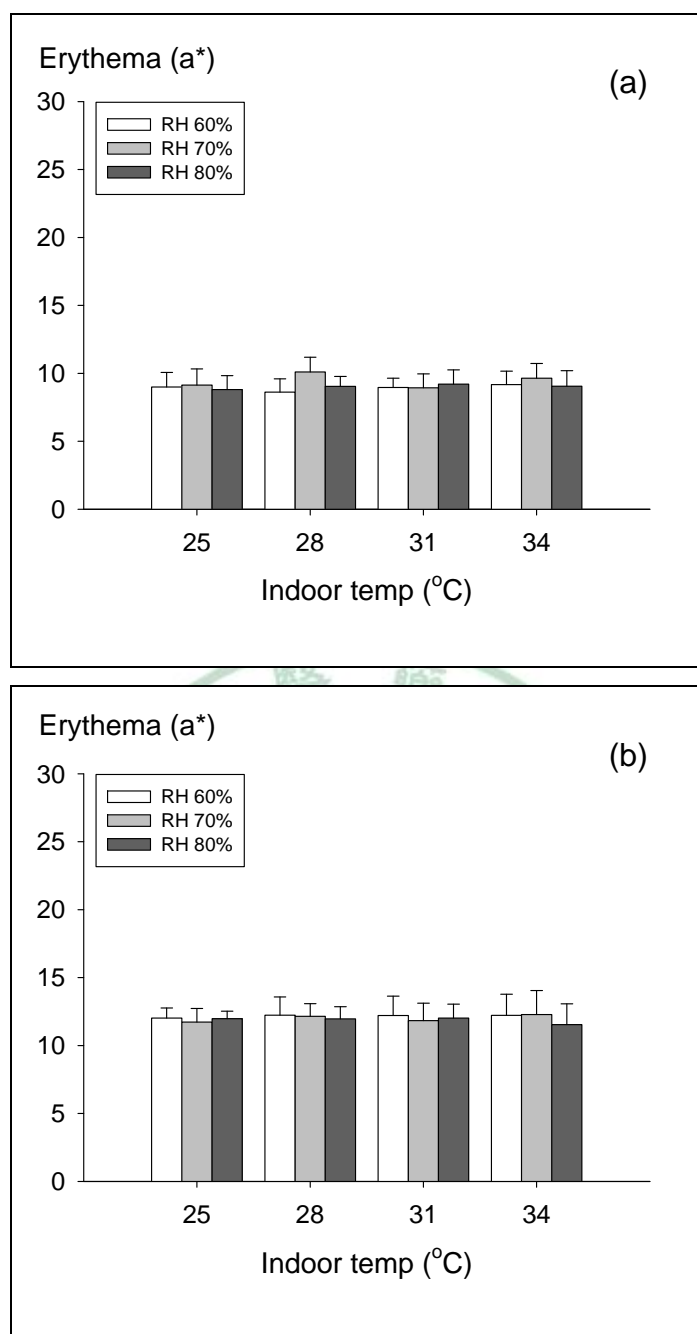


圖 E-12 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index) 對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

