

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0501

日光紫外線及濕熱環境之皮膚暴露危害
與防曬乳液效能評估

**Health hazards from over-exposure to
solar ultraviolet light and thermal stress
and efficacy of sunscreens**

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：陳振華、黃彬芳 博士

學生：陳玉潔 Yu-Chieh Chen

學號：9772001

中華民國 99 年 7 月

誌謝

兩年的碩士生涯中於邁向句點了，感謝 您們這一路來的教誨與建議，使我獲益良多。首先感謝我的指導教授 陳振華老師，感謝 您的循循善誘的教誨與不拘一格的思路給予我無盡的啟迪，使我不論在做實驗或撰寫論文時，有確切的目標且思緒更加縝密；也謝謝 老師不遺餘力地修改我的論文，讓我的論文寫得更臻完善，真的是辛苦 您。在研究所兩年期間， 老師亦時常關心我的生活近況與健康，很慶幸可以成為 老師您的學生。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，使我的實驗數據分析更加完善。感謝兩位論文口試委員 林子平教授與 黃瑞隆教授，因為老師們的不吝指導與建議，使我的論文架構更加嚴謹完善。此外，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。

感謝介銘學長、育賢學弟、晏青學妹，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；尤其謝謝學長除了在協助實驗外，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。也感謝韋誠學弟與羽婷、詩吟、王尹 女勻學妹們，實驗室因為你們，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互相幫助與體諒。此外，特別感謝小葉、魏娃娃、郭丁丁、逼

逼、阿滿、思敏，每當我低潮期、倦怠期，你們總是不移餘力地鼓勵我，讓我再度擁有信心面對不同的挑戰。最後，感謝我的家人：感謝我的胞弟胞妹，不時叮嚀我的研究進度與健康。感謝我的阿公阿嬤與爸媽，提供我一個溫暖的窩，因為你們的支持，讓我全心專注於我喜好之事物；因為你們的鼓勵，讓我勇於面對各種問題與挑戰；你們給予我衣食無缺的關心與照顧，讓我順利完成學業。

本論文獲得中國醫藥大學編號 CMU97-202 「應用非侵入性皮膚微血流測量評估戶外紫外線暴露與熱危害」校內計畫與國科會計畫編號 NSC 98-2221-E-039-012 「由綠建築邁向生態城市—以健康舒適及節能減熱觀點營造適應氣候之都市環境—子計畫二：日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估」之補助，感謝學校與國科會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、羅如惠等同仁提供台中地區民國 98 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。

轉眼間，已經兩年了，衷心感謝這一路上曾幫助過我的師長與朋友們，最後僅以本文獻給所有曾經支持我、關心我的人，謝謝你們。

陳玉潔 謹誌

中華民國九十九年七月

於中國醫藥大學職安系碩士班

摘要

受大氣臭氧層破壞及地表暖化影響，人類遭受日光紫外線及濕熱危害之暴露風險日增，國民使用防護措施之意識亦逐步提升。本論文旨在探討於日常活動中，遭受熱危害因子及自然紫外光暴露時，使用防曬乳液與否對人體皮膚生理反應變化之影響及影響幅度，並應用建立之生理指標評估紫外線所用防護乳液於濕熱地區如我國之適用性。研究所選定之皮膚生理指標包含：皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失度(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度、皮膚濕度、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)與黑色素沉澱指數(melanin-index, M-index)；主觀熱舒適感則以美國冷凍空調技師協會 Standard 55 標準問卷為基礎發展之中文問卷調查。研究包括二主要階段：戶外日光實驗測量受試者在日光曝曬下或戶外陰涼處之立即性皮膚生理反應；暴露艙實驗於人工氣候環境暴露艙內模擬不同環境溫濕度狀況。兩階段實驗皆評估實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未使用防曬乳液)受試者皮膚生理指標與人體熱舒適感隨不同環境物理因子改變所產生之變化，以分析生理指標與熱暴露間之劑量－反應關係、生理指標間之反應－時程關係、以及主、客觀指標間之可能差異。戶外日光實驗過程同時收集每日台中地區即時紫外光指數作為評估日光紫外光短期與累積輻射量之基準。

研究結果顯示：SBFC 為反應環境物理因子影響之高敏感、先期皮膚生理指標。戶外日光實驗結果發現：TEWL、皮膚濕度、以及 E-index 為警示因遭受短期(急性)紫外線輻射生成健康危害之較佳皮膚生理指標。皮膚障壁功能減低與紅斑生成現象於低劑量紫外光暴露(紫外光指數<6)時即可發生，並明顯反應遭受日光曝曬時皮膚使用防曬乳液與否所產生之生理變化差異，為評估乳液效能之良好指標。暴露艙實驗結果顯示：SBFC、TEWL、及皮膚溫度顯著地隨環境溫度改變而變化，但較不受環境相對濕度之作用；皮膚濕度為各生理指標中唯一可同時反應環境溫度與相對濕度影響者。上述指標間之反應一時程關係為：人體散熱需求增加時，皮膚微血流量增加以將熱量帶至表皮，而後表皮濕度顯著上升。隨皮膚濕度漸趨飽和，TEWL 增加以排出水分。散熱後皮膚溫度與周邊熱環境達到平衡。防曬乳液在皮膚表面形成類薄膜屏障，提供皮膚保溼效能，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離，因此遲滯 SBFC 與 TEWL 對外界熱環境變化之反應。熱感知投票值隨環境溫濕度上升而增加，尤以溫度效應最為明顯，且熱感知投票值與皮膚溫度之相關性最高($R^2 > 0.75$)。

關鍵字：皮膚微血流變化、日光紫外線曝曬、防曬乳液、皮膚生理指標、主觀熱感知

ABSTRACT

With the deterioration of atmospheric ozone and global warming continuing, the risks of exposure to solar UV radiation and heat stress have exacerbated in the last decades, and people nowadays have become increasingly familiar with the use of protective mechanisms. The research described in this thesis quantitatively investigated the physiological changes in the sunscreen-protected vs. -unprotected human skin in response to exposure to solar UV radiation and thermal stress. The skin physiology-based indicators were also applied to evaluate the effectiveness of sunscreen rendering protection when used in hot and humid areas such as Taiwan. The physiological indicators selected in the study included skin blood flow change (SBFC), transepidermal water loss (TEWL), skin temperature, skin moisture, erythema (E-index), and melanogenesis (M-index). Subjective thermal sensation was also gauged, using a standardized questionnaire developed by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers Standard 55. The research was conducted in two successive stages, the first being conducted outdoors to evaluate the immediate/prolonged changes in skin physiology of the subjects under the sun or in the shadow (the solar UV study) and the second to examine the patterns of physiological adjustment in response to alteration in thermal microclimate (the exposure chamber study). In both studies, the physiological indicators and thermal sensation of the treatment group (using sunscreens) and control group (not using sunscreens) were simultaneously assessed to develop dose-response relationships between dermal indicators and physical variables and to investigate any variations between physiological and psychological indicators, particularly as a result of

sunscreen application.

The results of the solar UV study show: SBFC was a physiological indicator highly sensitive to change in solar irradiation and microclimatic factors, thus serving well as a pre-clinical indicator. TEWL, skin moisture, and E-index well indicated the acute health hazard resulting from short-term solar UV irradiation. TEWL and E-index among all physiological indicators best differentiated the efficacy of sunscreen protecting against solar UV radiation at a level of UV Index 6 or less. As observed in the exposure chamber study, SBFC, TEWL, and skin temperature responded linearly to the alteration in environmental temperature, but less to the influence of relative humidity (RH). In contrast, skin moisture was the only indicator responded to influences from both environmental temperature and RH. Among the physiological indicators, skin temperature first changed in response to alteration in environmental temperature, and then SBFC increased to circulate the excess body heat to skin surface for dissipation. The skin moisture increased next to expel the heat absorbed in skin moisture to the skin surface. Once the moisture in the skin saturated, TEWL dramatically rose to evaporate water in stratum corneum. The heat dissipation cycle ended with the skin temperature being re-equilibrated with the thermal environment. 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 ($R^2 > 0.75$).

Keywords: Skin blood flow change, solar UV exposure, sunscreen, skin physiological indicator, thermal sensation

目錄

中文摘要	i
ABSTRACT	iii
目錄	v
表目錄	x
圖目錄	xx
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究之重要性	10
第三節 研究目的	11
第四節 研究假設	12
第五節 名詞界定	13
第二章 文獻探討	19
第一節 經皮水分散失量與皮膚濕度	19
第二節 紅斑與黑色素生成	22
第三節 經皮水分散失量與紅斑受溫度影響之測量	23
第四節 皮膚微血流變化	24
第五節 濕熱環境變化對皮膚生理反應及主觀熱感知之影響	26
第六節 防曬乳液對防護紫外線暴露傷害之效能	27

第七節	皮膚保養用品對皮膚生理現象之影響.....	29
第八節	戶外日光直射處與遮蔭處之紫外光量差異.....	31
第九節	人工氣候環境暴露艙於不同類別研究之應用.....	32
第十節	文獻總結.....	33
第十一節	研究架構.....	33
第三章	研究方法.....	37
第一節	研究設計.....	37
3.1.1	戶外日光實驗.....	38
3.1.2	暴露艙實驗.....	38
第二節	研究對象.....	39
3.2.1	基本人體計測資料.....	41
3.2.2	皮膚生理狀況自我評估.....	41
3.2.3	夏季戶外活動狀況.....	41
3.2.4	夏季衣著量.....	46
第三節	研究儀器設備與工具.....	47
3.3.1	測量皮膚生理指標之儀器.....	47
3.3.2	測量與記錄環境物理因子之儀器.....	47
3.3.3	人工氣候環境暴露艙.....	49
3.3.4	實驗使用防曬乳液及成份說明.....	53

3.3.5	熱感知問卷	55
第四節	資料收集	55
3.4.1	戶外日光實驗流程	55
3.4.2	暴露艙實驗流程	60
3.4.3	日光紫外線指數與累積輻射劑量之計算	62
第五節	資料統計與分析	63
3.5.1	戶外日光實驗結果統計分析	63
3.5.2	暴露艙實驗結果統計分析	66
3.5.3	日光曝曬與否皮膚生理指標變化之比較	69
第四章	研究結果與討論	71
第一節	戶外日光實驗結果	71
4.1.1	日光紫外線輻射對皮膚微血流變化量之影響	71
4.1.2	日光紫外線輻射對經皮水分散失量之影響	95
4.1.3	日光紫外光輻射對皮膚溫度之影響	123
4.1.4	日光紫外線輻射對皮膚濕度之影響	148
4.1.5	日光紫外線輻射對紅斑生成之影響	169
4.1.6	日光紫外線輻射對黑色素沉澱之影響	197
4.1.7	環境物理力與使用防曬乳液與否對於主客觀熱舒適指標 之綜合影響分析	219

4.1.8	日光曝曬與否皮膚生理指標變化之比較.....	242
第二節	暴露艙實驗結果.....	249
4.2.1	室內環境熱因子對皮膚微血流變化量之影響.....	249
4.2.2	室內環境熱因子對經皮水分散失量之影響.....	260
4.2.3	室內環境熱因子對皮膚溫度之影響.....	272
4.2.4	室內環境熱因子對皮膚濕度之影響.....	285
4.2.5	不同風速因子對皮膚生理指標之影響.....	298
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	302
4.2.7	環境物理力與使用防曬乳液與否對於主客觀熱舒適指標 之綜合影響分析.....	339
4.2.8	戶外日光實驗與暴露艙實驗中皮膚生理指標之差異.....	345
第五章	結論與建議.....	350
第一節	結論.....	350
第二節	研究限制.....	352
第三節	應用與建議.....	353
參考文獻	357
附錄 A	中國醫藥大學公共衛生學院倫理委員會研究計畫同意書.....	371
附錄 B	實驗受試者基本資料調查.....	374
附錄 C	環境熱舒適問卷.....	388

附錄 D 台灣中部地區 98 年夏季每日紫外線指數即時測報資料.....390



表目錄

表 1-1	日光紫外線曝曬可生成之健康傷害、傷害部位、與疾病症狀 ... 4
表 1-2	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 7
表 3-1	戶外日光實驗與暴露艙實驗受試人員之人體計測資料 42
表 3-2	受試人員自覺皮膚生理狀況 43
表 3-3	戶外日光實驗之受試人員於 2009 年夏季戶外活動狀況 45
表 3-4	夏季白日外出時最常穿著之衣物 48
表 3-5	18 種環境物理因子變項組合均勻性之結果 51
表 3-6	單一風速變項組合時環境物理因子均勻性調查結果 54
表 4-1	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中皮膚微血流變化量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 79
表 4-2	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中皮膚微血流變化量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 80
表 4-3	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚微血流變化量之關係 94
表 4-4	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗

	中經皮水分散失量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	105
表 4-5	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗 中經皮水分散失量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	107
表 4-6	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與經皮水分散失 量之關係	120
表 4-7	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗 中皮膚溫度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 ...	130
表 4-8	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗 中皮膚溫度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 ...	131
表 4-9	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚溫度之關 係.....	145
表 4-10	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗 中皮膚濕度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 ...	156
表 4-11	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗 中皮膚濕度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定 ...	157
表 4-12	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚濕度之關 係.....	170
表 4-13	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗	

	中紅斑指數之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定 ...	180
表 4-14	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗 中紅斑指數之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定 ...	181
表 4-15	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與紅斑指數之關係.....	194
表 4-16	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗 中黑素指數之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定 ...	205
表 4-17	實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗 中黑素指數之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定 ...	206
表 4-18	以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與黑素指數之關係.....	218
表 4-19	戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知 對應紫外光指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、 環境風速、使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式、複相關係 數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	222
表 4-20	戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知 對應紫外光指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、 環境風速、使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式、複 相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢	

定.....	224
表 4-21 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知 對應紫外光指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、 環境風速、使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸 法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與 統計檢定	226
表 4-22 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知 對應紫外光指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、 環境風速、使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式逐步 迴歸法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診 斷與統計檢定	227
表 4-23 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知 對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、 使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定 係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	229
表 4-24 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標對應環境乾球 溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、使用防曬乳液 與否之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複 判定係數、共線性診斷與統計檢定	230

- 表 4-25 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知
對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、
使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、
複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定 232
- 表 4-26 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標對應環境乾球
溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、使用防曬乳液
與否之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、
調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定 233
- 表 4-27 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知
對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、
使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係
數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定 235
- 表 4-28 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標對應環境乾球
溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、使用防曬乳液
與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係數、複判定係
數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定 236
- 表 4-29 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知
對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、
使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複

	相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定.....	237
表 4-30	戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速多項式使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	238
表 4-31	戶外日光實驗前臂外側皮膚生理指標對應紫外光指數、累積性日光紫外線、使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式、標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	240
表 4-32	戶外日光實驗前臂外側皮膚生理指標對應紫外光指數、累積性日光紫外線、使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	241
表 4-33	日光照射區與戶外陰涼區實驗組前臂外側皮膚生理指標之威爾考克森符號等級檢定統計量與檢定結果	243
表 4-34	日光照射區與戶外陰涼區控制組前臂外側皮膚生理指標之威爾考克森符號等級檢定統計量與檢定結果	244
表 4-35	日光照射區與戶外陰涼區實驗組前臂外側皮膚生理指標之威爾	

	考克森符號等級檢定等級表	245
表 4-36	日光照射區與戶外陰涼區控制組前臂外側皮膚生理指標之威爾考克森符號等級檢定等級表	246
表 4-37	實驗組與控制組之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚微血流變化量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	251
表 4-38	實驗組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚微血流變化量之統計檢定	252
表 4-39	實驗組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側皮膚微血流變化量之統計檢定	254
表 4-40	控制組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚微血流變化量之統計檢定	255
表 4-41	控制組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側皮膚微血流變化量之統計檢定	256
表 4-42	實驗組與控制組之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之經皮水分散失量之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	264
表 4-43	實驗組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側經皮水分散失量之統計檢定	265
表 4-44	實驗組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側經皮水分散失量之統計檢定	266

表 4-45	控制組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側經皮水分散失量之統計檢定	267
表 4-46	控制組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側經皮水分散失量之統計檢定	268
表 4-47	實驗組與控制組之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚溫度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	275
表 4-48	實驗組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚溫度之統計檢定	276
表 4-49	實驗組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側皮膚溫度之統計檢定	278
表 4-50	控制組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚溫度之統計檢定	279
表 4-51	控制組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側皮膚溫度之統計檢定	280
表 4-52	實驗組與控制組之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚濕度之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定	287
表 4-53	實驗組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側皮膚濕度之統計檢定	289
表 4-54	實驗組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側皮膚濕	

	度之統計檢定	290
表 4-55	控制組於同一環境相對濕度、不同環境溫度下，前臂外側經皮膚濕度之統計檢定	291
表 4-56	控制組於同一環境溫度、不同環境相對濕度下，前臂外側經皮膚濕度之統計檢定	293
表 4-57	受試人員前臂外側皮膚微血流變化量對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖與線性迴歸及相關分析之統計檢定	310
表 4-58	受試人員前臂外側皮膚濕度對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖與非線性迴歸及相關分析之統計檢定	315
表 4-59	受試人員前臂外側皮膚微血流變化量對應皮膚濕度之 log 數值散佈圖與線性迴歸及相關分析之統計檢定	320
表 4-60	受試人員前臂外側經皮水分散失量對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖與非線性迴歸及相關分析之統計檢定	326
表 4-61	受試人員前臂外側皮膚微血流變化量對應經皮水分散失量之 log 數值散佈圖與非線性迴歸及相關分析之統計檢定	331
表 4-62	受試人員前臂外側皮膚濕度對應經皮水分散失量之 log 數值散佈圖與線性迴歸及相關分析之統計檢定	337
表 4-63	實驗組前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度與環境相對濕度以 two-way ANOVA 之統計檢定、F-value 與 p-value	

.....	340
表 4-64 控制組前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度與環境相對濕度以 two-way ANOVA 之統計檢定、F-value 與 p-value	
.....	341
表 4-65 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、使用防曬與否之多項式複迴歸方程式、標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	343
表 4-66 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知對應環境溫度、相對濕度、使用防曬與否之多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定	346
表 4-67 戶外日光實驗與暴露艙實驗中實驗組與控制組前臂外側皮膚生理指標之比值及統計檢定	347

圖目錄

圖 1-1	不同波段紫外光進入皮膚表皮層、真皮、及皮下組織的比例...2
圖 1-2	日光紫外光抵達地表過程中可影響輻射能量變化之環境因子...3
圖 1-3	暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害9
圖 2-1	本論文之研究架構與各階段進行之任務 34
圖 3-1	中國醫藥大學職業安全與衛生學系人工氣候環境暴露艙：(a)暴露艙實驗進行實況；(b)風速實驗進行實況；(c)暴露艙溫濕度控制台 50
圖 3-2	戶外日光實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量、經皮水分散失量、皮膚溫度、皮膚濕度、紅斑生成指數、黑素沉澱指數、人體熱感知之測量調查程序 57
圖 3-3	戶外日光實驗進行流程：(a)日光照射區與戶外陰涼區；(b)日光照射區實驗進行實況；及(c)戶外陰涼區實驗進行實況..... 58
圖 3-4	本研究實驗中受測人員所測量之皮膚部位。A 點位於前臂外側，為日光皮膚曝曬點；B 點位於上臂內側衣袖遮蓋處，為無日光曝曬之皮膚對照點 59
圖 3-5	暴露艙實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量、經皮水分散失量、皮膚溫度、皮膚濕度、人體熱感知之測量調查程序 61
圖 4-1	上臂內側皮膚微血流變化量對應曝曬期間日光紫外線指數之分

	佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	72
圖 4-2	前臂外側皮膚微血流變化量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	73
圖 4-3	上臂內側皮膚微血流變化量對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	75
圖 4-4	前臂外側皮膚微血流變化量對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	76
圖 4-5	日光照射區實驗之上臂內側皮膚微血流變化量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	83
圖 4-6	日光照射區實驗之前臂外側皮膚微血流變化量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	84
圖 4-7	戶外陰涼區實驗之上臂內側皮膚微血流變化量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	85
圖 4-8	戶外陰涼區實驗之前臂外側皮膚微血流變化量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	86
圖 4-9	日光照射區與戶外陰涼區上臂內側皮膚微血流變化量比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	89
圖 4-10	日光照射區與戶外陰涼區前臂外側皮膚微血流變化量比值對應	

	綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	90
圖 4-11	上臂內側皮膚微血流變化量對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	92
圖 4-12	前臂外側皮膚微血流變化量對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	93
圖 4-13	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應皮膚微血流變化量之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	96
圖 4-14	前臂外側於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應皮膚微血流變化量之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	97
圖 4-15	上臂內側經皮水分散失量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	98
圖 4-16	前臂外側經皮水分散失量對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	99
圖 4-17	上臂內側經皮水分散失量對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	102
圖 4-18	前臂外側經皮水分散失量對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	103
圖 4-19	日光照射區實驗之上臂內側經皮水分散失量對應綜合溫度熱指	

	數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	108
圖 4-20	日光照射區實驗之前臂外側經皮水分散失量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	109
圖 4-21	戶外陰涼區實驗之上臂內側經皮水分散失量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	111
圖 4-22	戶外陰涼區實驗之前臂外側經皮水分散失量對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	112
圖 4-23	日光照射區與戶外陰涼區上臂內側經皮水分散失量比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	115
圖 4-24	日光照射區與戶外陰涼區前臂外側經皮水分散失量比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	116
圖 4-25	上臂內側經皮水分散失量對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	117
圖 4-26	前臂外側經皮水分散失量對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	118
圖 4-27	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應經皮水分散失量之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	121
圖 4-28	前臂外側於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應經皮水分散失	

	量之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	122
圖 4-29	上臂內側皮膚溫度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性 迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	124
圖 4-30	前臂外側皮膚溫度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性 迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	125
圖 4-31	上臂內側皮膚溫度對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之 分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	127
圖 4-32	前臂外側皮膚溫度對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之 分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	128
圖 4-33	日光照射區實驗上臂內側皮膚溫度對應綜合溫度熱指數之分佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	134
圖 4-34	日光照射區實驗前臂外側皮膚溫度對應綜合溫度熱指數之分佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	135
圖 4-35	戶外陰涼區實驗上臂內側皮膚溫度對應綜合溫度熱指數之分佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	136
圖 4-36	戶外陰涼區實驗前臂外側皮膚溫度對應綜合溫度熱指數之分佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	137
圖 4-37	日光照射區與戶外陰涼區上臂內側皮膚溫度比值對應綜合溫度 熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	140

圖 4-38	日光照射區與戶外陰涼區前臂外側皮膚溫度比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	141
圖 4-39	上臂內側皮膚溫度對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	142
圖 4-40	前臂外側皮膚溫度對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	143
圖 4-41	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應皮膚溫度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	146
圖 4-42	前臂外側於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應皮膚溫度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	147
圖 4-43	上臂內側皮膚濕度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	149
圖 4-44	前臂外側皮膚濕度對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	150
圖 4-45	上臂內側皮膚濕度對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	152
圖 4-46	前臂外側皮膚濕度對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	153
圖 4-47	日光照射區實驗之上臂內側皮膚濕度對應綜合溫度熱指數之分	

	佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	159
圖 4-48	日光照射區實驗之前臂外側皮膚濕度對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	160
圖 4-49	戶外陰涼區實驗之上臂內側皮膚濕度對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	161
圖 4-50	戶外陰涼區實驗之前臂外側皮膚濕度對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	162
圖 4-51	日光照射區與戶外陰涼區上臂內側皮膚濕度比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	165
圖 4-52	日光照射區與戶外陰涼區前臂外側皮膚濕度比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	166
圖 4-53	上臂內側皮膚濕度對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	167
圖 4-54	前臂外側皮膚濕度對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	168
圖 4-55	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應皮膚濕度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	171
圖 4-56	前臂外側於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應皮膚濕度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	172

圖 4-57	上臂內側紅斑指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	173
圖 4-58	前臂外側紅斑指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	174
圖 4-59	上臂內側紅斑指數對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	177
圖 4-60	前臂外側紅斑指數對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	178
圖 4-61	日光照射區實驗之上臂內側紅斑指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	184
圖 4-62	日光照射區實驗之前臂外側紅斑指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	185
圖 4-63	戶外陰涼區實驗之上臂內側紅斑指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	186
圖 4-64	戶外陰涼區實驗之前臂外側紅斑指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	187
圖 4-65	日光照射區與戶外陰涼區上臂內側紅斑指數比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	189
圖 4-66	日光照射區與戶外陰涼區前臂外側紅斑指數比值對應綜合溫度	

	熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	190
圖 4-67	上臂內側紅斑指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	192
圖 4-68	前臂外側紅斑指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	193
圖 4-69	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應紅斑指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	195
圖 4-70	前臂外側於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應紅斑指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	196
圖 4-71	上臂內側黑素指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	198
圖 4-72	前臂外側黑素指數對應曝曬期間日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	199
圖 4-73	上臂內側黑素指數對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	201
圖 4-74	前臂外側黑素指數對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	202
圖 4-75	日光照射區實驗之上臂內側黑素指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組.....	208

圖 4-76	日光照射區實驗之前臂外側黑素指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	209
圖 4-77	戶外陰涼區實驗之上臂內側黑素指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	210
圖 4-78	戶外陰涼區實驗之前臂外側黑素指數對應綜合溫度熱指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	211
圖 4-79	上臂內側黑素指數比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	213
圖 4-80	前臂外側黑素指數比值對應綜合溫度熱指數比值之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	214
圖 4-81	上臂內側黑素指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	216
圖 4-82	前臂外側黑素指數對應曝曬期間累積性日光紫外線之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	217
圖 4-83	前臂外側於日光照射區實驗之熱感知投票值對應黑素指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	220
圖 4-84	前臂外側)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值對應黑素指數之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	221
圖 4-85	前臂外側之皮膚微血流變化量對應室內溫度與相對濕度變化之	

	分佈趨勢：(a)實驗組、(b)控制組	250
圖 4-86	前臂外側之皮膚微血流變化量對應環境綜合溫度熱指數之分佈 趨勢：(a)實驗組、(b)控制組	258
圖 4-87	前臂外側之皮膚微血流變化量對應環境綜合溫度熱指數之散佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	259
圖 4-88	暴露艙實驗熱感知投票值對應前臂外側皮膚微血流變化量之分 佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	261
圖 4-89	前臂外側之經皮水分散失量對應室內溫度與相對濕度變化之分 佈趨勢：(a)實驗組、(b)控制組	262
圖 4-90	前臂外側之經皮水分散失量對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨 勢：(a)實驗組、(b)控制組	270
圖 4-91	前臂外側之經皮水分散失量對應環境綜合溫度熱指數之散佈與 線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	271
圖 4-92	暴露艙實驗熱感知投票值對應前臂外側經皮水分散失量之分佈 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	273
圖 4-93	前臂外側之皮膚溫度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨 勢：(a)實驗組、(b)控制組	274
圖 4-94	前臂外側之皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢：(a) 實驗組、(b)控制組	281

圖 4-95	前臂外側之皮膚溫度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	283
圖 4-96	暴露艙實驗熱感知投票值對應前臂外側皮膚溫度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	284
圖 4-97	前臂外側之皮膚濕度對應室內溫度與相對濕度變化之分佈趨勢：(a)實驗組、(b)控制組	286
圖 4-98	前臂外側之皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之分佈趨勢：(a)實驗組、(b)控制組	294
圖 4-99	前臂外側之皮膚濕度對應環境綜合溫度熱指數之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	296
圖 4-100	暴露艙實驗熱感知投票值對應前臂外側皮膚濕度之分佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	297
圖 4-101	戶外日光實驗風速散佈圖：(a)日光曝曬區、(b)戶外陰涼區 ..	299
圖 4-102	前臂外側之皮膚微血流變化量於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	300
圖 4-103	前臂外側之經皮水分散失量於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	301
圖 4-104	前臂外側之皮膚溫度於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對	

應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	303
圖 4-105 前臂外側之皮膚濕度於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對 應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	304
圖 4-106 前臂外側之皮膚微血流變化量、皮膚溫度、以及皮膚濕度於不同 環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組	306
圖 4-107 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	307
圖 4-108 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚溫度之 log 數值依不同 環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組	308
圖 4-109 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚溫度之 log 數值依不同 環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組	309
圖 4-110 前臂外側之皮膚濕度對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖與線性迴 歸：(a)實驗組、(b)控制組	312
圖 4-111 前臂外側之皮膚濕度對應皮膚溫度之 log 數值依不同環境溫度 區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組	313
圖 4-112 前臂外側之皮膚濕度對應皮膚溫度之 log 數值依不同環境相對 濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組	314
圖 4-113 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚濕度之 log 數值散佈圖 與線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組	317

- 圖 4-114 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚濕度之 log 數值依不同
環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 318
- 圖 4-115 前臂外側之皮膚微血流變化量對應皮膚濕度之 log 數值依不同
環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 319
- 圖 4-116 前臂外側之皮膚微血流變化量、皮膚溫度、以及經皮水分散失量
於不同環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 321
- 圖 4-117 前臂外側之經皮水分散失量對應皮膚溫度之 log 數值散佈圖與
非線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組 323
- 圖 4-118 前臂外側之經皮水分散失量對應皮膚溫度之 log 數值依不同環
境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 324
- 圖 4-119 前臂外側之經皮水分散失量對應皮膚溫度之 log 數值依不同環
境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 325
- 圖 4-120 前臂外側之皮膚微血流變化量對應經皮水分散失量之 log 數值
散佈圖與非線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組 328
- 圖 4-121 前臂外側之皮膚微血流變化量對應經皮水分散失量之 log 數值
依不同環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 329
- 圖 4-122 前臂外側之皮膚微血流變化量對應經皮水分散失量之 log 數值
依不同環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組 .. 330
- 圖 4-123 前臂外側之皮膚微血流變化量、皮膚濕度、以及經皮水分散失量

於不同環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組..... 333

圖 4-124 前臂外側之皮膚濕度對應經皮水分散失量之 log 數值散佈圖與

線性迴歸：(a)實驗組、(b)控制組..... 334

圖 4-125 前臂外側之皮膚濕度對應經皮水分散失量之 log 數值依不同環

境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組..... 335

圖 4-126 前臂外側之皮膚濕度對應經皮水分散失量之 log 數值依不同環

境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組、(b)控制組..... 336



第一章 緒論

第一節 研究背景

太陽光提供了地球上生物生長與維持生命所需的能量；日光是地球上人類與萬物生存必要之環境要素。陽光根據波長由短至長分為紫外光 (ultraviolet light, UV；約佔 8.3%)、可見光(visible light, VIS；約佔 38.9%)、以及紅外線(infrared light, IR；約佔 52.8%)所組成⁽¹⁾。當日光照射至皮膚時，由於紫外線的波長短(100-400 nm)、能量高，因此對於皮膚生理反應影響最劇⁽²⁾。圖 1-1 所示為 UVA 與 UVB 進入皮膚深層的比例。紫外線與可見光皆為源自太陽光的電磁波中的一部分，其電磁波之物理特性依據波長與頻率區分。

穿透臭氧層到達地表的紫外線主要由 UVA(波長為 315-400 nm)與少量的 UVB(波長為 280-315 nm)所組成。其中 UVB 所造成的生物性危害較 UVA 為高；過度日光曝曬對人體產生之危害約有 80%源自 UVB，另 20%源自 UVA⁽³⁾。圖 1-2 所示為大氣中可能影響紫外線傳遞的主要環境因素。遭受紫外光過度曝曬時，人體眼部及皮膚可能產生不同之急性與慢性傷害⁽⁴⁾ (表 1-1)。皮膚為身體最外層之組織，故因紫外光暴露而產生負面健康效應之機率遠高於其他器官。當皮膚遭受紫外線過度曝曬時，可能發生的異常皮膚生理與生化反應包括紅斑生成(erythema)⁽⁵⁾、表皮細胞異常

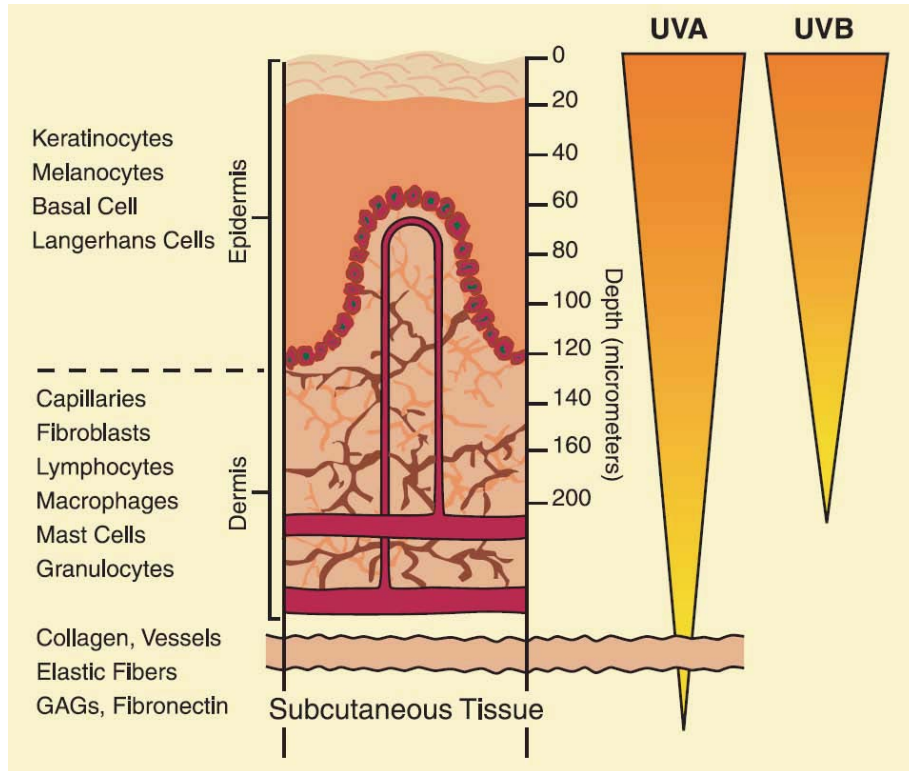


圖1-1 不同波段紫外光(UVA 與 UVB)進入皮膚表皮層、真皮、及皮下組織的比例⁽⁶⁾

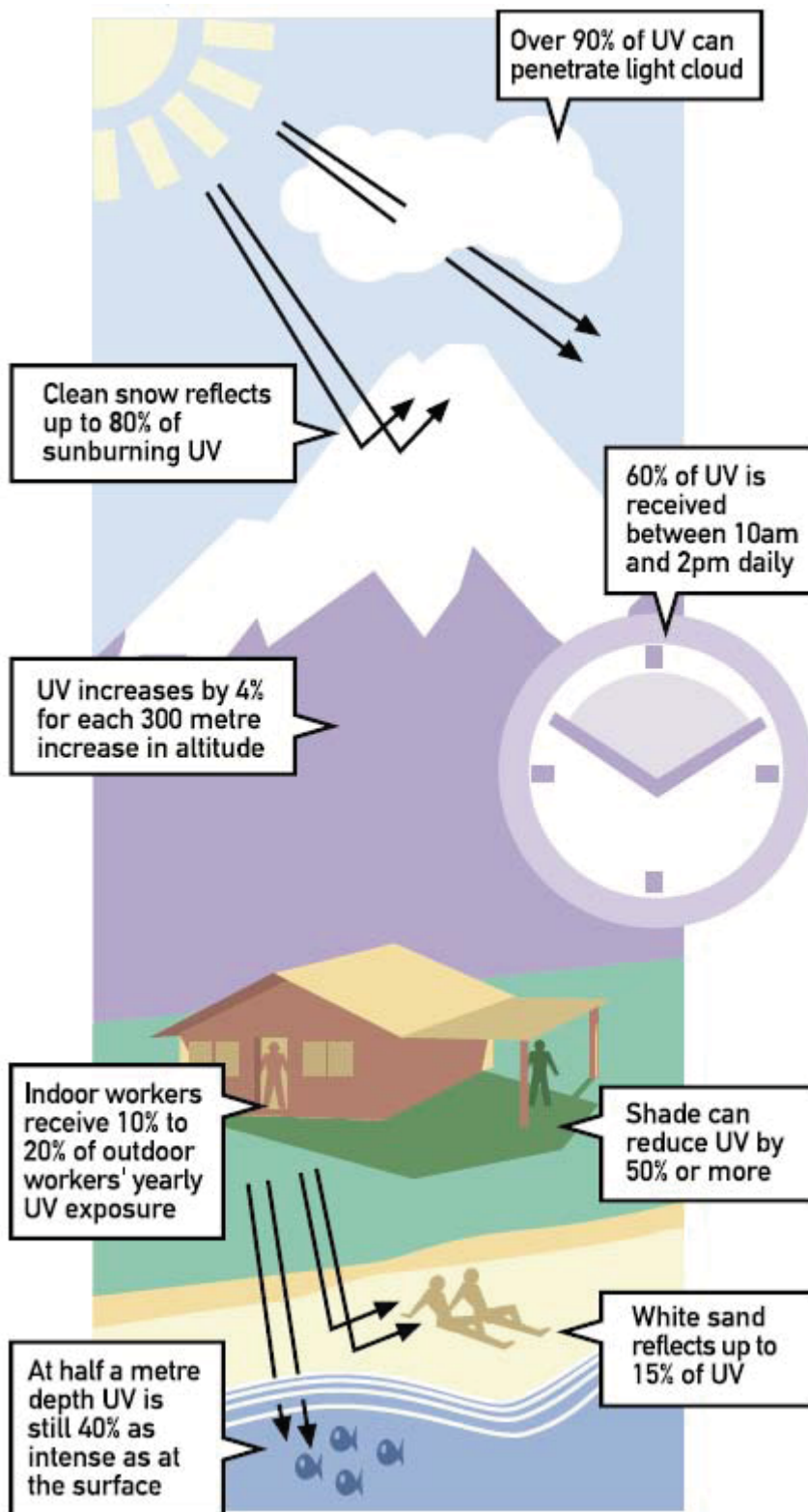


圖1-2 日光紫外光抵達地表過程中可影響輻射能量變化之環境因子⁽⁷⁾

表 1-1 日光紫外線(ultraviolet light, UV light)曝曬可生成之健康傷害、傷害部位、與疾病症狀

疾病	疾病與曝曬相關性	好發部位	症狀
黑素瘤	與兒童期曬傷密切相關	成人上背部、女性腿部	不規則色素長成鱗狀，有分泌物或流血肉瘤，外表變化有痛癢的感覺
非惡性黑素瘤	基底細胞癌及鱗狀細胞癌與慢性 UV light 曝曬有關	耳部周圍、臉部、唇部、手部	淺膚色者易發可能穿透皮膚，傷害骨質。形成鱗狀紅斑病變會延伸至其他部位
日光性角質化	日光曝曬為主因	手、手前肘、頸部鎖骨部位	黑素瘤的前身，皮膚變厚、變紅、變粗糙
白內障與其他	眼翳、眼部周圍皮膚癌、視網膜的變質與退化	水晶體、眼部周圍	水晶體透明度損害，可能導致失明
免疫系統傷害	二十四小時曝曬可導致白血球的抵禦功能降低		過量曝曬時，即使是深色肌膚的人亦容易損害其身體的免疫機制

資料來源：行政院環境保護署—空氣品質監測網：紫外線監測—認識紫外線
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/b12081.aspx>⁽⁴⁾

增生^(8,9)、細胞凋亡^(10,11)、黑色素沈澱⁽¹²⁾、以及免疫抑制^(13,14,15)等。但以上所述各端皆為皮膚遭受過度曝曬後、後期之臨床徵狀。晚近之研究則有利用皮膚微血流(skin microcirculation)變化作為皮膚遭受過度紫外光曝曬後之前臨床徵狀(pre-clinical symptoms)，用以觀察日光紫外光曝曬對皮膚之先期影響。

過去數十年間製造與使用氟氯碳化物(chlorofluorocarbons)等工業活動所產生的污染物不斷消耗平流層(stratosphere)中的臭氧，因而導致抵達地表的紫外線劑量日漸增加。其中以 UV-B 增加尤為顯著，因此使得紫外線暴露產生之健康危害風險日增⁽¹⁶⁾。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，增加人類罹患皮膚癌的可能性⁽¹⁷⁾，並造成如前述之各型皮膚傷害。

到達地表之紫外線強度主要是以紫外光指數(Global Solar UV Index, UVI)表示。UVI 為全球通用的日光紫外線曝曬指標與警示系統，並提供一般民眾預防紫外線暴露可採取的合適防護措施⁽⁷⁾。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 愈高，對皮膚與眼睛之危害愈大。當太陽升至最高點時，到達地表之紫外線最為強烈；但若太陽降至接近地平線時，紫外線之能量將會迅速地減少。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(圖 1-2)。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⁽⁷⁾。依據國際照明委員會(International Commission on Illumination, CIE)參考作用光譜所定義之 UVI 可表示為⁽⁷⁾：

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

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 $40 m^2/W$ 。當實際監測與報導 UVI 時，通常 UVI 會以「暴露等級」(exposure category)再加以區分。如表 1-2 中所示，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。

在防止過度日光曝曬可能引起的健康傷害方面，一般大眾，特別是女性常使用防曬霜或防曬乳液(sun screens or lotions)。在選用防曬品時，常以日光防曬係數(Sun Protection Factor, SPF)作為選擇的基礎。SPF 數值代表該防曬品在 UVB 照射下可延長保護肌膚不被曬紅、曬傷的時間倍數⁽¹⁸⁾。例如，原本 5 分鐘可產生曬紅的日光劑量，若使用 SPF 15 的防曬品時，可使皮膚被曬紅的時間延長 15 倍，所以曬紅所須時間為 5 乘 15 等於 75 分鐘。至於 UVA 防曬用品之防護能力則常以日本化妝品職業工會

表 1-2 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(SPF) 15 之防曬乳膏
3, 4, 5	低量	SPF 15 之防曬乳膏與防曬衣物
6, 7	中量	SPF 15 之防曬乳膏、防曬衣物、抗 UVA/ UVB 之太陽眼鏡
8, 9, 10	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
11+	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.⁽⁷⁾

依日本厚生省規範所制定之 UVA 防護級數(Protection Grade of UVA, PA) 值表示, PA+表輕度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 2-4 倍), PA++表中度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 4-8 倍), PA+++則表高度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 8 倍以上)⁽¹⁹⁾。

除了日光之外, 適宜的環境溫度與濕度是生物生長與維持生命的重要環境要素。然而極端的溫濕度環境則會對人體造成熱危害(thermal stress), 尤其目前地球溫室效應情形日益嚴重, 故高溫高濕環境暴露生成之健康效應危害日增。當暴露於極端溫濕度時, 人體會透過合適的生理反應(如排汗、增加體循環之血液流速)以維持生理恆定與避免有害之健康效應發生⁽²⁰⁾。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⁽²¹⁾。圖 1-3 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。

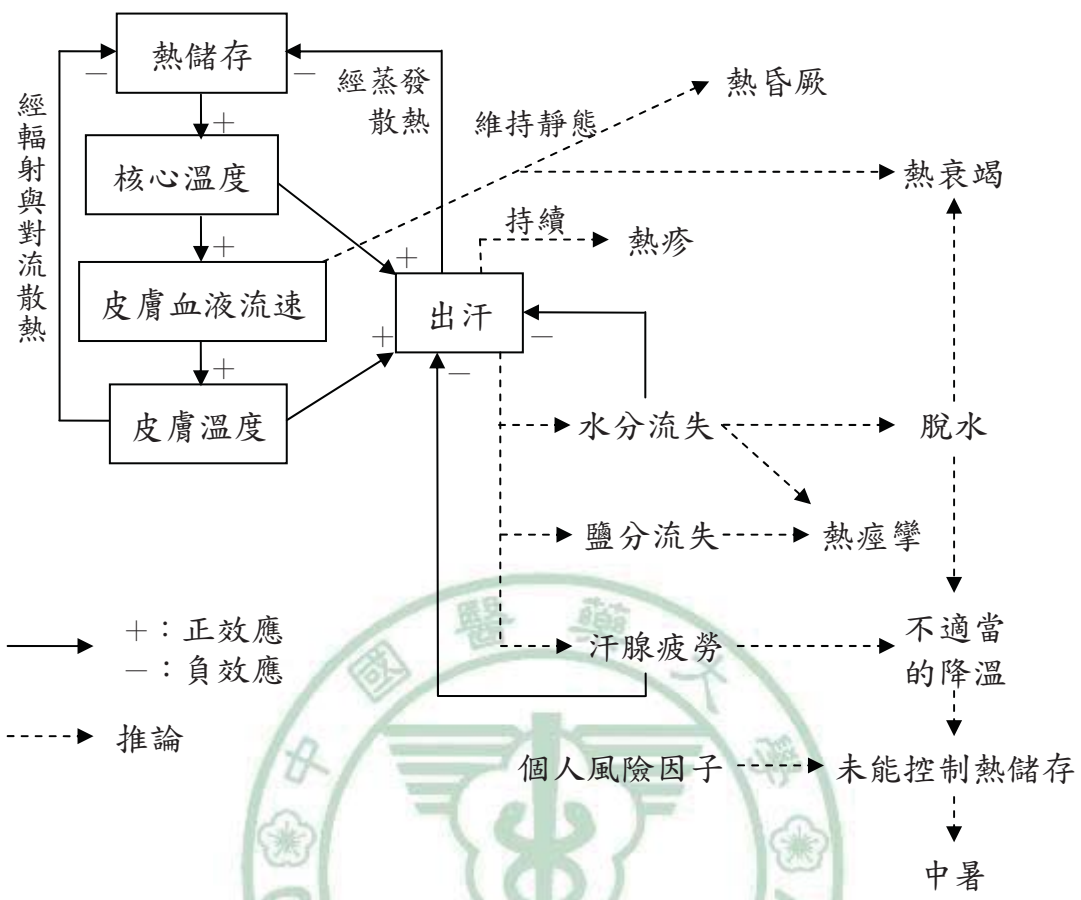


圖1-3 暴露於熱環境時人體生理效應與可能產生之熱危害⁽²⁰⁾

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產生。

第二節 研究之重要性

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)⁽²¹⁾是否超出建議暴露標準，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。再者，就作為危害警示工具而言，這些指數只考慮個別物理力暴露強度的影響，如紫外線指數的紫外線強度、綜合溫度熱指數中的濕熱環境因子，而未考慮在相同戶外環境下紫外線與濕熱環境因子的綜合效應。是故，目前的危害警示系統未能充分考量環境物理因子之交互作用對人體之影響，也未能在警示中提供上述影響之說明。近年來，國人使用防曬措施意識逐步提升，

但使用防曬乳液抗阻陽光紫外線對皮膚造成傷害之有效程度則較欠缺透過危害減量進行量化評估。此外，目前防曬乳液之使用規範(如 WHO 所推薦者)主要適用於高緯度地區及大陸型氣候區。此類規範在濕熱地區如我國之適用性及有效性亦尚未透過人體因應紫外光曝曬所產生之生理反應進行評估—如防曬乳液是否應過高之環境溫濕度易造成流失，故需增強補充頻率?另如在過高之環境溫濕度狀況下使用防曬乳液，是否會對人體熱舒適產生顯著影響?以上問題皆為探討日光紫外線及濕熱環境之皮膚暴露危害與因應防護措施效能評估時應探討者，亦為本論文研究之主要議題。

第三節 研究目的

本研究將探討不同環境物理因子，包含環境溫度、環境相對濕度、環境風速、日光紫外線輻射，對前臨床皮膚生理反應(皮膚微血流變化量 (skin blood flow change, SBFC))及臨床皮膚生理反應(經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)、皮膚濕度(skin moisture)、皮膚溫度(skin temperature)、紅斑生成(erythema)、以及黑色素沉澱(pigmentation))所產生之個別及綜合影響，並利用上項資訊評估使用防曬乳液之短期與累積性效能。此外亦評估主觀熱舒適(thermal comfort)認知與客觀皮膚生理反應間，在遭受不同環境物理因子影響與使用防曬乳液與否之狀況下，可能

存在之差異。主要研究目的包括：

1. SBFC 作為熱舒適乃至熱危害、及日光紫外線曝曬前臨床評估工具之可行性；
2. 各環境物理力影響前臨床與臨床皮膚生理指標變化之顯著性，以及不同物理力間對皮膚生理指標之影響方式；
3. 評估上項皮膚生理指標在未使用及使用防曬乳液之狀況下，隨環境物理因子影響所產生之變化差異，進而評估防曬乳液之使用是否會對皮膚生理指標之適用性產生干擾；
4. 藉由觀察短期與累積性皮膚不同生理指標之變化，量化評估防曬乳液之防護效能；並探討在使用防曬乳液狀況下，不同環境物理因子對主觀熱舒適感產生之影響，及該熱舒適感與客觀皮膚生理指標間之異同。

第四節 研究假設

本研究之主要研究假設包含：

1. 自然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效應愈趨於嚴重；
2. 皮膚生理因日光紫外線輻射所產生之變化幅度在使用防曬乳液時與未使用防曬乳液時不同；特定皮膚生理變化可適切反應防曬乳液對日光紫外線輻射之抗阻效能；

3. SBFC 應為因應環境物理力(日光紫外線輻射與熱環境改變)影響時皮膚生理變化之先期指標；
4. SBFC、TEWL、skin temperature、以及 skin moisture 隨著環境溫濕度之綜合效應而改變，各皮膚生理指標間之反應時程(time courses)與變化幅度具有一定差異；
5. SBFC、紅斑指數(erythema index, E-index)、黑素指數(melanin index, M-index)隨日光紫外線曝曬強度變化而改變；SBFC 以及 E-index 之改變在曝曬結束後可於短期內(數小時內)回復至接近背景值(baseline)，M-index 則須長時期避免曝曬方得降低；
6. 人體遭受日光紫外線與環境溫濕度影響時，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間之關聯性隨所觀察之生理指標不同，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；佔 38.9%)與 UV(佔 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(100-280 nm)。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 $J/m^2/hr$ 。在正常的強況下，出現紫外線指數最高時段通常為每日 12 時至 14 時之間。
3. 皮膚微血流測量所運用之雷射-都卜勒(Laser Doppler)技術：原理為皮膚動靜脈組織中之微血管可因應皮膚對於外界物理性、化學性或生物性危害調節之需而產生微血流通量(perfusion flux)及紅血球移動速率量變化，進而使得射入皮膚表面(表皮深度 $1\ \mu m$ 處)之雷射光折射量產生改變，構成血流量量化量測之基礎。
4. 皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)：當皮膚遭受物理性、化學性或生物性危害之初期傷害，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。皮膚微血流亦可因微氣候(microclimate)之改變而產生變化，如在高溫高濕環境中皮膚微血流量增加以釋放多餘體熱。
5. 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，皮膚障壁功能是最重要之評估依據。

6. 經皮水分散失量(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、在未自覺出汗之狀況下、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，此時所測量之 TEWL 會比一般健康皮膚高。
7. 紅斑生成(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受到傷害後 24 至 72 小時之間達高峰。
8. 黑色素沈澱(pigmentation)：日光紫外線能量的吸收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，亦稱為黑色素生成(melanogenesis)或曬黑(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 日達高峰。

9. 最小皮膚致紅劑量(minimal erythema dose, MED)：皮膚受日光紫外線照射時所產生之曬傷現象(sunburn)可利用 MED 表示。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，亦即在相同的日光紫外光強度下需要較長的曝曬時間才會出現曬傷，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。
10. 皮膚溫度(skin temperature)：一般人體皮膚平均溫度為 $33\text{ }^\circ\text{C}$ ，但皮膚溫度會隨著環境溫度而變化。同時與 TEWL 及皮膚濕度相較，皮膚溫度與主觀熱舒適感之關聯性最高⁽²²⁾，故為評估人體熱舒適時之重要參考指標。
11. 皮膚濕度(skin 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。
12. 日光防曬係數(Sun Protection Factor, SPF)：此一數值代表該防曬用品(防曬乳液、防曬霜)在 UVB 照射下可延長保護肌膚不被曬紅、曬傷的時間倍數。例如，原本 5 分鐘可產生曬紅的日光劑量，若使用 SPF 為 15 的防曬品時，可使皮膚被曬紅的時間延長 15 倍，所以曬紅所須時

間等於 75 分鐘。

13.UVA 防護級數(Protection Grade of UVA, PA)：由日本化妝品職業工會依日本厚生省規範所制定防曬用品之 UVA 之防護能力；PA+表輕度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 2-4 倍)，PA++表中度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 4-8 倍)，PA+++則表高度遮斷(可以延長皮膚曬黑時間 8 倍以上)。

14.熱舒適(thermal comfort)：美國冷凍空調協會(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)對熱舒適之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含空氣溫度(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)。

15.熱危害(thermal stress)：當周遭熱環境之變化造成人體主觀感受或生理反應產生危害性異常變化時，該熱環境即構成熱危害之環境(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。

16.綜合溫度熱指數(Wet- Bulb Globe Temperature Index)：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曝曬時可能產生多種反應，包括曬傷、細胞異常增生、及表皮屏障功能損傷等。有關源自日光紫外線曝曬導致的皮膚生理變化研究迄今有限，且相關科學研究鮮少量化日光紫外線造成的皮膚損傷。近年來的相關研究主要使用人工模擬紫外光照射啮齒類動物的角質層與表皮層，並觀察皮膚之生理變化⁽²³⁾。所觀察的皮膚生理變化主要為微血流變化、紅斑生成與黑色素沉澱。在職業衛生領域亦常以經皮水分散失量作為評估皮膚障壁功能的指標⁽²⁴⁾。

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)⁽²⁵⁾。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⁽²⁶⁾。

以下分別介紹上述指標：

第一節 經皮水分散失量與皮膚濕度

皮膚為良好的熱絕緣體，可有效阻止體內水分之散失，因此具有維

持體內生理恆定、阻擋外來物侵入之功能，此功能統稱為皮膚障壁功能⁽²⁷⁾。評估皮膚障壁功能及維持生理衡定時較常用的指標為經皮水分散失量(trans epidermal water loss, TEWL)。TEWL 為一非侵入性(non-invasive)之測量方式，主要原理係量測在未知覺流汗狀況下，量測水分以蒸氣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⁽²⁸⁾。在未自覺出汗的狀況下，TEWL 愈大，代表皮膚的屏障效能愈低⁽²³⁾。美國國家職業安全與衛生研究院(National Institute for Occupational Safety and Health)於近年亦訂定以 TEWL 評估工業化學物暴露導致皮膚障壁功能損害之標準⁽²⁴⁾。當人類皮膚遭受紫外線照射時，皮膚障壁功能完整性所受之傷害與紫外線波長和強度(暴露劑量)有關。曾有研究顯示，去毛鼠或小鼠之皮膚當遭受：(i)單一、高劑量的UVB 曝曬⁽²⁹⁾；(ii)重複、低於可引起紅斑生成劑量之UVB 曝曬⁽³⁰⁾；(iii)UVA 與 UVB 同時曝曬發生後⁽³¹⁾，TEWL 皆呈現上升趨勢。

皮膚表皮是一具滲透性之障壁，而此障壁主要由角質層細胞及細胞間質中存在的脂質所組成。這些脂質包含神經醯胺(ceramides)、膽固醇(glycerol)、游離脂肪酸(free fatty acids)，以及微量的非極性脂肪(non-polar lipids)與硫酸固醇(cholesterol sulfate)等。Meguro et al.⁽³²⁾研究經單一劑量(2 單位之最小致紅劑量)或連續劑量(每日 0.5 單位之最小致紅劑量；共 14 天)之 UVB 照射後，角質細胞間脂質多層結構之變化。此研究中發現暴

露三天後，去毛鼠皮膚之 TEWL 顯著地上升，且以共價方式結合的神經醯胺含量明顯下降，說明神經醯胺是維繫皮膚障壁功能之重要成分。Akitomo et al.⁽³³⁾利用 TEWL 評估倉鼠(hamsters)背部皮膚角質層因紫外線照射產生之皮膚表面脂肪過氧化(lipid peroxidation)是否會影響皮膚障壁功能；發現若將膽固醇先施放至皮膚上，再以能誘發耳朵紅腫現象之最小 UVB 劑量(minimum ear-swelling dose)照射時，與只單獨照射 UVB 的部位相較，實驗部位的 TEWL 上升了至少 2 倍。上述等研究建議：UVB 在活體實驗中(*in vivo*)可直接活化皮脂腺(sebaceous gland)之功能並促進脂肪之分泌，而在紫外線照射時上述脂肪發生過氧化反應，進而使得皮膚障壁功能受損。Jiang et al.⁽³⁴⁾評估鼠類角質層中之細胞間脂質經 UVB 照射後的反應。其實驗以單一劑量的 UVB (0.15 J/cm^2)照射去毛成鼠的皮膚，並以 TEWL 作為評估障壁功能之依據。研究結果顯示單一劑量的 UVB 輻射能夠顯著地增加 TEWL 值；TEWL 於照光後第二天開始上升，並於第四天時到達高峰。實驗中利用電子顯微鏡觀察細胞間區域所發生、顯著的異常型態(morphological abnormalities)狀況；異常的型態包括層板顆粒(lamellar granules)之組成改變、其於表皮角質層(stratum corneum)與粒狀層(stratum granulosum)間之含量變化、以及角質細胞中細胞核之不易釋出。

此外，日光輻射能亦能影響皮膚濕度，但目前相關之研究仍然有限，

此外亦尚未有研究闡明影響其作用機轉之因素。Li et al.⁽³⁵⁾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(Erythema)與黑色素生成(Melanogenesis)

遭受紫外線照射時，人體皮膚產生最明顯的生理反應為紅斑生成與色素沈澱；紅斑生成以及色素沈澱與膚色、年齡、曝曬位置、紫外線波長、及曝曬劑量有相當大的關聯⁽³⁶⁾。以此兩種指標描繪因紫外線曝曬或其他危害所造成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⁽³⁷⁾；兩者亦是大多數研究中觀察紫外線暴露幾個小時或幾天後生理反應變化選用的指標。

Farr and Diffey⁽⁵⁾以 E-index 評估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。此外，Diffey et al.⁽³⁸⁾於 1987 年的研究調查顯示：皮膚經 UVA 與 UVB 照射後 24 小時之曝曬劑

量對數與紅斑反應迴歸曲線圖雖未顯示顯著的劑量反應關係，但 UVA 照射後的紅斑生成為雙相(biphasic)反應：紅斑經照射後立即顯現，並於曝曬後 6 至 24 小時間上升至並維持穩定在高峰。Park et al.⁽³⁹⁾利用螢光燈源所產生之寬頻中波長 UVA 與 UVB 射線照射皮膚表面，並以 E-index 與 M-index 檢驗因紫外光暴露生成之皮膚顏色變化過程。研究結果發現照射後第 1 天時 E-index 為最大值，而後逐漸下降，惟經過 28 天後仍無法回復至皮膚原先情況；而 M-index 則緩慢上升，直到第 7 天時到達高峰。Suh et al.⁽⁴⁰⁾在為期六個月的研究中，觀察寬頻中波長 UVA (BBUVA)、窄頻中波長 UVB (NBUVB)、以及寬頻中波長 UVB (BBUVB)照射所導致之紅斑生成與色素沈澱隨時間的反應變化；實驗結果發現經 BBUVA 照射後 1 小時內紅斑生成與色素沈澱最為明顯。若分別以 NBUVB 與 BBUVB 輻射誘發皮膚紅斑生成，則紅斑生成分別在照射 1 天與 2 天後情況最為嚴重；照射 NBUVB 後 3 到 6 天之間皮膚色素沉澱達到最大，而照射 BBUVB 則需要 4 到 7 天。皮膚照射 NBUVB 與 BBUVB 後分別須 1 個月與 3 個月方能恢復至原本膚色。

第三節 經皮水分散失量(TEWL)與紅斑受溫度影響之測量

人體中不同的生理系統大多數會受到溫度影響。若於紫外線照射前與照射後改變周遭之環境溫度，會造成皮膚微血流以及發炎反應的變

化，並同時影響因紫外線輻射所導致的紅斑生成與色素沈澱⁽⁴¹⁾。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因紫外線曝曬而改變，並對 TEWL 與皮膚生成紅斑之程度造成影響。Thiele et al.⁽⁴²⁾研究去毛鼠遭受紫外線與臭氧同時暴露後皮膚表面溫度的改變，觀察到 TEWL 與皮膚表面溫度兩者間具顯著關係。Shea and Parrish⁽⁴³⁾於其 1982 年的研究中，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後 4 至 6 小時後最為明顯。Shea and Parrish 的研究發現建議：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。

第四節 皮膚微血流變化

皮膚微血流(skin blood flow)主要利用雷射-都卜勒(laser Doppler)技術進行測量⁽⁴⁴⁾，常應用於診斷與皮膚微血流變化相關之醫學症狀，如手-手臂振動症候群(hand-arm vibration syndrome，簡稱 HAVS)^(45,46)，或判斷由交感神經引起之血管收縮⁽⁴⁷⁾。Laser Doppler 技術之測量原理為皮膚動靜脈組織中之微血管可因應皮膚對於外界物理性、化學性或生物性危害調節之需而產生微血流通量(microcirculatory flux)及紅血球移動速率量變

化，進而使得射入皮膚表面(表皮深度 1 μm 處)之雷射光折射量產生改變，構成血流量量化量測之基礎^(48,49)。近年來，一些研究亦利用皮膚微血流變化評估源自人工 UV 光源曝曬所產生紅斑生成因人體使用抗氧化劑而產生之改變。Dreher et al.⁽⁵⁰⁾使用非侵入性的生物工程方法，包括皮膚膚色和皮膚微血流，評估維生素 E/C 與褪黑激素(melatonin)共同施用時，對曝曬 30 分鐘之寬頻 UV 輻射可產生之協力防護作用；Perugini et al.⁽⁵¹⁾利用測量皮膚障壁功能、表皮顏色變化及皮膚微血流改變研究化妝品成分中橄欖多酚(oleuropein)(由橄欖葉葉子和橄欖油萃取之酚類化合物)降低因 UVB 曝曬導致紅斑生成之效能。當環境熱因子改變時，也可使用 laser Doppler 技術評估皮膚微血流變化。Bergersen et al.^(52,53)曾利用 laser Doppler 技術觀察手或手指進入可控制溫度之水池，對應環境溫度之冷熱改變，皮膚局部微血管之收縮反應。然而，使用 laser Doppler 所量測之皮膚微血流變化評估因熱環境變化所引起之健康危害仍屬於發展初期，未臻成熟。以 Bergersen et al.的研究為例，在其實驗中所探討之熱環境變化乃利用水浴加熱或降溫形成，與一般環境之熱變化顯著偏離(游泳池除外)；此外當手或手指進入水池時，皮膚局部微血流適應熱環境之機制，當與反應空氣中之熱變化利用排汗散熱之現象不同。

第五節 濕熱環境變化對皮膚生理反應及主觀熱感知之影響

在針對熱環境對人體皮膚生理反應現象之影響方面，吳介銘⁽²²⁾調查於預設環境溫濕度之人工氣候暴露艙量測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，並評估於日常活動中因遭受熱危害因子暴露人體客觀與主觀反應之變化趨勢與反應幅度。該研究選定之皮膚生理反應包含 TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、E-index 與 M-index；主觀熱舒適感則以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。研究結果顯示：TEWL 與皮膚溫度顯著地隨環境溫度呈線性變化，但較不受相對濕度之作用；皮膚濕度為各皮膚生理指標中唯一可同時反應環境溫度與濕度影響者。皮膚生理指標間之反應-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。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($r > 0.868$)。

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，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.⁽⁵⁴⁾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 -value = 0.03)。Lan et al.⁽⁵⁵⁾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)。

第六節 防曬乳液對防護紫外線暴露傷害之效能

防曬乳液是針對日光紫外線對皮膚生成傷害常用之防護措施。Rigel⁽⁵⁶⁾於其研究中發現，在不同的防曬措施中(如：穿著防護衣物、撐洋傘、置於樹蔭下活動)，除了避免直接曝曬日光紫外線外，擦拭防曬品可提供

個人最佳防護，降低由紫外線曝曬引起之皮膚傷害。防曬乳液的防護效能進一步可區分為物理性與化學性。物理性防曬是將太陽光反射或散射，因而具有防禦 UVA 和 UVB 的功能；化學性防曬則利用化學防曬劑直接吸收紫外線，達到防曬效果。多數評估防曬乳防護效能之研究集中於防曬乳防止紅斑生成之效果⁽⁵⁷⁾，但相關研究結果對於防曬乳降低皮膚細胞遭紫外線輻射後分子層面傷害(含 DNA 傷害)之效果無確切定論^(50,57,58)，因此對偵測次紅斑生成劑量之曝曬(sub-erythemal doses)傷害而言，宜考慮利用不同之皮膚生理反應進行健康效應觀察。

對於防曬乳液之研究多半集中於防曬品施用後之效能，包含傷害之降低比率、防護時間長短、特別是防曬乳與抗氧化物(如 melatonin， α -tocopherol，及 ascorbic acid)併用時可產生之協力效能(synergistic effects)^(50,57,58)。抗氧化物之使用效能在於可中和因紫外光輻射於皮膚表面產生之自由基(free radicals)，故降低曬紅現象之產生⁽⁵⁹⁾。Pearse et al.⁽⁶⁰⁾於研究中發現，防曬乳液透過形成皮膚表面之保護膜，可降低日曬後產生的損害。維他命 E 為常見之防曬乳液成分，亦為有效降低因日光曝曬而導致皮膚老化及傷害之抗氧化物⁽⁶¹⁾。Touitou and Godin⁽⁶²⁾發現在藥妝產品中使用的蘆薈油(Jojoba oil)為較佳之防曬乳液基底溶液(base solution)成份，因其不易穿透完整之皮膚表皮，故可遲滯其他成份因皮膚吸收可產生之系統毒害效應。

第七節 皮膚保養用品對皮膚生理現象之影響

除針對日光紫外線曝曬所設計之防曬乳液外，許多市面上流通之皮膚保養用品(如乳液、保濕液、藥妝產品等)配方中亦含有防曬成份。第六節所介紹者為防曬乳液針對日光紫外線曝曬所引起皮膚傷害，所提供防護效能之研究。該類研究所觀察之皮膚傷害多半以紅腫、曬傷、及類發炎反應為主。但針對皮膚保養用品所進行之研究，亦利用其他皮膚生理現象作為觀察保養用品效能之指標，如 TEWL 及皮膚微血流變化。TEWL 之測量屬非侵入性，當應用於人體皮膚屏障功能之評估時，具有良好的客觀性⁽⁶³⁾，故常被用以評估角質層的完整性。TEWL 已被廣泛應用於評估皮膚保養品配方有效性與安全性、皮膚保溼狀況、以及皮膚休復等⁽⁶⁴⁾。

Zhai et al.⁽⁵⁹⁾ 針對具備抗氧化能力與不具備抗氧化能力之皮膚乳液進行研究，評估受測者在使用與未使用皮膚乳液、以及使用具備與不具備抗氧化能力皮膚乳液之狀況下，遭受人工紫外線輻射所產生之皮膚生理變化。實驗中受測者之雙臂前臂皮膚一為實驗點(使用皮膚乳液；乳液可為具備或不具備抗氧化力之乳液)、一為對照點(未使用皮膚乳液)。實驗利用單波長(310 nm)之人工紫外光照射受測者前臂皮膚 30 分鐘。結果發現照射人工紫外線輻射第 2、3 天後，不論使用之乳液為何，受測者施用皮膚乳液實驗點皮膚之 E-index 值皆明顯小於未施用乳液皮膚之數值，且差異具統計顯著性。而照射人工紫外線輻射第 2 天後發現，不論使用之

乳液為何，使用乳液處皮膚之微血流量明顯小於未始用皮膚乳液之皮膚部位，但只有施用具抗氧化力乳液皮膚之流量與未施用乳液皮膚部位之流量達統計上顯著差異。照射人工紫外線輻射第 3 天後則發現，施用具與未具有抗氧化能力皮膚乳液之皮膚微血流量皆明顯小於未施用皮膚乳液之皮膚部位，且達統計上顯著差異。

Dreher et al.⁽⁶⁵⁾探討人體皮膚在遭受紫外線暴露誘發紅斑生成後，再使用具有與未具有抗氧化能力之皮膚乳液，短期內對皮膚生理反應變化之影響。實驗方法為於距離受試者下背皮膚約 20 cm 處利用人工紫外線(能量為 1.2 mW/cm^2)照射皮膚 30 分鐘，而後於照射結束後 2 分鐘或 30 分鐘時施用乳液(單次施用)，或者於照射結束後 30 分鐘、1 小時、以及 2 小時等時間點施用乳液(多次施用)，結果發現不論單次或多次施用乳液，具抗氧化能力與不具抗氧化能力之乳液皆無法舒緩紅斑生成之傷害。

此外皮膚微血流變化亦應用在評估防曬乳液使用與否對單一或累積性人工紫外光曝曬可生成之影響⁽⁶⁶⁾。Wulf et al.⁽⁶⁷⁾評估未使用及使用兩種防曬乳(SPF 值分別為 5 與 6)對豬隻皮膚微血流因應紫外光曝曬所產生變化之影響；光源為人工紫外光(照度為 1000 W)；暴露時間為 30 至 240 秒。結果發現：豬隻皮膚不論使用防曬乳液與否皮膚微血流量皆會上升。使用 SPF 為 5 之防曬乳液時，皮膚微血流量高於未使用防曬乳皮膚之微血流量，約上升 77%；使用 SPF 為 6 之防曬乳液，皮膚微血流量則較未使

用乳液之皮膚微血流量上升約 62%。Drouard et al.⁽⁶⁸⁾將人類受測者區分為 5 組，分別為未使用乳液、使用不含活性成分(active ingredients)之乳液、及三種含不同防曬配方之乳液。三種防曬配方分別為 5% 之 2-ethylhexylcinnamate(桂皮酸鹽之一)、30 ppm 之 5-methoxypsoralen(補骨脂素之一)、或兩者均含之完整配方。實驗中乳液施用部位為上背皮膚。各組受測者之上背皮膚照射含 UVA 與 UVB 之人工紫外光 45 分鐘。研究結果發現，使用未含活性成份乳液對皮膚不具保護作用。相較之下，使用含有 2-ethylhexylcinnamate 之防曬乳液對皮膚產生顯著保護作用；使用含 2-ethylhexylcinnamate 及 5-methoxypsoralen 之防曬乳液會減弱 2-ethylhexylcinnamate 對皮膚產生之保護作用。實驗結論指出，laser Doppler 技術可作為紅斑生成之客觀評估工具，亦可量化紫外線暴露所引發皮膚微血流量增加因防曬乳液之使用所產生變化。

第八節 戶外日光直射處與遮蔭處之紫外光量差異

太陽輻射到達地表所產生之紫外光能量，隨地表之海拔、坡度、坡向、陰影遮蔽等因素之不同產生變化⁽⁶⁹⁾。避免直接日光曝曬可降低因遭受紫外光曝曬所產生之病變；樹蔭、屋簷、騎樓等遮蔽物可部份阻擋紫外光對皮膚產生之直接曝曬⁽⁷⁰⁾。Turnabull et al.⁽⁷¹⁾利用因應太陽紫外線輻射生成維生素D₃之生成量，於澳洲比較全日光直射與日光於遮蔭處反/折

射對人體產生暴露量間之差異。研究發現：太陽天頂角(solar zenith angle, SAZ)為 5° 時，受測者於全日光直射處(輻射強度為 0.67 W/m^2)所產生之維生素 D_3 大於在遮蔭處產生之維生素 D_3 生成量(0.20 W/m^2)—於遮蔭處接收太陽輻射所產生之維生素 D_3 生成量比全日光直射處生成量約減少37至58%。研究結論指出：就利用日光紫外線輻射有效產生維生素 D_3 的觀點而言，較佳的暴露方式為於每日中午時在遮蔭處接受太陽輻射。

第九節 人工氣候環境暴露艙於不同類別研究之應用

欲測量不同環境物理因子對人體生理反應可產生之影響，實驗泰半需要在可控制溫度、濕度之人工氣候環境暴露艙中進行。典型之人工氣候暴露艙(climatic chamber)可透過程式化控制包含空氣溫度、相對濕度、風速、大氣壓力、及輻射熱等環境物理因子，因此可模擬工作環境實際暴露狀況。如 Shapior et al.⁽⁷²⁾在預測因熱環境改變所產生之流汗反應時，利用可控制溫度之環境腔(environmental chamber)作為控制型暴露之場所。Givoni et al.⁽⁷³⁾於探討預測肛溫模式時亦利用環境腔作為暴露之用。目前暴露腔之發展相當發達，其目的多運用於熱舒適性、室內空氣品質(如揮發性有機物等空氣污染物散佈)之探討^(74,75,76,77)，較少考量輻射熱對人體感覺之影響。此外典型的暴露艙實驗條件包含：環境溫度設定於 20 至 35°C 之間；相對濕度設定於 30 至 70% 之間；風速則多小於 0.5 m/s 。

第十節 文獻總結

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

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

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

第十一節 研究架構

如圖 2-1 所示，本研究之進程依以下步驟進行：

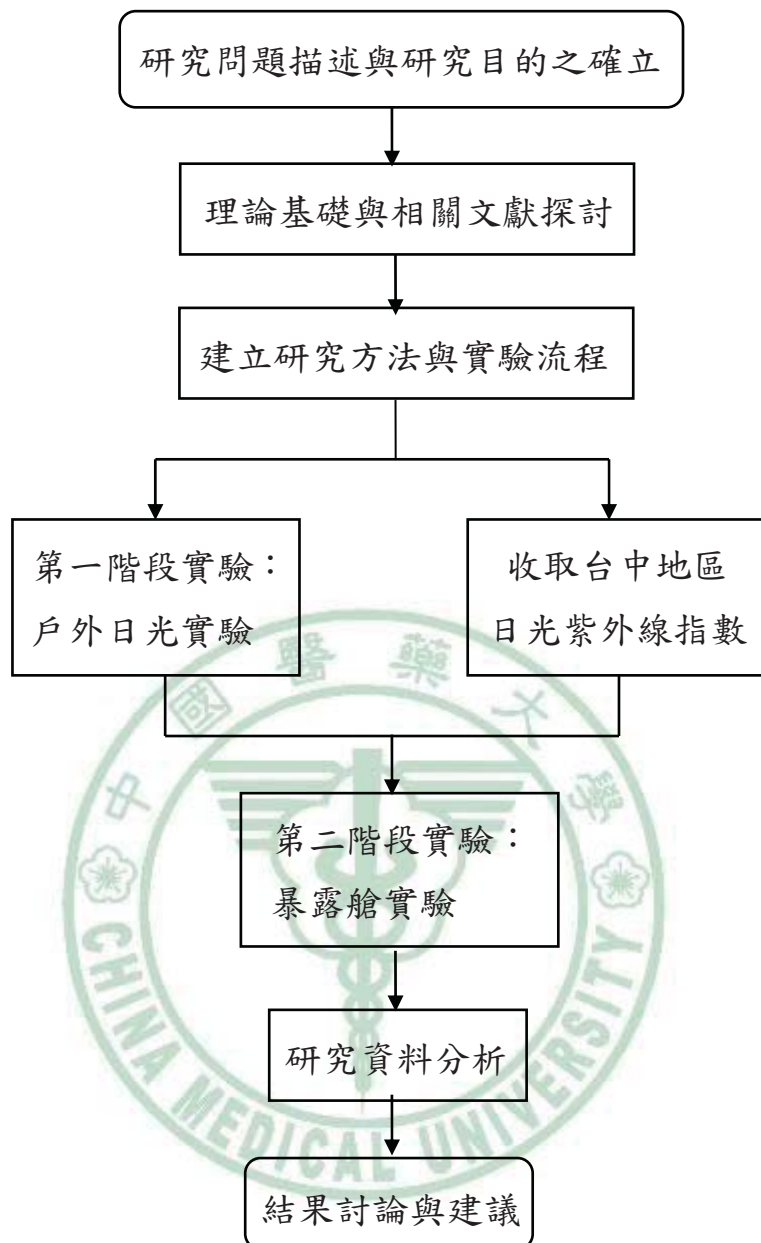


圖2-1 本論文之研究架構與各階段進行之任務

1. 本研究問題描述與研究目的之確認：描述本研究所欲探討之核心問題，包含：1) 遭受日光紫外線曝曬時，使用與不使用防曬品是否會引發不同之人體皮膚生理反應；2) 人體處於較極端熱環境之狀況下，使用防曬品與否，是否會對個人主觀熱感知與客觀生理反應間之異同產生影響？本論文之主要研究目的及在於透過控制型實驗找尋上問題之解答。

理論基礎與相關文獻探討：本階段之工作在透過文獻回顧，瞭解目前研究人體皮膚於紫外線與熱環境暴露產生變化時，常用的量測工具與可觀察之皮膚生理反應。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。

2. 建立研究方法與實驗流程：選定研究對象、實驗所可使用之儀器或工具、資料收集與分析方法、並設定研究實驗期程與流程。
3. 第一階段實驗(戶外日光實驗)：觀察在日光紫外光直接曝曬處與戶外陰涼處等不同戶外熱環境(含輻射熱與不含輻射熱)時，人體皮膚生理指標與主觀熱感知隨環境物理力改變產生之變化，分析其急性與累積性之健康效應，並探討防曬乳液之使用對其之影響；相關實驗方法與流程於第三章中詳述。
4. 收取台中地區日光紫外線指數：評估於本研究戶外日光實驗進行階段，台中地區每日逐時之日光紫外線強度變化，並透過與第一階段實

驗受試人員暴露期長短之交叉分析，決定受測者之實際暴露劑量，以建立不同皮膚生理指標之長、短期劑量-反應關係；紫外線指數來源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。

5. 第二階段實驗(暴露艙實驗)：於人工氣候實驗室內，透過環境溫度、環境相對濕度、與環境風速之不同組合，檢驗個人主觀熱感知與皮膚生理反應隨不含輻射熱之熱環境改變所產生之變化，量化分析主客觀反應之異同及不同生理指標間之時程-反應關係，以及是項關係受防曬乳液使用與否之影響。相關實驗方法與流程於第三章中詳述。
6. 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。
7. 結果討論與建議：針對觀察所得現象討論與分析，檢視是否達研究之預設目標，亦探討本研究所使用研究策略與方法之限制，俾據以建議研究成果之可能應用方式。

第三章 研究方法

第一節 研究設計

本研究主要分二階段依序進行，包含戶外日光實驗及暴露艙實驗。在各階段實驗中分別探討皮膚在使用與未使用防曬乳液狀況下，下列皮膚生理反應受環境物理因子影響之變化與幅度：SBFC、TEWL、skin moisture、skin temperature、E-index、M-index。實驗中所探討、可影響皮膚生理指標變化之環境物理因子包括日光紫外光輻射、環境溫度、環境相對濕度、以及環境風速。研究結果將透過分析比較上述生理反應變化於各階段之差異，以建立各皮膚生理指標對應環境物理力影響之劑量-反應關係(dose-response relationship)以及生理指標間之反應-時程關係(time-course relationship)，並將實驗結果應用於評估日光紫外線與濕熱環境暴露時人體可能產生之前臨床與臨床皮膚生理變化。戶外日光實驗與暴露艙實驗除探討皮膚生理反應變化關係外，亦於實驗過程中以問卷方式調查各受試人員主觀熱感知，以評估於不同環境物理因子影響下，受試人員主觀熱感知之變化。

以下為各階段之研究設計與實驗目的：

3.1.1 戶外日光實驗

本階段研究目的模擬正常戶外活動情形下，受測人員使用或未使用防曬乳液、遭受或未遭受自然陽光曝曬時之各項皮膚生理變化，及上述生理變化受環境溫度、環境相對濕度及環境風速之影響，以了解：1)SBFC 反應短期與累積性日光紫外線暴露生成健康效應之有效性；2)SBFC 與其他皮膚生理指標在戶外環境遭受環境溫度、環境相對濕度、與環境風速之影響程度；3)建立 SBFC 與自然紫外光曝曬強度及其他戶外環境物理因子之量化或半量化劑量-反應關係；4)建立 SBFC 與其他皮膚生理指標間，因應自然紫外光曝曬及其他各物理力影響所產生變化之時程-反應關係；5)於戶外環境使用防曬乳液與否對皮膚生理指標隨不同環境物理因子變化可能產生之影響；及 6)主觀熱舒適感與客觀皮膚生理指標之一致性，及一致性是否會隨環境物理因子變化量而異。戶外日光實驗共為期 8 週，每週實測 2 次，共計 16 次，實驗時間為星期一與星期四早上 10 點至下午 2 點。相關實驗內容、步驟與資料收集方法於第四節詳述。

3.1.2 暴露艙實驗

本階段研究旨在建立受測人員於人工氣候環境暴露艙內，在無自然紫外光曝曬情形下，建立實驗參與人員不同皮膚生理反應(SBFC、TEWL、skin moisture、skin temperature、E-index、M-index)隨不同環境

熱因子之組合(包含環境溫度、環境相對濕度、及環境風速)產生之變化，以：1)評估以 SBFC 為主之生理指標反應人體接受熱環境刺激時可能產生生理變化之有效性；2)比較以上皮膚生理指標在熱環境改變時變化之劑量-反應關係(dose-response relationships)與反應-時程關係(time-course relationships)；3)探討主觀熱感受與客觀皮膚生理指標間在遭受不同環境物理力改變時之異同；及 4)受試人員使用防曬乳液與否對皮膚生理指標反應環境物理力變化顯著性造成之影響。第四節中將詳此階段之實驗內容、步驟與資料收集方法。

本研究之實驗規範與研究流程經中國醫藥大學公共衛生學院研究倫理委員會審核通過，有效期為民國 98 年 8 月 1 日至民國 99 年 7 月 31 日。研究倫理委員會同意書(編號：98.08.20-2)見附錄 A。

第二節 研究對象

本計劃之研究對象為中國醫藥大學女性職員與大學部/研究所碩士班同學共計 15 名，年齡介於 20 至 29 歲間。本研究中以女性為研究對象，原因包括：a)吳介銘⁽²²⁾針對台中地區同年齡層大專男、女性進行之調查顯示：男性之基礎皮膚生理值(E-index、M-index)偏高，約為女性之 1.5 倍，導致因短期曝曬產生之急性皮膚生理變化與女性相較不易觀察；b)本研究同時調查實驗參與人員經累積性戶外曝曬後之皮膚生理指標變化，惟吳

介銘⁽²²⁾之調查顯示：男性戶外活動程度較女性頻繁，且分散於每日不同時段，包含日光紫外線曝曬強烈時間點(中午 12 時至下午 2 時)，故除非大量增加有效樣本數，難以建立信度高之累積性曝曬與皮膚生理變化之量化關係。以上兩項因素將影響本研究計畫目標之達成，故在研究中選定以女性同學作為調查對象。

戶外日光實驗及暴露艙實驗各含受試人員 14 名，其中 13 人(實驗組 6 人及控制組 7 人)同時參與戶外日光實驗以及暴露艙實驗。

所有受試人員於實驗進行前皆已填妥並繳交「受試者基本資料問卷」，內容包含：基本資料(性別、年齡、身高與體重)、夏季戶外活動狀況、個人皮膚生理狀況與夏季衣著量(「個人基本資料」問卷；見附錄 B-1)。為使受試人員清楚瞭解本實驗設計，於實驗進行前提供每位受試人員「受試人員指引說明」，並由工作人員詳細說明。如附錄 B-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，應立即向研究人員反應並停止實驗。受測人員於瞭解本研究之實驗設計、進程、與步驟，並確認參與意願後，簽署「受測人員同意書」，方得參與實驗(「受測人員同意書」見附錄 B-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 所示為本研究中不同實驗階段實驗組與控制組受試人員之性別、年齡、身高、體重、以及人體質量指數(Body Mass Index, BMI)分佈。

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%)、持續性(76-100%)。調查結果見表 3-2。參與本研究之受測人員中，參與戶外日光實驗實驗組受試人員一名自覺皮膚常處於乾澀情況，其他各階段參與人員不論實驗組或控制組受試人員均自覺個人皮膚生理狀況屬於健康。惟該自覺皮膚乾澀者之 TEWL 與 skin moisture 基線(baseline)數值與其他受測人員並無明顯區別，故同意參與本實驗。

3.2.3 夏季戶外活動狀況

由於本研究中包含戶外日光實驗，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、

表 3-1 戶外日光實驗與暴露艙實驗受試人員之人體計測資料

戶外日光實驗受試人員之人體計測資料

	實驗組	控制組	全體
人數(n)	7	7	14
平均年齡(歲)	24.3 ± 2.7	21.0 ± 1.3	22.6 ± 2.7
平均身高(公分)	159.7 ± 6.2	161.6 ± 5.3	160.6 ± 5.8
平均體重(公斤)	52.4 ± 5.2	51.6 ± 4.3	52.0 ± 4.8
平均 BMI(kg/m ²)	20.5 ± 1.1	19.8 ± 2.0	20.2 ± 1.7

暴露艙實驗受試人員之人體計測資料

	實驗組	控制組	全體
人數(n)	7	7	14
平均年齡(歲)	23.4 ± 2.6	21.0 ± 1.3	22.2 ± 2.4
平均身高(公分)	161.6 ± 4.8	161.6 ± 5.3	161.6 ± 5.0
平均體重(公斤)	54.3 ± 4.1	51.6 ± 4.3	52.9 ± 4.4
平均 BMI(kg/m ²)	20.8 ± 1.1	19.8 ± 2.0	20.3 ± 1.7

註：此二階段之實驗組中只有 1 名受試人員不同

表 3-2 受試人員自覺皮膚生理狀況

	實驗組(人數)	控制組(人數)	全體(人數)
1. 皮膚乾澀	沒有：1	沒有：3	沒有：4
	偶爾：5	偶爾：3	偶爾：8
	普通：1	普通：1	普通：2
	經常：1	經常：0	經常：1
2. 皮膚紅腫	沒有：3	沒有：3	沒有：6
	偶爾：4	偶爾：3	偶爾：7
	普通：1	普通：1	普通：2
	經常：0	經常：0	經常：0
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：3	普通：1	普通：4
	經常：0	經常：0	經常：0

註：沒有(0%)、偶爾(1-25%)、普通(26-50%)、經常(51-75%)、持續性(76-100%)

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之問題。

表 3-3 為問卷調查結果。問卷中在「夏季白日外出時間」與「夏季白日外出遭日曬時間」項目下將其分項選擇分級為：每日 1 小時以下、1-2 小時、2-4 小時、以及 4 小時以上。統計結果發現外出時間，每日 1 小時以下有 3 人、1-2 小時有 7 人、2-4 小時有 5 人。相對日曬時間每日 1 小時以下有 8 人、1-2 小時有 6 人、2-4 小時有 1 人。

問卷中「平常外出之活動地點」分類為：室內為主、室外為主、室內外皆有且室外較長、室內外皆有且室內較長、室內外皆有但兩者無顯著差異。結果顯示實驗組與控制組之戶外活動分類地點以室內外皆有且室內較長(實驗組有 4 人；控制組有 4 人)、室內為主(實驗組有 2 人；控制組有 3 人)、以及室內外皆有且室內較長(實驗組有 1 人；控制組有 0 人)，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。分析發現結果實驗組皆有使用防曬措施；控制組則有 4 人有使用防曬措施。其中大部分之受試人員優先選擇使用防護衣物。而受試人員於夏季曾選用防曬乳或防曬霜類型為：SPF 30(實驗組有 4 人；控制組有 1 人)、SPF 48(實驗組有 1 人；控制組有 2 人)、

表 3-3 戶外日光實驗之受試人員於 2009 年夏季戶外活動狀況

	實驗組(人數)	控制組(人數)	全體(人數)
夏季 [#] 白日 [*] 外出時間	1 小時以下：1 1-2 小時：4 2-4 小時：2	1 小時以下：2 1-2 小時：3 2-4 小時：2	1 小時以下：3 1-2 小時：7 2-4 小時：4
夏季 [#] 白日 [*] 外出遭日曬時間	1 小時以下：4 1-2 小時：3 2-4 小時：0	1 小時以下：4 1-2 小時：2 2-4 小時：1	1 小時以下：8 1-2 小時：5 2-4 小時：1
平常外出之活動地點	室內為主：2 室內外皆有 (室外較長)：1 室內外皆有 (室內較長)：4	室內為主：3 室內外皆有 (室外較長)：0 室內外皆有 (室內較長)：4	室內為主：5 室內外皆有 (室外較長)：1 室內外皆有 (室內較長)：8
平日外出是否此用防曬措施(優先使用類型)	會：7 ● 防護衣物：6 ● 陽傘：0 ● 防曬品：1 不會：0	會：4 ● 防護衣物：5 ● 陽傘：1 ● 防曬品：0 不會：3	會：11 ● 防護衣物：11 ● 陽傘：1 ● 防曬品：1 不會：1
防曬品之資訊	SPF： ● 30：4 ● 48：1 ● 50：2 PA： ● PA+：1 ● PA++：1 ● PA+++：5	SPF： ● 30：1 ● 48：2 ● 50：1 PA： ● PA+：0 ● PA++：1 ● PA+++：3	SPF： ● 30：5 ● 48：3 ● 50：3 PA： ● PA+：1 ● PA++：2 ● PA+++：8
易受陽光照射之皮膚部位(依圈選頻率排列)	第一順位部位 [†] ： a > c = d 第二順位部位 [†] ： b > c = d = e	第一順位部位 [†] ： a > e > d 第二順位部位 [†] ： b = c > d > e > f	第一順位部位 [†] ： a > d = e > c 第二順位部位 [†] ： b > c = d > e > f

[#] 夏季期間為 5 月至 8 月

^{*} 白日為上午 7 時至晚間 7 時

[†] 皮膚部位：a 為顏面；b 為頸部；c 為上臂；d 為前臂；e 為手掌與手背；f 為小腿

SPF 50(實驗組有 2 人；控制組有 1 人)；PA+(實驗組有 1 人；控制組有 0 人)、PA++(實驗組有 1 人；控制組有 1 人)、PA+++ (實驗組有 5 人；控制組有 3 人)。參與戶外日光實驗人員於同意參與本研究時同時確認在實驗開始前一個月內並未使用防曬乳液。

在外出活動時易受陽光照射之皮膚部位方面。因戶外日光實驗中之受試人員皮膚曝曬點為前臂外側，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。在此項目中受試人員依照平日外出時不同皮膚部位之曝曬頻率依序填寫；調查之皮膚部位包含顏面、頸部、上臂、前臂(不含手掌與手臂)、手掌與手臂、小腿、大腿。調查發現受試人員常受日曬的皮膚部位曝曬頻率最高者為顏面(實驗組 5 人；控制組 4 人)；其次為頸部(實驗組 4 人；控制組 2 人)。

研究中為有效評估日光紫外線曝曬可產生之累積性效應，受試人員於戶外日光實驗進行中亦逐日填報「戶外活動紀錄」(空白記錄表見附錄 B-4)。研究人員於每週週一發放記錄表，受試人員於次週週一繳回。

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 時至晚間 7 時)外出時之衣著量情況，以瞭解各受試人員之平日衣著量，並評估可能遭日曬之皮膚部位。戶外日光實驗之受試人員最常穿著之衣物為短袖襯

衫/T-shirt (表 3-4)。其中 9 名受試人員會加穿薄外套(實驗組有 4 名，控制組有 5 名)；受試人員下半身以穿著長褲/裙者較多，其次短褲/裙。自於足部衣物大多選擇休閒鞋搭配短襪。

第三節 研究儀器設備與工具

3.3.1 測量皮膚生理指標之儀器

本研究測量 SBFC 之儀器為 Moor VMS-LDF tissue blood flow and temperature monitor (Moor Instruments, Devon, UK)。TEWL、skin temperature 與 skin moisture 測量儀器為 Cortex[®] DermaLab System (Cortex Technology, Hadsund, Denmark)；其中 TEWL 與 skin temperature 利用 Cortex[®] DermaLab TEWL probe 測量，skin moisture 則利用 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)。

3.3.2 測量與記錄環境物理因子之儀器

實驗同時以 CENTER 314 數位溫濕度表 (CENTER 314 Temperature/Humidity Datalogger, Center Technology Corp., Taipei, Taiwan) 收錄戶外環境內之乾球溫度 (dry temperature)、相對濕度 (relative humidity)、及黑球溫度 (globe temperature)。此外利用與 TSI Model 8386

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)

	實驗組(人數)	控制組(人數)
上身	1. 短袖襯衫/T-shirt : 7	1. 短袖襯衫/T-shirt : 7
	2. 薄外套 : 4	2. 薄外套 : 5
下身	1. 長褲/裙 : 4	1. 長褲/裙 : 4
	2. 短褲/裙 : 2	2. 短褲/裙 : 3
	3. 及膝褲 : 1	
足部	a.1. 休閒鞋 : 7	a.1. 休閒鞋 : 5
		a.2. 球鞋 : 1
		a.3. 拖鞋 : 1
	b.1. 短襪 : 6	b.1. 短襪 : 5
	b.2. 長褲襪 : 1	b.2. 長褲襪 : 1
		b.3. 無襪 : 1