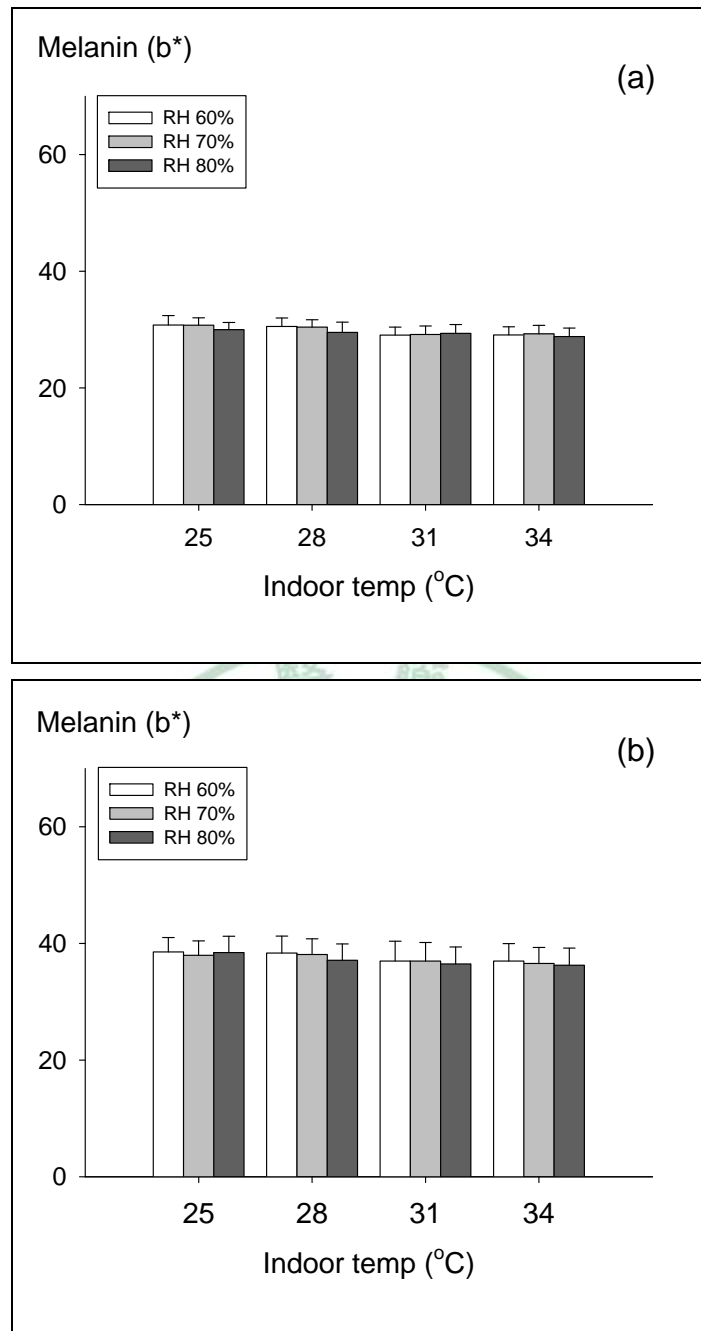


圖 E-13 全體人員 (a) 上臂內側及 (b) 前臂外側皮膚黑素指數 (melanin-index, M-index) 對應室內溫度 (indoor temp) 與相對濕度 (relative humidity, RH) 變化之趨勢 (圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

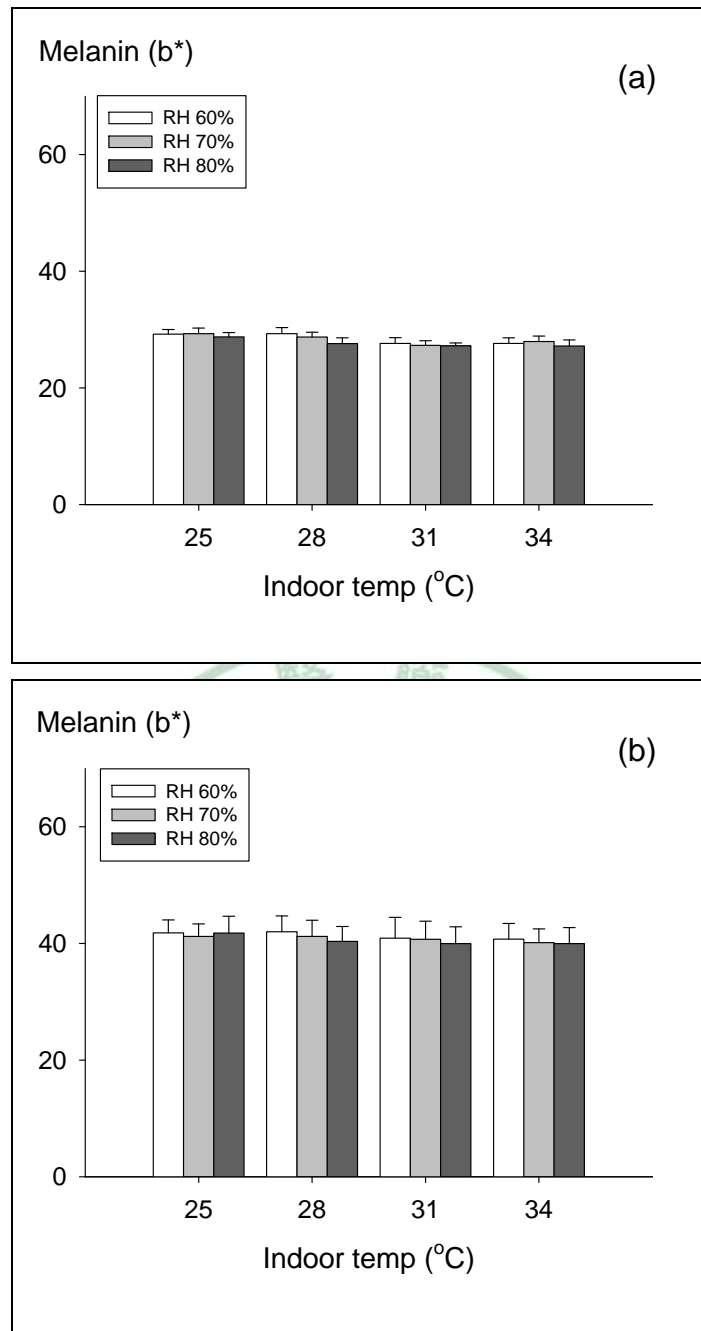


圖 E-14 男性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

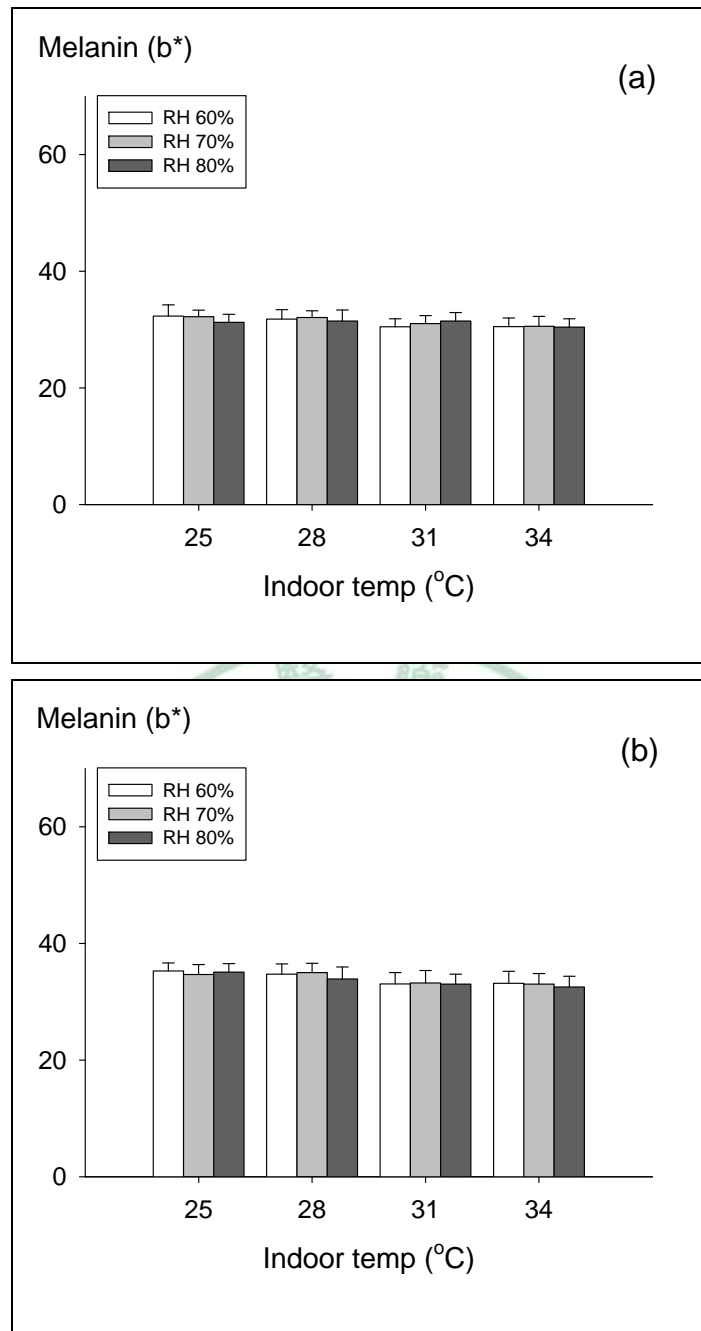


圖 E-15 女性(a)上臂內側及(b)前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之趨勢(圖中之柱狀形為該測量值之平均值，誤差線為標準差)

附錄 F 全體人員、男性、女性上臂內側與前臂外側皮膚於各溫濕度組合下紅斑指數 (erythema-index, E-index)之檢定

表 F-1 全體人員於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較			
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
上臂內側	60%	0.063	0.979	25°C	28°C	0.999	25°C	28°C	0.804	25°C	28°C	0.982	
	70%	0.458	0.713		31°C	0.994		31°C	1.000		31°C	0.874	
	80%	0.349	0.790		34°C	1.000		34°C	0.991		34°C	1.000	
					28°C	31°C	0.980	28°C	31°C	0.785	28°C	31°C	0.981
						34°C	0.998		34°C	0.931		34°C	0.972
					31°C	34°C	0.997	31°C	34°C	0.987	31°C	34°C	0.846
前臂外側	60%	0.007	0.999	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.974	25°C	28°C	0.999	
	70%	0.106	0.956		31°C	1.000		31°C	1.000		31°C	1.000	
	80%	0.242	0.867		34°C	1.000		34°C	0.990		34°C	0.929	
					28°C	31°C	0.999	28°C	31°C	0.979	28°C	31°C	0.994
						34°C	1.000		34°C	0.999		34°C	0.968
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.992	31°C	34°C	0.891

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

表 F-2 全體人員於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.141	0.869	60%	70%	0.957	60%	70%	0.324	60%	70%	1.000	60%	70%	0.851
	28°C	1.304	0.285		80%	0.973		80%	0.953		80%	0.947		80%	0.948
	31°C	0.076	0.927	70%	80%	0.869	70%	80%	0.485	70%	80%	0.943	70%	80%	0.673
	34°C	0.411	0.666												
前臂外側	25°C	0.058	0.944	60%	70%	0.979	60%	70%	0.976	60%	70%	0.996	60%	70%	0.993
	28°C	0.059	0.943		80%	0.992		80%	0.993		80%	0.955		80%	0.868
	31°C	0.086	0.918	70%	80%	0.945	70%	80%	0.945	70%	80%	0.924	70%	80%	0.812
	34°C	0.239	0.788												