VELOCICALC[®] Plus Air Velocity Meter (TSI Incorporated, St. Paul, MN, USA)收錄環境風速(air movement)。實驗過程記錄之環境物理量再利用相對濕度表(psychrometric chart)⁽⁷⁸⁾推估自然濕球溫度(natural wet bulb temperature)，並計算綜合溫度熱指數⁽⁷⁹⁾(Wet-Bulb Globe Temperature, WBGT)。

3.3.3 人工氣候環境暴露艙

圖 3-1 為本研究所使用之人工氣候環境暴露艙外觀圖。人工氣候環境暴露艙之空氣溫度、相對濕度可按所調整之環境狀況，透過資料擷取模組由電腦進行回饋控制；人工氣候環境暴露艙之設定溫度範圍為 10 至 40°C，精確度為 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；相對濕度範圍為 30 至 80%，精確度為 $\pm 0.5\%$ 。

暴露艙實驗進行時同步量測與記錄乾球溫度、黑球溫度、相對濕度、以及環境風速四種環境物理因子。暴露艙實驗設定 15 種溫、濕度變項組合；其中溫度為 22、25、28、31、與 34°C，環境相對濕度為 45、60、與 75%。此外於環境溫度為 28°C 及環境相對濕度 60%時，利用電風扇製造不同環境風速之測量環境。電風扇放置位置為受測者前方 2 m 處(圖 3-1(b))；扇葉於測量期間維持固定。環境風速包含無風速(0.1 m/s)、低風速(0.8 m/s)、中風速(1.4 m/s)、及高風速(2.0 m/s)。表 3-5 所示為暴露艙實驗中人工氣候環境暴露艙之 18 種環境物理因子變項組合。均勻性測試之

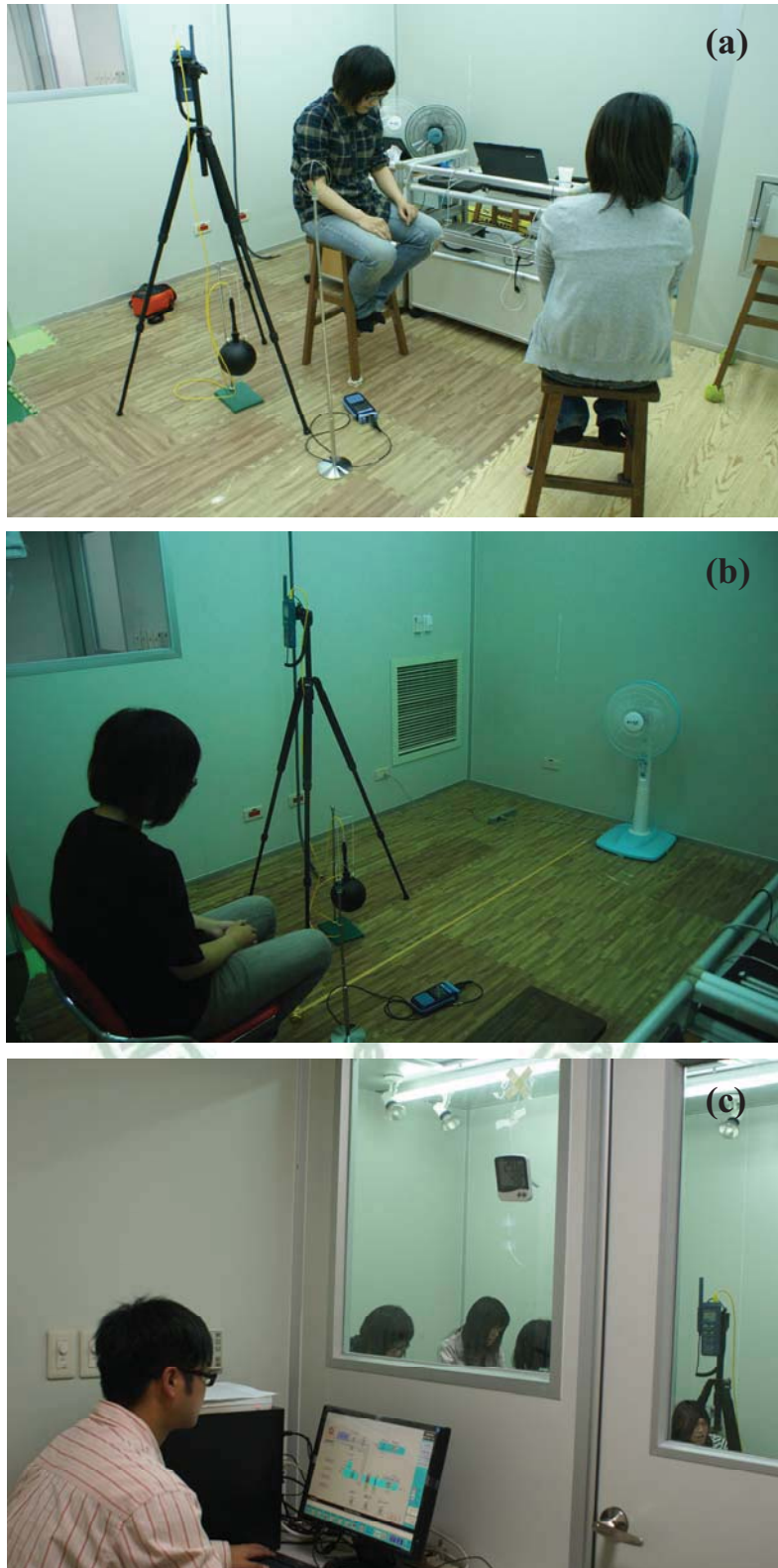


圖 3-1 中國醫藥大學職業安全與衛生學系人工氣候環境暴露艙：(a)暴露艙實驗進行實況；(b)風速實驗進行實況；(c)暴露艙溫濕度控制台

表 3-5 18 種環境物理因子變項組合均勻性之結果

環境組合	環境物理因子	平均值	標準差	變異係數(%)
22°C 及 45%	乾球溫度(°C)	22.78	0.34	1
	黑球溫度(°C)	22.22	0.39	2
	相對濕度(%)	49.11	1.16	2
22°C 及 60%	乾球溫度(°C)	21.86	0.75	3
	黑球溫度(°C)	21.48	0.83	4
	相對濕度(%)	60.61	2.25	4
22°C 及 75%	乾球溫度(°C)	22.22	0.31	1
	黑球溫度(°C)	21.79	0.30	1
	相對濕度(%)	74.82	1.36	2
25°C 及 45%	乾球溫度(°C)	24.90	0.57	2
	黑球溫度(°C)	24.56	0.61	2
	相對濕度(%)	47.04	1.99	4
25°C 及 60%	乾球溫度(°C)	25.06	0.31	1
	黑球溫度(°C)	24.78	0.47	2
	相對濕度(%)	59.93	0.54	1
25°C 及 75%	乾球溫度(°C)	25.02	0.38	2
	黑球溫度(°C)	24.77	0.96	4
	相對濕度(%)	72.38	5.21	7
28°C 及 45%	乾球溫度(°C)	27.99	0.64	2
	黑球溫度(°C)	27.74	0.58	2
	相對濕度(%)	45.81	1.31	3
28°C 及 60%	乾球溫度(°C)	28.06	0.64	2
	黑球溫度(°C)	27.77	0.58	2
	相對濕度(%)	45.81	1.31	3

表 3-5 續上表

環境組合	環境物理因子	平均值	標準差	變異係數(%)
28°C 及 75%	乾球溫度(°C)	27.87	1.35	5
	黑球溫度(°C)	27.73	1.57	6
	相對濕度(%)	74.67	1.65	2
31°C 及 45%	乾球溫度(°C)	30.97	0.39	1
	黑球溫度(°C)	30.77	0.48	2
	相對濕度(%)	45.49	1.21	3
31°C 及 60%	乾球溫度(°C)	30.93	0.87	2
	黑球溫度(°C)	30.47	0.71	3
	相對濕度(%)	59.27	4.49	8
31°C 及 75%	乾球溫度(°C)	31.03	0.31	1
	黑球溫度(°C)	30.72	1.55	5
	相對濕度(%)	74.35	2.24	3
34°C 及 45%	乾球溫度(°C)	33.63	0.70	2
	黑球溫度(°C)	32.94	0.51	2
	相對濕度(%)	45.97	1.66	4
34°C 及 60%	乾球溫度(°C)	34.04	0.70	2
	黑球溫度(°C)	33.17	0.51	2
	相對濕度(%)	59.75	1.66	4
34°C 及 75%	乾球溫度(°C)	34.12	0.32	1
	黑球溫度(°C)	33.55	0.40	1
	相對濕度(%)	73.20	2.20	4

結果發現：15 種環境溫、環境相對濕度變項組合，各控制環境變項之變異係數均小於 10%，因此可知人工氣候環境暴露艙對上述環境因子均勻性具有良好的控制能力。此外，四種風速(見表 3-6)在固定環境溫、環境相對濕度條件下(環境溫度為 28°C；環境相對濕度 60%)，無風速實驗中之風速變異係數達 47%，低風速實驗中之環境相對濕度變異係數為 16%、風速變異係數達 33%，中風速實驗中之環境相對濕度變異係數為 14%、風速變異係數達 27%，高風速中實驗之風速變異係數達 37%。

3.3.4 實驗使用防曬乳液及成份說明

本研究中受試人員區分為實驗組與控制組；實驗組人員於實驗前 30 分鐘在左手臂(含前臂與上臂)塗抹防曬乳液。防曬乳液之 UVB 防曬效能為 SPF 30；UVA 為 PA+++。防曬乳液之成份含：aqua/water, octocrylene, glycerin, alcohol denat, propylene glycol, C12-15 alkyl benzoate, drometrizole trisiloxane, cyclohexasiloxane, cyclopentasiloxane, butyl methoxydibenzoylmethane, ethylhexyl triazone, titanium dioxide, ethylhexylglycerin, triethanol amine, acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer, dimethiconol, PEG/PPG-18/18 dimethicone, glycine soja/soybean oil, tocopherol, pentasodium ethylenediamine tetramethylene phosphonate, aluminum hydroxide, stearic acid, vitreoscilla ferment, limonene, CI15985/yellow 6, CI16035/red 40, parfum/fragrance。單次使用劑量約為 2 g(可塗抹表面積約為 450 cm²)，均勻塗抹於左手前臂及上臂。

表 3-6 單一風速變項組合時環境物理因子均勻性調查結果

環境組合	環境物理因子	平均值	標準差	變異係數(%)
28°C、60% 、無風速	乾球溫度(°C)	28.06	0.64	2
	黑球溫度(°C)	27.77	0.58	2
	相對濕度(%)	45.81	1.31	3
	風速(m/s)	0.11	0.05	47
28°C、60% 、低風速	乾球溫度(°C)	28.10	0.24	1
	黑球溫度(°C)	28.03	0.29	1
	相對濕度(%)	60.26	9.69	16
	風速(m/s)	0.87	0.28	33
28°C、60% 、中風速	乾球溫度(°C)	28.11	0.32	1
	黑球溫度(°C)	28.06	0.36	1
	相對濕度(%)	60.42	8.28	14
	風速(m/s)	1.13	0.30	27
28°C、60% 、高風速	乾球溫度(°C)	28.14	0.28	1
	黑球溫度(°C)	28.09	0.28	1
	相對濕度(%)	60.36	1.06	2
	風速(m/s)	1.24	0.45	37

3.3.5 熱感知問卷

本研究使用之熱舒適問卷為利用美國冷凍空調協會(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., ASHRAE) Standard 55⁽⁸⁰⁾標準問卷中譯版為基礎所發展之問卷，如附錄 C 所示。問卷於每次戶外日光實驗與暴露艙實驗進行時填寫，以比較測量期間生理值之變化與主觀熱感受間之異同。戶外日光實驗中問卷填寫時間分別為在日光照射區與戶外陰涼區測量皮膚生理指標前；暴露艙實驗中問卷填寫時間為進入暴露艙時與測量皮膚生理指標前。

第四節 資料收集

3.4.1 戶外日光實驗流程

本階段規定受測人員於戶外受測期間所應遵守之衣著量及皮膚防護措施使用原則包括：a)受測時服裝為短袖 T 恤；受試人員可選擇穿著短褲或長褲，但在實驗全程穿著須一致；b)實驗期間須完全避免左上臂內側直接遭受陽光照射；c)實驗期間實驗組(施用防曬乳液)左前臂外側測量處須依規定使用指定之防曬乳液；控制組左前臂外側測量處不可使用乳液、化妝、及藥用等產品。為有效評估日光紫外線暴露可產生之累積性效應，受試人員於實驗期間逐日填報每日戶外活動紀錄表。實驗同時記錄受測者所處環境之乾球溫度、黑球溫度、相對濕度及風速；並利用以

上數值推估自然濕球溫度，並計算 WBGT 值。

圖 3-2 所示為戶外日光實驗之流程與皮膚生理指標測量方法。實驗場所為立夫教學大樓(東經 24.15 度；北緯 120.68 度)中庭草皮區可受陽光照射處(日光照射區)及不受陽光照射處(戶外陰涼區)；兩區相距約 80 公尺(見圖 3-3)。實驗共進行戶外量測 16 次；每週 2 次(為週一與週四)。在各單次實驗中，受測人員首先於日光照射區進行實驗，時間為上午 10 至 12 時。實驗時受測人員於指定地點進行靜態活動 10 分鐘，待受測人員手臂皮膚乾燥後，進行皮膚生理指標測量(SBFC、TEWL、skin temperature、skin moisture、E-index、M-index)。進行儀器測量時，分別測量受測人員前臂外測距腕關節約 10 cm 處(曝曬點)與上臂內側距肘關節約 15 cm 處(對照點)，如圖 3-4 所示。SBFC 測量時，先將 probe 靜置於皮膚表面約 3 秒，爾後收取 120 秒數據(量化分析時取後 43 至 99 秒間數據之平均值)；TEWL 與 skin temperature 之量測先將 probe 靜置於皮膚表面 3 秒，爾後收取 120 秒之數據(量化分析時取後 30 秒之平均值作為代表)；skin moisture 收取 4 次測量值，每次 10 秒；E-index 及 M-index 則收取連續十次(每秒一次)之測量值。

在日光照射區實驗結束後，受測人員移往戶外陰涼區進行下一階段實驗，實驗時間約為中午 12 時至下午 2 時間。受試人員於戶外陰涼區首先維持靜止狀態 20 分鐘，以適應戶外陰涼區自然溫濕度之環境，並確定

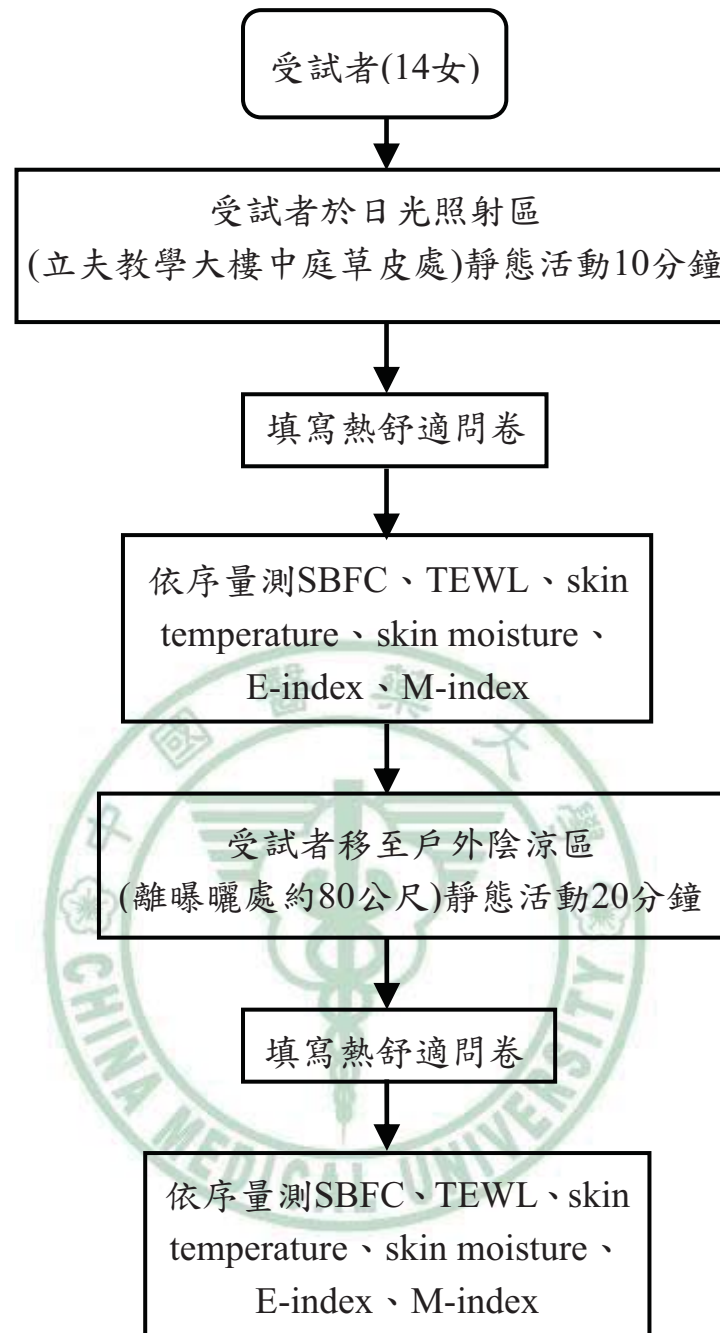


圖 3-2 戶外日光實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(skin moisture)、紅斑生成指數(erythema-index, E-index)、黑素沉澱指數(melanin-index, M-index)、人體熱感知之測量調查程序



圖 3-3 戶外日光實驗進行流程：(a)日光照射區與戶外陰涼區；(b)日光照射區實驗進行實況；及(c)戶外陰涼區實驗進行實況

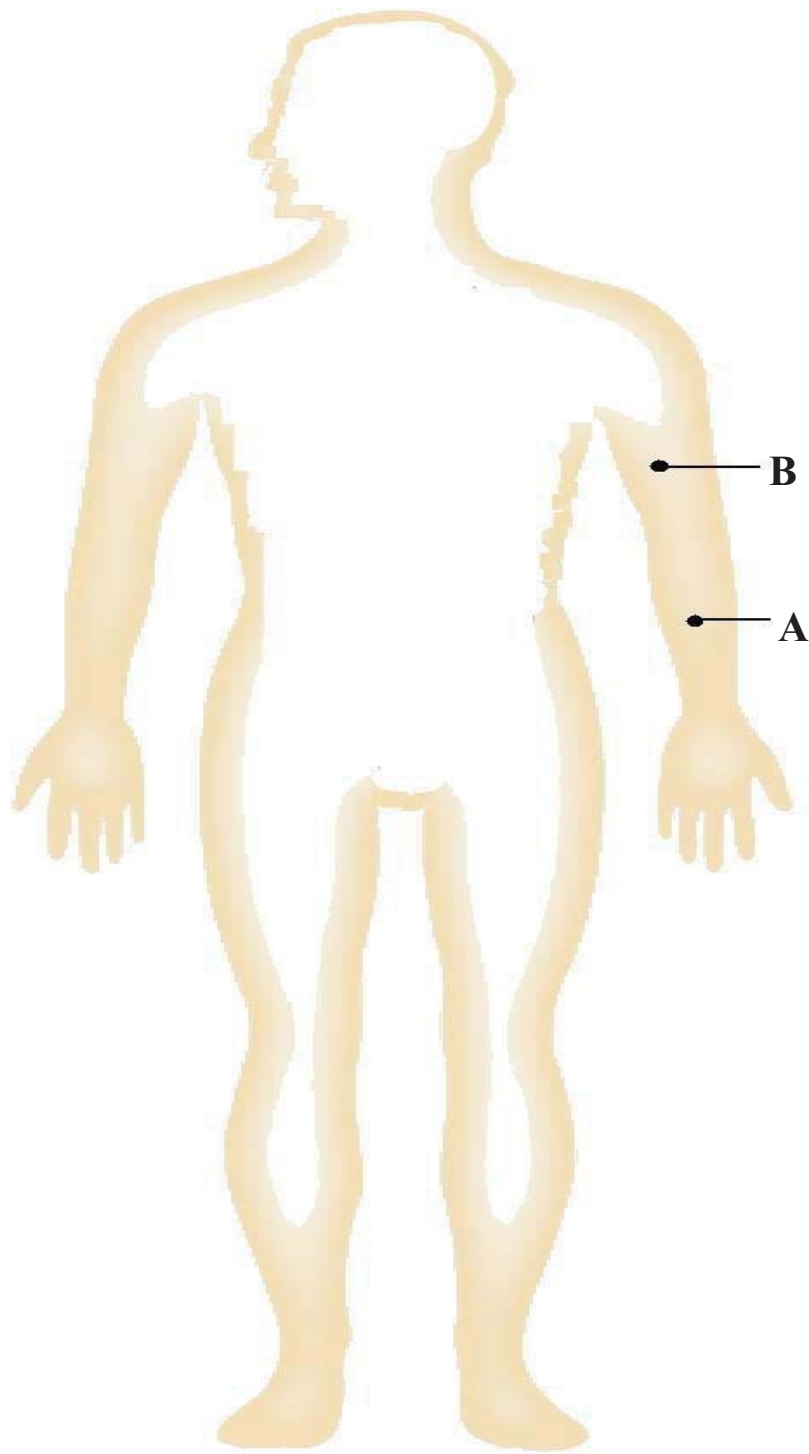


圖 3-4 本研究實驗中受測人員所測量之皮膚部位。A 點位於前臂外側，為日光皮膚曝曬點；B 點位於上臂內側衣袖遮蓋處，為無日光曝曬之皮膚對照點

皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，再利用前述儀器，循日光照射區實驗之生理指標量測流程，分別測量受測人曝曬點與對照點皮膚之各生理指標變化。在每次進行日光戶外實驗時，亦以問卷方式收取受試人員對於自然物理環境之主觀感受。問卷調查分兩次進行，第一次為受測人員接受日光曝曬 10 分鐘後於日光照射區填寫，第二次則為於戶外陰涼區靜坐 20 分鐘後進行。

3.4.2 暴露艙實驗流程

本階段實驗之實驗場所為中國醫藥大學職業安全與衛生學系人工氣候環境暴露艙。暴露艙實驗中所採用之環境溫濕度與風速組合已於 3.3.3 詳介。實驗過程中除量測皮膚生理指標及調查主觀熱感知外，同時收錄該室內環境內之乾球溫度、黑球溫度、相對濕度及風速；並利用以上數值計算 WBGT 值。

圖 3-5 所示為暴露艙實驗之流程與皮膚生理指標測量方法。受測人員於實驗過程中首先進入暴露艙內維持靜止狀態 30 分鐘，以適應人工氣候環境暴露艙內之熱環境，並確定皮膚處於乾燥狀態。俟適應期結束後，分別於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 SBFC、TEWL(及 skin temperature)、skin moisture、以及 E-index 和 M-index 值。SBFC 收取自將 probe 靜置於皮膚表面後 120 秒數據(量化

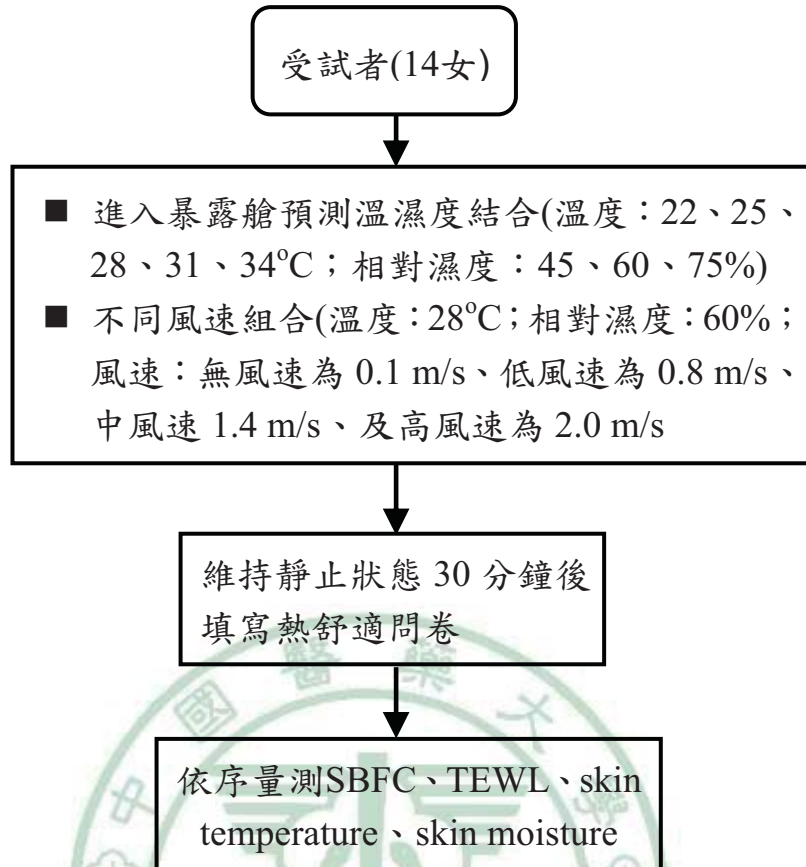


圖 3-5 暴露艙實驗之實驗流程與皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)、皮膚溫度(skin temperature)、皮膚濕度(skin moisture)、人體熱感知之測量調查程序

分析時取後 43 至 99 秒間數據之平均值)；TWEL 與 skin temperature 之量測先將 probe 靜置於皮膚表面，而後收取 120 秒之數據(量化分析時取後 30 秒之平均值作為代表)；skin moisture 收取 4 次測量值，每次 10 秒。

此外，實驗中以問卷方式收取受試人員於人工氣候暴露艙內對各溫濕度及風速之主觀感受。問卷調查將於每次暴露艙實驗中進行系列皮膚生理指標測量前進行，以嘗試比較測量期間生理值之變化與主觀熱感受之異同。

3.4.3 日光紫外線指數與累積輻射計量之計算

為與戶外活動紀錄表對照日光紫外線之強度，以評估實驗期間受測人員所接受之單次與累積輻射劑量，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 98 年夏季(7 至 9 月)每日逐時紫外線指數(UVI)即時測報資料收集⁽⁸¹⁾，以評估日光照射實驗期間抵達台中地區地表以外線之強度。中央氣象局之資料來源其台中氣象站(位於台中公園內，東經 24.08 度；北緯 120.40 度)所監測之每小時整點 UVB 輻射值，單位為 100 J/m²/hr。98 年 7 月至 9 月之逐日、逐時 UVI 即時測報值收錄於附錄 D。

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)：

$$Irradiance_{UV} = \sum_{1st\ Measure}^{Current\ Measure} (UVI_{Hourly} \cdot Weight\ of\ Exposure) \quad (Eq.3-1)$$

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

第五節 資料統計與分析

3.5.1 戶外日光實驗結果統計分析

本階段研究所收集之皮膚生理指標依據實驗組別(實驗組、控制組)、皮膚測量部位(前臂外側、上臂內側)、曝曬劑量(短期、累積性)以及戶外實驗地點(日光照射處、戶外陰涼處)分類進行統計分析。皮膚生理指標對

應 UVI(短期曝曬劑量單位)、irradiance(累積性曝曬劑量單位)、及 WBGT 之分佈以散佈圖(scatter plot)呈現，分析皮膚生理指標與日光紫外光曝曬劑量間、以及 WBGT 之相關性，並透過線性迴歸方程式(linear regression equation)量化推導人體皮膚因短期紫外線曝曬、累積性紫外線曝曬、以及綜合溫濕度環境之改變產生皮膚生理變化。由於戶外日光實驗所量測之皮膚生理指標大都呈非常態分布，因此戶外日光實驗將以無母數統計進行分析。實驗組與控制組之皮膚生理指標測量值另以表列方式呈現，使用曼-惠特尼 U 檢定(Mann-Whitney U test)⁽⁸²⁾分析不同測量日量測所得之實驗組與控制組皮膚生理指標值在日光曝曬或無日光暴露情形下是否存在統計顯著差異(p -value < 0.05)。實驗中前臂外側與上臂內側所測量之皮膚生理指標，含 SBFC、TEWL、skin temperature、skin moisture、E-index、以及 M-index，亦以兩兩對應方式觀察其散佈，分析各皮膚生理指標受 UVI、irradiance、WBGT、以及使用防曬乳液與否之影響。以上所述各散佈圖另進行以下統計分析：1)關聯性分析(correlation analysis)：以斯皮爾曼等級相關係數(Spearman's rank test correlation coefficient, r_s)呈現皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標間之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數(coefficient of determination, R^2)表示。

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

日光照射實驗收集之數據並以多項式複迴歸分析(multiple regression analysis)方法檢驗環境溫度、環境相對濕度、日光輻射(含短期與累積性輻射)、環境風速、以及防曬乳液使用與否等因子對於皮膚生理指標之綜合影響及其影響程度。分析結果以多項式複迴歸方程式(polynomial multiple linear regression equations)、複相關係數(multiple correlation

coefficient)、複判定係數(coefficient of multiple determination)、調整複判定係數(adjusted coefficient of multiple determination)與相關統計檢定表示。研究分析另以共線性診斷(collinearity diagnostics)檢驗多項式複迴歸方程式是否具有多元共線性(multi-collinearity)，亦即各影響皮膚生理變化之變項是否具顯著相關性。若變數兼之變異數膨脹因子(variance inflation factor, VIF)大於 10，則該組變數間為顯著相關，於複迴歸方程式中退化(degressed)為單一變項。複迴歸方程式進一步透過標準化複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)之建立，評估在去除各變項單位因素(亦即因環境物理因子測量單位不同所形成測量值間及其反應在方程式偏迴歸係數間之差異)後，環境物理因子對於皮膚生理指標的實際影響程度。戶外日光實驗除以複迴歸方程式與標準化複迴歸方程式呈現外，亦以逐步迴歸法(stepwise regression)檢驗複迴歸方程式中各環境物理因子變項與皮膚生理指標之相關系，透過移除關聯性低之變數，增加線性迴歸之預測性。

3.5.2 暴露艙實驗結果統計分析

本階段研究所收集之皮膚生理指標依據實驗組別(實驗組、控制組)、皮膚測量部位(前臂外側)分類進行統計分析。皮膚生理指標之平均值與標準差對應環境溫度、環境相對濕度、或環境風速變化之線性分佈作圖，

探討不同環境物理因子變化對皮膚生理指標之影響程度與幅度。由於曝露艙實驗所量測之皮膚生理指標呈常態分布，因此曝露艙實驗將以有母數統計進行分析。在不同溫度、相對濕度所量測之生理指標利用兩因子變異數分析(two-way ANOVA)進行檢定，評估雙因子(環境溫度與環境相對濕度)對皮膚生理指標之影響是否達顯著性，環境溫度與環境相對濕度是否對皮膚生理指標存在交互作用。另外，亦在不同溫度、相對濕度或風速所量測之生理指標利用一因子變異數分析(one-way ANOVA)進行檢定，評估單一因子(環境溫度、環境相對濕度、環境風速)對皮膚生理指標之影響是否達顯著差異。若差異達統計顯著性，則利用薛費多重比較法(Scheffé's multiple-comparisons procedure)⁽⁸³⁾觀察不同溫度間(相同相對濕度)、不同相對濕度間(相同溫度)、或不同風速間(相同溫度、相對濕度)之皮膚生理指標量測值是否達顯著統計差異達。實驗之環境溫濕度進一步轉換成 WBGT，分析皮膚生理指標平均值對 WBGT 之分佈與其個別受測人員數值之散佈，並於散佈圖中推導線性迴歸方程式。實驗組與控制組之皮膚生理指標測量值另以表列方式呈現，並使用 student's *t* 檢定(student's *t* tests)分析各溫濕度間之實驗組與控制組生理指標值是否達統計顯著差異。實驗中前臂外側與上臂內側所測量之皮膚生理指標，含 SBFC、TEWL、skin temperature、以及 skin moisture，亦兩兩對應方式觀察其散佈，分析各皮膚生理指標受環境溫度、環境相對濕度、風速、以

及使用防曬乳液與否之影響。以上所述各散佈圖另進行以下統計分析：

1)關聯性分析：以皮爾森積差相關係數(Pearson product moment correlation coefficient, r_p)呈現皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標間之相關性，並檢定相關係數之線性強弱；2)線性分析：透過線性迴歸討論皮膚生理指標與環境物理因子或皮膚生理指標之可能線性關係，以判定係數表示。

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

暴露艙實驗收集之數據並以多項式複迴歸分析方法檢驗環境溫度、

環境相對濕度、以及防曬乳液使用與否等因子對於皮膚生理指標之綜合影響及其影響程度。分析結果以多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數與相關統計檢定表示。研究分析另以共線性診斷檢驗多項式複迴歸方程式是否具有多元共線性，亦即各影響皮膚生理變化之變項是否具顯著相關性。若變數兼之變異數膨脹因大於 10，則該組變數間為顯著相關，於複迴歸方程式中退化為單一變項。複迴歸方程式進一步透過標準化複迴歸方程式之建立，評估在去除各變項單位因素(亦即因環境物理因子測量單位不同所形成測量值間及其反應在方程式偏迴歸係數間之差異)後，環境物理因子對於皮膚生理指標的實際影響程度。暴露艙實驗除以複迴歸方程式與標準化複迴歸方程式呈現外，亦以逐步迴歸法檢驗複迴歸方程式中各環境物理因子變項與皮膚生理指標之相關性，透過移除關聯性低之變數，增加線性迴歸之預測性。

3.5.3 日光曝曬與否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戶外日光實驗日光照射區與戶外陰涼區測量所得前臂外側各皮膚生理指標值對應該區皮膚生理指標測量時之 WBGT 作散佈圖並進行迴歸分析，而後透過比較日光照射區與戶外陰涼區於相同 WBGT 時之皮膚生理指標差異，並以威爾考

克森檢定(Wilcoxon signed-rank test)⁽⁸⁴⁾，兩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環境物理因子，日光照射對於人體皮膚之健康效應。



第四章 研究結果與討論

第一節 戶外日光實驗結果

戶外日光實驗階段共計十六次，評估受試者皮膚生理指標(上臂內側：對照點，未直接曝曬日光紫外線；前臂外側：曝曬點，直接曝曬日光紫外線)受日光紫外線輻射(短期、以及累積性紫外光曝曬)與綜合溫度熱指數(WBGT)等環境物理因子之影響。以下各小節分別討論，SBFC、TEWL、skin temp、skin moisture、E-index、以及 M-index 等不同皮膚生理指標測量分析之結果。

4.1.1 日光紫外線輻射對皮膚微血流變化量之影響

圖 4-1 與 4-2 所示為實驗組(使用防曬乳液；圖(a))與控制組(未使用防曬乳液；圖(b))受試人員皮膚微血流量(量化表示單位為灌注單位，perfusion unit, PU)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側(對照點；圖 4-1)與前臂外側(曝曬點；圖 4-2)皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 SBFC 分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 SBFC 數值介於 3-112 PU 之間。由前臂外側之迴歸方程式中可發現實驗組之血流變化量隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於控制組，顯示實驗

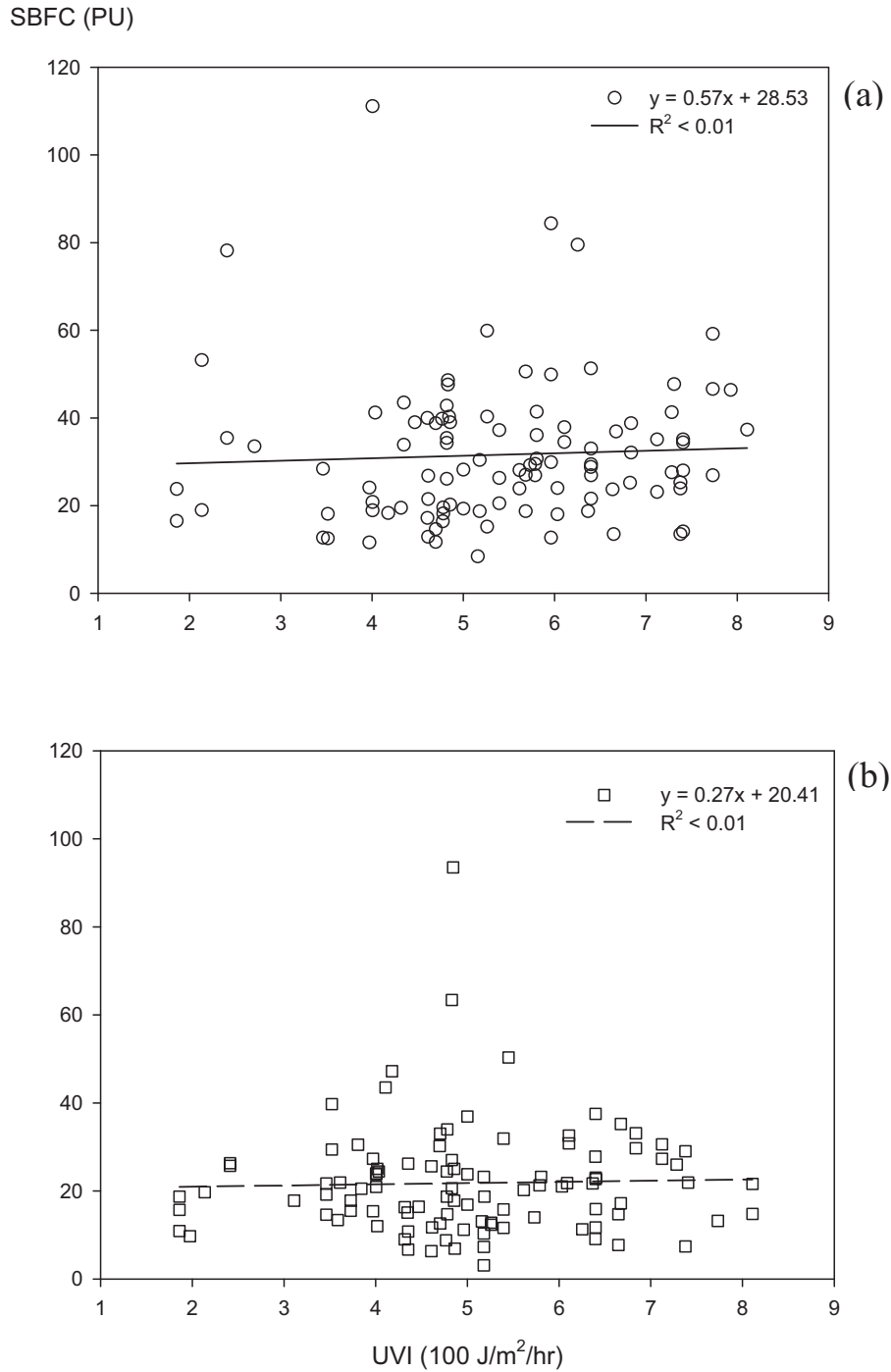


圖 4-1 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

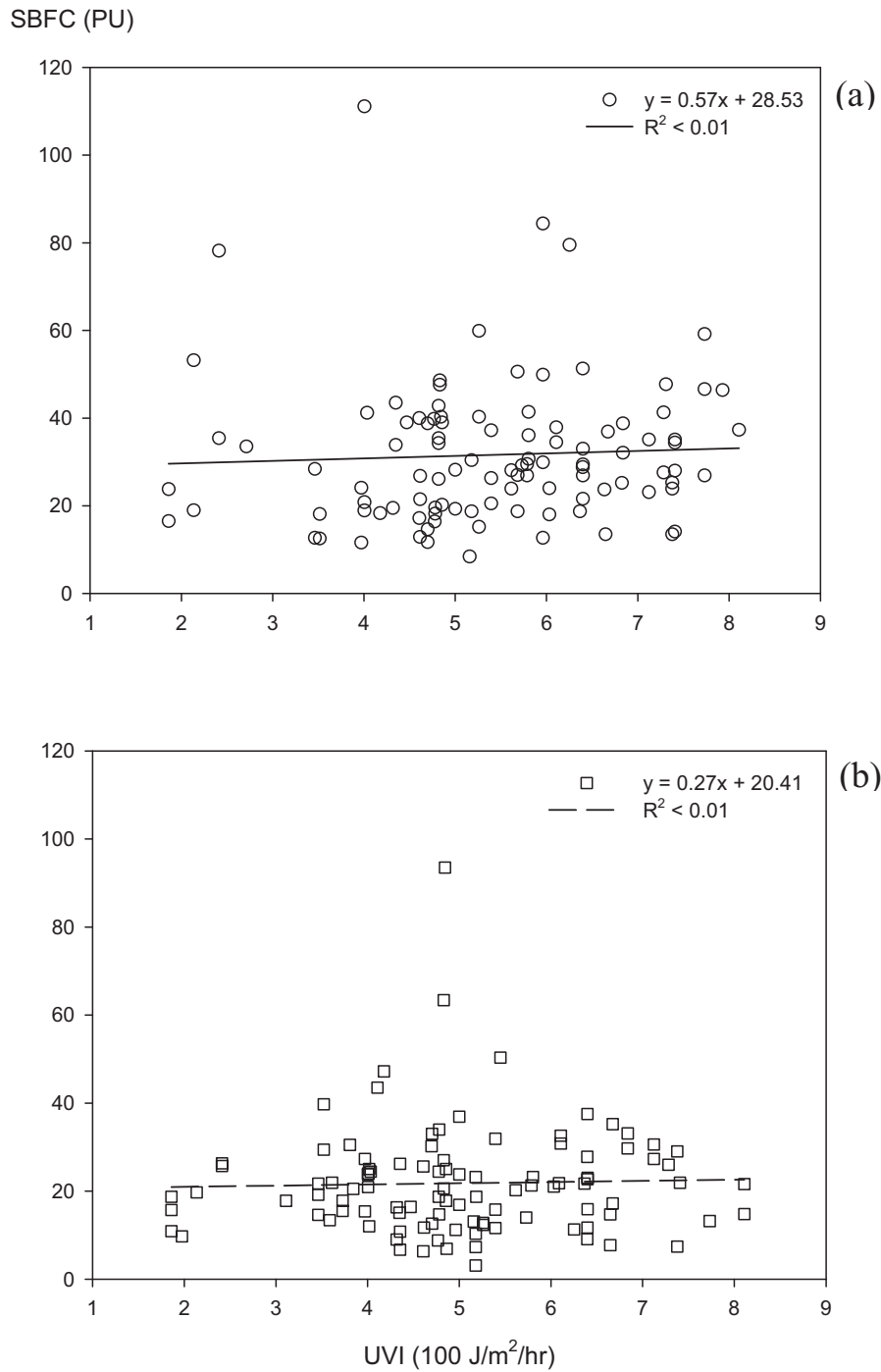


圖 4-2 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

組前臂外側皮膚對於短期紫外線暴露反應之敏感度較高。

以下為圖 4-1 與 4-2 中之 SBFC 隨 UVI 分佈之迴歸方程式為：

實驗組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.57x + 25.83 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-1})$$

實驗組前臂外側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.51x + 17.10 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-2})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.77x + 20.13 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-3})$$

控制組前臂外側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

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

以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，上臂內側 SBFC 之 $p\text{-vaule} = 0.290$ ，未達統計顯著差異；前臂外側 SBFC 之 $p\text{-vaule} = 0.031$ ，達統計顯著差異($p\text{-vaule} < 0.05$)。表示於前臂外側(曝曬點，直接曝曬日光下)之使用防曬乳液與否會對 SBFC 造成影響。

圖 4-3 與 4-4 所示為進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量進行分析之結果。圖 4-3 顯示上臂內側之 SBFC(含實驗組與控制組前臂外側)對應中/過量 UVI 之迴歸方程式斜率高於微/低量 UVI 之方程式斜率；圖 4-4 則顯示前臂外側之 SBFC 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式斜率

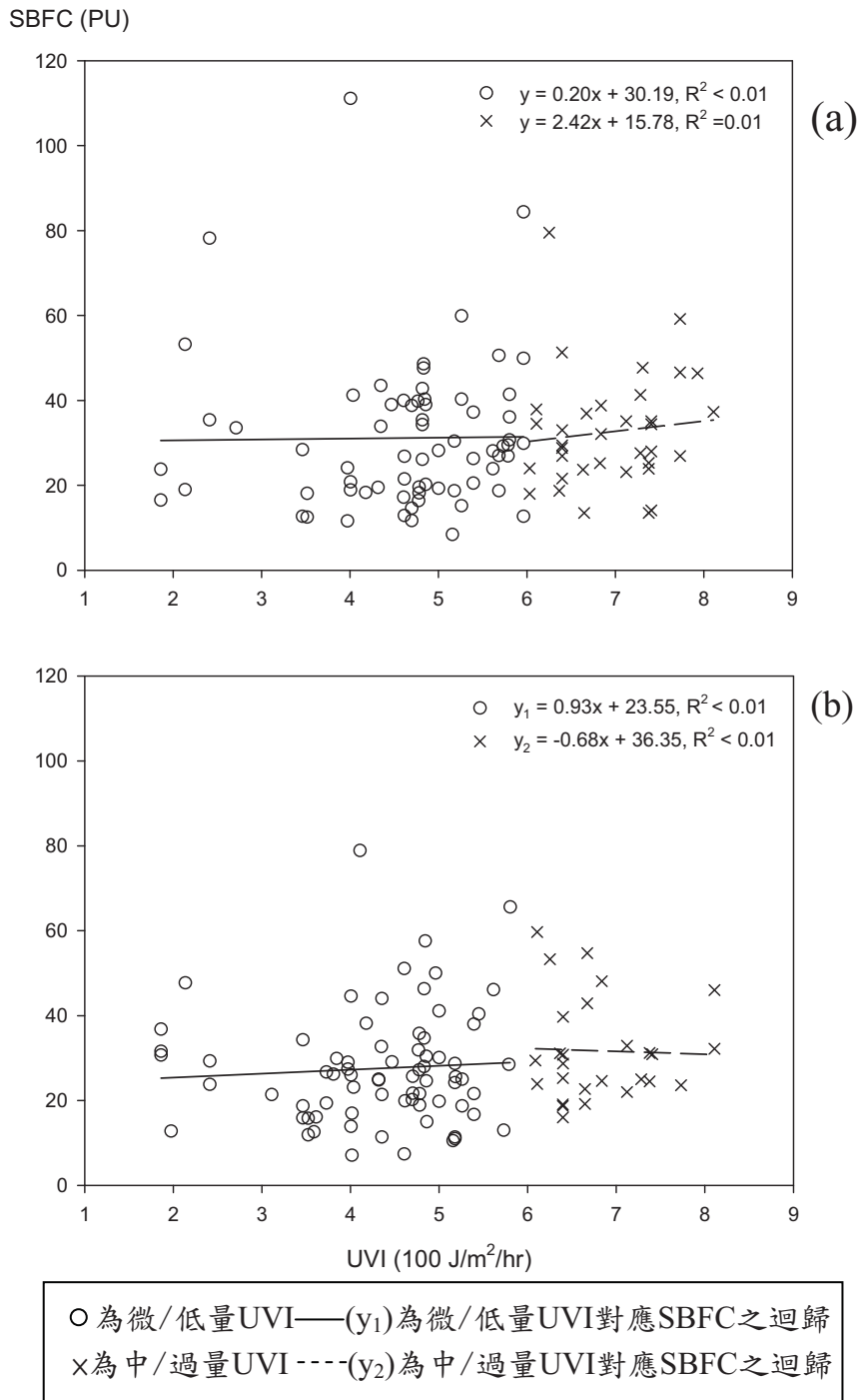
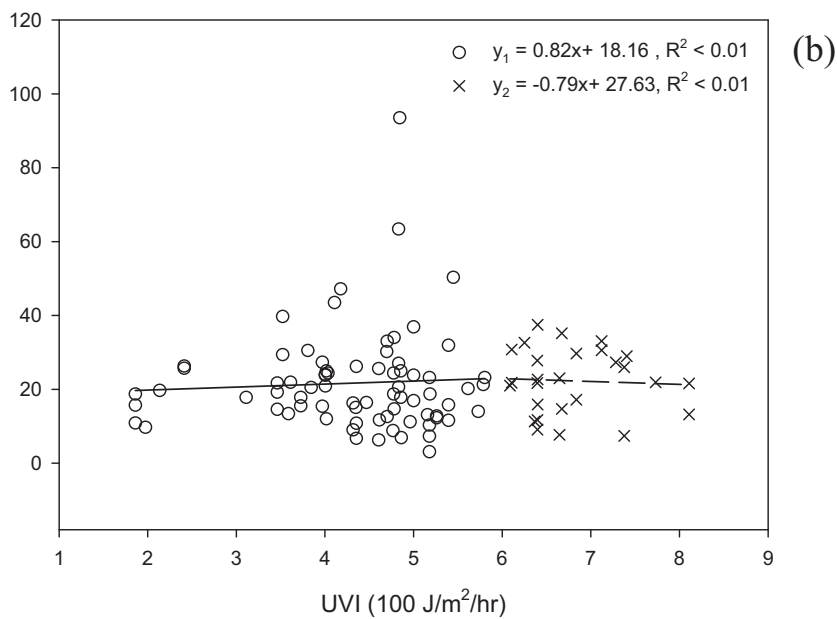
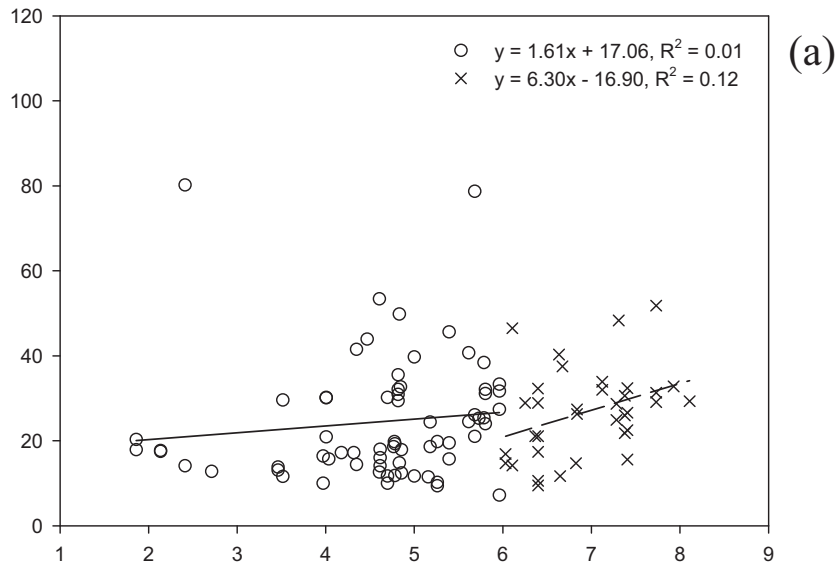


圖 4-3 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

SBFC (PU)



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應SBFC之迴歸
×為中/過量UVI----(y₂)為中/過量UVI對應SBFC之迴歸

圖 4-4 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

高於中/過量 UVI 之方程式斜率。顯示實驗組 SBFC 對於中/過量 UVI 曝曬反應之敏感度較高；控制組分析結果反之，顯示控制組 SBFC 對於微/低量 UVI 暴露反應之敏感度較高(即少量曝曬即可能引發顯著之血流變化)。進一步比較使用防曬乳液之受試人員的前臂外側(曝曬點)與上臂內側(對照點) SBFC 隨曝曬等級改變之迴歸方程式斜率，則發現前臂外側皮膚於使用防曬乳液，前臂外側之 SBFC 迴歸方程式斜率大於上臂內側之斜率，顯見遭受日光曝曬之有無，可對 SBFC 造成明顯影響。若比較未使用防曬乳液受試人員的前臂外側與上臂內側 SBFC 之迴歸方程式斜率，則發現在未使用防曬乳液狀況下，前臂外側與上臂內側之 SBFC 迴歸方程式斜率並未適切反應日光輻射之影響。

上述各 SBFC 對應不同劑量 UVI 之分佈圖(圖 4-3 與 4-4)之迴歸方程式為：

實驗組上臂內側 SBFC 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.20x + 30.19 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-5})$$

實驗組上臂內側 SBFC 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 2.42x + 15.78 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-6})$$

實驗組前臂外側 SBFC 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.61x + 17.06 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-7})$$

實驗組前臂外側 SBFC 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 6.30x - 16.90 \quad R^2 = 0.12 \quad (\text{Eq. 4-8})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.93x + 23.55 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-9})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -0.68x + 36.35 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-10})$$

控制組前臂外側 SBFC 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.82x + 18.16 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-11})$$

控制組前臂外側 SBFC 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -0.79x + 27.63 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-12})$$

Eqs. 4-1 至 4-12 中之線性所反應者當為 SBFC 對應輻射熱之變化。結果可發現：SBFC 隨日光紫外線短期輻射劑量變化之趨勢在微/低量日光紫外光輻射時較為明顯，但在中/過量日光紫外光輻射時則未呈現明顯變化。可能發生之狀況為：皮膚微血流量唯一高度敏感之生理指標，故僅需少量之環境物理因子刺激即可產生顯著變化；惟變化形成之後環境物理因子之持續增強則不必然導致皮膚微血流變化量之擴大。顯見 SBFC 為本研究選取之皮膚生理指標中對環境物理因子影響之先期指標。但受限於其難以量化反應(如透過線性迴歸模式)物理因子之影響程度，故 SBFC 之使用當以作為定性指標為主。

表 4-1 與 4-2 所示為戶外日光實驗中受試人員上臂內側與前臂外側 SBFC 之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-1 中可

表 4-1 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之測量值
^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 SBFC 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	34.79 ± 24.01	24.20 ± 11.75	2.01 ± 2.01	0.475
0716	27.94 ± 7.82	26.79 ± 8.39	1.14 ± 0.47	0.949
0720	39.30 ± 7.40	41.66 ± 19.33	1.15 ± 0.54	0.848
0723	38.29 ± 12.04	38.42 ± 10.58	1.13 ± 0.55	0.775
0727	37.54 ± 17.83	32.83 ± 16.16	1.45 ± 1.02	0.482
0730	27.50 ± 10.32	24.27 ± 8.72	1.29 ± 0.69	0.655
0806	37.09 ± 20.33	30.39 ± 9.97	1.41 ± 1.07	0.701
0813	22.87 ± 8.08	36.87 ± 13.67	0.70 ± 0.33	0.063
0817	38.09 ± 5.36	28.03 ± 18.41	2.21 ± 1.53	0.063
0820	37.06 ± 31.77	26.16 ± 11.89	1.78 ± 1.89	0.655
0824	25.67 ± 11.72	28.17 ± 4.54	0.94 ± 0.40	0.701
0827	23.91 ± 7.83	25.73 ± 6.95	0.99 ± 0.40	0.338
0831	24.30 ± 11.41	23.30 ± 13.82	1.47 ± 1.18	0.848
0903	28.49 ± 15.39	27.34 ± 9.91	1.15 ± 0.71	0.848
0907	30.11 ± 6.38	21.11 ± 6.99	1.65 ± 0.88	0.055
前臂外側 SBFC 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	25.29 ± 10.33	19.12 ± 9.21	1.48 ± 0.71	0.116
0716	25.41 ± 9.94	20.40 ± 6.16	1.37 ± 0.71	0.565
0720	32.17 ± 9.51	40.19 ± 26.89	1.18 ± 0.73	0.949
0723	35.39 ± 8.31	21.90 ± 9.01	1.96 ± 0.92	0.063
0727	21.17 ± 12.02	21.80 ± 11.20	1.37 ± 1.26	0.749
0730	31.39 ± 20.94	19.83 ± 8.31	1.87 ± 1.56	0.180
0806	25.79 ± 22.34	18.10 ± 6.05	1.62 ± 1.62	0.949
0813	26.62 ± 8.72	16.27 ± 7.10	2.03 ± 1.23	0.046 ^c
0817	29.69 ± 9.47	21.97 ± 8.82	1.51 ± 0.81	0.253
0820	24.06 ± 11.35	28.59 ± 10.39	0.96 ± 0.52	0.443
0824	20.84 ± 5.42	21.86 ± 4.54	0.99 ± 0.58	0.443
0827	19.63 ± 14.26	28.31 ± 10.75	0.79 ± 0.37	0.096
0831	21.40 ± 3.97	17.89 ± 6.36	1.46 ± 1.40	0.749
0903	14.26 ± 3.97	15.50 ± 5.28	1.00 ± 0.38	0.749
0907	26.10 ± 7.44	14.59 ± 8.68	2.96 ± 2.65	0.035 ^c

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 SBFC 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.01

表 4-2 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之測量值
^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 SBFC 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	40.81 ± 12.35	32.95 ± 11.95	1.61 ± 0.84	0.253
0716	22.48 ± 8.80	40.57 ± 22.48	1.29 ± 0.75	0.848
0720	86.71 ± 50.86	51.81 ± 15.19	1.85 ± 1.32	0.064
0723	37.97 ± 10.71	30.90 ± 9.83	1.20 ± 0.50	0.253
0727	35.57 ± 11.96	33.83 ± 15.70	1.27 ± 0.69	0.655
0730	23.04 ± 7.31	35.79 ± 29.69	0.94 ± 0.56	0.406
0806	86.91 ± 49.12	43.06 ± 12.54	2.19 ± 1.43	0.025 ^c
0813	34.37 ± 9.66	34.87 ± 15.95	1.16 ± 0.52	0.775
0817	63.31 ± 20.86	55.85 ± 15.48	1.23 ± 0.89	0.886
0820	48.23 ± 24.27	33.49 ± 9.71	1.56 ± 0.91	0.482
0824	47.33 ± 14.97	41.60 ± 16.49	1.37 ± 0.78	0.565
0827	52.51 ± 16.67	39.54 ± 18.63	1.68 ± 0.99	0.225
0831	49.31 ± 19.15	37.39 ± 17.45	1.58 ± 0.93	0.180
0903	47.19 ± 22.45	42.46 ± 27.55	1.45 ± 0.93	0.338
0907	44.24 ± 13.35	35.07 ± 10.67	1.42 ± 0.72	0.406
前臂外側 SBFC 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	34.09 ± 23.52	36.17 ± 9.86	1.13 ± 0.87	0.252
0716	33.05 ± 5.49	24.59 ± 9.12	1.55 ± 0.63	0.064
0720	72.97 ± 25.88	48.81 ± 17.02	1.69 ± 0.88	0.085
0723	32.17 ± 9.34	37.87 ± 15.09	1.05 ± 0.68	0.391
0727	32.46 ± 17.12	36.20 ± 14.61	1.12 ± 0.90	0.565
0730	18.94 ± 4.03	28.97 ± 14.48	0.86 ± 0.50	0.338
0806	40.37 ± 20.88	40.09 ± 16.19	1.15 ± 0.73	0.949
0813	30.78 ± 11.58	24.67 ± 10.78	1.50 ± 0.85	0.391
0817	49.24 ± 22.45	32.50 ± 10.53	1.43 ± 0.77	0.199
0820	30.87 ± 11.01	33.90 ± 12.82	1.01 ± 0.45	0.949
0824	38.27 ± 6.46	33.77 ± 17.45	1.52 ± 0.91	0.406
0827	33.34 ± 16.22	26.64 ± 8.67	1.39 ± 0.85	0.749
0831	34.61 ± 9.94	27.70 ± 8.34	1.36 ± 0.57	0.180
0903	30.94 ± 13.17	31.40 ± 1.16	1.12 ± 0.65	1.000
0907	27.44 ± 8.13	29.79 ± 10.19	1.05 ± 0.50	0.482

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 SBFC 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.01

觀察到日光照射區實驗中實驗組前臂外側之 SBFC 測量值，於實驗日期 8 月 20 日、24 日、27 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆高於控制組。以上趨勢多數不具統計顯著性，僅在實驗日期為 8 月 13 日、以及 9 月 7 日時，使用防曬乳液與否之前臂外側 SBFC 差異達統計顯著性(p -value = 0.046、以及 0.035)。以上分析說明 SBFC 是否會因防曬乳液之使用而在遭受日光輻射時升高，難以就現有資料判定。由表 4-2 中可觀察到戶外陰涼區實驗之實驗組對上臂內側之 SBFC，於實驗日期 7 月 30 日時小於控制組，其餘測量日皆高於控制組；實驗組前臂外側之 SBFC 測量值，於實驗日期 7 月 30 日時小於控制組，其餘測量日亦皆高於控制組。但以上趨勢多數亦不具統計顯著性。在上臂內側皮膚部分，於實驗日期為 8 月 6 日時，使用防曬乳液與否之上臂內側 SBFC 差異達統計顯著性(p -value = 0.025)。當將日光照射區實驗與戶外陰涼區各 16 次實驗總合分析，分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定使用防曬乳液與否對 SBFC 之影響時發現：在日光照射區部分，使用防曬乳液與否，對上臂內側 SBFC 之變化未造成統計上顯著之影響(p -vaule = 0.290)；但對應前臂外側 SBFC 之變化則造成統計上顯著之影響(p -vaule = 0.031)。檢定戶外陰涼區實驗參與人員之皮膚結果發現，使用防曬乳液與否對上臂皮膚之 SBFC 造成統計顯著之影響(p -vaule = 0.003)；但對前臂外側(日光照射區實驗中遭受日光輻射之區域)SBFC 則未有統計上顯著之影響(p -vaule = 0.443)。在顯

著影響發生時，實驗組(使用防曬乳液)之 SBFC 皆高於控制組(未使用防曬乳液)；以上狀況不論日曬有無皆然，顯示實驗組之 SBFC 較高並非源自於日光曝曬。因兩實驗區域(日光照射區與戶外陰涼區)之熱因子強度接近，故合理之推論為實驗組之 SBFC 上升主要源自防護乳液之使用。

以上結果顯示：防曬乳液之使用固然可保護皮膚免受因吸收日光能量產生之傷害(如紅斑生成與曬黑等；見 4.1.5 與 4.1.6 討論)。但以防曬乳液本身之黏稠性使得在塗敷時形成皮膚與外界空氣間之隔離層，亦因此阻斷皮膚正常之散熱功能，因而造成散熱之需求上升，並以皮膚微血流增加之形式呈現—猶如穿戴手套易造成手部內部皮膚出汗之情形。以上現象說明防曬乳液之使用固然能降低日光紫外線輻射之傷害，但在濕熱地區如我國，不必然會是戶外活動者之最佳防護選項。

圖 4-5 與 4-6 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚微血流量在日光照射區實驗(戶外有日光照射處，曝曬日光 10 分鐘)隨綜合溫度熱指數(WBGT)產生之改變；圖 4-7 與 4-8 則為實驗組與控制組受試人員皮膚微血流量在戶外陰涼區實驗(戶外無日光照射處，靜坐 20 分鐘)隨 WBGT 產生之變化。整體而言，日光照射區實驗期間測量所得之 SBFC 數值介於 3-112 PU 之間；戶外陰涼區實驗期間測量所得之 SBFC 數值介於 11-123 PU 之間。進一步以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定有無日光直接曝曬間之統計，實驗組結果顯示：上臂內側之 SBFC 在日光照射區與戶外陰涼區之

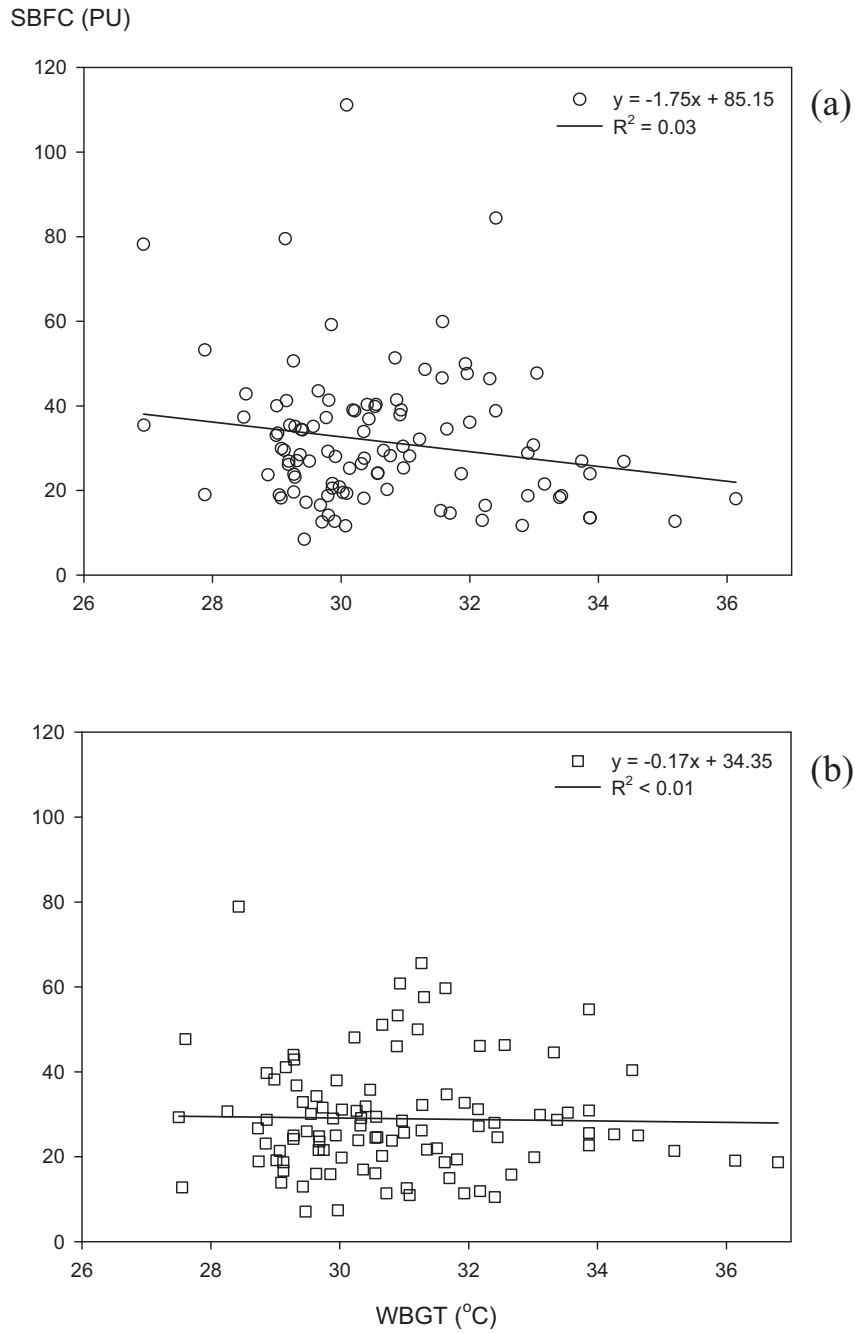


圖 4-5 日光照射區實驗之上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

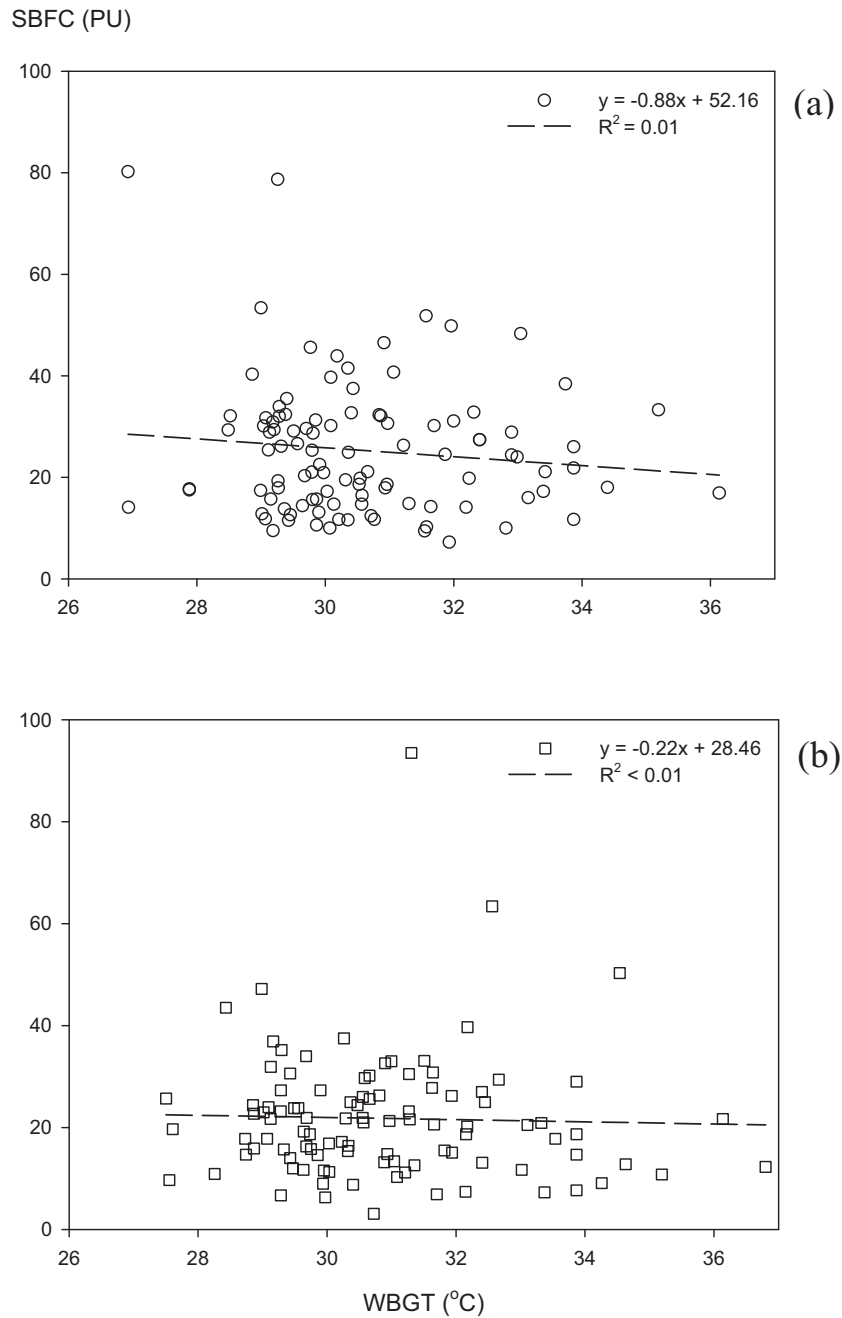


圖 4-6 日光照射區實驗之前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

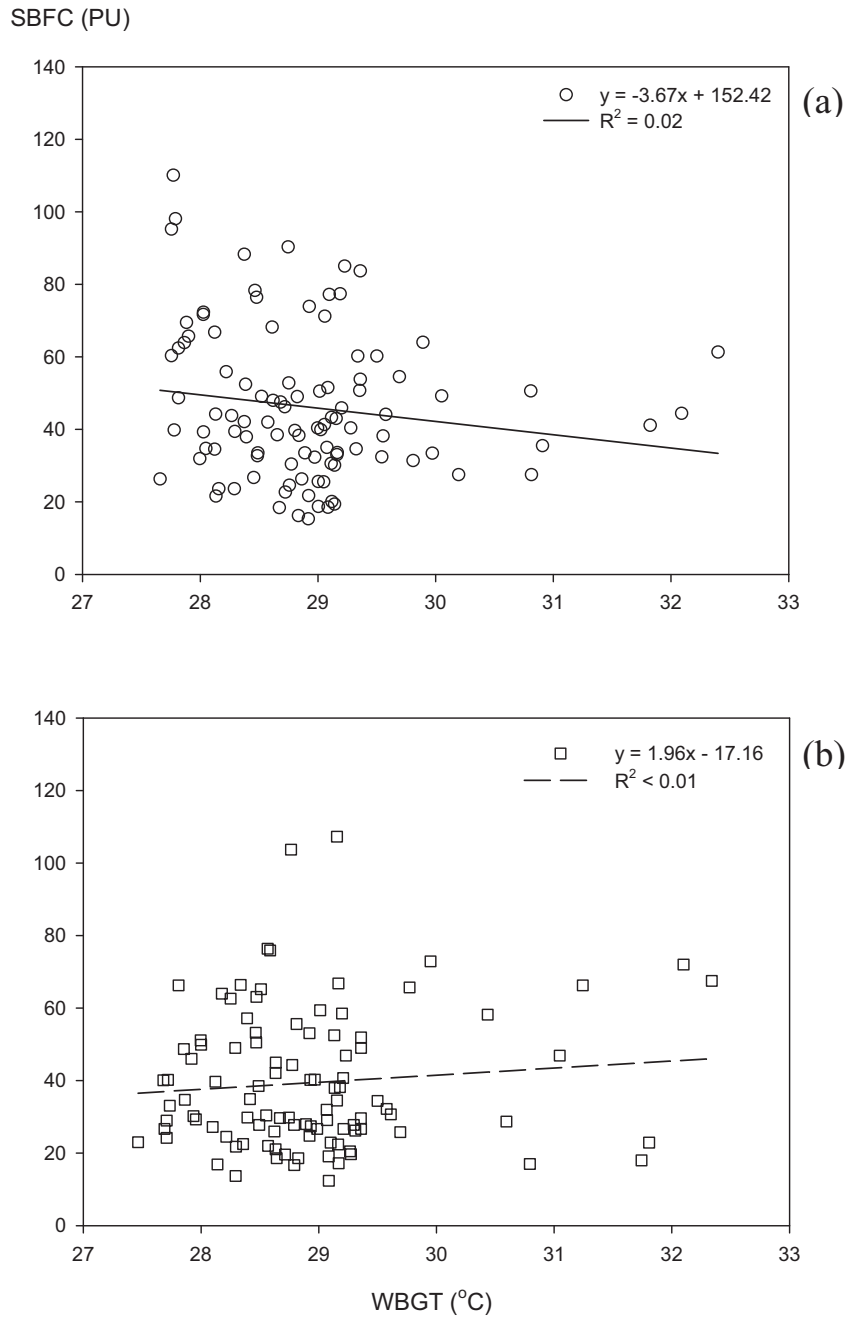


圖 4-7 戶外陰涼區實驗之上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

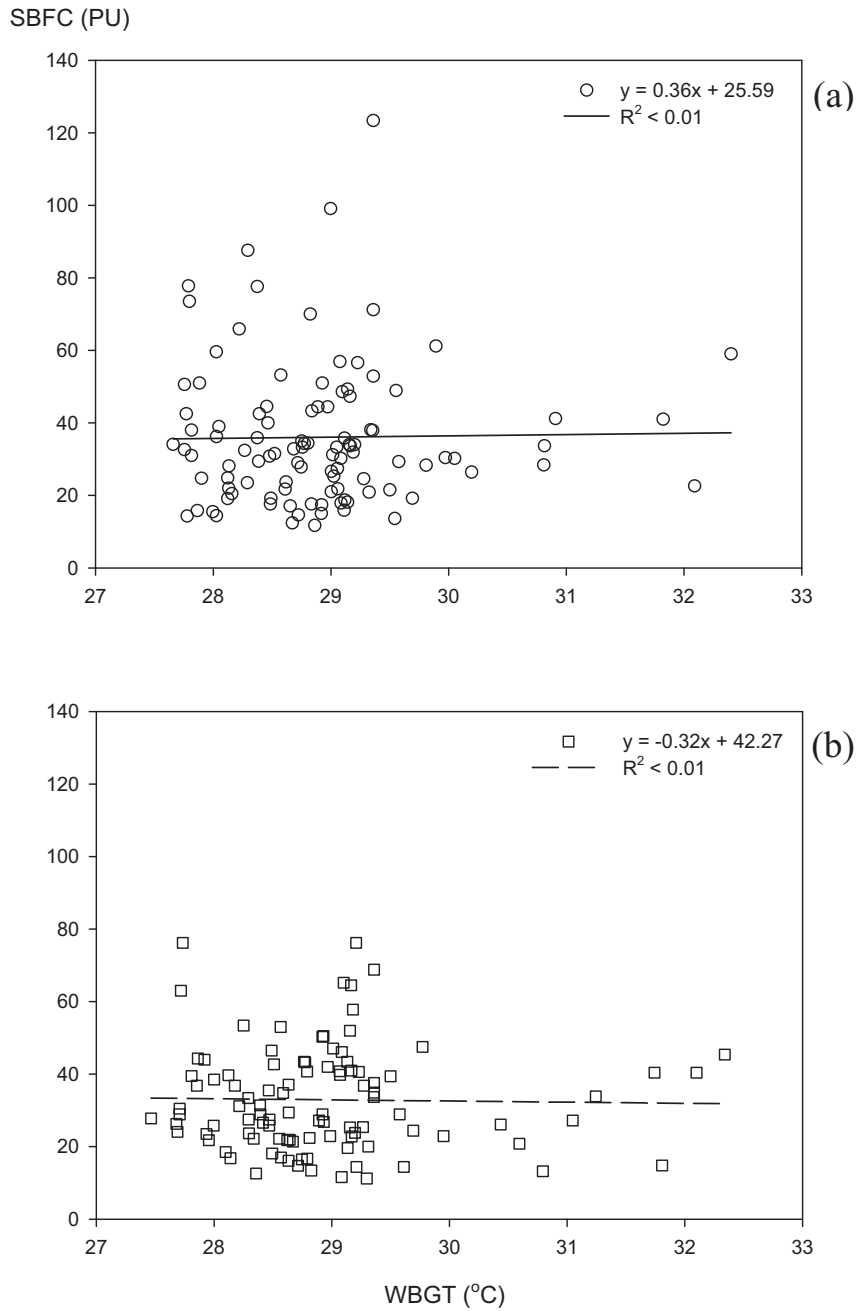


圖 4-8 戶外陰涼區實驗之前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

高；前臂外側之 SBFC 前臂外側亦以戶外陰涼區之數值較高(p -value < 0.001)。在控制組部分：上臂內側 (p -value < 0.001)以及前臂外側(p -value = 0.016)之 SBFC，在日光照射區與戶外陰涼區所測量之數值均達統計顯著差異；以在戶外陰涼區之數值較高。推測可能與進行戶外陰涼區實驗時間接近午後，故 WBGT 值一般較高，進而使得身體透過表皮血液散熱之需求增高。

由日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之迴歸方程式中，可發現實驗組於戶外陰涼區之迴歸斜率高於日光照射區之迴歸斜率，顯示實驗組於戶外陰涼區實驗時對環境熱因子暴露反應之敏感度較高。在實驗中，實驗組之受試人員於日光照射區實驗前 30 分鐘施用指定防曬乳液，但在戶外陰涼區實驗時不施用防曬乳液。以上結果建議：防曬乳液在於日光照射區施用後，在於戶外陰涼區實驗進行前，已大約散失殆盡(實驗組自日光照射區實驗至戶外陰涼區實驗時間約為 2 小時)，故皮膚直接反應外在環境物理因子影響之程度上升。

以下為各分佈圖(圖 4-5、4-6、4-7、以及 4-8)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 SBFC 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -1.75x + 85.15 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-13})$$

實驗組前臂外側 SBFC 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.88 + 52.16 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-14})$$

控制組上臂內側 SBFC 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.17x + 34.35 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-15})$$

控制組前臂外側 SBFC 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.22x + 28.46 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-16})$$

實驗組上臂內側 SBFC 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -3.67x + 152.42 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-17})$$

實驗組前臂外側 SBFC 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.36 + 25.59 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-18})$$

控制組上臂內側 SBFC 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.96x - 17.16 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-19})$$

控制組前臂外側 SBFC 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.32x + 42.27 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-20})$$

圖 4-9 與 4-10 所示分別為日光照射區實驗中每測量日受測者上臂內側 SBFC 與前臂外側日光照射區與戶外陰涼區測量值之比值對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。如圖顯示，實驗組中多數之 SBFC 比值小於 1，亦即在日光照射區之血流變化較低，但控制組之 SBFC 比值則無此現象，反應防曬乳液之使用初期可能具有涼膚效果。且隨著日光照射區 WBGT 值超越戶外陰涼區之差異增大，實驗組之 SBFC 比值呈現下降趨勢；以上發現建議在較熱之戶外環境中，前述之涼膚效果益發明顯。但類似狀況在控制組(未使用防曬乳液者)中則未觀察到。而以上

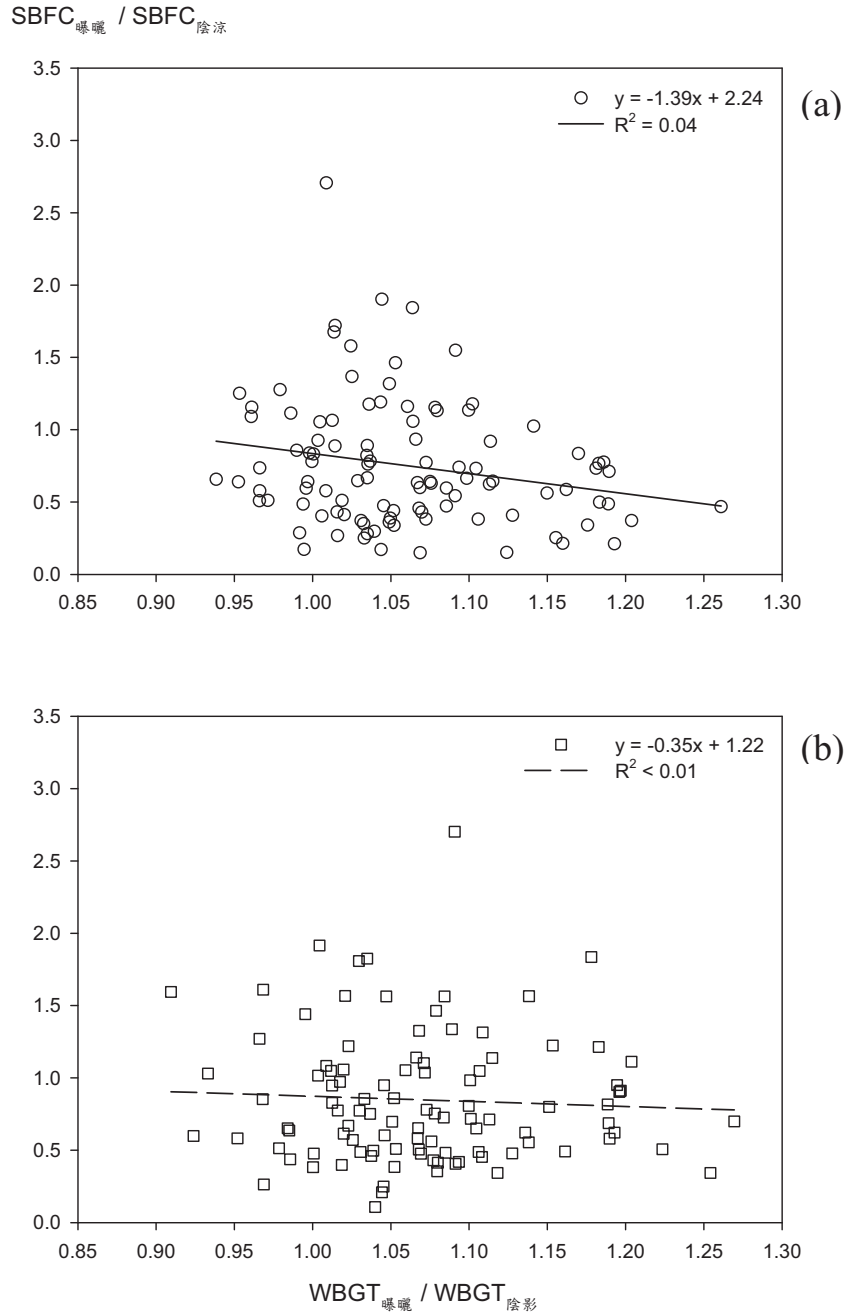


圖 4-9 日光照射區與戶外陰涼區上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

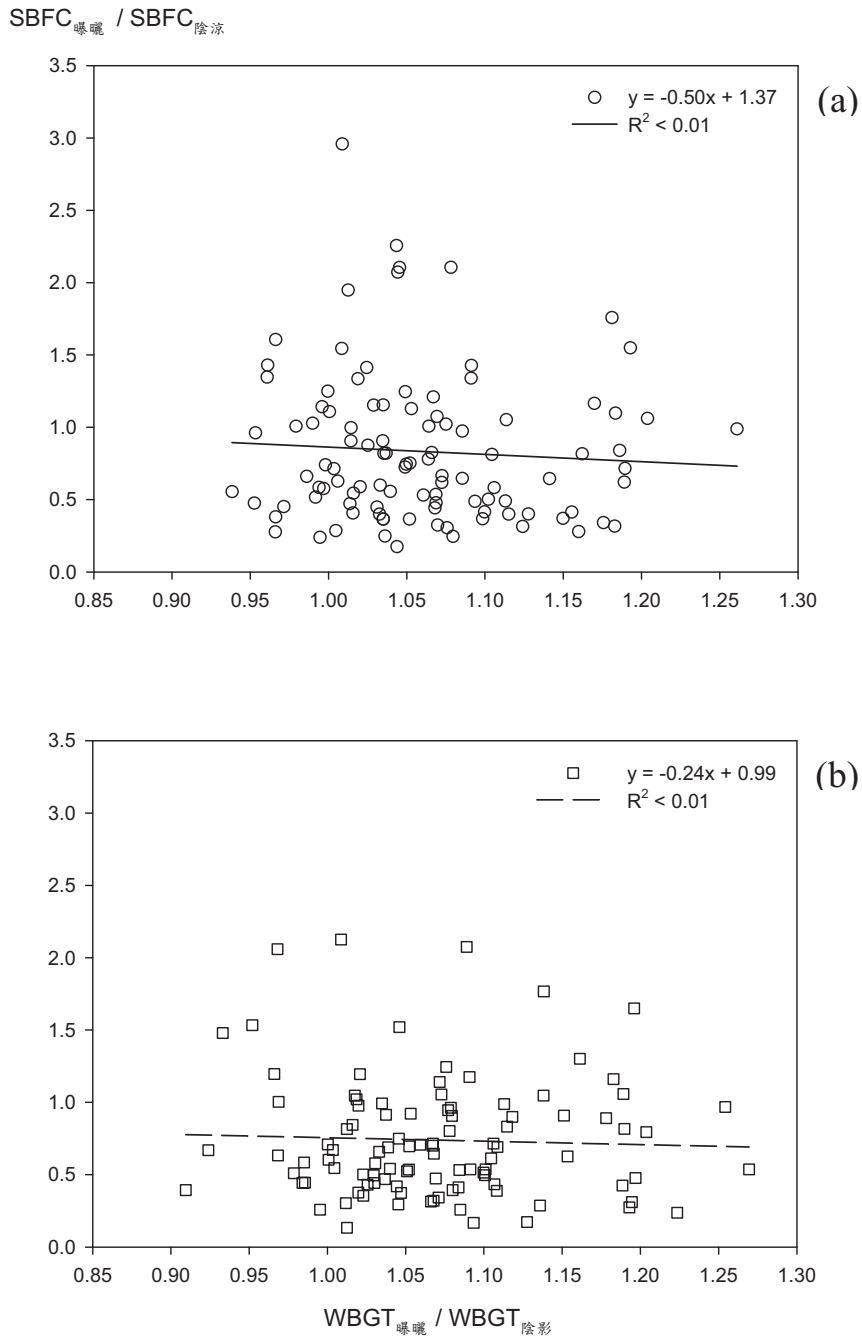


圖 4-10 日光照射區與戶外陰涼區前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

所得現象同時在圖 4-9 (上臂內側；未遭受日光曝曬之皮膚)與圖 4-10 (前臂外側；遭受日光曝曬之皮膚)同時觀察到，顯示在防曬乳液使用者之 SBFC 隨 WBGT 變化的過程中，日光輻射並非主要之決定因素。

圖4-11與4-12所示為實驗組與控制組受試人員SBFC在戶外日光實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。隨著累積性紫外光增加，SBFC有逐漸下降之趨勢。以上趨勢可能與皮膚遭受長期曝曬後障壁功能改變、影響血流變化，或與受測者於戶外實驗階段、逐漸適應戶外溫濕度變化有關。由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估在上臂內側與前臂外側之SBFC因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及95%信賴區間(95% confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控制干擾因子。表4-3所示為分析結果：在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分，使用防曬乳液之SBFC為未使用防曬乳液之0.997倍(95% CI = 0.978-1.018)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處未達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分，使用防曬乳液之SBFC為未使用防曬乳液約1.013倍(95% CI = 0.989-1.037)，故使用防曬乳液與否之對遭受紫外光曝曬皮膚之SBFC，以長期效應來說，亦未達統計顯著差異。以上結果建議，操縱皮膚SBFC值變化之環境物理因子仍以熱因子為主，而非日光紫外線之能源吸收。

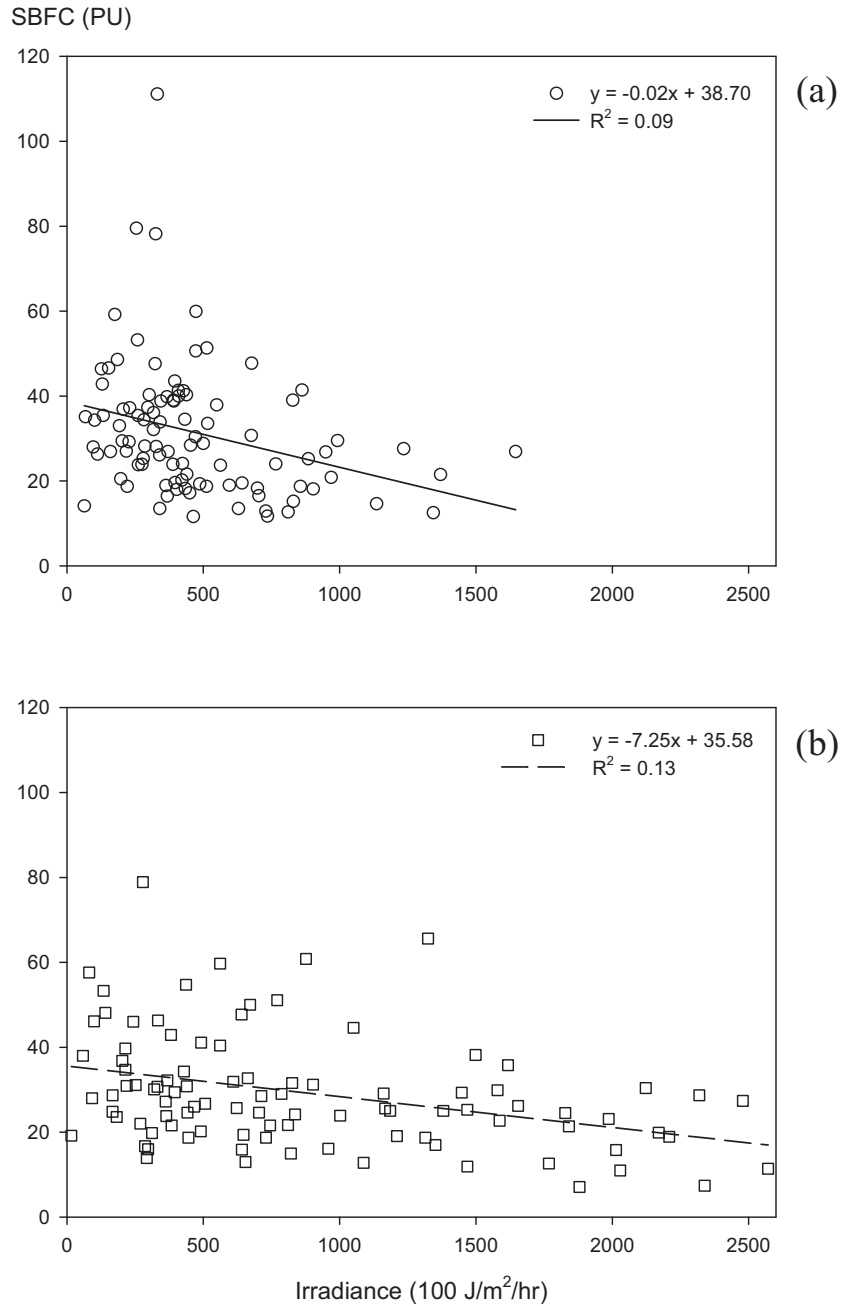


圖 4-11 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

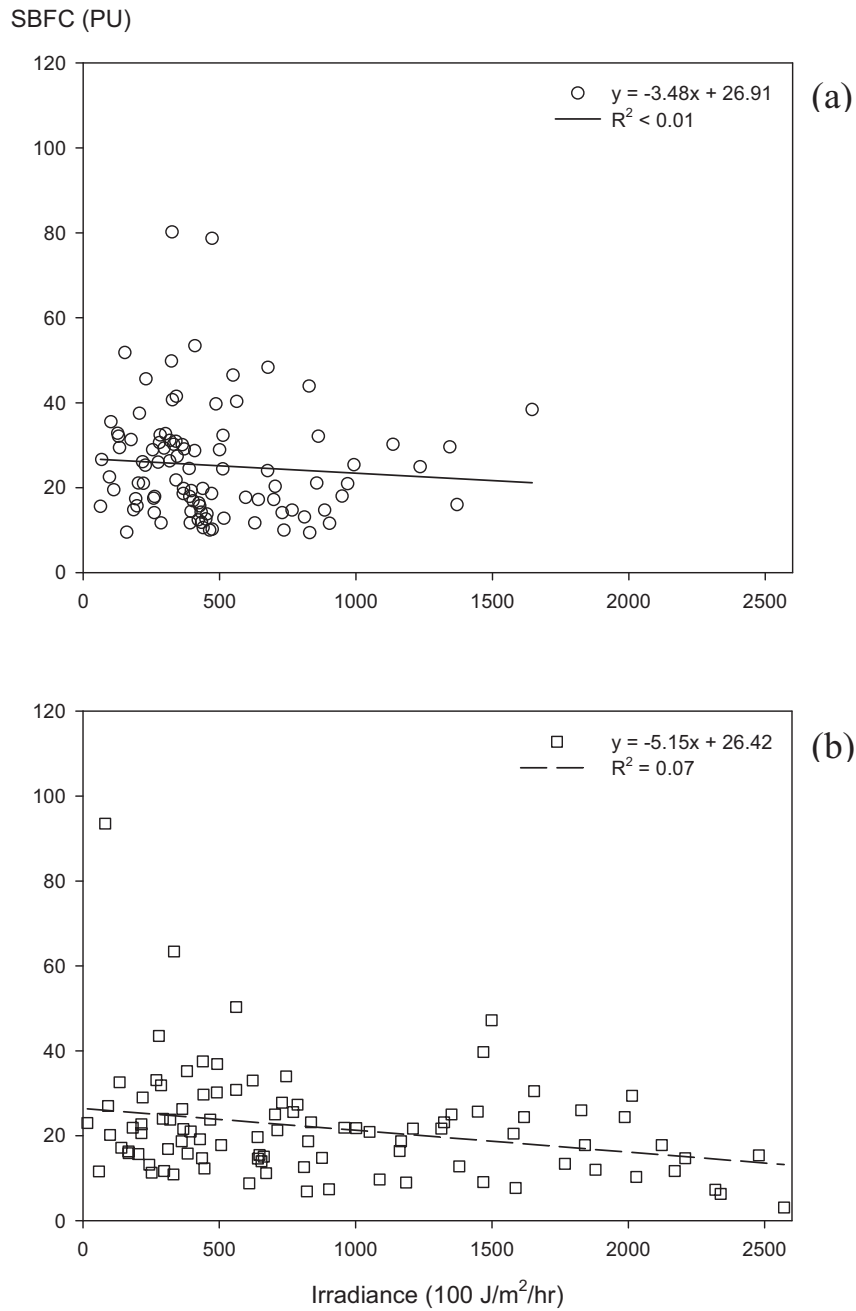


圖 4-12 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-3 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之 SBFC				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.012	0.993-1.031	0.997	0.978-1.018
前臂外側(遭受日光曝曬)之 SBFC				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.023	0.999-1.047	1.013	0.989-1.037