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 F-3 男性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
上臂內側												
	60%	0.204	0.893	25°C	28°C	0.998	25°C	28°C	0.939	25°C	28°C	0.976
	70%	0.211	0.887		31°C	0.977		31°C	0.997		31°C	0.768
	80%	0.959	0.431		34°C	0.992		34°C	1.000		34°C	0.956
				28°C	31°C	0.995	28°C	31°C	0.983	28°C	31°C	0.944
					34°C	0.968		34°C	0.910		34°C	0.792
				31°C	34°C	0.901	31°C	34°C	0.991	31°C	34°C	0.464
前臂外側												
	60%	0.033	0.992	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.954	25°C	28°C	0.994
	70%	0.156	0.924		31°C	0.993		31°C	1.000		31°C	0.999
	80%	0.411	0.747		34°C	1.000		34°C	0.997		34°C	0.861
				28°C	31°C	0.996	28°C	31°C	0.945	28°C	31°C	0.976
					34°C	1.000		34°C	0.987		34°C	0.951
				31°C	34°C	0.999	31°C	34°C	0.996	31°C	34°C	0.785

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

表 F-4 男性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.254	0.779	60%	70%	0.945	60%	70%	0.830	60%	70%	1.000	60%	70%	0.889
	28°C	0.278	0.761		80%	0.932		80%	0.998		80%	0.971		80%	0.878
	31°C	0.036	0.965	70%	80%	0.779	70%	80%	0.800	70%	80%	0.976	70%	80%	0.616
	34°C	0.500	0.616												
前臂外側	25°C	0.071	0.932	60%	70%	0.992	60%	70%	0.893	60%	70%	0.994	60%	70%	0.981
	28°C	0.150	0.862		80%	0.970		80%	1.000		80%	0.790		80%	0.845
	31°C	0.276	0.762	70%	80%	0.934	70%	80%	0.896	70%	80%	0.847	70%	80%	0.742
	34°C	0.329	0.725												

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

表 F-5 女性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較			
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	0.093	0.963	25°C	28°C	0.994	25°C	28°C	0.900	25°C	28°C	0.997	
	70%	0.339	0.797		31°C	1.000		31°C	0.999		31°C	0.989	
	80%	0.042	0.988		34°C	0.996		34°C	0.983		34°C	0.997	
					28°C	31°C	0.991	28°C	31°C	0.841	28°C	31°C	0.999
						34°C	0.964		34°C	0.988		34°C	1.000
					31°C	34°C	0.998	31°C	34°C	0.958	31°C	34°C	0.999
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	0.009	0.999	25°C	28°C	0.999	25°C	28°C	0.993	25°C	28°C	1.000	
	70%	0.063	0.979		31°C	0.999		31°C	1.000		31°C	1.000	
	80%	0.067	0.977		34°C	0.999		34°C	0.986		34°C	0.988	
					28°C	31°C	1.000	28°C	31°C	0.997	28°C	31°C	1.000
						34°C	1.000		34°C	1.000		34°C	0.990
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.993	31°C	34°C	0.984

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

表 F-6 女性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚紅斑指數(erythema-index, E-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側															
	25°C	0.035	0.966	60%	70%	0.985	60%	70%	0.418	60%	70%	1.000	60%	70%	0.932
	28°C	0.977	0.399		80%	0.996		80%	0.925		80%	0.975		80%	0.995
	31°C	0.038	0.963	70%	80%	0.967	70%	80%	0.638	70%	80%	0.969	70%	80%	0.895
	34°C	0.124	0.884												
前臂外側															
	25°C	0.063	0.939	60%	70%	0.948	60%	70%	0.998	60%	70%	0.966	60%	70%	0.999
	28°C	0.027	0.974		80%	0.999		80%	0.975		80%	0.992		80%	0.937
	31°C	0.035	0.966	70%	80%	0.961	70%	80%	0.987	70%	80%	0.991	70%	80%	0.926
	34°C	0.096	0.909												

^a E-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : p -value < 0.05 , ** : p -value < 0.01

附錄 G 全體人員、男性、女性上臂內側與前臂外側皮膚於各溫濕度組合下黑素指數(Melanin-index, M-index)之檢定



表 G-1 全體人員於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value		
上臂內側												
	60%	1.193	0.323	25°C	28°C	0.998	25°C	28°C	0.992	25°C	28°C	0.986
	70%	1.030	0.389		31°C	0.566		31°C	0.570		31°C	0.963
	80%	0.323	0.808		34°C	0.574		34°C	0.627		34°C	0.814
				28°C	31°C	0.674	28°C	31°C	0.744	28°C	31°C	0.999
					34°C	0.681		34°C	0.794		34°C	0.950
				31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.978
前臂外側												
	60%	0.253	0.859	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.956
	70%	0.212	0.887		31°C	0.936		31°C	0.980		31°C	0.875
	80%	0.351	0.788		34°C	0.933		34°C	0.948		34°C	0.831
				28°C	31°C	0.955	28°C	31°C	0.969	28°C	31°C	0.995
					34°C	0.953		34°C	0.930		34°C	0.986
				31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.999	31°C	34°C	1.000

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定；*：p-value < 0.05，**：p-value < 0.01

表 G-2 全體人員於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.305	0.739	60%	70%	1.000	60%	70%	0.994	60%	70%	0.996	60%	70%	0.986
	28°C	0.394	0.678		80%	0.793		80%	0.718		80%	0.970		80%	0.974
	31°C	0.031	0.969	70%	80%	0.801	70%	80%	0.781	70%	80%	0.987	70%	80%	0.924
	34°C	0.079	0.924												
前臂外側	25°C	0.045	0.956	60%	70%	0.961	60%	70%	0.994	60%	70%	1.000	60%	70%	0.987
	28°C	0.163	0.850		80%	0.999		80%	0.864		80%	0.983		80%	0.957
	31°C	0.022	0.978	70%	80%	0.973	70%	80%	0.912	70%	80%	0.984	70%	80%	0.991
	34°C	0.044	0.957												