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

圖4-13與4-14所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之TSV值，對應前臂外側(日光照射處)SBFC之量測值。由圖4-13中可觀察到於日光照射區使用防曬乳液人員之TSV對應前臂外側SBFC呈負線性關係；而未使用防曬乳液人員之TSV對應前臂外側SBFC則呈正線性關係。以上觀察建議：對使用防曬乳液者而言，雖然乳液形成之隔熱效果驅動生理散熱之需求，但乳液同時提供涼膚功能，故受試者之主觀熱感知並未同步上升。由圖4-14中可觀察到實驗組於戶外陰涼區之TSV對應前臂外側SBFC之線性迴歸趨近於水平直線，與控制組之情況相似，顯示在戶外陰涼區測量時，主觀熱感知強弱不受SBFC高低影響，再次反應出於戶外陰涼區進行測量時防曬乳液已散失殆盡，不再具有防護或涼膚功能。

4.1.2 日光紫外線輻射對經皮水分散失量之影響

圖4-15與4-16所示為實驗組與控制組受試人員經皮水分散失量 (TEWL)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變；圖中所示為受測人員上臂內側與前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10分鐘)後對應曝曬期間UVI之TEWL分佈與其線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之TEWL數值介於10-120 $\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ 之間。由未使用防曬乳液者上臂內側與前臂外側之迴歸方程式可發現其斜率皆高於實驗組之斜率，顯示未使用防曬乳液者之皮膚TEWL在遭受短期紫外線暴露後之反應

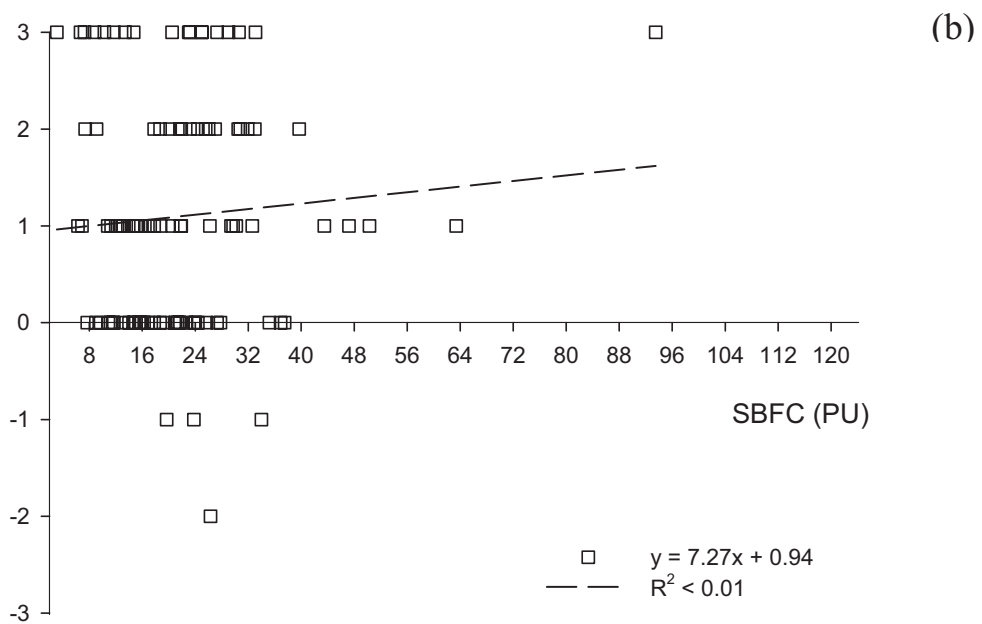
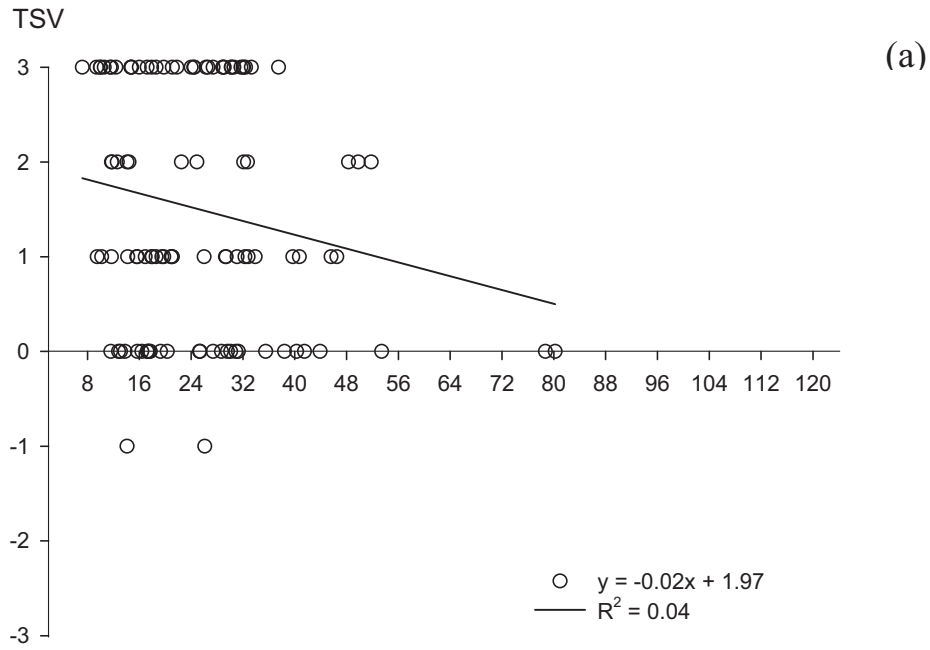


圖 4-13 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

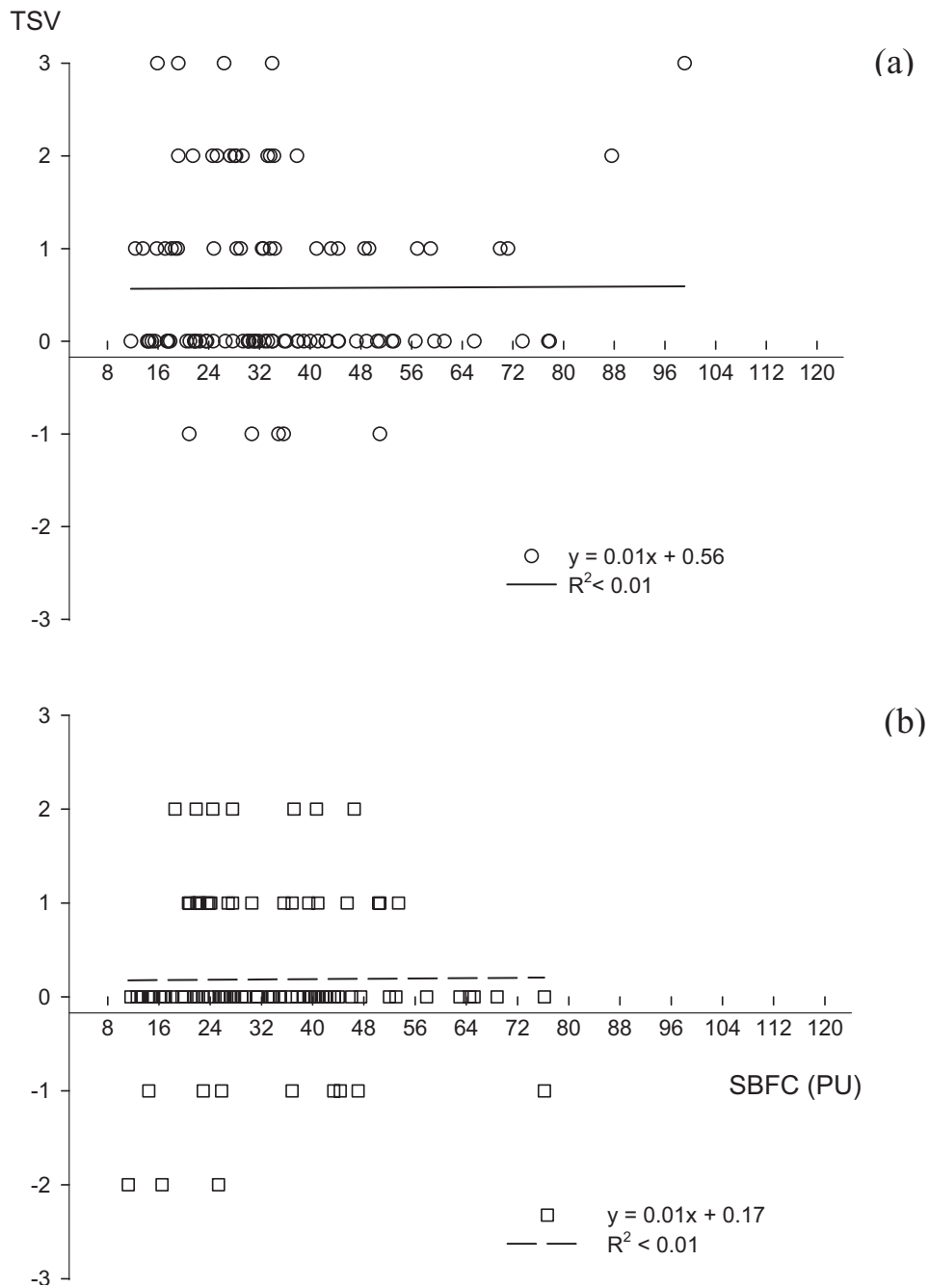


圖 4-14 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

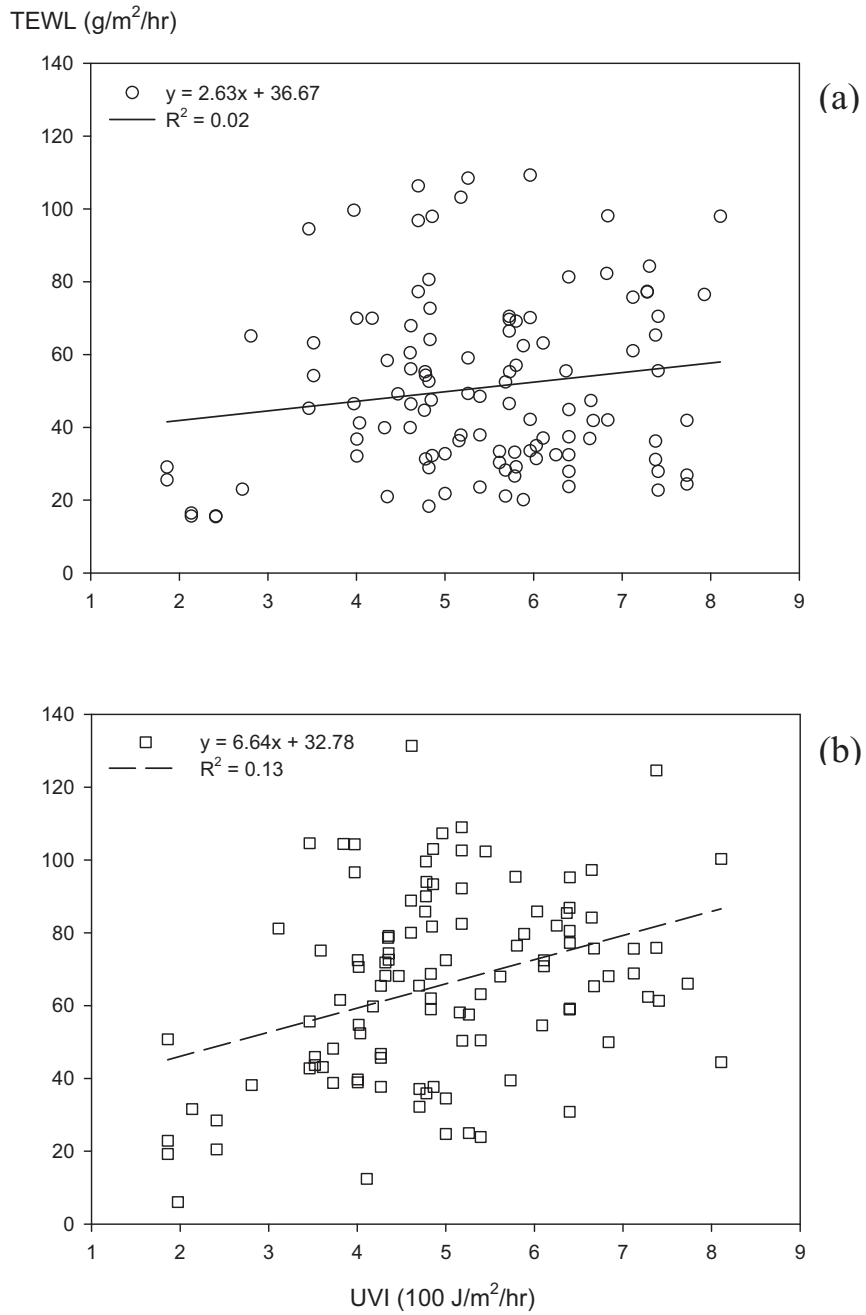


圖 4-15 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間日光紫外線指數 (UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組 (未使用防曬乳液)

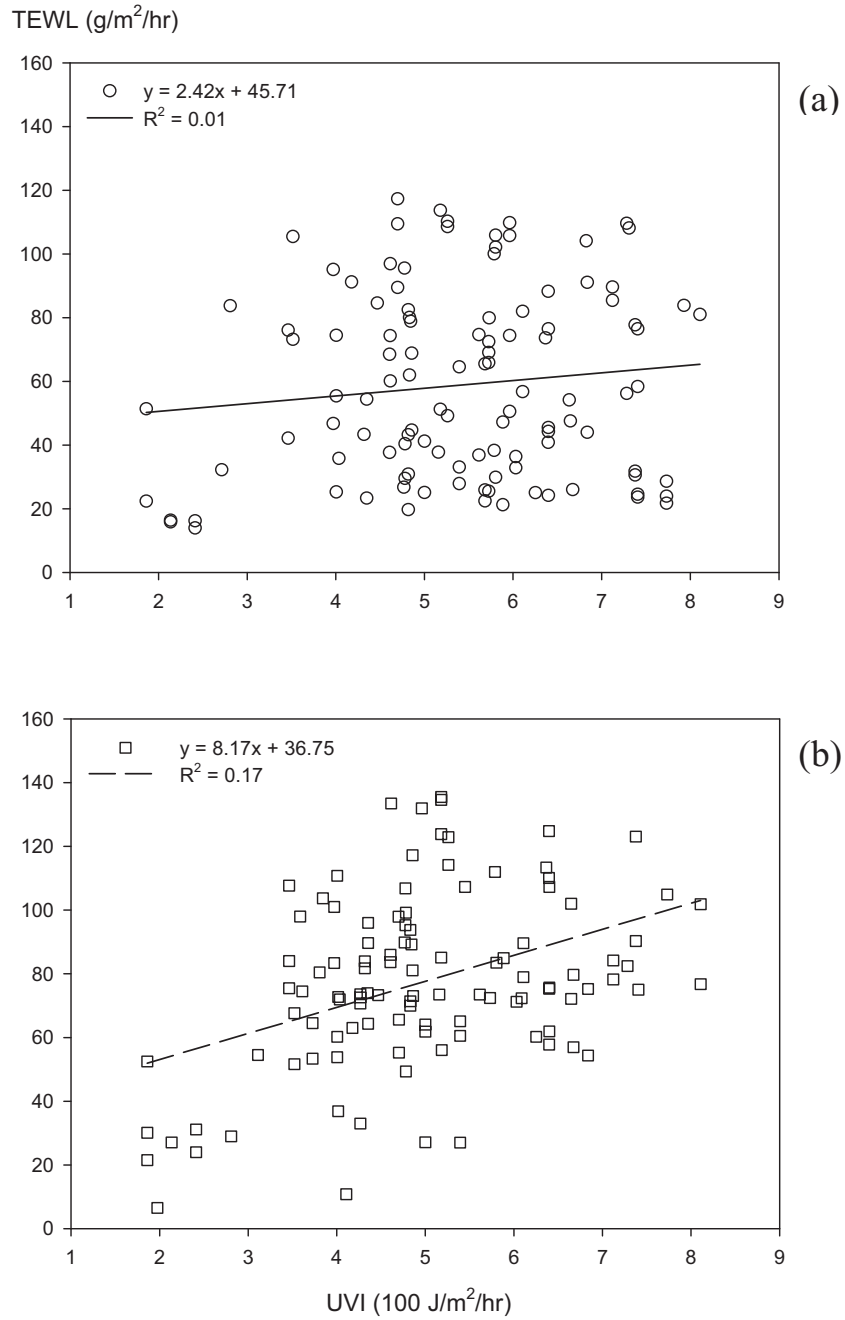


圖 4-16 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans-epidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

較明顯。亦即因為皮膚角質層之障壁功能受曬傷下降，造成皮膚防止水份過度散失之維持生理穩定功能亦受損。

進一步比較使用防曬乳液受試人員的前臂外側(曝曬點)與上臂內側(對照點)之 TEWL 隨 UVI 變化情形發現，人員在使用防曬乳液時，前臂外側皮膚之 TEWL 變化率(迴歸方程式之斜率)較對上臂內側之變化率為大。以上結果顯示與未使用防曬乳液時之狀況相較，防曬乳液確能提供保護作用，但難以完全防止曬傷之形成。

以下為各分佈圖(圖 4-15 與 4-16)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 TEWL 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 2.63x + 36.67 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-21})$$

實驗組前臂外側 TEWL 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 2.42x + 45.71 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-22})$$

控制組上臂內側 TEWL 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 6.64x + 32.78 \quad R^2 = 0.13 \quad (\text{Eq. 4-23})$$

控制組前臂外側 TEWL 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 8.17x + 36.75 \quad R^2 = 0.17 \quad (\text{Eq. 4-24})$$

以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定使用防曬乳液與否對皮膚 TEWL 值隨 UVI 變化所產生之影響。統計結果顯示，實驗組與控制組之上臂內側 TEWL 間具顯著差異($p\text{-vaule} < 0.001$)；前臂外側之 TEWL 間差異亦達統

計顯著(p -value < 0.001)。以上結果再次確認使用防曬乳液與否對皮膚障壁功能受日光紫外線曝曬 TEWL 具明顯影響。

進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量(如圖 4-17 與 4-18)進行分析時發現：就實驗組與控制組間進行比較，使用防曬乳液者前臂外側皮膚之 TEWL 對應 UVI 之迴歸方程式斜率低於未使用防曬乳液者，顯示使用防曬乳液者之皮膚障壁功能，較未受日光紫外線暴露之傷害。若就高暴露劑量與低劑量之日光暴露危害比較，傷害形成(障壁功能減損)在低劑量暴露區即可發生(UVI 小於 6)。以上結果建議：防曬機制之使用不應侷限於日照強烈階段，實際上於一般日照情況下即應進行，以避免傷害之發生。

以下為各分佈圖(圖 4-17 與 4-18)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 TEWL 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 4.69x + 28.56 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-25})$$

實驗組上臂內側 TEWL 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 10.31x - 20.04 \quad R^2 = 0.07 \quad (\text{Eq. 4-26})$$

實驗組前臂外側 TEWL 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 7.12x + 26.04 \quad R^2 = 0.06 \quad (\text{Eq. 4-27})$$

實驗組前臂外側 TEWL 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 3.36x + 33.96 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-28})$$

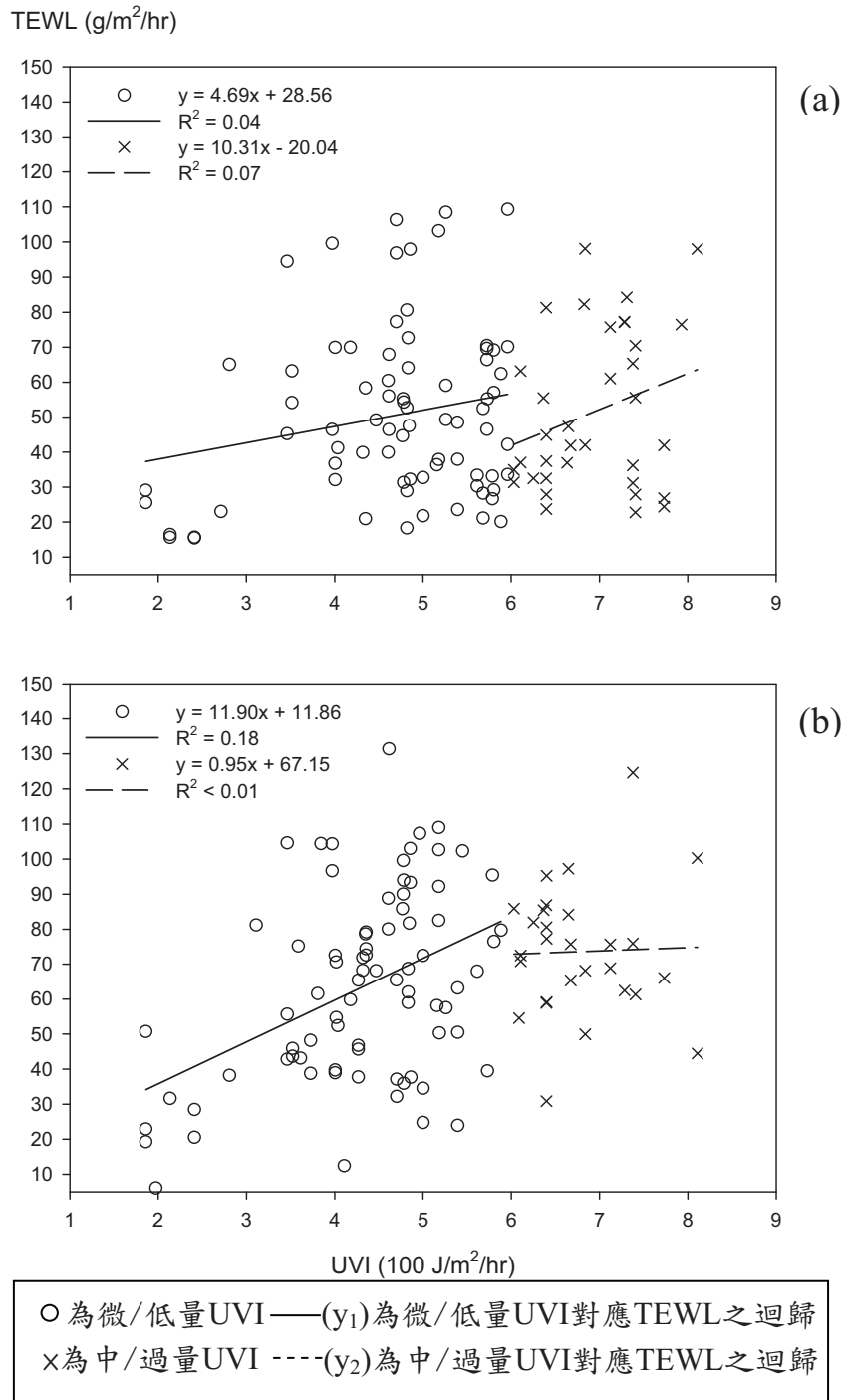


圖 4-17 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

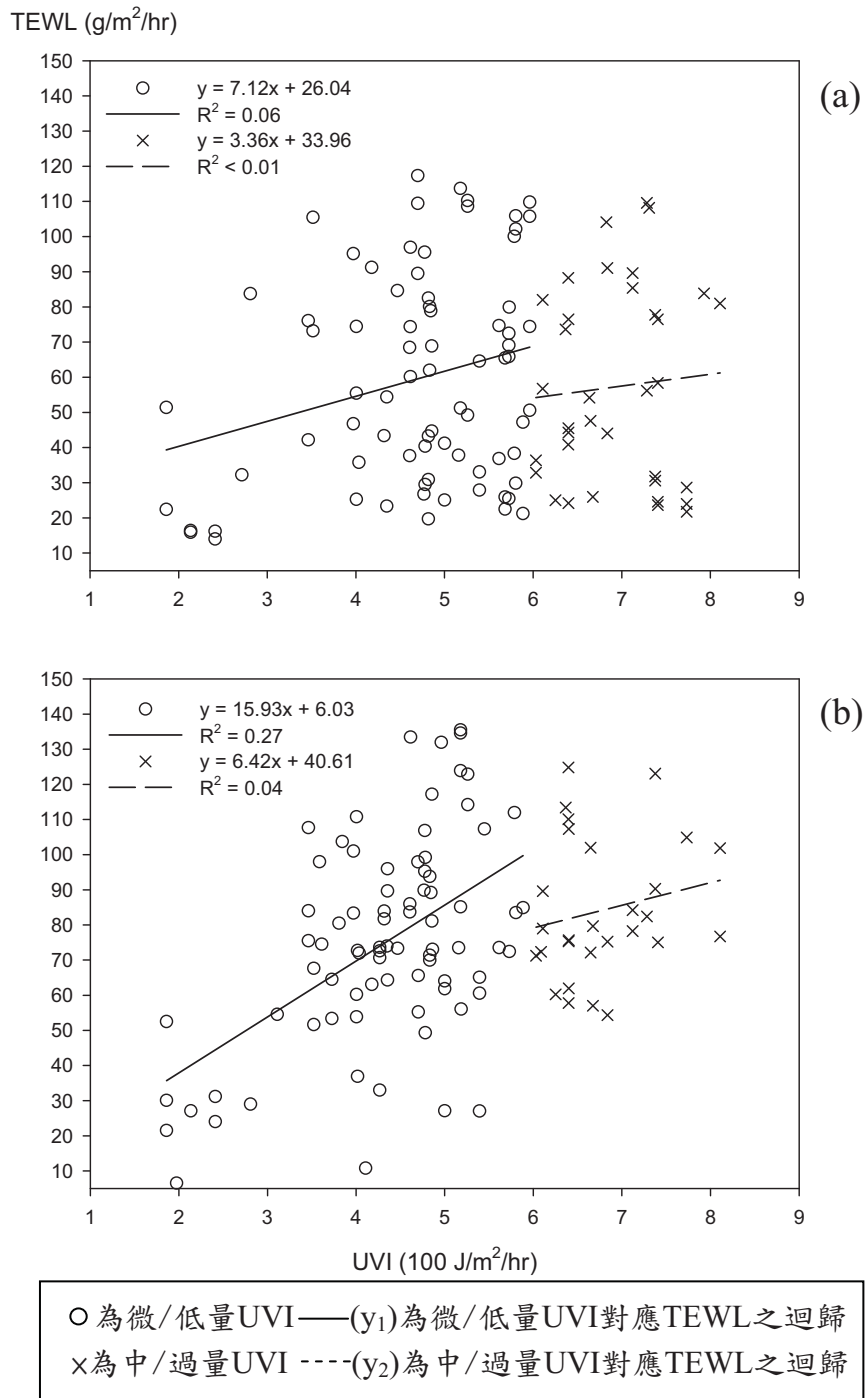


圖 4-18 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans-epidermal water loss, TEWL)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

控制組上臂內側 TEWL 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 11.90x + 11.86 \quad R^2 = 0.18 \quad (\text{Eq. 4-29})$$

控制組上臂內側 TEWL 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.95x + 67.15 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-30})$$

控制組前臂外側 TEWL 對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 15.93x + 6.03 \quad R^2 = 0.27 \quad (\text{Eq. 4-31})$$

控制組前臂外側 TEWL 對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 6.42x + 40.61 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-32})$$

Eqs. 4-21 至 4-32 中之斜率所反應者當為 TEWL 對應紫外線劑量之變化。

結果可發現：TEWL 之變化可反應日光紫外線短期輻射劑量。

陰涼區上臂內側/前臂外側 TEWL 之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-4 中可觀察到日光照射區實驗中實驗組未遭受日光曝曬皮膚之 TEWL，於實驗日期 7 月 9 日、20 日、8 月 6 日時大於控制組，其餘測量日皆低於控制組；日光照射區實驗中實驗組遭受日光曝曬皮膚之 TEWL 測量值，於 7 月 9 日、20 日、8 月 6 日、17 日時大於控制組，其餘測量日皆低於控制組。在未遭受日光曝曬皮膚部分，於實驗日期為 7 月 27 日、8 月 27 日、以及 9 月 7 日時，使用防曬乳液與否之 TEWL 差異達統計顯著性(p -value 皆為 0.035)。在遭受日光曝曬皮膚部分，於實驗日期為 8 月 13 日、27 日、31 日、以及 9 月 7 日時，使用防曬乳

表 4-4 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之測量值
^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	61.18 ± 24.92	71.48 ± 6.72	0.50 ± 0.41	0.317
0716	57.25 ± 16.88	52.25 ± 15.33	1.26 ± 0.43	0.475
0720	40.95 ± 16.71	61.52 ± 20.45	0.78 ± 0.53	0.064
0723	52.12 ± 20.98	52.99 ± 20.91	1.39 ± 1.37	0.949
0727	39.32 ± 16.43	57.40 ± 16.48	0.69 ± 0.27	0.153
0730	38.08 ± 12.07	61.27 ± 19.06	0.71 ± 0.37	0.035 ^c
0806	35.93 ± 12.82	50.63 ± 12.71	0.82 ± 0.45	0.142
0813	20.13 ± 5.26	25.66 ± 12.71	1.14 ± 0.99	0.338
0817	52.50 ± 23.18	82.44 ± 26.28	0.72 ± 0.43	0.063
0820	60.63 ± 22.81	67.63 ± 12.22	0.95 ± 0.41	0.475
0824	49.16 ± 17.88	54.17 ± 15.06	0.97 ± 0.44	0.406
0827	73.57 ± 26.35	89.15 ± 14.90	0.85 ± 0.35	0.338
0831	51.70 ± 18.64	75.37 ± 21.38	0.77 ± 0.42	0.035 ^c
0903	56.96 ± 17.49	71.36 ± 20.44	0.87 ± 0.38	0.225
0907	68.18 ± 23.89	96.40 ± 22.91	0.76 ± 0.35	0.116
前臂外側 TEWL 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	79.04 ± 24.92	80.98 ± 10.42	0.94 ± 0.35	0.886
0716	55.02 ± 22.42	60.62 ± 21.48	1.16 ± 0.75	0.317
0720	44.08 ± 20.19	67.51 ± 22.13	0.76 ± 0.53	0.110
0723	56.76 ± 23.74	64.71 ± 25.50	1.44 ± 1.80	0.565
0727	42.25 ± 23.95	72.65 ± 16.77	0.54 ± 0.32	0.086
0730	50.60 ± 21.08	72.47 ± 10.07	0.71 ± 0.32	0.085
0806	43.35 ± 20.38	66.51 ± 17.78	0.74 ± 0.53	0.064
0813	24.07 ± 34.49	27.56 ± 12.72	1.25 ± 1.31	0.406
0817	53.80 ± 19.90	88.87 ± 20.76	0.64 ± 0.29	0.032 ^c
0820	72.55 ± 34.49	68.75 ± 18.00	1.08 ± 0.67	0.568
0824	56.92 ± 23.67	68.72 ± 18.57	0.88 ± 0.41	0.749
0827	97.14 ± 22.76	96.45 ± 13.97	0.92 ± 0.28	0.565
0831	54.08 ± 26.79	86.18 ± 11.51	0.67 ± 0.40	0.048 ^c
0903	62.69 ± 23.67	86.68 ± 11.51	0.74 ± 0.29	0.048 ^c
0907	81.01 ± 25.87	103.08 ± 27.78	0.86 ± 0.42	0.085

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 TEWL 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.05

液與否之前臂外側之 TEWL 差異達統計顯著性(p -value = 0.032、0.048、0.048、以及 0.018)。由表 4-5 中可觀察到：在戶外陰涼區，實驗組未遭受日光曝曬皮膚之 TEWL，於實驗日期 7 月 9 日、16 日、23 日、27 日、8 月 13 日、17 日、20 日、以及 31 日時大於控制組，其餘測量日皆低於控制組；實驗組遭受日光曝曬皮膚之 TEWL 測量值，於實驗日期 7 月 16 日、23 日、8 月 6 日、13 日、31 日、以及 9 月 7 日時大於控制組，其餘測量日皆低於控制組。在未遭受日光曝曬皮膚部分，於實驗日期為 9 月 3 日時，使用防曬乳液與否之 TEWL 差異達統計顯著性(p -value = 0.018)；在遭受日光曝曬皮膚部分，於實驗日期為 7 月 20 日、23 日、8 月 20 日、以及 9 月 3 日時，使用防曬乳液與否之 TEWL 差異達統計顯著性(p -value = 0.006、0.025、0.048、以及 0.025)。將日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗數據分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定使用防曬乳液與否對 TEWL 隨日光紫外線曝曬變化可能產生之影響時發現：在日光照射區實驗中，使用防曬乳液與否對 TEWL 隨環境物理因子變化之影響達統計上之顯著差異(p -value < 0.001)；在戶外陰涼區實驗中狀況亦同，即 TEWL 隨環境物理因子變化之影響達統計上之顯著差異(p -value < 0.001)。須注意此處之環境物理因子非單指日光紫外線輻射而言，而為戶外環境不同熱因子之綜影響。

圖 4-19 與 4-20 所示為實驗組與控制組受試人員 TEWL 在日光照射

表 4-5 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之測量值
^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 TEWL 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	21.52 ± 15.17	28.72 ± 11.42	0.96 ± 0.78	0.317
0716	27.87 ± 15.90	34.79 ± 13.16	1.14 ± 0.90	0.568
0720	23.00 ± 14.21	26.17 ± 12.96	1.15 ± 1.02	0.565
0723	16.62 ± 7.90	25.80 ± 8.54	0.78 ± 0.63	0.085
0727	20.13 ± 12.18	23.98 ± 12.71	1.35 ± 1.27	0.475
0730	15.62 ± 5.88	23.96 ± 13.89	1.26 ± 1.41	0.338
0806	15.59 ± 8.27	22.69 ± 10.48	0.98 ± 0.98	0.277
0813	8.89 ± 3.86	14.65 ± 7.90	0.82 ± 0.59	0.110
0817	16.53 ± 12.30	19.61 ± 10.83	1.07 ± 0.98	0.253
0820	24.55 ± 12.57	24.11 ± 10.34	1.28 ± 0.98	0.886
0824	23.45 ± 13.90	24.96 ± 8.58	1.07 ± 0.79	0.655
0827	16.77 ± 6.54	23.67 ± 9.94	0.85 ± 0.51	0.142
0831	18.26 ± 7.87	27.07 ± 7.58	0.74 ± 0.40	0.110
0903	15.47 ± 7.98	19.64 ± 9.94	1.03 ± 0.79	0.482
0907	15.68 ± 6.86	31.57 ± 11.20	0.57 ± 0.34	0.018 ^c
前臂外側 TEWL 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	26.43 ± 15.63	32.96 ± 11.48	0.98 ± 0.80	0.391
0716	23.13 ± 16.60	45.71 ± 8.41	0.68 ± 0.41	0.022
0720	22.53 ± 14.77	28.79 ± 13.34	1.06 ± 1.09	0.406
0723	16.77 ± 8.74	35.81 ± 6.28	0.48 ± 0.27	0.006 ^c
0727	23.24 ± 16.11	29.85 ± 16.14	1.20 ± 1.37	0.391
0730	16.72 ± 10.40	33.02 ± 10.07	0.56 ± 0.42	0.025 ^c
0806	18.99 ± 13.30	28.09 ± 13.02	0.82 ± 0.70	0.110
0813	10.68 ± 8.15	12.24 ± 4.54	1.03 ± 0.95	0.406
0817	21.45 ± 11.43	22.71 ± 8.62	1.12 ± 0.83	0.668
0820	23.38 ± 13.86	28.70 ± 11.48	0.90 ± 0.74	0.568
0824	18.17 ± 8.68	35.58 ± 14.41	0.62 ± 0.42	0.048 ^c
0827	20.08 ± 11.42	28.56 ± 10.38	0.82 ± 0.62	0.225
0831	23.62 ± 16.64	34.09 ± 11.98	0.81 ± 0.70	0.225
0903	17.24 ± 8.66	18.31 ± 12.64	1.35 ± 1.02	0.848
0907	20.91 ± 9.72	38.70 ± 8.85	0.57 ± 0.30	0.025 ^c

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 TEWL 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.05

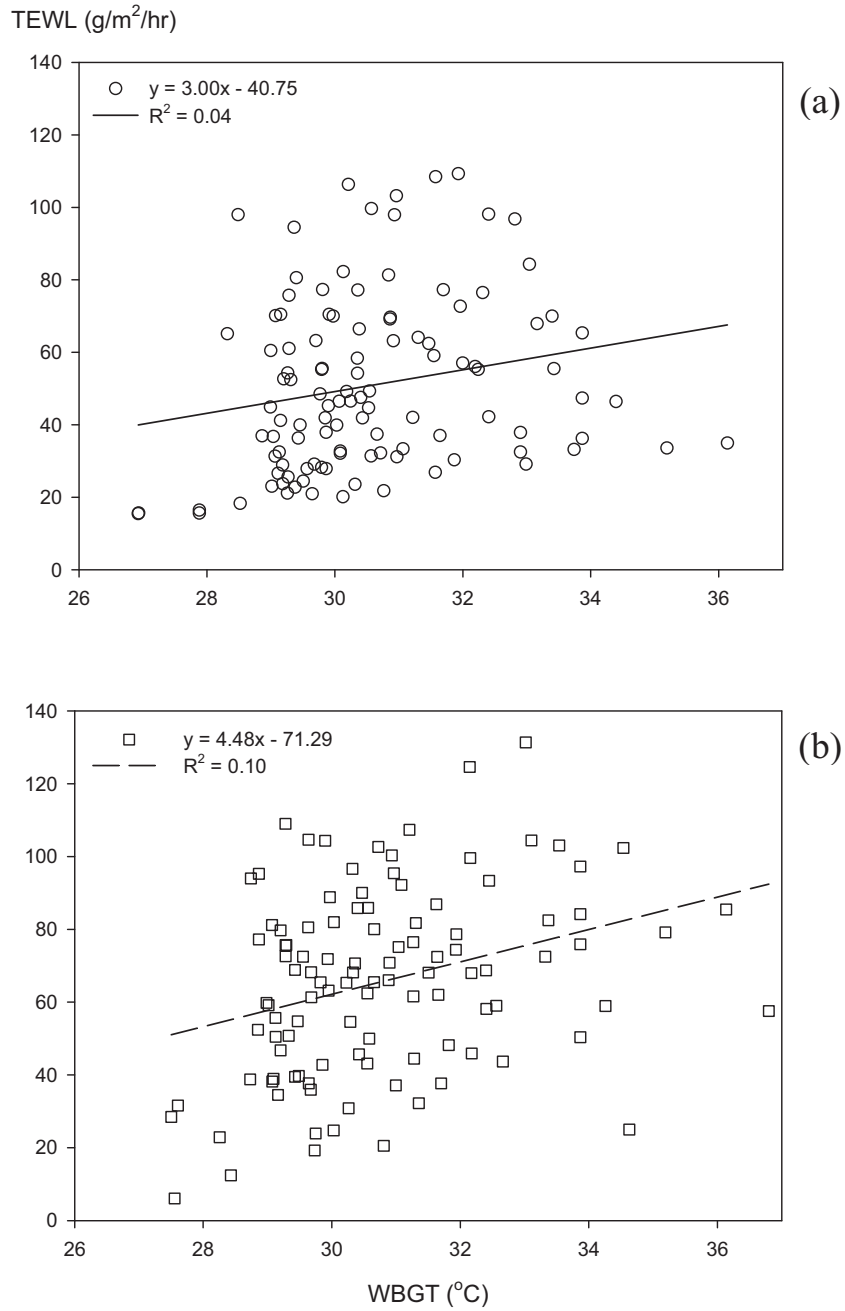


圖 4-19 日光照射區實驗之上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

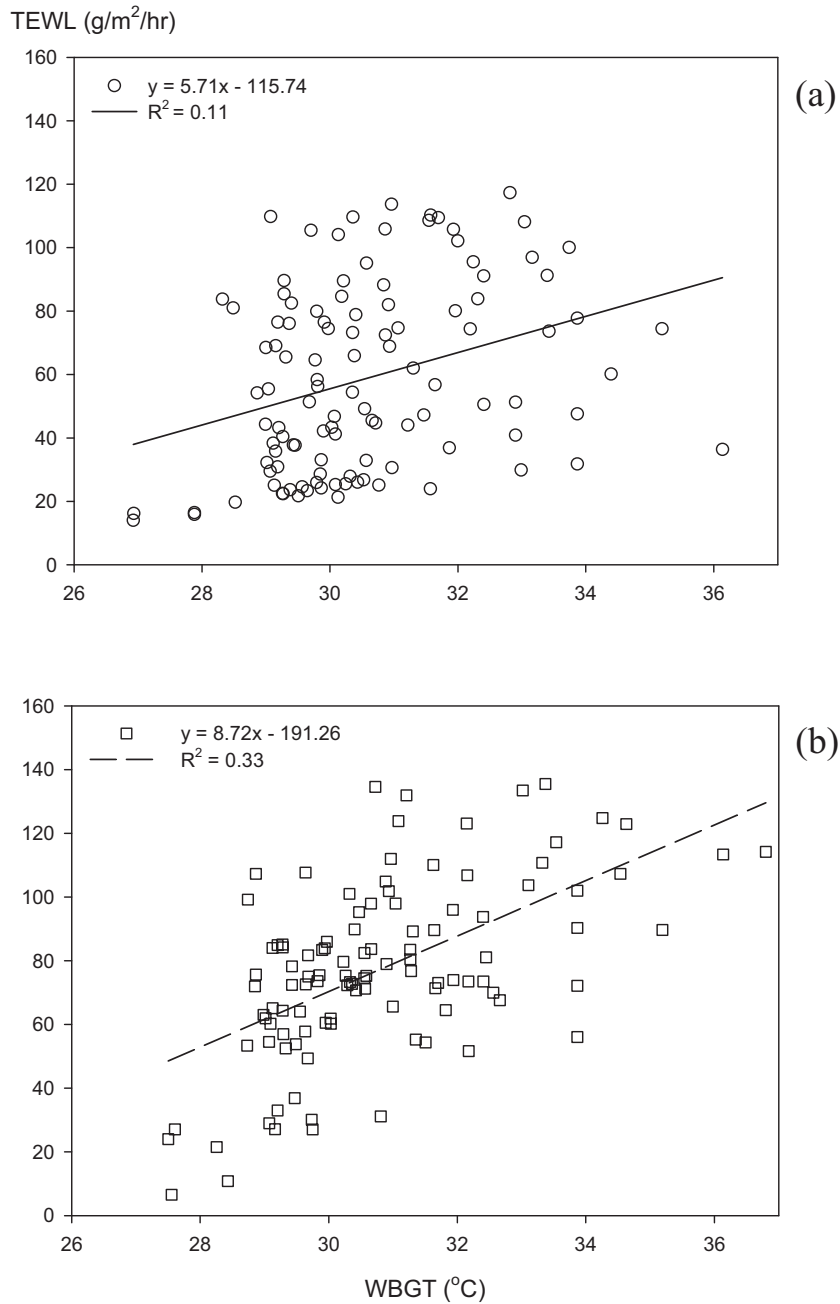


圖 4-20 日光照射區實驗之前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans-epidermal water loss, TEWL)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

區實驗(戶外有日光照射處，曝曬日光 10 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。圖 4-21 與 4-22 所示為實驗組與控制組受試人員 TEWL 在戶外陰涼區實驗(戶外無日光照射處，靜坐 20 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。整體而言，日光照射區實驗期間測量所得之 TEWL 數值介於 10-120 g/m²/hr 之間；戶外陰涼區實驗期間測量所得之 TEWL 數值介於 1-60 g/m²/hr 之間。由圖 4-19、4-20 可發現，在日光照射區皮膚 TEWL 數值隨 WBGT 之變化在實驗組與控制組間甚為接近，對照圖 4-17、4-18(TEWL 數值隨 UVI 之變化)中所顯示實驗組與控制組間之差距，可推論在戶外環境因子中，對 TEWL 值產生影響最巨者為日光紫外線暴露。

TEWL 數值對 WBGT 進行分佈時，可發現在無日光曝曬情形下，不論是否使用防曬乳液，TEWL 基本上不隨 WBGT 變化。由以上推論可知 TEWL 是屬於判別短期日光紫外線輻射健康效應之較好生理指標。

進一步以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定有無日光直接曝曬間之可能差異，實驗組結果顯示：不論上臂內側或前臂外側皮膚 TEWL，在日光照射區與戶外陰涼區之差異，皆未達統計顯著性(上臂內側 p -value = 0.067；前臂外側 p -value = 0.456)。控制組結果則顯示：上臂內側與前臂外側皮膚 TEWL，在日光照射區與戶外陰涼區之差異，皆達統計顯著性(上臂內側 p -value = 0.003；前臂外側 p -value = 0.016)。以上結果顯示當使用防曬乳液時，皮膚因受防曬乳液保護，故在紫外線可照射處皮膚之 TEWL 與

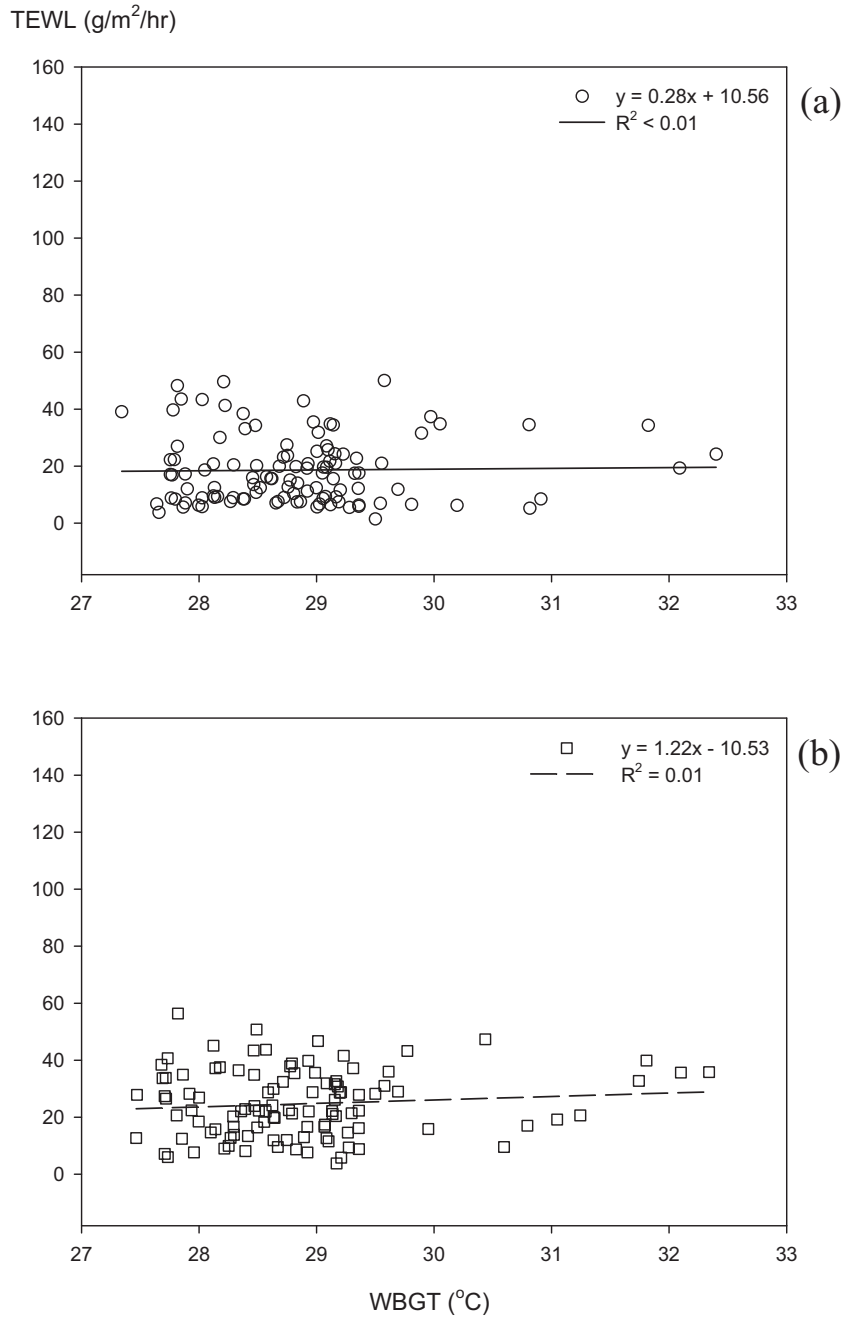


圖 4-21 戶外陰涼區實驗之上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans epidermal water loss, TEWL)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

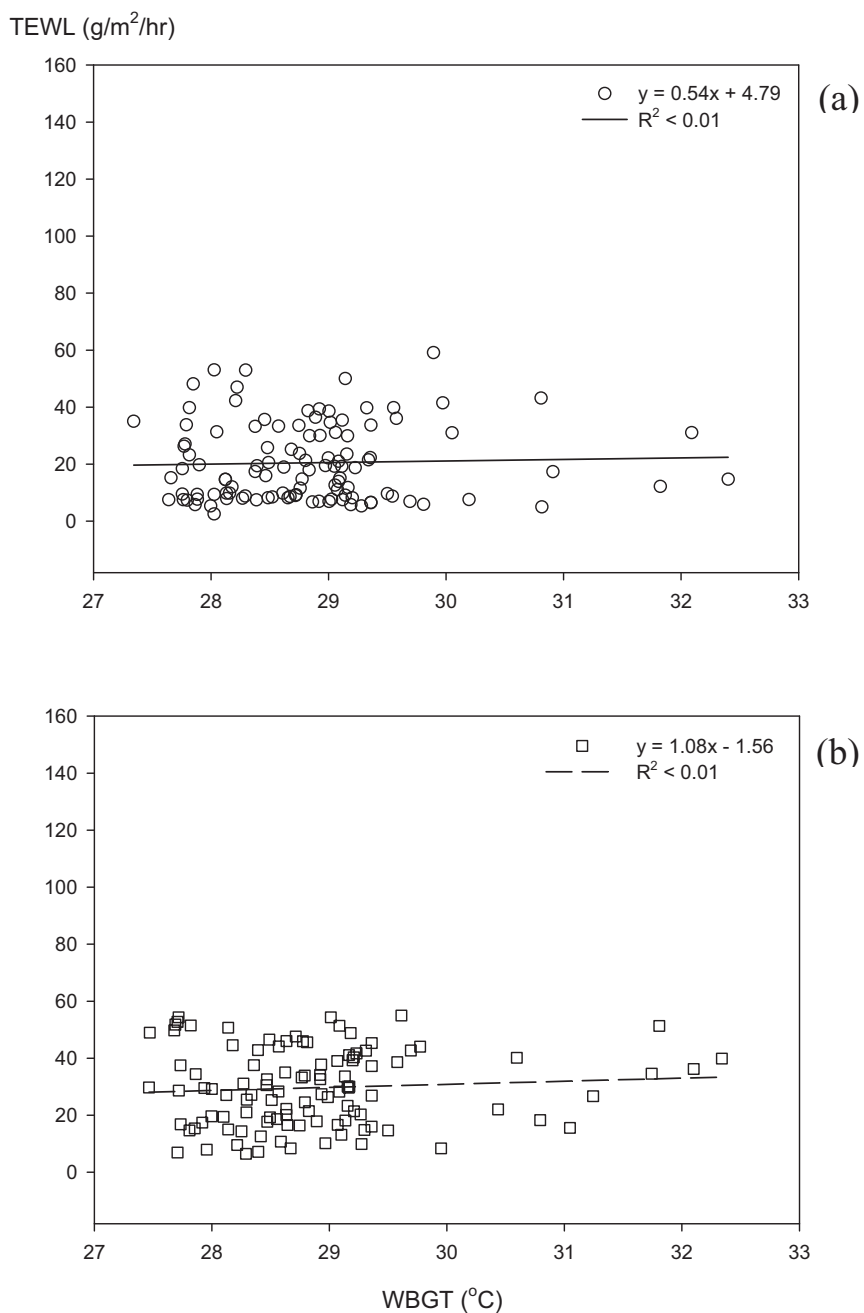


圖 4-22 戶外陰涼區實驗之前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散
 失量(trans epidermal water loss, TEWL)對應綜合溫度熱指數
 (WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制
 組(未使用防曬乳液)

在紫外線無法照射處(戶外陰涼區)之 TEWL 無顯著差異。

整合日光照射區與戶外陰涼區實驗中 TEWL 對 WBGT 之迴歸方程式可發現：實驗組與控制組之方程式斜率於日光照射區決定者高於戶外陰涼區所決定數值，顯示在日光照射區中，實驗組與控制組受熱環境物理因子暴露反應之敏感度較高。實驗組在日光照射區之前臂外側斜率高於上臂內側數值，顯示即便在使用防曬乳液狀況下，遭受日光曝曬之皮膚對於整體熱環境因子之敏感度較高。

以下為各分佈圖(圖 4-21 與 4-22)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 TEWL 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 3.00x - 40.75 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-33})$$

實驗組前臂外側 TEWL 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 5.71 - 115.74 \quad R^2 = 0.11 \quad (\text{Eq. 4-34})$$

控制組上臂內側 TEWL 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 4.48x - 71.29 \quad R^2 = 0.10 \quad (\text{Eq. 4-35})$$

控制組前臂外側 TEWL 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 8.72x - 191.26 \quad R^2 = 0.33 \quad (\text{Eq. 4-36})$$

實驗組上臂內側 TEWL 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.28x + 10.56 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-37})$$

實驗組前臂外側 TEWL 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.54 + 4.79 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-38})$$

控制組上臂內側 TEWL 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.22x - 10.53 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-39})$$

控制組前臂外側 TEWL 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.08x - 1.56 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-40})$$

圖 4-23 與 4-24 所示為日光照射區實驗中每測量日，受測者之上臂內側與前臂外側 TEWL 在日光照射區與戶外陰涼區測量值之比值，對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。如圖所示，實驗組及對照組中各約有 9 成之數值大約 1，但日光照射區 TEWL 與戶外陰涼區 TEWL 間之差距，隨日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 間之差異擴大而增加 (TEWL 比值隨著 WBGT 比值增加而上升)。以上結果建議：TEWL 雖然主要受日光紫外線曝曬之影響，但亦會因包含輻射熱之綜合熱因子影響而改變。

圖 4-25 與 4-26 所示為實驗組與控制組受試人員 TEWL 在戶外日實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變，隨著累積性紫外光增加，TEWL 有逐漸上升之趨勢，尤以前臂外側 (遭受日光曝曬之皮膚) 特別明顯。

由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一步以邏輯式迴歸 (logistic regression) 推估在上臂內側與前臂外側之 TEWL 因應使用防曬乳液與否變化之勝算比 (odd ratio, OR) 及 95% 信賴區間 (95% confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控

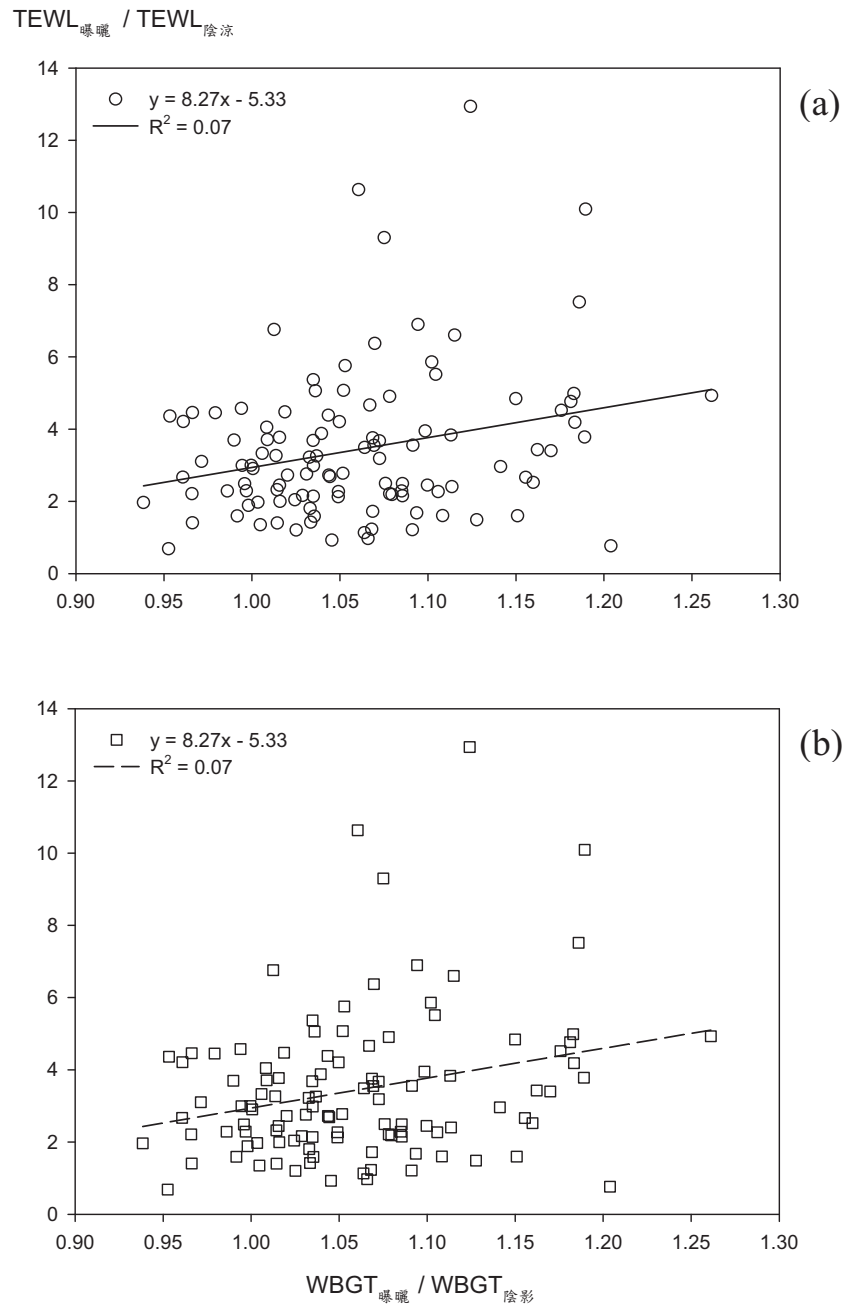


圖 4-23 日光照射區與戶外陰涼區上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(transdermal water loss, TEWL)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

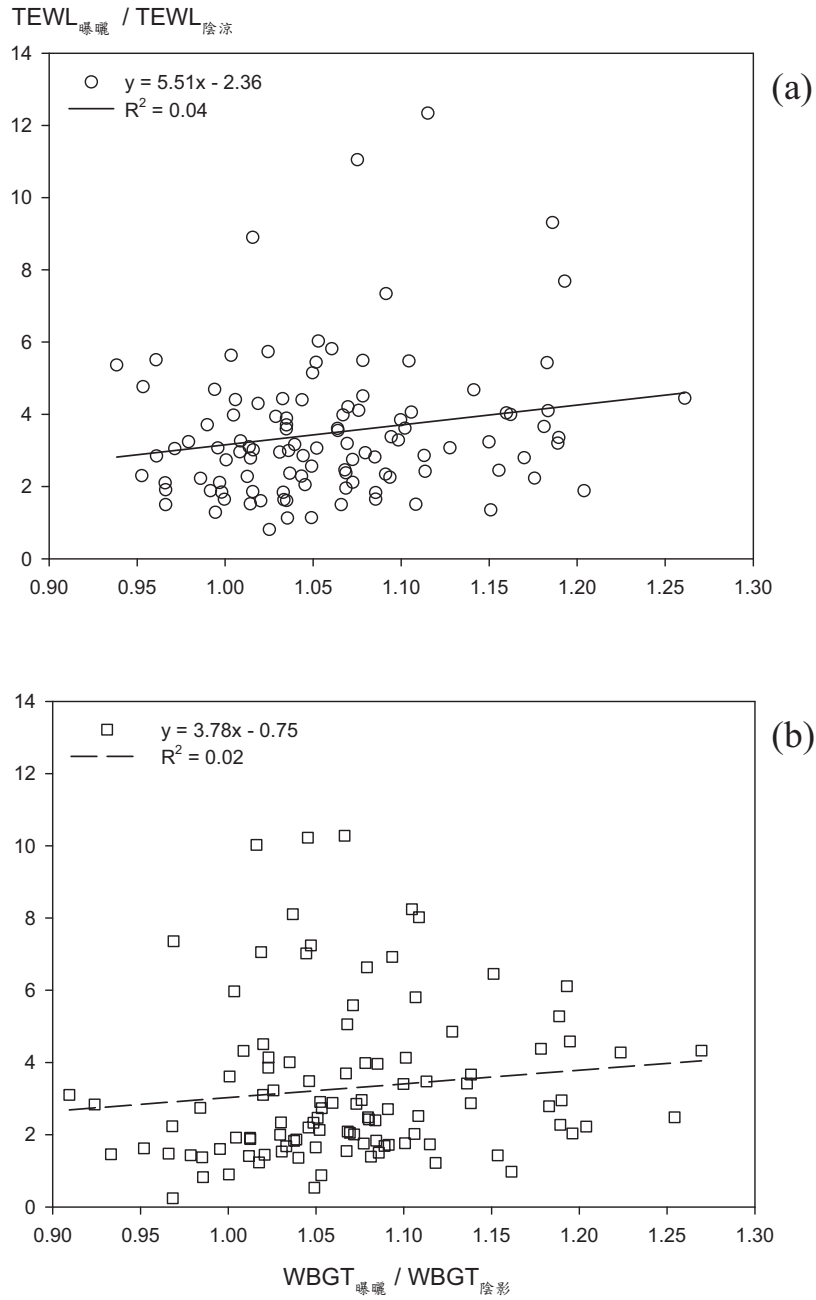


圖 4-24 日光照射區與戶外陰涼區前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(trans epidermal water loss, TEWL)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

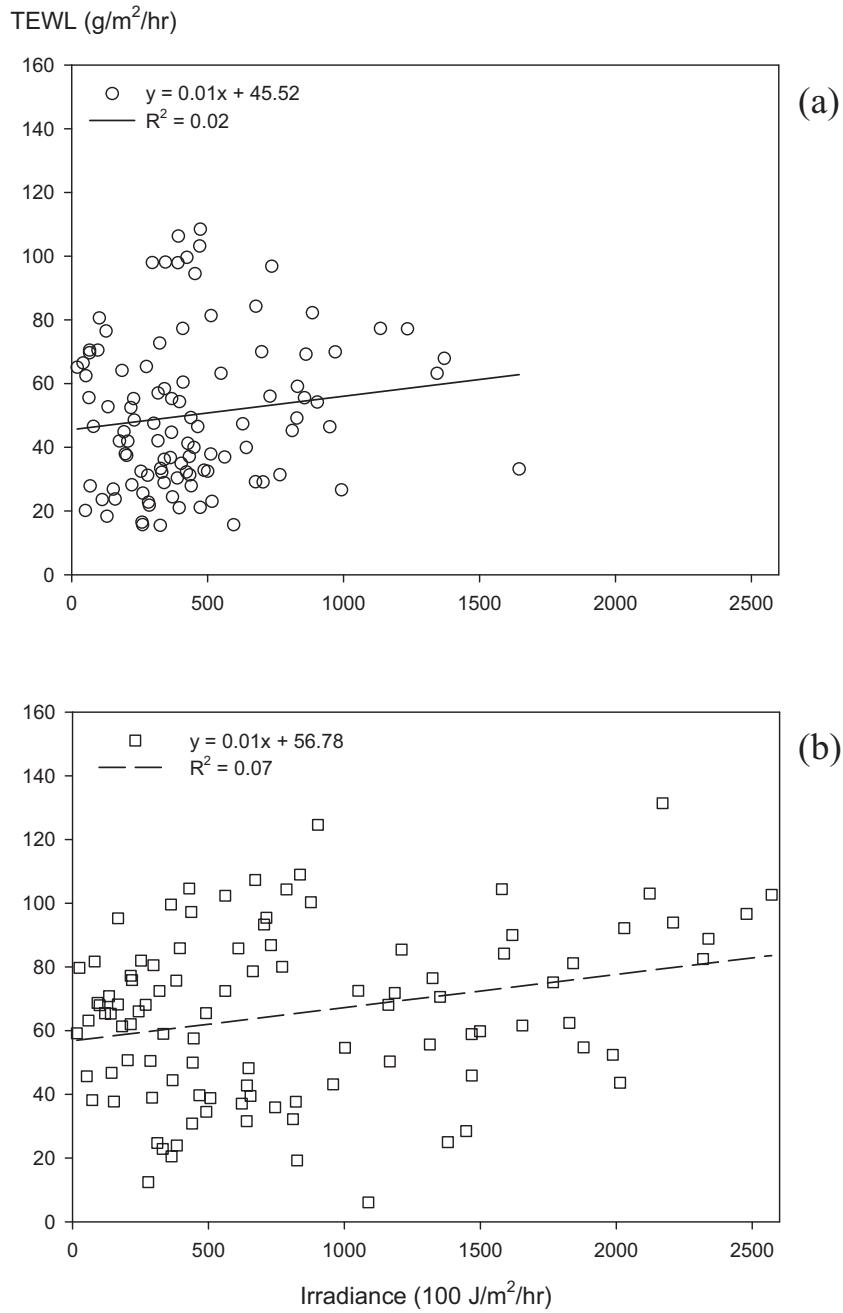


圖 4-25 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

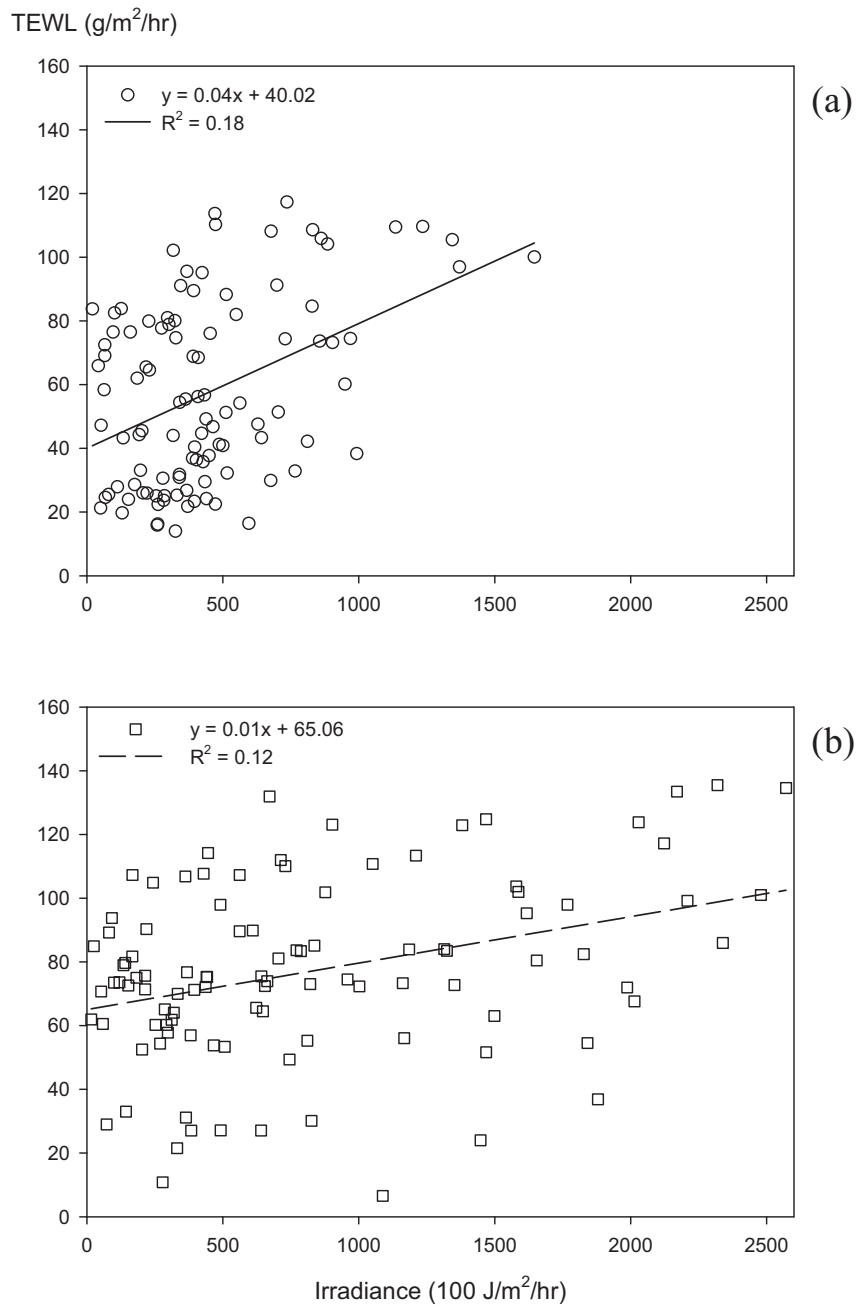


圖4-26 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

制干擾因子。表 4-6 所示為分析結果：在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分，使用防曬乳液之 TEWL 為未使用防曬乳液之 0.980 倍(95% CI = 0.968-0.992)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分，使用防曬乳液之 TEWL 為未使用防曬乳液之 0.946 倍(95% CI = 0.925-0.968)，使用/未使用防曬乳液之前臂外側 TEWL 達統計亦顯著差異。再次證明使用防曬乳液可降低日光曝曬對皮膚障壁功能之傷害。

圖 4-27 與 4-28 所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之 TSV 值，對應前臂外側(日光照射處)TEWL 之量測值。由圖 4-27 中可觀察到於日光照射區使用防曬乳液人員之 TSV 未隨前臂外側 TEWL 呈明顯變化；而未使用防曬乳液人員之 TSV 對應前臂外側 TEWL 則呈正線性關係。以上觀察建議：當未使用防曬乳液時，因 TEWL 可受綜合熱環境之影響，故與 TSV 呈正向關聯。但在防曬乳液的情況下，乳液形成之隔熱效果驅動生理散熱之需求，但乳液同時提供涼膚功能，故受試者之主觀熱感知並未同步上升。以上推論在圖 4-28 中獲得進一步支持：在缺乏日光照射之情況下(亦即 TEWL 僅單純反應熱環境改變)，隨 TEWL 之上升(類排汗狀況)，TSV 數值反而下降；以上觀察與在戶外陰涼區未使用防曬乳液者剛好相反(TSV 隨 TEWL 數值增加而上升)。

表 4-6 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與經皮水分散
 失量(transepidermal water loss, TEWL)之關係(粗勝算比：crude
 OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之 SBFC				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	0.976	0.964-0.987 ^b	0.980	0.968-0.992 ^b
前臂外側 (遭受日光曝曬)之 SBFC				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	0.952	0.933-0.972 ^b	0.946	0.925-0.968 ^b

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

^b p-value < 0.05

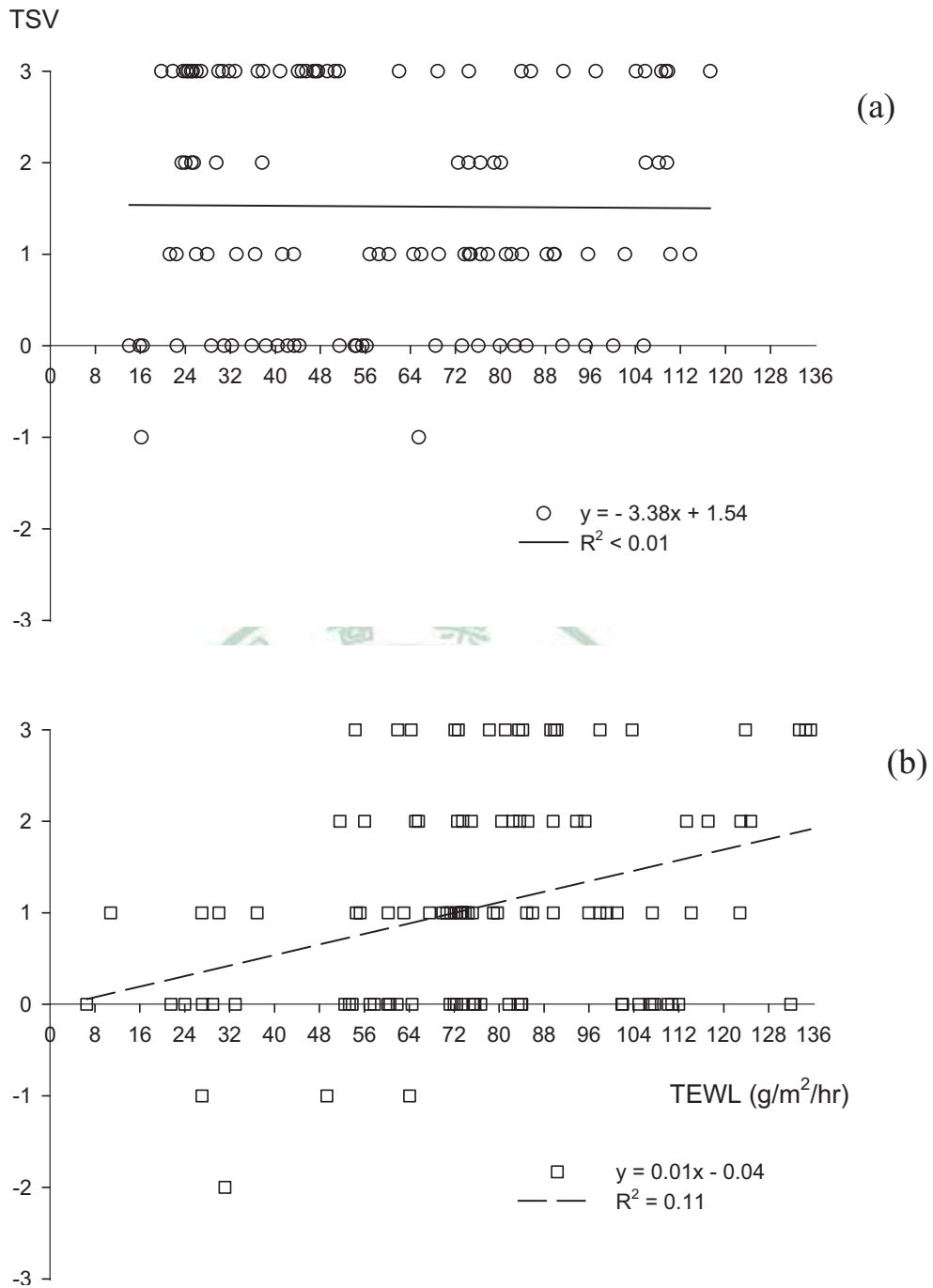


圖 4-27 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值 (thermal sensation vote, TSV) 對應經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL) 之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

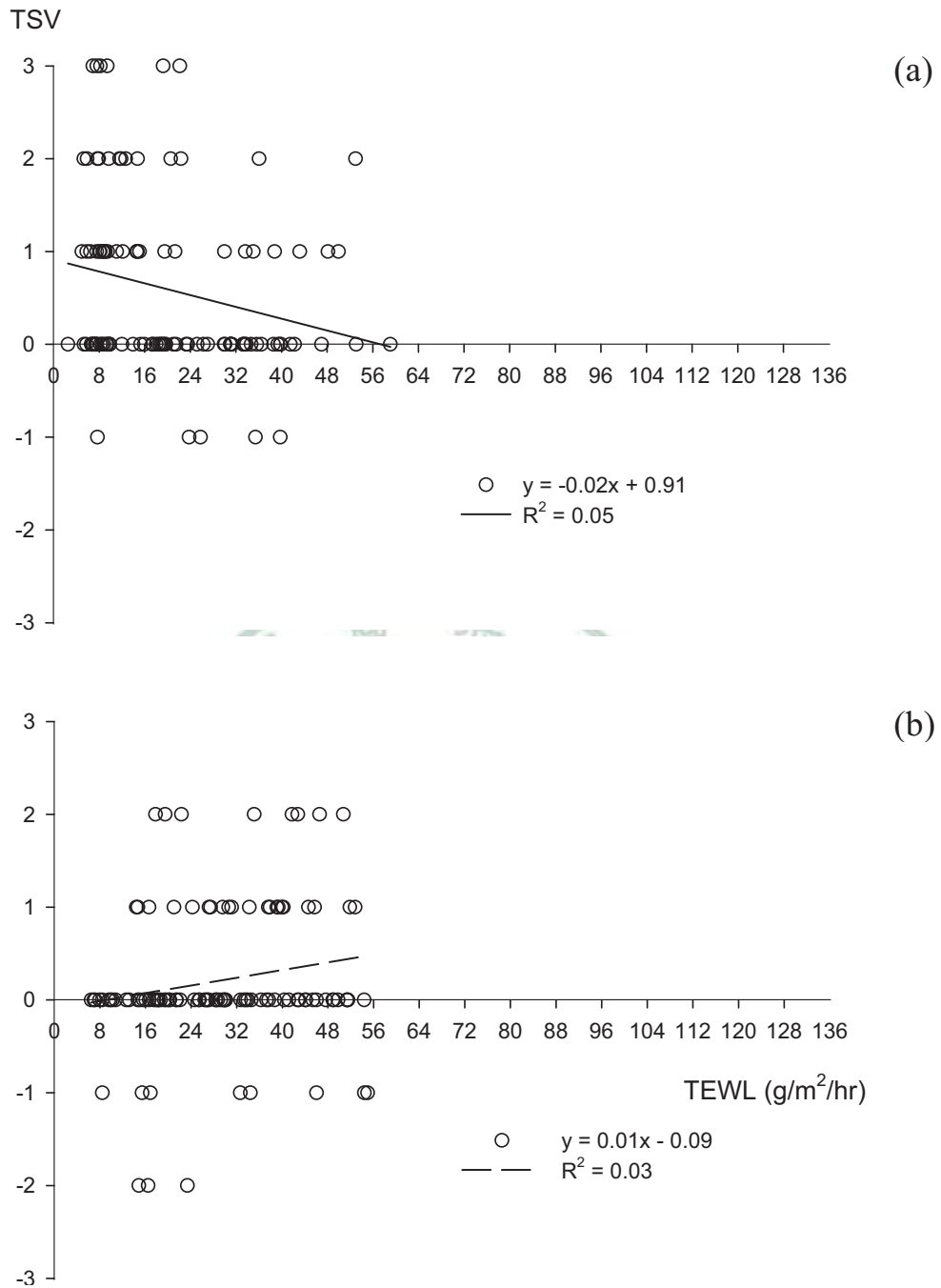


圖 4-28 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值 (thermal sensation vote, TSV) 對應經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL) 之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組(未使用防曬乳液)

4.1.3 日光紫外線輻射對皮膚溫度之影響

圖 4-29 與 4-30 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚溫度(skin temperature)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨 UVI 產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之皮膚溫度分佈與線性迴歸。實驗期間測量所得之皮膚溫度數值介於 30-40°C 之間。由上臂內側與前臂外側之迴歸方程式中可發現實驗組與控制組之皮膚溫度隨 UVI 值上升而增加。比較使用防曬乳液與否之上升程度(迴歸方程式之斜率)，未使用防曬乳液人員之斜率皆大於使用防曬乳液人員之斜率，顯示未使用防曬乳液者之皮膚溫度在遭受短期紫外線暴露以及環境熱因子影響後之反應較明顯。亦即再次顯示，使用防曬乳液對皮膚同時提供涼膚功能。

以下為各分佈圖(圖 4-29 與 4-30)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚溫度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.37x + 35.02 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-41})$$

實驗組前臂外側皮膚溫度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.49x + 34.64 \quad R^2 = 0.09 \quad (\text{Eq. 4-42})$$

控制組上臂內側皮膚溫度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.69x + 33.21 \quad R^2 = 0.14 \quad (\text{Eq. 4-43})$$

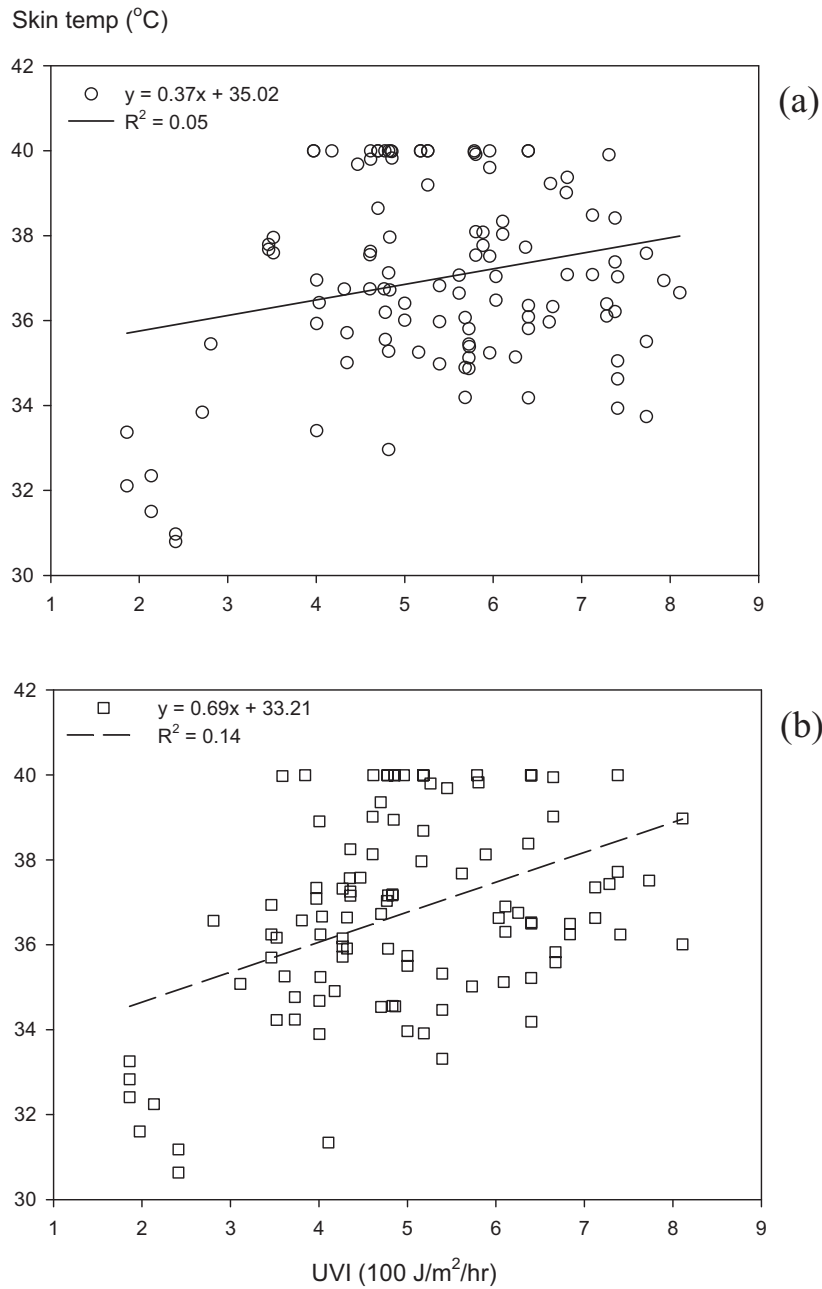


圖 4-29 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對
 應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組
 (使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

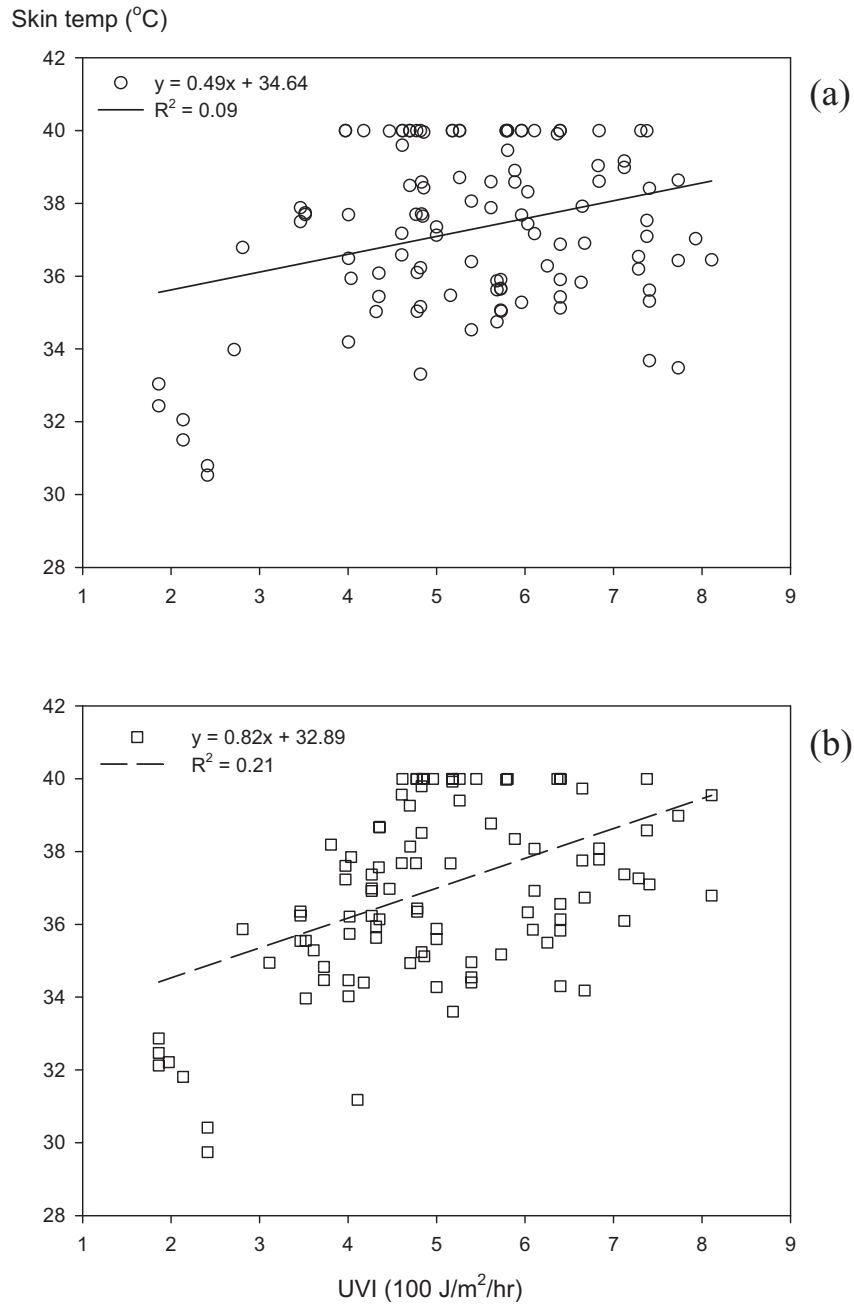


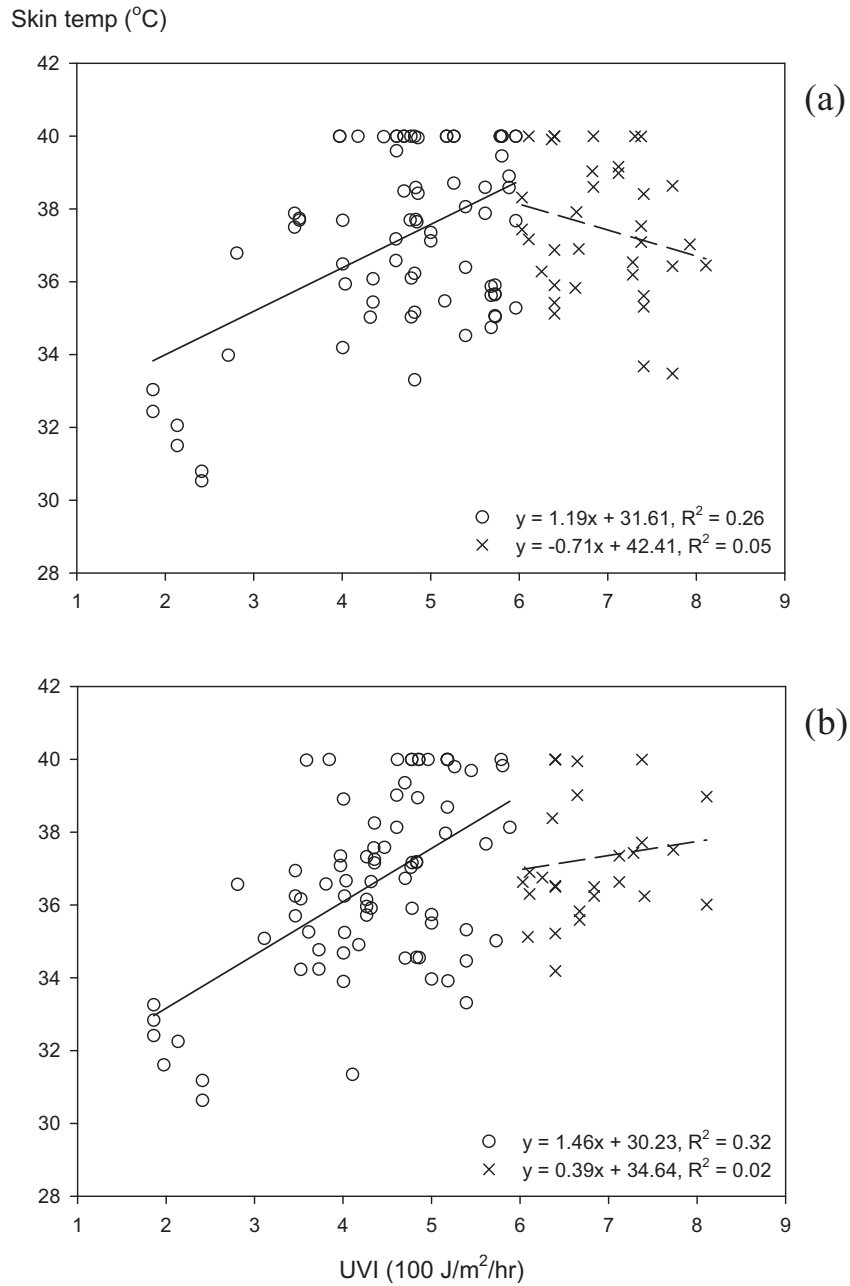
圖 4-30 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

控制組前臂外側皮膚溫度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.82x + 32.89 \quad R^2 = 0.21 \quad (\text{Eq. 4-44})$$

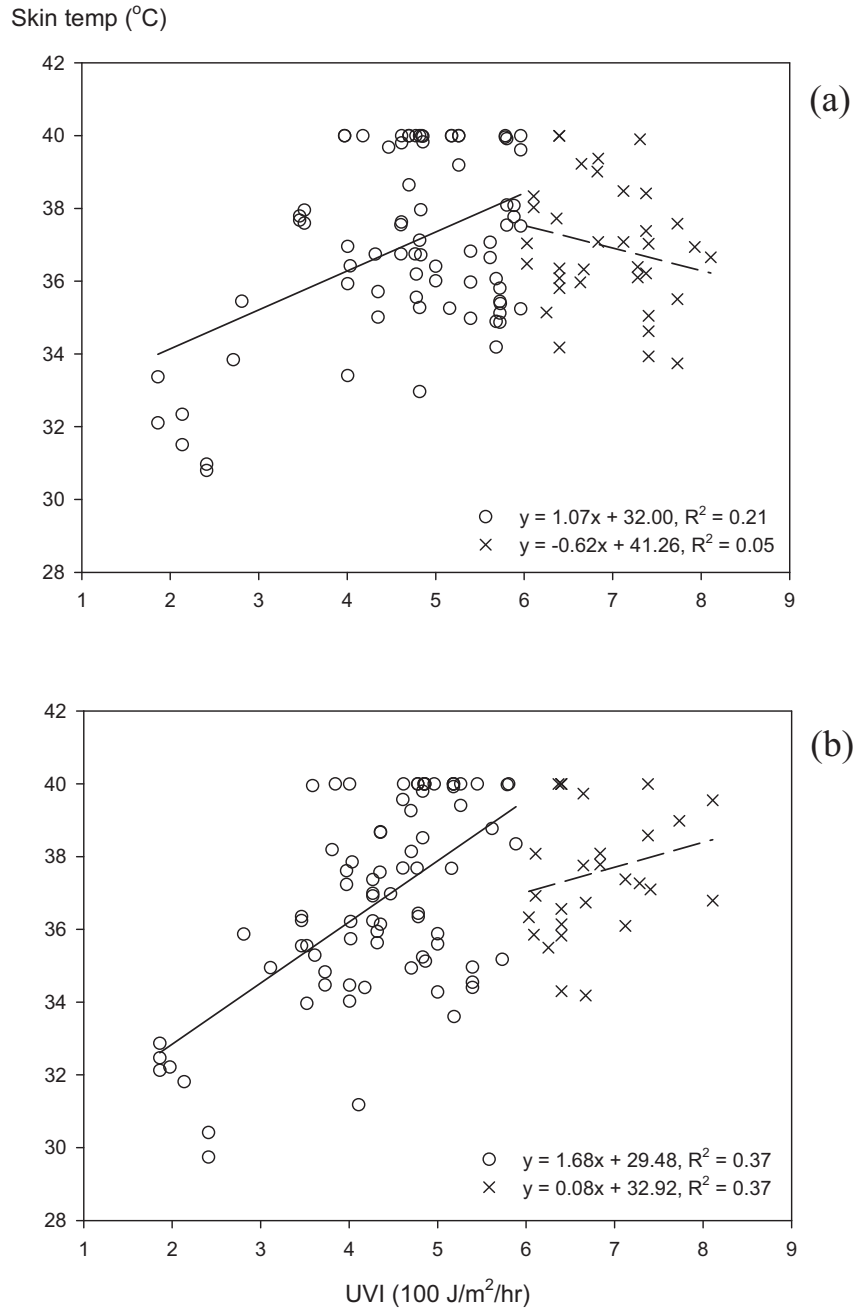
以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，不同組別不論上臂內側或前臂外側間皮膚溫度之 *p*-value 皆為 0.394，未達統計顯著差異，表示皮膚使用防曬乳液與否對皮膚溫度變化之影響接近，亦即防曬乳液之涼膚效果有限。

進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量(圖 4-31 與 4-32)進行分析。圖 4-32 則顯示前臂外側之皮膚溫度對應微/低量 UVI 之迴歸方程式斜率高於中/過量 UVI 之迴歸方程式斜率，且不論是否使用防曬乳液，皮膚溫度皆隨 UVI 值增加而顯著上升。但在高暴露劑量部份(中/過量 UVI)，實驗組皮膚溫度對於中/過量 UVI 曝曬之反應呈現負相關；但控制組皮膚溫度之反應則呈現正相關，為在控制組中皮膚溫度因應中/過量 UVI 曝曬增加之幅度不若因應微/低量 UVI 曝曬增加之幅度明顯。以上結果顯示：與先前針對 TEWL 之觀察相似，日光曝曬或其與其他環境物理因子形成之綜合影響，對皮膚生理指標如皮膚溫度之影響在低暴露劑量區最為明顯；在高暴露劑量區皮膚生理指標之變化疑似已趨近飽和，故相較之下反而明顯性下降。以實驗組為例，生理指標變化與環境物理力改變量之間呈現負相關，即說明前述之生理現象變化飽和之觀察，在使用具涼膚效果之防曬乳液時更為明顯。



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應皮膚溫度之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應皮膚溫度之迴歸

圖 4-31 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應皮膚溫度之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應皮膚溫度之迴歸

圖 4-32 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

以下為各分佈圖(圖 4-31 與 4-32)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚溫度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.19x + 31.61 \quad R^2 = 0.26 \quad (\text{Eq. 4-45})$$

實驗組上臂內側皮膚溫度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -0.71x + 42.41 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-46})$$

實驗組前臂外側皮膚溫度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.07x + 32.00 \quad R^2 = 0.21 \quad (\text{Eq. 4-47})$$

實驗組前臂外側皮膚溫度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -0.62x + 41.26 \quad R^2 = 0.21 \quad (\text{Eq. 4-48})$$

控制組上臂內側皮膚溫度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.46x + 30.23 \quad R^2 = 0.32 \quad (\text{Eq. 4-49})$$

控制組上臂內側皮膚溫度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.39x + 34.64 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-50})$$

控制組前臂外側皮膚溫度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 1.68x + 29.48 \quad R^2 = 0.37 \quad (\text{Eq. 4-51})$$

控制組前臂外側皮膚溫度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.08x + 32.92 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-52})$$

表 4-7 與表 4-8 所示為戶外日光實驗中受試人員上臂內側與前臂外側皮膚溫度之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-7 中可觀察到，日光照射區實驗中實驗組上臂內側之皮膚溫度測量值，於

表 4-7 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中皮膚溫度(skin temperature)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚溫度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	37.59 ± 1.77	37.43 ± 0.53	1.00 ± 0.05	0.775
0716	36.08 ± 1.20	36.64 ± 0.84	0.99 ± 0.04	0.153
0720	35.49 ± 1.07	35.72 ± 2.04	1.00 ± 0.06	0.848
0723	37.15 ± 2.33	35.46 ± 2.32	1.05 ± 0.10	0.277
0727	36.26 ± 1.19	36.31 ± 1.11	0.99 ± 0.05	0.886
0730	36.28 ± 1.38	35.91 ± 0.86	1.01 ± 0.05	0.848
0806	35.67 ± 0.83	35.43 ± 0.77	1.01 ± 0.03	0.482
0813	32.13 ± 1.07	32.02 ± 0.86	1.00 ± 0.04	0.949
0817	37.31 ± 1.18	37.94 ± 2.06	0.99 ± 0.07	0.391
0820	38.38 ± 1.24	36.85 ± 1.43	1.04 ± 0.05	0.032 ^c
0824	36.38 ± 1.94	35.77 ± 1.73	1.02 ± 0.07	0.482
0827	39.73 ± 0.46	39.56 ± 0.84	1.00 ± 0.02	0.571
0831	36.50 ± 0.65	37.40 ± 1.18	0.98 ± 0.03	0.110
0903	37.39 ± 0.53	37.52 ± 1.45	1.00 ± 0.04	0.949
0907	39.85 ± 0.28	38.21 ± 1.86	1.05 ± 0.05	0.088
前臂外側皮膚溫度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	38.08 ± 1.86	37.44 ± 1.05	1.01 ± 0.06	0.317
0716	36.64 ± 1.41	36.95 ± 0.80	0.99 ± 0.04	0.391
0720	36.00 ± 1.62	35.92 ± 1.92	1.00 ± 0.07	0.749
0723	36.95 ± 2.07	36.29 ± 3.01	1.03 ± 0.10	0.701
0727	36.99 ± 1.63	36.96 ± 1.85	0.99 ± 0.07	0.775
0730	36.68 ± 1.51	36.27 ± 0.93	1.01 ± 0.05	0.749
0806	35.82 ± 0.96	35.40 ± 0.53	1.01 ± 0.03	0.848
0813	32.05 ± 1.14	31.66 ± 1.06	1.01 ± 0.05	0.655
0817	37.47 ± 1.32	38.00 ± 2.09	0.99 ± 0.07	0.391
0820	39.39 ± 0.84	37.58 ± 1.38	1.05 ± 0.05	0.040 ^c
0824	37.07 ± 1.98	35.71 ± 2.10	1.04 ± 0.08	0.180
0827	39.55 ± 0.69	39.46 ± 1.04	1.00 ± 0.03	0.479
0831	37.07 ± 1.51	37.79 ± 1.52	0.98 ± 0.06	0.338
0903	37.21 ± 0.66	37.60 ± 1.56	0.99 ± 0.04	0.848
0907	39.81 ± 0.45	38.29 ± 1.89	1.04 ± 0.05	0.087

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚溫度差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定

^c p-value < 0.05

表 4-8 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中皮膚溫度(skin temperature)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚溫度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	33.57 ± 0.29	33.62 ± 0.70	1.00 ± 0.02	0.886
0716	33.65 ± 0.23	33.79 ± 0.76	0.99 ± 0.02	0.886
0720	33.27 ± 0.48	33.11 ± 0.83	1.01 ± 0.03	0.482
0723	32.77 ± 0.21	32.80 ± 0.53	1.00 ± 0.02	0.565
0727	32.60 ± 0.42	33.20 ± 1.10	0.99 ± 0.03	0.391
0730	32.84 ± 0.26	32.93 ± 0.28	1.00 ± 0.01	0.482
0806	32.25 ± 0.35	32.19 ± 0.28	1.00 ± 0.01	0.749
0813	30.99 ± 0.48	31.17 ± 0.28	0.99 ± 0.02	0.482
0817	32.74 ± 0.19	32.45 ± 0.25	1.01 ± 0.01	0.046 ^c
0820	33.00 ± 0.24	33.23 ± 0.76	1.00 ± 0.02	0.775
0824	32.75 ± 0.42	32.71 ± 0.22	1.00 ± 0.01	0.655
0827	32.44 ± 0.17	32.52 ± 0.47	1.00 ± 0.02	0.749
0831	33.50 ± 0.91	32.93 ± 0.36	1.02 ± 0.03	0.180
0903	32.07 ± 0.37	32.26 ± 0.49	0.99 ± 0.02	0.338
0907	33.26 ± 0.38	33.59 ± 0.29	0.99 ± 0.01	0.277
前臂外側皮膚溫度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	33.95 ± 0.27	33.91 ± 0.99	1.00 ± 0.03	0.475
0716	33.69 ± 0.29	33.74 ± 0.45	1.00 ± 0.02	0.568
0720	34.55 ± 0.62	33.83 ± 1.25	1.02 ± 0.04	0.180
0723	32.74 ± 0.19	32.75 ± 0.62	1.00 ± 0.02	0.406
0727	32.68 ± 0.34	33.68 ± 1.56	0.98 ± 0.04	0.253
0730	32.87 ± 0.19	33.13 ± 0.48	0.99 ± 0.02	0.225
0806	32.38 ± 0.47	32.39 ± 0.34	1.00 ± 0.02	0.655
0813	30.95 ± 0.35	30.93 ± 0.27	1.00 ± 0.01	0.848
0817	32.72 ± 0.19	32.47 ± 0.27	1.01 ± 0.01	0.116
0820	32.99 ± 0.25	33.73 ± 1.31	0.98 ± 0.04	0.199
0824	32.78 ± 0.38	32.85 ± 0.22	1.00 ± 0.01	0.655
0827	32.33 ± 0.23	32.45 ± 0.42	1.00 ± 0.01	0.655
0831	33.75 ± 1.27	32.87 ± 0.33	1.03 ± 0.04	0.110
0903	31.92 ± 0.37	32.24 ± 0.55	0.99 ± 0.02	0.277
0907	33.34 ± 0.41	33.67 ± 0.28	0.99 ± 0.01	0.338

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚溫度差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.05

實驗日期 7 月 9 日、23 日、8 月 13 日、以及 27 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日實驗組皆高於控制組；日光照射區實驗中實驗組前臂外側之皮膚溫度測量值，於實驗日期 7 月 9 日、23 日、8 月 13 日、27 日、以及 31 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆高於控制組。以上趨勢多數不具統計顯著性。在上臂內側皮膚部分，僅在實驗日期為 8 月 17 日、以及 9 月 7 日時，使用防曬乳液與否之上臂內側之皮膚溫度差異達統計顯著性(p -value = 0.032)；在前臂外側皮膚部分，於實驗日期為 8 月 17 日、以及 9 月 7 日時，使用防曬乳液與否之前臂外側之皮膚溫度差異達統計顯著性(p -value = 0.040)。由表 4-8 中可觀察到戶外陰涼區實驗之實驗組上臂內側之皮膚溫度，於實驗日期 7 月 9 日、23 日、8 月 6 日、31 日、以及 9 月 3 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日實驗組皆高於控制組；前臂外側之皮膚溫度測量值，於實驗日期 7 月 23 日、27 日、8 月 17 日、31 日、9 月 3 日、以及 7 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆高於控制組。以上趨勢多數不具統計顯著性。在上臂內側皮膚部分，僅在實驗日期為 8 月 13 日時，使用防曬乳液與否之前臂外側之皮膚溫度差異達統計顯著性(p -value = 0.046)。當將日光照射區實驗與戶外陰涼區各 16 次實驗總合分析，分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定使用防曬乳液與否對皮膚溫度之影響時發現：在日光照射區部分，使用防曬乳液與否，對上臂內側皮膚溫度之變化未造成統計上顯著之影

響(p -value = 0.394)；對應前臂外側皮膚溫度之變化亦未造成統計上顯著之影響(p -value = 0.264)。在戶外陰涼區部分，使用防曬乳液與否，對應上臂內側皮膚溫度未造成統計上差異(p -value = 0.782)；對應前臂外側皮膚溫度之變化亦未造成統計上顯著之影響(p -value = 0.806)。

圖 4-33 與圖 4-34 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚溫度在日光照射區實驗(戶外有日光照射處，曝曬日光 10 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。圖 4-35 與 4-36 所示則為實驗組與控制組受試人員皮膚溫度在戶外陰涼區實驗(戶外無日光照射處，靜坐 20 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。整體而言，日光照射區實驗期間測量所得之皮膚溫度數值介於 30-40°C 之間；戶外陰涼區實驗期間測量所得之皮膚溫度數值介於 30-37°C 之間。進一步以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定有無日光直接曝曬間之統計，實驗組結果顯示：上臂內側之皮膚溫度在日光照射區與戶外陰涼區之差異未達統計顯著(p -value = 0.242)，但一般而言以在日光照射區之數值較高；前臂外側之皮膚溫度亦以日光照射區之數值較高(p -value = 0.569)。控制組部分：上臂內側(p -value = 0.42)以及前臂外側(p -value = 0.361)之皮膚溫度，在日光照射區與戶外陰涼區所測量之數值均未達統計顯著差異，以在日光照射區之數值較高。日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之迴歸方程式中可發現，實驗組方程式斜率於日光照射區實驗數值高於戶外陰涼區之數值，顯示實驗組之皮膚溫度於日光照射區實驗環境物理因子暴露反應之

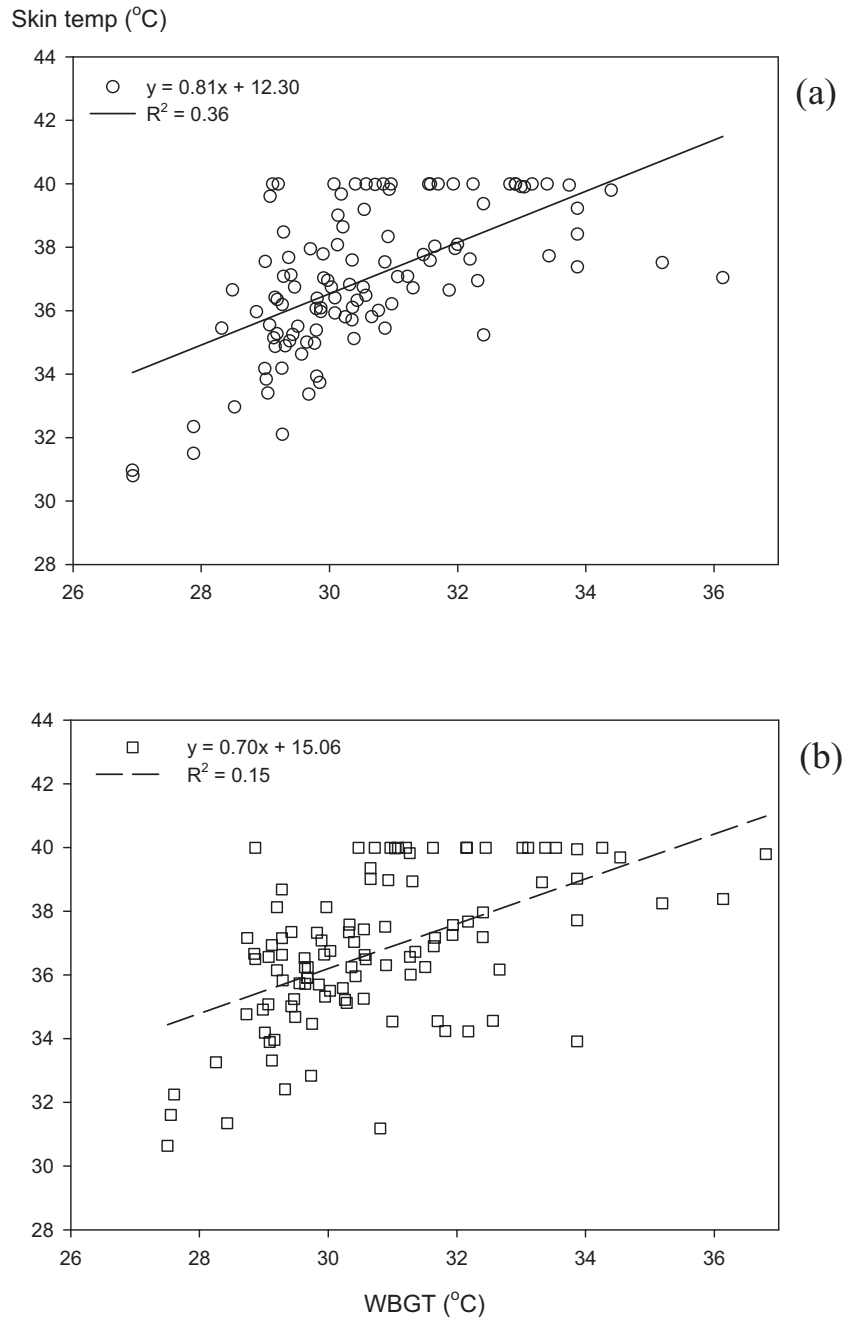


圖 4-33 日光照射區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度 (skin temperature)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

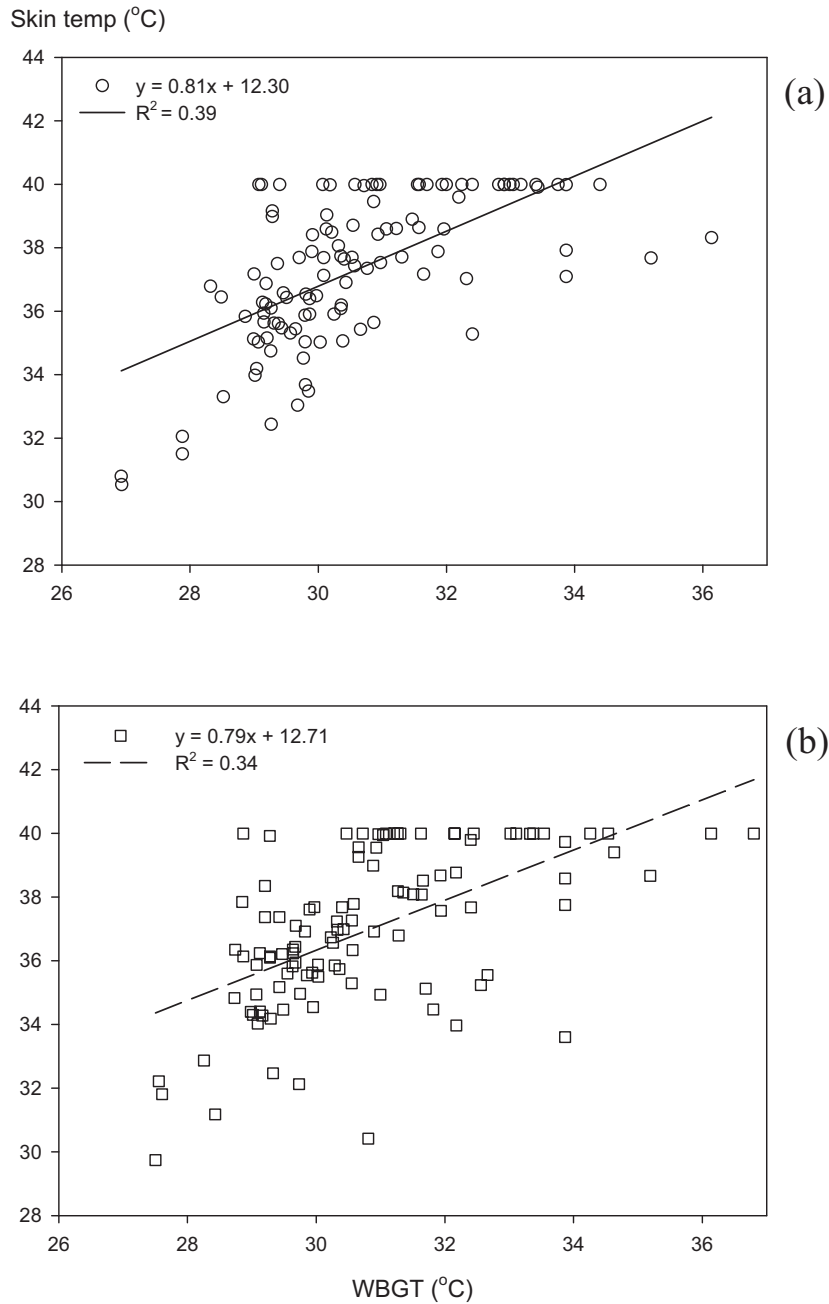


圖 4-34 日光照射區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

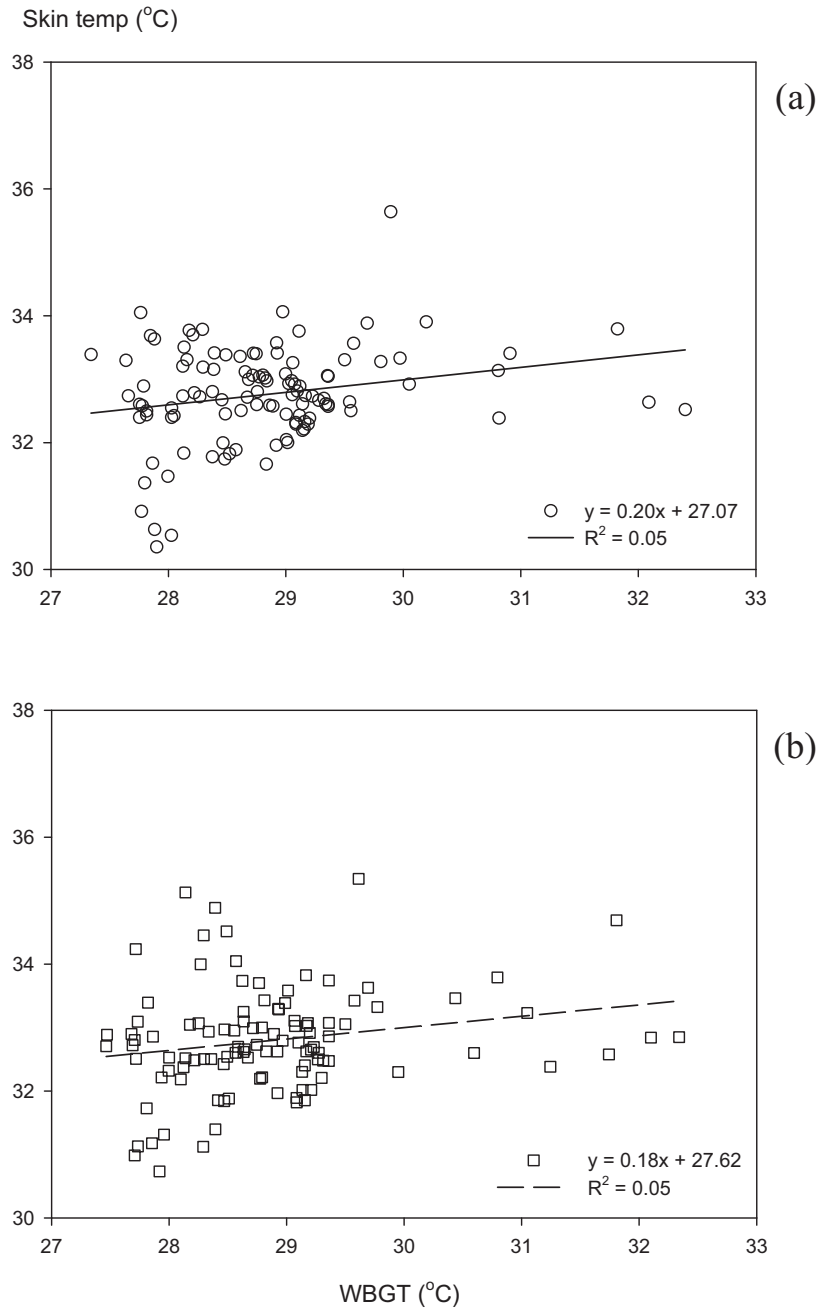


圖 4-35 戶外陰涼區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度 (skin temperature)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

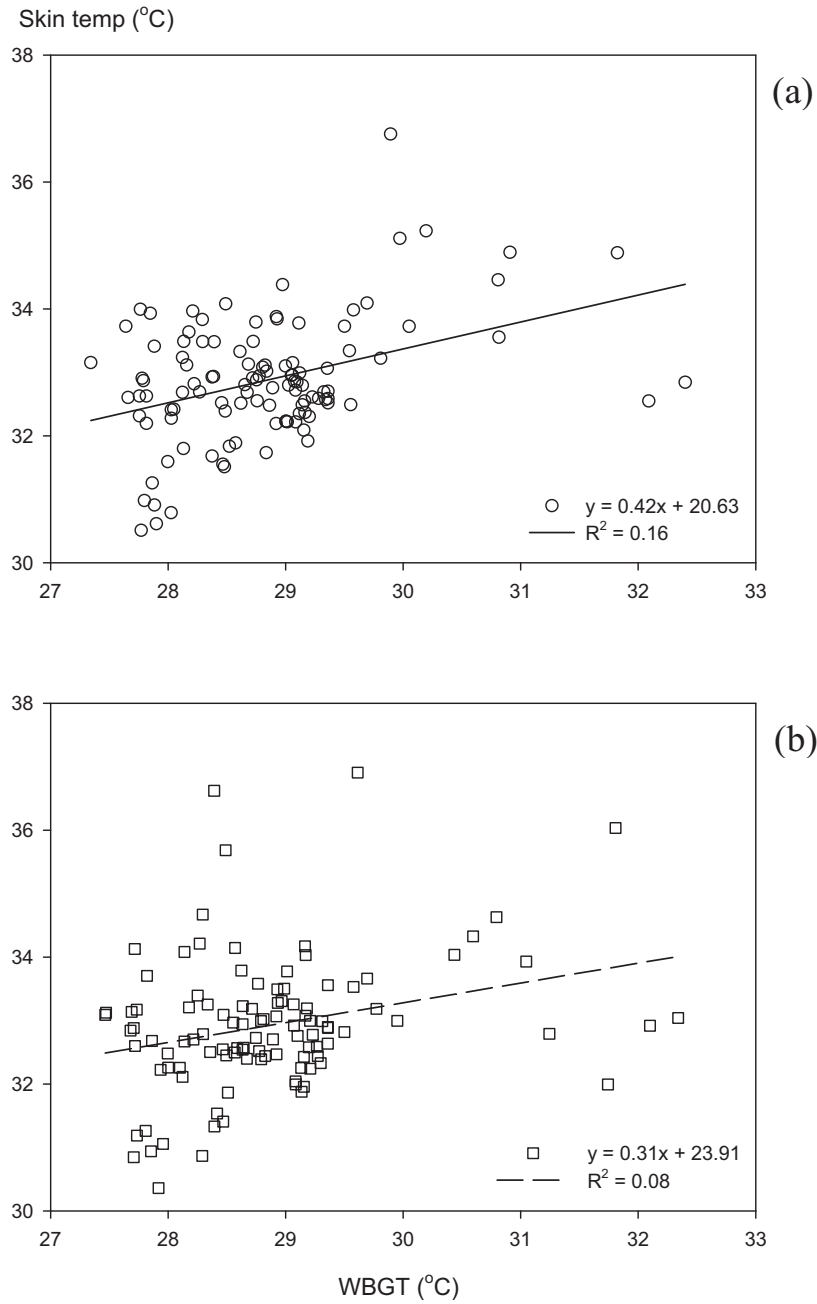


圖 4-36 戶外陰涼區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

敏感度較高。另外比較戶外陰涼區測量時，上臂內側與前臂外側之迴歸方程式可發現，前臂外側皮膚溫度隨 WBGT 上升而增加之趨勢較上臂內側為明顯；以上現象不論使用防曬乳液有無均存在。因受測人員與受測時間均穿著短袖衣物，以上現象所反應的是前臂外側皮膚與物理環境直接接觸之結果。

以下為各分佈圖(圖 4-35 與 4-36)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚溫度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.81x + 12.30 \quad R^2 = 0.36 \quad (\text{Eq. 4-53})$$

實驗組前臂外側皮膚溫度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.81 + 12.30 \quad R^2 = 0.39 \quad (\text{Eq. 4-54})$$

控制組上臂內側皮膚溫度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.70x + 15.06 \quad R^2 = 0.15 \quad (\text{Eq. 4-55})$$

控制組前臂外側皮膚溫度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.79x + 12.71 \quad R^2 = 0.34 \quad (\text{Eq. 4-56})$$

實驗組上臂內側皮膚溫度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.20x + 27.07 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-57})$$

實驗組前臂外側皮膚溫度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.42 + 20.63 \quad R^2 = 0.16 \quad (\text{Eq. 4-58})$$

控制組上臂內側皮膚溫度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.18x + 27.62 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-59})$$

控制組前臂外側皮膚溫度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.31x + 23.91 \quad R^2 = 0.08 \quad (\text{Eq. 4-60})$$

圖 4-37 與圖 4-38 所示分別為日光照射區實驗中每測量日受測者上臂內側皮膚溫度與前臂外側皮膚溫度在日光照射區與戶外陰涼區測量值之比值對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。由圖表示，實驗組之皮膚溫度比值大多數大於 1，控制組亦有相同之現象，且防曬乳液之使用有無對以上趨勢不構成明顯之影響。日光照射區皮膚溫度與戶外陰涼區皮膚溫度間之差距，隨日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 間之差異擴大而增加(皮膚溫度比值隨著 WBGT 比值增加而上升)，且該趨勢以前臂外側較為明顯；防曬乳液之使用有無對以上趨勢亦無明顯之影響。以上結果建議：皮膚溫度主要受包含輻射熱之綜合熱因子影響而改變，且以上改變不易反應防曬乳液使用可能造成的影響。

圖 4-39 與圖 4-40 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚溫度在戶外日實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。隨著累積性紫外光增加，皮膚溫度有逐漸上升之趨勢，尤以使用防曬乳液者更為明顯。以上現象可能為身體在累積性曝曬產生後，長期散熱需求逐步上升之結果；以使用防護裝置者較為明顯。

由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一

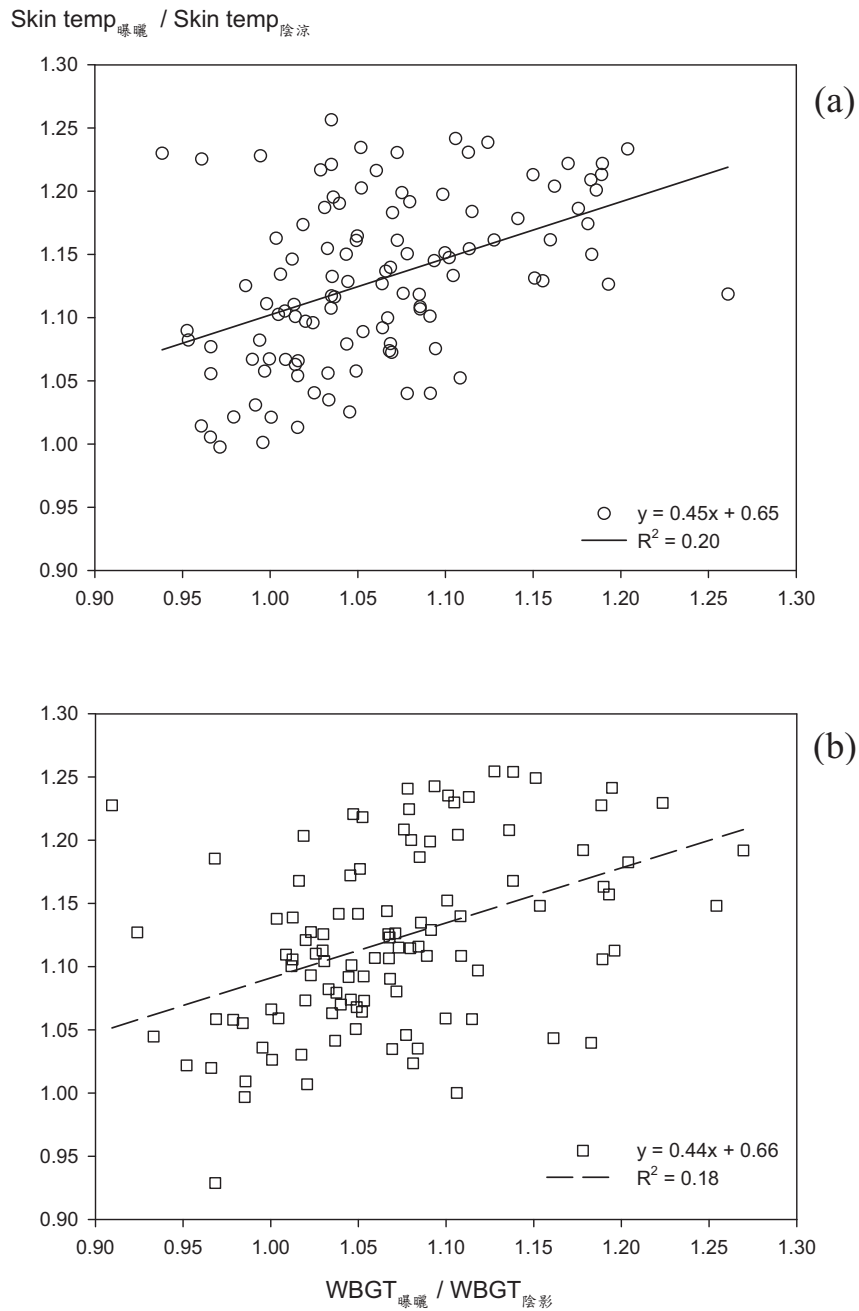


圖 4-37 日光照射區與戶外陰涼區上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

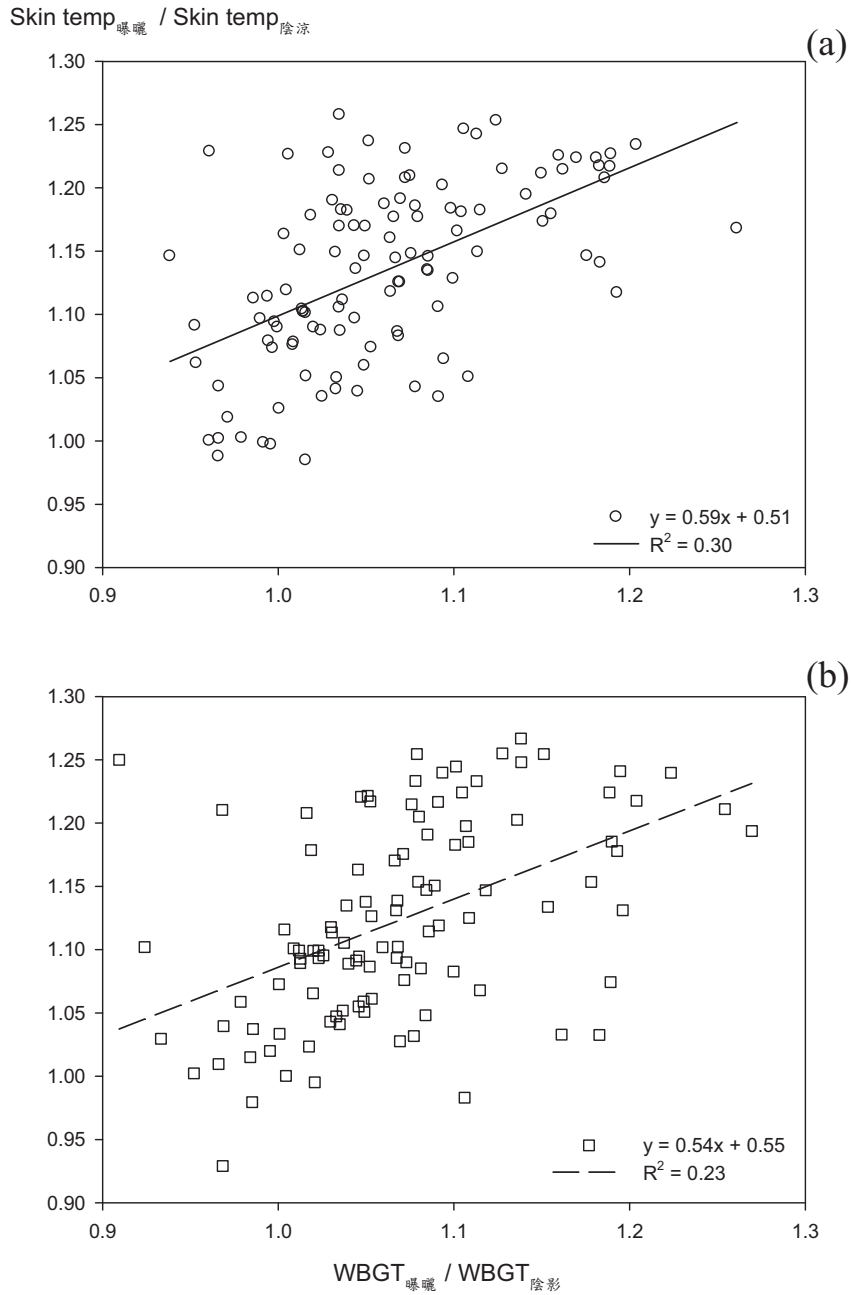


圖 4-38 日光照射區與戶外陰涼區前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

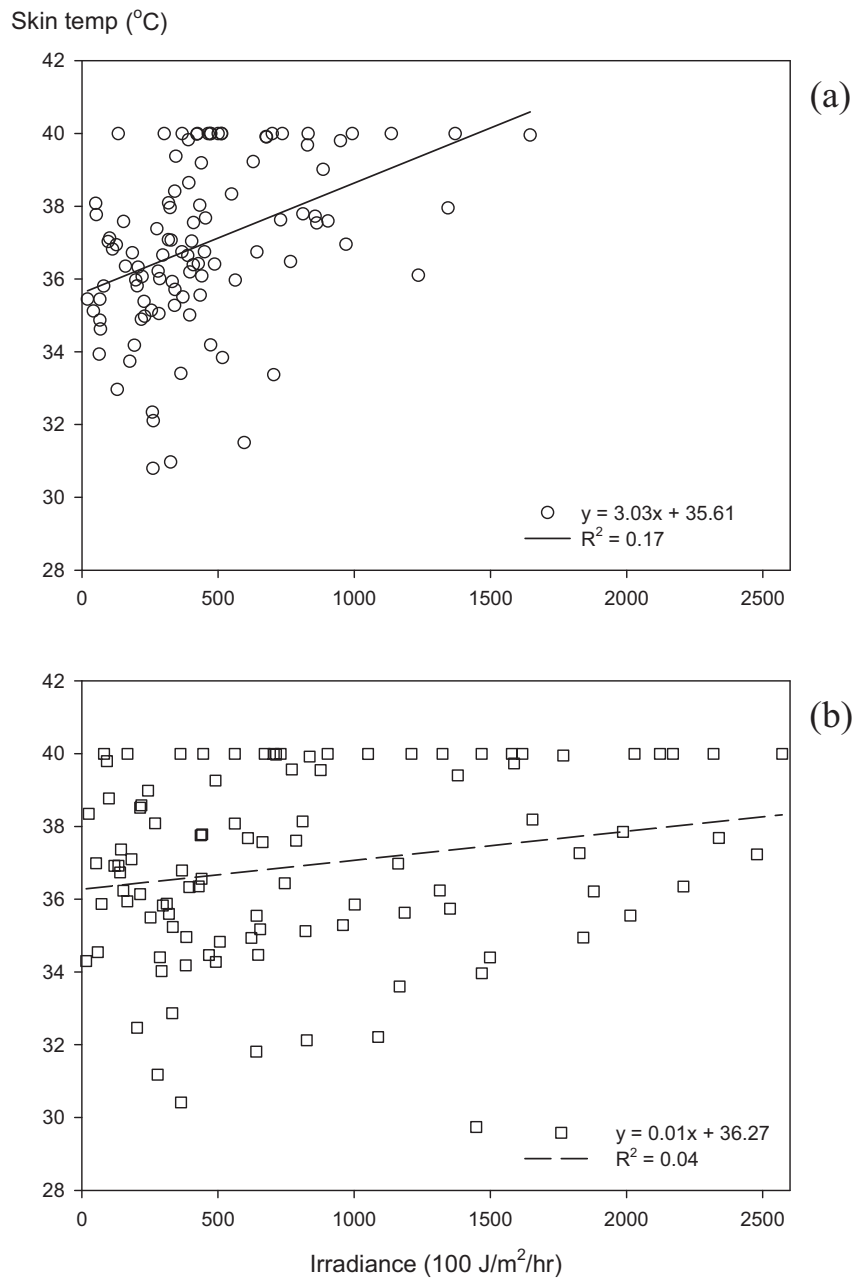


圖 4-39 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a) 實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

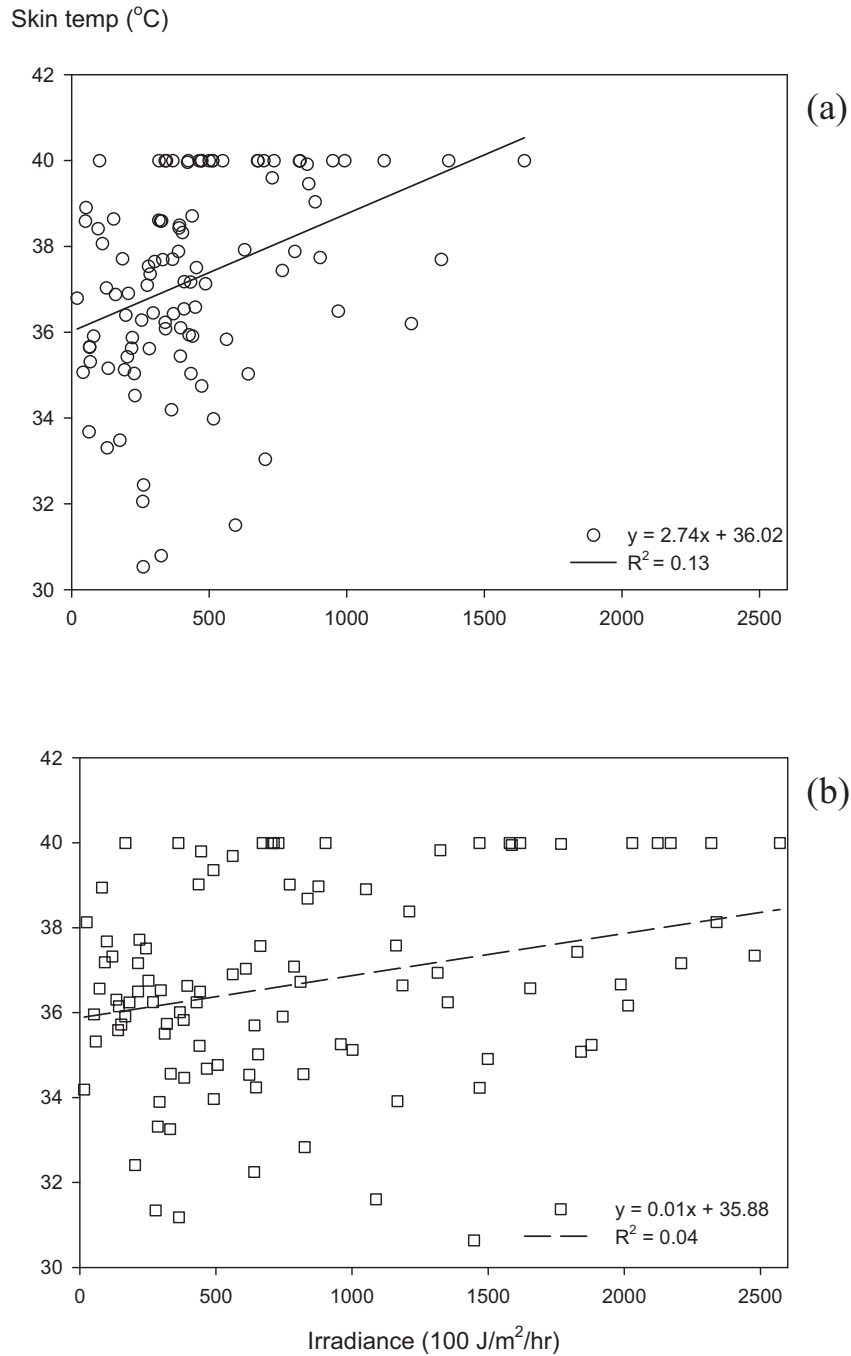


圖 4-40 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚溫度(skin temperature)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估在上臂內側與前臂外側之皮膚溫度因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及 95%信賴區間(95% confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控制干擾因子。表 4-9 所示為分析結果：在上臂內側部分，使用防曬乳液之皮膚溫度為未使用防曬乳液之 1.146 倍(95% CI = 1.005-1.306)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處達統計顯著差異。在前臂外側部分，使用防曬乳液之皮膚溫度為未使用防曬乳液之 1.129 倍(95% CI = 0.998-1.276)，未達統計顯著差異。以上現象之可能解釋為：因上臂內側皮膚與周圍環境物理因子之接觸較前臂外側皮膚為淺，故環境物理因子對該處皮膚溫度之影響相形之下不若防曬乳液涼膚效果強烈，是以使用防曬乳液之有無對上臂內側皮膚構成明顯影響。與上臂內側皮膚相較，前臂外側皮膚遭受之環境物理因子影響較大，是以使用防曬乳液有無之相對影響較小。

圖 4-41 與 4-42 所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之 TSV 值，對應前臂外側皮膚(日光照射處)溫度之量測值。由圖 4-41 與 4-42 中可觀察到：於日光照射區與戶外陰涼區實驗受試人員(含實驗組與控制組)TSV 對應前臂外側皮膚溫度呈正線性關係，亦即主觀熱感知強弱可直接反應皮膚溫度高低影響。

表 4-9 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚溫度 (skin temperature)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.053	0.963-1.183	1.146	1.005-1.306 ^b
前臂外側 (遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.060	0.948-1.185	1.129	0.998-1.276

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

^b *p*-value < 0.05

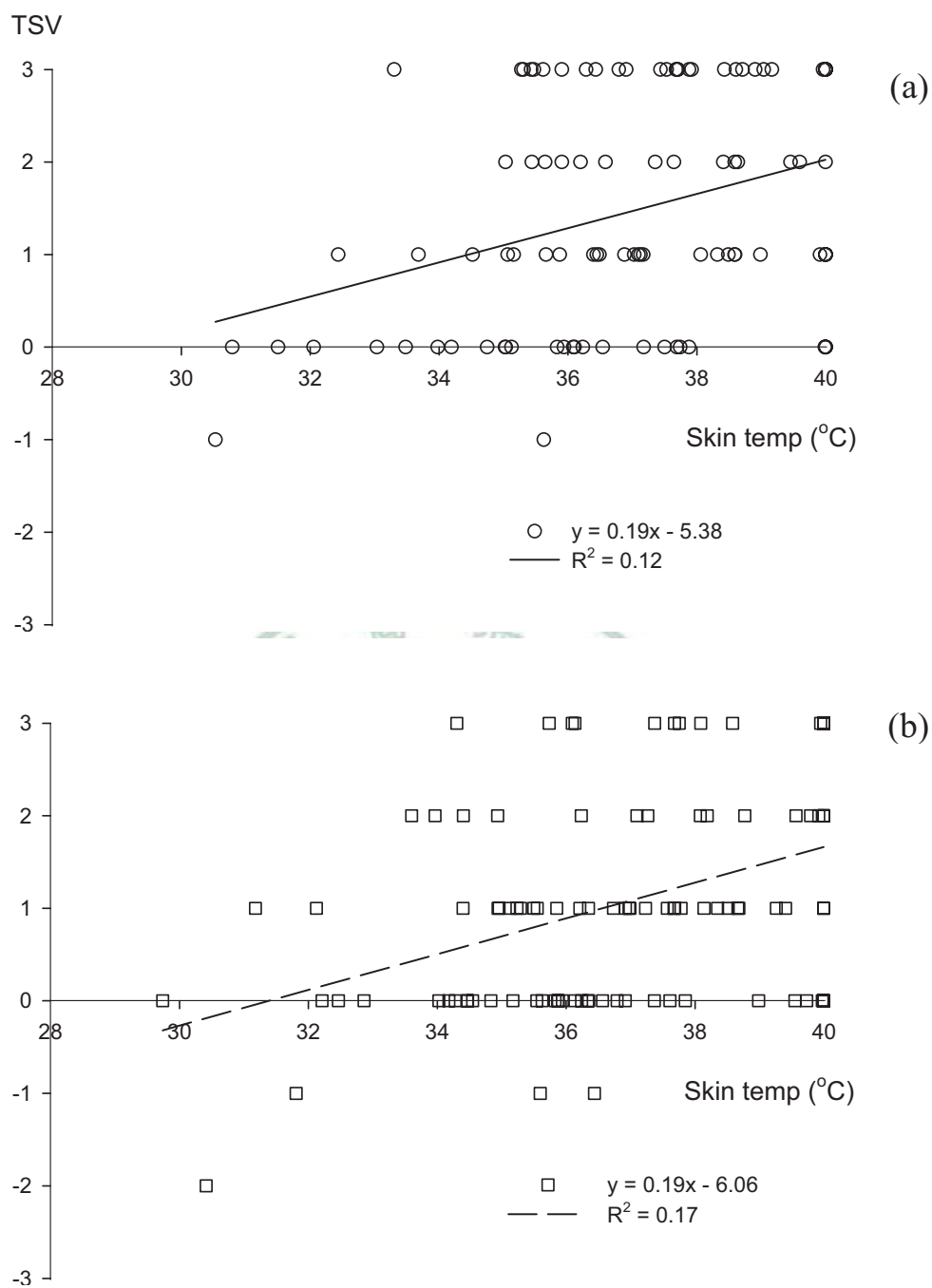


圖 4-41 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應皮膚溫度(skin temperature)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

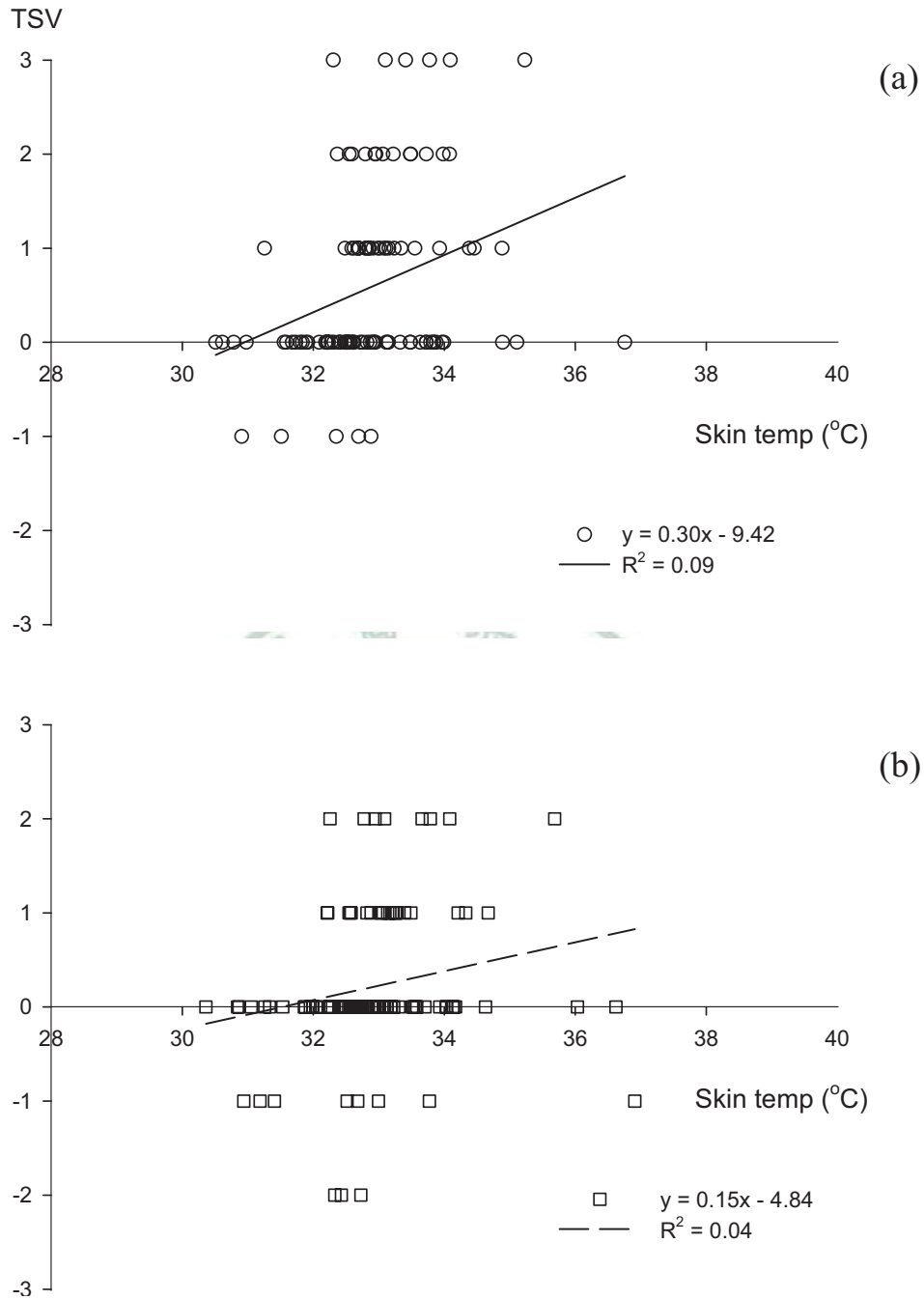


圖 4-42 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應皮膚溫度(skin temperature)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

4.1.4 日光紫外線輻射對皮膚濕度之影響

圖 4-43 與 4-44 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚濕度(skin moisture)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之皮膚濕度分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之皮膚濕度數值介於 200-2000 μS 之間。前臂外側之迴歸方程式中可發現控制組方程式斜率高於實驗組之數值，顯示控制組前臂外側皮膚濕度隨 UVI 增加之上升程度較大。如針對日光紫外線輻射對皮膚微血流影響之討論，以上現象可能反應防曬乳液對皮膚與周圍物理環境接觸所造成之隔離效果，故皮膚濕度在使用防護乳液時未與環境濕度直接平衡。

以下為各分佈圖(圖 4-43 與 4-44)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 9.29x + 826.46 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-61})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 16.73 + 861.34 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-62})$$

控制組上臂內側 SBFC 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 36.44x + 626.32 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-63})$$

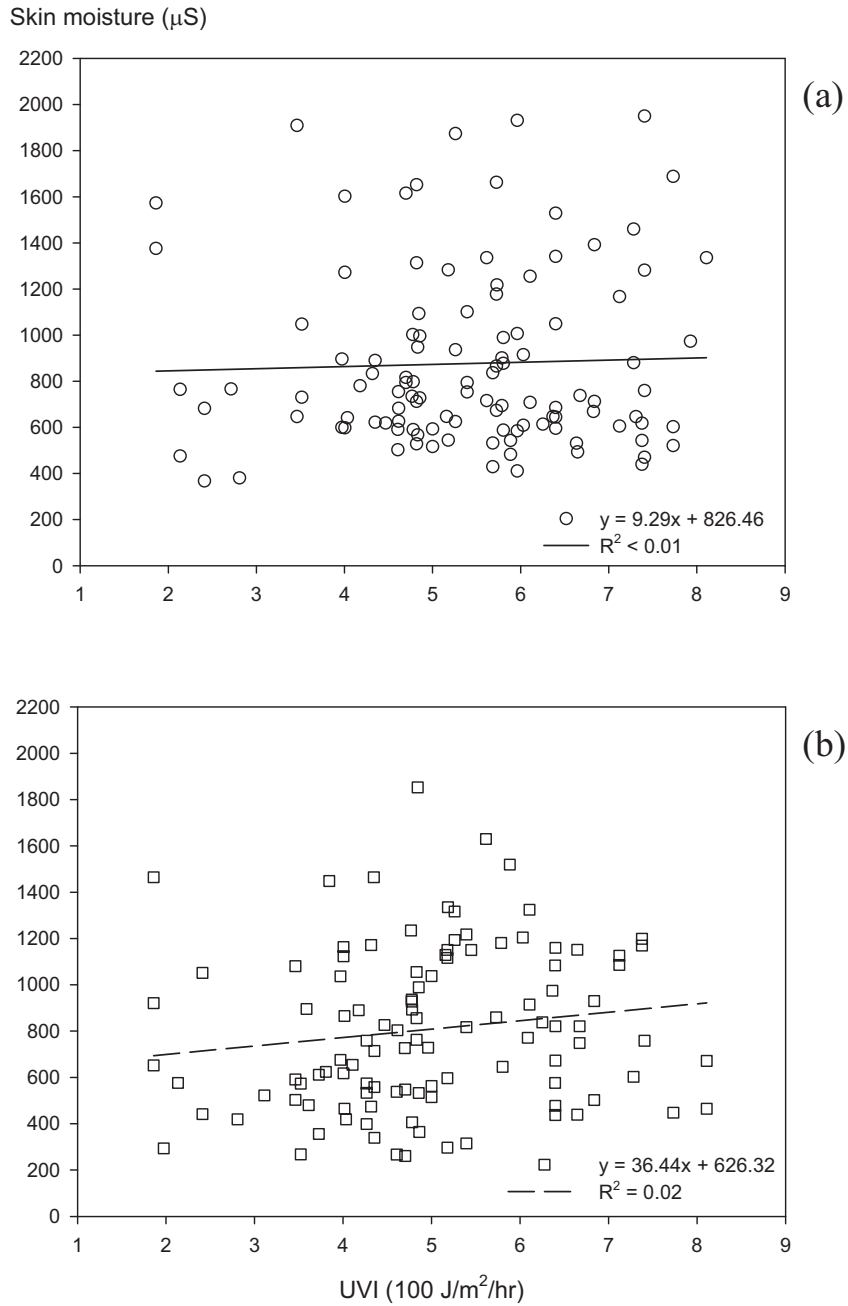


圖 4-43 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

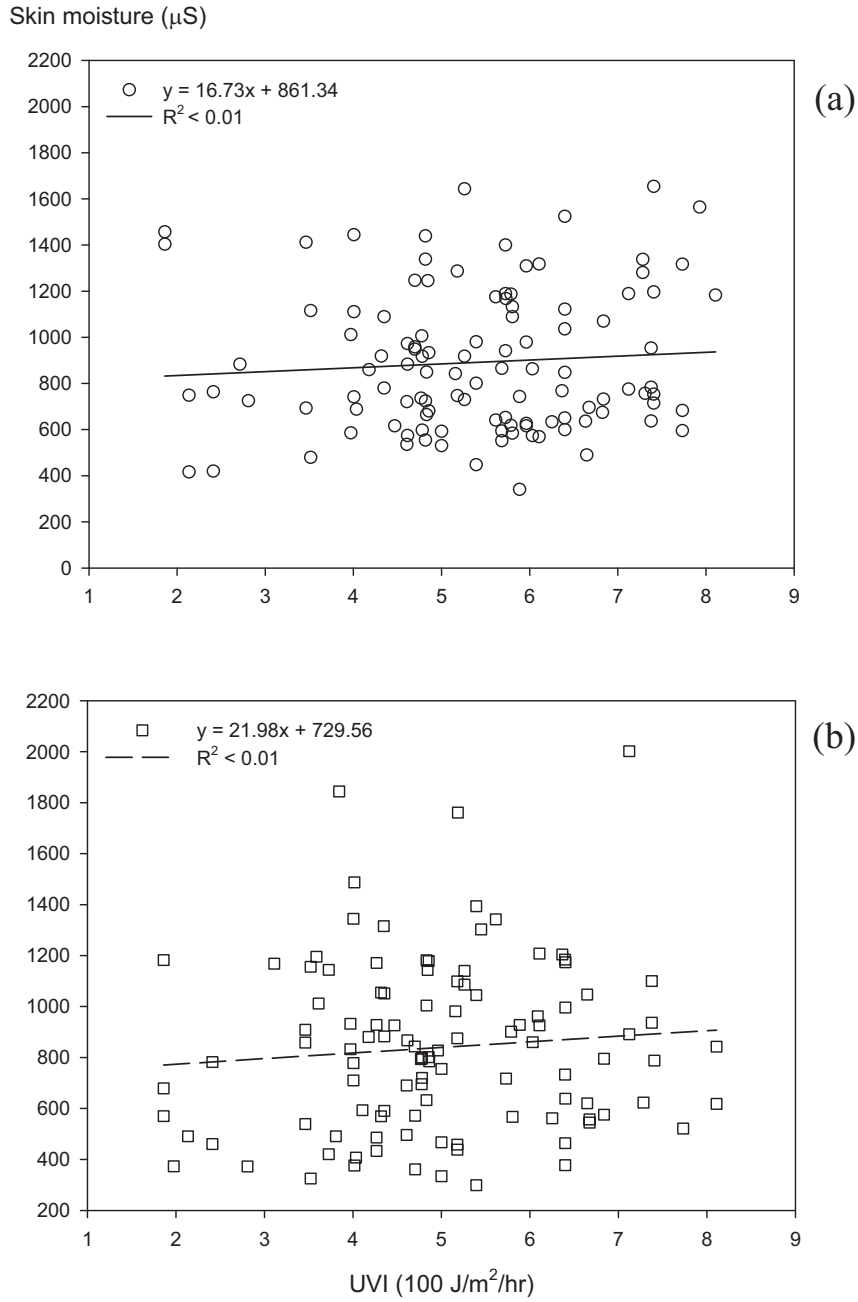


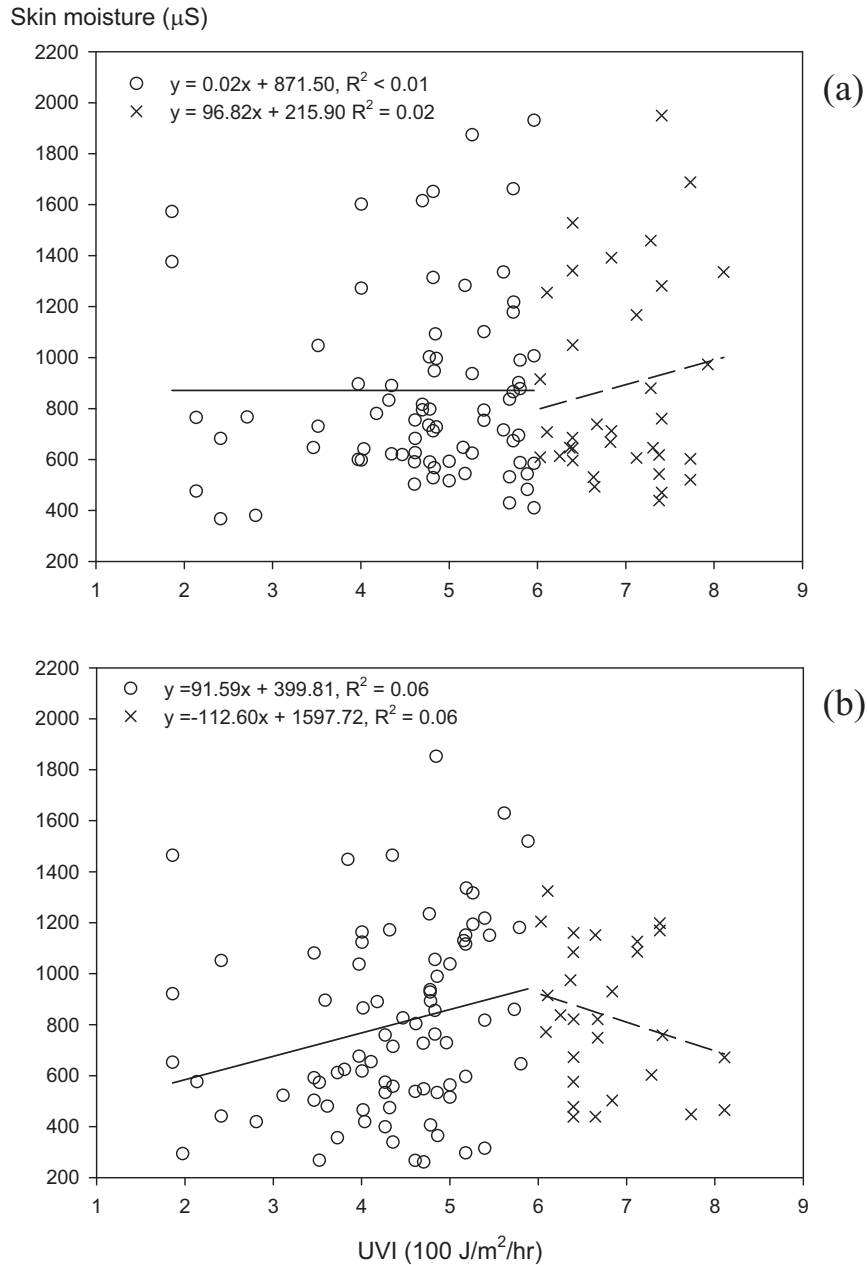
圖 4-44 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

控制組前臂外側皮膚濕度對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 21.98x + 729.56 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-64})$$

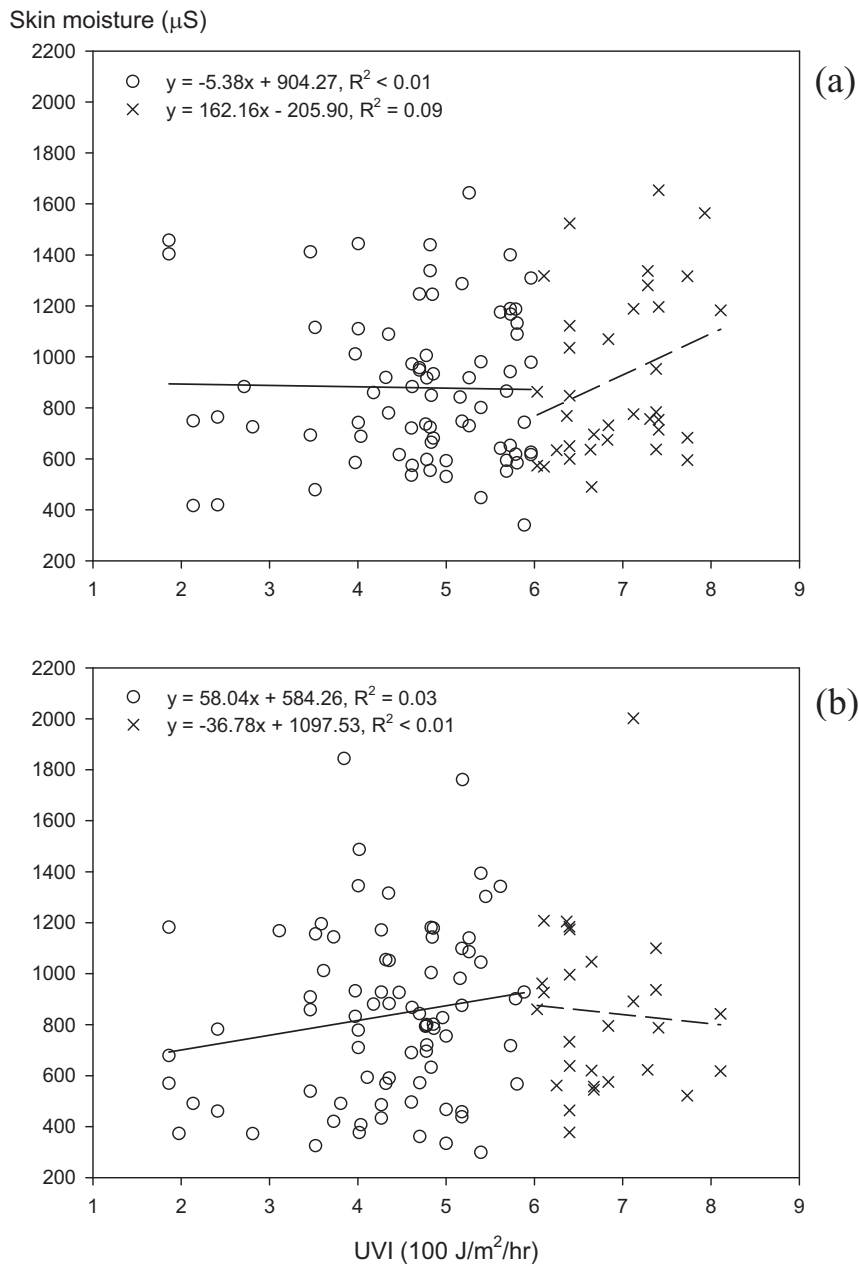
以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，不同組別間不論上臂內側(p -value = 0.245)或前臂外側(p -value = 0.188)之皮膚濕度皆未達統計顯著差異。以上推論結果顯示：使用與未使用防曬乳液人員間皮膚濕度未有顯著差異之可能原因為，皮膚濕度主要在反應環境濕度以及環境溫度之變化⁽²²⁾；除非日光紫外線曝曬強烈影響皮膚障壁功能之完整，否則皮膚濕度不易直接作為日光紫外線曝曬之生理指標。

當進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量(如圖 4-45 與 4-46)，在進行皮膚濕度隨 UVI 之變化分析時發現：如圖 4-45 所示，實驗組皮膚濕度對應中/過量 UVI 之方程式斜率高於微/低量 UVI 之數值；但控制組皮膚濕度對應中/過量 UVI 之方程式斜率則低於微/低量 UVI 之數值。另以實驗組為例，皮膚濕度之顯著增加發生於高劑量紫外光暴露區。以上現象所反應者為：當未使用防曬乳液時(控制組)，因皮膚可直接與周遭環境物理因子接觸，故當熱環境產生變化時，皮膚濕度可立即反應；但當使用防曬乳液時，因隔離效應之產生，皮膚濕度須待熱環境(含輻射熱)產生強烈變化方產生改變以重新達到平衡。



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應皮膚濕度之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應皮膚濕度之迴歸

圖 4-45 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)



○ 為微/低量UVI ——(y_1)為微/低量UVI對應皮膚濕度之迴歸
 × 為中/過量UVI ----(y_2)為中/過量UVI對應皮膚濕度之迴歸

圖 4-46 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

以下為各分佈圖(圖 4-45 與 4-45)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚濕度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.02x + 871.50 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-65})$$

實驗組上臂內側皮膚濕度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 96.82x + 215.90 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-66})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -5.38x + 904.27 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-67})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 162.16x - 250.90 \quad R^2 = 0.09 \quad (\text{Eq. 4-68})$$

控制組上臂內側皮膚濕度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 91.59x + 399.81 \quad R^2 = 0.06 \quad (\text{Eq. 4-69})$$

控制組上臂內側皮膚濕度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -112.60x + 1597.72 \quad R^2 = 0.06 \quad (\text{Eq. 4-70})$$

控制組前臂外側皮膚濕度對應微/低量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 58.04x + 584.26 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-71})$$

控制組前臂外側皮膚濕度對應中/過量 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -36.78x + 1097.53 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-72})$$

由 Eqs. 4-61 至 4-72 中之線性迴歸方程式所反應者當為皮膚濕度對應輻射熱之變化。結果可發現：皮膚濕度未顯著地隨日光紫外線短期輻射劑量變化而改變。

表 4-10 與表 4-11 所示為戶外日光實驗中受試人員上臂內側與前臂外側皮膚濕度之測量值、實驗組—控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-10 中可觀察到：日光照射區實驗中，實驗組上臂內側之皮膚濕度測量值，於實驗日期 8 月 13 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日皆為實驗組高於控制組；日光照射區實驗中實驗組前臂外側之皮膚濕度測量值，於實驗日期 8 月 13 日、24 日、以及 9 月 3 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆高於控制組。在前臂外側皮膚部分，於實驗日期為 7 月 23 日時，不論使用防曬乳液與否，不同組別間前臂外側之皮膚濕度差異達統計顯著性($p\text{-value} = 0.032$)。在戶外陰涼區之實驗結果部份(表 4-11)，實驗組前臂外側之皮膚濕度測量值於實驗日期 8 月 27 日、以及 9 月 3 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆高於控制組。當將日光照射區實驗與戶外陰涼區各 16 次實驗總合分析，分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定使用防曬乳液與否對應皮膚濕度之影響時發現：在日光照射區部分，使用防曬乳液與否，對應上臂內側皮膚濕度之變化未達統計上差異($p\text{-vaule} = 0.245$)；而應前臂外側亦有相同之結果($p\text{-vaule} = 0.188$)。在戶外陰涼區部分，使用防曬乳液與否不同組別間上臂內側皮膚濕度之變化未達統計上差異($p\text{-vaule} = 0.775$)；而前臂外側亦有相同之結果($p\text{-vaule} = 0.997$)。

表 4-10 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中皮膚濕度(skin moisture)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	907.61 ± 483.24	825.50 ± 308.35	1.44 ± 1.16	0.886
0716	826.50 ± 421.72	700.67 ± 384.67	1.55 ± 1.07	0.568
0720	1015.71 ± 452.05	823.18 ± 281.26	1.47 ± 1.05	0.655
0723	973.43 ± 382.15	878.43 ± 445.26	1.38 ± 0.88	0.655
0727	939.11 ± 395.86	742.75 ± 437.62	1.91 ± 1.41	0.391
0730	913.39 ± 342.06	732.82 ± 312.29	1.49 ± 0.87	0.406
0806	708.11 ± 253.56	728.56 ± 269.58	1.10 ± 0.55	0.949
0813	957.86 ± 416.57	771.61 ± 372.17	1.43 ± 1.08	0.655
0817	659.96 ± 306.77	918.68 ± 351.65	0.87 ± 0.60	0.390
0820	848.46 ± 255.42	773.96 ± 267.65	1.32 ± 0.63	0.520
0824	931.29 ± 344.02	871.61 ± 381.39	1.42 ± 1.10	0.701
0827	938.79 ± 304.26	912.71 ± 261.80	1.11 ± 0.49	0.848
0831	842.61 ± 279.15	836.54 ± 277.96	1.15 ± 0.61	0.848
0903	867.00 ± 454.31	613.79 ± 260.18	1.70 ± 1.23	0.225
0907	891.50 ± 420.47	896.89 ± 269.83	1.09 ± 0.63	0.565
前臂外側皮膚濕度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	905.18 ± 248.12	1066.67 ± 442.36	1.01 ± 0.46	0.568
0716	855.96 ± 327.55	719.79 ± 302.11	1.55 ± 0.91	0.474
0720	935.11 ± 363.36	904.93 ± 336.06	1.30 ± 0.98	0.949
0723	973.46 ± 332.22	874.18 ± 292.81	1.28 ± 0.71	0.406
0727	952.96 ± 362.48	649.75 ± 317.63	1.66 ± 0.79	0.032 ^c
0730	944.89 ± 353.04	754.86 ± 278.36	1.46 ± 0.83	0.277
0806	745.71 ± 224.47	701.54 ± 248.25	1.23 ± 0.64	0.749
0813	870.39 ± 390.01	648.25 ± 252.55	1.52 ± 0.87	0.338
0817	780.21 ± 230.09	989.43 ± 360.57	0.88 ± 0.39	0.475
0820	871.32 ± 202.98	765.88 ± 353.39	1.36 ± 0.65	0.391
0824	999.57 ± 224.44	930.00 ± 340.42	1.32 ± 0.83	0.749
0827	912.57 ± 194.68	1012.00 ± 367.88	0.99 ± 0.33	0.848
0831	905.25 ± 281.10	857.46 ± 275.18	1.17 ± 0.53	0.655
0903	806.18 ± 310.89	728.07 ± 256.65	1.25 ± 0.67	0.749
0907	906.50 ± 337.86	979.18 ± 137.36	0.94 ± 0.38	0.338

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚溫度差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定;

^c p-value < 0.05

表 4-11 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中皮膚濕度(skin moisture)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側皮膚濕度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	907.46 ± 499.29	672.58 ± 195.90	1.66 ± 1.04	0.475
0716	788.68 ± 501.22	775.29 ± 453.98	1.74 ± 1.77	1.000
0720	931.00 ± 440.31	916.54 ± 293.95	1.22 ± 0.96	0.949
0723	952.04 ± 484.55	920.54 ± 342.99	1.18 ± 0.77	0.949
0727	994.21 ± 423.13	866.42 ± 324.53	1.34 ± 0.75	0.668
0730	968.86 ± 373.24	862.57 ± 301.05	1.33 ± 0.84	0.655
0806	768.93 ± 308.71	763.61 ± 275.16	1.15 ± 0.65	0.898
0813	794.50 ± 387.96	653.96 ± 342.36	1.60 ± 1.24	0.406
0817	684.50 ± 396.63	820.79 ± 289.50	1.02 ± 0.84	0.391
0820	1018.71 ± 404.80	783.29 ± 302.42	1.67 ± 0.95	0.253
0824	725.96 ± 449.84	795.96 ± 281.61	1.18 ± 1.20	0.225
0827	1003.14 ± 266.75	1064.71 ± 320.62	1.05 ± 0.46	0.848
0831	920.79 ± 337.24	1049.86 ± 337.78	1.09 ± 0.83	0.277
0903	864.46 ± 398.23	777.43 ± 364.12	1.50 ± 1.21	0.949
0907	882.07 ± 431.09	1042.64 ± 346.44	1.00 ± 0.73	0.277
前臂外側皮膚濕度量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	899.54 ± 380.03	950.25 ± 250.66	1.07 ± 0.54	0.668
0716	837.75 ± 341.85	899.13 ± 280.76	1.18 ± 0.62	0.668
0720	985.39 ± 385.77	872.93 ± 396.64	1.37 ± 0.82	0.565
0723	972.93 ± 451.77	952.79 ± 276.07	1.12 ± 0.66	0.949
0727	977.96 ± 415.36	879.67 ± 376.97	1.46 ± 1.08	0.668
0730	930.00 ± 365.14	844.43 ± 393.79	1.53 ± 1.35	0.848
0806	846.32 ± 343.72	826.61 ± 308.58	1.53 ± 1.35	0.949
0813	796.21 ± 401.04	627.57 ± 246.03	1.28 ± 0.92	0.565
0817	826.96 ± 367.63	820.68 ± 328.44	1.54 ± 1.11	0.886
0820	1008.86 ± 375.47	770.17 ± 264.40	1.17 ± 0.70	0.253
0824	825.11 ± 246.80	804.29 ± 358.27	1.46 ± 0.69	0.949
0827	964.32 ± 227.31	1121.71 ± 285.19	1.34 ± 0.94	0.338
0831	802.57 ± 333.86	1026.21 ± 381.45	0.92 ± 0.58	0.225
0903	858.14 ± 335.22	773.50 ± 397.03	1.69 ± 1.65	0.749
0907	901.64 ± 355.09	998.36 ± 265.42	0.97 ± 0.47	0.406

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚濕度差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

圖 4-47 與 4-48 所示為實驗組與控制組受試人員皮膚濕度在日光照射區實驗(戶外有日光照射處，曝曬日光 10 分鐘)隨 WBGT 產生之改變；圖 4-49 與 4-50 為實驗組與控制組受試人員皮膚濕度在戶外陰涼區實驗(戶外無日光照射處，靜坐 20 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。整體而言，日光照射區實驗期間測量所得之皮膚濕度數值介於 200-2,000 μS 之間；戶外陰涼區實驗期間測量所得之皮膚濕度數值介於 170-2,100 μS 之間。交叉比較上述圖形時發現：在日光照射區，使用防曬乳液者之皮膚濕度未隨 WBGT 值變化，但未使用防曬乳液者之皮膚濕度則隨 WBGT 增加而上升。但若在戶外陰涼區，則不論使用防曬乳液與否，受測者之皮膚濕度皆隨 WBGT 增加而上升，且增加幅度在使用與未使用防曬乳液者間接近。以上現象說明：在所有戶外環境熱因子當中，輻射熱對皮膚濕度之變化具有顯著影響，且該影響會因防曬乳液使用與否產生差別。防曬乳液之使用造成皮膚與周邊環境之隔離，故在該狀況下，輻射熱對皮膚濕度之影響較弱。當進一步以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾統計檢定日光直接曝曬之有無是否對皮膚濕度之分佈造成影響時發現：上臂內側之皮膚濕度在日光照射區與戶外陰涼區間之差異未達統計顯著($p\text{-vaule} = 0.223$)；前臂外側皮膚濕度亦未達統計差異($p\text{-vaule} = 0.536$)。控制組結果顯示：不論是上臂內側之皮膚濕度($p\text{-vaule} = 0.469$)或前臂外側之皮膚濕度($p\text{-vaule} = 0.731$)在日光照射區與戶外陰涼區間之差異均未達統計顯著。

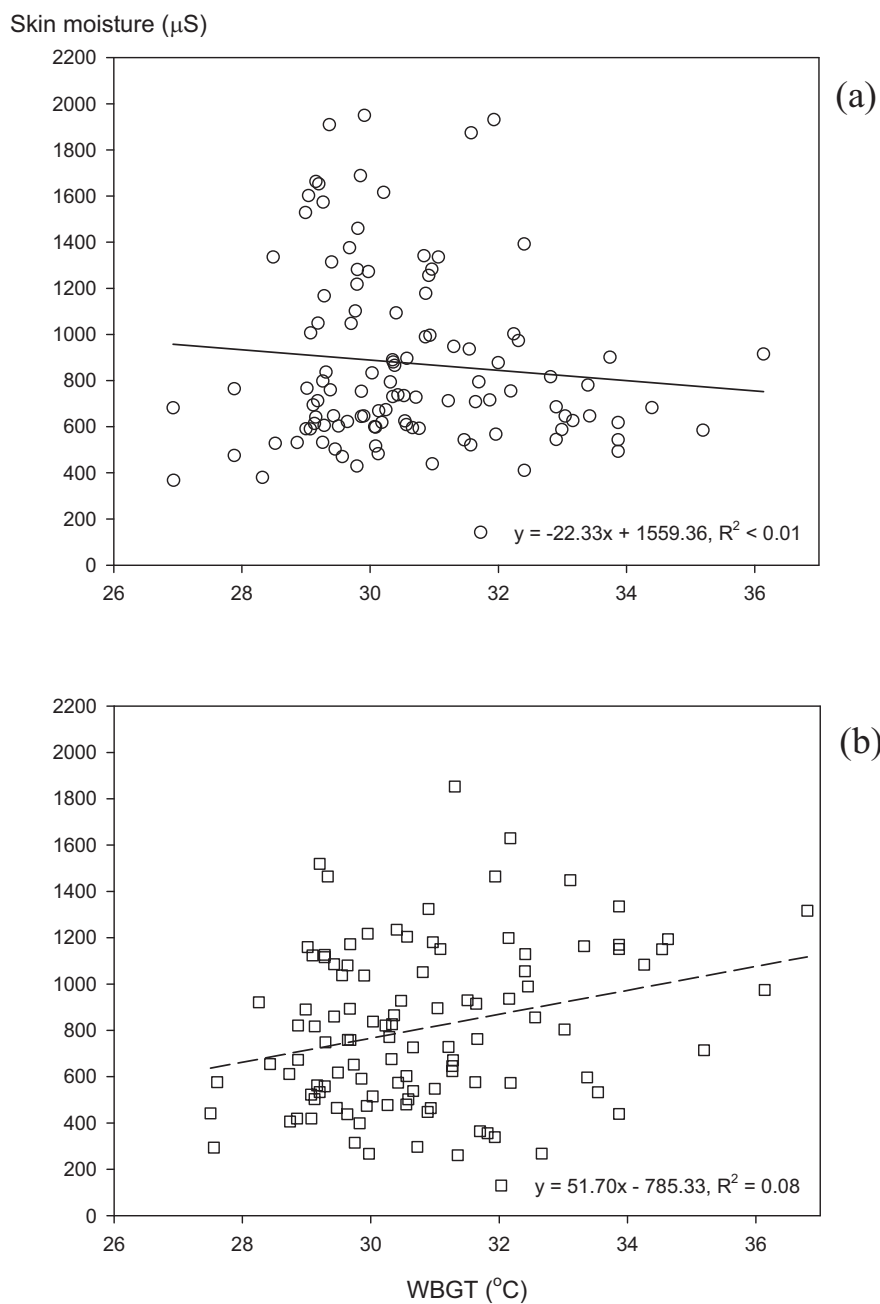


圖 4-47 日光照射區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度 (skin moisture)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

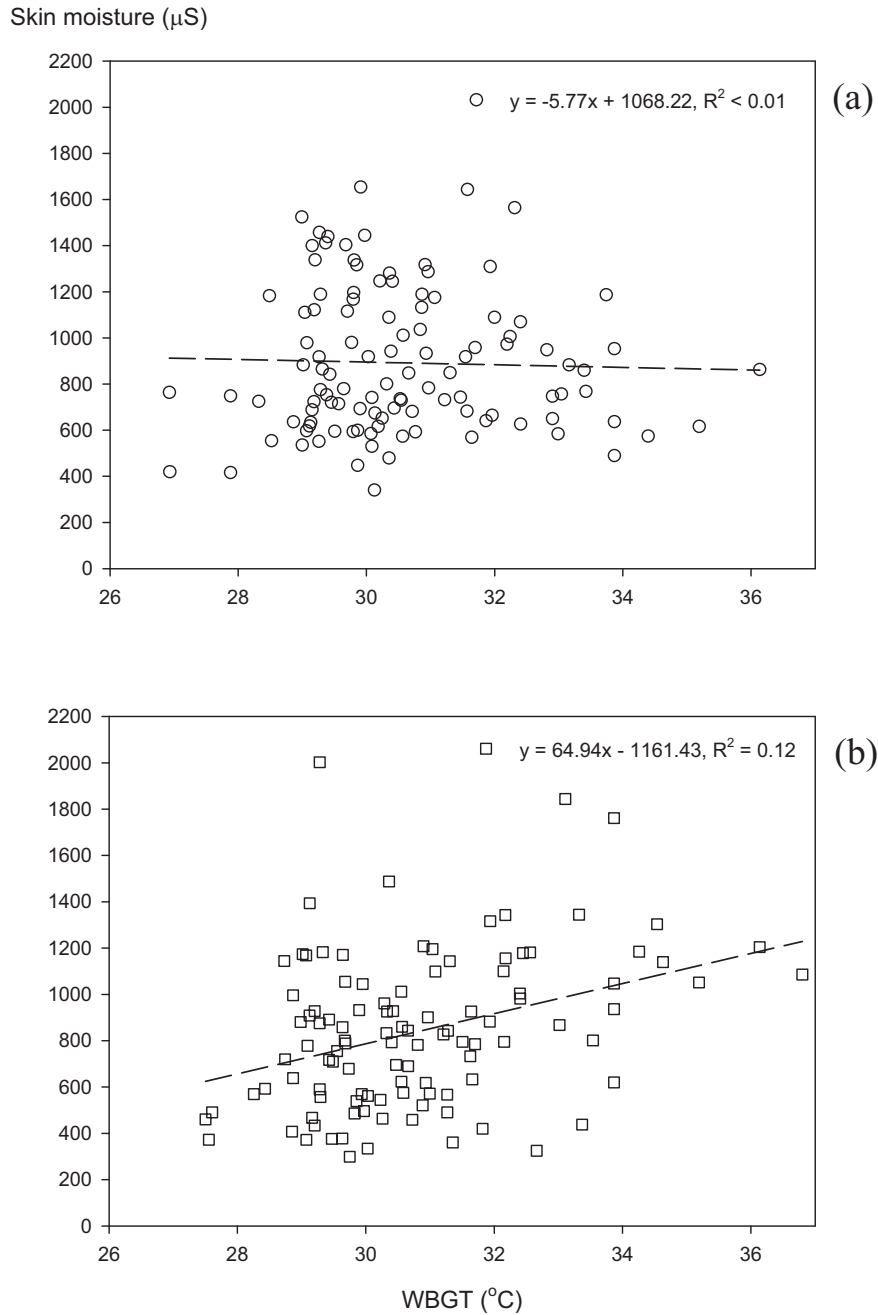


圖 4-48 日光照射區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

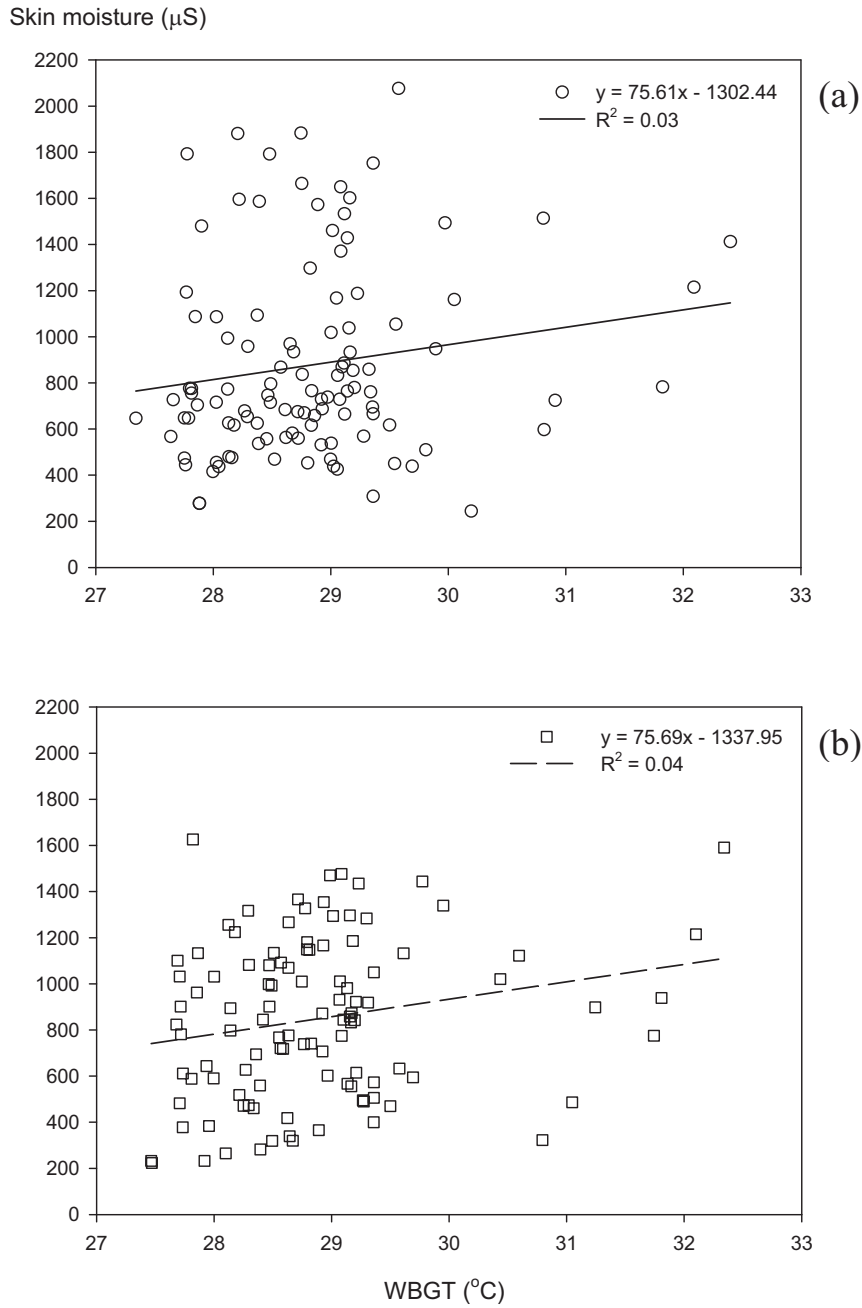


圖 4-49 戶外陰涼區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度 (skin moisture)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