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p-value < 0.05 , ** : p-value < 0.01

表 G-3 男性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較			
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	1.450	0.258	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.961	25°C	28°C	0.714	
	70%	1.474	0.252		31°C	0.576		31°C	0.309		31°C	0.497	
	80%	1.110	0.368		34°C	0.568		34°C	0.646		34°C	0.493	
					28°C	31°C	0.531	28°C	31°C	0.579	28°C	31°C	0.984
						34°C	0.532		34°C	0.900		34°C	0.983
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.932	31°C	34°C	1.000
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	0.075	0.973	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	0.977	
	70%	0.058	0.981		31°C	0.994		31°C	0.999		31°C	0.955	
	80%	0.144	0.932		34°C	0.991		34°C	0.988		34°C	0.956	
					28°C	31°C	0.990	28°C	31°C	0.999	28°C	31°C	1.000
						34°C	0.985		34°C	0.988		34°C	1.000
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.998	31°C	34°C	1.000

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p-value < 0.05 , ** : p-value < 0.01

表 G-4 男性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側	25°C	0.183	0.834	60%	70%	0.997	60%	70%	0.885	60%	70%	0.933	60%	70%	0.958
	28°C	1.210	0.326		80%	0.890		80%	0.339		80%	0.898		80%	0.929
	31°C	0.121	0.887	70%	80%	0.858	70%	80%	0.599	70%	80%	0.996	70%	80%	0.798
	34°C	0.231	0.797												
前臂外側	25°C	0.973	0.973	60%	70%	0.978	60%	70%	0.968	60%	70%	0.999	60%	70%	0.980
	28°C	0.869	0.869		80%	1.000		80%	0.870		80%	0.969		80%	0.969
	31°C	0.965	0.965	70%	80%	0.980	70%	80%	0.963	70%	80%	0.980	70%	80%	0.999
	34°C	0.965	0.965												

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定;* : p-value < 0.05 , ** : p-value < 0.01

表 G-5 女性受測者於同一相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			60%之 Scheffé's 多重比較			70%之 Scheffé's 多重比較			80%之 Scheffé's 多重比較			
上臂內側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	0.496	0.689	25°C	28°C	0.994	25°C	28°C	1.000	25°C	28°C	1.000	
	70%	0.526	0.670		31°C	0.807		31°C	0.899		31°C	0.999	
	80%	0.163	0.920		34°C	0.814		34°C	0.775		34°C	0.973	
					28°C	31°C	0.918	28°C	31°C	0.929	28°C	31°C	1.000
						34°C	0.923		34°C	0.821		34°C	0.949
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.994	31°C	34°C	0.946
前臂外側	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			
	60%	0.578	0.636	25°C	28°C	0.995	25°C	28°C	0.999	25°C	28°C	0.951	
	70%	0.455	0.716		31°C	0.765		31°C	0.923		31°C	0.796	
	80%	0.605	0.619		34°C	0.794		34°C	0.891		34°C	0.670	
					28°C	31°C	0.884	28°C	31°C	0.868	28°C	31°C	0.980
						34°C	0.905		34°C	0.828		34°C	0.928
					31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	1.000	31°C	34°C	0.996

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定；*：p-value < 0.05，**：p-value < 0.01

表 G-6 女性受測者於同一環境溫度(°C)、不同相對濕度(%)下，上臂內側與前臂外側皮膚黑素指數(melanin-index, M-index)之統計檢定^a

	One-way ANOVA 檢定			25°C 之 Scheffé's 多重比較			28°C 之 Scheffé's 多重比較			31°C 之 Scheffé's 多重比較			34°C 之 Scheffé's 多重比較		
	F-value	p-value		p-value			p-value			p-value			p-value		
上臂內側															
	25°C	0.231	0.796	60%	70%	0.998	60%	70%	0.989	60%	70%	0.945	60%	70%	0.999
	28°C	0.055	0.947		80%	0.829		80%	0.984		80%	0.825		80%	0.998
	31°C	0.195	0.825	70%	80%	0.858	70%	80%	0.947	70%	80%	0.960	70%	80%	0.995
	34°C	0.005	0.995												
前臂外側															
	25°C	0.063	0.939	60%	70%	0.942	60%	70%	0.991	60%	70%	0.997	60%	70%	0.997
	28°C	0.149	0.863		80%	0.994		80%	0.926		80%	1.000		80%	0.957
	31°C	0.004	0.996	70%	80%	0.972	70%	80%	0.872	70%	80%	0.996	70%	80%	0.975
	34°C	0.048	0.953												

^a M-index 差異以 One-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定; * : $p\text{-value} < 0.05$, ** : $p\text{-value} < 0.01$