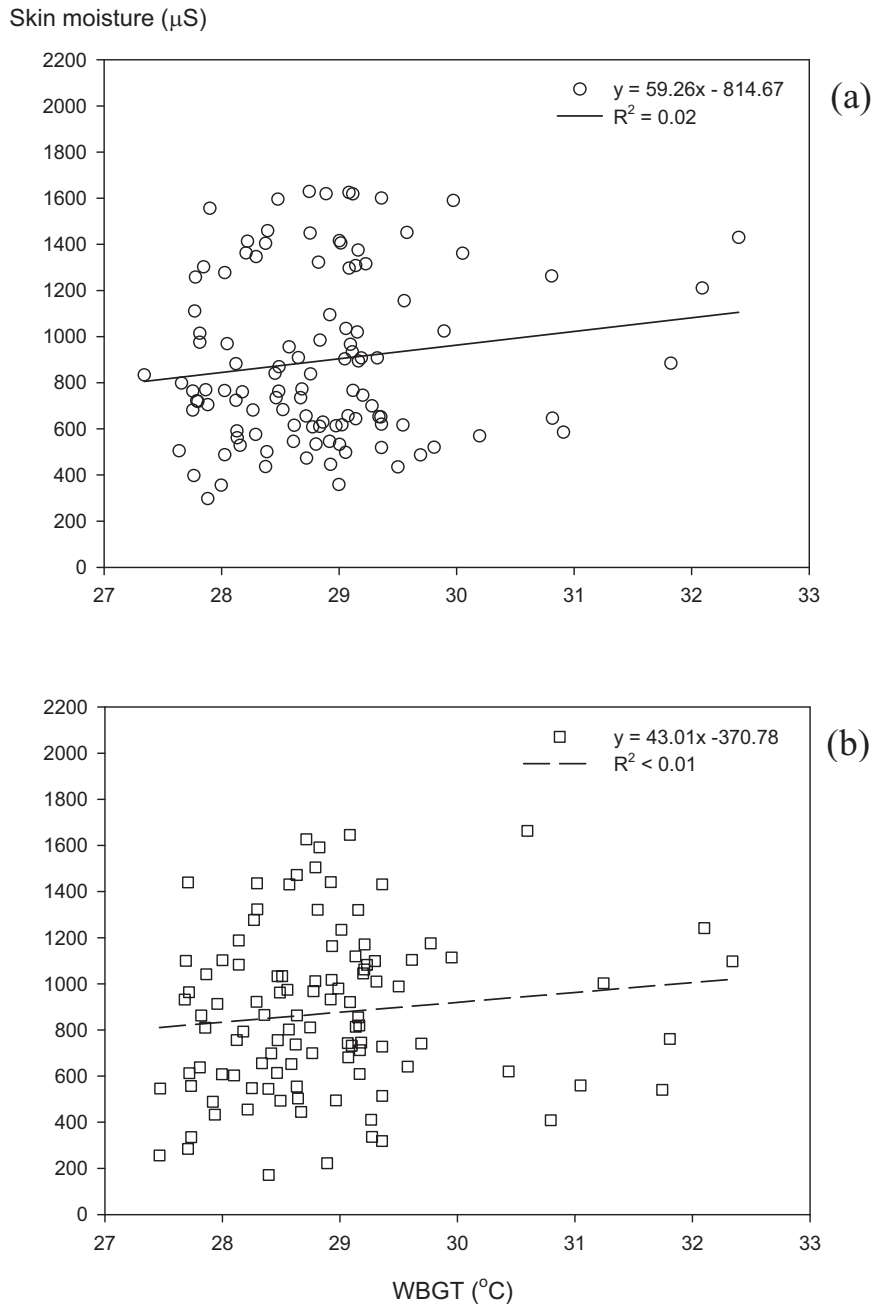


圖 4-50 戶外陰涼區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

由日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之迴歸方程式中，可發現實驗組於戶外陰涼區之方程式斜率高於日光照射區之數值，顯示實驗組於戶外陰涼區針對環境物理因子暴露所產生反應之敏感度較高。在實驗中，實驗組之受試人員於日光照射區實驗前 30 分鐘施用指定防曬乳液，但在戶外陰涼區實驗時則未施用防曬乳液。以上結果建議：防曬乳液於日光照射區施用後，在於戶外陰涼區實驗進行前，已大約散失殆盡(實驗組自日光照射區實驗至戶外陰涼區實驗時間約為 2 小時)，故皮膚直接反應外在環境物理因子影響之程度上升。

以下為各分佈圖(圖 4-47、4-48、4-49、以及 4-50)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側皮膚濕度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -22.33x + 1559.36 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-73})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -5.77 + 1068.22 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-74})$$

控制組上臂內側皮膚濕度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 51.70x - 785.33 \quad R^2 = 0.08 \quad (\text{Eq. 4-75})$$

控制組前臂外側皮膚濕度於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 64.94x - 1068.22 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-76})$$

實驗組上臂內側皮膚濕度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 75.61x - 1302.44 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-77})$$

實驗組前臂外側皮膚濕度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 59.26 - 814.67 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-78})$$

控制組上臂內側皮膚濕度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 75.69x - 1337.95 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-79})$$

控制組前臂外側皮膚濕度於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 43.01x - 370.78 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-80})$$

圖 4-51 與圖 4-52 所示分別為日光照射區實驗中每測量日受測者上臂內側與前臂外側皮膚濕度於日光照射區與戶外陰涼區測量值之比值對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。如圖所示，實驗組之皮膚濕度比值多數位於 0.5-1.5 之間，且比值未隨日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 間之差異擴大而增加。以上結果再次建議輻射熱為戶外物理性影響因子當中，對皮膚濕度影響較大之變數。

圖4-53與圖4-54所示為實驗組與控制組受試人員皮膚濕度在戶外日實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。隨著累積性紫外光增加，皮膚濕度有逐漸下降之趨勢。以上趨勢可能與皮膚遭受長期曝曬後障壁功能改變，或與受測者於戶外實驗階段、逐漸適應戶外溫濕度變化有關。由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估上臂內側與前臂外側之皮膚濕度因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及 95% 信賴區間(95%

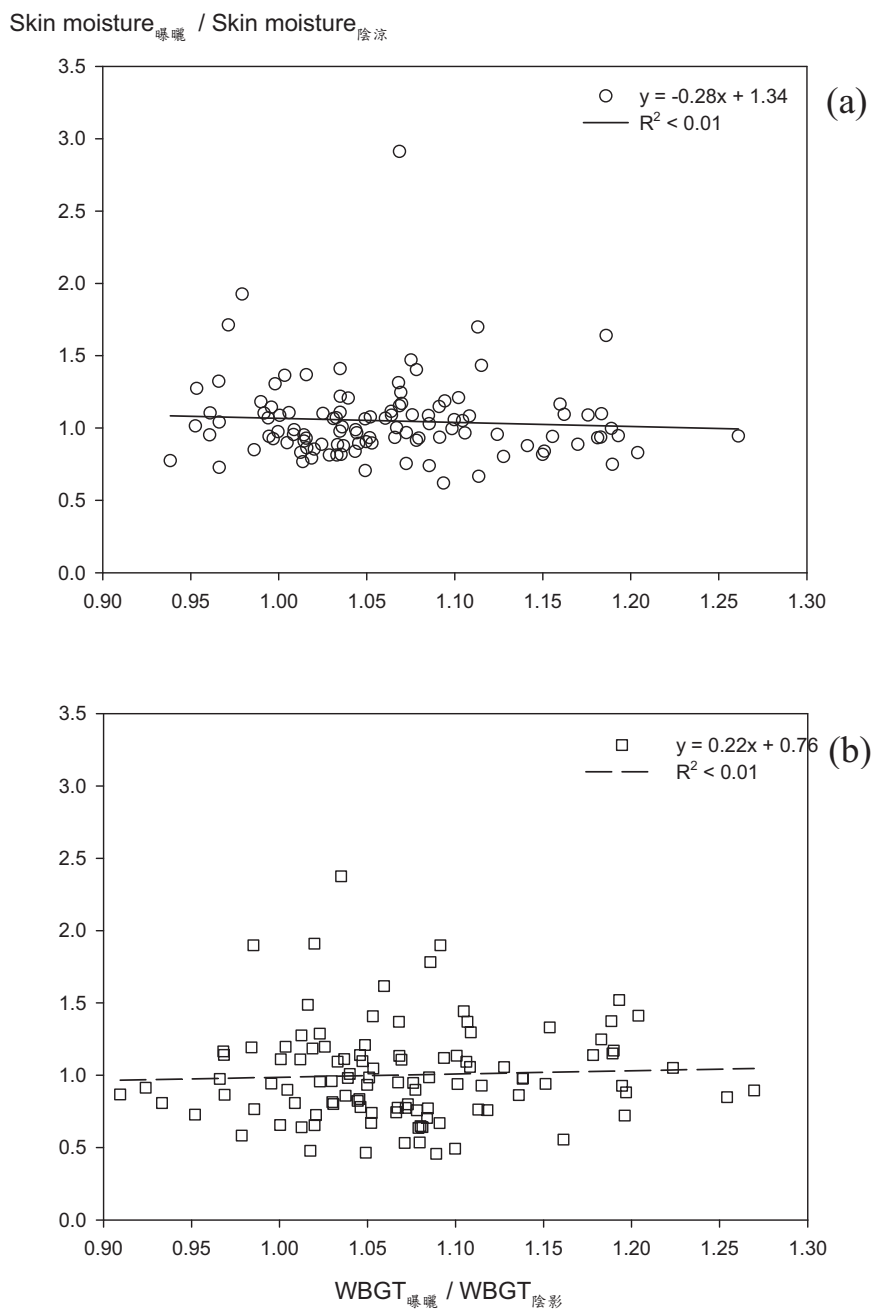


圖 4-51 日光照射區與戶外陰涼區上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

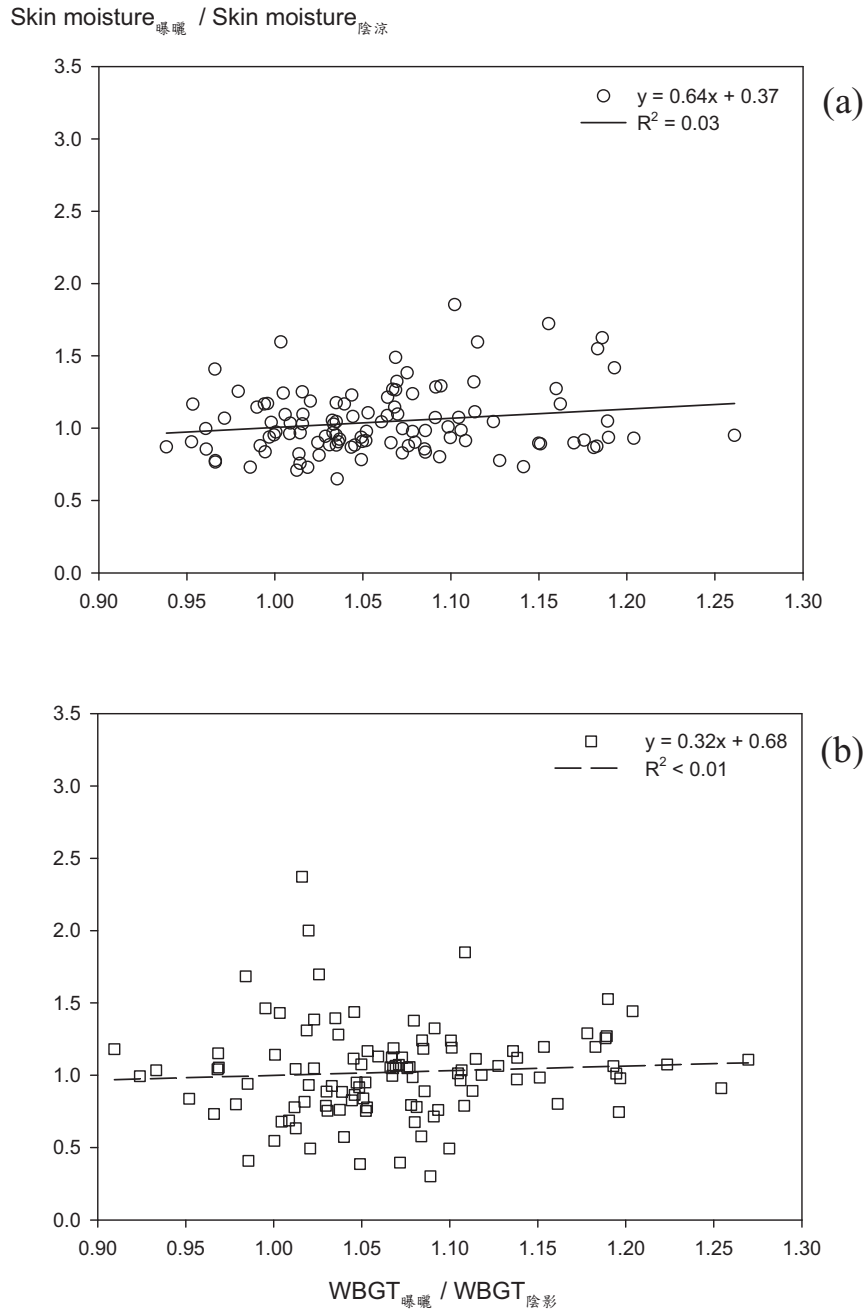


圖 4-52 日光照射區與戶外陰涼區前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

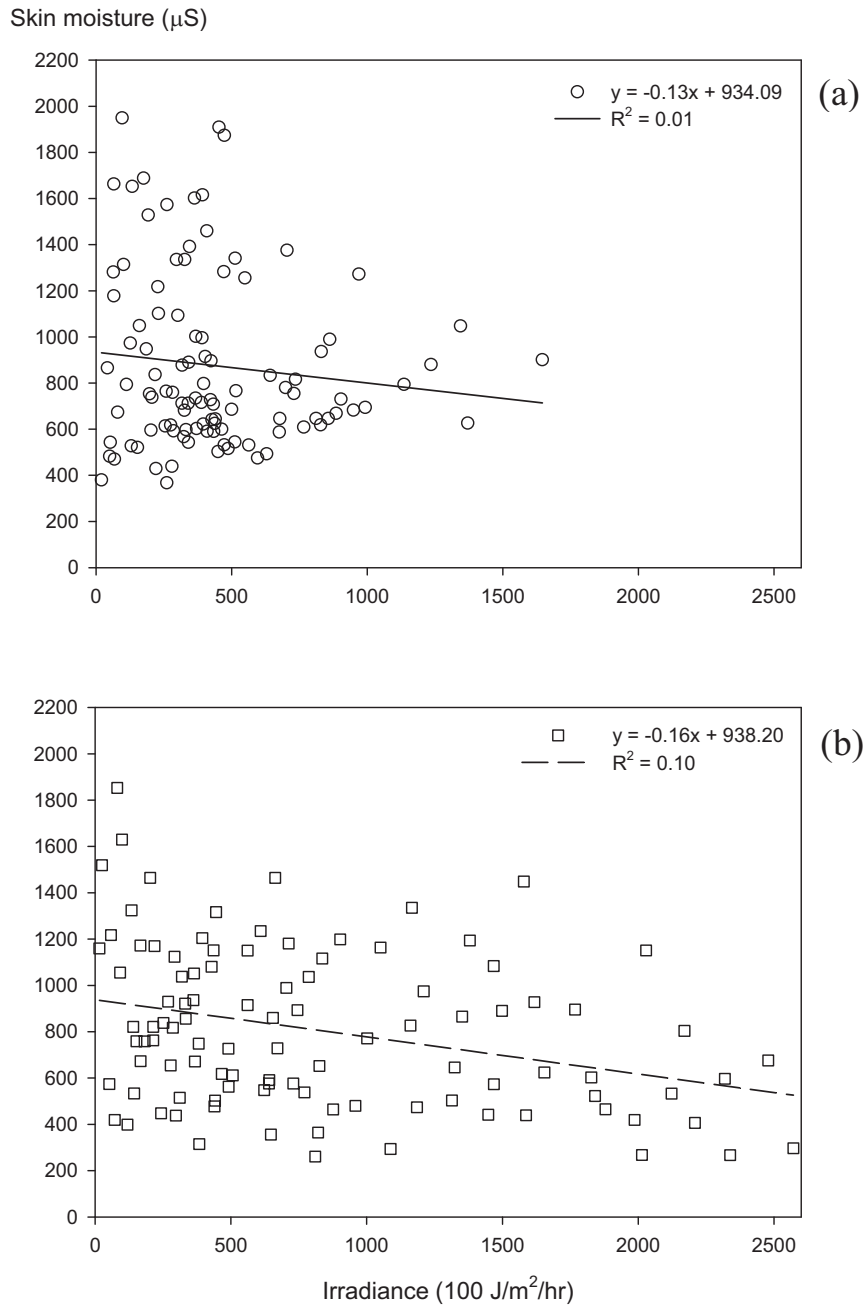


圖 4-53 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

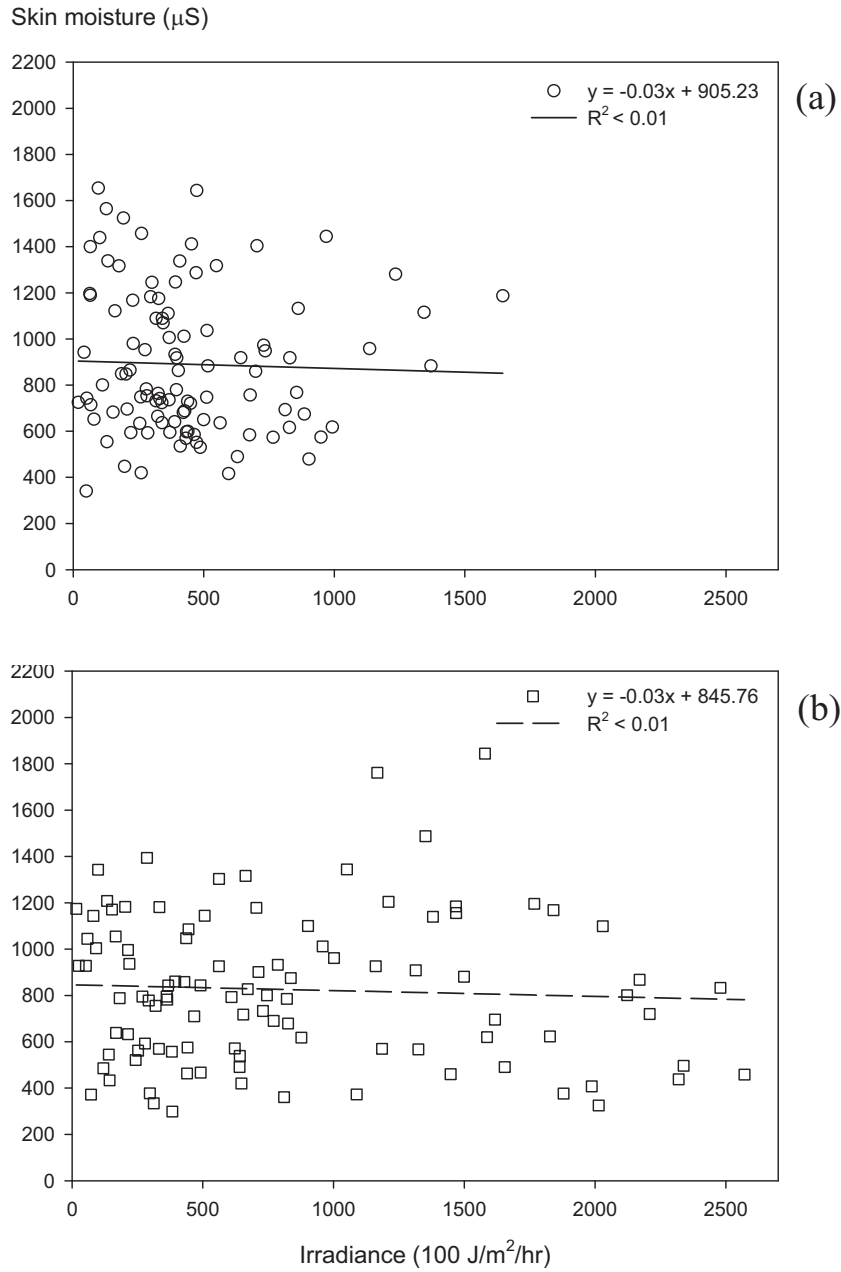


圖 4-54 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)皮膚濕度(skin moisture)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控制干擾因子。表4-12所示，在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分，使用防曬乳液之皮膚濕度為未使用防曬乳液之1.000倍(95% CI = 0.999-1.001)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處未達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分，使用防曬乳液之皮膚濕度為未使用防曬乳液約1.000倍(95% CI = 1.000-1.001)，因此使用防曬乳液與否在遭受紫外光曝曬之皮膚處亦未達統計顯著差異。

圖 4-55 與 4-56 所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之 TSV 值，對應前臂外側(日光照射處)皮膚濕度之量測值。由圖 4-55 中可觀察到：在日光照射區，使用防曬乳液人員之 TSV 與前臂外側皮膚濕度間呈負線性關係，而未使用防曬乳液者 TSV 對應前臂外側皮膚濕度呈正線性關係。未使用防曬乳液者 TSV 與皮膚濕度間之關係說明：當皮膚濕度因應散熱需求上升時，主觀熱感知亦反應該項散熱生理需求。但在使用防曬乳液時，因防曬乳液之隔離效果，主觀熱感知與生理散熱反應需求間不再呈現一致性，亦即人體本身固然因防曬乳液之隔離效果局部產生散熱需求，但防曬乳液所提供之涼膚感覺則使得主觀感知產生偏差。

4.1.5 日光紫外線輻射對紅斑生成之影響

圖 4-57 與 4-58 所示為實驗組與控制組受試人員紅斑成指數

表 4-12 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與皮膚濕度

(skin moisture)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：

adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.001	1.000-1.001	1.000	0.999-1.001
前臂外側 (遭受日光曝曬)之皮膚溫度				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	1.001	1.000-1.001	1.000	1.000-1.001

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

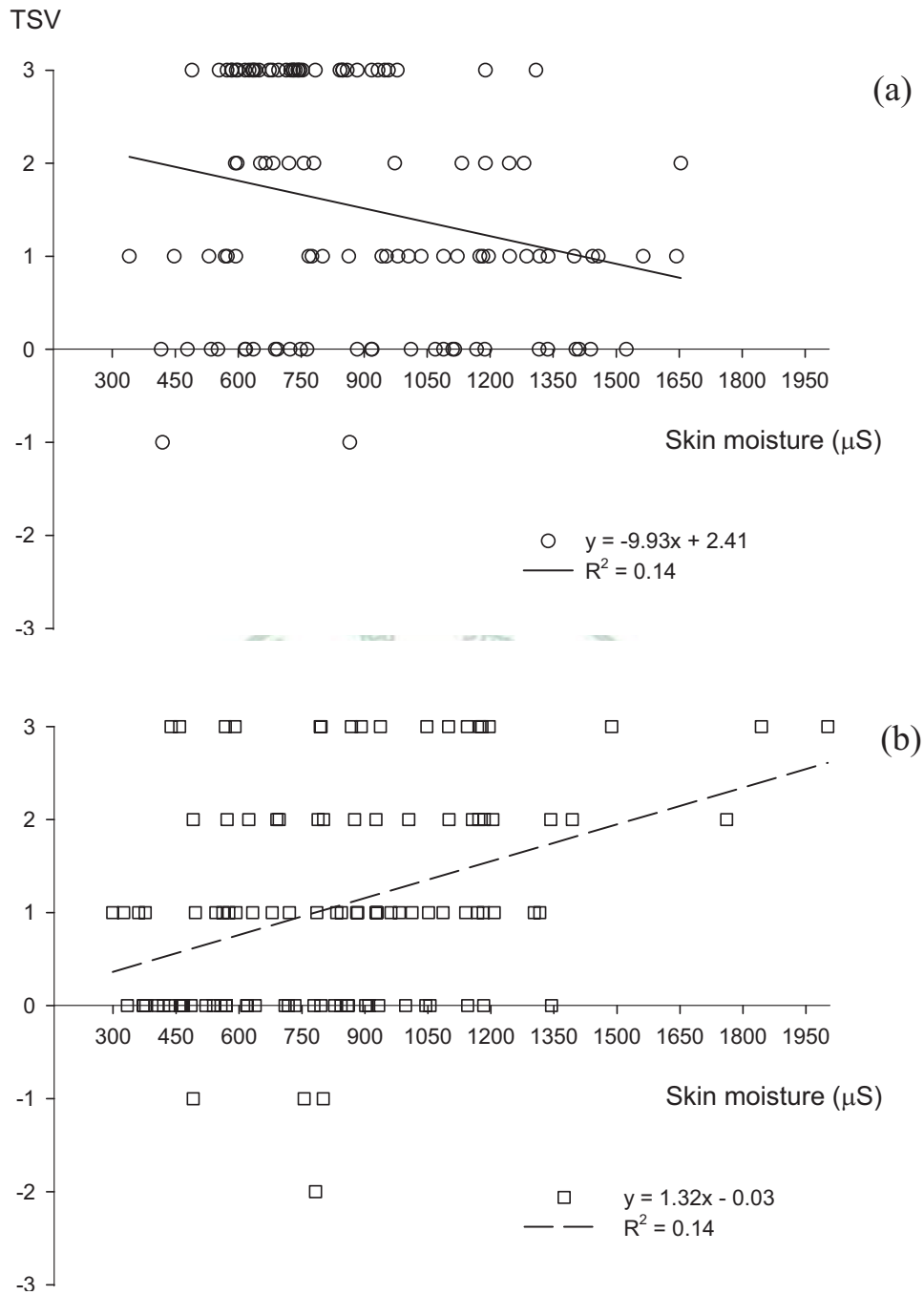


圖 4-55 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應皮膚濕度(skin moisture)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

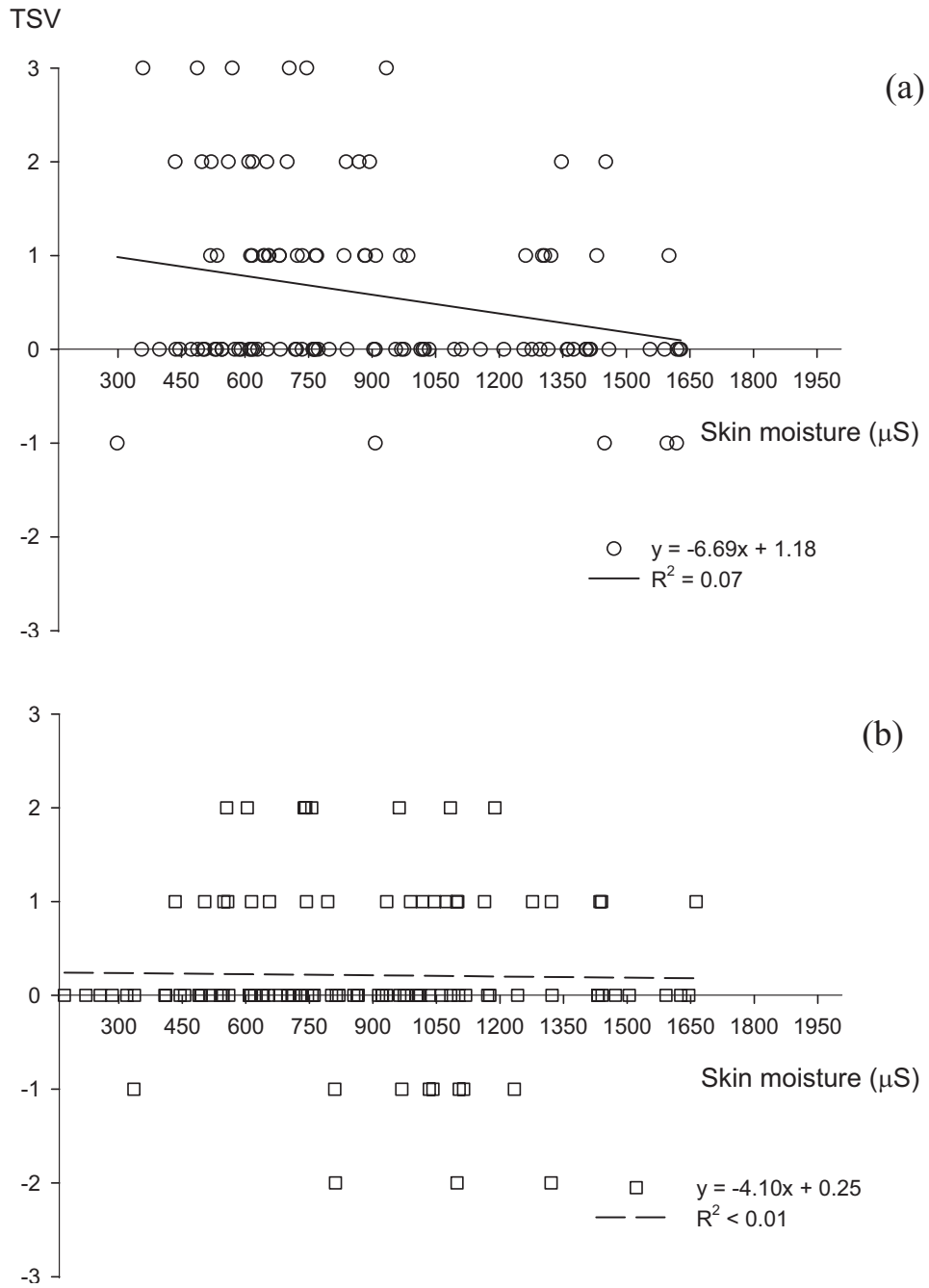


圖4-56 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote, TSV)對應皮膚濕度(skin moisture)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

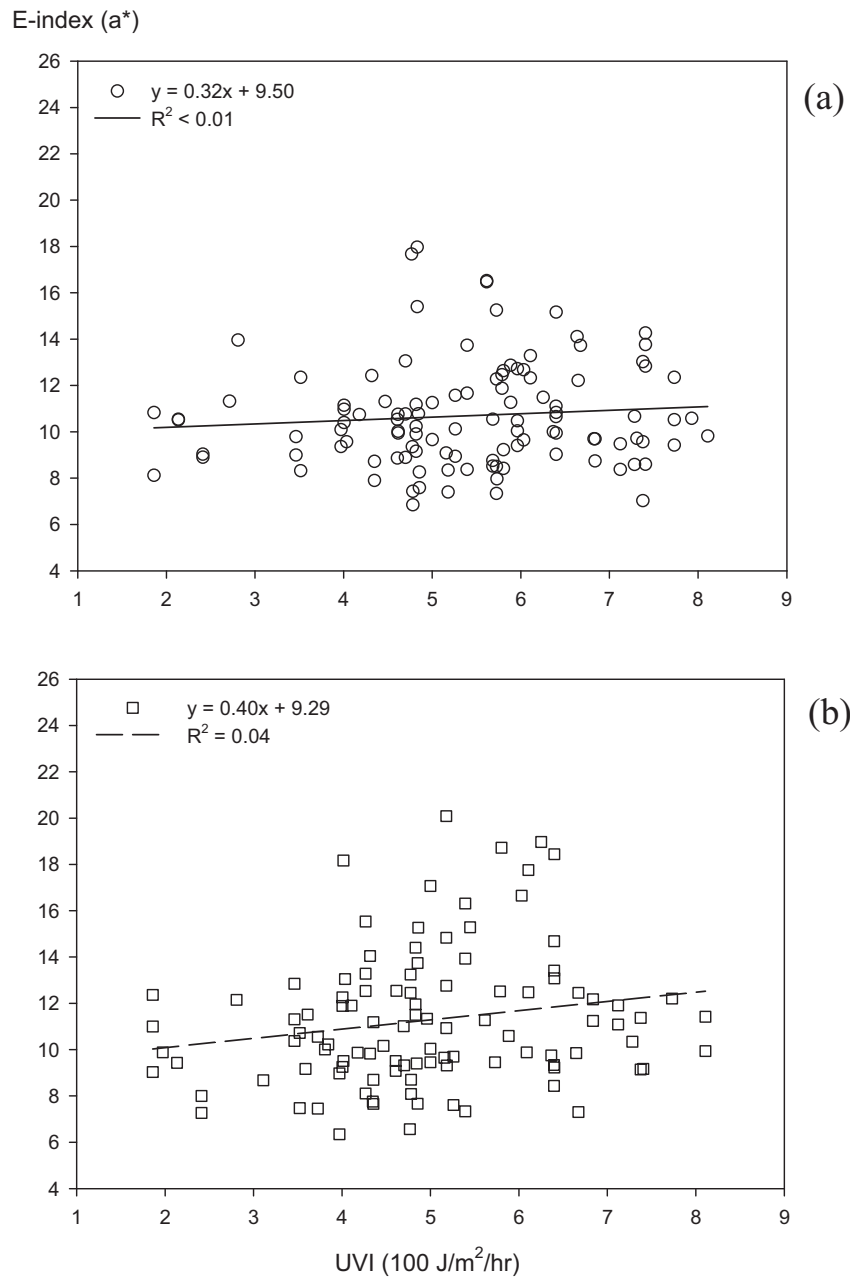


圖 4-57 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

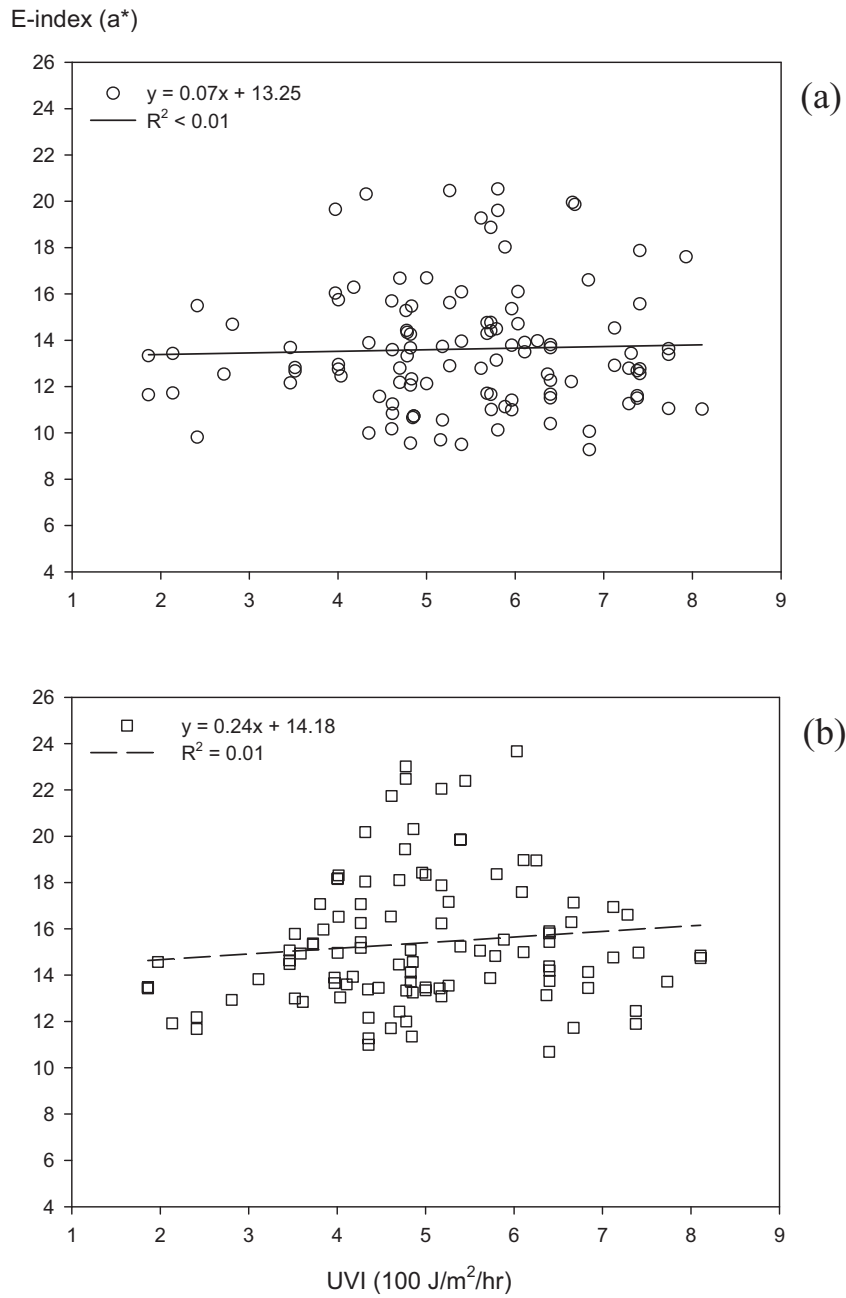


圖 4-58 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

(erythema-index, E-index)在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 E-index 分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 E-index 數值介於 3-25 單位(a*)之間。由前臂外側之迴歸方程式中可發現控制組之 E-index 隨 UVI 增加之上升程度(迴歸方程式之斜率)高於實驗組，顯示實驗組前臂外側皮膚遭受短期紫外線暴露時增加幅度較低，可推論使用防曬乳液確可提供皮膚防護功能，降低皮膚曬傷所形成之紅斑生成^(57, 59)。

以下為各分佈圖(圖 4-57 與 4-58)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 E-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.32x + 9.50 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-81})$$

實驗組前臂外側 E-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.07 + 13.25 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-82})$$

控制組上臂內側 E-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.40x + 9.29 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-83})$$

控制組前臂外側 E-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.24x + 14.18 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-84})$$

以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，不同組別上臂內側 E-index 間之 $p\text{-value} = 0.301$ ，未達統

計顯著差異；但前臂外側 E-index 間之 p -value < 0.001 ，達統計顯著差異。

表示於遭受日光曝曬之皮膚部位(前臂外側)，使用防曬乳液與否會對 E-index 造成影響。

進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量(如圖 4-59 與 4-60)進行分析時發現：就實驗組與控制組間進行比較，使用防曬乳液者前臂外側皮膚之 E-index 對應 UVI 之迴歸方程式斜率低於未使用防曬乳液者，顯示使用防曬乳液者之紅斑生成現象，較未使用防曬乳液者為低。若就高暴露劑量與低劑量之日光暴露危害比較，傷害形成(紅斑生成現象)在低劑量暴露區即可發生(UVI 小於 6)；以未使用防曬乳液者較明顯。與皮膚濕度之反應類似者為：紅斑生成現象在高劑量區與低劑量區相較並未明顯惡化，顯見 E-index 是對低劑量日光紫外線傷害之敏感指標。以上結果亦建議：防曬機制之使用不應侷限於日照強烈階段，實際上於一般日照情況下即應進行，以避免傷害之發生。

以下為各分佈圖(圖 4-59 與 4-60)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 E-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.24x + 9.43 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-85})$$

實驗組上臂內側 E-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -0.70x + 15.82 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-86})$$

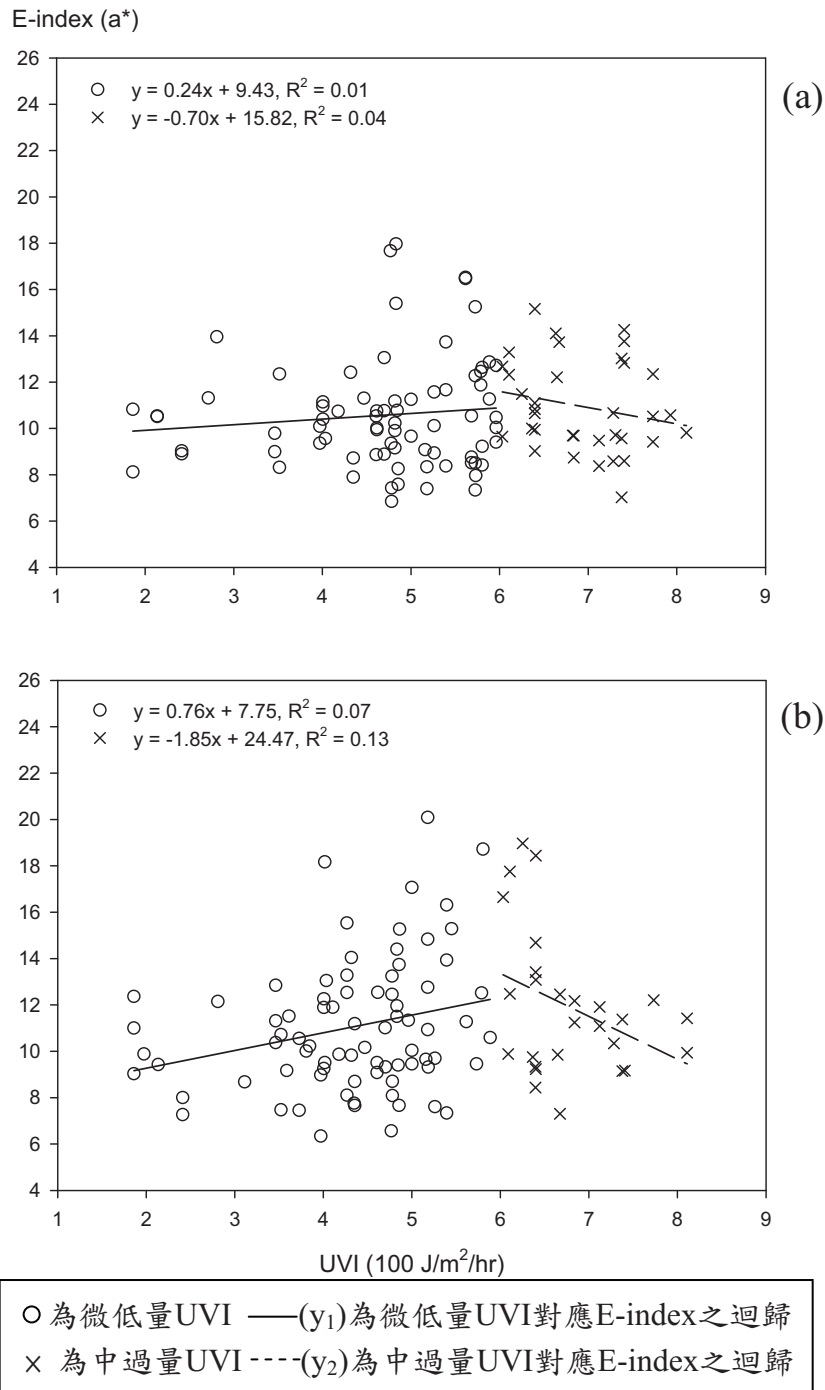
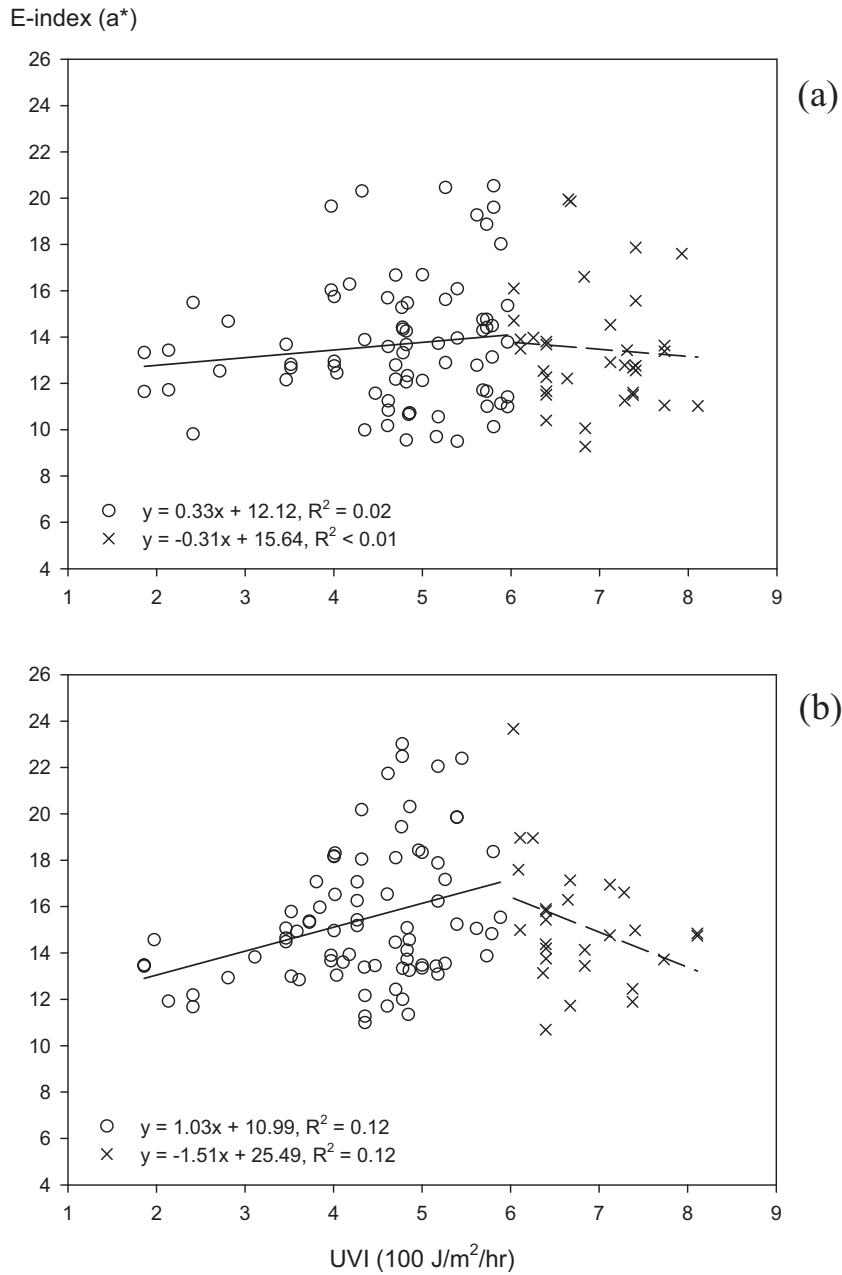


圖 4-59 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應E-index之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應E-index之迴歸

圖 4-60 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應以微/低量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

實驗組前臂外側 E-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.33x + 12.12 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-87})$$

實驗組前臂外側 E-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -0.31x + 15.64 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-88})$$

控制組上臂內側 E-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.76x + 7.75 \quad R^2 = 0.07 \quad (\text{Eq. 4-89})$$

控制組上臂內側 E-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -1.85x + 24.47 \quad R^2 = 0.13 \quad (\text{Eq. 4-90})$$

控制組前臂外側 E-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 1.03x + 10.99 \quad R^2 = 0.12 \quad (\text{Eq. 4-91})$$

控制組前臂外側 E-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -1.51x + 25.49 \quad R^2 = 0.12 \quad (\text{Eq. 4-92})$$

由 Eqs. 4-81 至 4-92 中之線性所反應者當為 E-index 對應日光紫外線能量對皮膚細胞產生發炎性傷害之變化。結果可發現：E-index 與微/低量日光紫外線短期輻射劑量呈正線性關係，控制組之線性關係較實驗組明顯；再次顯示因防曬乳液提供皮膚防護之功能，因此降低紅斑生成之現象。

表 4-13 與 4-14 所示為戶外日光實驗中受試人員上臂內側與前臂外側 E-index 之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-13 中可觀察到，日光照射區實驗中，實驗組上臂內側之 E-index 測量值於實驗

表 4-13 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中紅斑指數(erythema-index, E-index)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 E-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	9.94 ± 1.29	10.03 ± 1.50	1.00 ± 0.17	0.775
0716	11.64 ± 2.64	12.03 ± 2.29	1.07 ± 0.31	0.886
0720	11.89 ± 2.29	12.50 ± 3.79	1.05 ± 0.39	0.655
0723	12.09 ± 3.04	11.03 ± 2.03	1.14 ± 0.37	0.949
0727	12.79 ± 2.67	9.15 ± 3.52	2.07 ± 1.65	0.116
0730	11.72 ± 1.92	14.64 ± 2.87	0.83 ± 0.26	0.064
0806	9.87 ± 1.49	11.63 ± 2.69	0.89 ± 0.22	0.225
0813	9.89 ± 1.11	9.57 ± 1.60	1.06 ± 0.21	0.655
0817	10.96 ± 2.40	8.87 ± 3.30	2.43 ± 3.41	0.317
0820	10.87 ± 3.05	12.73 ± 4.40	1.05 ± 0.51	0.391
0824	10.09 ± 1.17	9.89 ± 1.74	1.05 ± 0.23	0.655
0827	9.89 ± 1.77	11.21 ± 1.95	0.91 ± 0.25	0.225
0831	9.41 ± 1.85	11.26 ± 3.08	0.89 ± 0.27	0.277
0903	9.77 ± 1.24	10.76 ± 1.56	0.93 ± 0.17	0.225
0907	10.01 ± 0.76	9.31 ± 1.96	1.12 ± 0.26	0.277
前臂外側 E-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	12.67 ± 1.90	13.26 ± 2.09	0.91 ± 0.17	0.668
0716	14.79 ± 2.68	15.40 ± 1.27	0.92 ± 0.19	0.391
0720	14.04 ± 2.55	16.24 ± 2.37	0.88 ± 0.20	0.225
0723	12.57 ± 1.91	14.08 ± 1.31	0.90 ± 0.17	0.225
0727	15.37 ± 3.22	14.70 ± 2.33	1.03 ± 0.26	0.775
0730	13.26 ± 0.84	17.45 ± 1.90	0.77 ± 0.10	0.002 ^c
0806	14.41 ± 3.03	15.73 ± 2.79	0.94 ± 0.26	0.482
0813	12.57 ± 1.65	12.96 ± 0.98	0.97 ± 0.15	0.338
0817	13.16 ± 3.08	11.60 ± 4.18	1.42 ± 0.92	0.886
0820	14.05 ± 4.29	16.70 ± 2.24	0.78 ± 0.24	0.317
0824	13.60 ± 1.93	15.34 ± 1.99	0.90 ± 0.17	0.142
0827	12.73 ± 2.00	16.74 ± 3.89	0.80 ± 0.20	0.025 ^c
0831	13.58 ± 1.48	16.89 ± 4.26	0.85 ± 0.22	0.142
0903	12.81 ± 1.54	14.34 ± 1.44	0.90 ± 0.15	0.110
0907	15.25 ± 3.55	16.04 ± 2.95	0.98 ± 0.28	0.565

^a測量值為 Mean ± SD

^b使用防曬乳液與否之 E-index 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^cp-value < 0.05

表 4-14 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中紅斑指數(erythema-index, E-index)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 E-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	9.83 ± 1.39	9.87 ± 1.93	1.05 ± 0.25	0.886
0716	9.68 ± 0.96	9.76 ± 2.09	1.08 ± 0.29	0.668
0720	11.09 ± 1.84	11.07 ± 3.67	1.12 ± 0.44	0.949
0723	12.10 ± 1.73	11.32 ± 1.60	1.09 ± 0.22	0.406
0727	10.03 ± 1.31	9.28 ± 1.86	1.10 ± 0.28	0.391
0730	13.12 ± 2.71	13.22 ± 2.33	1.02 ± 0.28	0.848
0806	10.71 ± 1.62	10.87 ± 1.61	1.01 ± 0.24	0.949
0813	10.72 ± 1.40	11.24 ± 1.42	0.97 ± 0.18	0.406
0817	10.24 ± 1.59	10.39 ± 1.72	1.02 ± 0.24	0.775
0820	10.77 ± 1.47	10.35 ± 1.72	1.11 ± 0.17	0.568
0824	11.65 ± 2.22	10.55 ± 1.65	1.13 ± 0.28	0.565
0827	10.77 ± 1.40	11.21 ± 1.77	0.98 ± 0.19	0.749
0831	10.28 ± 1.34	11.17 ± 0.78	0.93 ± 0.14	0.225
0903	10.54 ± 1.23	10.73 ± 1.28	1.00 ± 0.18	0.655
0907	11.30 ± 1.30	11.71 ± 1.01	0.97 ± 0.14	0.338
前臂外側 E-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	12.64 ± 2.11	13.03 ± 0.85	0.92 ± 0.13	0.253
0716	11.43 ± 0.49	12.95 ± 0.71	0.87 ± 0.05	0.007 ^c
0720	12.76 ± 2.31	14.86 ± 2.78	0.89 ± 0.22	0.406
0723	13.37 ± 1.62	13.53 ± 1.81	1.01 ± 0.18	0.949
0727	11.57 ± 1.38	13.10 ± 0.92	0.84 ± 0.10	0.086
0730	16.21 ± 1.79	15.53 ± 2.52	1.07 ± 0.22	0.565
0806	12.43 ± 1.74	13.12 ± 0.92	0.95 ± 0.15	0.565
0813	12.48 ± 1.41	13.25 ± 1.36	0.95 ± 0.14	0.225
0817	11.93 ± 1.61	13.72 ± 1.46	0.88 ± 0.16	0.063
0820	13.16 ± 1.05	14.34 ± 1.43	0.88 ± 0.10	0.116
0824	13.67 ± 1.96	14.39 ± 1.22	0.96 ± 0.16	0.565
0827	11.95 ± 1.41	14.05 ± 0.78	0.85 ± 0.11	0.009 ^c
0831	12.68 ± 1.24	14.78 ± 1.66	0.87 ± 0.12	0.013 ^c
0903	12.47 ± 1.60	13.36 ± 0.35	0.93 ± 0.12	0.085
0907	12.88 ± 1.52	14.80 ± 0.99	0.87 ± 0.12	0.035 ^c

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 E-index 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.05

日期 7 月 27 日、30 日、8 月 24 日、27 日、31 日、以及 9 月 7 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日皆高於控制組；日光照射區實驗中實驗組前臂外側之 E-index 測量值，於實驗日期 7 月 23 日、以及 8 月 13 日時大於控制組之前臂外側，其餘測量日皆實驗組低於控制組。在前臂外側皮膚部分，於實驗日期為 7 月 27 日及 8 月 24 日時，使用防曬乳液與否所造成前臂外側 E-index 之差異達統計顯著性(p -value 分別為 0.002 及 0.025)。由表 4-14 中可觀察到：戶外陰涼區實驗之實驗組上臂內側之 E-index 測量值，於實驗日期 8 月 6 日、24 日、27 日、9 月 3 日、以及 7 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日實驗組皆高於控制組；實驗組前臂外側之 E-index 測量值，於實驗日期 7 月 20 日、以及 27 日時大於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆低於控制組。在前臂外側皮膚部分，於實驗日期為 7 月 9 日、8 月 24 日、27 日、及 9 月 3 日時，使用防曬乳液與否所造成前臂外側之 E-index 差異達統計顯著性(p -value 分別為 0.007、0.009、0.013、及 0.035)。當將日光照射區實驗與戶外陰涼區各 16 次實驗總合分析，分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定使用防曬乳液與否對 E-index 值變化之影響時發現：在日光照射區部分，使用防曬乳液與否，對上臂內側 E-index 變化之影響未達統計上差異(p -vaule = 0.301)；但對前臂外側 E-index 之變化則造成統計上顯著之影響(p -vaule < 0.001)。在戶外陰涼區部分，使用防曬乳液與否，對上臂內側 E-index 變化之影響未

達統計上差異(p -value = 0.508); 但對前臂外側 E-index 之變化則造成統計上顯著之影響(p -value < 0.001)。

圖 4-61 與 4-62 所示為實驗組與控制組受試人員 E-index 在日光曝曬區實驗(戶外有日光照射處, 曝曬日光 10 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。圖 4-63 與 4-64 所示為實驗組與控制組受試人員 E-index 在戶外陰涼區實驗(戶外無日光照射處, 靜坐 20 分鐘)隨 WBGT 產生之改變。實驗組與控制組之差異(E-index 對 WBGT 迴歸方程式之比較)主要在日光照射區發生; 在戶外陰涼區兩組之間之差異則不明顯, 且紅斑生成數值未隨 WBGT 值顯著變化, 顯見紅斑生成較不受非日光輻射之環境物理因子影響。日光照射區實驗期間測量所得之 E-index 數值介於 3-25 a*之間; 戶外陰涼區實驗期間測量所得之 E-index 數值介於 5-20 a*之間。若進一步以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 統計檢定有無日光直接曝曬對 E-index 之影響, 實驗組上臂內側與前臂外側之 E-index 在日光照射區與戶外陰涼區之差異均達統計顯著(p -value < 0.001); 控制組上臂內側與前臂外側 E-index 在日光照射區與戶外陰涼區之差異亦均達統計顯著(p -value < 0.001)。在日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之迴歸方程式中可發現, 實驗組與控制組迴歸方程式於戶外陰涼區實驗之斜率高於在日光照射區實驗之迴歸斜率, 顯示實驗組於戶外陰涼區對環境物理因子暴露反應之敏感度較高。

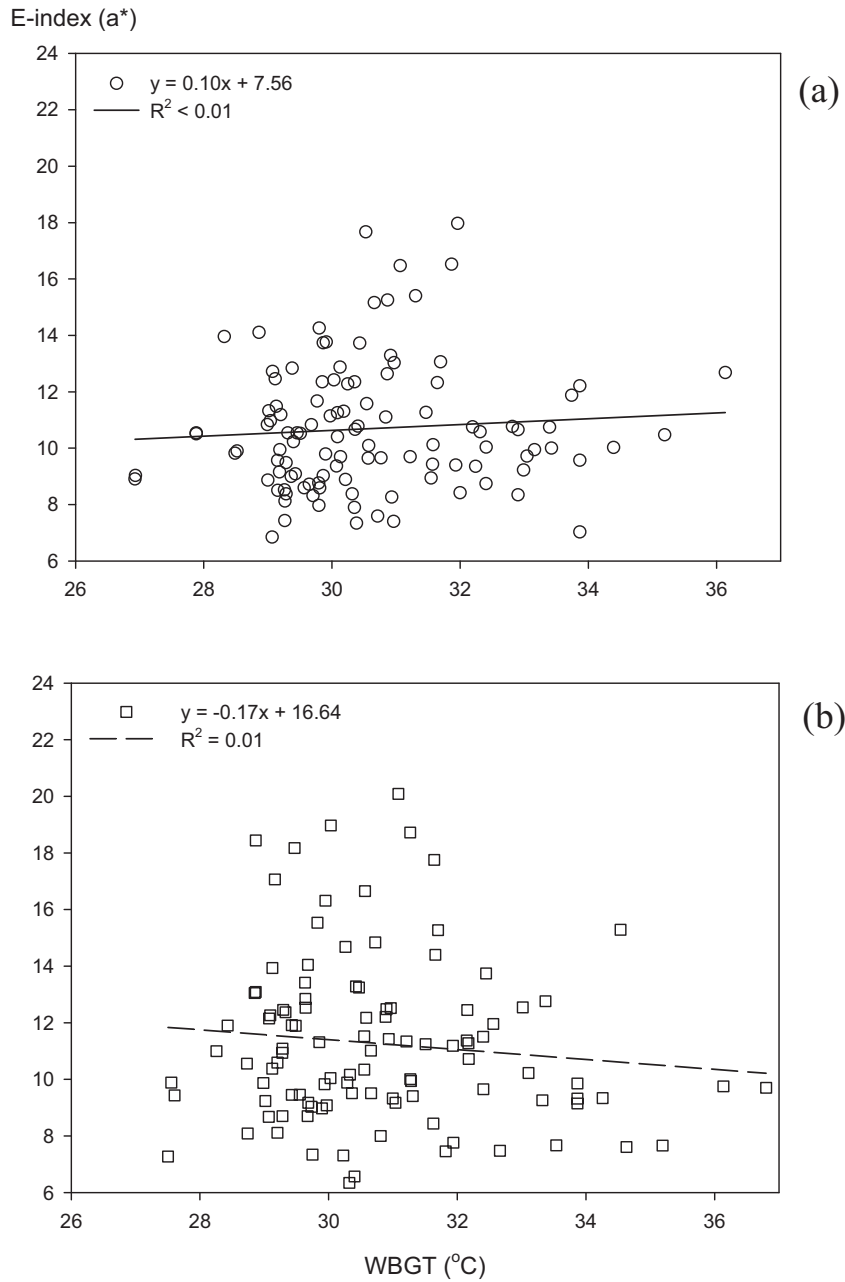


圖 4-61 日光照射區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數 (erythema-index, E-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

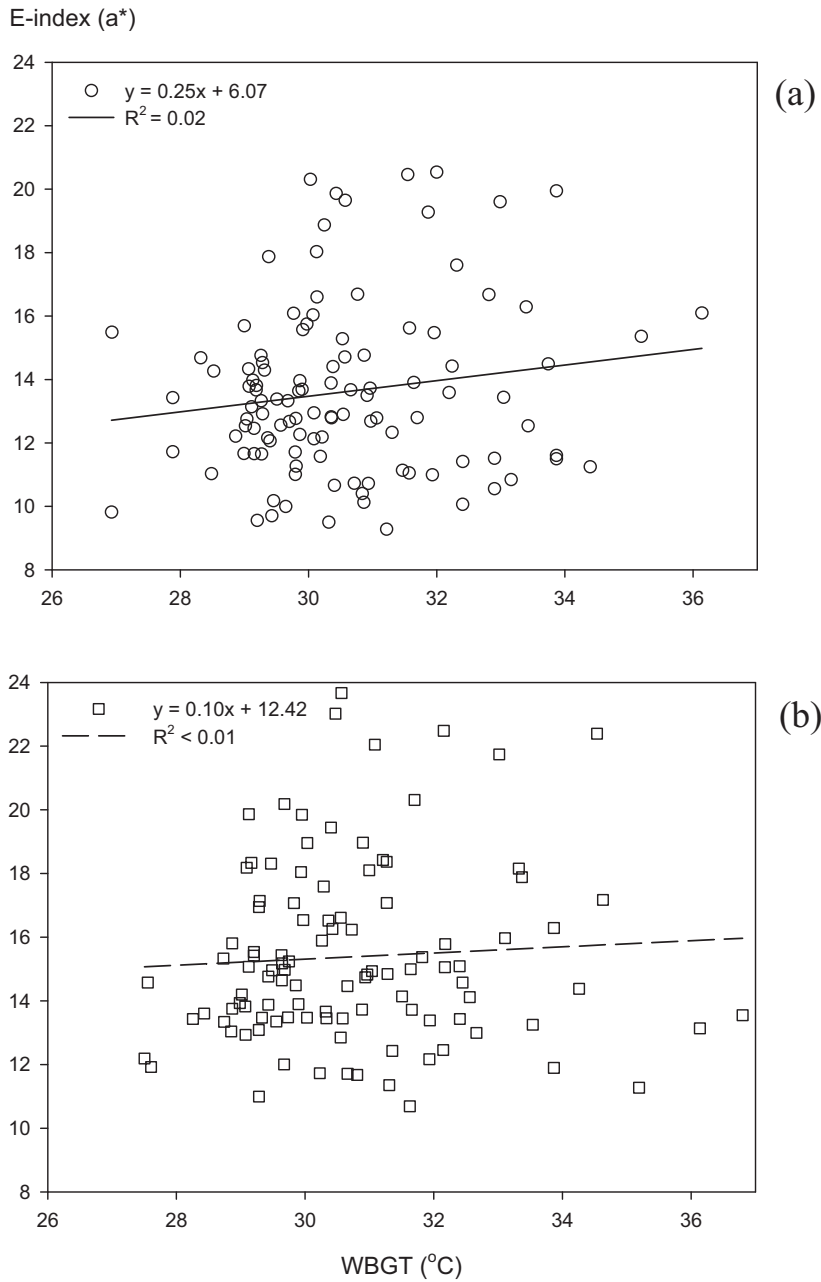


圖 4-62 日光照射區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數 (erythema-index, E-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

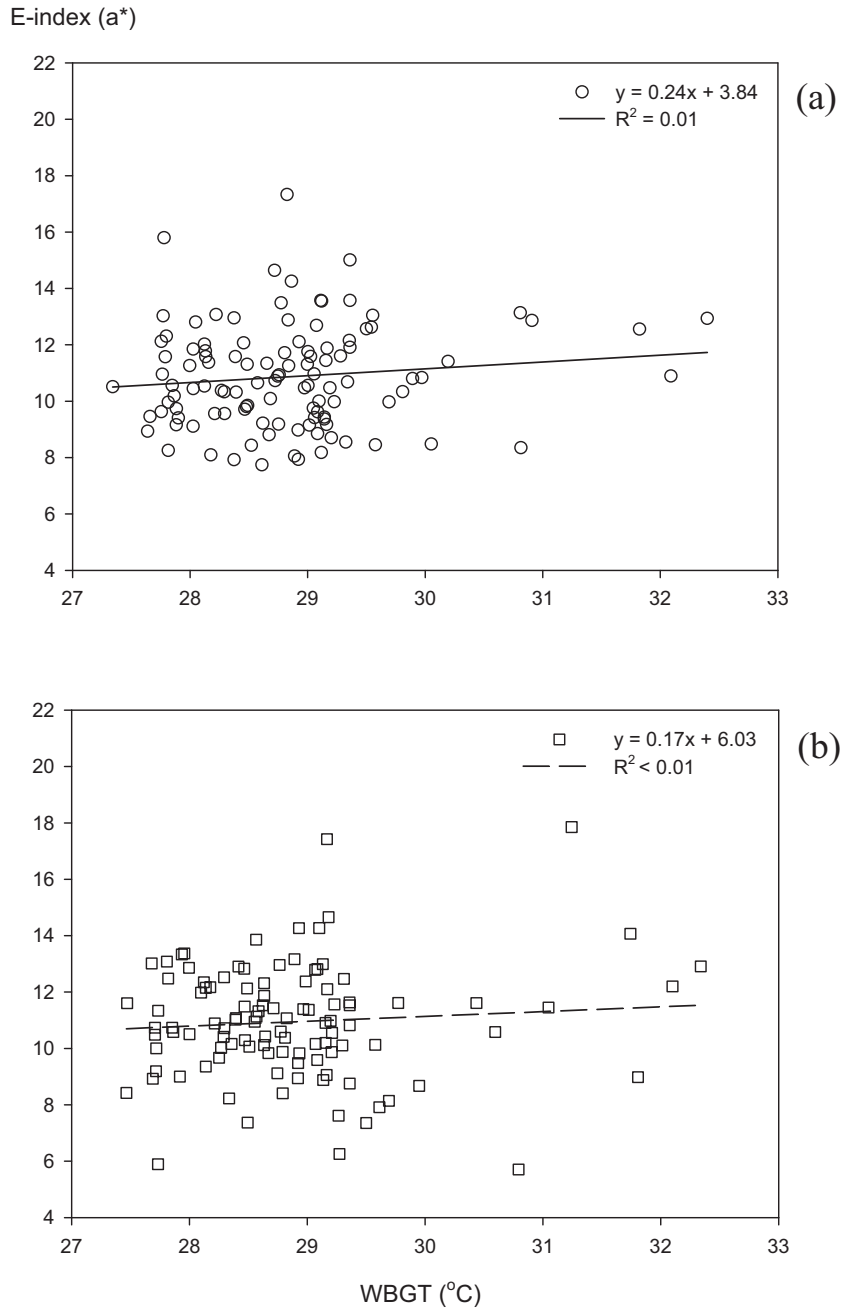


圖 4-63 戶外陰涼區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數 (erythema-index, E-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

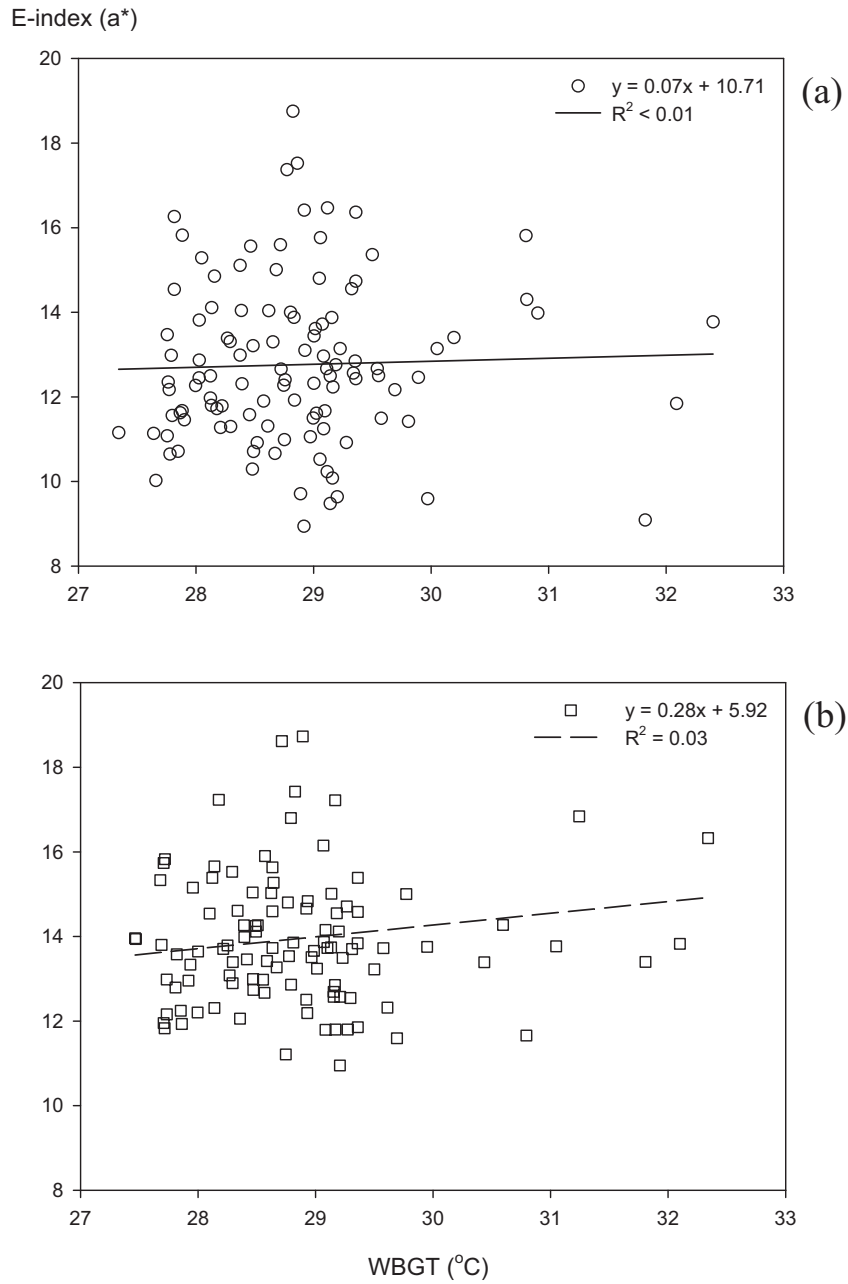


圖 4-64 戶外陰涼區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數 (erythema-index, E-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

以下為各分佈圖(圖 4-61、4-62、4-63、4-64)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 E-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.10 + 7.56 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-93})$$

實驗組前臂外側 E-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.25 + 6.07 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-94})$$

控制組上臂內側 E-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -0.17x + 16.64 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-95})$$

控制組前臂外側 E-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.10x + 12.42 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-96})$$

實驗組上臂內側 E-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.24x + 3.84 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-97})$$

實驗組前臂外側 E-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.07 + 10.71 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-98})$$

控制組上臂內側 E-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.17x + 6.03 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-99})$$

控制組前臂外側 E-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.28x + 5.92 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-100})$$

圖 4-65 與 4-66 所示分別為日光照射區實驗中每測量日受測者上臂內側與前臂外側皮膚在日光照射區與戶外陰涼區所測得之 E-index 比值對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。如圖 4-66 顯示，實

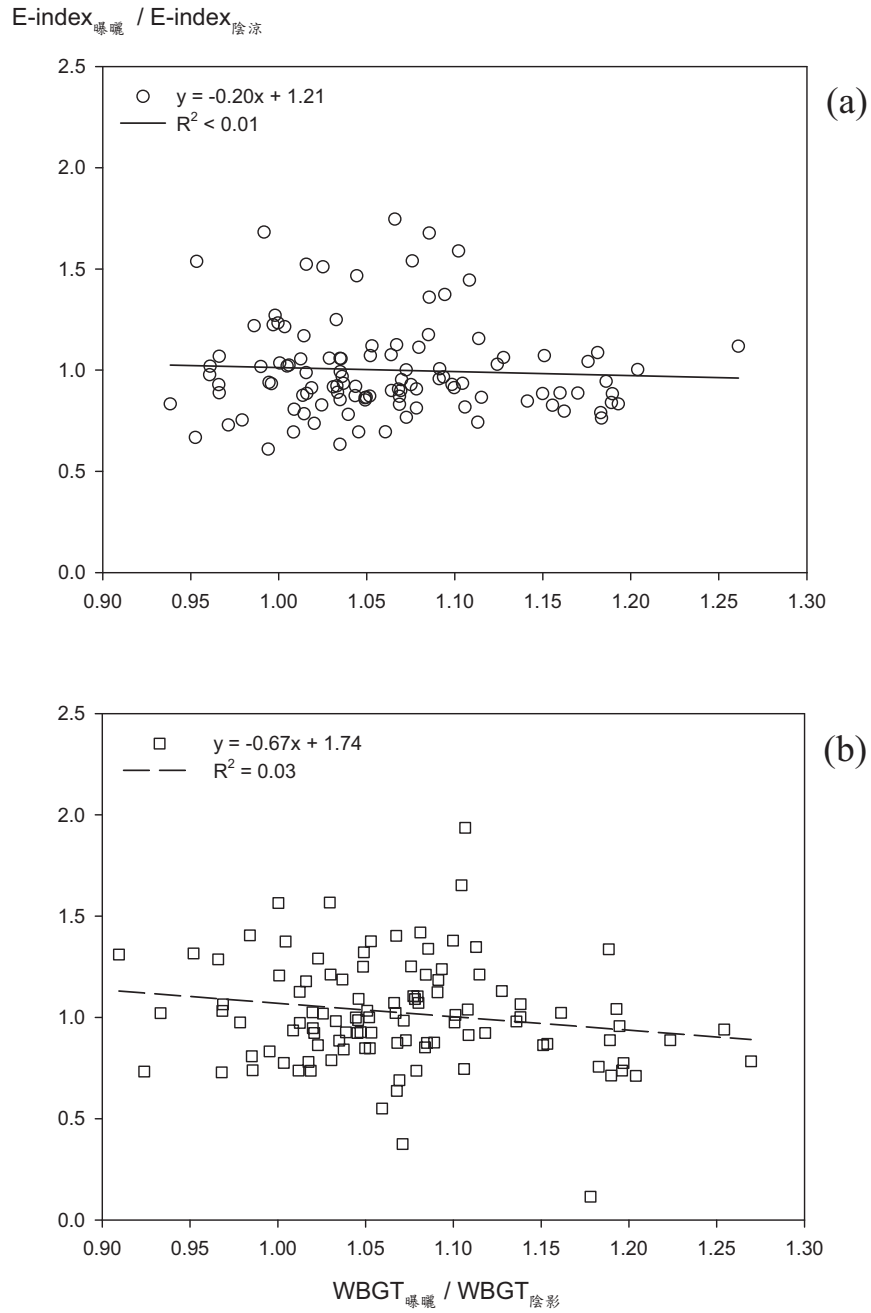


圖 4-65 日光照射區與戶外陰涼區上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

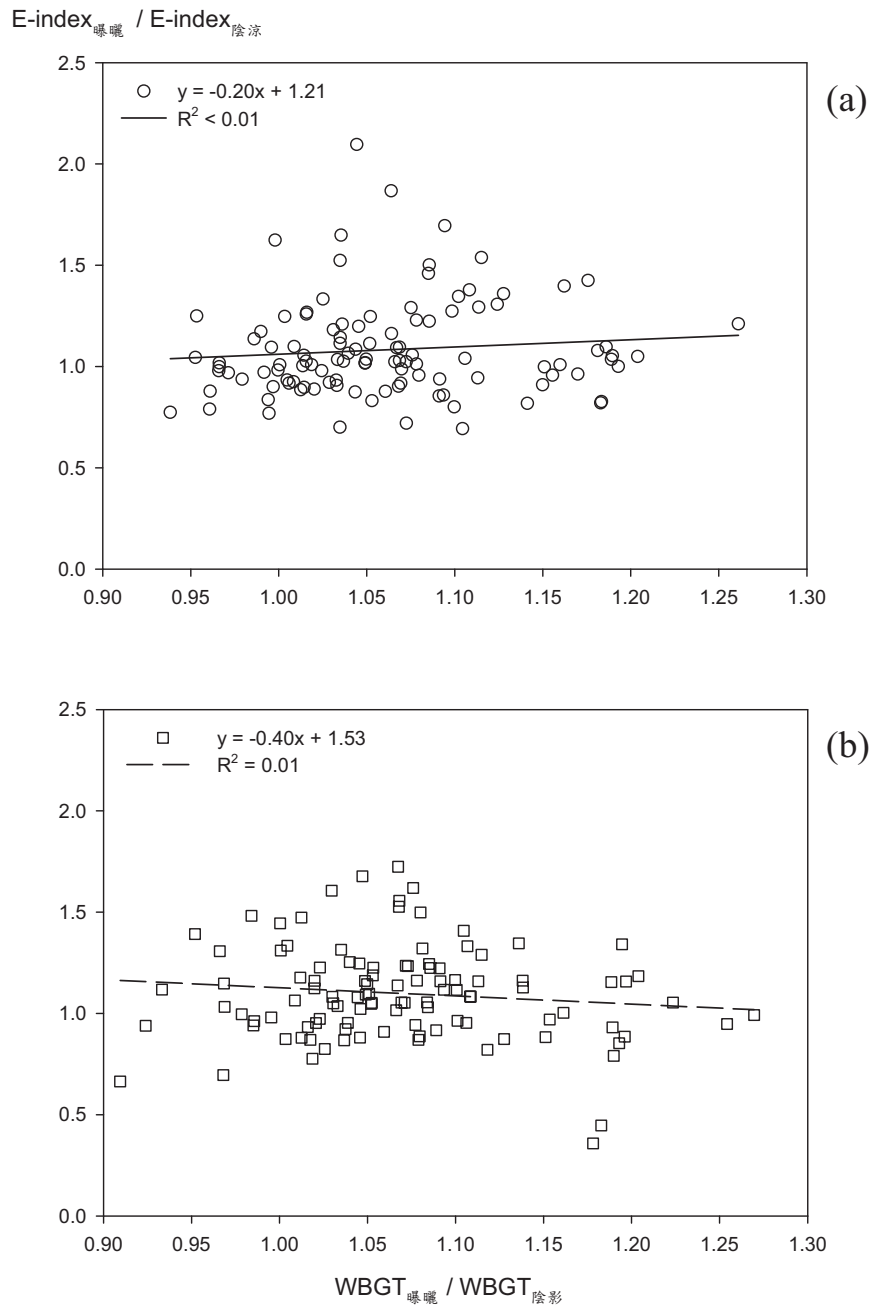


圖 4-66 日光照射區與戶外陰涼區前臂外側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)比值對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

驗組與控制組中多數之 E-index 比值多數高於 1，此外 E-index 之比值未隨 WBGT 之比值呈現明顯變化，顯見日光曝曬為造成 E-index 上升之主要因素。

圖 4-67 與 4-68 所示為實驗組與控制組受試人員之 E-index 在戶外日光實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。如圖顯示，受試人員不論是否使用防曬乳液之皮膚紅斑生成現象，均未隨著累積性紫外曝曬產生變化。故以可推論，E-index 並非一良好反應長期紫外光曝曬之皮膚生理指標。由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估在上臂內側與前臂外側之 E-index 因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及 95%信賴區間(95% confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控制干擾因子。表 4-15 所示為分析結果：在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分，使用防曬乳液之 E-index 為未使用防曬乳液之 0.922 倍(95% CI = 0.828-1.026)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處未達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分，使用防曬乳液之 E-index 為未使用防曬乳液約 0.844 倍(95% CI = 0.760-0.936)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處達統計顯著差異。

圖 4-69 與 4-70 所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗

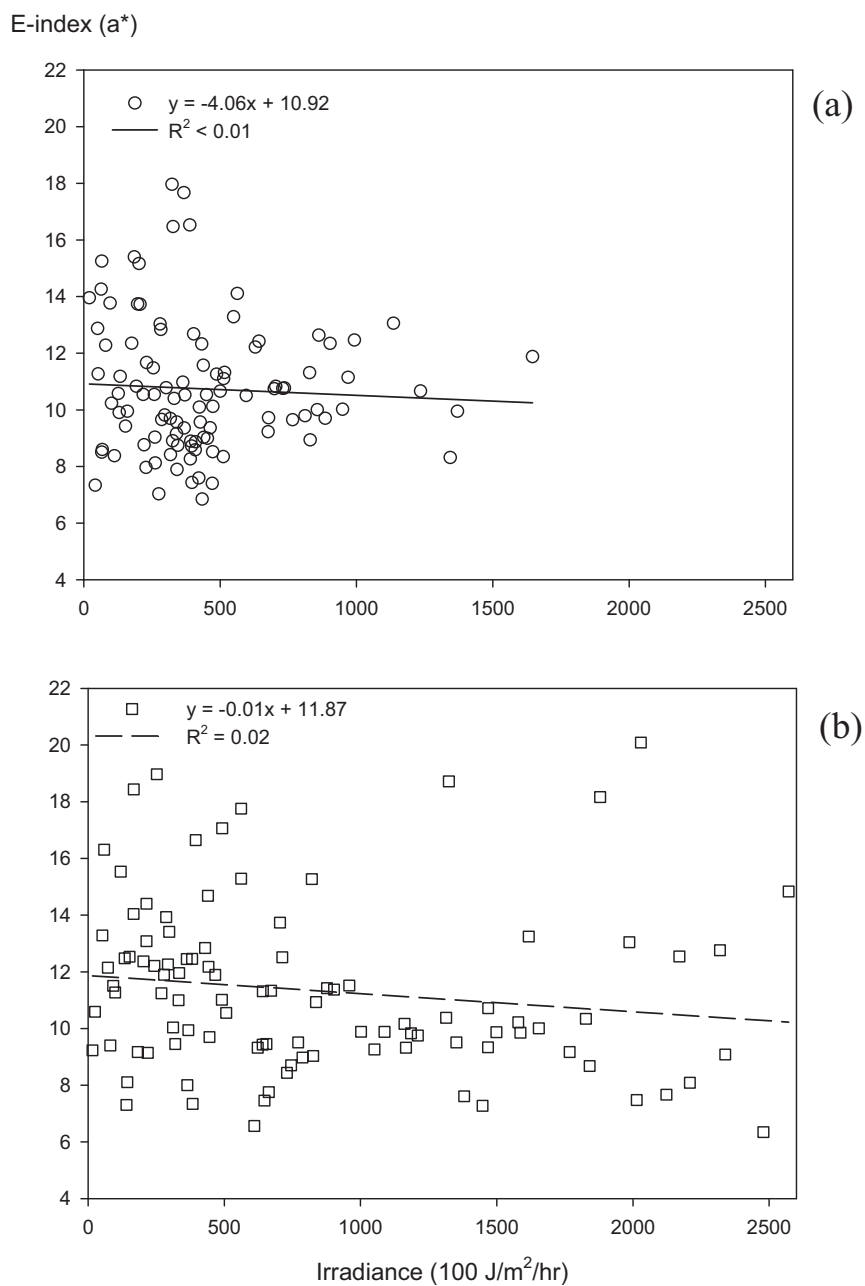


圖 4-67 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

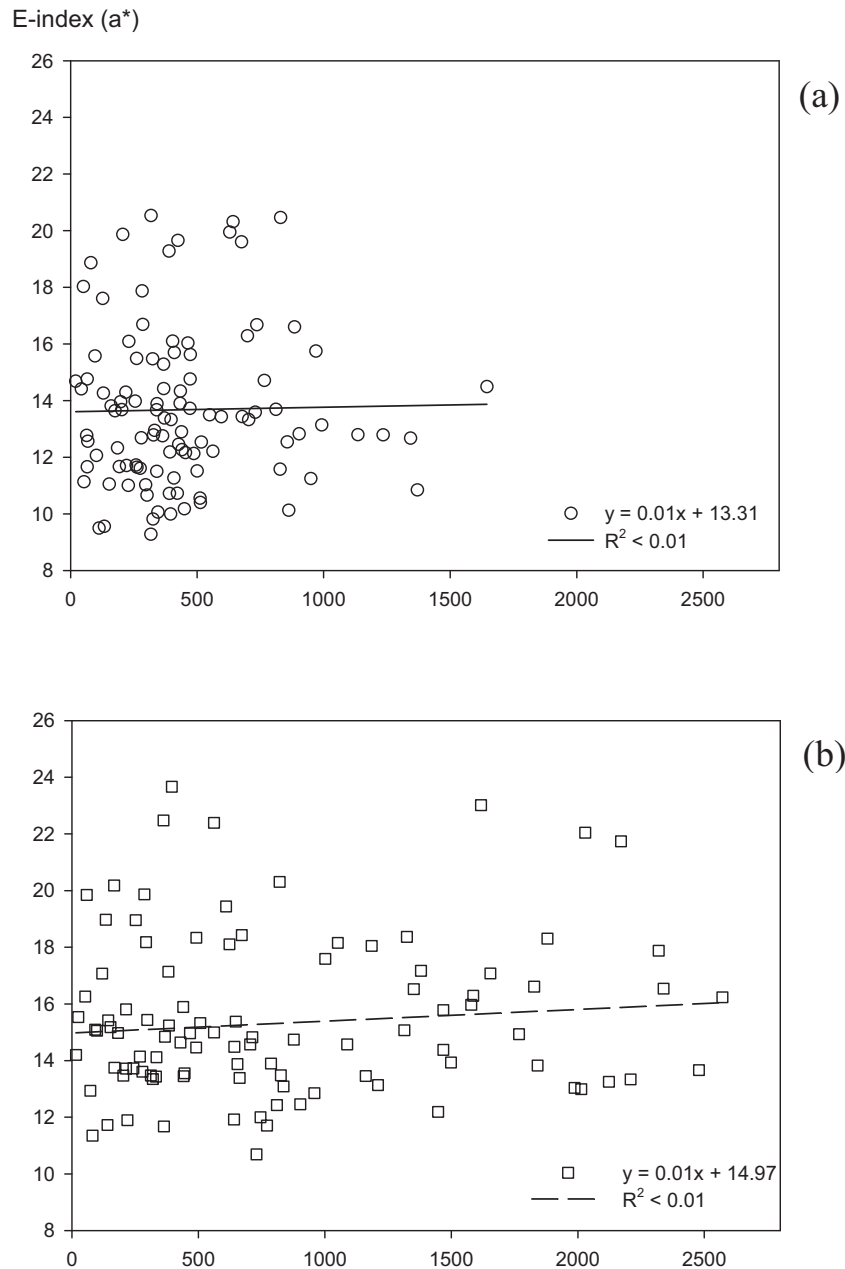


圖 4-68 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)紅斑指數(erythema-index, E-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-15 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與紅斑指數 (erythema-index, E-index)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

類別	Crude OR	95% CI	Adjusted OR	95% CI
上臂內側(未遭受日光曝曬)之 E-index				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	0.948	0.860-1.046	0.922	0.828-1.026
前臂外側 (遭受日光曝曬)之 E-index				
使用防曬乳液				
無	1.000	—	1.000	—
有	0.825	0.746-0.912 ^b	0.844	0.760-0.936 ^b

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

^b p-value < 0.05

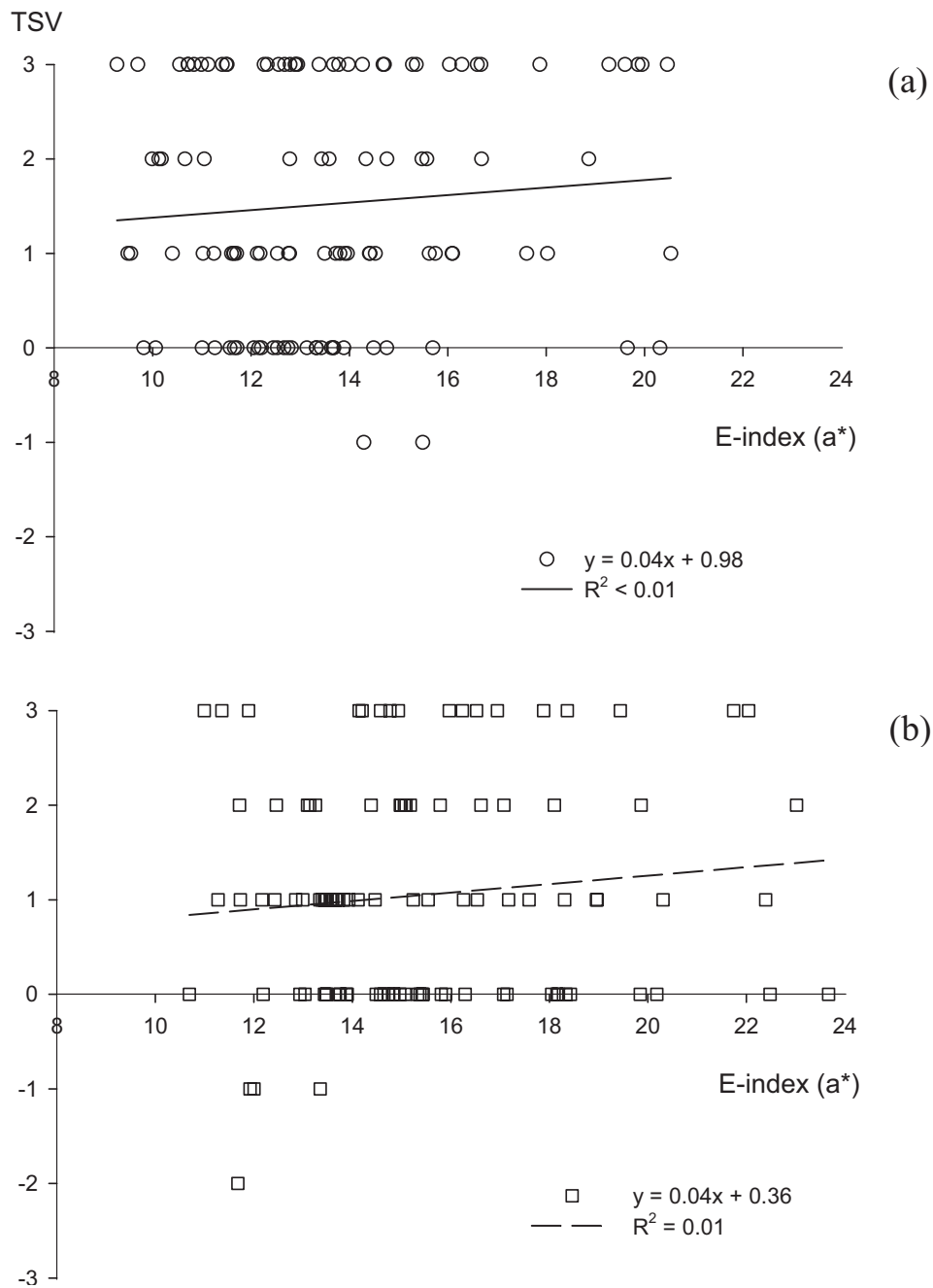


圖 4-69 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應紅斑指數(erythema-index, E-index)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

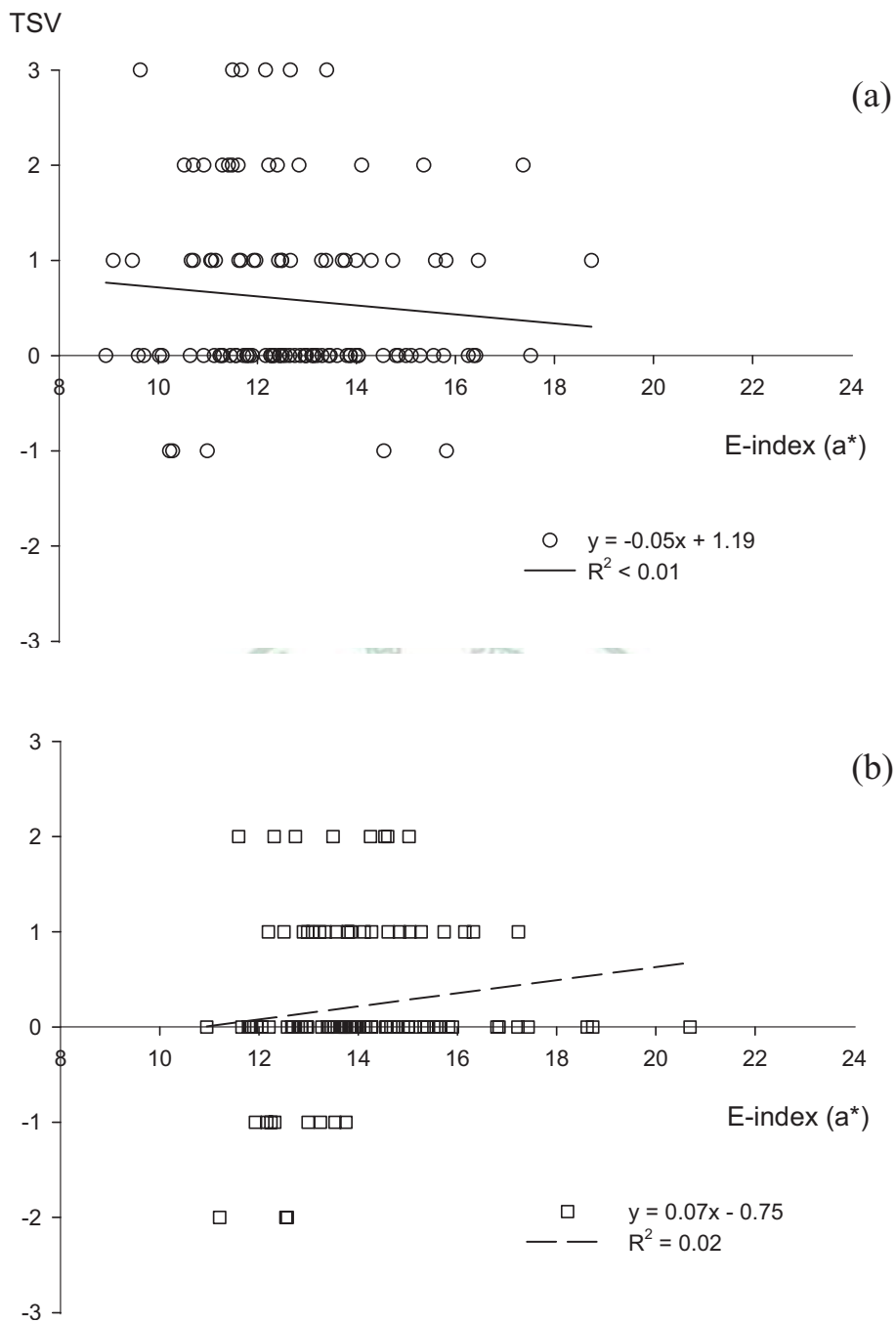


圖 4-70 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應紅斑指數(erythema-index, E-index)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

之 TSV 值，對應前臂外側(日光照射處) E-index 之量測值。由圖 4-69 中可觀察到，於日光照射區使用與未使用防曬乳液人員之 TSV 變化皆與前臂外側 E-index 變化呈正相關。但在圖 4-70 中可觀察到，戶外陰涼區使用防曬乳液人員之 TSV 隨前臂外側 E-index 呈負相關變化；而未使用防曬乳液人員之 TSV 隨前臂外側 E-index 呈正相關變化。以上現象可能與防曬乳液可同時提供紫外線輻射防護以及涼膚效果有關，亦即在日光照射處，因日光照射引起之曬傷與所傳遞之輻射熱同時發生，故受測者之熱感知強烈；但在戶外陰涼區因缺乏輻射熱，故涼膚效果較為明顯。

4.1.6 日光紫外線輻射對黑色素沈澱之影響

圖 4-71 與 4-72 所示為實驗組與控制組受試人員黑色素沈澱指數 (melanin-index, M-index) 在日光照射區實驗(戶外有日光照射處)隨環境物理力產生之改變。圖中同時顯示受測人員上臂內側與前臂外側皮膚遭受短期紫外光曝曬(10 分鐘)後對應曝曬期間 UVI 之 M-index 分佈與線性迴歸。整體而言，實驗期間測量所得之 M-index 數值介於 5-60 單位(b^*)之間。如圖 4-72 所示，使用防曬乳液人員之 M-index 與 UVI 呈負相關之趨勢；而未使用防曬乳液人員之 M-index 與 UVI 則呈正相關之趨勢。以上結果顯示本研究所使用之防曬乳液不但對急性曝曬傷害(紅斑生成)具保護性，亦可適當保護長期曬黑之影響(該乳液之 SPF 為 30；PA 為+++)

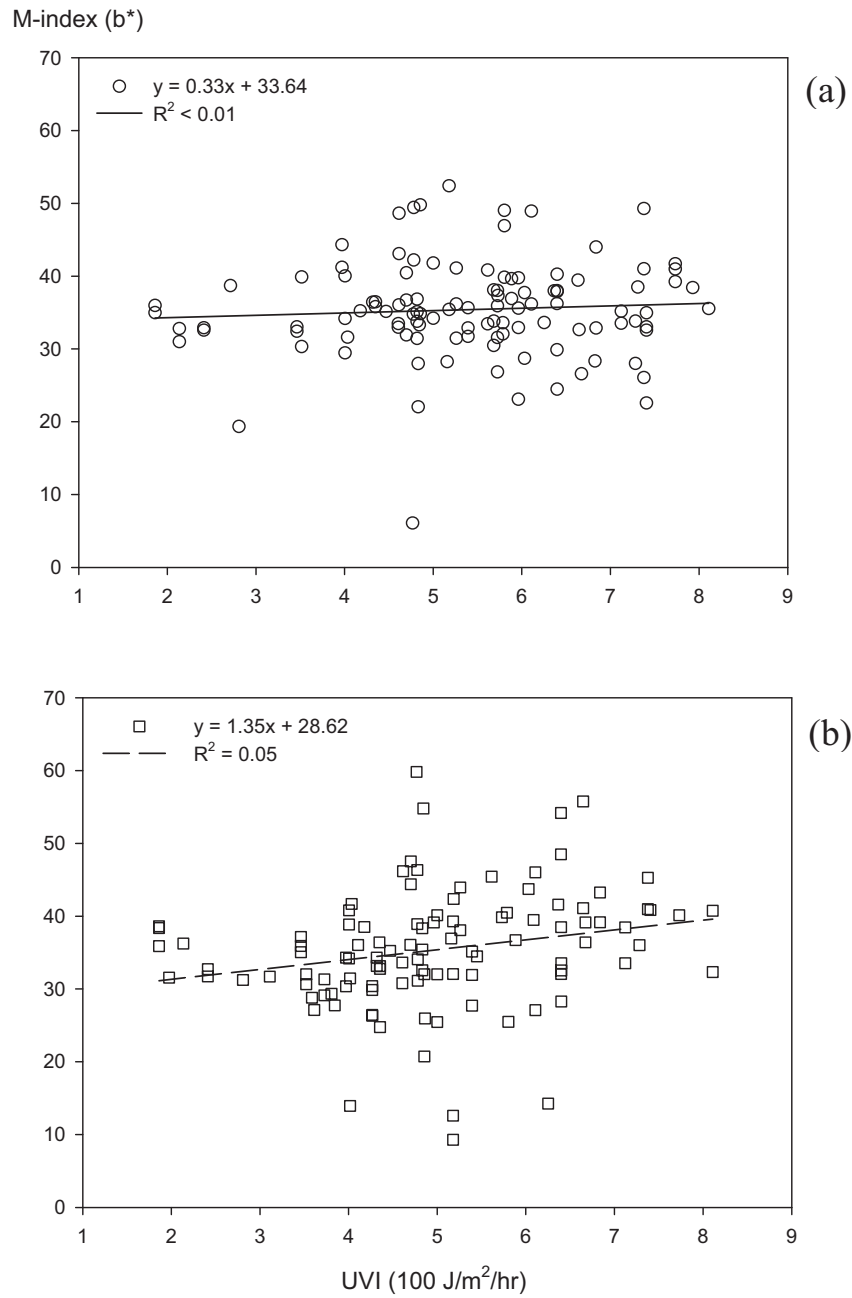


圖 4-71 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

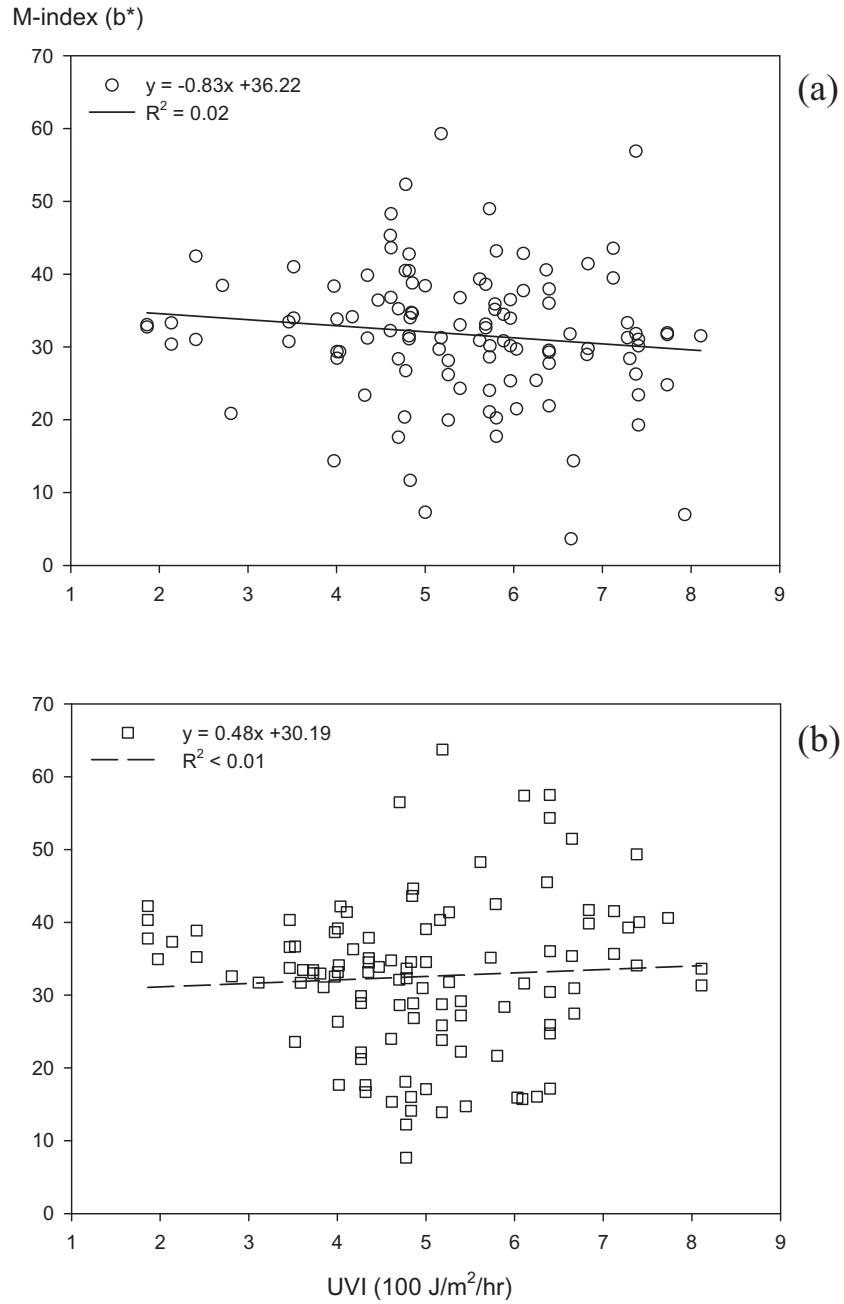


圖 4-72 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

以下為各分佈圖(圖 4-71 與 4-72)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 M-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.33x + 33.64 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-101})$$

實驗組前臂外側 M-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = -0.83 + 36.22 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-102})$$

控制組上臂內側 M-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

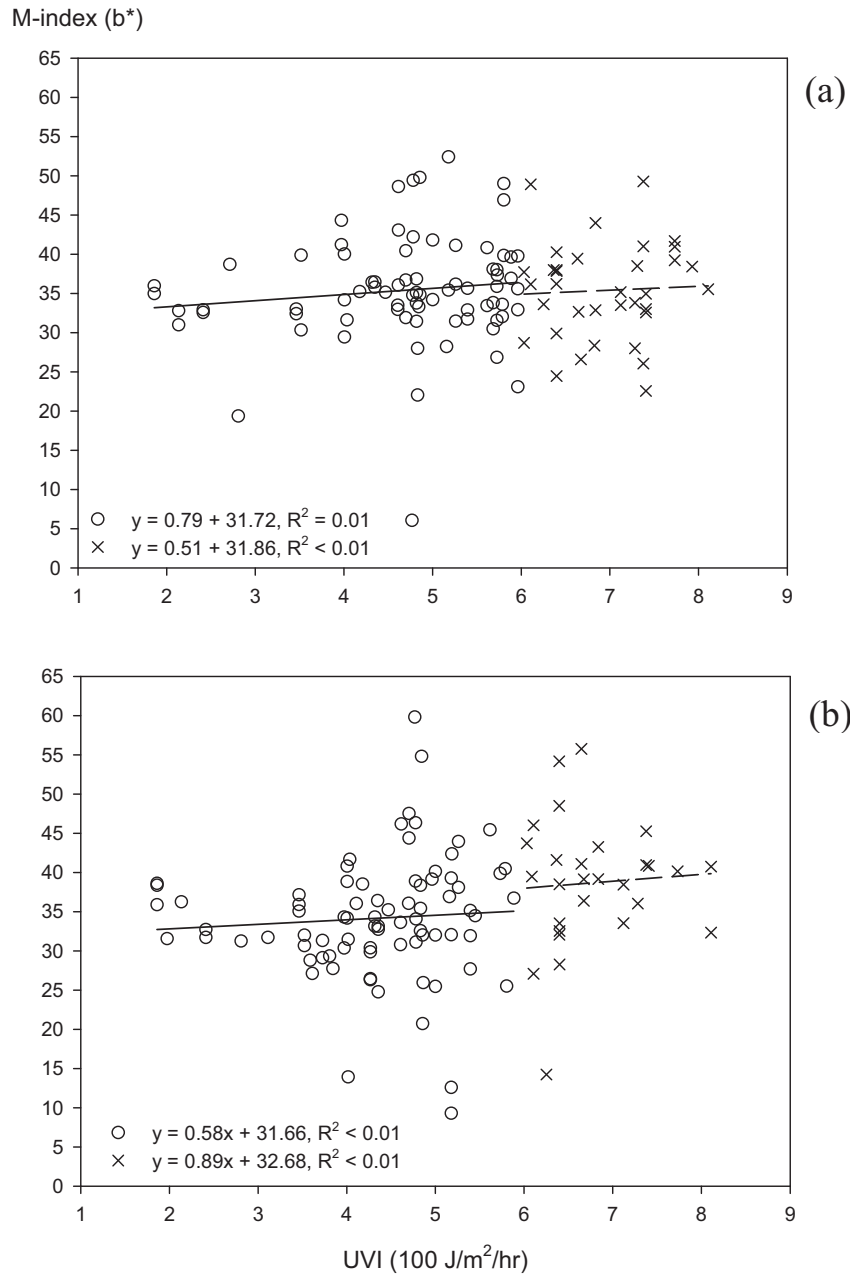
$$y = 1.35x + 28.62 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-103})$$

控制組前臂外側 M-index 對應 UVI 變化之迴歸方程式：

$$y = 0.48x + 30.19 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-104})$$

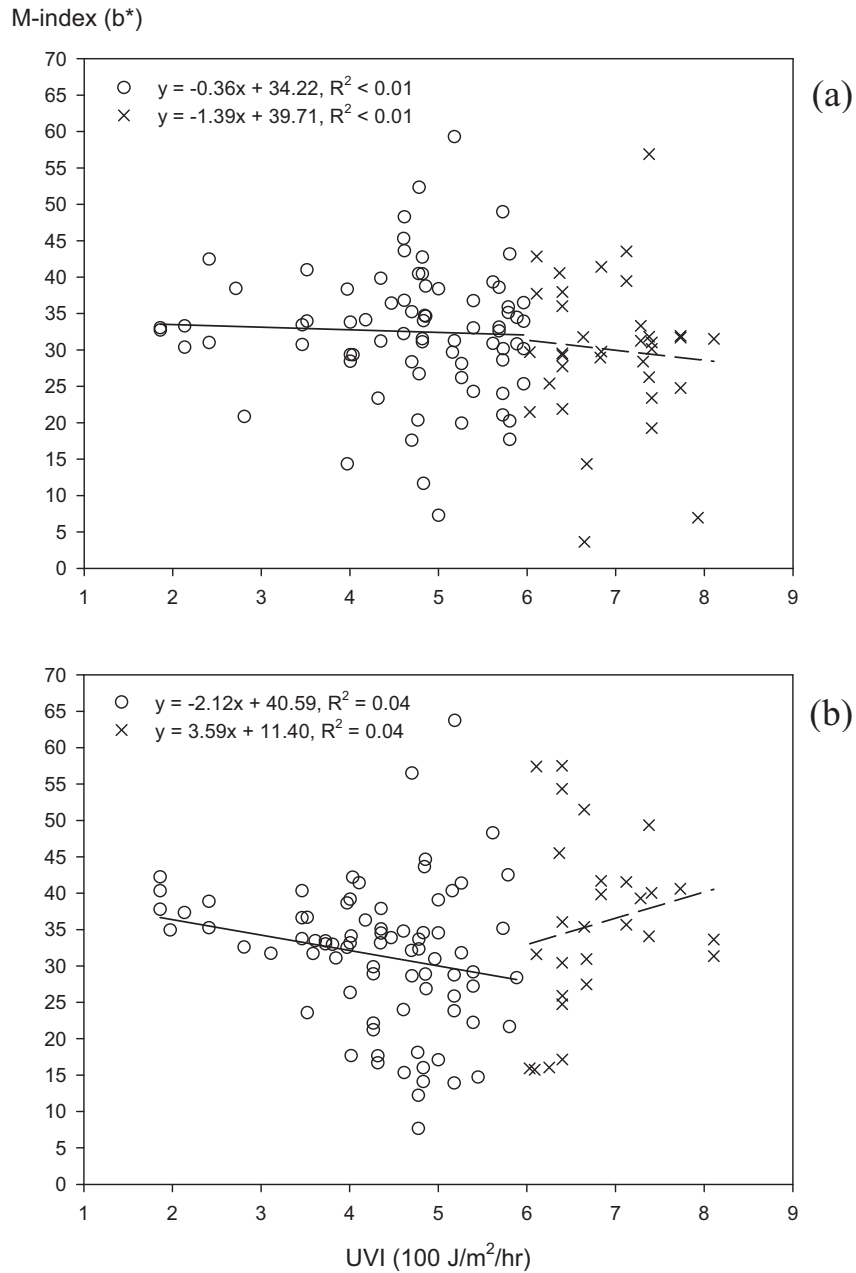
以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定實驗組與控制組(使用防曬乳液與否)間之統計結果顯示，不同組別間上臂內側之 M-index(p -vaule = 0.851)與前臂外側之 M-index(p -vaule = 0.444)皆未達統計顯著差異；但前臂外側(p -vaule = 0.005)與前臂外側 (p -vaule = 0.003) 之 M-index，則皆達統計顯著差異。顯示防曬乳液對防護皮膚曬黑具顯著效能。

若進一步將 UVI 依暴露等級⁽⁷⁾區分為微/低量與中/過量(如圖 4-73 與 4-74)進行分析，就實驗組與控制組間進行比較，可發現不論使用防曬乳液有無之前臂外側皮膚 M-index 對應低劑量 UVI 時分佈皆呈現負相關；在對應高劑量 UVI 時，使用防曬乳液者(實驗組)之前臂外側皮膚 M-index 分佈仍然呈現負相關，但未使用防曬乳液者(控制組)之前臂外側皮膚 M-



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應M-index之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應M-index之迴歸

圖 4-73 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應以微低/量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)



○為微/低量UVI——(y₁)為微/低量UVI對應M-index之迴歸
 ×為中/過量UVI ----(y₂)為中/過量UVI對應M-index之迴歸

圖 4-74 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應以微低/量與中/過量日光紫外線指數(UVI)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

index 分佈則轉而呈現正相關。因控制組並未使用防曬乳液，故以上結果建議，就黑素生成而言，當日光紫外線劑量達一定劑量時，才誘發黑色素沈澱之生理反應，而黑色素之破裂與釋放可能在 UVI 數值大於 6 時特別明顯。故對黑色素沉澱固然須進行長期防護，但因短期高劑量暴露亦可能產生曬黑現象，故在日曬強烈時須進行適當保養。

以下為各分佈圖(圖 4-73 與 4-74)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 M-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.79x + 31.72 \quad R^2 = 0.01 \quad (\text{Eq. 4-105})$$

實驗組上臂內側 M-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.51x + 31.86 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-106})$$

實驗組前臂外側 M-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -0.36x + 34.22 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-107})$$

實驗組前臂外側 M-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -1.39x + 39.71 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-108})$$

控制組上臂內側 M-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.59x + 31.66 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-109})$$

控制組上臂內側 M-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 0.89x + 32.68 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-110})$$

控制組前臂外側 M-index 對應微/低量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = -2.12x + 40.59 \quad R^2 = 0.04 \quad (\text{Eq. 4-111})$$

控制組前臂外側 M-index 對應中/過量 UVI 之迴歸方程式：

$$y = 3.59x + 11.40 \quad R^2 = 0.14 \quad (\text{Eq. 4-112})$$

由 Eqs. 4-105 至 4-112 中之線性所反應者當為 M-index 因應日光能量吸收所產生之變化。結果可發現：M-index 與微/低量日光紫外線短期輻射劑量呈負線性關係，而實驗組之 M-index 與中/過量日光紫外線短期輻射劑量亦呈負線性，但控制組之 M-index 與中/過量日光紫外線短期輻射劑量則呈正線性，再次顯示於高劑量日光暴露時，針對黑素生成進行防護之必要性。

表 4-16 與 4-17 所示為戶外日光實驗中受試人員上臂內側與前臂外側 M-index 之測量值、實驗組－控制組比值、及統計檢定結果。由表 4-16 中可觀察到，日光照射區實驗中，實驗組上臂內側之 M-index 測量值，於實驗日期 7 月 6 日、16 日、20 日、23 日、8 月 6 日、13 日、20 日、以及 31 日時小於控制組之上臂內側，其餘測量日皆高於控制組；日光照射區實驗中，實驗組前臂外側之 M-index 測量值，於實驗日期 7 月 6 日、23 日、8 月 6 日、以及 13 日時小於控制組之前臂外側，其餘測量日皆實驗組高於控制組。以上趨勢均不具統計顯著性。由表 4-14 中可觀察到，戶外陰涼區實驗之實驗組上臂內側之 M-index 測量值，於實驗日期 7 月 16 日、20 日、23 日、27 日、以及 8 月 13 日時大於控制組之上臂內側，其餘測量日實驗組皆低於控制組；實驗組前臂外側之 M-index 測量值，

表 4-16 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於日光照射區實驗中黑素指數(melanin-index, M-index)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 M-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	32.61 ± 5.04	33.27 ± 4.34	0.96 ± 0.22	0.886
0716	32.61 ± 6.74	30.17 ± 3.48	1.06 ± 0.22	0.199
0720	31.91 ± 4.02	32.86 ± 4.11	0.99 ± 0.17	0.949
0723	31.50 ± 4.66	36.80 ± 7.89	0.89 ± 0.20	0.277
0727	37.31 ± 5.07	42.17 ± 3.89	0.88 ± 0.17	0.199
0730	37.05 ± 6.80	31.91 ± 9.79	1.32 ± 0.62	0.482
0806	36.02 ± 3.34	33.15 ± 5.23	1.12 ± 0.21	0.338
0813	34.13 ± 2.40	35.02 ± 2.79	0.98 ± 0.10	0.749
0817	37.33 ± 7.22	42.65 ± 6.48	0.90 ± 0.22	0.199
0820	36.74 ± 13.50	35.52 ± 14.41	1.17 ± 0.88	0.568
0824	35.31 ± 2.93	35.92 ± 3.49	0.99 ± 0.13	0.655
0827	37.66 ± 5.49	33.86 ± 7.58	1.18 ± 0.35	0.565
0831	36.84 ± 7.00	35.77 ± 4.85	1.05 ± 0.24	0.949
0903	33.39 ± 2.83	34.72 ± 3.92	0.97 ± 0.14	0.338
0907	40.85 ± 5.18	37.68 ± 5.53	1.11 ± 0.22	0.338
前臂外側 M-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	34.09 ± 5.80	37.50 ± 2.67	0.86 ± 0.15	0.253
0716	29.83 ± 9.12	27.19 ± 4.12	1.01 ± 0.25	0.886
0720	28.27 ± 5.69	28.26 ± 7.24	1.07 ± 0.37	0.848
0723	32.32 ± 9.35	30.89 ± 10.69	1.24 ± 0.71	0.949
0727	25.71 ± 10.48	38.74 ± 10.80	0.79 ± 0.33	0.153
0730	31.84 ± 7.14	28.98 ± 12.99	1.30 ± 0.58	0.406
0806	29.07 ± 10.11	27.67 ± 9.25	1.20 ± 0.62	0.949
0813	34.48 ± 4.05	38.11 ± 2.44	0.91 ± 0.12	0.085
0817	30.32 ± 15.49	42.71 ± 11.36	0.76 ± 0.43	0.086
0820	28.73 ± 9.52	28.85 ± 10.04	1.18 ± 0.59	0.886
0824	33.37 ± 3.77	32.63 ± 5.27	1.05 ± 0.23	0.749
0827	33.07 ± 7.24	27.21 ± 11.93	1.71 ± 1.31	0.225
0831	33.63 ± 9.37	30.63 ± 10.57	1.29 ± 0.70	0.949
0903	35.15 ± 5.40	34.76 ± 5.56	1.04 ± 0.25	0.749
0907	31.26 ± 11.60	31.77 ± 7.66	1.08 ± 0.59	0.749

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 M-index 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定

表 4-17 實驗組與控制組之上臂內側與前臂外側皮膚於戶外陰涼區實驗中黑素指數(melanin-index, M-index)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

上臂內側 M-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	32.25 ± 5.21	33.57 ± 40.18	0.95 ± 0.19	0.475
0716	33.26 ± 2.34	34.31 ± 2.34	0.97 ± 0.10	0.391
0720	35.93 ± 5.16	32.99 ± 6.00	1.14 ± 0.33	0.482
0723	37.44 ± 4.30	36.00 ± 3.23	1.05 ± 0.15	0.482
0727	40.59 ± 3.63	40.50 ± 1.89	1.00 ± 0.10	0.668
0730	41.29 ± 9.71	37.52 ± 6.49	1.14 ± 0.35	0.749
0806	32.12 ± 2.67	34.33 ± 2.38	0.94 ± 0.14	0.142
0813	32.73 ± 2.65	35.20 ± 3.82	0.99 ± 0.13	0.180
0817	33.39 ± 1.63	34.32 ± 4.00	1.00 ± 0.12	0.568
0820	33.11 ± 2.08	34.41 ± 3.40	0.96 ± 0.12	0.568
0824	30.89 ± 2.02	32.62 ± 3.15	0.93 ± 0.11	0.142
0827	32.07 ± 1.98	34.94 ± 3.53	0.95 ± 0.19	0.277
0831	30.94 ± 2.54	33.41 ± 4.71	0.94 ± 0.10	0.110
0903	32.65 ± 1.80	35.02 ± 2.94	0.94 ± 0.10	0.142
0907	30.50 ± 2.23	32.63 ± 3.21	0.95 ± 0.13	0.142
前臂外側 E-index 量測值				
日期	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
0706	35.55 ± 5.30	36.40 ± 4.51	0.95 ± 0.16	0.568
0716	34.47 ± 2.13	37.39 ± 2.18	0.91 ± 0.08	0.032 ^c
0720	38.31 ± 4.28	35.42 ± 3.70	1.09 ± 0.17	0.225
0723	36.92 ± 4.50	34.13 ± 4.88	1.04 ± 0.19	0.655
0727	42.72 ± 4.62	42.68 ± 3.78	0.95 ± 0.09	0.886
0730	31.38 ± 8.31	33.41 ± 8.33	1.00 ± 0.37	0.848
0806	35.69 ± 3.79	38.75 ± 2.76	0.93 ± 0.12	0.085
0813	33.31 ± 3.05	35.24 ± 3.15	0.95 ± 0.12	0.277
0817	35.44 ± 2.28	37.16 ± 2.50	0.95 ± 0.09	0.253
0820	31.69 ± 3.34	37.11 ± 4.65	0.84 ± 0.12	0.063
0824	29.34 ± 4.15	32.72 ± 4.38	0.91 ± 0.18	0.110
0827	32.60 ± 2.73	35.45 ± 3.96	0.93 ± 0.14	0.110
0831	30.80 ± 4.46	33.44 ± 3.65	0.93 ± 0.17	0.277
0903	31.53 ± 4.33	33.67 ± 4.50	0.95 ± 0.19	0.338
0907	28.58 ± 3.92	31.43 ± 4.13	0.93 ± 0.18	0.277

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 M-index 差異以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾檢定

^c p-value < 0.05

於實驗日期 7 月 16 日、20 日、以及 27 日時大於控制組之前臂外側，其餘測量日實驗組皆低於控制組。在上臂內側皮膚部分，於實驗日期為 9 月 7 日時，使用防曬乳液與否之上臂內側 E-index 差異達統計顯著性 (p -value = 0.018)。在前臂外側皮膚部分，於實驗日期為 7 月 9 日時，使用防曬乳液與否之前臂外側 E-index 差異達統計顯著性 (p -value = 0.032)。當將日光照射區實驗與戶外陰涼區各 16 次實驗總合分析，分別以 Mann-Whitney U test⁽⁸²⁾ 檢定使用防曬乳液與否對 M-index 之影響時發現：在日光照射區部分，使用防曬乳液與否，對上臂內側之 M-index (p -value = 0.851) 與前臂外側之 M-index (p -value = 0.444) 皆未達統計上差異；在戶外陰涼區部分，使用防曬乳液與否，對應上臂內側之 M-index 之 (p -value = 0.005) 與前臂外側之 (p -value = 0.003) 皆達統計上差異。

由日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗中，M-index 對應 WBGT 之迴歸方程式可發現，控制組方程式斜率於日光照射區之數值高於同區實驗組之數值，顯示控制組(未使用防曬乳液者)於日光照射區遭受日光紫外線傷害之情形較為嚴重。

以下為各分佈圖(圖 4-75、4-76、4-77、4-78)之迴歸方程式：

實驗組上臂內側 M-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -2.12 + 40.59 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-113})$$

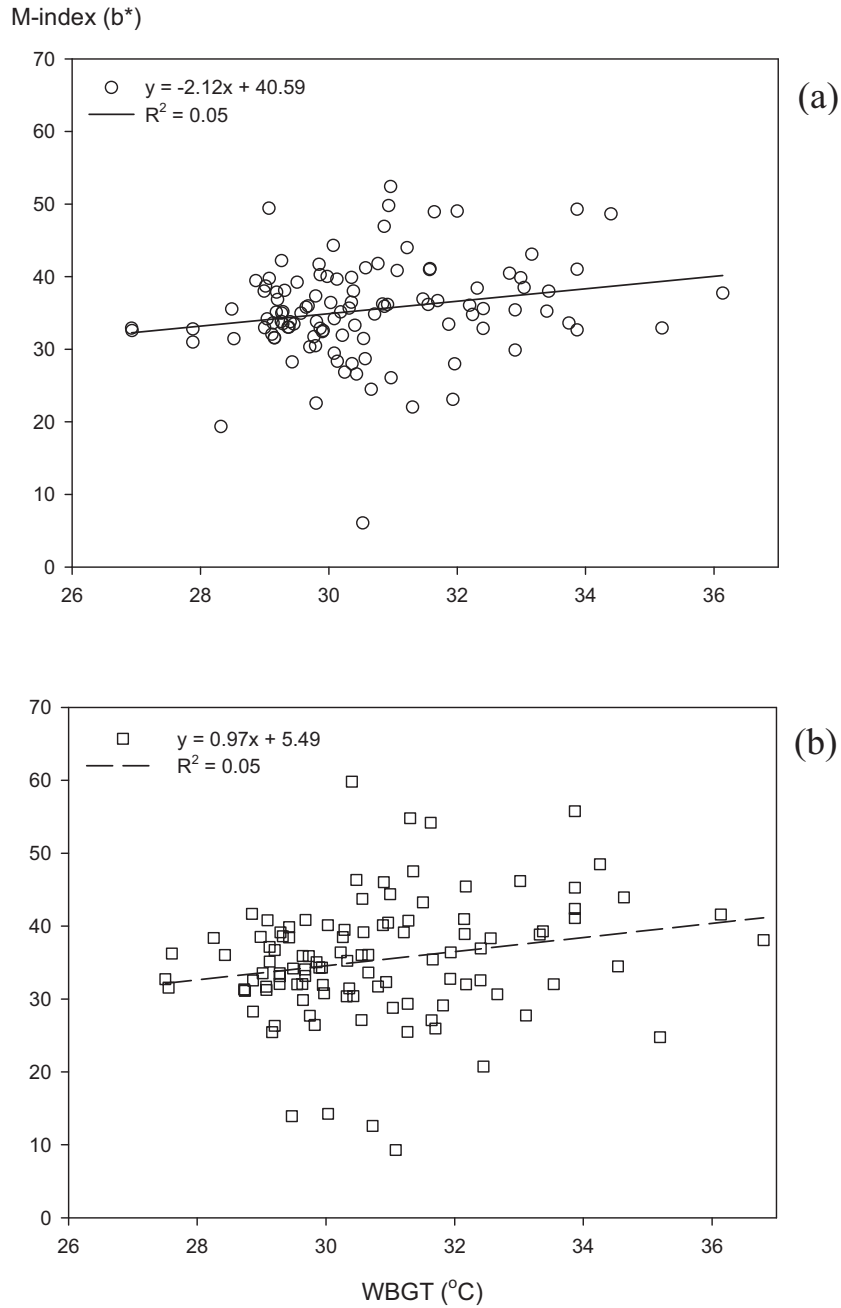


圖 4-75 日光照射區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數 (melanin-index, M-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

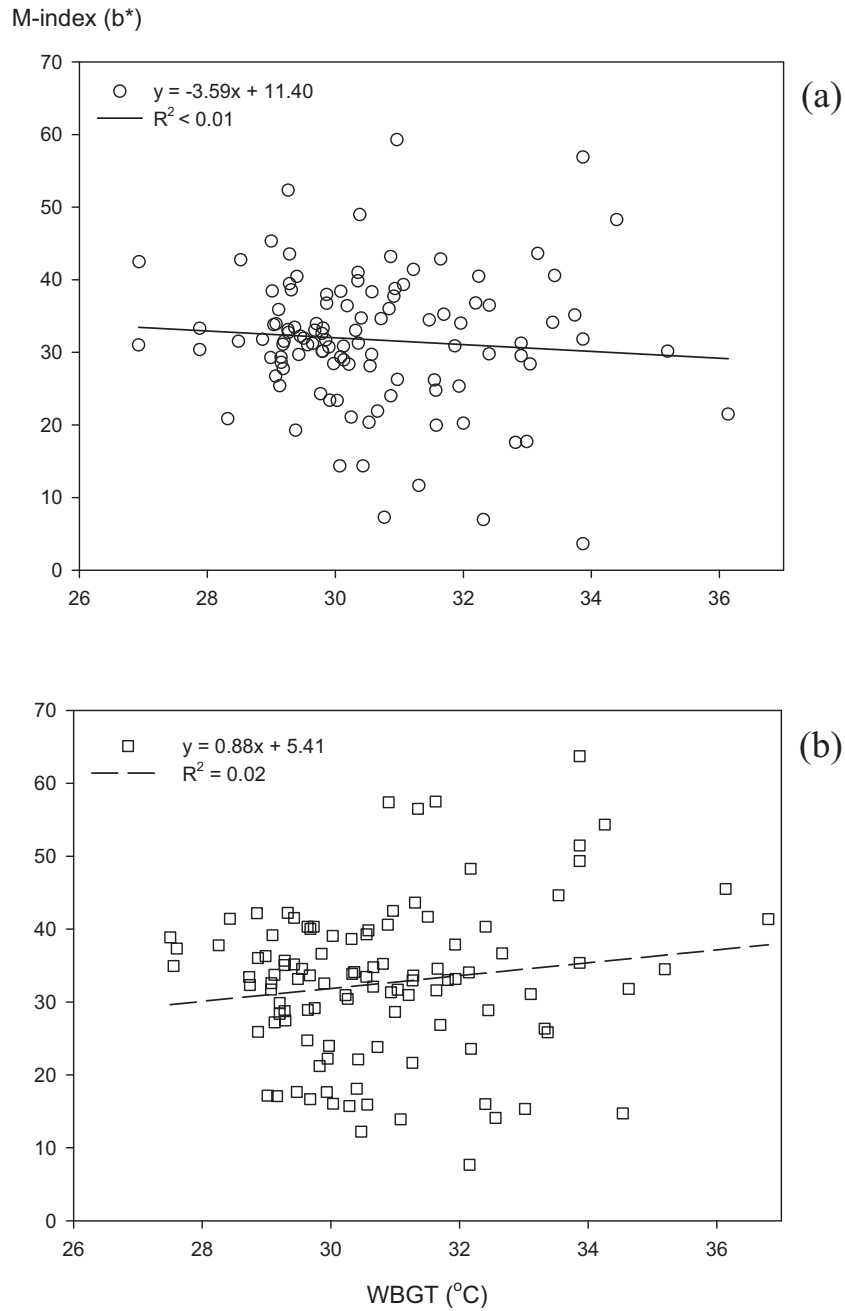


圖 4-76 日光照射區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數 (melanin-index, M-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

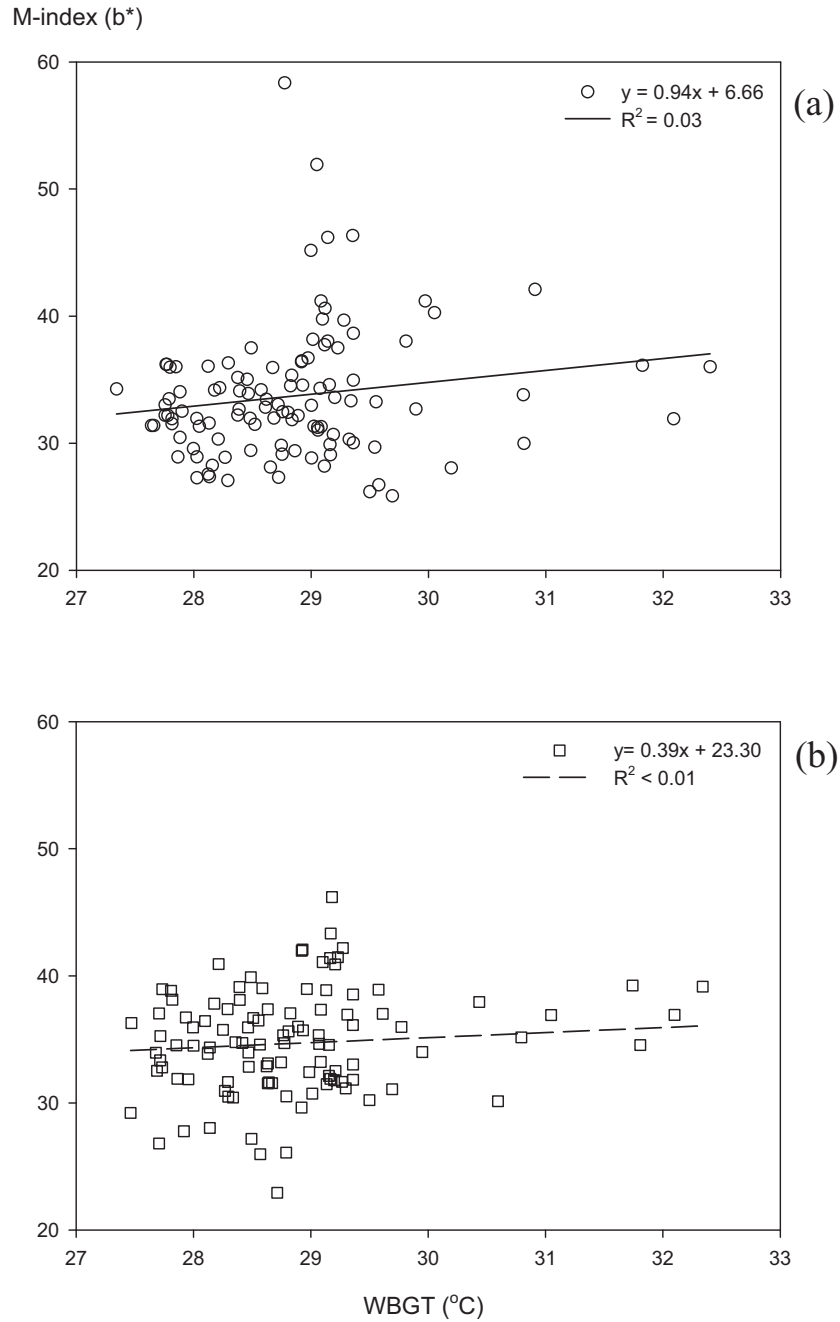


圖 4-77 戶外陰涼區實驗上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數 (melanin-index, M-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

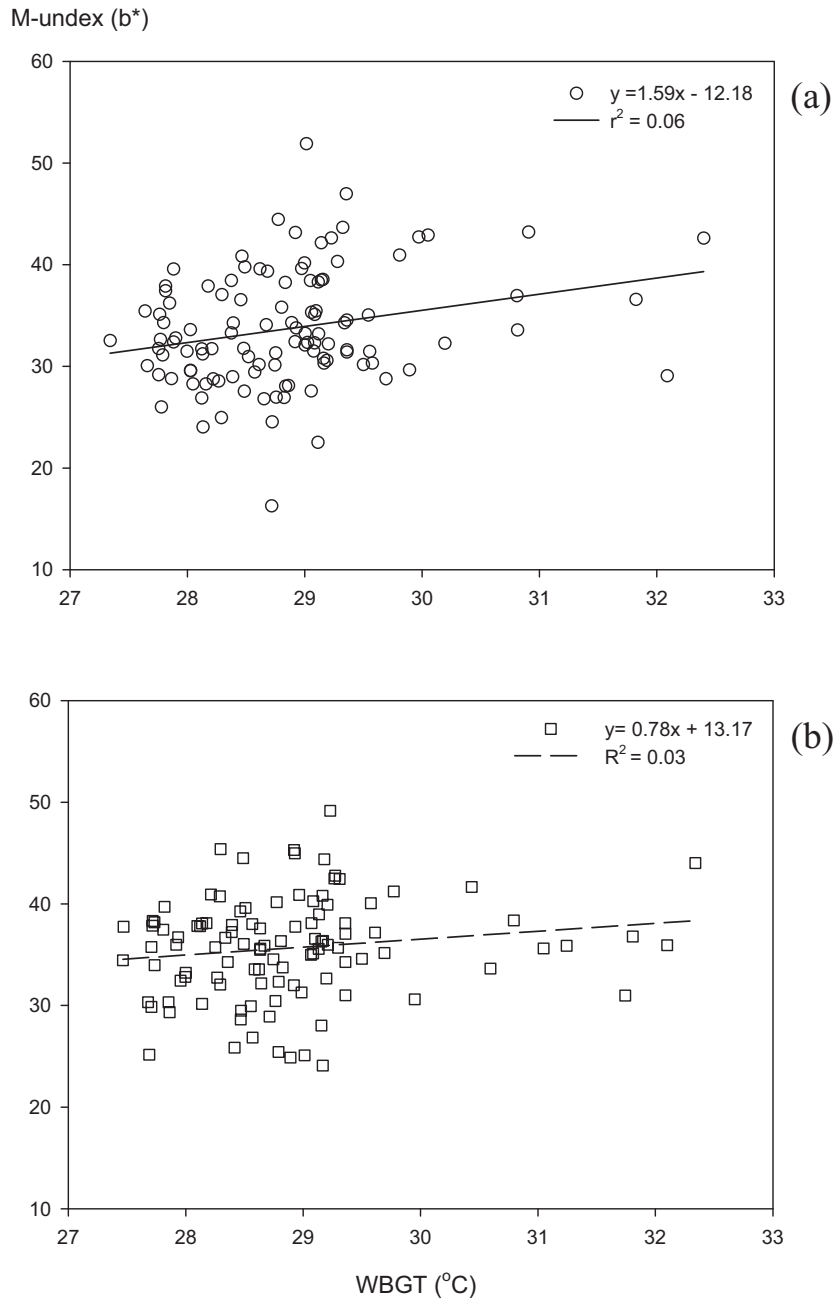


圖 4-78 戶外陰涼區實驗前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數 (melanin-index, M-index)對應綜合溫度熱指數(WBGT)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

實驗組前臂外側 M-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = -3.59 + 11.40 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-114})$$

控制組上臂內側 M-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.97x + 5.49 \quad R^2 = 0.05 \quad (\text{Eq. 4-115})$$

控制組前臂外側 M-index 於日光照射區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.88x + 5.41 \quad R^2 = 0.02 \quad (\text{Eq. 4-116})$$

實驗組上臂內側 M-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.94x + 6.66 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-117})$$

實驗組前臂外側 M-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.59 - 12.18 \quad R^2 = 0.06 \quad (\text{Eq. 4-118})$$

控制組上臂內側 M-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.39x + 23.30 \quad R^2 < 0.01 \quad (\text{Eq. 4-119})$$

控制組前臂外側 M-index 於戶外陰涼區實驗對應 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.78x + 13.172 \quad R^2 = 0.03 \quad (\text{Eq. 4-120})$$

圖 4-79 與 4-80 所示分別為日光照射區實驗中每測量日受測者上臂內側與前臂外側於日光照射區與戶外陰涼區所測得 M-index 測量值之比值對應日光照射區 WBGT 與戶外陰涼區 WBGT 之比值。如圖 4-80 顯示，實驗組與控制組中多數之 M-index 比值大部分位於 0.4-1.6 之間。M-index 比值不論是否使用防曬乳液皆未隨 WBGT 比值之改變產生顯著變化，顯示除日光紫外線之能量吸收外，其他環境熱因子對 M-index 不構成顯著

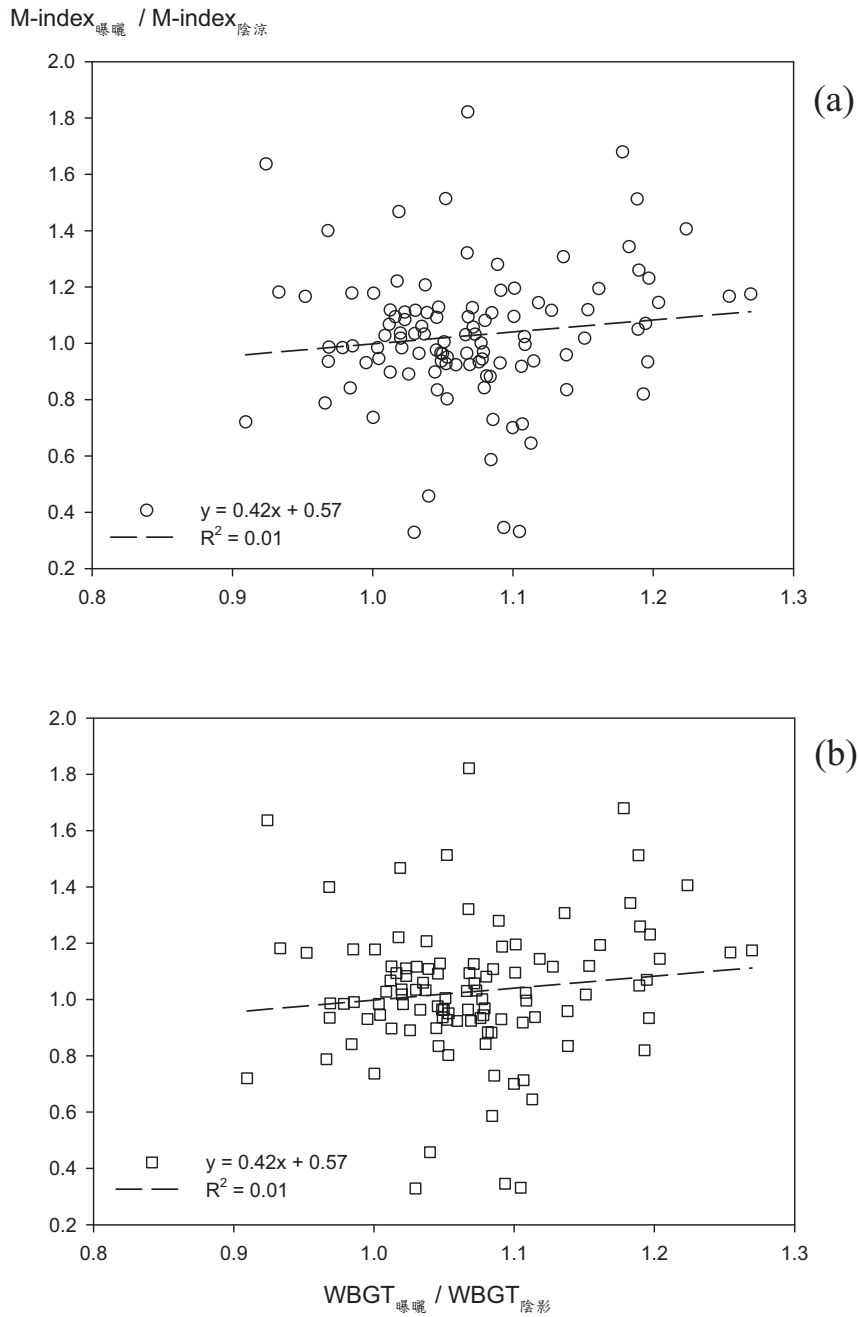


圖 4-79 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)比值(曝曬處/陰涼處)對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

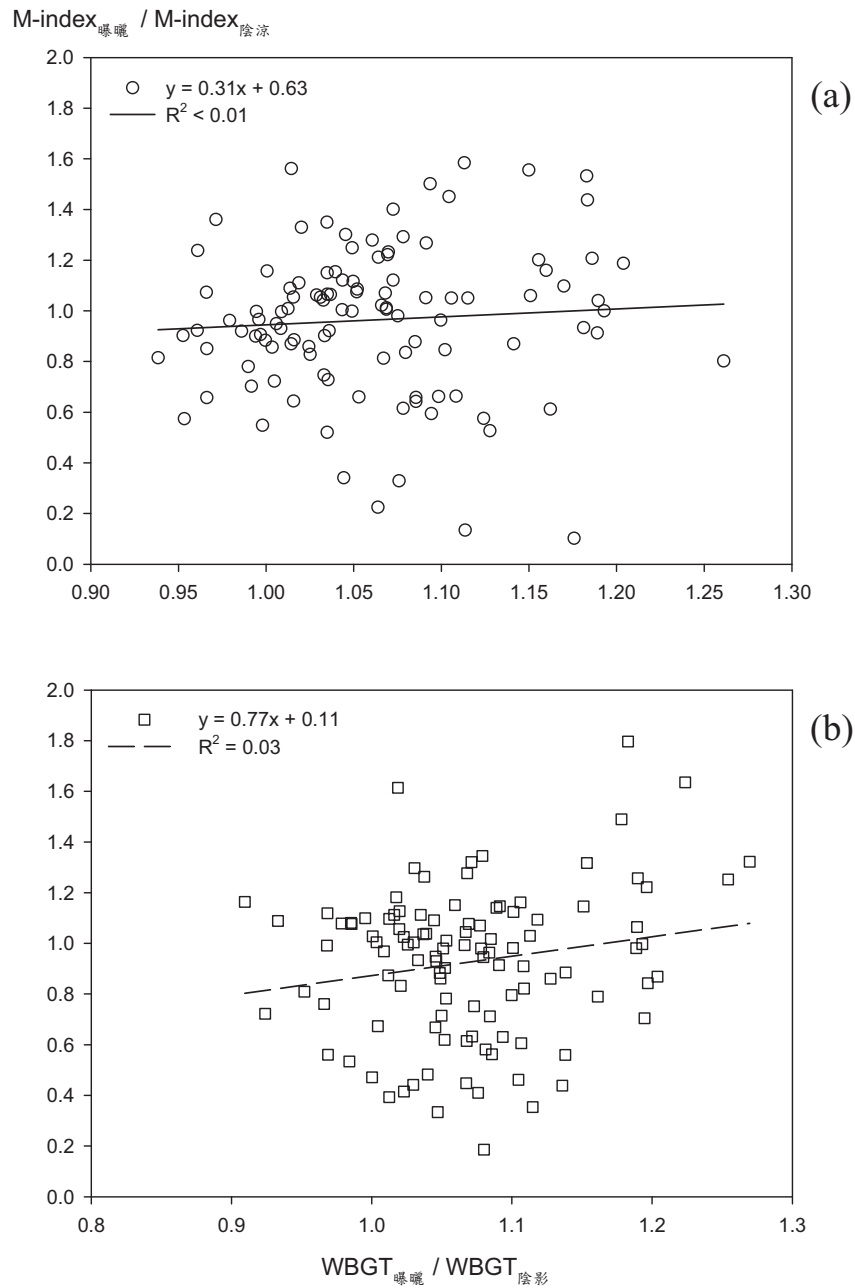


圖 4-80 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)比值(曝曬處/陰涼處)對應綜合溫度熱指數(WBGT)比值(曝曬處/陰涼處)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

影響。

圖 4-81 與 4-82 所示為實驗組與控制組受試人員之 M-index 在戶外日光實驗隨累積性紫外光曝曬產生之改變。由圖得知，控制組之黑色素沈澱現象隨累積紫外光曝曬增加而緩慢降低。由於實驗組與控制組之累積紫外光曝曬值變化量不同，故數據進一步以邏輯式迴歸(logistic regression)推估在上臂內側與前臂外側之 M-index 因應使用防曬乳液與否變化之勝算比(odd ratio, OR)及 95%信賴區間(95% confidence interval, 95% CI)；過程中並調整累積性紫外光曝曬量，作為控制干擾因子。表 4-18 所示為分析結果：在未遭受紫外光曝曬(上臂內側)部分，使用防曬乳液之 M-index 為未使用防曬乳液之 0.995 倍(95% CI = 0.9576-1.035)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處未達統計顯著差異。在遭受紫外光曝曬(前臂外側)部分，使用防曬乳液之 M-index 為未使用防曬乳液約 0.990 倍(95% CI = 0.962-1.0195)，因此使用防曬乳液與否在未遭受紫外光曝曬之皮膚處亦未達統計顯著差異。由以上討論可知：在傳統評估中，針對黑色素沉澱現象之討論主要集中在長期日光曝曬所產生之效應上。但本研究之結果則顯示：黑色素生成可因短期、高劑量曝曬生成；但因低劑量、累積性曝曬而增加之黑色素生成相較之下則未必為嚴重之健康威脅，故在防護觀念上似宜加強對強烈日曬時段之皮膚防護。

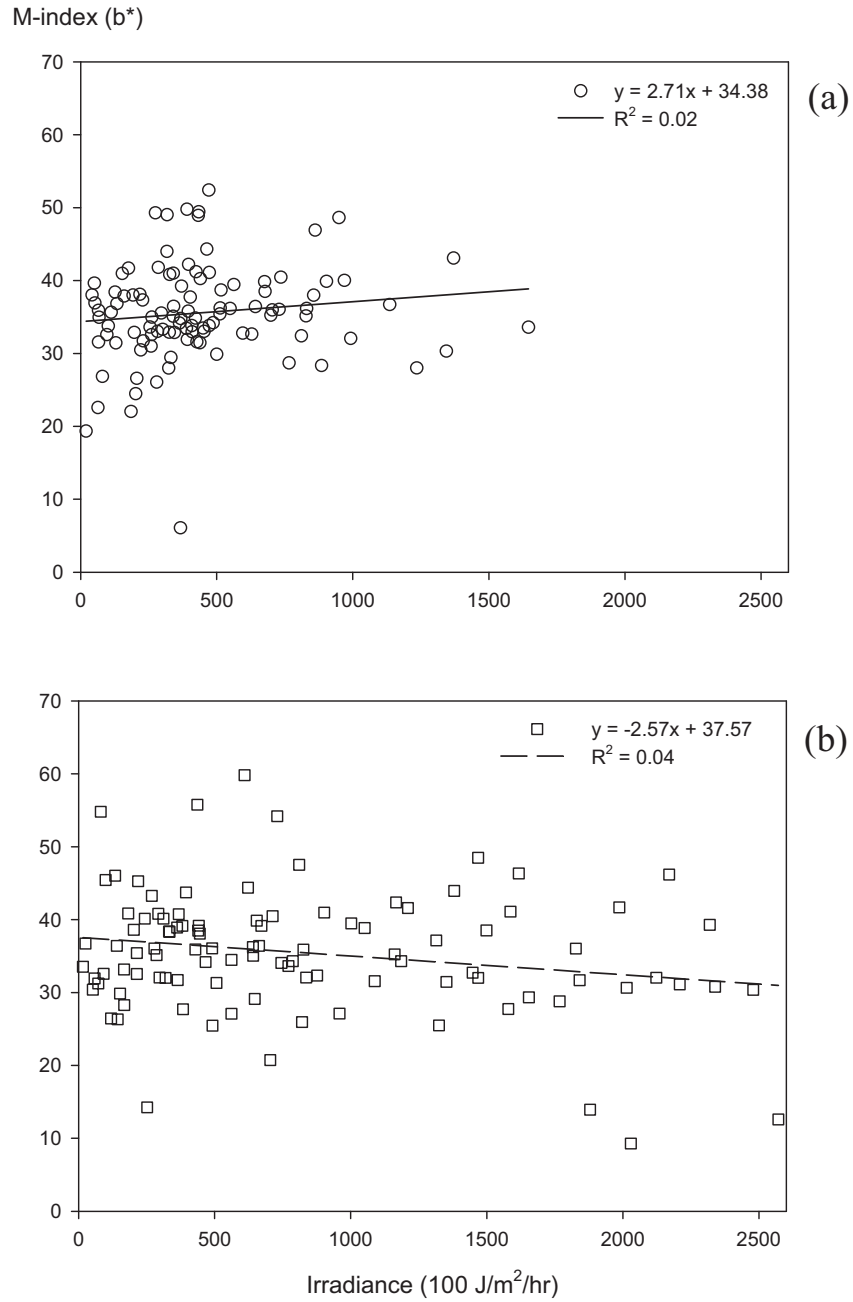


圖 4-81 上臂內側(未直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

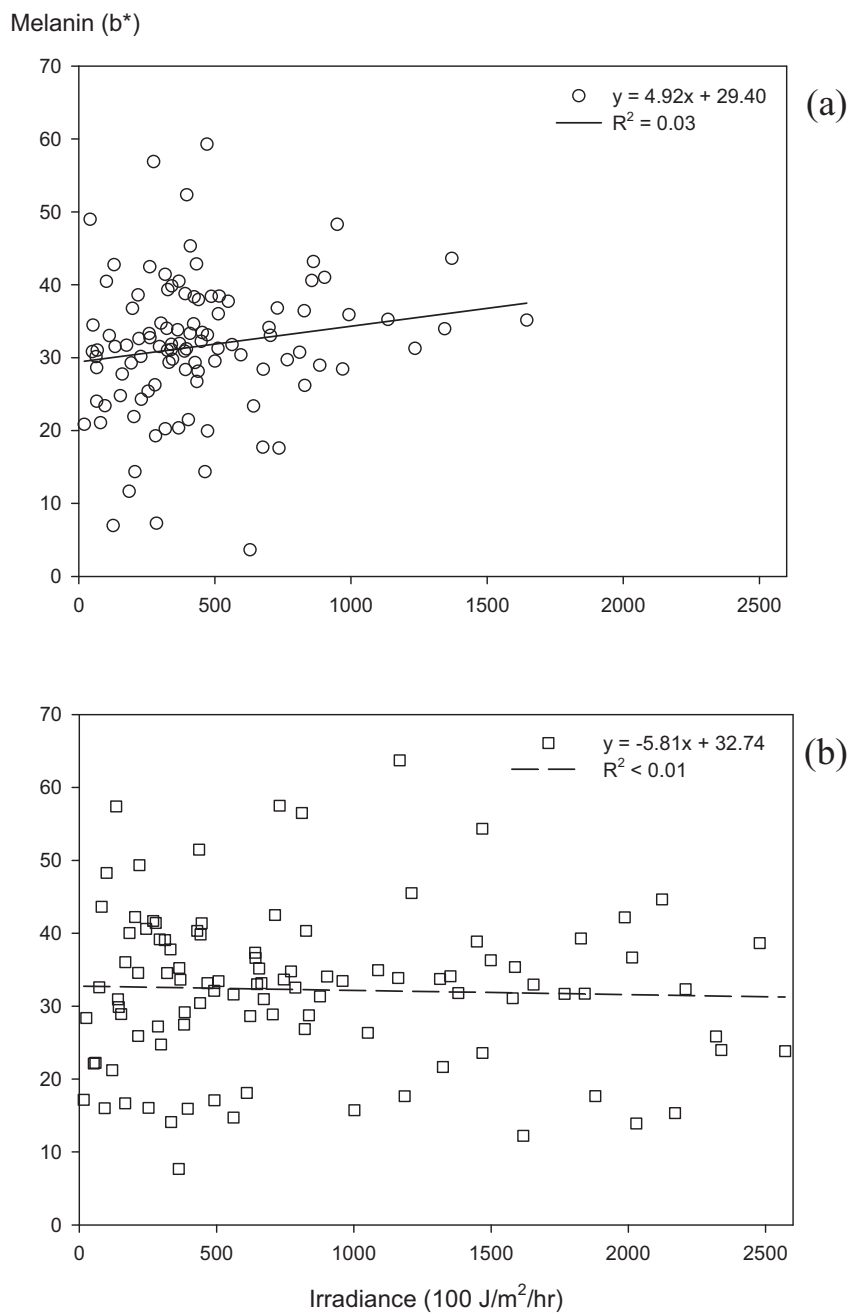


圖 4-82 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)黑素指數(melanin-index, M-index)對應曝曬期間累積性日光紫外線(irradiance)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-18 以 Logistic regression 分析使用/未使用防曬乳液與黑素指數 (melanin-index, M-index)之關係(粗勝算比：crude OR；調整勝算比：adjusted OR；勝算比 95%信賴區間：95% CI)^a

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

^a n = 224；控制變項為累積性紫外光曝曬量

圖 4-83 與 4-84 所示為受測人員於日光照射區實驗與戶外陰涼區實驗之 TSV 值，對應前臂外側(日光照射處) M-index 之量測值。由圖-83 中可觀察到於日光照射區使用防曬乳液人員之 TSV 皆隨前臂外側 M-index 呈負相關之變化。由圖 4-84 中可觀察到於戶外陰涼區使用防曬乳液人員之 TSV 隨前臂外側 Mindex 呈負相關變化；而未使用防曬乳液人員則呈正相關變化。以上現象說明黑素生成現象並未是反應主觀熱感知之生理指標。

4.1.7 環境物理力與使用防曬乳液與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析

表 4-19 為戶外日光實驗日光照射區之前臂外側皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應 UVI(短期曝曬劑量)、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到前臂外側皮膚濕度之複相關係數偏低($r = 0.218$)，且其線性關係未達統計顯著性($p\text{-value} = 0.110$)，顯示以多項式複迴歸方式難以說明皮膚濕度對本研究所調查環境物理力與使用防曬乳液與之關係。前臂外側 TEWL 與皮膚溫度之複迴歸方程式之複相關係數皆高於 0.50 (TEWL $r = 0.557$ ；皮膚溫度 $= 0.709$)，統計檢定結果均達顯差異($p\text{-value} < 0.001$)。

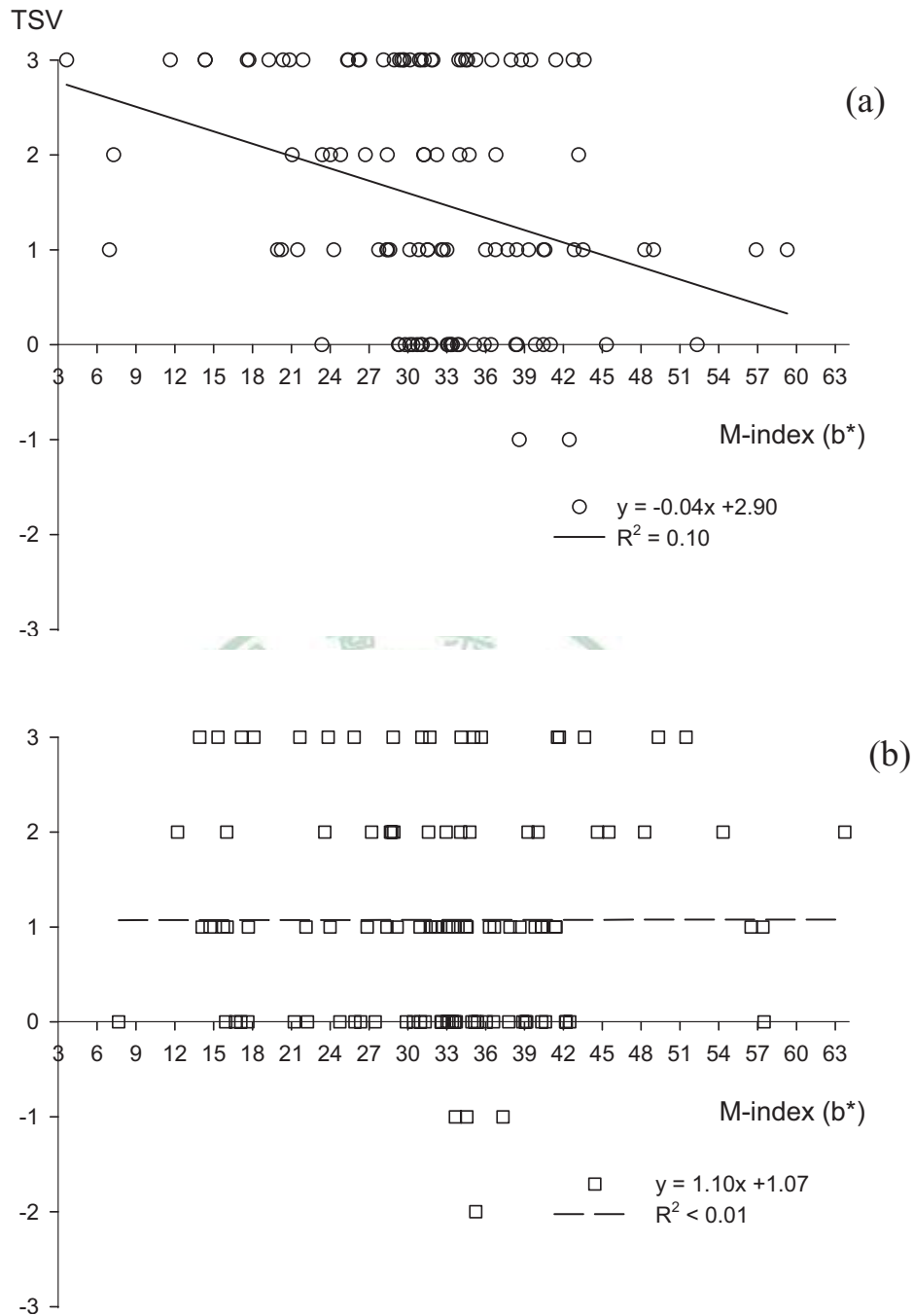


圖 4-83 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於日光照射區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應黑素指數(melanin-index, M-index)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

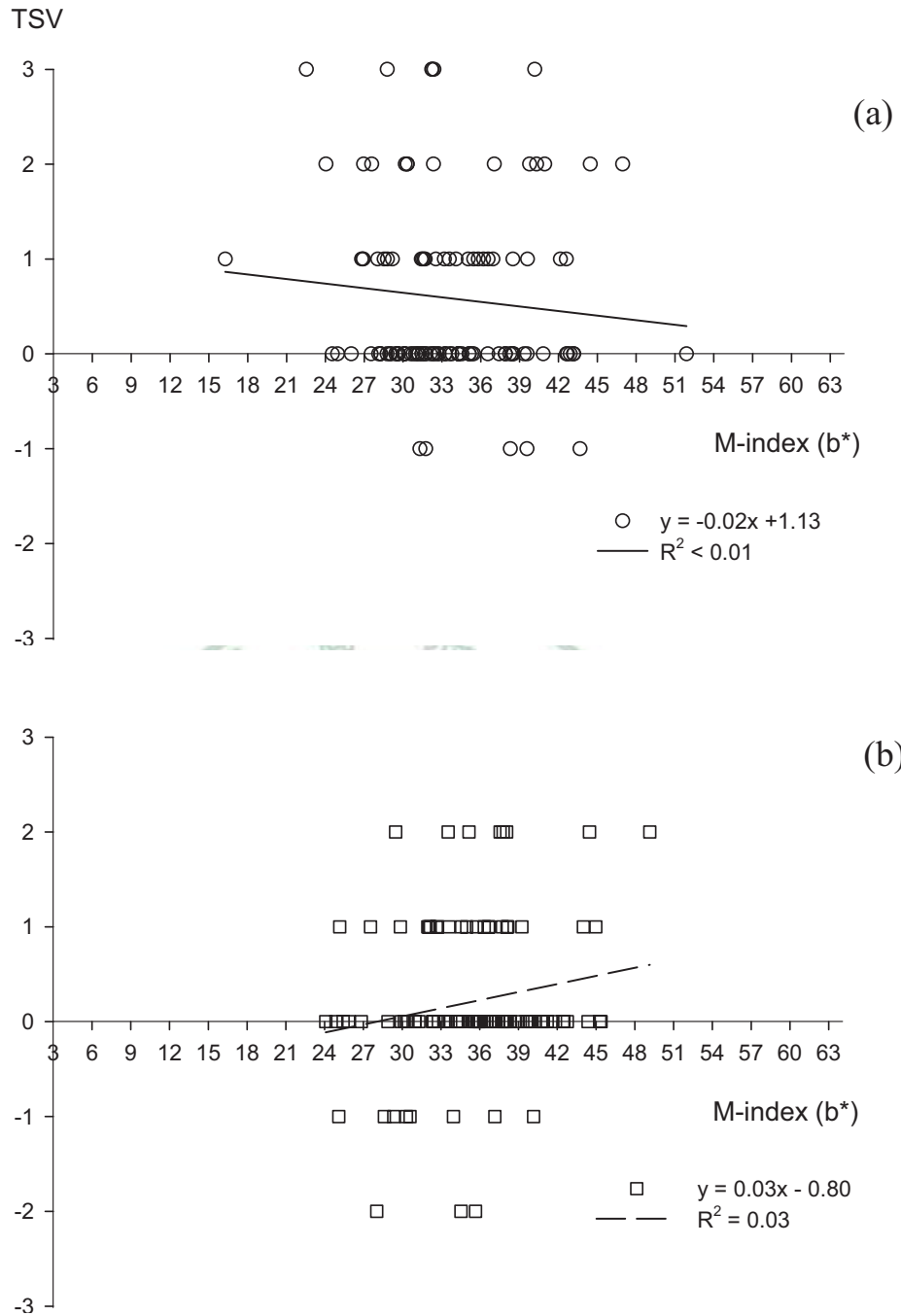


圖 4-84 前臂外側(直接曝曬日光紫外線)於戶外陰涼區實驗之熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應黑素指數(melanin-index, M-index)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-19 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應紫外光指數(x₁)、環境乾球溫度(x₂)、環境黑球溫度(x₃)、環境相對濕度(x₄)、環境風速(x₅)、使用防曬乳液與否(x₆)^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)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = 1.88x_1 - 2.20x_2 + 0.66x_3 + 0.11x_4 + 0.38x_5 + 2.91x_6 + 51.71$	0.267	0.071	0.043	0.022 ^e	2.265
TEWL	$y = 1.30x_1 + 5.82x_2 + 0.79x_3 + 0.23x_4 - 0.13x_5 - 19.39x_6 - 166.65$	0.557	0.310	0.290	<0.001 ^e	2.221
Skin temp	$y = 0.21x_1 + 0.36x_2 + 0.24x_3 + 0.01x_4 - 0.02x_5 + 0.21x_6 + 14.07$	0.709	0.503	0.489	<0.001 ^e	2.221
Skin moisture	$y = 7.11x_1 + 48.04x_2 - 9.53x_3 + 2.31x_4 - 18.10x_5 + 51.31x_6 - 552.19$	0.218	0.047	0.020	0.110	2.221
TSV	$y = 0.09x_1 - 0.02x_2 + 0.13x_3 - 0.01x_4 + 0.01x_5 + 0.39x_6 - 2.94$	0.546	0.298	0.278	<0.001 ^e	2.221

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

皮膚溫度之複相關係數為前臂外側所量測生理指標迴歸中最高值，顯示皮膚溫度複迴歸方程式具較高之代表性。在主觀感知方面，複迴歸方程式之複相關係數顯著($r = 0.546$)，統計檢定結果達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。各複迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 均低於 10，顯示複迴歸方程式中共線性問題較低。

表 4-20 為戶外日光實驗日光照射區之前臂外側皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應 UVI (短期曝曬劑量)、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到在環境物理力(日光紫外線指數、環境乾球溫度、環境黑球溫度、及環境相對濕度)固定下，使用防曬乳液與否對前臂外側 TEWL 具明顯之負影響($\text{slope} = -0.33$)；說明敷用防曬乳液確實可提供皮膚防護之效能，降低遭受日光紫外線曝曬之傷害。皮膚濕度經標準化後複迴歸方程式，檢定結果未達統計顯著差異($p\text{-value} = 0.110$)，顯示多項式複迴歸無法適切分析皮膚濕度與本研究所囊括影響因子間之關係，或本研究所選擇之環境物理因子無法完全解釋皮膚濕度在戶外熱環境中之變化。此外，由主觀感知對應環境物理力與使用防曬乳液與否之標準化複迴歸方程式中，可觀察到當防曬乳液使用與否因子固定時，環境黑球溫度最能影響

表 4-20 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應紫外光指數(x₁)、環境乾球溫度(x₂)、環境黑球溫度(x₃)、環境相對濕度(x₄)、環境風速(x₅)、使用防曬乳液與否(x₆)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R²、Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

標準化多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = 0.21x_1 - 0.34x_2 + 0.21x_3 + 0.7x_4 + 0.04x_5 + 0.11x_6$	0.267	0.071	0.043	0.022 ^e	2.265
TEWL	$y = 0.06x_1 + 0.38x_2 + 0.11x_3 + 0.06x_4 - 0.01x_5 - 0.33x_6$	0.557	0.310	0.290	<0.001 ^e	2.221
Skin temp	$y = 0.12x_1 + 0.29x_2 + 0.41x_3 + 0.04x_4 - 0.01x_5 + 0.04x_6$	0.709	0.503	0.489	<0.001 ^e	2.221
Skin moisture	$y = 0.03x_1 + 0.29x_2 - 0.12x_3 + 0.06x_4 - 0.07x_5 + 0.08x_6$	0.218	0.047	0.020	0.110	2.221
TSV	$y = 0.11x_1 - 0.03x_2 + 0.44x_3 - 0.08x_4 + 0.01x_5 + 0.16x_6$	0.546	0.298	0.278	<0.001 ^e	2.221

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

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

TSV 之變化(slope = 0.44)，其次為 UVI (slope = 0.11)，統計檢定達顯著差異(p -value < 0.001)。顯示在戶外環境對熱感知影響最劇之環境物理因子為太陽輻射熱。

表 4-21 為戶外日光實驗日光照射區之前臂外側皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應 UVI (短期曝曬劑量)、環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之逐步迴歸方程式、相關係數、判定係數、調整判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後，皮膚濕度轉換成為簡單迴歸方程式(simple regression equations)，顯示只有單項因子可影響至皮膚濕度變化。就皮膚濕度而言，其變化唯有受環境乾球溫度顯著影響，迴歸係數為 28.04。TEWL 之複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後，其變化受環境乾球溫度與使用防曬乳液與否顯著影響，迴歸係數分別為 7.06 與-19.13，其相關性達統計顯著性($r = 0.552$)；皮膚溫度之複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後，其變化受環境乾球溫度與環境黑球溫度顯著影響，迴歸係數分別為 0.22 與 0.44，其相關性達統計顯著性($r = 0.669$)。TSV 藉由逐步迴歸法修正後，則是受環境黑球溫度與使用防曬乳液與否影響較大，迴歸係數皆為 0.15，檢定結果均達統計顯著差異(p -value < 0.001)。

表 4-22 為戶外日光實驗日光照射區之前臂外側皮膚生理指標(含

表 4-21 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應紫外光指數(x₁)、環境乾球溫度(x₂)、環境黑球溫度(x₃)、環境相對濕度(x₄)、環境風速(x₅)、使用防曬乳液與否(x₆)^b之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

多項式複迴歸方程式逐步迴歸法		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = 1.88x_1 - 2.20x_2 + 0.66x_3 + 0.11x_4 + 0.38x_5 + 2.91x_6 + 51.71$	0.267	0.071	0.043	0.022 ^e	2.265
TEWL	$y = 7.06x_2 - 19.13x_6 - 154.98$	0.552	0.305	0.298	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.22x_2 + 0.44x_3 + 14.29$	0.699	0.489	0.484	< 0.001 ^e	3.484
Skin moisture	$y = 28.04x_2 - 58.33$	0.169	0.028	0.024	0.012 ^e	1.000
TSV	$y = 0.15x_3 + 0.15x_6 - 4.67$	0.531	0.282	0.276	< 0.001 ^e	1.000

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

表 4-22 戶外日光實驗日光照射區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對應紫外光指數(x₁)、環境乾球溫度(x₂)、環境黑球溫度(x₃)、環境相對濕度(x₄)、環境風速(x₅)、使用防曬乳液與否(x₆)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數

(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

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

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

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

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

表 4-23 與表 4-24 分別為戶外日光實驗戶外陰涼區之前臂外側(直接遭受日光曝曬，曝曬點)與上臂內測(未直接遭受日光曝曬，對照點)皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到皮膚溫度之複相關係數為曝曬點與控制點所量測生理指標迴歸中最高值(曝曬點 $r = 0.740$ ；控制點 $r = 0.709$)，顯示皮膚溫度複迴歸方程式具較高之代表性。皮膚曝曬點與控制點之 SBFC 與皮膚濕度複相關係數皆偏低($r <$

表 4-23 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境乾球溫度(x₁)、環境黑球溫度(x₂)、環境相對濕度(x₃)、環境風速(x₄)、使用防曬乳液與否(x₅)^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)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = -1.398x_1 + 0.041x_2 + 0.206x_3 + 2.336x_4 + 3.387x_5 + 60.621$	0.160	0.025	0.001	0.393	2.827
TEWL	$y = 3.173x_1 + 0.175x_2 - 0.312x_3 - 4.596x_4 - 9.469x_5 - 53.944$	0.463	0.215	0.196	<0.001 ^e	2.738
Skin temp	$y = 0.388x_1 + 0.200x_2 - 0.022x_3 - 0.121x_4 - 0.065x_5 + 15.520$	0.740	0.547	0.537	<0.001 ^e	2.738
Skin moisture	$y = 130.805x_1 - 13.724x_2 + 11.271x_3 - 104.861x_4 + 15.319x_5 - 3587.338$	0.193	0.037	0.015	0.147	2.738
TSV	$y = 0.164x_1 + 0.001x_2 - 0.010x_3 - 0.047x_4 + 0.361x_5 - 4.364$	0.310	0.096	0.075	0.001 ^e	2.738

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

表 4-24 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標^a對應環境乾球溫度(x₁)、環境黑球溫度(x₂)、環境相對濕度(x₃)、環境風速(x₄)、使用防曬乳液與否(x₅)^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)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與

統計檢定

多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = -4.87x_1 - 0.80x_2 + 0.16x_3 + 6.59x_4 + 10.30x_5 + 206.56$	0.305	0.093	0.071	0.001 ^e	2.827
TEWL	$y = 1.51x_1 + 0.61x_2 - 0.37x_3 - 3.48x_4 - 6.27x_5 - 16.10$	0.421	0.177	0.158	< 0.001 ^e	2.738
Skin temp	$y = 0.40x_1 + 0.04x_2 - 0.03x_3 - 0.18x_4 - 0.06x_5 + 20.65$	0.709	0.502	0.491	< 0.001 ^e	2.738
Skin moisture	$y = 117.11x_1 + 4.45x_2 + 16.00x_3 - 135.46x_4 + 22.34x_5 - 4078.62$	0.196	0.038	0.016	0.136	2.738

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

0.50)，但曝曬點與控制點之線性關係卻呈現相異結果。曝曬點與控制點之 SBFC p -value 分別為 0.393 及 0.001；曝曬點與控制點之皮膚濕度 p -value 分別為 0.147 及 < 0.001 。在主觀感知方面，複迴歸方程式之線性關係不高($r = 0.310$)，但達統計顯著差異(p -value < 0.001)。各複迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 均低於 10，顯示複迴歸方程式中共線性問題低。

表 4-25 與表 4-26 分別為戶外日光實驗戶外陰涼區之前臂外側(直接遭受日光曝曬，曝曬點)與上臂內測(未直接遭受日光曝曬，對照點)皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之標準化多項式複迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。曝曬點部份：SBFC 與皮膚濕度經標準化後複迴歸方程式，檢定結果未達統計顯著差異(p -value 分別為 0.3930、0.147)；控制點部份：皮膚濕度經標準化後複迴歸方程式，檢定結果未達統計顯著差異(p -value = 0.136)。以上結果顯示：多項式複迴歸無法適切分析曝曬點之 SBFC 和皮膚濕度、控制點之皮膚濕度與本研究所囊括影響因子間之關係，或本研究所選擇之環境物理因子無法完全解釋在戶外陰涼區熱環境之變化。環境物理因子與使用防曬乳液與否對於皮膚曝曬點與控制點生理變化產生影響之方式多數一致；

表 4-25 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境乾球溫度(x₁)、環境黑球溫度(x₂)、環境相對濕度(x₃)、環境風速(x₄)、使用防曬乳液與否(x₅)^b 之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共

線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

標準化多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = -0.080x_1 + 0.004x_2 + 0.064x_3 + 0.063x_4 + 0.099x_5$	0.160	0.025	0.001	0.393	2.827
TEWL	$y = 0.220x_1 + 0.020x_2 - 0.138x_3 - 0.147x_4 - 0.335x_5$	0.463	0.215	0.196	< 0.001 ^e	2.738
Skin temp	$y = 0.378x_1 + 0.322x_2 - 0.136x_3 - 0.055x_4 - 0.0327x_5$	0.740	0.547	0.537	< 0.001 ^e	2.738
Skin moisture	$y = 0.364x_1 - 0.063x_2 + 0.200x_3 - 0.134x_4 + 0.022x_5$	0.193	0.037	0.015	0.147	2.738
TSV	$y = 0.181x_1 + 0.001x_2 - 0.069x_3 - 0.024x_4 + 0.202x_5$	0.310	0.096	0.075	0.001 ^e	2.738

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

表 4-26 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標^a對應環境乾球溫度(x₁)、環境黑球溫度(x₂)、環境相對濕度(x₃)、環境風速(x₄)、使用防曬乳液與否(x₅)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

	標準化多項式複迴歸方程式	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = -0.19x_1 - 0.05x_2 + 0.03x_3 + 0.12x_4 + 0.21x_5$	0.305	0.093	0.071	0.001 ^e	2.827
TEWL	$y = 0.12x_1 + 0.08x_2 - 0.19x_3 - 1.31x_4 - 0.26x_5$	0.421	0.177	0.158	< 0.001 ^e	2.738
Skin temp	$y = 0.50x_1 + 0.08x_2 - 0.22x_3 - 0.10x_4 - 0.04x_5$	0.709	0.502	0.491	< 0.001 ^e	2.738
Skin moisture	$y = 0.30x_1 + 0.02x_2 + 0.26x_3 - 0.16x_4 + 0.03x_5$	0.196	0.038	0.016	0.136	2.738

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

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

例外者為皮膚溫度在曝曬點與對照點受到環境風速之影響相異(曝曬點 slope 為 0.002；控制點 slope 則為-0.009)，此現象可推估於衣物遮蓋與否產生之差異。

表 4-27 與表 4-28 分別為日光實驗戶外陰涼區之前臂外側(直接遭受日光曝曬，曝曬點)與上臂內測(未直接遭受日光曝曬，對照點)皮膚生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之逐步迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。由表中可觀察到複迴歸方程式藉由逐步迴歸法修正後，曝曬點 TEWL 變化僅受環境相對濕度與使用防曬乳液與否影響，相關係數為 0.439，且統計檢定結果達顯著差異(p -value < 0.001)。就曝曬點皮膚溫度而言，其變化受環境乾球溫度與環境黑球溫度影響， r 分別為 0.730 與 0.533，統計檢定結果達顯著差異(p -value < 0.001)。TSV 藉由逐步迴歸法修正後，則是受環境乾球溫度與使用防曬乳液與否影響較大，相關係數為 0.304，統計檢定結果達顯著差異(p -value = 0.001)。各複迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 均低於 10，顯示複迴歸方程式中共線性問題低。

表 4-29 與表 4-30 分別為戶外日光實驗戶外陰涼區之前臂外側(直接遭受日光曝曬，曝曬點)與上臂內測(未直接遭受日光曝曬，對照點)皮膚

表 4-27 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a對環境乾球溫度(x₁)、環境黑球溫度(x₂)、環境相對濕度(x₃)、環境風速(x₄)、使用防曬乳液與否(x₅)^b之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj.