附錄 H 皮膚生理指標間因應環境熱因子變化之非線
性反應-時程關係



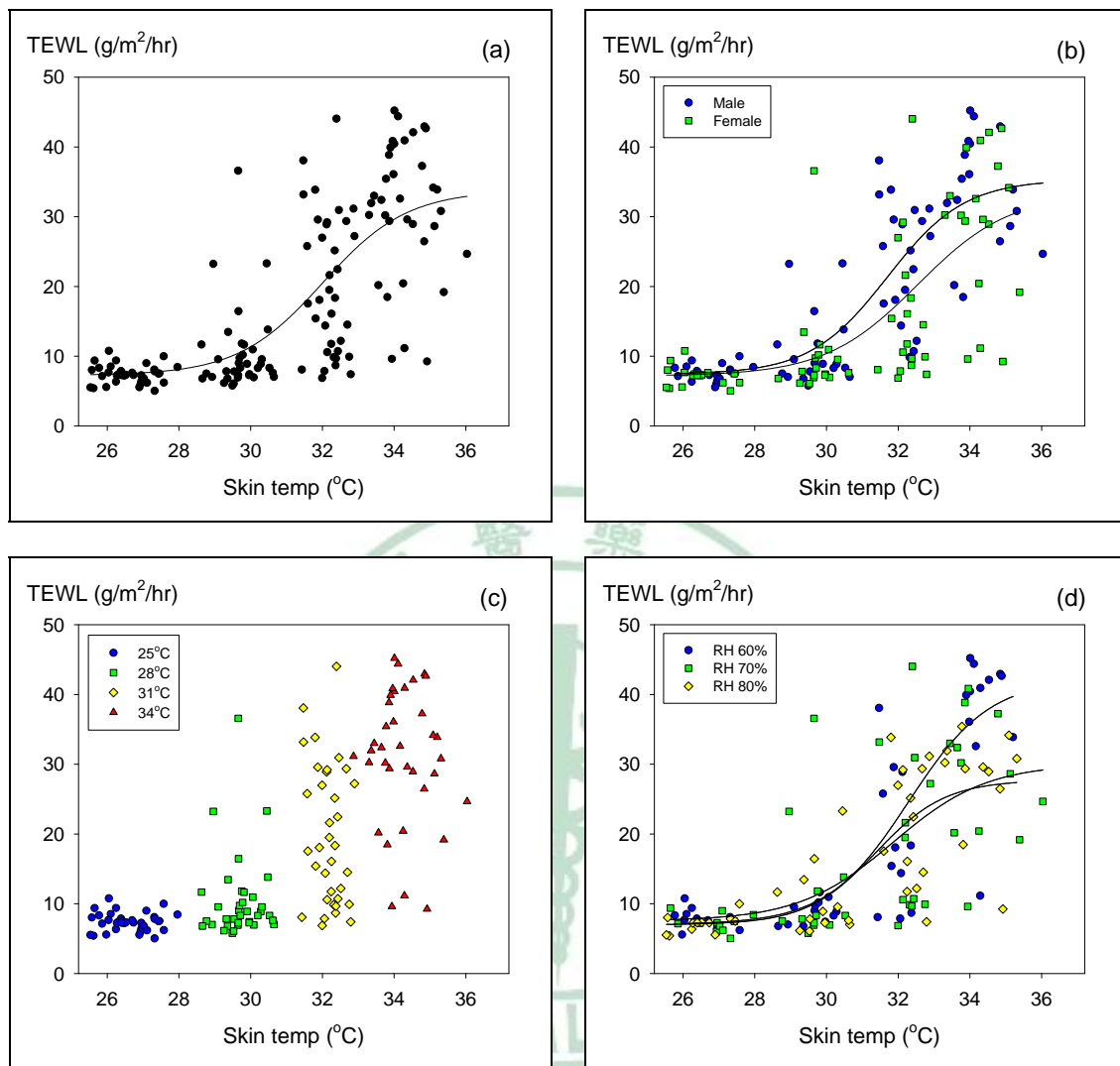


圖 H-1 全體人員(a)前臂外側皮膚經皮水分散濕度(transdermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temp)之分佈與非線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 H-1 全體人員前臂外側皮膚經皮水分散濕度(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之非線性迴歸方程式及相關係數

	Regression equation	R ²
Overall	$y = 7.25 + \frac{26.51}{1 + e^{-\frac{x - 32.01}{1.18}}}$	0.54
Male	$y = 7.41 + \frac{27.90}{1 + e^{-\frac{x - 31.70}{1.08}}}$	0.69
Female	$y = 7.18 + \frac{26.17}{1 + e^{-\frac{x - 32.54}{1.29}}}$	0.44
RH ^a		
60%	$y = 7.03 + \frac{35.21}{1 + e^{-\frac{x - 32.29}{1.14}}}$	0.67
70%	$y = 7.54 + \frac{22.54}{1 + e^{-\frac{x - 31.86}{1.31}}}$	0.42
80%	$y = 7.00 + \frac{20.73}{1 + e^{-\frac{x - 31.38}{0.97}}}$	0.61