R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

多項式複迴歸方程式逐步迴歸法		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	$y = -1.398x_1 + 0.041x_2 + 0.206x_3 + 2.336x_4 + 3.387x_5 + 60.621$	0.160	0.025	0.006	0.267	2.054
TEWL	$y = -0.68x_3 - 9.28x_5 - 76.27$	0.439	0.193	0.185	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.52x_1 + 0.16x_2 + 9.42$	0.730	0.533	0.529	< 0.001 ^e	2.940
Skin moisture	$y = 130.805x_1 - 13.724x_2 + 11.271x_3 - 104.861x_4 + 15.319x_5 - 3587.338$	0.190	0.036	0.018	0.094	2.221
TSV	$y = 0.20x_1 + 0.36x_4 - 6.23$	0.304	0.092	0.086	< 0.001 ^e	1.000

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

表 4-28 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標^a對應環境乾球溫度(x_1)、環境黑球溫度(x_2)、環境相對濕

度(x_3)、環境風速(x_4)、使用防曬乳液與否(x_5)^b之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴

歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性

診斷(collinearity diagnostics)^c與統計檢定

	多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^d	VIF
SBFC	$y = -5.27x_1 + 10.00x_5 + 207.56$	0.284	0.081	0.072	< 0.001 ^e	1.000
TEWL	$y = -0.61x_3 - 6.17x_5 + 66.52$	0.402	0.161	0.154	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.55x_1 + 15.17$	0.680	0.463	0.460	< 0.001 ^e	1.000
Skin moisture	$y = 117.11x_1 + 4.45x_2 + 16.00x_3 - 135.46x_4 + 22.34x_5 - 4078.62$	0.190	0.036	0.018	0.094	2.221

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式與標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p -value < 0.05

表 4-29 戶外日光實驗戶外陰涼區前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境乾球溫度(x_1)、環境黑球溫度(x_2)、環境相對濕度(x_3)、環境風速(x_4)、使用防曬乳液與否(x_5)^b 之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法		r	R^2	Adj. R^2	p -value ^d	VIF
SBFC	$y = -0.080x_1 + 0.004x_2 + 0.064x_3 + 0.063x_4 + 0.099x_5$	0.160	0.025	0.006	0.267	2.054
TEWL	$y = -0.30x_3 - 0.33x_5$	0.439	0.193	0.185	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.08x_1 + 0.05x_2$	0.730	0.533	0.529	< 0.001 ^e	2.940
Skin moisture	$y = 0.364x_1 - 0.063x_2 + 0.200x_3 - 0.134x_4 + 0.022x_5$	0.190	0.036	0.018	0.094	2.221
TSV	$y = 0.22x_1 + 0.20x_5$	0.304	0.092	0.086	< 0.001 ^e	1.000

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

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法是否具有線性關係

^e p -value < 0.05

表 4-30 戶外日光實驗戶外陰涼區上臂內側皮膚生理指標^a對應環境乾球溫度(x_1)、環境黑球溫度(x_2)、環境相對濕度(x_3)、環境風速(x_4)、使用防曬乳液與否(x_5)^b之標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(Collinearity diagnostics)^c與統計檢定

標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法

	標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^d	VIF
SBFC	$y = -0.21x_1 + 0.20x_5$	0.284	0.081	0.072	< 0.001 ^e	1.000
TEWL	$y = -0.32x_3 - 0.26x_5$	0.402	0.161	0.154	< 0.001 ^e	1.001
Skin temp	$y = 0.68x_1$	0.680	0.463	0.460	< 0.001 ^e	1.000
Skin moisture	$y = 0.30x_1 + 0.02x_2 + 0.26x_3 - 0.16x_4 + 0.03x_5$	0.190	0.036	0.018	0.094	2.221

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

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p -value < 0.05

生理指標(含 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及皮膚濕度值)及主觀熱感知(TSV 值)對應環境乾球溫度、環境黑球溫度、環境相對濕度、環境風速、以及使用防曬乳液與否之標準化逐步迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。標準化過程為去除單位可能造成之影響。從迴歸係數上可發現，環境相對濕度與使用防曬乳液與否最能影響 TEWL 測量值(slope 分別為-0.30 與-0.33)、環境乾球溫度與環境黑球溫度對皮膚溫度之影響測量最大(slope 分別為 0.08 與 0.05)、環境乾球溫度與使用防曬乳液與否則最能影響 TSV 測量值(slope 0.22 與 0.20)。控制點皮膚測量結果方面：環境乾球溫度與使用防曬乳液與否最能影響 SBFC 測量值(slope 分別為-0.21 與 0.20)、環境相對濕度與使用防曬乳液與否對 TEWL 影響最大(slope 分別為-0.32 與-0.26)、環境乾球溫度最能影響皮膚溫度測量值(slope = 0.68)。

表 4-31 與表 4-32 分別為戶外日光實驗之前臂外側皮膚生理指標(含 E-index 與 M-index)對應紫外光指數(UVI)與累積性日光紫外線(irradiance)、以及使用防曬乳液與否之多項式複迴歸、標準化多項式複迴歸、逐步迴歸方程式、標準化逐步迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。標準化過程為去除單位可能造成之影響。E-index 部份，從迴歸係數上可發現，經由標準化逐步迴歸分析結果為，使用防曬乳液與否對 E-index 影響最大(slope = -1.584)，

表 4-31 戶外日光實驗前臂外側皮膚生理指標^a對應紫外光指數(UVD)(x₁)、累積性日光紫外線(irradiance)(x₂)、使用防曬乳液與否(x₃)^b之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)、標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(Collinearity diagnostics)^c與統計檢定

多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
E-index	$y = 0.145x_1 + 0.001x_2 - 1.426x_3 + 13.999$	0.289	0.083	0.070	< 0.001 ^e	1.116
M-index	$y = -0.210x_1 + 0.001x_2 - 0.802x_3 + 33.780$	0.051	0.003	0.001	0.907	1.116
標準化多項式複迴歸方程式		r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
E-index	$y = 0.068x_1 + 0.114x_2 - 0.238x_3$	0.289	0.083	0.070	< 0.001 ^e	1.116
M-index	$y = -0.030x_1 - 0.014x_2 - 0.041x_3$	0.051	0.003	0.001	0.907	1.116

^a 測量皮膚生理指標包括：紅斑指數(erythema-index, E-index)、以及黑色素指數(melanin-index, M-index)

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

表 4-32 戶外日光實驗前臂外側皮膚生理指標^a對應紫外光指數(UVI)(x₁)、累積性日光紫外線(irradiance)(x₂)、使用防曬乳液與否(x₃)^b之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted R², Adj. R²)、共線性診斷(Collinearity diagnostics)^c與統計檢定

	多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
E-index	$y = -1.584x_3 + 15.199$	0.264	0.070	0.065	< 0.001 ^e	1.000
M-index	$y = -0.210x_1 + 0.001x_2 - 0.802x_3 + 33.780$	0.051	0.003	0.001	0.907	1.116
	標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
E-index	$y = -0.264x_3$	0.264	0.070	0.065	< 0.001 ^e	1.000
M-index	$y = -0.030x_1 - 0.014x_2 - 0.041x_3$	0.051	0.003	0.001	0.907	1.116

^a 測量皮膚生理指標包括：紅斑指數(erythema-index, E-index)、以及黑素指數(melanin-index, M-index)

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

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

^d 檢定標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p-value < 0.05

且線性達統計顯著性(p -value < 0.001)。以上結論，使用防曬乳液提供皮膚遭受紫外線曝曬時之防護效果，故可以降低日曬後曬紅之皮膚傷害。M-index 部份，經標準化後複迴歸方程式，檢定結果未達統計顯著差異(p -value = 0.907)。以上結果顯示：多項式複迴歸分別無法適切分析 M-index 與本研究所囊括影響因子間之關係。

4.1.8 日光曝曬與否皮膚生理指標變化之比較

實驗組與控制組人員於戶外實驗日光照射區與戶外陰涼區測量所得前臂外側各皮膚生理指標值進一步以威爾考克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)⁽⁸⁴⁾評估戶外實驗不同區域所得之皮膚生理指標測量值間是否具統計顯著差異，以評估有無日光紫外線照射對於人體皮膚生理指標之異同。檢定結果見表 4-33 至 4-36；表 4-33 與 4-34 為威爾考克森符號等級檢定之 Z 檢定統計量與顯著性分析；表 4-35 與表 4-36 則為各生理指標值檢定時之正、負等級(positive and negative ranks)分佈及等級總和(sum of ranks)。

由上表得知，實驗組與控制組在戶外陰涼區之 SBFC 測量值一般而言大於在日光照射區之數值，且差異達統計顯著性(p -value 皆為 < 0.001)，亦即不論使用防曬乳液與否在戶外陰涼區之 SBFC 測量值大於在日光照射區。實驗組與控制組在日光照射區之 TEWL 與皮膚溫度測量

表 4-33 日光照射區與戶外陰涼區實驗組前臂外側皮膚生理指標之威爾考克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)統計量與檢定結果

戶外陰涼區測量值減日光照射區測量值之差額		
SBFC	Z 檢定	-5.115 ^a
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
TEWL	Z 檢定	-8.818 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
皮膚溫度	Z 檢定	-8.855 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
皮膚濕度	Z 檢定	-0.230 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	0.818
E-index	Z 檢定	-3.258 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	0.001 ^c
M-index	Z 檢定	-1.585 ^a
	漸近顯著性(雙尾)	0.113

^a 以負等級為基礎

^b 以正等級為基礎

^c p -value < 0.05

表 4-34 日光照射區與戶外陰涼區控制組前臂外側皮膚生理指標之威爾

考克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)統計量與統計檢

定

戶外陰涼區測量值減日光照射區測量值之差額		
SBFC	Z 檢定	-6.209 ^a
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
TEWL	Z 檢定	-9.053 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
皮膚溫度	Z 檢定	-9.062 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
皮膚濕度	Z 檢定	-0.564 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	0.573
E-index	Z 檢定	-4.118 ^b
	漸近顯著性(雙尾)	< 0.001 ^c
M-index	Z 檢定	-1.017 ^a
	漸近顯著性(雙尾)	0.309

^a 以負等級為基礎

^b 以正等級為基礎

^c p -value < 0.05

表 4-35 日光照射區與戶外陰涼區實驗組前臂外側皮膚生理指標之威

爾考克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)等級表

		個數	等級平均數	等級總合
SBFC ^a	負等級 ^b	25 ^b	34.98	874.5
	正等級 ^c	68 ^c	51.42	3496.5
	等值結 ^d	2 ^d		
	總合	95		
TEWL ^a	負等級 ^b	103 ^b	56.50	5820
	正等級 ^c	5 ^c	13.2	66
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		
皮膚溫度 ^a	負等級 ^b	102 ^b	57.18	5832
	正等級 ^c	6 ^c	9	54
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		
皮膚濕度 ^a	負等級 ^b	57 ^b	52.95	3018
	正等級 ^c	51 ^c	56.24	2868
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		
E-index ^a	負等級 ^b	65 ^b	61.63	4006
	正等級 ^c	43 ^c	43.72	1880
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		
M-index ^a	負等級 ^b	49 ^b	49.51	2426
	正等級 ^c	59 ^c	58.64	3460
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		

^a 戶外陰涼區測量值減日光照射區測量值之差額

^b 戶外陰涼區測量值 < 日光照射區測量值

^c 戶外陰涼區測量值 > 日光照射區測量值

^d 戶外陰涼區測量值 = 日光照射區測量值

表 4-36 日光照射區與戶外陰涼區控制組前臂外側皮膚生理指標之威

爾考克森符號等級檢定(Wilcoxon signed-rank test)等級表

		個數	等級平均數	等級總合
SBFC ^a	負等級 ^b	22 ^b	34.84	766.5
	正等級 ^c	80 ^c	56.08	4486.5
	等值結 ^d	1 ^d		
	總合	103		
TEWL ^a	負等級 ^b	107 ^b	56	5992
	正等級 ^c	2 ^c	1.5	3
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	109		
皮膚溫度 ^a	負等級 ^b	109 ^b	55	5995
	正等級 ^c	0 ^c	0	0
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	109		
皮膚濕度 ^a	負等級 ^b	61 ^b	52.20	3184
	正等級 ^c	48 ^c	58.56	2811
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	109		
E-index ^a	負等級 ^b	67 ^b	65.07	4359.5
	正等級 ^c	42 ^c	38.94	1635.5
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	108		
M-index ^a	負等級 ^b	66 ^b	50.52	3334
	正等級 ^c	43 ^c	61.88	2661
	等值結 ^d	0 ^d		
	總合	109		

^a 戶外陰涼區測量值減日光照射區測量值之差額

^b 戶外陰涼區測量值 < 日光照射區測量值

^c 戶外陰涼區測量值 > 日光照射區測量值

^d 戶外陰涼區測量值 = 日光照射區測量值

值多數大於在戶外陰涼區之數值，此差異達統計顯著性(p -value 皆為 < 0.001)，亦即不論使用防曬乳液與否在日光照射區之 TEWL 與皮膚溫度測量值大於在戶外陰涼區。而檢定實驗組與控制組於日光照射區與戶外陰涼區皮膚濕度測量則為無統計顯著性(p -value 分別為 0.818 與 0.573)；亦即使用防曬乳液與否對日光輻射影響皮膚濕度之能力不造成改變。實驗組與控制組在日光照射區之 E-index 測量值多數大於在戶外陰涼區之數值，且差異達統計顯著性(p -value 皆為 < 0.001)，亦即不論使用防曬乳液與否在日光照射區之 E-index 測量值皆大於在戶外陰涼區；檢定實驗組與控制組於日光照射區與戶外陰涼區 M-index 測量則為無統計顯著性(p -value 分別為 0.113 與 0.309)。

綜合以上結論，不論使用防曬與否，SBFC、TEWL、皮膚溫度、及 E-index 在遭受日光直接照射 10 分鐘會產生顯著變化。日光照射區之 SBFC 測量值顯著小於戶外陰涼區測量值，顯示 SBFC 並非紫外線輻射生成健康危害之適當生理指標。TEWL、皮膚溫度、及 E-index 於日光照射區之測量值均顯著大於戶外陰涼區：TEWL 值在皮膚遭受日光直接照射 10 分鐘後上升之現象可能與皮膚障壁功能暫時減損有關；該現象至戶外陰涼區(兩區實驗時間間隔為 2 小時)則呈現舒緩。皮膚溫度於日光照射區之測量值大於戶外陰涼區數值之可能原因則為：在日光照射區受測者不僅遭受紫外線曝曬，同時亦受太陽輻射熱的劇烈影響，因此皮

膚溫度在日光照射區上升與在戶外陰涼區相較較為顯著。前臂外側皮膚因在日光照射區遭受日光紫外線曝曬導致皮膚產生較強烈之散熱需求或暫時性之發炎徵狀，進而使得紅斑生成現象產生，此現象至戶外陰涼區亦有舒緩之現象。



第二節 暴露艙實驗結果

4.2.1 室內環境熱因子對皮膚微血流變化量之影響

圖 4-85 所示為實驗組與控制組之前臂外側 SBFC 隨環境溫、濕度改變產生之變化。受試人員(含實驗組與控制組)之 SBFC 明顯受環境溫度影響：隨環境溫度升高，SBFC 亦相對呈現上升趨勢，但變異量也隨之增加。其中實驗組於 31°C 之熱環境，SBFC 變異量尤為顯著；該狀況在控制組亦有發現。與環境溫度相較，環境相對濕度對於 SBFC 之影響較弱。

在不同環境溫濕度組合狀況下，實驗組與控制組間前臂外側 SBFC 透過計算實驗組－控制組比值(表 4-37)、並以 Student's *t* test 檢定使用防曬乳液與否對 SBFC 之影響是否具顯著差異。比較結果發現：實驗組受試者皮膚 SBFC 大多高於控制組(實驗組－控制組比值：0.67-1.54)，且不同組別間之 SBFC 達顯著統計差異(p -value = 0.012)。

此外另探討環境物理因子變化量對不同組別間 SBFC 之差異是否產生影響。實驗組部份：前臂外側皮膚之 SBFC 在相同相對濕度下隨不同環境溫度之變化以 one-way ANOVA 檢定(表 4-38)。當環境相對濕度為 45%及 75%時，環境溫度之變化可顯著影響 SBFC 之變化(相對濕度 45%及 75%之 p -value 分別為 0.014 與 0.004)。若進一步以 Scheffé's 多重比較可發現：於環境濕度 75%狀況下，環境溫度 22°C 與 31°C 所測得之前臂

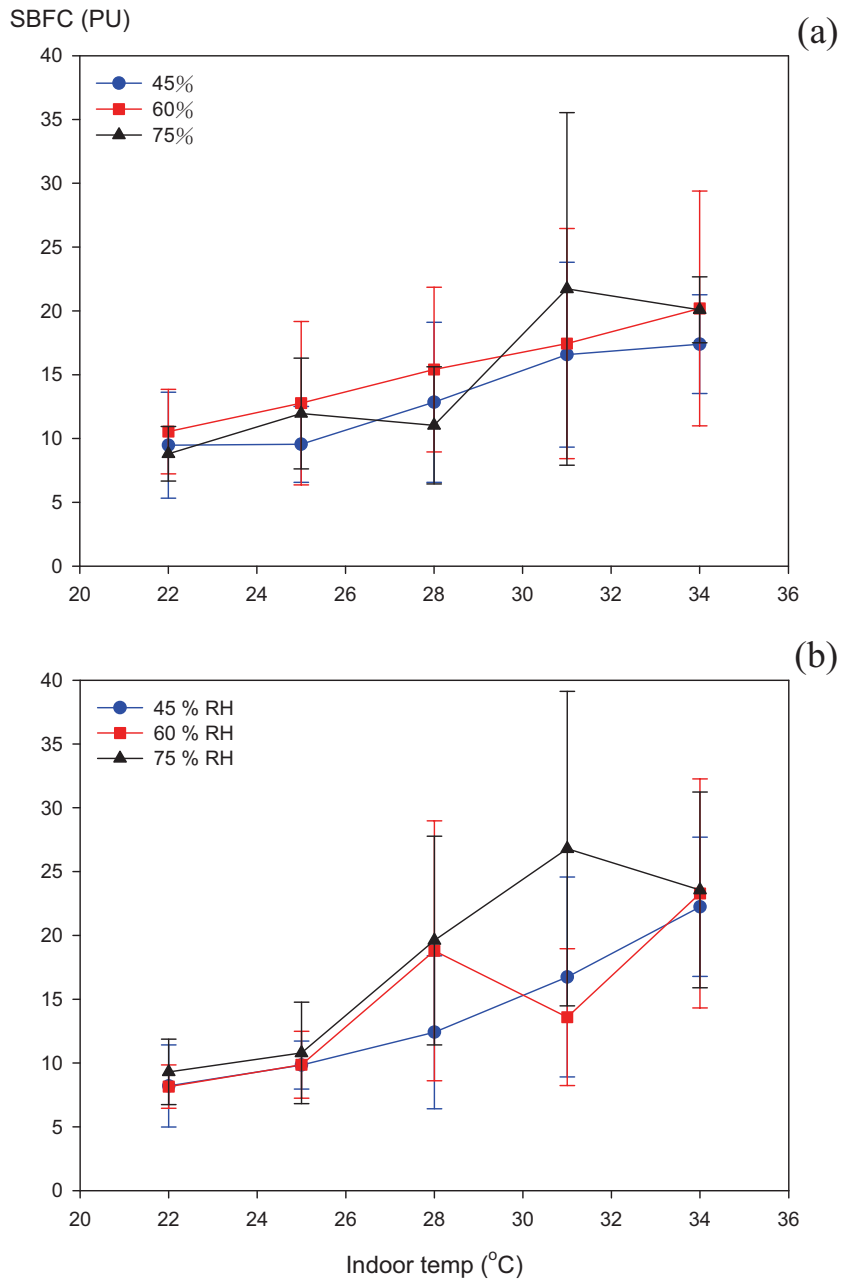


圖 4-85 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值, 誤差線為標準差): (a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-37 實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未使用防曬乳液)之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

溫度	濕度	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
22°C	45%	9.47 ± 4.15	8.20 ± 3.22	1.31 ± 0.72	0.463
	60%	10.54 ± 3.31	8.15 ± 1.70	1.33 ± 0.48	0.442
	75%	8.80 ± 2.13	9.30 ± 2.57	1.04 ± 0.45	0.768
25°C	45%	9.54 ± 2.98	9.84 ± 1.89	1.01 ± 0.36	0.175
	60%	12.77 ± 6.41	9.86 ± 2.62	1.42 ± 0.84	0.254
	75%	11.96 ± 4.34	10.79 ± 3.98	1.22 ± 0.57	0.838
28°C	45%	12.84 ± 6.27	12.41 ± 6.00	1.22 ± 0.72	0.764
	60%	15.40 ± 6.45	18.79 ± 10.18	1.09 ± 0.77	0.178
	75%	11.03 ± 4.59	19.60 ± 8.18	0.67 ± 0.39	0.035 ^c
31°C	45%	16.57 ± 7.25	16.74 ± 7.83	1.27 ± 0.85	0.773
	60%	17.44 ± 9.02	13.59 ± 5.37	1.54 ± 1.19	0.420
	75%	21.73 ± 13.82	26.80 ± 12.32	0.93 ± 0.67	0.661
34°C	45%	17.39 ± 3.87	22.24 ± 5.46	0.82 ± 0.25	0.699
	60%	20.19 ± 9.20	23.29 ± 8.97	1.04 ± 0.68	0.538
	75%	20.09 ± 2.58	23.56 ± 7.67	0.96 ± 0.39	0.041 ^c

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 SBFC 差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

表 4-38 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側皮膚微血流變化量(skin

blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較		60%之 Scheffé's 多重比較		75%之 Scheffé's 多重比較	
F-value	p-value	25°C	22°C	25°C	22°C	25°C	22°C
45%	3.707	0.014 ^b		1.000		0.987	
60%	1.939	0.130		0.825		0.809	
75%	4.854	0.004 ^b		0.185		0.533	
			25°C		25°C		25°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C
			25°C		25°C		25°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C
			28°C		28°C		28°C
			31°C		31°C		31°C
			34°C		34°C		34°C

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

^b p-value < 0.05

外側 SBFC 之量測值達顯著差異(p -value = 0.033)；於相同環境溫度但不同濕度下前臂外側皮膚之 SBFC 以 one-way ANOVA 檢定(表 4-39)結果顯示，實驗組前臂外側 SBFC 不受濕度影響。

在控制組部分：於相同相對濕度時，不同環境溫度狀況下，前臂外側皮膚之 SBFC 以 one-way ANOVA 檢定(表 4-40)結果為具統計顯著性(p -value < 0.05)，顯示環境濕度可顯著地影響 SBFC 之變化。進一步以 Scheffé's 多重比較發現：於低濕環境(環境相對濕度為 45%)狀況下，低、中溫(環境溫度為 22、25、及 28°C)相對高溫(環境溫度為 34°C)之前臂外側 SBFC 皆達統計顯著性；於環境相對濕度為 60%狀況下，低溫(環境溫度為 22 與 25°C)相對高溫(34°C)之前臂外側 SBFC 量測值亦皆達統計顯著性。在高濕環境(75%)下，環境溫度為 22°C 對應 31 與 34°C、與 25°C 對應 28 與 31°C 時，前臂外側 SBFC 之量測值達統計顯著性。在相同環境溫度不同濕度下，前臂外側皮膚之 SBFC 以 one-way ANOVA 檢定(表 4-41)結果顯示：環境溫度為 31°C 時不同相對濕度狀況測量所得之 SBFC 數值間具統計顯著差異(p -value = 0.033)；多重性比較則顯示當環境相對濕度為 60%對應 75%狀況下，控制組前臂外側 SBFC 之量測值差異達統計顯著性。因實驗組有使用防曬乳液，提供皮膚保溼、涼膚之等功能，故實驗組之 SBFC 除不受環境相對濕度影響，受環境溫度影響亦不明顯；控制組之 SBFC 則顯著地受到環境溫度影響，但不受濕度之影響。

表 4-39 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚微血流變化量(skin

blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's		25°C 之 Scheffé's		28°C 之 Scheffé's		31°C 之 Scheffé's		34°C 之 Scheffé's		
	F-value	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	
22°C	0.496	0.617	45% 60%	0.833	45% 60%	0.466	45% 60%	0.718	45% 60%	0.988	45% 60%
25°C	0.861	0.439	75%	0.931	75%	0.648	75%	0.845	75%	0.657	75%
28°C	0.994	0.390	60% 75%	0.833	60% 75%	0.951	60% 75%	0.393	60% 75%	0.747	60% 75%
31°C	0.493	0.619									
34°C	0.499	0.615									

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

^b p-value < 0.05

表 4-40 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側皮膚微血流變化量(skin

blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較		60%之 Scheffé's 多重比較		75%之 Scheffé's 多重比較	
F-value	p-value	25°C	22°C	22°C	25°C	22°C	25°C
45%	< 0.001 ^b	25°C	22°C	22°C	25°C	22°C	25°C
60%	0.001 ^b	28°C	0.700	28°C	0.091	28°C	0.214
75%	< 0.001 ^b	31°C	0.086	31°C	0.680	31°C	0.006 ^b
		34°C	0.001 ^b	34°C	0.006 ^b	34°C	0.036 ^b
25°C	0.934	28°C	0.934	25°C	0.209	25°C	0.360
		31°C	0.234	31°C	0.893	31°C	0.014 ^b
28°C	0.004 ^b	34°C	0.004 ^b	34°C	0.018 ^b	34°C	0.074
		31°C	0.679	28°C	0.714	28°C	0.562
34°C	0.034 ^b	34°C	0.034 ^b	34°C	0.809	34°C	0.920
		31°C	0.455	31°C	0.146	31°C	0.960

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

^b p-value < 0.05

表 4-41 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚微血流變化量(skin

blood flow change, SBFC)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's		25°C 之 Scheffé's		25°C 之 Scheffé's		31°C 之 Scheffé's		34°C 之 Scheffé's	
	F-value	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value
22°C	0.444	0.648	45% 60%	1.000	45% 60%	0.010 ^b 0.376	45% 60%	0.376 0.808	45% 60%	0.808 0.967
25°C	0.233	0.794	75%	0.730	75%	0.839	75%	0.294	75%	0.140
28°C	1.574	0.234	60%	0.712	60%	0.843	60%	0.983	60%	0.042 ^b
31°C	4.134	0.033 ^b								
34°C	0.060	0.942								0.998

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

^b p-value < 0.05

為比較環境溫度與環境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環境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實驗組與控制組人員前臂外側之 SBFC 變化趨勢(圖 4-86)。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 由小到大依序為環境相對濕度 45、60 與 75%。如圖所示：實驗組與控制組受測人員前臂外側之 SBFC 皆呈現階梯式上揚趨勢。SBFC 最高數值皆出現於 WBGT 為 27.18°C(環境溫度 34°C、環境相對濕度 45%)。由圖得知，不論使用防曬乳液與否，在 WBGT 值逾 22°C 後，隨著 WBGT 值上升，皮膚 SBFC 皆呈增加趨勢，且 SBFC 之變異幅度明顯加大。以上結果顯示 SBFC 作為反應熱環境對人體影響之生理指標具侷限性；其中、高 WBGT 狀況下穩定性不足，難以作為量化指標。

除觀察 SBFC 連續走勢外，SBFC 與 WBGT 之對應關係另以散佈圖呈現，並依散佈趨勢進行線性迴歸分析(圖 4-87)。

以下為各散佈圖之迴歸方程式：

實驗組受試人員前臂外側 SBFC 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.90x - 6.69 \quad R^2 = 0.26 \quad (\text{Eq. 4-121})$$

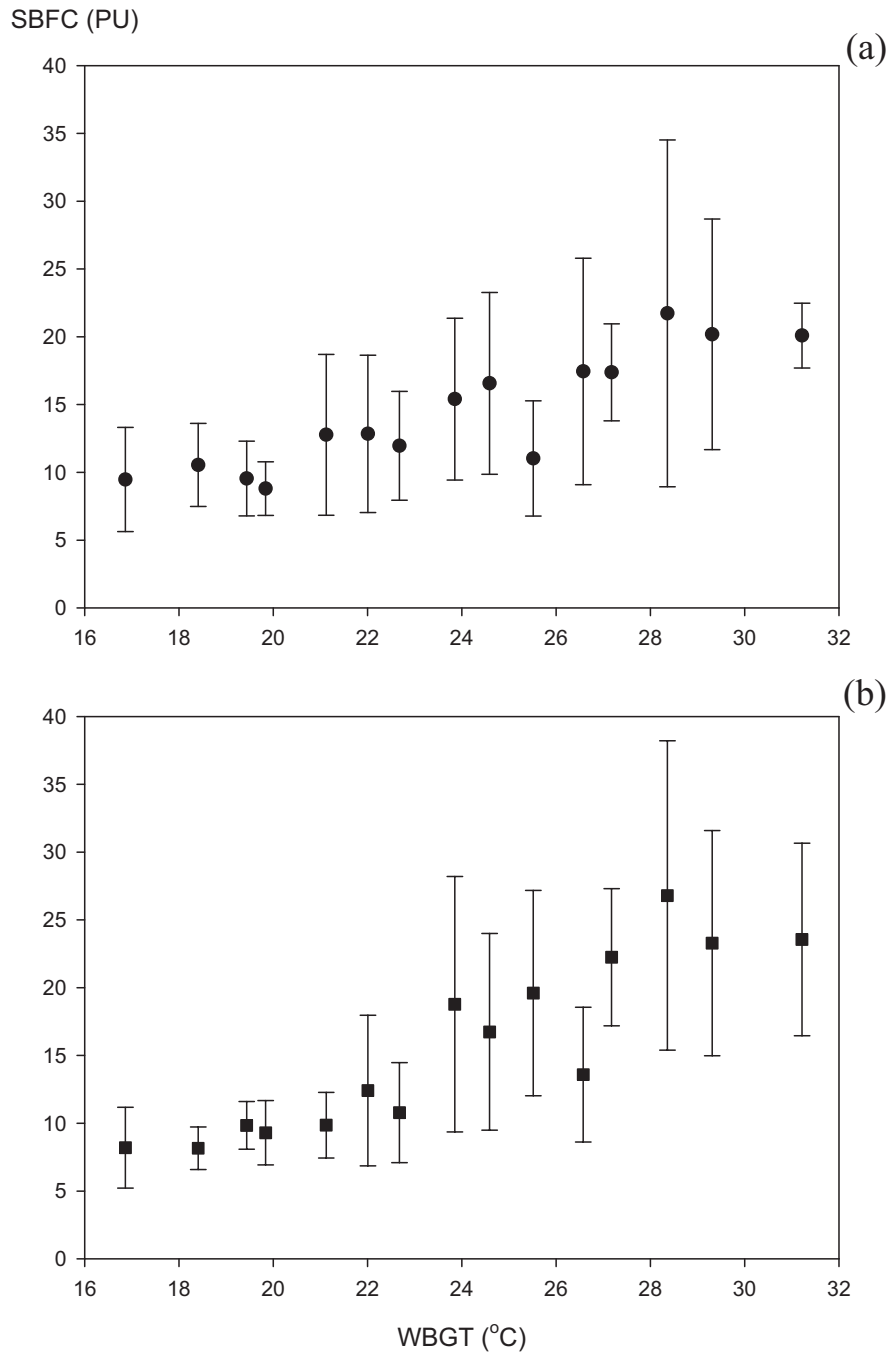


圖 4-86 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

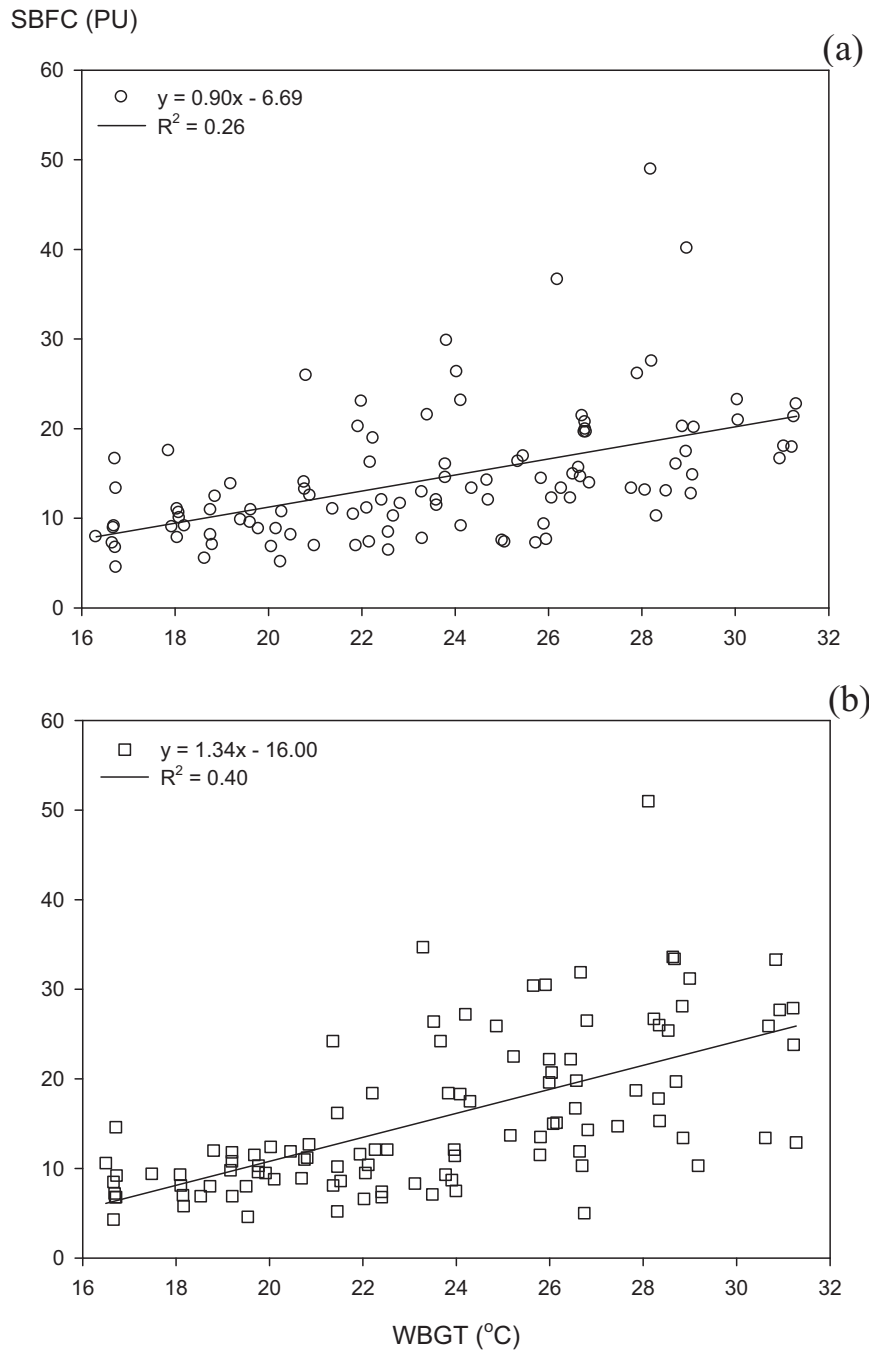


圖 4-87 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

控制組受試前臂外側 SBFC 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.34x - 16.00 \quad R^2 = 0.40 \quad (\text{Eq. 4-122})$$

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

圖 4-88 所示為暴露艙實驗熱舒適問卷調查所得之 TSV 對 SBFC 測量值之分佈。TSV(人體主觀指標)值隨 SBFC(皮膚客觀指標之一)值上升而增加。由前述結果可知，SBFC 與 TSV 隨環境熱因子改變而變化之趨勢接近，亦即室內熱環境改變對人體之影響，可透過客觀之 SBFC 與主觀之 TSV 同步呈現。

4.2.2 室內環境熱因子對經皮水分散失量之影響

圖 4-89 顯示實驗組與控制組之前臂外側 TEWL 隨環境溫度、環境相對濕度改變產生之變化。TEWL 測量值受環境溫度影響，其中控制組之 TEWL 變化幅度較實驗組測量值大。與環境溫度相較，實驗組之 TEWL

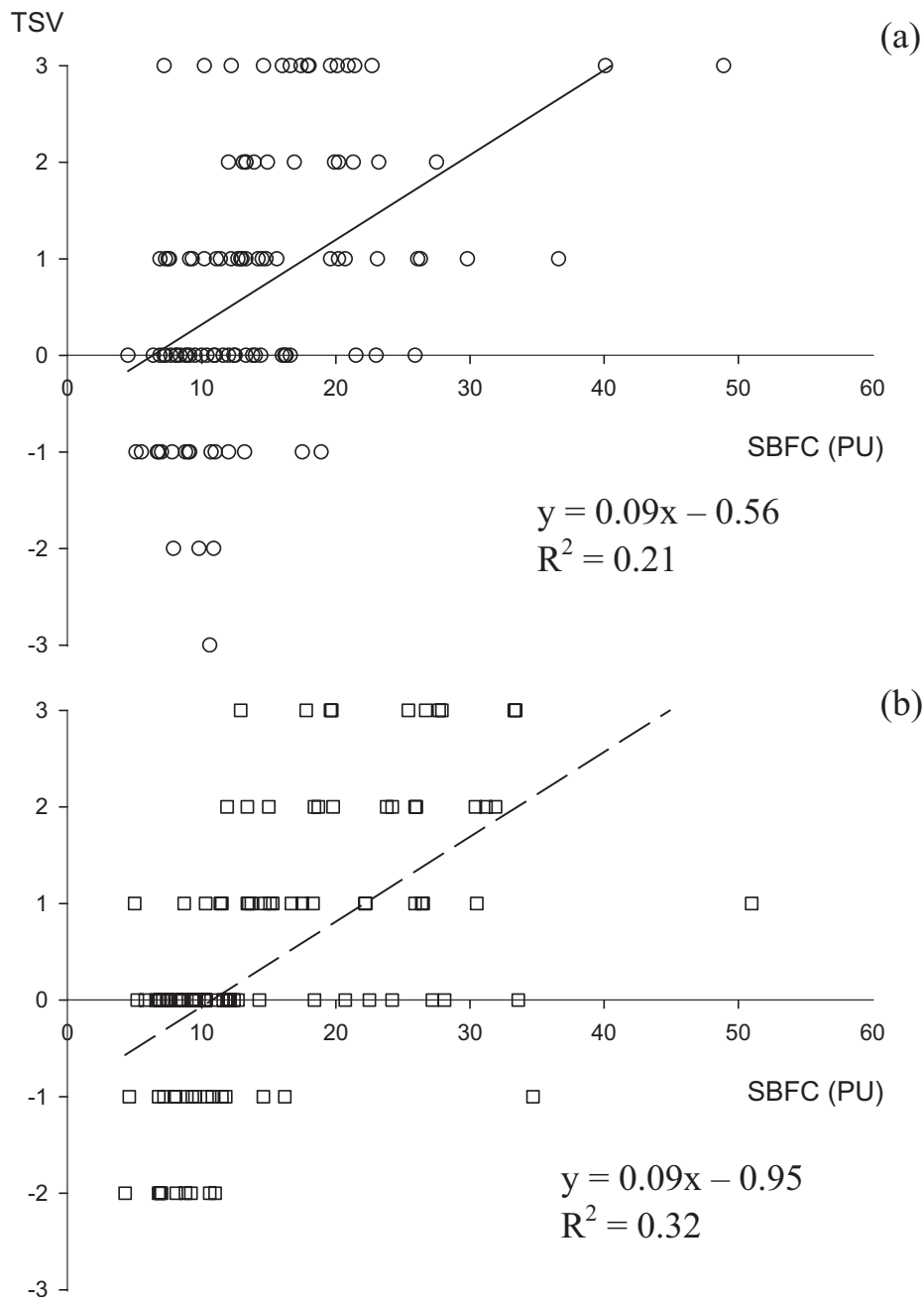


圖 4-88 暴露艙實驗熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應前臂外側皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

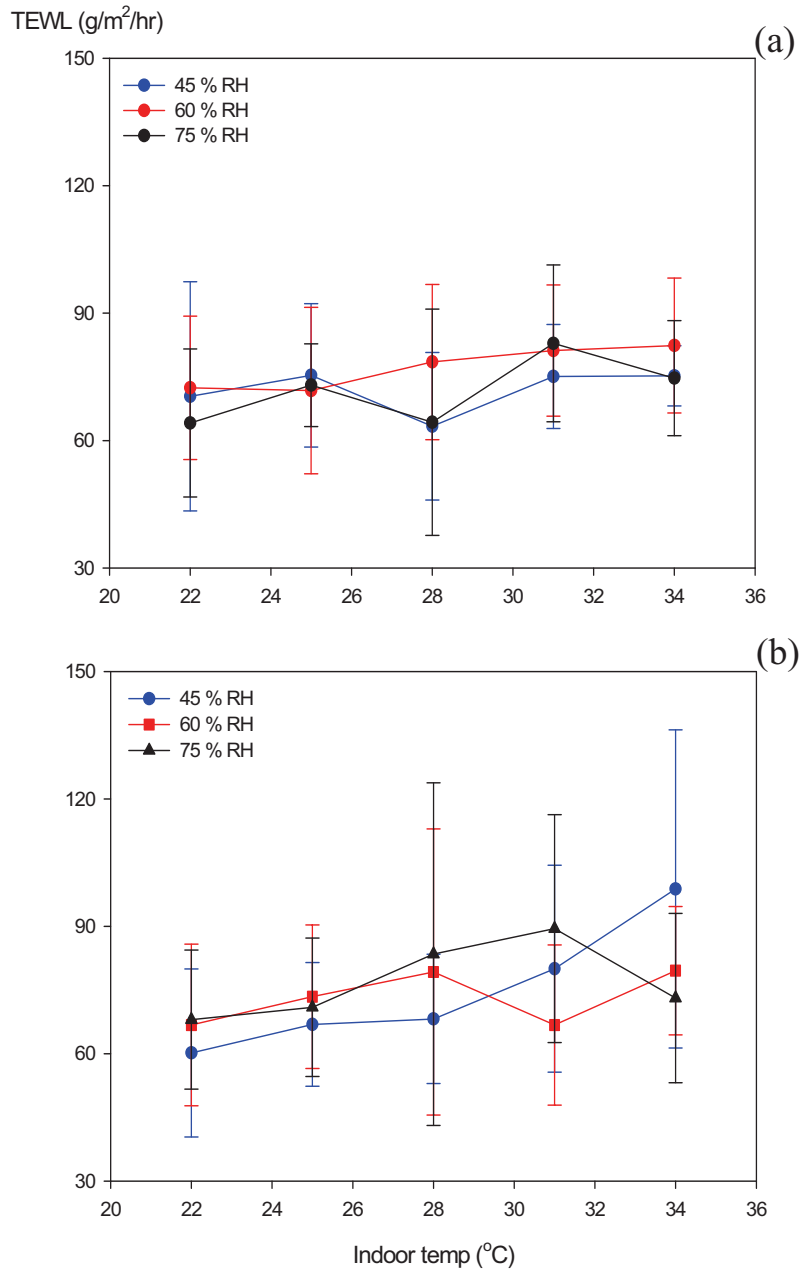


圖 4-89 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值, 誤差線為標準差): (a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

不受環境相對濕度影響；環境溫度為中、低溫(22、25、28°C)時，控制組之 TEWL 測量值會受到環境相對濕度影響，即 TEWL 隨環境相對濕度上升而增加。

在不同溫、濕度組合狀況下，實驗組與控制組間前臂外側 TEWL 透過計算實驗組－控制組比值(表 4-42)及以 Student's *t* test 檢定使用防曬乳液與否間對 TEWL 造成之差異是否具顯著性。比較結果發現：實驗組皮膚 TEWL 大多高於控制組之數值(實驗組－控制組比值：0.76-1.22)，且不同組別間之 TEWL 達顯著統計差異(p -value = 0.022)。

此外另探討不同環境物理因子變化是否對 TEWL 隨防曬乳液使用產生之差異造成影響。在實驗組部份：相同相對濕度但不同環境溫度狀況下，前臂外側皮膚之 TEWL 以 one-way ANOVA 檢定(表 4-43)結果為具統計顯著性(p -value < 0.05)，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：不論在何種環境相對濕度下，於環境溫度 34°C 時所測得之前臂外側皮膚 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。就 TEWL 而言，環境溫度之影響在高溫(> 34°C)較為強烈。於相同環境溫度不同相對濕度下前臂外側皮膚之 TEWL 以 one-way ANOVA 檢定(表 4-44)結果顯示，實驗組前臂外側 TEWL 不受環境相對濕度影響(p -value 皆 > 0.05)。而控制組亦呈現有相同結果(表 4-45 與 4-46)。

表 4-42 實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未使用防曬乳液)之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之經皮水分散失量(trans epidermal water loss, TEWL)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

溫度	濕度	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
22°C	45%	70.41 ± 26.98	60.20 ± 19.77	1.12 ± 0.26	0.104
	60%	72.41 ± 16.87	66.77 ± 19.04	1.11 ± 0.24	0.468
	75%	64.13 ± 17.43	68.03 ± 16.37	1.16 ± 0.36	0.789
25°C	45%	75.36 ± 16.89	66.91 ± 14.57	1.08 ± 0.24	0.025 ^c
	60%	71.77 ± 19.58	73.43 ± 16.90	0.99 ± 0.12	0.413
	75%	73.06 ± 9.74	70.94 ± 16.30	1.13 ± 0.27	0.309
28°C	45%	63.39 ± 17.38	68.20 ± 15.22	0.96 ± 0.15	0.246
	60%	78.51 ± 18.28	79.27 ± 33.70	1.22 ± 0.39	0.270
	75%	64.31 ± 26.65	83.46 ± 40.35	0.97 ± 0.35	0.073
31°C	45%	75.09 ± 12.25	80.01 ± 24.37	1.18 ± 0.49	0.093
	60%	81.19 ± 15.45	66.77 ± 18.87	1.00 ± 0.35	0.464
	75%	82.89 ± 18.47	89.47 ± 26.83	0.76 ± 0.64	0.965
34°C	45%	75.23 ± 7.09	98.80 ± 37.46	1.11 ± 0.76	0.706
	60%	82.37 ± 15.89	79.57 ± 15.11	1.21 ± 0.39	0.542
	75%	74.69 ± 13.56	73.11 ± 19.94	0.94 ± 0.63	0.345

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之 TEWL 差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

表 4-43 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較			60%之 Scheffé's 多重比較			75%之 Scheffé's 多重比較		
F-value	p-value	25°C	22°C	p-value	25°C	22°C	p-value	25°C	22°C	p-value
45%	7.756	< 0.001 ^b	22°C	1.000	25°C	22°C	1.000	25°C	22°C	0.999
60%	6.663	0.001 ^b	28°C	0.992	28°C	28°C	0.938	28°C	28°C	0.993
75%	5.701	0.002 ^b	31°C	0.846	31°C	31°C	0.859	31°C	31°C	0.682
			34°C	0.002 ^b	34°C	34°C	0.003 ^b	34°C	34°C	0.008 ^b
		25°C	28°C	0.998	25°C	28°C	0.973	25°C	28°C	1.000
		31°C	31°C	0.906	31°C	31°C	0.921	31°C	31°C	0.822
		34°C	34°C	0.003 ^b	34°C	34°C	0.005 ^b	34°C	34°C	0.015 ^b
		28°C	31°C	0.978	28°C	31°C	0.999	28°C	31°C	0.896
		34°C	34°C	0.006 ^b	34°C	34°C	0.025 ^b	34°C	34°C	0.023 ^b
		31°C	34°C	0.027 ^b	31°C	34°C	0.043 ^b	31°C	34°C	0.177

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

^b p-value < 0.05

表 4-44 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's 多重比較		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	p-value	p-value	p-value	p-value							
22°C	1.049	0.371	45%	60%	0.585	45%	60%	0.671	45%	60%	0.728	45%	60%	0.997	45%	60%	0.986
25°C	0.471	0.632	75%	0.400	75%	0.748	75%	0.707	75%	0.952	75%	0.999					
28°C	1.355	0.283	60%	75%	0.944	60%	75%	0.992	60%	75%	0.283	60%	75%	0.924	60%	75%	0.979
31°C	0.088	0.916															
34°C	0.024	0.976															

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

表 4-45 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較		60%之 Scheffé's 多重比較		75%之 Scheffé's 多重比較	
F-value	p-value	25°C	22°C	25°C	22°C	25°C	22°C
45%	< 0.001 ^b	25°C	22°C	25°C	22°C	25°C	22°C
60%	< 0.001 ^b	28°C	28°C	28°C	28°C	28°C	28°C
75%	< 0.001 ^b	31°C	31°C	31°C	31°C	31°C	31°C
		34°C	< 0.001 ^b	34°C	< 0.001 ^b	34°C	< 0.001 ^b
		25°C	28°C	28°C	25°C	28°C	28°C
		31°C	0.927	31°C	0.895	31°C	0.072
		34°C	0.001 ^b	34°C	< 0.001 ^b	34°C	< 0.001 ^b
		28°C	0.999	31°C	0.947	28°C	0.391
		34°C	0.004 ^b	34°C	< 0.001 ^b	34°C	0.005 ^b
		31°C	0.008 ^b	31°C	0.004 ^b	31°C	0.327

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

^b p-value < 0.05

表 4-46 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側經皮水分散失量

(transepidermal water loss, TEWL)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's		25°C 之 Scheffé's		28°C 之 Scheffé's		31°C 之 Scheffé's		34°C 之 Scheffé's			
	F-value	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value		
22°C	2.012	0.163	45% 60%	0.533	45% 60%	0.998	45% 60%	0.869	45% 60%	0.927	45% 60%	0.722
25°C	2.972	0.077	75% 60%	0.164	75% 60%	0.129	75% 60%	0.904	75% 60%	0.084	75% 60%	0.953
28°C	0.484	0.624	60% 75%	0.697	60% 75%	0.144	60% 75%	0.624	60% 75%	0.164	60% 75%	0.882
31°C	3.287	0.061										
34°C	0.338	0.718										

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

為比較環境溫度與環境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環境相對濕度轉換為 WBGT，同樣以線性分佈呈現實驗組與控制組人員前臂外側之 TEWL 變化趨勢(圖 4-90)。如圖所示：不同組別 TEWL 隨 WBGT 之變化皆呈階梯式上揚，證明熱環境因子中以環境溫度對於 TEWL 之量測影響較大，而環境相對濕度之影響較小。不論使用防曬乳液與否，當 WBGT 達 28.36°C(環境溫度 31°C、相對濕度 75%)後，各 WBGT 數值點受測人員前臂外側之 TEWL 值產生幅度較大變化(標準差較大)，且 TEWL 上升幅度較為明顯。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 4-91)，所示。以下為各散佈圖之迴歸方程式：

實驗組受試人員前臂外側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.08x - 13.86 \quad R^2 = 0.30 \quad (\text{Eq. 4-123})$$

控制組受試人員前臂外側 TEWL 與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 1.54x - 23.52 \quad R^2 = 0.39 \quad (\text{Eq. 4-124})$$

由各迴歸方程式可觀察到控制組前臂外側迴歸係數(regression coefficient)大於實驗組值，顯示未使用防曬乳液之前臂外側皮膚之水分散失狀況對環境綜合熱因子之變化較使用防曬乳液受試者敏感。

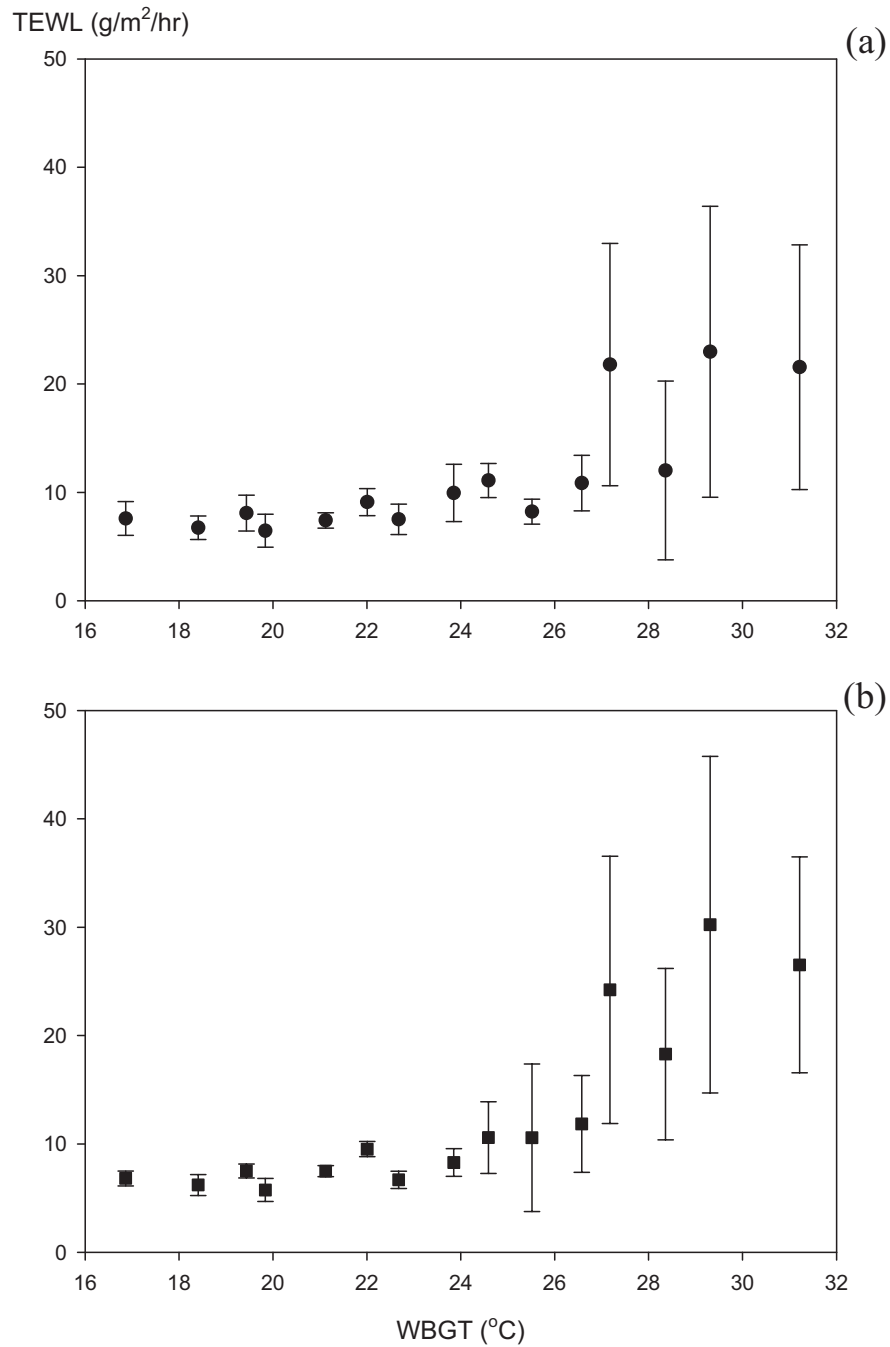


圖 4-90 前臂外側之經皮水分散失量(transdermal water loss, TEWL)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

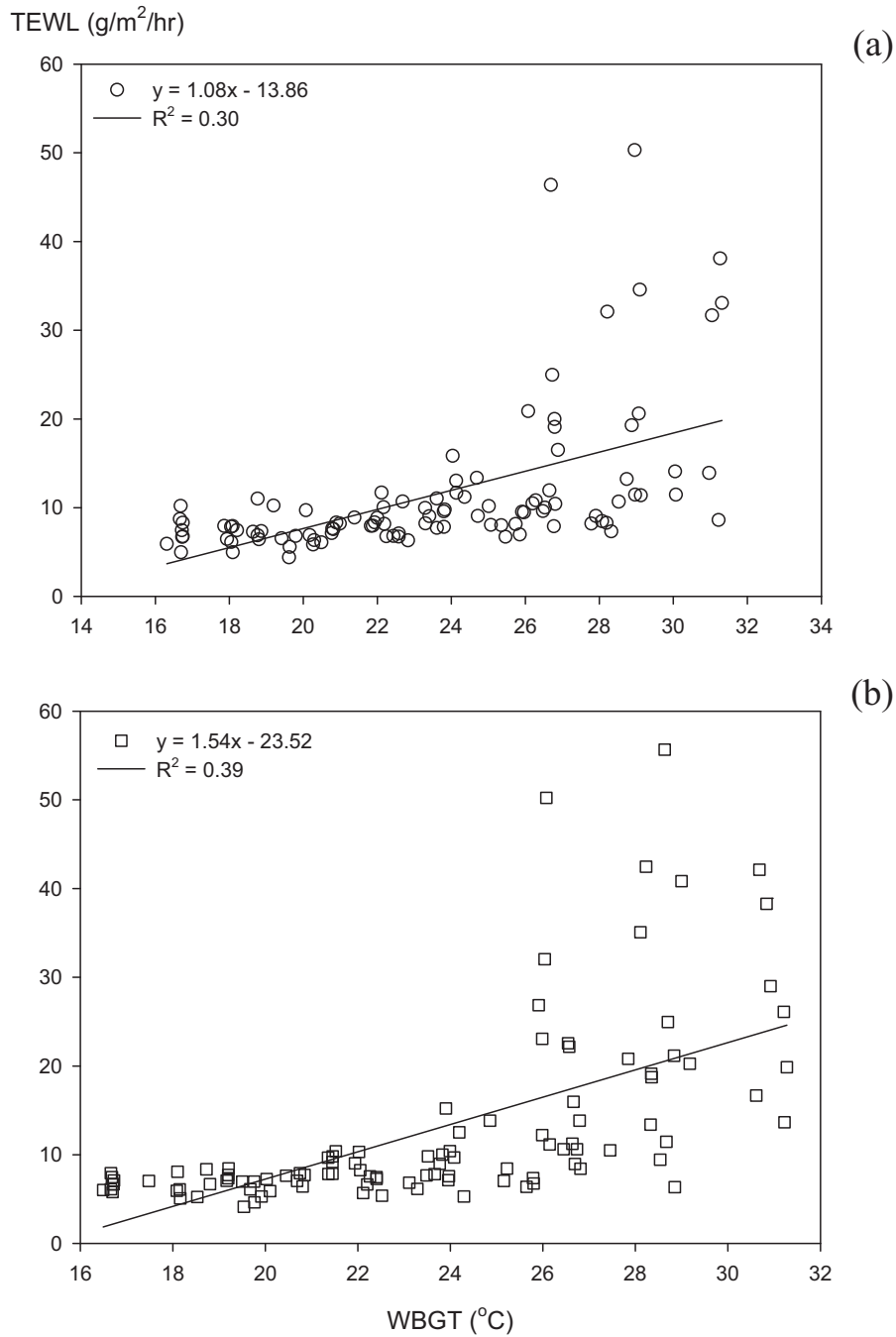


圖 4-91 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應環境綜合溫度熱指數(Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

圖 4-92 所示為暴露艙實驗熱舒適問卷調查所得之 TSV 對 TSV 測量值之分佈。TSV (人體主觀指標)與 TEWL (皮膚客觀指標之一)之分佈呈正相關。由前述結果得知，TEWL 主要受環境溫度影響，隨環境溫度上升而增加。故結果顯示 TSV 亦受環境溫度之影響，故隨 TEWL 上升而增加。

4.2.3 室內環境熱因子對皮膚溫度之影響

圖 4-93 所示為實驗組與控制組之前臂外側皮膚溫度隨環境溫濕度改變產生之變化。受試人員(含實驗組與控制組)之皮膚溫度明顯受環境溫度影響：環境溫度升高，皮膚溫度亦相對呈現上升趨勢，且線性關係明顯。故皮膚溫度為良好反應外在環境溫度之生理指標。與環境溫度相較，皮膚溫度不受相對濕度之影響。

在不同環境溫、濕度組合狀況下，實驗組與控制組間前臂外側皮膚溫度另外透過計算實驗組－控制組比值(表 4-47)比較，並以 Student's *t* test 檢定使用防曬乳液與否組別間皮膚溫度之差異是否顯著。比較結果發現：實驗組受試者皮膚溫度與控制組之測量值相近(實驗組－控制組比值：0.99-1.02)，且不同組別間之皮膚溫度未達顯著統計差異(p -value = 0.459)。

另外探討不同組別間是否隨不同環境物理因子之變化而對皮膚溫度產生影響。在實驗組部份，相同環境相對濕度不同環境溫度所測量之前臂外側皮膚溫度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-48)結果顯示環境溫度明顯

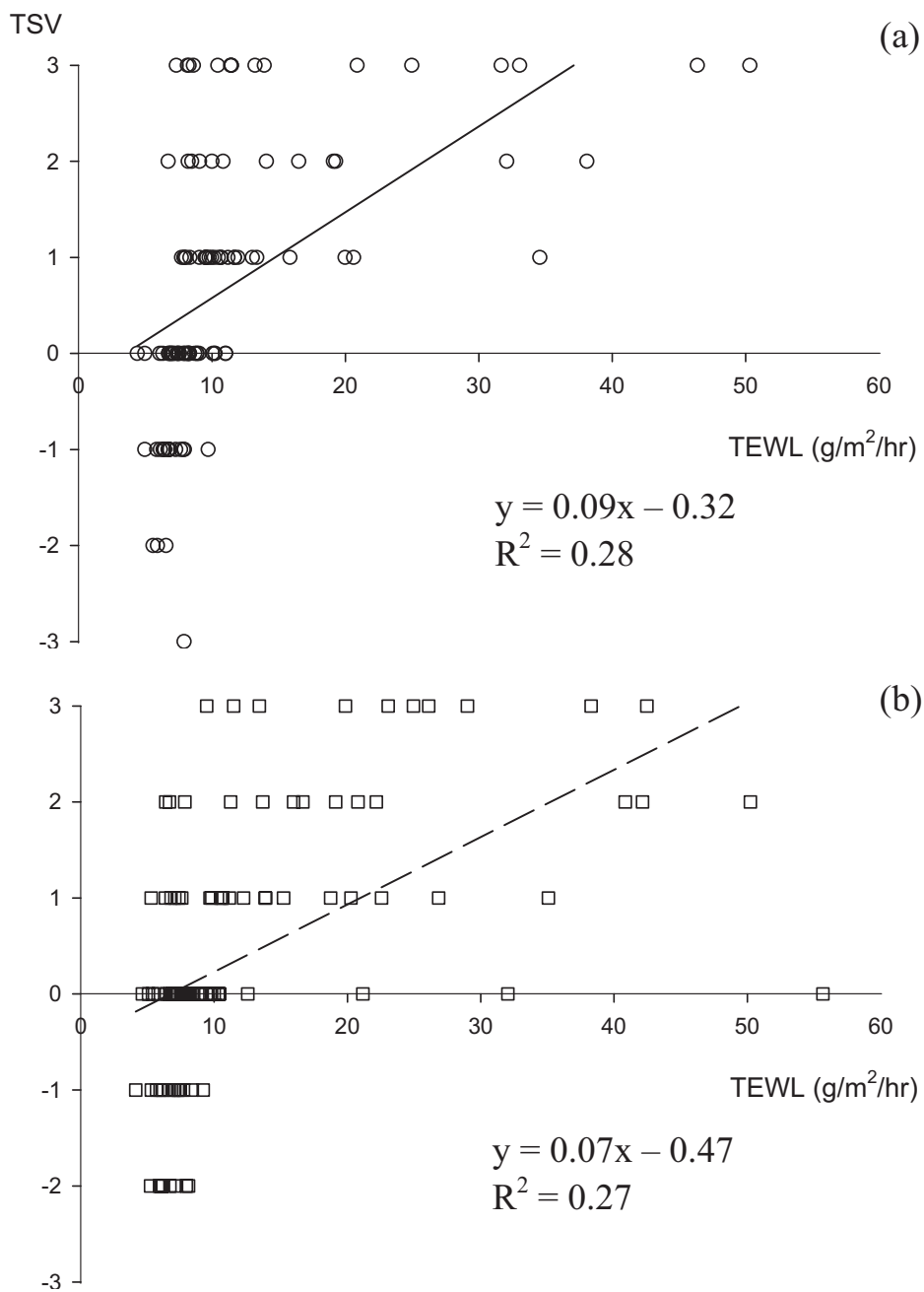


圖 4-92 暴露艙實驗熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應前臂外側經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL) 之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

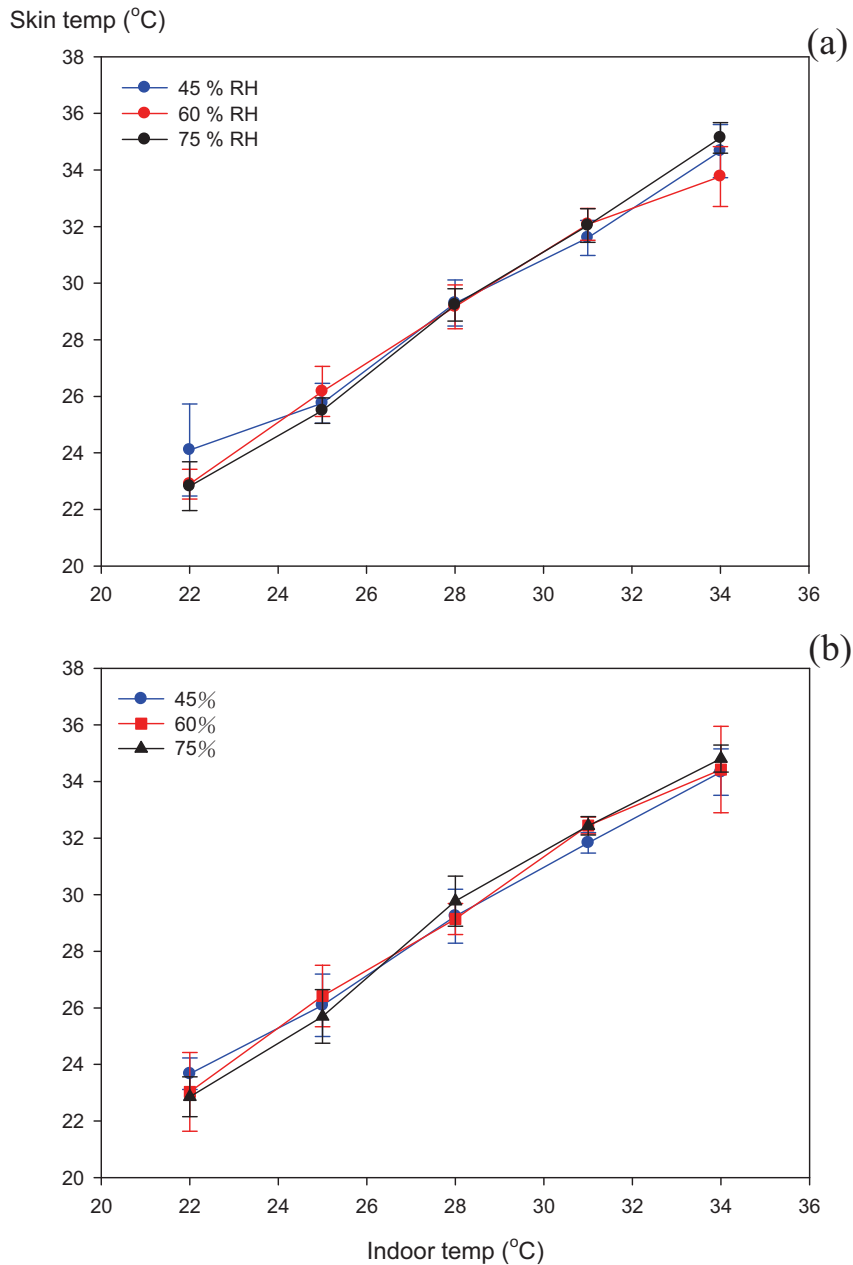


圖 4-93 前臂外側之皮膚溫度(skin temperature)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-47 實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未使用防曬乳液)之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚溫度(skin temperature)之測量值^a、實驗組－控制組比值、及統計檢定^b

溫度	濕度	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
22°C	45%	24.10 ± 1.63	23.67±0.55	1.02 ± 0.07	0.005 ^c
	60%	22.90 ± 0.53	23.03 ± 1.39	1.00 ± 0.07	0.163
	75%	22.82 ± 0.86	22.86 ± 0.71	1.00 ± 0.05	0.753
25°C	45%	25.76 ± 0.70	26.09 ± 1.11	0.99 ± 0.05	0.035 ^c
	60%	26.17 ± 0.89	26.42 ± 1.09	0.99 ± 0.05	0.652
	75%	25.49 ± 0.45	25.70 ± 0.95	0.99 ± 0.04	0.064
28°C	45%	29.30 ± 0.82	29.62 ± 0.83	1.00 ± 0.04	0.813
	60%	29.17 ± 0.77	29.42 ± 0.42	1.00 ± 0.03	0.235
	75%	29.32 ± 0.57	30.14 ± 0.77	0.98 ± 0.04	0.319
31°C	45%	31.60 ± 0.62	32.21 ± 0.34	0.99 ± 0.02	0.268
	60%	32.08 ± 0.56	32.58 ± 0.24	0.99 ± 0.02	0.336
	75%	32.4 ± 0.59	32.43 ± 0.32	0.99 ± 0.02	0.134
34°C	45%	34.67 ± 0.94	34.33 ± 0.82	1.01 ± 0.04	0.951
	60%	33.77 ± 1.06	34.42 ± 1.53	0.99 ± 0.06	0.400
	75%	35.14 ± 0.54	34.81 ± 0.48	1.01 ± 0.02	0.477

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚溫度差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

表 4-48 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側皮膚溫度(skin temperature)

之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較		60%之 Scheffé's 多重比較		75%之 Scheffé's 多重比較					
F-value	p-value	25°C	28°C	31°C	34°C	25°C	28°C	31°C	34°C		
45%	108.719	<0.001 ^b	22°C	25°C	0.116	22°C	25°C	25°C	22°C	25°C	<0.001 ^b
60%	186.83	<0.001 ^b		28°C	<0.001 ^b	28°C	28°C	28°C		28°C	<0.001 ^b
75%	380.257	<0.001 ^b		31°C	<0.001 ^b	31°C	31°C	31°C		31°C	<0.001 ^b
				34°C	<0.001 ^b	34°C	34°C	34°C		34°C	<0.001 ^b
		25°C		28°C	<0.001 ^b	25°C	28°C	28°C	25°C	28°C	<0.001 ^b
				31°C	<0.001 ^b	31°C	31°C	31°C		31°C	<0.001 ^b
				34°C	<0.001 ^b	34°C	34°C	34°C		34°C	<0.001 ^b
		28°C		31°C	0.011 ^b	28°C	31°C	31°C	28°C	31°C	<0.001 ^b
				34°C	<0.001 ^b	34°C	34°C	34°C		34°C	<0.001 ^b
		31°C		34°C	<0.001 ^b	31°C	34°C	34°C	31°C	34°C	<0.001 ^b

^a 皮膚溫度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

影響皮膚溫度(p -value < 0.05)。進一步以 Scheffé's 多重比較發現：除了在環境濕度為 45%時環境溫度 22 與 25°C 之皮膚溫度未達統計之顯著性(p -value = 0.116)之外，在其他環境相對濕度下，不同環境溫度間所測得之前臂外側皮膚溫度皆達顯著差異(p -value < 0.05)。相同環境溫度、但不同環境濕度狀況所測得之前臂外側皮膚溫度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-49)結果顯示，除了在環境溫度 34°C 時環境相對濕度 60 與 75%之皮膚溫度達統計之顯著性(p -value = 0.046)外，其他環境溫度之不同環境相對濕度間所測得之前臂外側皮膚溫度皆未達顯著差異。在控制組部分：同一環境相對濕度時不同環境溫度間之前臂外側皮膚溫度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-50)結果皆達顯著差異(p -value < 0.001)，顯示環境相對濕度顯著地影響未使用防曬乳液之皮膚溫度變異量；於相同環境溫度不同環境相對濕度下前臂外側皮膚之皮膚溫度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-51)結果則顯示，除了在環境溫度為 31°C 時環境相對濕度 60 與 75%之皮膚溫度達統計顯著性(p -value = 0.046)外，其他環境溫度下不同環境相對濕度間所測得之前臂外側皮膚溫度皆未達顯著差異。以上結果再次證明，不論是否有使用防曬乳液，皮膚溫度直接反應環境溫度，且隨環境溫度上升而顯著增加。

圖 4-94 所示為實驗組與控制組受測者前臂外側皮膚溫度相對於 WBGT 之線性分佈。前臂外側皮膚溫度隨 WBGT 上升而增加。若與 SBFC

表 4-49 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚溫度(skin temperature)

之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		22°C 之 Scheffé's 多重比較		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		p-value							
22°C	2.534	0.107	45%	60%	0.196	45%	60%	0.602	45%	60%	0.953	45%	60%	0.393	45%	60%	0.231
25°C	1.415	0.269	75%	0.163	75%	0.813	75%	0.988	75%	0.456	75%	0.659					
28°C	0.048	0.953	60%	0.993	60%	0.274	60%	0.955	60%	0.993	60%	0.046 ^b					
31°C	1.208	0.322															
34°C	3.787	0.042 ^b															

^a 皮膚溫度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

表 4-51 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚溫度(skin temperature)之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's		25°C 之 Scheffé's		28°C 之 Scheffé's		31°C 之 Scheffé's		34°C 之 Scheffé's		
	F-value	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	多重比較	p-value	
22°C	1.206	0.322	45% 60%	0.521	45% 60%	0.867	45% 60%	0.978	45% 60%	0.017 ^b	45% 60%
25°C	0.708	0.506	75%	0.359	75%	0.811	75%	0.540	75%	0.019 ^b	75%
28°C	1.036	0.375	60%	0.953	60%	0.507	60%	0.426	60%	0.998	60%
31°C	6.798	0.006 ^b									
34°C	0.362	0.701									

^a 皮膚溫度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

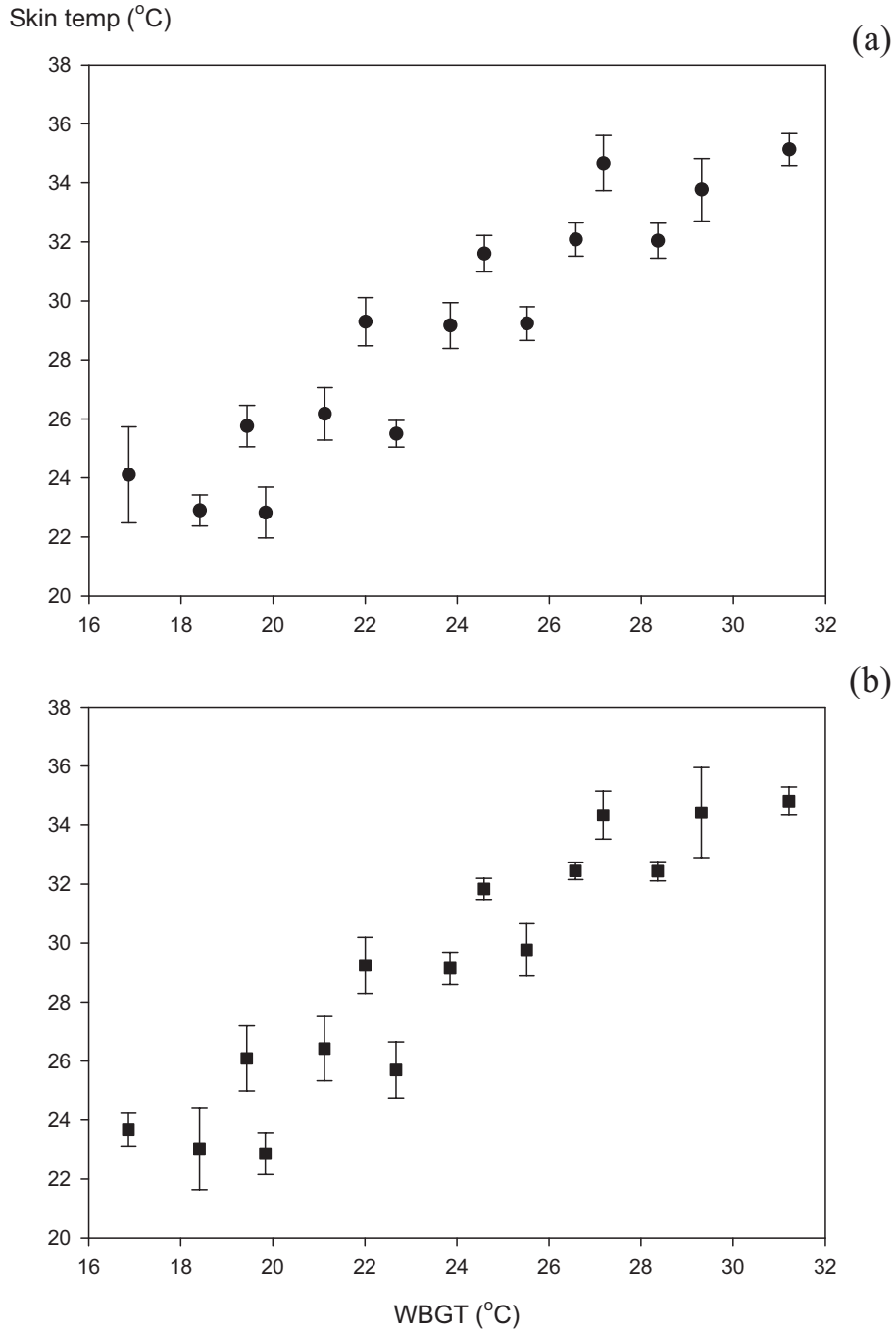


圖 4-94 前臂外側之皮膚溫度(skin temperature)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

對應 WBGT、以及 TEWL 對應 WBGT 之分佈相較，在各 WBGT 值之皮膚溫度分佈較為集中，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。不論使用防曬乳液與否，受測人員之皮膚溫度變化趨勢與全體人員皮膚溫度之趨勢相同。

圖 4-95 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：

實驗組受試人員前臂外側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.91x + 7.61 \quad R^2 = 0.82 \quad (\text{Eq. 4-125})$$

控制組受試人員前臂外側皮膚溫度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 0.92x + 7.37 \quad R^2 = 0.82 \quad (\text{Eq. 4-126})$$

由方程式可觀察到實驗組前臂外側迴歸係數約等於控制組之數值，且進一步統計分析結果顯示使用防曬乳液與否對於皮膚溫度之影響無顯著統計差異($p\text{-value} = 0.82$)。其他所有線性迴歸之 R^2 皆為 0.82，明顯高於受測人員前臂外側 SBFC 以及 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 SBFC 以及 TEWL 為高。

圖 4-96 所示為暴露艙實驗熱舒適問卷調查所得之 TSV 對皮膚溫度測量值之分佈。TSV (人體主觀指標) 顯著地(實驗組： $R^2 = 0.75$ ；控制組：

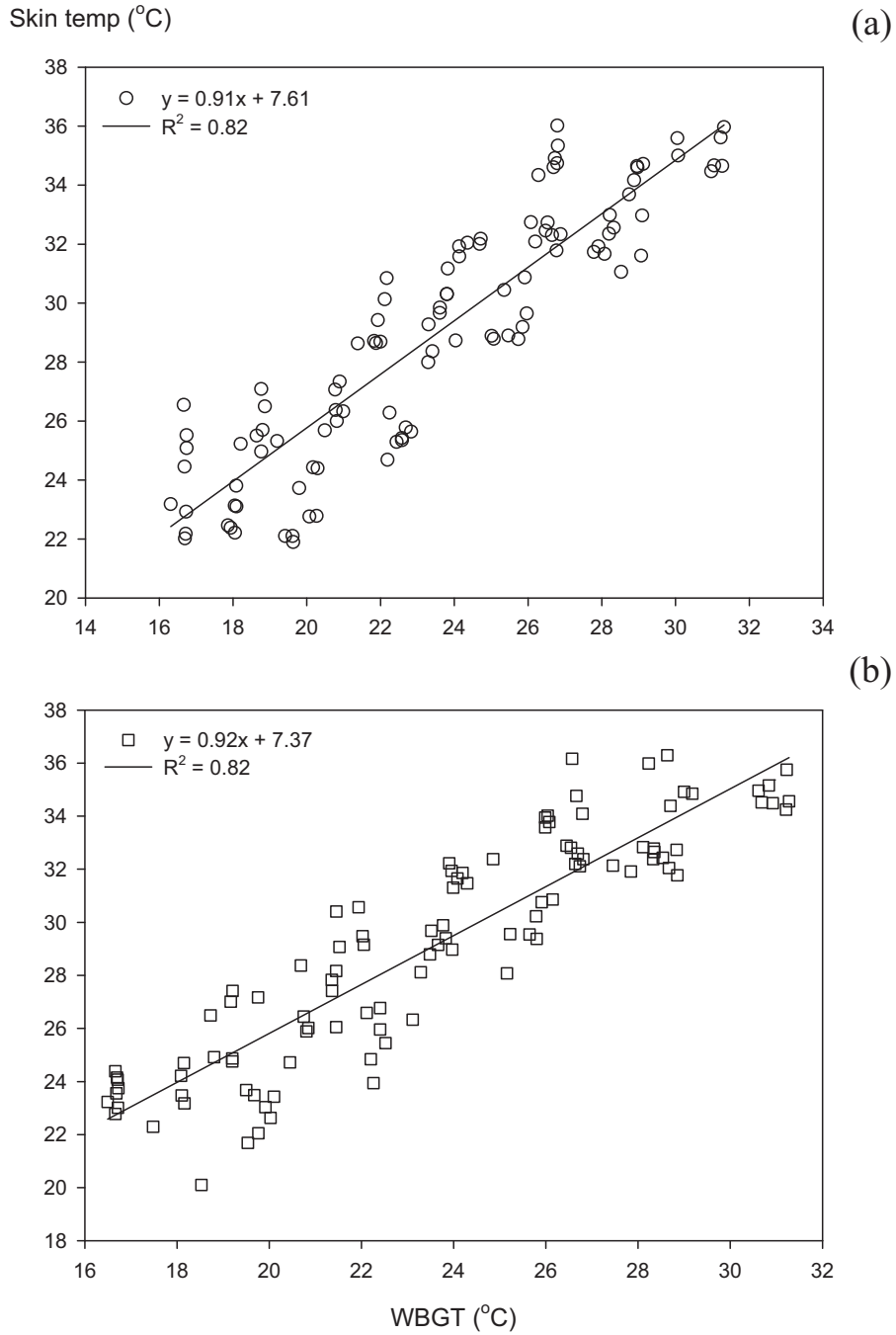


圖 4-95 前臂外側之皮膚溫度(skin temperature)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸：
 (a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

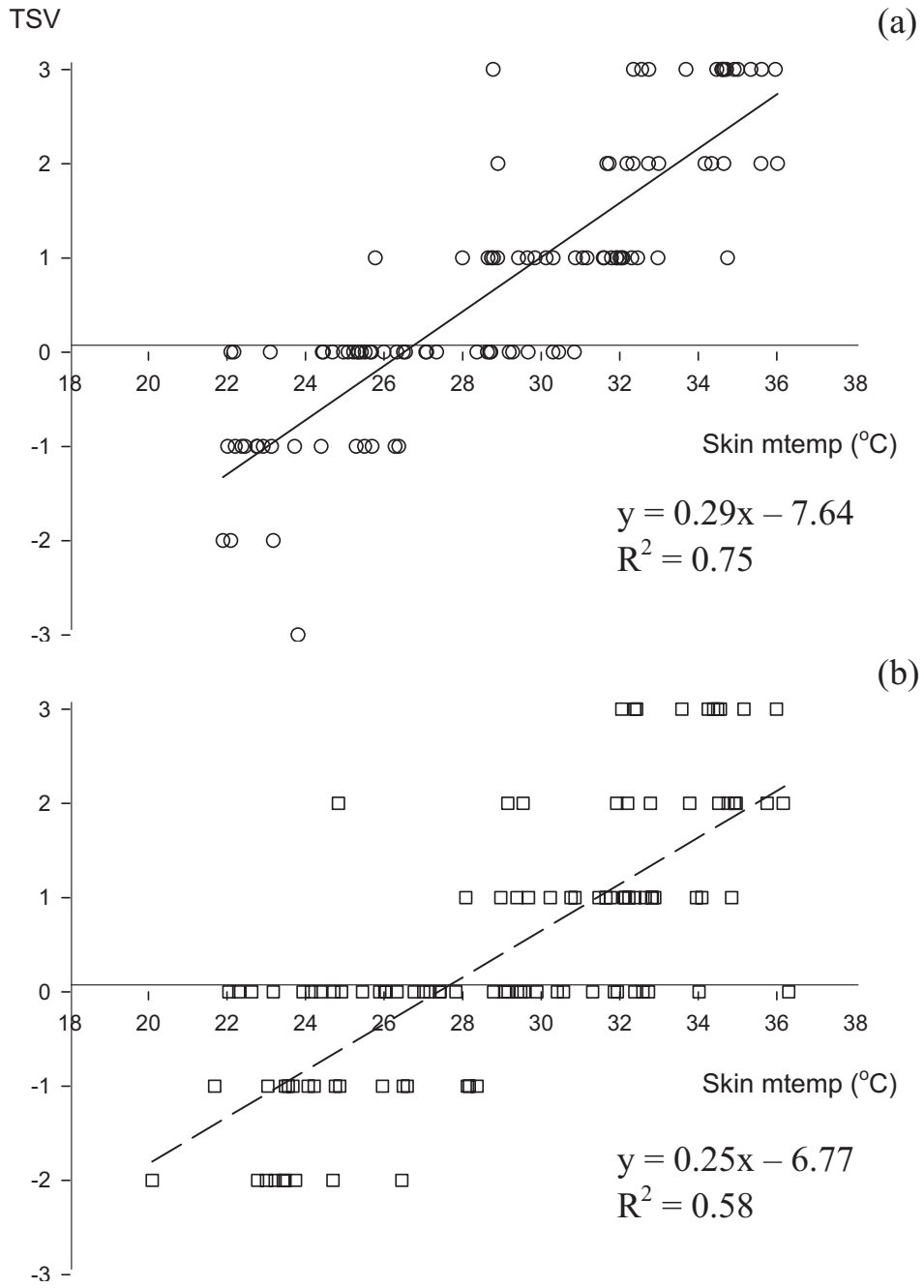


圖 4-96 暴露艙實驗熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應前臂外側皮膚溫度(skin temperature)之分佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

$R^2 = 0.58$)隨皮膚溫度(皮膚客觀指標之一)上升而增加。

4.2.4 室內環境熱因子對皮膚濕度之影響

圖 4-97 所示為受測人員前臂外側於不同環境溫度與環境相對濕度下之皮膚濕度變化。由圖中可觀察到：與先前針對 TEWL 與皮膚溫度觀察所得之現象相較，環境溫度與環境相對濕度兩項環境因子對於皮膚濕度均構成明顯地影響。在較低環境溫度時(如 22 與 25°C)，前臂外側之皮膚濕度皆穩定低於 500 μS 。皮膚濕度亦受環境相對濕度影響：其在相對濕度較高環境中之量測值皆顯著大於較低環境相對濕度環境下之測量值。實驗組皮膚濕度之明顯上升出現於環境溫度逾 28°C 後；控制組皮膚濕度之明顯變化則於 25°C。主要差異可能源自防曬乳液提供之皮膚保溼效果(實驗組之皮膚濕度大多高於 200 μS ；控制組之皮膚濕度大多低於 200 μS ，兩組間差距約 200 μS 以上；此基線間之差異所反應者可能為防曬乳液提供使用者保溼功能)，因此實驗組皮膚濕度之明顯上升於環境溫度至 28°C 後才顯而易見。但整體而言，隨環境溫度逐漸升高，皮膚濕度於固定環境溫、濕度狀況下之變異量也隨之增加，故作為環境熱因子影響生理指標之穩定性不若皮膚溫度良好。

為瞭解於實驗設定之環境溫度與環境相對濕度下，使用防曬乳液與否對皮膚濕度反應熱環境變化是否造成影響，表 4-52 針對前臂外側之皮

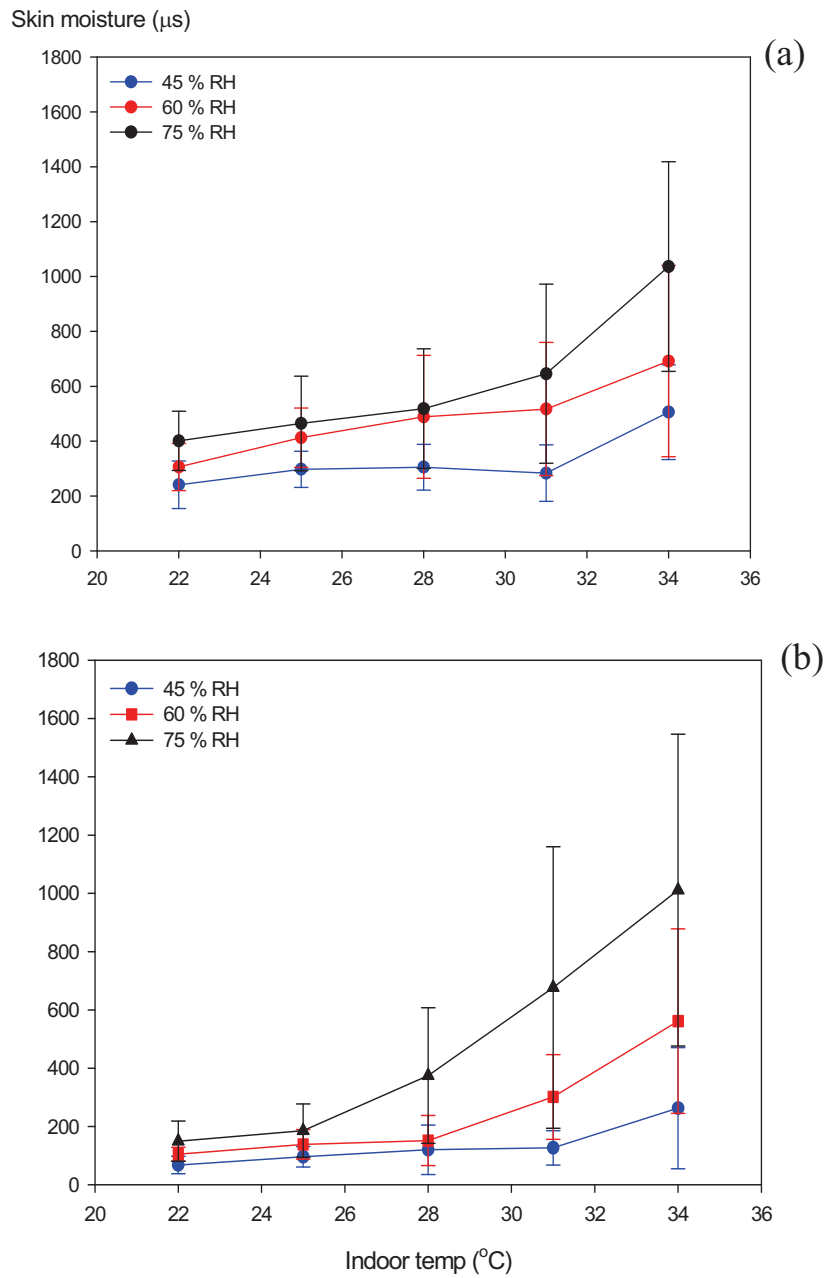


圖 4-97 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)對應室內溫度(indoor temp)與相對濕度(relative humidity, RH)變化之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-52 實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未使用防曬乳液)之前臂外側皮膚於不同環境溫、濕度之皮膚濕度(skin moisture)之測量值^a、實驗組—控制組比值、及統計檢定^b

溫度	濕度	實驗組	控制組	實驗組/控制組	p-value
22°C	45%	241.11 ± 86.48	67.93 ± 30.12	4.17 ± 2.41	0.022 ^c
	60%	305.89 ± 85.92	105.11 ± 23.81	3.01 ± 1.11	0.001 ^c
	75%	401.32 ± 107.78	149.82 ± 69.11	3.28 ± 2.03	0.215
25°C	45%	297.43 ± 66.13	96.04 ± 35.04	3.47 ± 1.55	0.220
	60%	412.75 ± 108.10	138.57 ± 50.97	3.56 ± 2.3	0.015 ^c
	75%	464.64 ± 172.30	185.57 ± 91.37	3.03 ± 1.82	0.107
28°C	45%	305.11 ± 83.12	120.25 ± 84.90	3.64 ± 2.52	0.693
	60%	488.39 ± 223.90	151.89 ± 85.97	4.03 ± 2.8	0.085
	75%	518.61 ± 217.66	374.61 ± 232.69	1.77 ± 1.1	0.722
31°C	45%	283.36 ± 102.99	126.64 ± 58.91	2.61 ± 1.46	0.040 ^c
	60%	517.11 ± 242.52	301.50 ± 145.06	2.05 ± 1.32	0.384
	75%	645.57 ± 326.33	676.82 ± 483.20	1.55 ± 1.39	0.186
34°C	45%	505.75 ± 172.86	262.75 ± 207.85	3.00 ± 2.42	0.731
	60%	691.93 ± 348.82	561.61 ± 316.55	1.85 ± 1.82	0.863
	75%	1036.11 ± 381.97	1011.32 ± 534.87	1.31 ± 0.85	0.281

^a 測量值為 Mean ± SD

^b 使用防曬乳液與否之皮膚濕度差異以 Student's *t* test 檢定

^c *p*-value < 0.05

膚濕度實驗組－控制組比值進行分析。結果顯示：實驗組前臂外側皮膚濕度皆大於控制組(實驗組－控制組比值為 1.31-4.17)，但以 Student's *t* test 進一步檢定則未發現顯著統計差異(p -value = 0.838)。利用 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較法分析相同相對濕度、不同環境溫度對於實驗組之前臂外側皮膚濕度影響程度之結果顯示：受測人員前臂外側皮膚濕度明顯受環境溫度影響(p -value 皆 $<$ 0.001) (表 4-53)，但以上現象在低環境溫度中(如 22、25、及 28°C)較不顯著，在高溫環境(如 31、及 34°C)對於皮膚濕度之影響較大。分析環境相對濕度對於皮膚濕度影響的結果顯示(表 4-54)：前臂外側皮膚於環境溫度 25 與 28°C 時，相同環境相對濕度對於皮膚濕度之影響較小(p -value = 0.057 及 0.095)，其餘不同環境溫度下各相同環境相對濕度所測得前臂外側之皮膚濕度皆受相同環境相對濕度影響(p -value $<$ 0.001)。進一步利用 Scheffé's 多重比較顯示：於同一環境溫度(22、31、34°C)下，在環境相對濕度 45%與 75%所測量得之前臂外側皮膚濕度差異達統計顯著差異。以上結果建議：在使用防曬乳液狀況下，對皮膚濕度之影響主要源自環境溫度；相同環境溫度對皮膚濕度造成之影響在 75%時最為顯著。

分析控制組受測者前臂外側皮膚濕度受環境溫度大小之影響發現：當環境相對濕度相同時，前臂外側皮膚之皮膚濕度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-55)結果顯示環境溫度顯著地影響控制組之皮膚濕度變化(p -value

表 4-54 實驗組(使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚濕度(skin moisture)之

統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's 多重比較		25°C 之 Scheffé's 多重比較		25°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	p-value	p-value	p-value	p-value			
22°C	5.151	0.017 ^b	45%	60%	0.451	0.244	45%	60%	0.213	0.223	45%	60%	0.553
25°C	3.363	0.057	75%	0.018 ^b	75%	0.064	45%	60%	0.130	0.039 ^b	75%	0.019 ^b	
28°C	2.685	0.095	60%	0.193	60%	0.738	60%	75%	0.955	60%	75%	60%	0.154
31°C	4.026	0.036 ^b											
34°C	5.091	0.018 ^b											

^a 皮膚濕度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

表 4-55 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境相對濕度(%)、不同環境溫度(°C)下，前臂外側皮膚濕度(skin moisture)

之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定		45%之 Scheffé's 多重比較		60%之 Scheffé's 多重比較		75%之 Scheffé's 多重比較	
F-value	p-value	22°C	25°C	22°C	25°C	22°C	25°C
45%	3.534	0.018 ^b	0.993	0.997	0.997	0.997	1.000
60%	9.478	< 0.001 ^b	0.929	0.990	0.990	0.990	0.823
75%	7.871	< 0.001 ^b	0.895	0.300	0.300	0.300	0.110
		34°C	0.036	< 0.001 ^b	0.002 ^b	0.002 ^b	0.002 ^b
		25°C	0.996	1.000	1.000	1.000	0.897
		31°C	0.990	0.487	0.487	0.487	0.155
		34°C	0.096	0.001 ^b	0.001 ^b	0.001 ^b	0.003 ^b
		28°C	1.000	0.570	0.570	0.570	0.611
		34°C	0.204	0.002 ^b	0.002 ^b	0.002 ^b	0.033 ^b
		31°C	0.243	0.088	0.088	0.088	0.514

^a 皮膚濕度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

< 0.05)，進一步以 Scheffé's 多重比較發現：不論在何種相同環境相對濕度下，高溫區(環境溫度為 31、34°C)所測得之前臂外側皮膚濕度皆與其他環境溫度下之量測值達顯著差異(p -value < 0.05)，而較低溫間之差異則不明顯。於相同環境溫度不同環境相對濕度下前臂外側皮膚之皮膚濕度以 one-way ANOVA 檢定(表 4-56)結果顯示：除了在低溫區(環境溫度為 22、25°C)，環境相對濕度不會影響控制組前臂外側之皮膚濕度變化。進一步以 Scheffé's 多重比較發現：在高溫區時(環境溫度為 28、31、及 34°C)，環境相對濕度 45 與 75%所測得之前臂外側皮膚濕度之量測值達顯著差異(p -value 分別為 0.011、0.008、及 0.006)。以上結果建議：以未使用防曬乳液之受試人員為例，環境溫度及環境相對濕度皆對皮膚濕度造成影響，但皮膚濕度造成之影響仍以環境溫度為主。

圖 4-98 所示為實驗組與控制組前臂外側皮膚濕度對應 WBGT 之線性分佈。如圖顯示，實驗組之前臂外側皮膚濕度隨著 WBGT 上升而增加之趨勢，且在 WBGT 為 30.02°C(環境溫度為 34°C；環境相對濕度為 75%)時，實驗組皮膚濕度急遽上升；控制組之前臂外側皮膚濕度則在 WBGT 達 21.84°C(環境溫度為 31°C，環境相對濕度為 45%)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環境相對濕度之特色，亦說明皮膚濕度是