^a RH = relative humidity

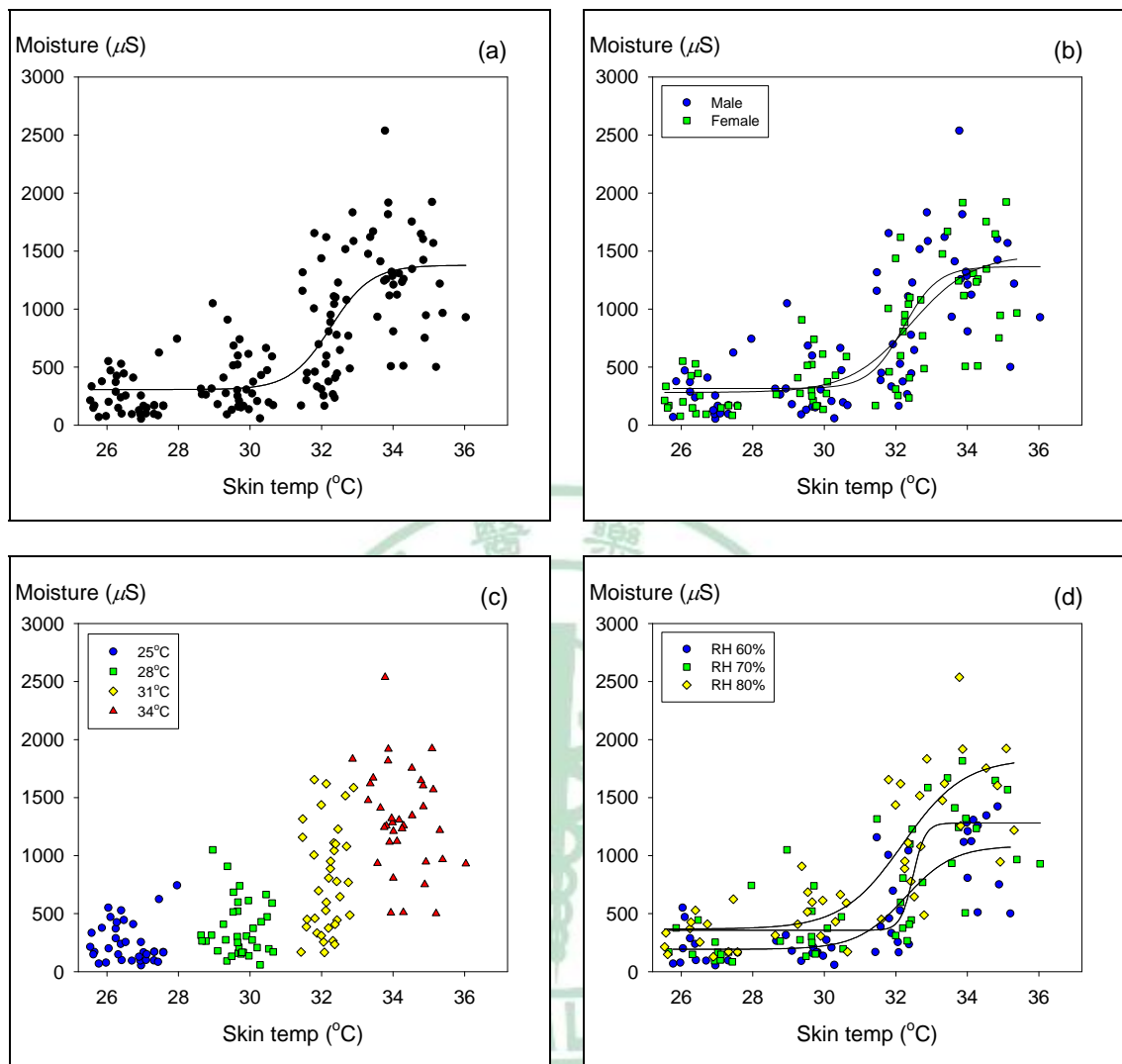


圖 H-2 全體人員(a)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應皮膚溫度(skin temp)之分佈與非線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 H-2 全體人員前臂外側皮膚濕度 (moisture) 對應皮膚溫度 (skin temperature) 之非線性迴歸方程式及相關係數

	Regression equation	R ²
Overall	$y = 307.0 + \frac{1071}{1 + e^{-\frac{x-32.25}{0.57}}}$	0.56
Male	$y = 316.0 + \frac{1051}{1 + e^{-\frac{x-32.21}{0.48}}}$	0.57
Female	$y = 282.5 + \frac{1185}{1 + e^{-\frac{x-32.42}{0.86}}}$	0.56
RH ^a		
60%	$y = 193.3 + \frac{891.2}{1 + e^{-\frac{x-32.26}{0.67}}}$	0.65
70%	$y = 357.6 + \frac{932.8}{1 + e^{-\frac{x-32.48}{0.17}}}$	0.60
80%	$y = 367.8 + \frac{1468}{1 + e^{-\frac{x-32.20}{0.85}}}$	0.65

^a RH = relative humidity

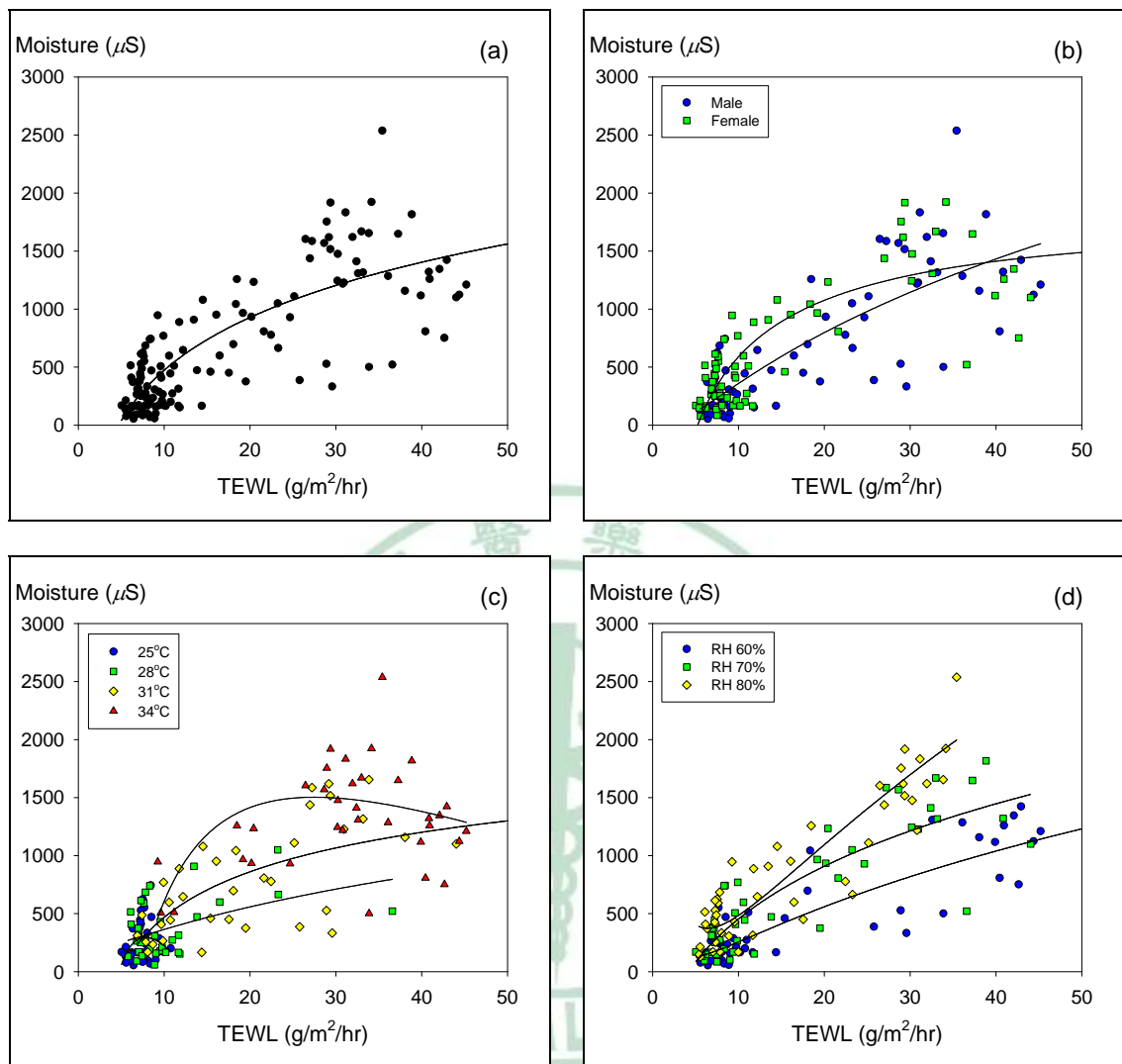


圖 H-3 全體人員(a)前臂外側皮膚濕度(moisture)對應經皮水分散濕度 (transepidermal water loss, TEWL)之分佈與非線性迴歸及其對應(b)性別、(c)環境溫度、(d)相對濕度之分佈

表 H-3 全體人員前臂外側皮膚濕度(moisture)對應經皮水分散濕度 (transepidermal water loss, TEWL)之非線性迴歸方程式及相關係數

	Regression equation	R ²
Overall	$y = -890.4 + 543.1 \ln x + 21.37(\ln x)^2$	0.61
Male	$y = 305.7 - 445.3 \ln x + 203.5(\ln x)^2$	0.65
Female	$y = -2114 + 1536 \ln x + 157.3(\ln x)^2$	0.63
Temp		
25°C	$y = -4777 + 4931 \ln x - 1198(\ln x)^2$	0.11
28°C	$y = 323.7 - 184.5 \ln x + 87.76(\ln x)^2$	0.21
31°C	$y = -1207 + 852.5 \ln x - 54.11(\ln x)^2$	0.44
34°C	$y = -8126 + 5811 \ln x - 876.6(\ln x)^2$	0.22
RH ^a		
60%	$y = 512.8 - 533.2 \ln x + 183.3(\ln x)^2$	0.76
70%	$y = -451.0 + 191.6 \ln x + 87.51(\ln x)^2$	0.76
80%	$y = 2279 - 2054 \ln x + 553.4(\ln x)^2$	0.77

^a RH = relative humidity