表 4-56 控制組(未使用防曬乳液)於同一環境溫度(°C)、不同環境相對濕度(%)下，前臂外側皮膚濕度(skin moisture)

之統計檢定^a

One-way ANOVA 檢定	22°C 之 Scheffé's			25°C 之 Scheffé's			28°C 之 Scheffé's			31°C 之 Scheffé's			34°C 之 Scheffé's		
	F-value	p-value	多重比較	F-value	p-value	多重比較	F-value	p-value	多重比較	F-value	p-value	多重比較	F-value	p-value	多重比較
22°C	5.649	0.120	45% 60% 75%	0.336	0.473	45% 60% 75%	0.473	0.927	45% 60% 75%	0.927	0.548	45% 60% 75%	0.548	0.357	60% 75%
25°C	3.460	0.054	75%	0.013 ^b	0.054	75%	0.054	0.019 ^b	75%	0.019 ^b	0.009 ^b	75%	0.009 ^b	0.006 ^b	75%
28°C	5.870	0.011 ^b	60% 75%	0.214	0.404	60% 75%	0.404	0.042 ^b	60% 75%	0.042 ^b	0.083	60% 75%	0.083	0.113	60% 75%
31°C	6.432	0.008 ^b													
34°C	6.942	0.006 ^b													

^a 皮膚濕度差異以 one-way ANOVA 與 Scheffé's 多重比較進行檢定

^b p-value < 0.05

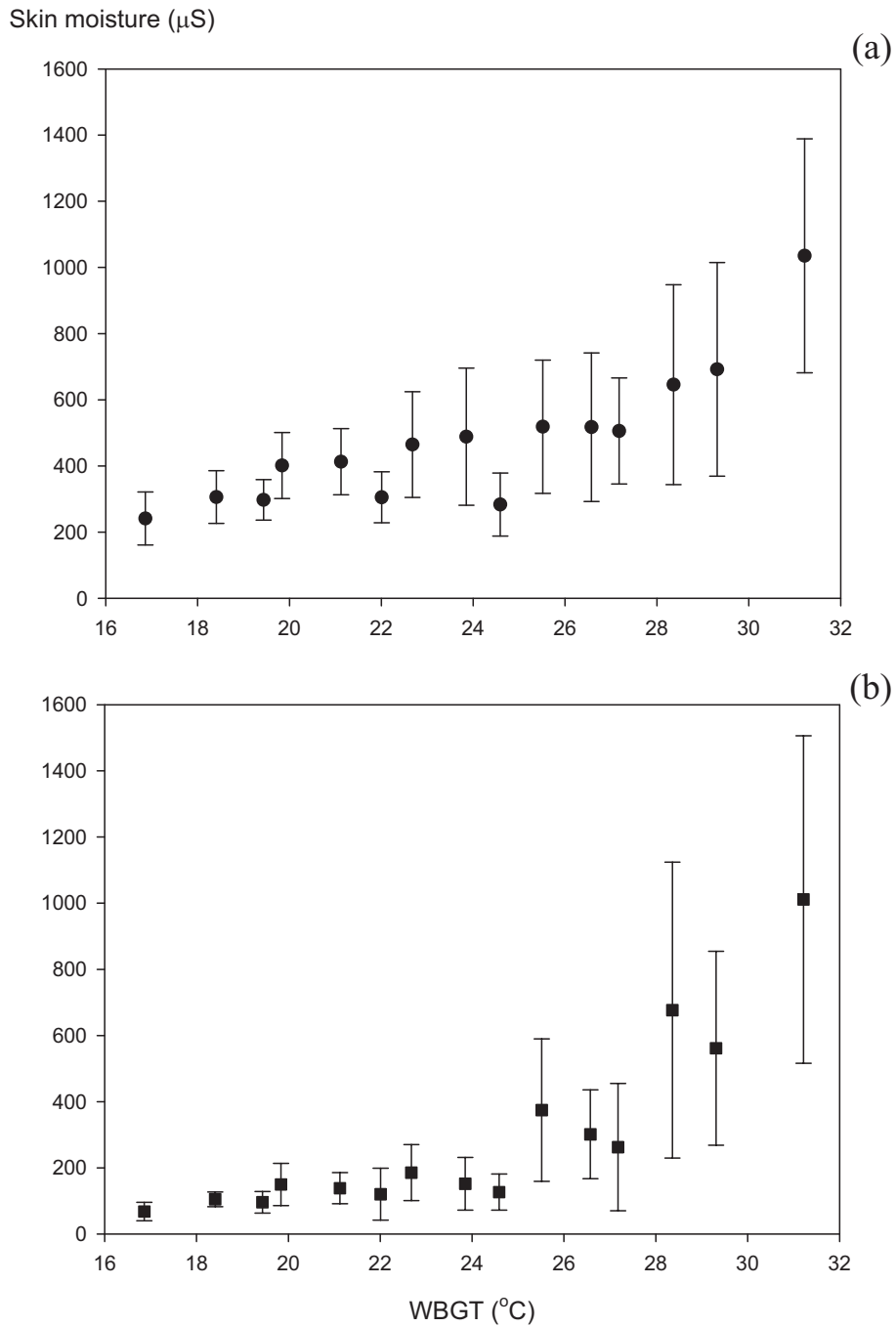


圖 4-98 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之分佈趨勢(標號為測量平均值，誤差線為標準差)：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

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。

圖 4-99 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：

實驗組受試人員前臂外側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 41.14x - 492.67 \quad R^2 = 0.38 \quad (\text{Eq. 4-127})$$

控制組受試人員前臂外側皮膚濕度與 WBGT 之迴歸方程式：

$$y = 52.34x - 943.48 \quad R^2 = 0.42 \quad (\text{Eq. 4-128})$$

由控制組之迴歸方程式可觀察到前臂外側迴歸係數略高於實驗組之數值，顯示未使用防曬乳液前臂外側皮膚濕度對於環境溫度與環境相對濕度變化較為敏感，即未使用防曬乳液之皮膚濕度較為確實反應外在環境溫、濕度之變化。由圖可知，使用防曬乳液之皮膚濕度大多高於未使用防曬乳液組，且其差異具統計顯著性($p\text{-value} < 0.001$)。

圖 4-100 所示為暴露艙實驗熱舒適問卷調查所得之 TSV 對皮膚濕度測量值之分佈。因皮膚濕度受環境溫度之影響，故皮膚濕度(皮膚客觀指標之一)隨 TSV(人體主觀指標)上升而增加。

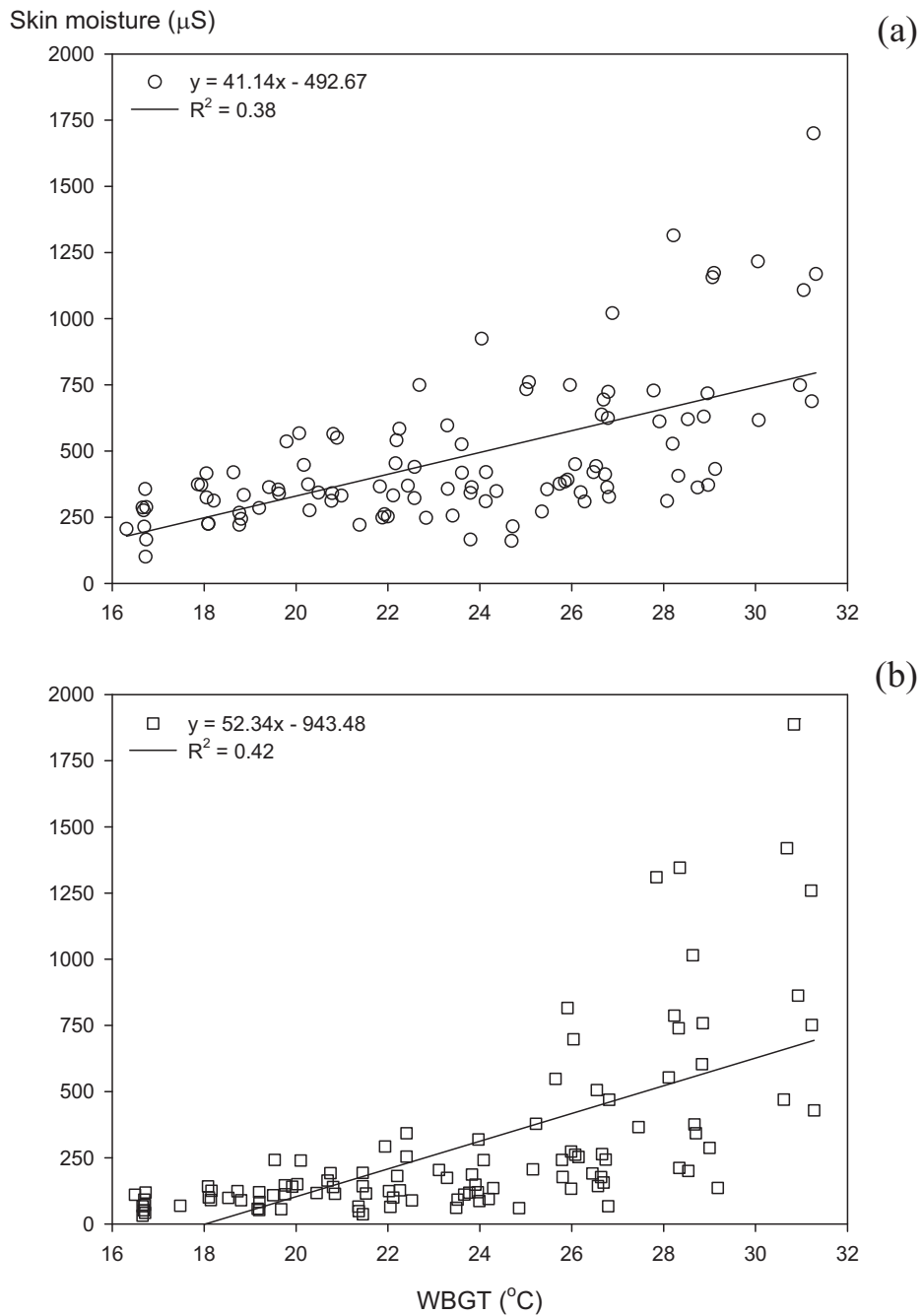


圖 4-99 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)對應環境綜合溫度熱指數 (Wet-Bulb Globe Temperature Index, WBGT)之散佈與線性迴歸：
(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

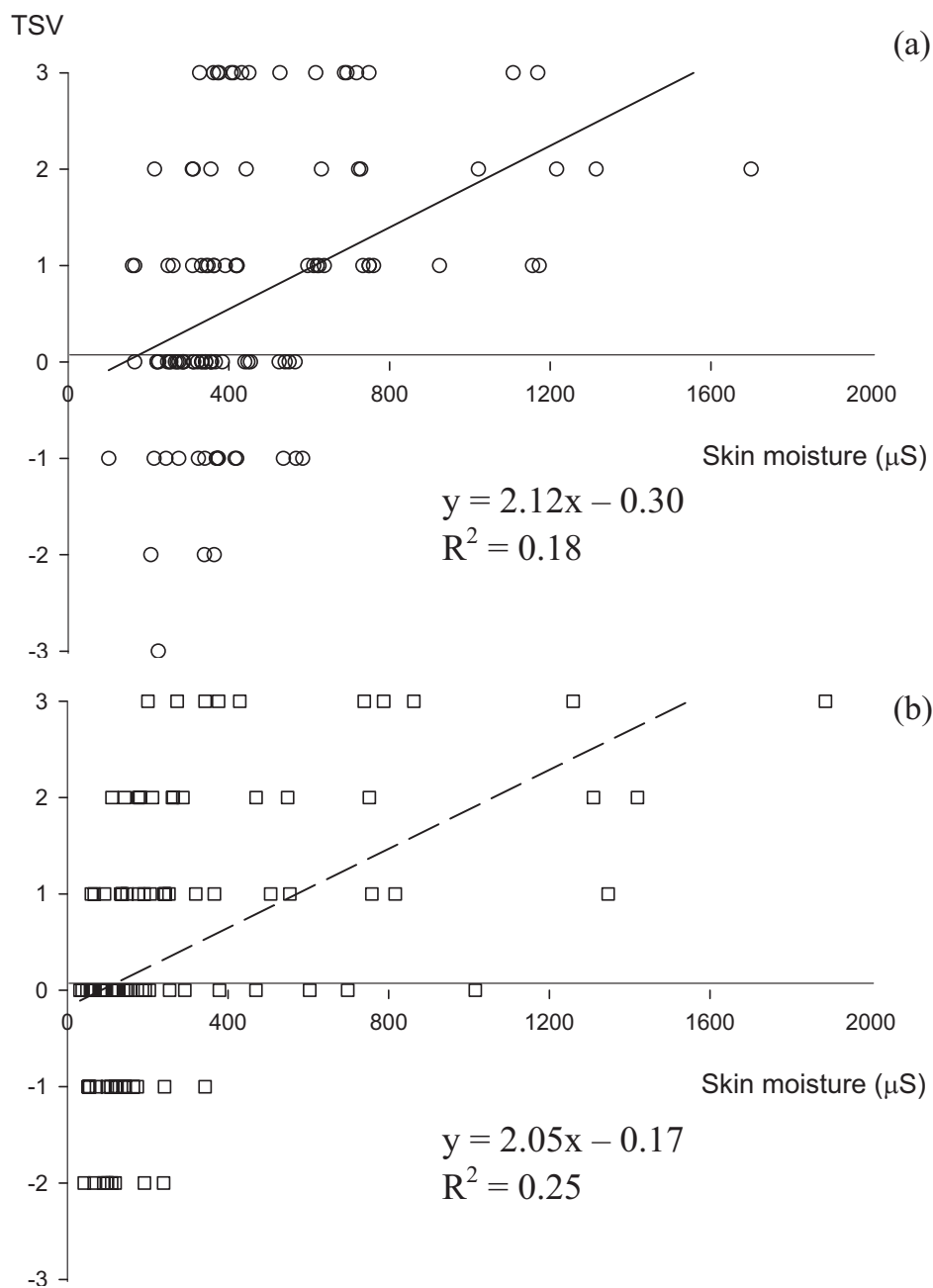


圖 4-100 暴露艙實驗熱感知投票值(thermal sensation vote,TSV)對應前臂外側皮膚濕度(skin moisture) 之分佈與線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

4.2.5 不同風速因子對皮膚生理指標之影響

圖 4-101 所示，在戶外日光實驗時，風速因子變化大，尤其於日光曝曬區之風速變化更為明顯。因此在暴露艙實驗中，將風速作為可控制之變數以觀察其對皮膚生理指標之影響。實驗條件為：在環境溫度 28°C、相對濕度 60% 時，利用電風扇製造不同環境風速之測量環境(詳細說明見 3.3.3)。環境風速包含無風速(0.1 m/s)、低風速(0.8 m/s)、中風速(1.4 m/s)、及高風速(2.0 m/s)。

圖 4-102 為實驗組與控制組前臂外側之 SBFC 反應不同風速之散佈圖。不論實驗或控制組之 SBFC 在無風速時可高於 25 PU，但在有風時大部分則分佈於 5-20 PU 間。進一步分析 SBFC 隨風速之變化發現，在低、中、高風速間(風速範圍為 0.8-2.0 m/s)，SBFC 間之差異不具統計顯著性(p -value = 0.745)。以上發現建議：風速對 SBFC 之影響為二分式，亦即有或無，而非循線性模式發生(即 SBFC 之變化量與風速變異量成正比)。故在戶外實驗階段日光照射區與戶外陰涼區之風速差異當不至對 SBFC 之測量造成顯著影響。

圖 4-103 為實驗組與控制組前臂外側之 TEWL 反應不同風速之散佈圖。使用防曬乳液組之 TEWL 在無風速時可高於 16 g/m²/hr，但在有風時大部分 TEWL 分佈於 5-11 g/m²/hr。進一步分析 TEWL 值隨風速大小之變

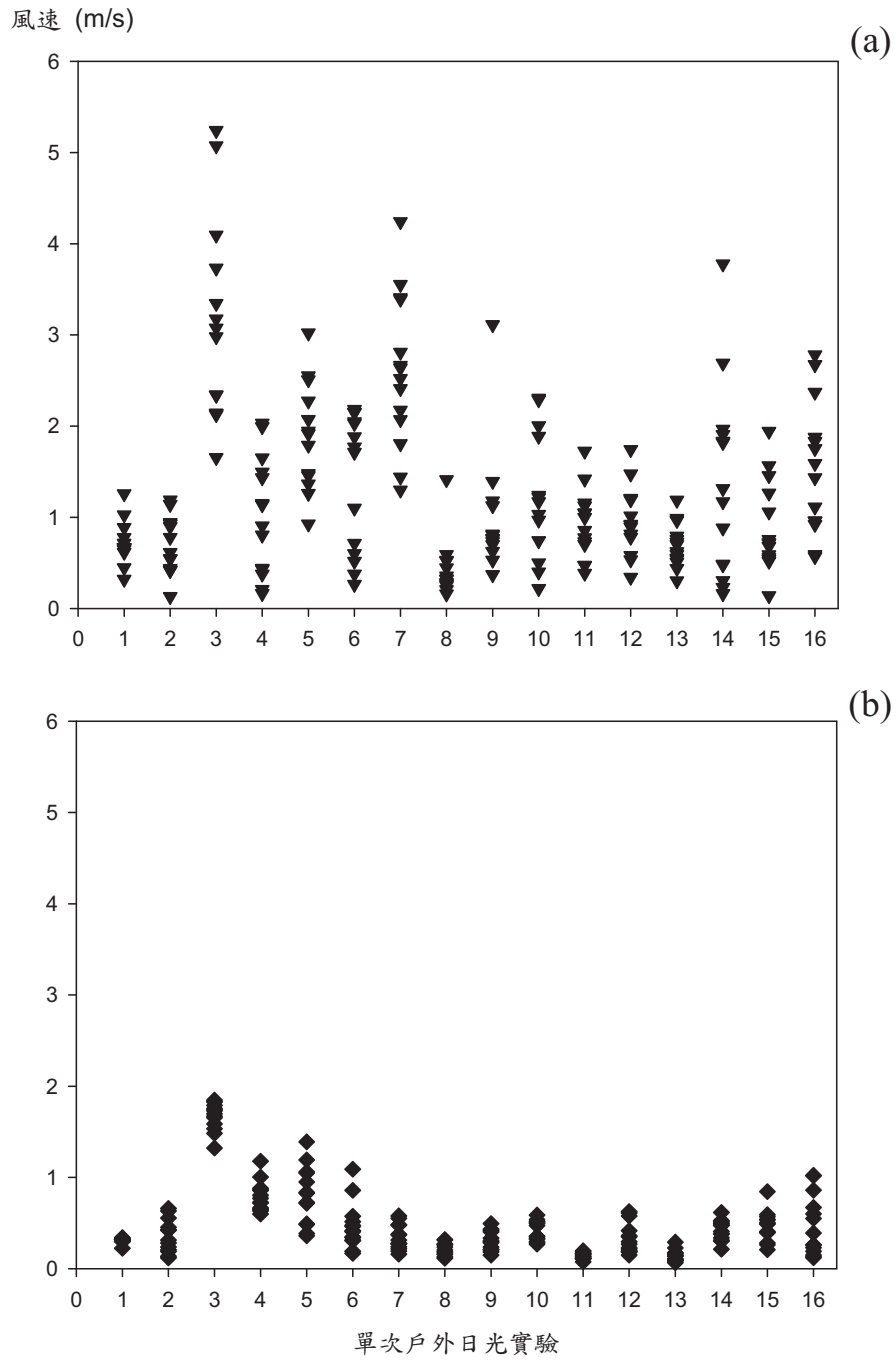


圖 4-101 戶外日光實驗風速散佈圖：(a)日光曝曬區(日光直射區)、(b)戶外陰涼區(無日光直射區)

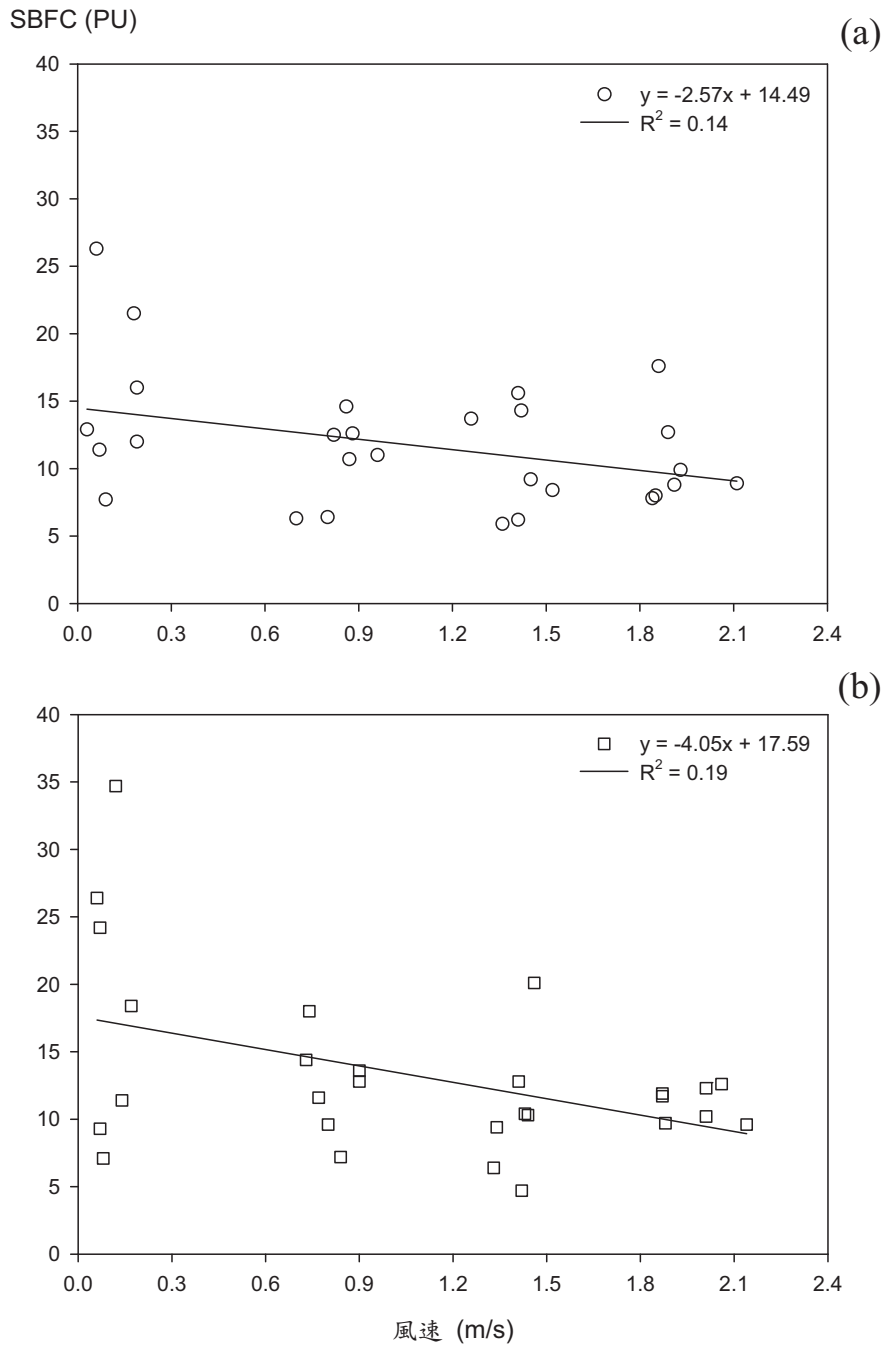


圖 4-102 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

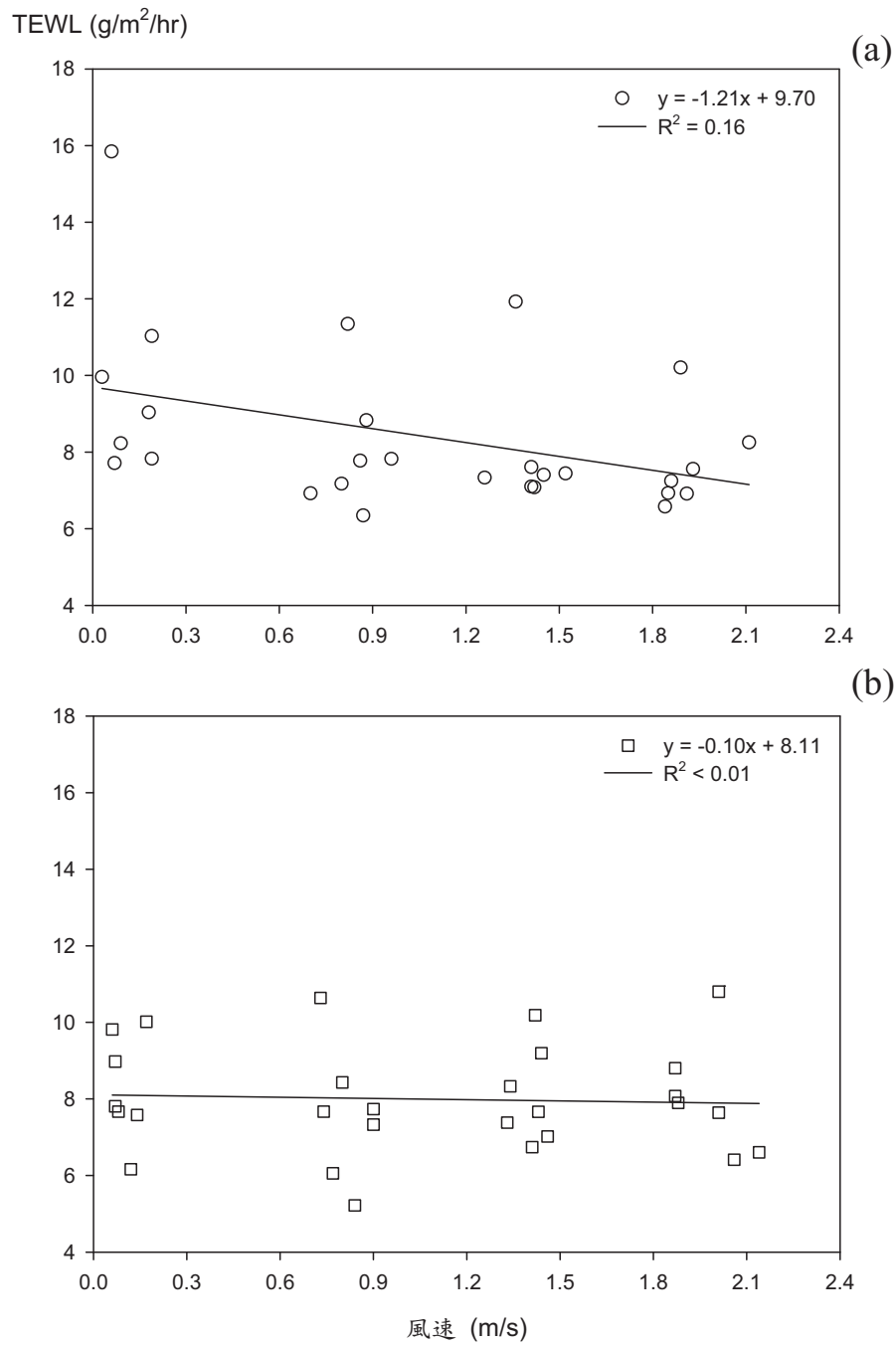


圖 4-103 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

化，發現在不同風速間(0.8-2.0 m/s) TEWL 之變化不具統計顯著性(p -value = 0.916)。

圖 4-104 為實驗組與控制組前臂外側之皮膚溫度反應不同風速之散佈圖；大部分皮膚溫度分佈於 27-30°C。進一步分析風速對皮膚溫度之影響發現，不同風速間皮膚溫度之變化不具統計顯著性(p -value = 0.200)。

圖 4-105 為實驗組與控制組前臂外側之皮膚濕度反應不同風速之散佈圖，由圖明顯得知，使用防曬乳液受試者前臂外側之皮膚濕度大部份高於未使用防曬乳液組之數值，兩者間具統計顯著差異(p -value < 0.001)。在無風速時，使用防曬乳液組之皮膚濕度高於 900 μ S 外，有風時皮膚濕度分佈於 0-600 μ S。進一步分析皮膚濕度隨風速改變產生之變化，統計分析結果顯示不同風速對皮膚濕度之影響不具統計顯著性(p -value = 0.888)。

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

暴露艙實驗中前臂外側所量測之皮膚生理指標—SBFC、TEWL、皮膚溫度與皮膚濕度—透過立體散佈圖與兩兩對應方式觀察其相對分佈以分析不同皮膚生理指標間之反應-時程關係，以及各皮膚生理指標是否因使用防曬乳液與否、環境溫度、環境相對濕度之變化產生影響。

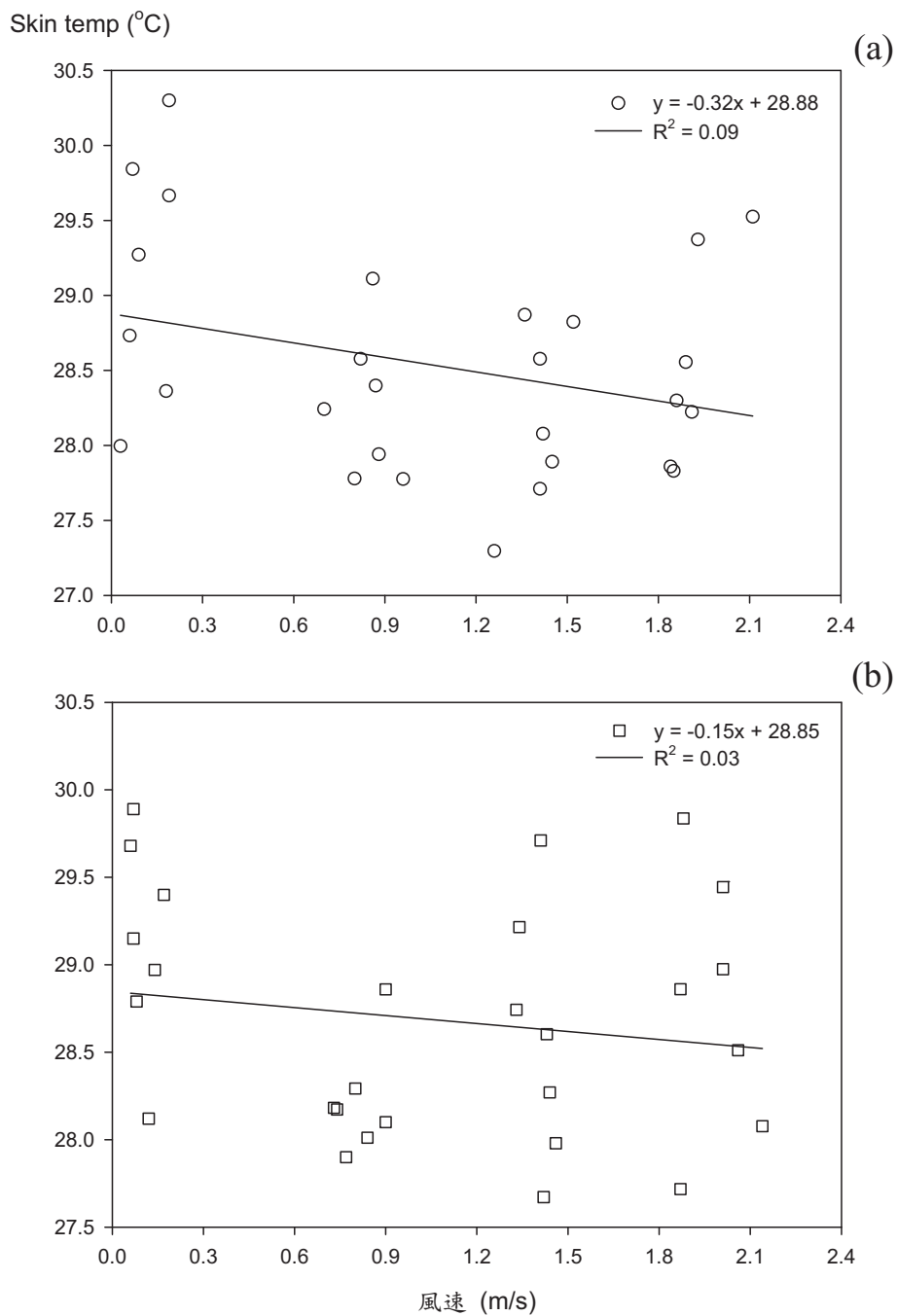


圖 4-104 前臂外側之皮膚溫度(skin temperature)於環境溫度 28°C 與環境相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

Skin moisture (μS)

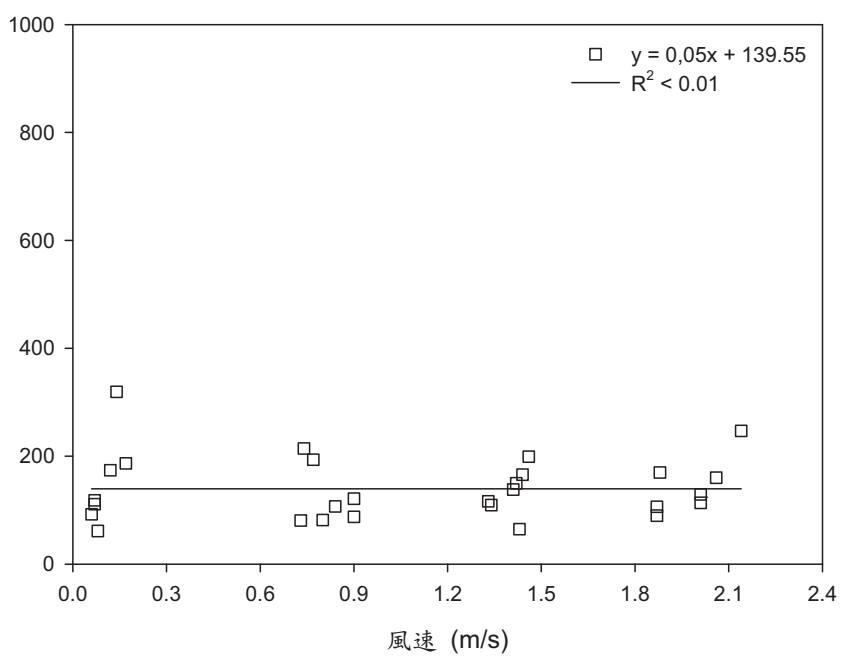
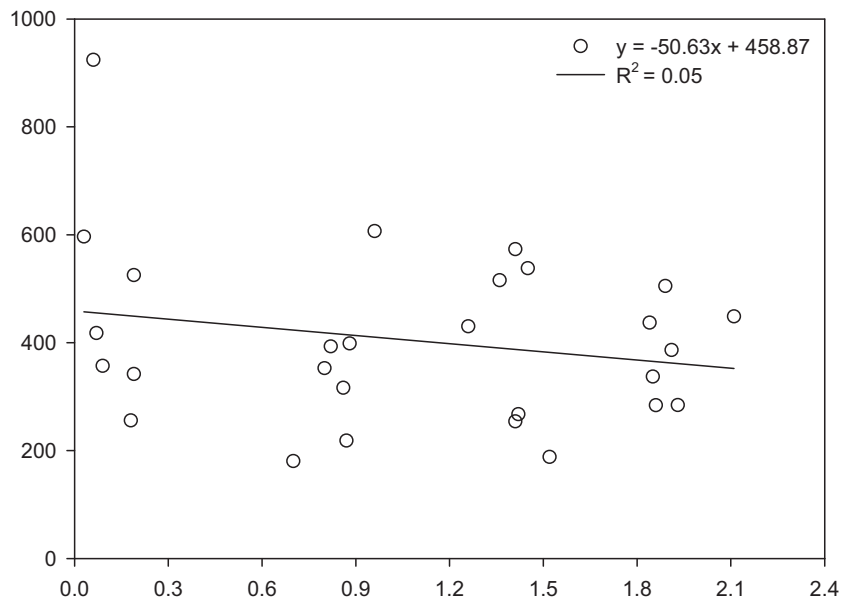


圖 4-105 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)於環境溫度 28°C 與相對濕度 60%時對應風速變化之散佈與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

圖 4-106 所示為 SBFC、皮膚溫度與皮膚濕度之立體散佈圖。由圖得知，不論使用防曬乳液與否，皮膚溫度隨著環境溫度上升而增加。未使用防曬乳液組(控制組)與使用防曬乳液組(實驗組)之 SBFC 於環境溫度高於 28°C 後隨環境溫度上升明顯增加，但控制組之 SBFC 變異量較顯著。控制組之皮膚濕度於環境溫度高於 28°C 後隨著環境溫度上升而顯著增加；因防曬乳液提供提膚保溼之效能，因此實驗組至於環境溫度高於 31°C 時皮膚濕度才產生明顯變化。

實驗結果進一步利用兩兩對應方式分析不同皮膚生理指標間之反應-時程關係。圖 4-107 所示為 log SBFC 與 log 皮膚溫度之對應散佈關係；圖 4-108 及圖 4-109 則分別為圖 4-107 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-57 則表列前臂外側 SBFC 依使用防曬乳液與否對應皮膚溫度之線性迴歸方程式、r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關分析統計檢定結果。使用防曬乳液者之 SBFC 變化與皮膚溫度之改變呈線性相關， R^2 值為 0.32；未使用防曬乳液者 R^2 則為 0.42。線性迴歸分析結果顯示：與實驗組相較，控制組前臂外側 SBFC 對應皮膚溫度之變化較為敏感(slope = 2.33)且相關性較高($r = 0.65$ ； $R^2 = 0.42$)。不論使用防曬乳液與否，前臂外側 SBFC 對應皮膚溫度線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.001)。在環境溫度影響方面，SBFC 隨環境溫度上升而增加。未使用防曬乳液組之 SBFC 產生顯著變化之環境溫度約為 28°C；使用防曬乳液

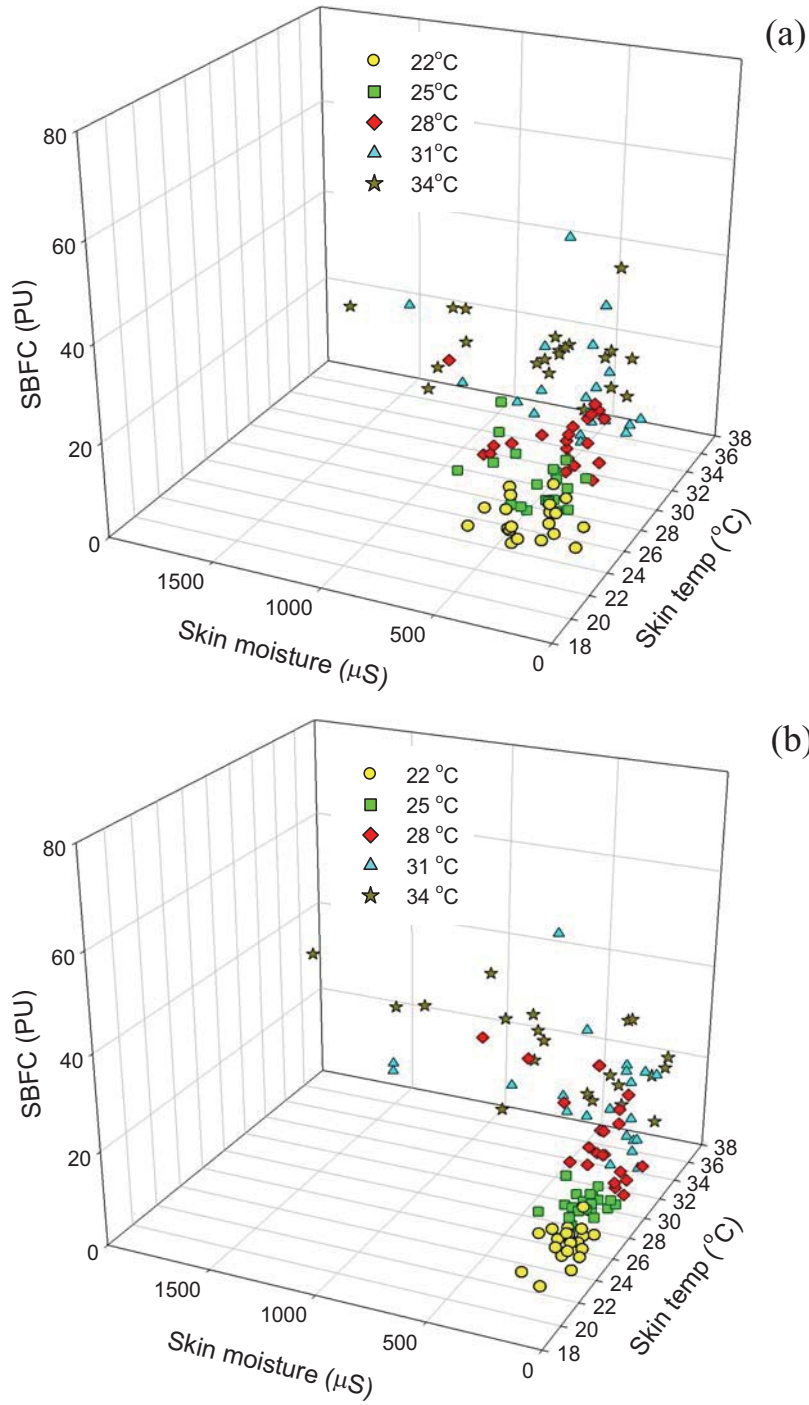


圖 4-106 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、皮膚溫度(skin temperature)、以及皮膚濕度(skin moisture)於不同環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

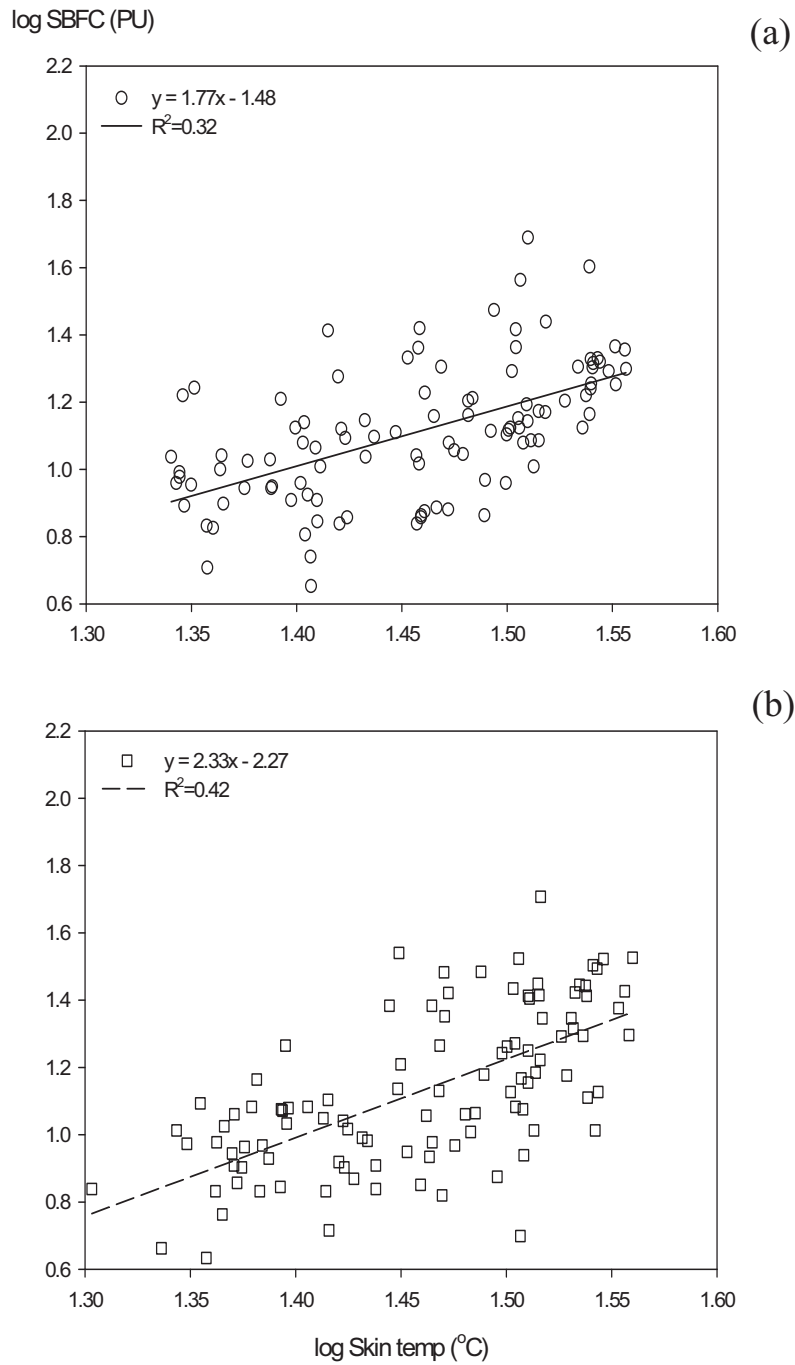


圖 4-107 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC) 對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值散佈圖與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

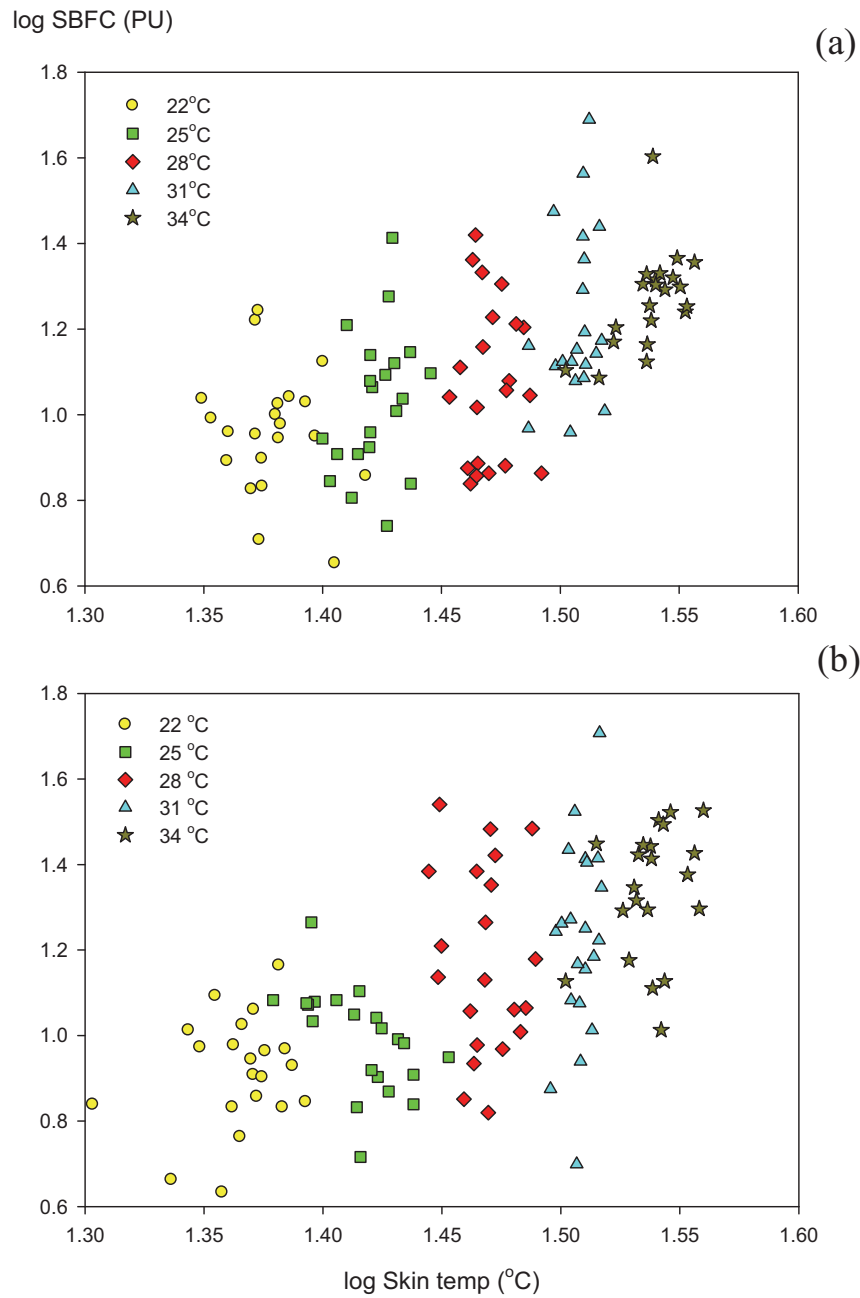


圖 4-108 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

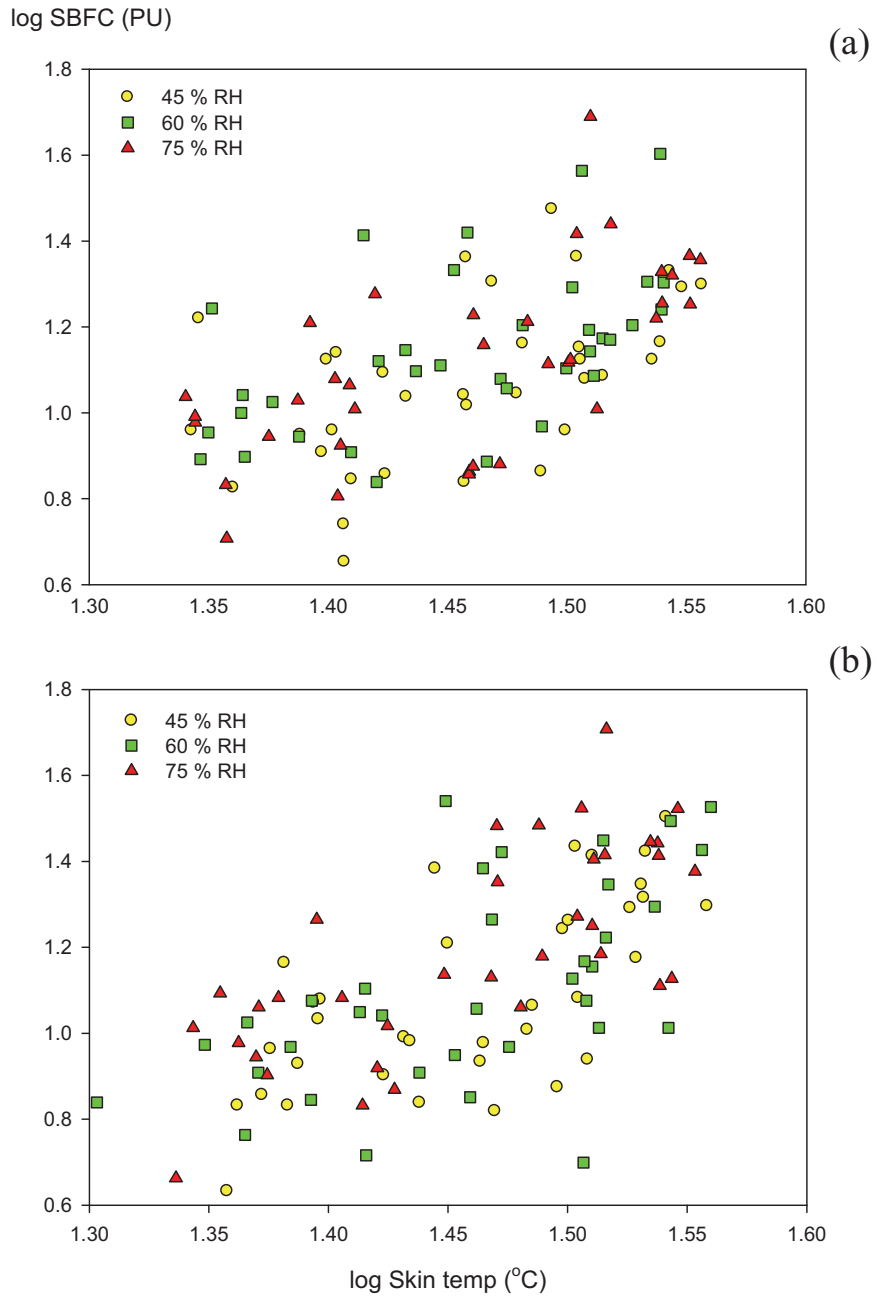


圖 4-109 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值依不同環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-57 受試人員前臂外側皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數

值散佈圖與線性迴歸^a及相關分析^b之統計檢定

Regression equation ^a	r ^a	R ^{2 a}	Adj. R ^{2 a}	p-value ^a	r _s ^b	p-value ^b
實驗組 y = 1.77x - 1.48	0.57	0.32	0.32	< 0.001 ^c	0.52	< 0.001 ^c
控制組 y = 2.33x - 2.27	0.65	0.42	0.41	< 0.001 ^c	0.61	< 0.001 ^c

^a 檢定 SBFC 對應皮膚溫度之迴歸方程式 (regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R²)、調整判定係數(Adj. R²)、以及顯著性 (p-value)

^b 以皮爾森積差相關檢定 SBFC 與皮膚溫度之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性 (p-value)

^c p-value < 0.01

組則至 31°C 時 SBFC 始開始明顯增加。推估此差異源自於防曬乳液提供皮膚防護、涼膚之效能。在環境相對濕度影響方面，不論使用防曬乳液與否，SBFC 與皮膚溫度受相對濕度之影響則較不顯著。

圖 4-110 所示為 log 皮膚濕度與 log 皮膚溫度之對應散佈關係；圖 4-111 及圖 4-112 則分別為圖 4-110 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-58 所示為前臂外側皮膚濕度依使用防曬乳液與否對應皮膚溫度之非線性迴歸方程式、r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關分析統計檢定結果。結果顯示：當皮膚溫度相同時，使用防曬乳液者之皮膚濕度都大於未使用防曬乳液者；差異形成之原因可能為防曬乳液提供皮膚保溼之效能。使用防曬乳液者皮膚濕度之變化與皮膚溫度之改變呈非線性相關 ($R^2 = 0.24$)；未使用防曬乳液者亦為非線性， $R^2 = 0.38$ 。不論使用防曬乳液與否，非線性關係均達顯著差異 (p -value < 0.001)。在環境溫度影響方面，皮膚濕度隨環境溫度上升而增加；當環境溫度逾 28°C 時，未使用防曬乳液者之皮膚濕度在皮膚溫度相同時之差異擴大。以上現象之形成可能原因為：當皮膚溫度因應熱環境改變而上升時，人體熱調節系統 (thermoregulatory system) 產生散熱需求，驅動皮膚表皮之水分蓄積，故呈現皮膚濕度隨皮膚溫度上升而增加之趨勢。環境濕度越高時，皮膚濕度值亦越高。此外若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；當環境溫度達 31°C 時，使用防曬乳液者之皮膚濕度出

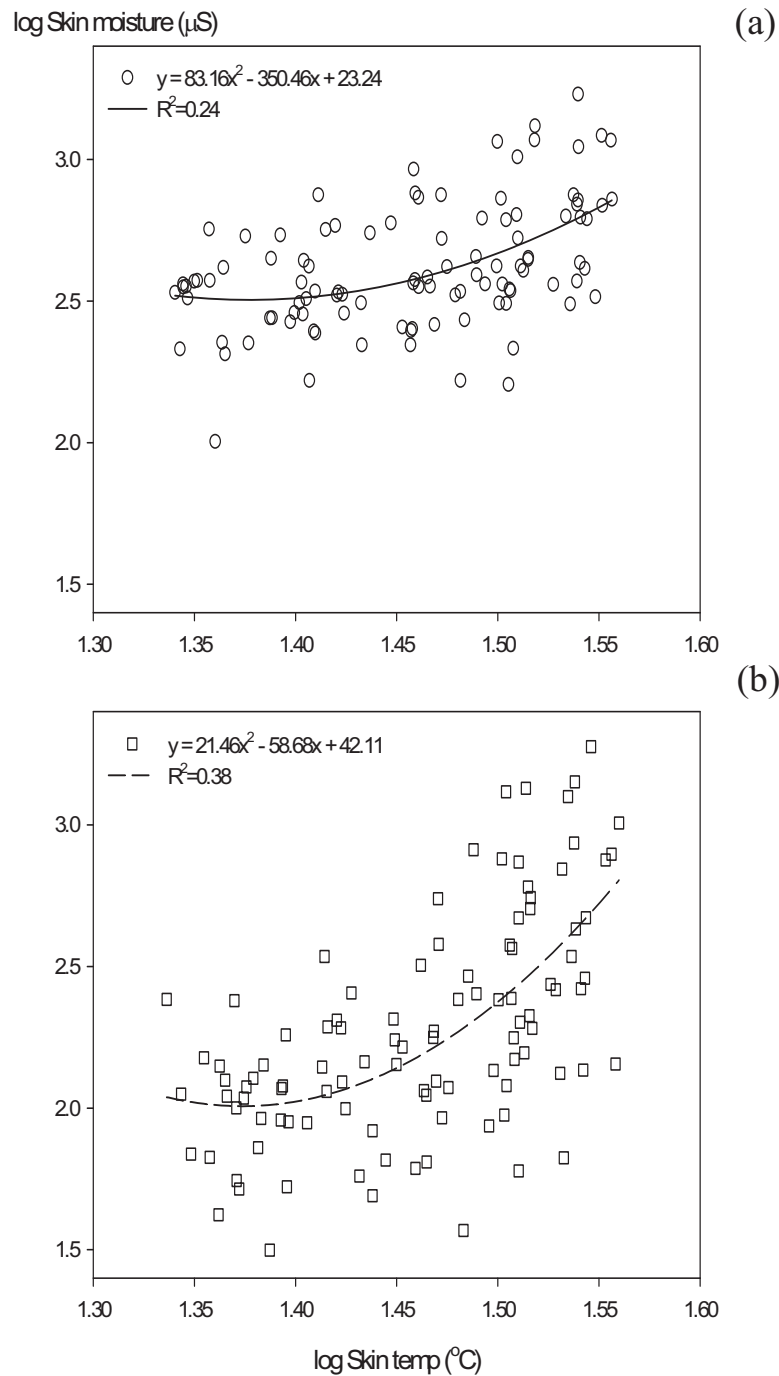


圖 4-110 前臂外側之皮膚濕度 (skin moisture) 對應皮膚溫度 (skin temperature) 之 log 數值散佈圖與非線性迴歸：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

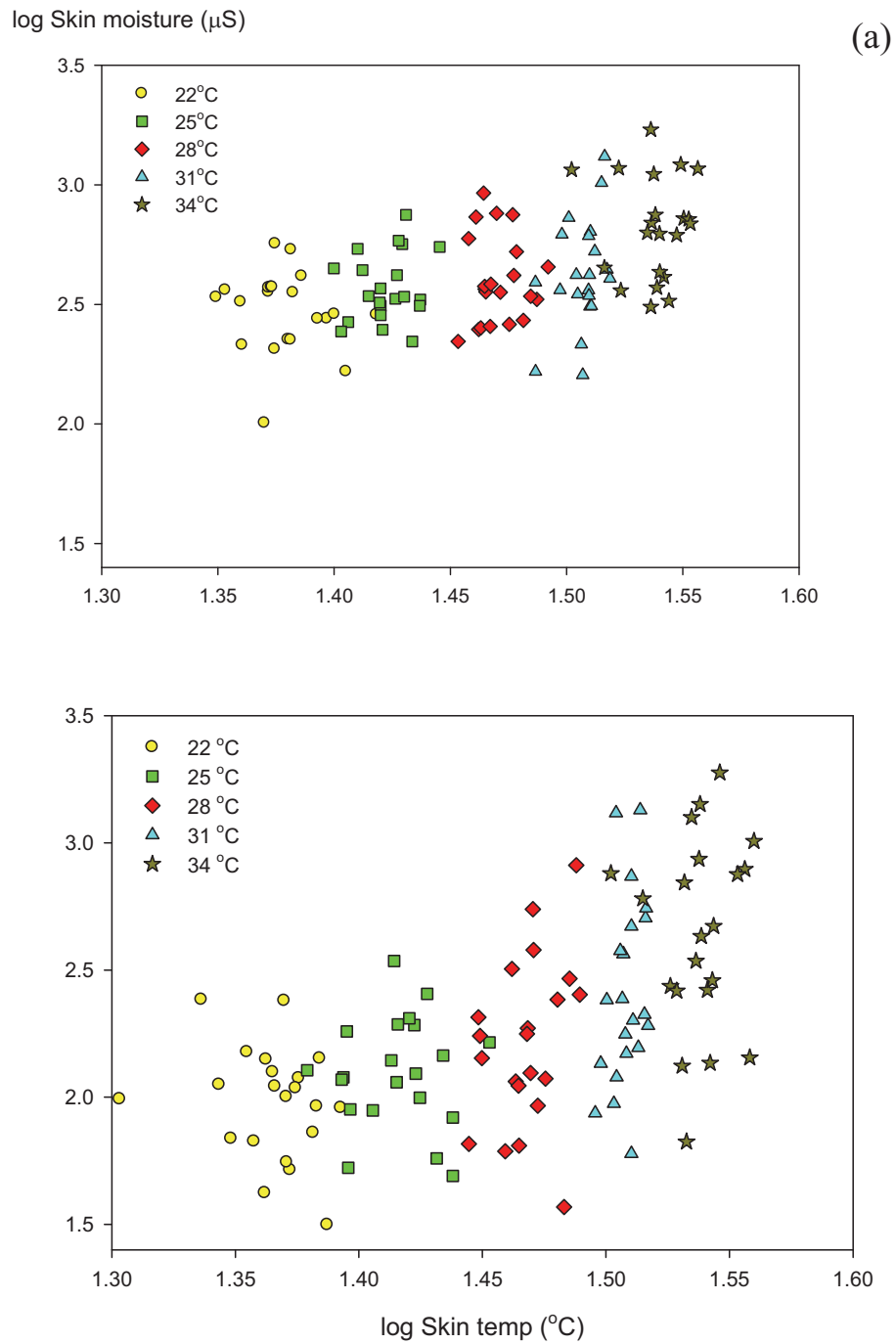


圖 4-111 前臂外側之皮膚濕度 (skin moisture) 對應皮膚溫度 (skin temperature) 之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

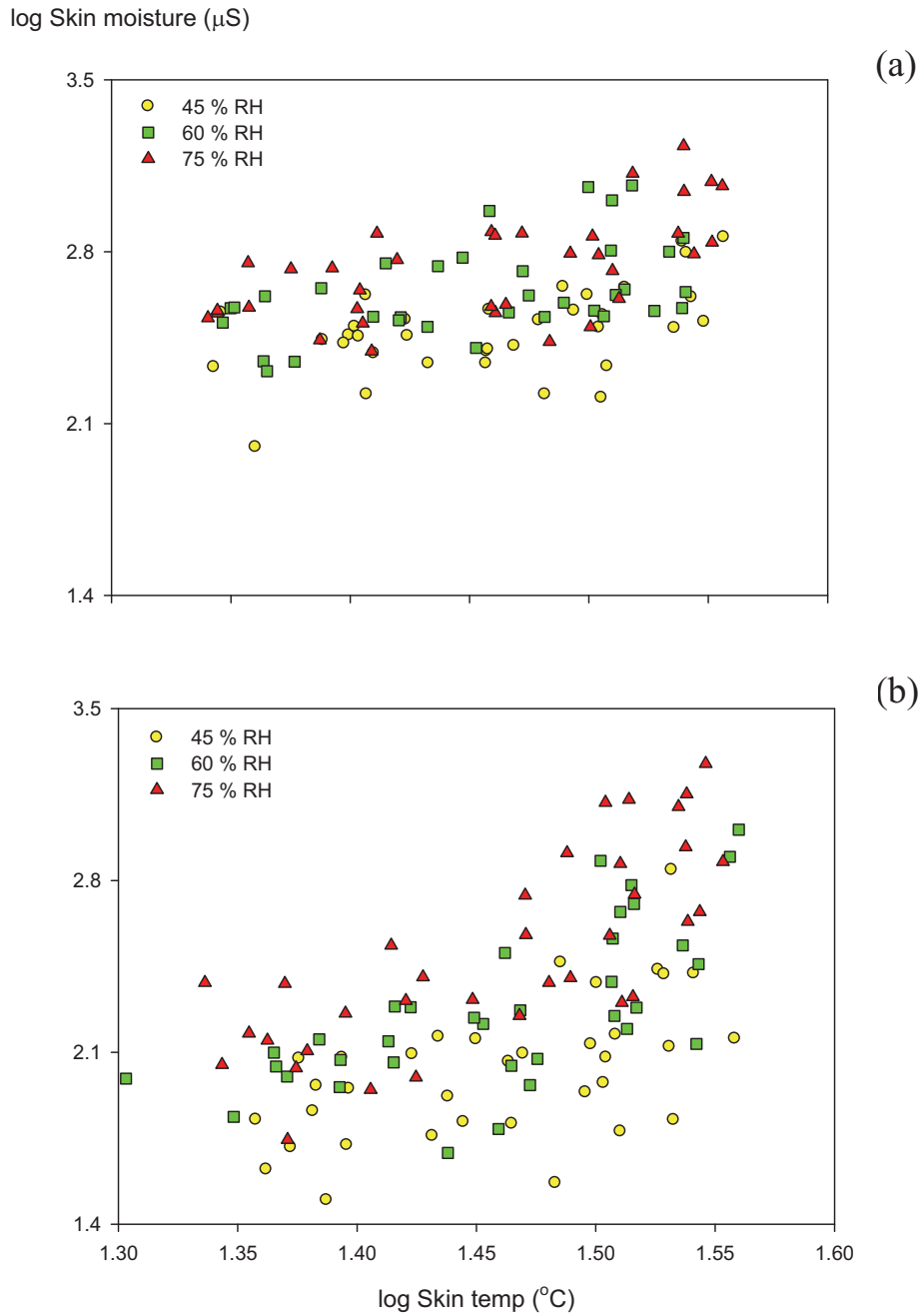


圖 4-112 前臂外側之皮膚濕度 (skin moisture) 對應皮膚溫度 (skin temperature) 之 log 數值依不同環境環境相對濕度區分之散佈圖：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

表 4-58 受試人員前臂外側皮膚濕度(skin moisture)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值散佈圖與非線性迴歸

^a 及相關分析 ^b 之統計檢定

Regression equation	r ^a	R ^{2 a}	Adj. R ^{2 a}	p-value ^a	r _s ^b	p-value ^b
實驗組 $y = 10.93x^2 - 30.11x + 23.24$	0.49	0.24	0.23	0.048 ^c	0.48	< 0.001 ^c
控制組 $y = 21.46x^2 - 58.68x + 42.11$	0.62	0.38	0.37	0.921	0.52	< 0.001 ^c

^a 檢定皮膚濕度對應皮膚溫度之迴歸方程式(regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R²)、調整判定係數(Adj. R²)、以及顯著性(p-value)

^b 以皮爾森積差相關檢定皮膚濕度對應皮膚溫度之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性(p-value)

^c p-value < 0.01

現幅度之上升。整體而言，未使用防曬乳液者之皮膚濕度對應皮膚溫度之分佈較大，反應使用防曬乳液時皮膚濕度一般較未使用防曬乳液時為高之特性，同時說明若施用方式正確，防曬乳液可提供較佳之皮膚保濕功能。就環境濕度之影響分析，不論使用防曬乳液與否，皮膚濕度隨相對濕度影響而改變。皮膚濕度對應皮膚溫度為非線性之關係(二次方程式)，反應皮膚濕度在皮膚溫度增加初期(環境溫度為 22-25°C)並無劇烈改變，但在高環境溫度時隨皮膚溫度增加而快速上升之趨勢。

圖 4-113 所示為 log SBFC 與 log 皮膚濕度之對應散佈關係；圖 4-114 及圖 4-115 則分別為圖 4-113 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-59 則表列前臂外側 SBFC 依使用防曬乳液與否對應皮膚濕度之線性迴歸方程式、r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關分析統計檢定結果。使用防曬乳液者之 SBFC 之變化與皮膚濕度之改變呈線性相關($R^2 = 0.11$)；未使用防曬乳液者之 R^2 則為 0.27。線性迴歸分析結果顯示：不論使用防曬乳液與否，線性迴歸方程式之統計檢定均達顯著差異(p -value < 0.05)。比較圖 4-108、4-111、4-114 可發現，整體而言，環境溫度上升至 28°C 時，SBFC 先產生變化，隨後皮膚濕度使之增加。

圖 4-116 所示為 SBFC、皮膚溫度與 TEWL 之立體散佈圖。如圖所示，不論使用防曬乳液與否，皮膚溫度隨著環境溫度上升而首先增加。而後控制組與實驗組之 SBFC 於環境溫度高於 28°C 時隨環境溫度上升而

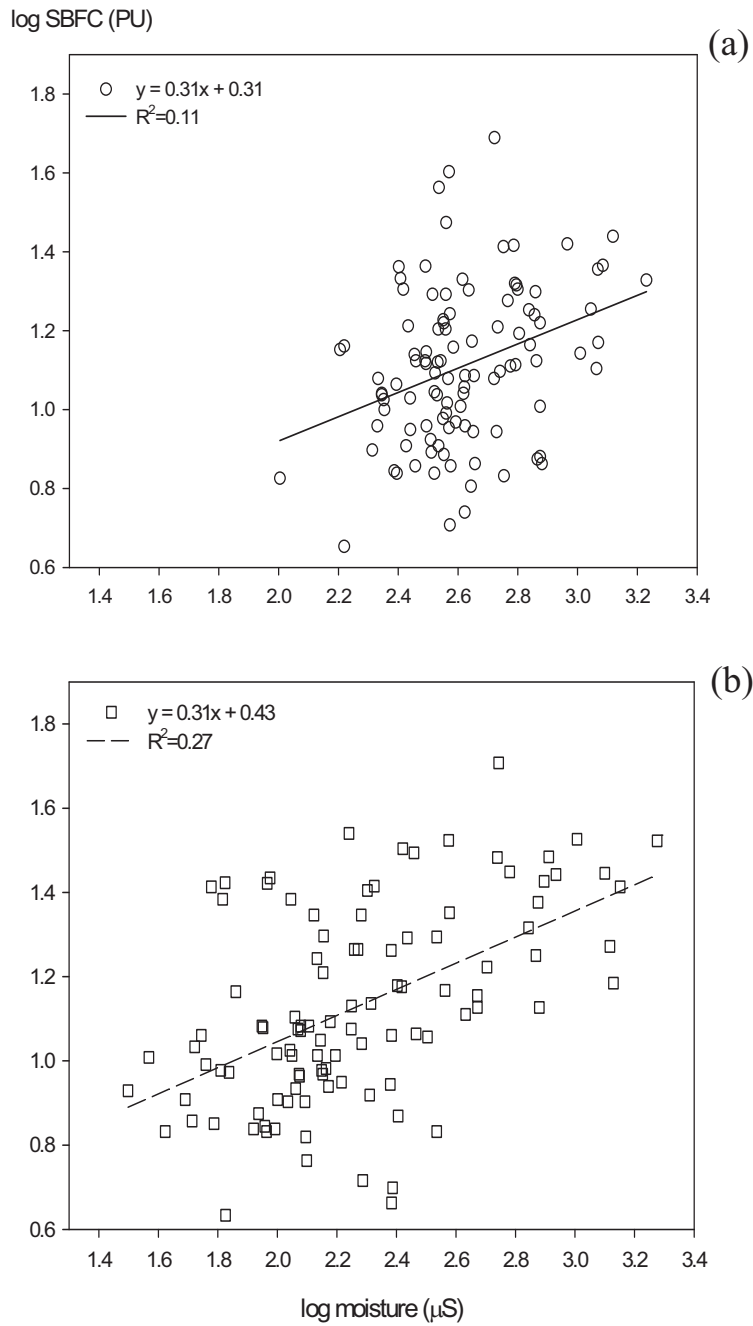


圖 4-113 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚濕度(skin moisture)之 log 數值散佈圖與線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

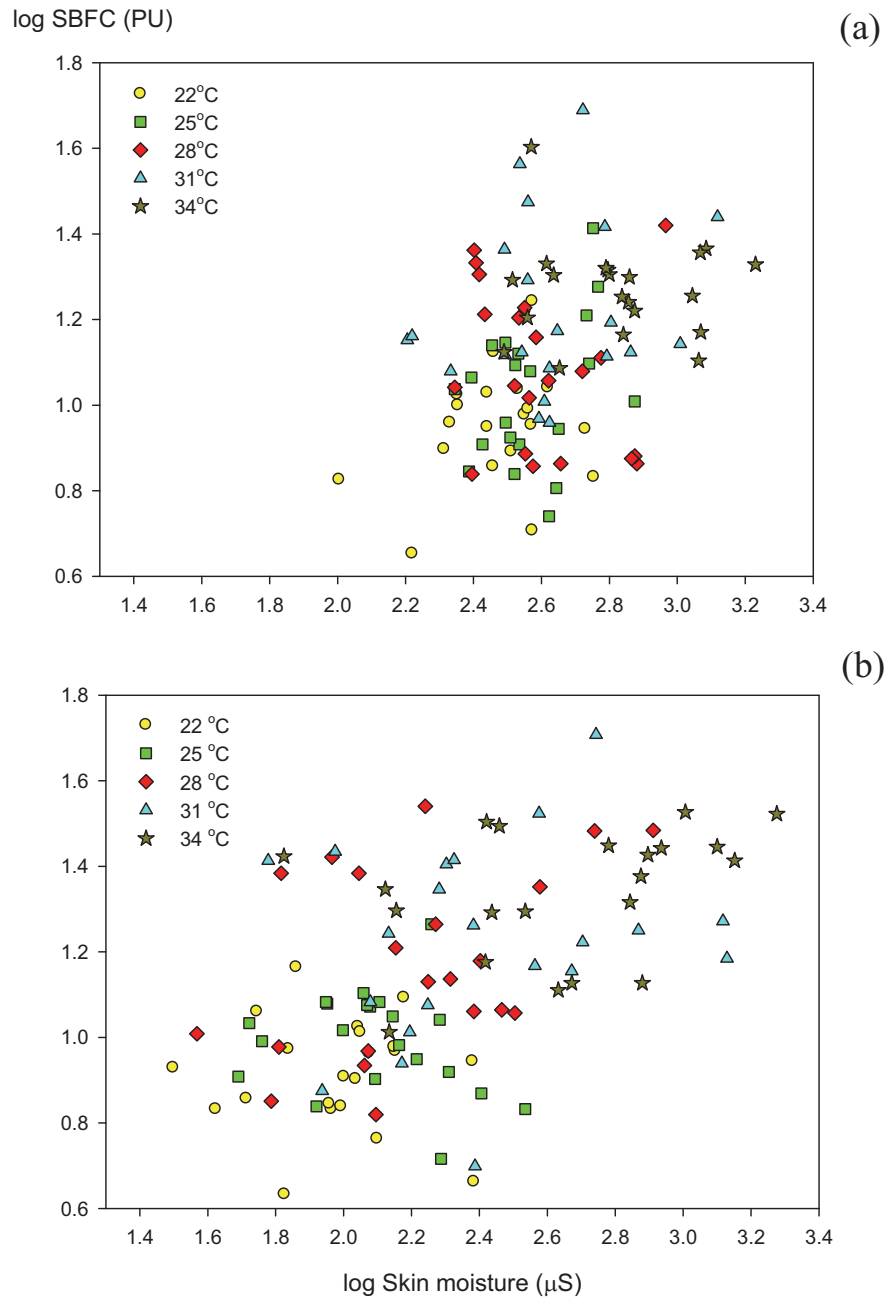


圖 4-114 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚濕度(skin moisture)之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

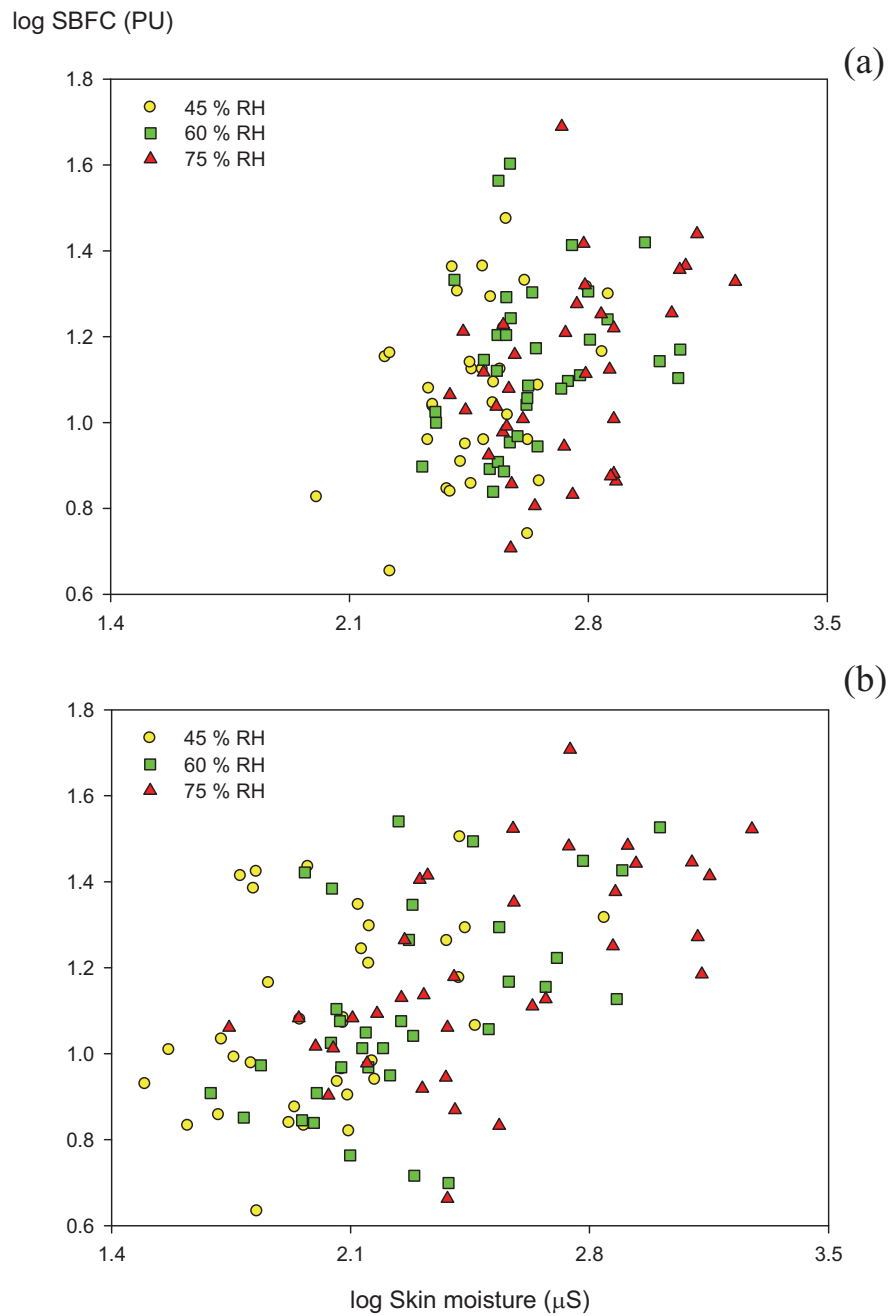


圖 4-115 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚濕度(skin moisture)之 log 數值依不同環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-59 受試人員前臂外側皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應皮膚濕度(skin moisture)之 log 數

值散佈圖與線性迴歸^a及相關分析^b之統計檢定

Regression equation	r^a	R^2^a	Adj. R^2^a	p -value ^a	r_s^b	p -value ^b
實驗組 $y = 0.31x + 0.31$	0.34	0.11	0.11	0.004 ^c	0.28	0.003 ^c
控制組 $y = 0.31x - 0.43$	0.52	0.27	0.26	<0.001 ^c	0.49	<0.001 ^c

^a 檢定 SBFC 對應皮膚濕度之迴歸方程式 (regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R^2)、調整判定係數(Adj. R^2)、以及顯著性 (p -value)

^b 以皮爾森積差相關檢定 SBFC 與皮膚濕度之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性 (p -value)

^c p -value < 0.01

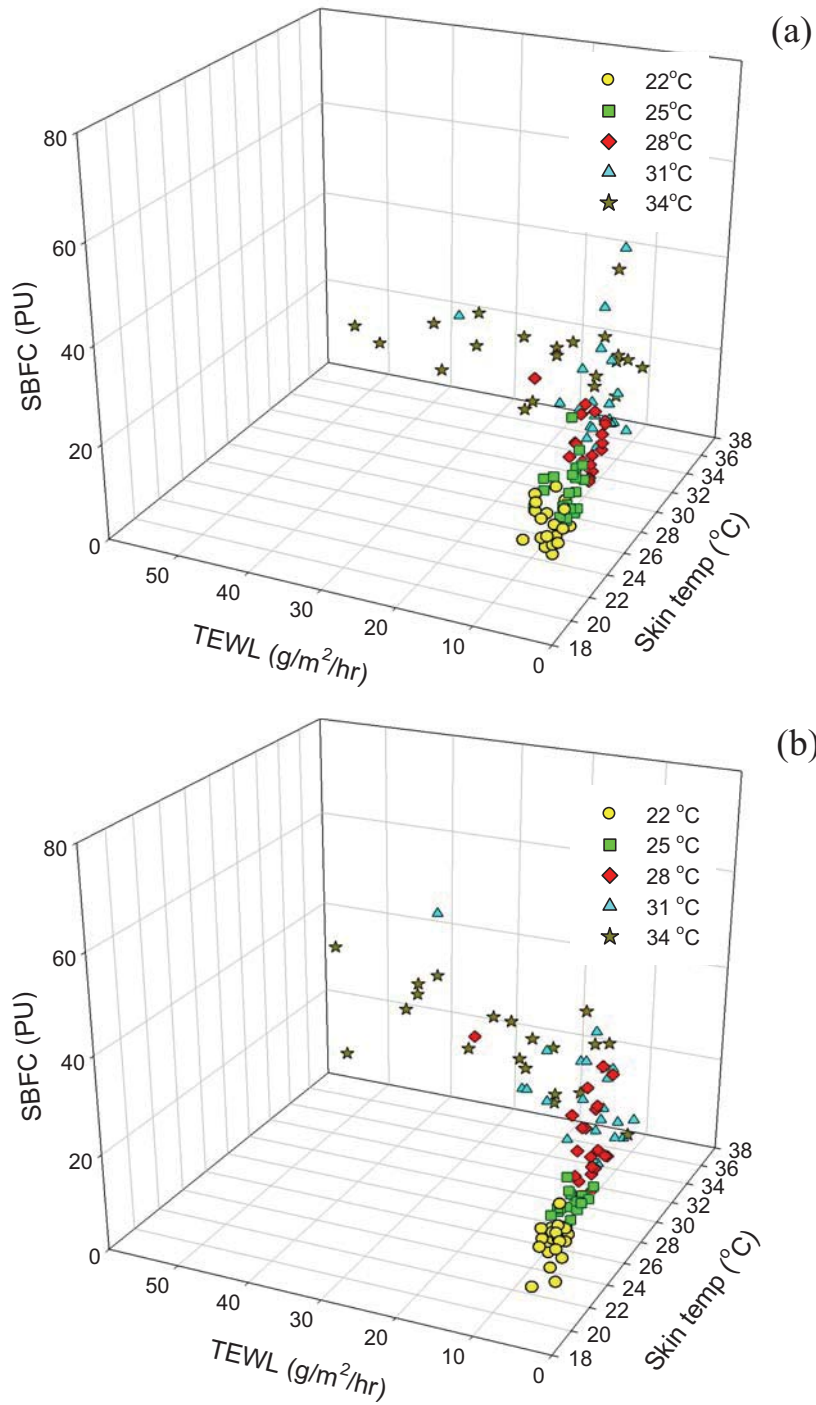


圖 4-116 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、皮膚溫度 (skin temperature)、以及經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL)於不同環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

增加，但控制組之 SBFC 增加量較顯著。再其次，控制組之 TEWL 於環境溫度逾 31°C 時隨環境溫度上升而顯著增加；因防曬乳液提供皮膚保溼之效能，因此實驗組之 TEWL 至於環境溫度高於 34°C 才產生變化。

圖 4-117 所示為 log TEWL 與 log 皮膚溫度之對應散佈關係；圖 4-118 及圖 4-119 則分別為圖 4-117 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-60 所示為前臂外側 TEWL 對應皮膚溫度之非線性迴歸方程式、 r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關統計檢定。一般而言，在相同皮膚溫度時，控制組皮膚之 TEWL 略高於實驗組。迴歸分析結果顯示：與實驗組相較，控制組前臂外側 TEWL 對應皮膚溫度之相關性較高($r = 0.85$ ； $R^2 = 0.72$)；控制組非線性迴歸方程式之統計檢定達顯著差異($p\text{-value} < 0.05$)。在環境溫度影響方面，皮膚溫度首先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，控制組 TEWL 對應皮膚溫度之散佈範圍明顯擴大；實驗組則至 34°C 時，TEWL 增加幅度增大。以上觀察顯示，當皮膚溫度過高時，個體間之 TEWL 亦會出現顯著差異。在環境相對濕度影響方面，不論使用防曬乳液與否，TEWL 受到相對濕度影響甚小。本分析中發現 TEWL 對應皮膚溫度之分佈呈現非線性關係，非線性迴歸為三次方方程式。對應實驗觀察值可發現，該現象之產生主要受環境溫度改變之影響：在環境溫度為 22°C 時，TEWL 隨皮膚溫度增加出現較大幅度之上升；而後在環境溫度接近室溫時(25 及 28°C)，皮膚

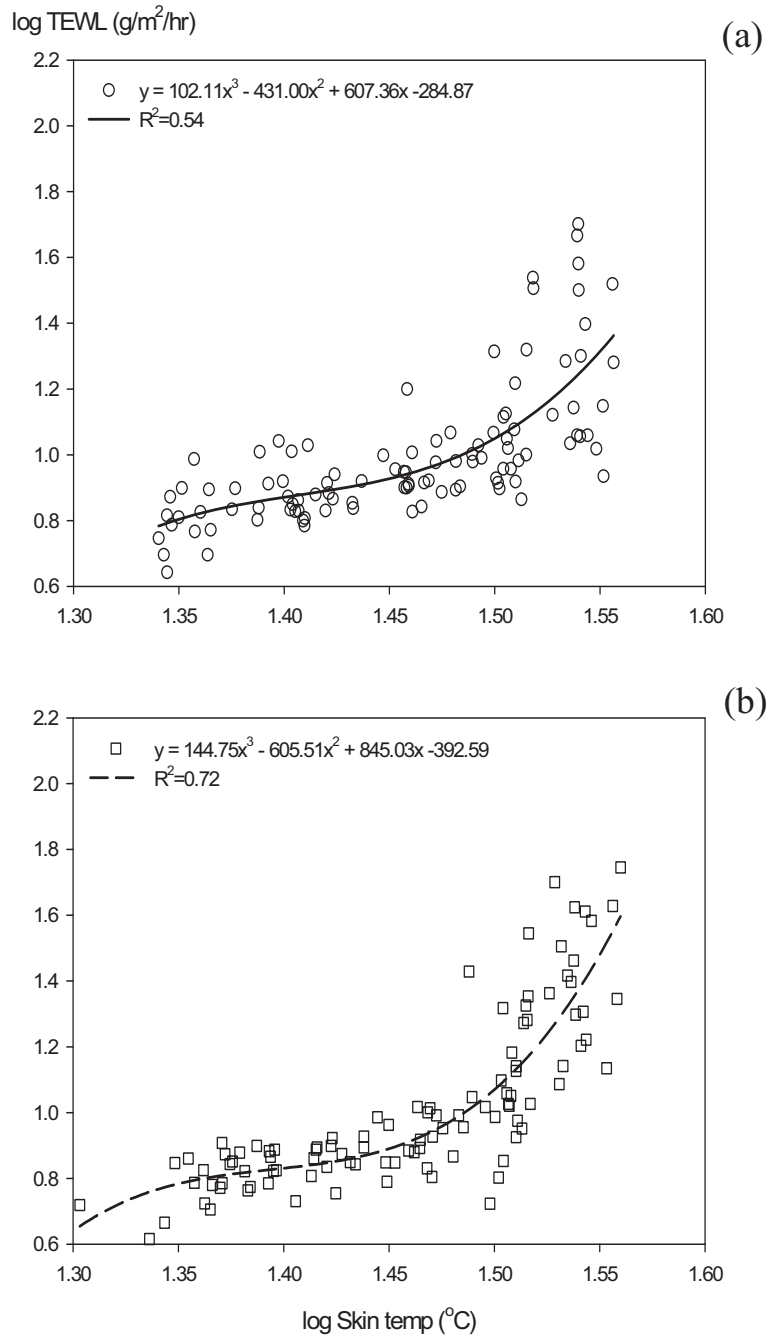


圖 4-117 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值散佈圖與非線性迴歸:(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

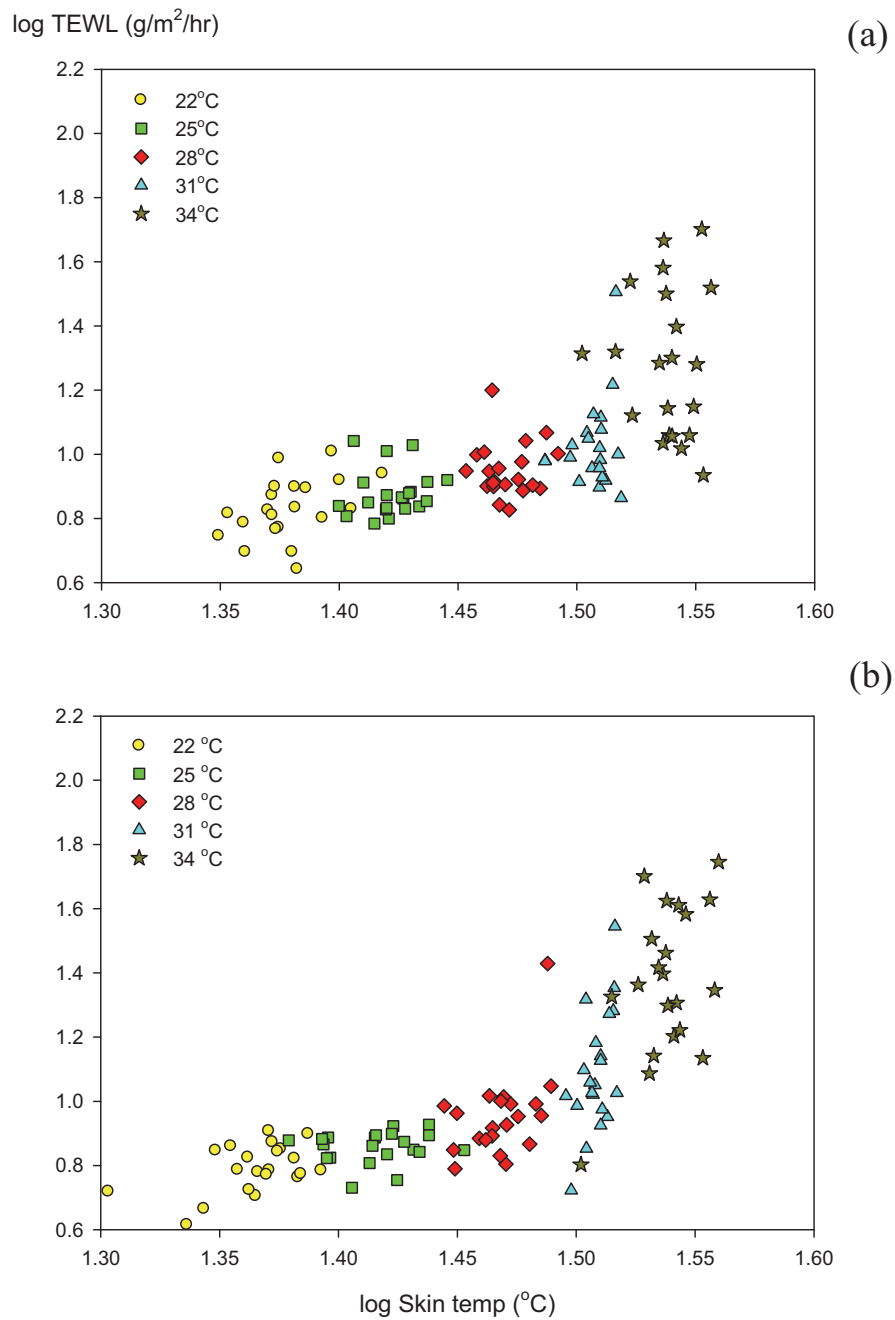


圖 4-118 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

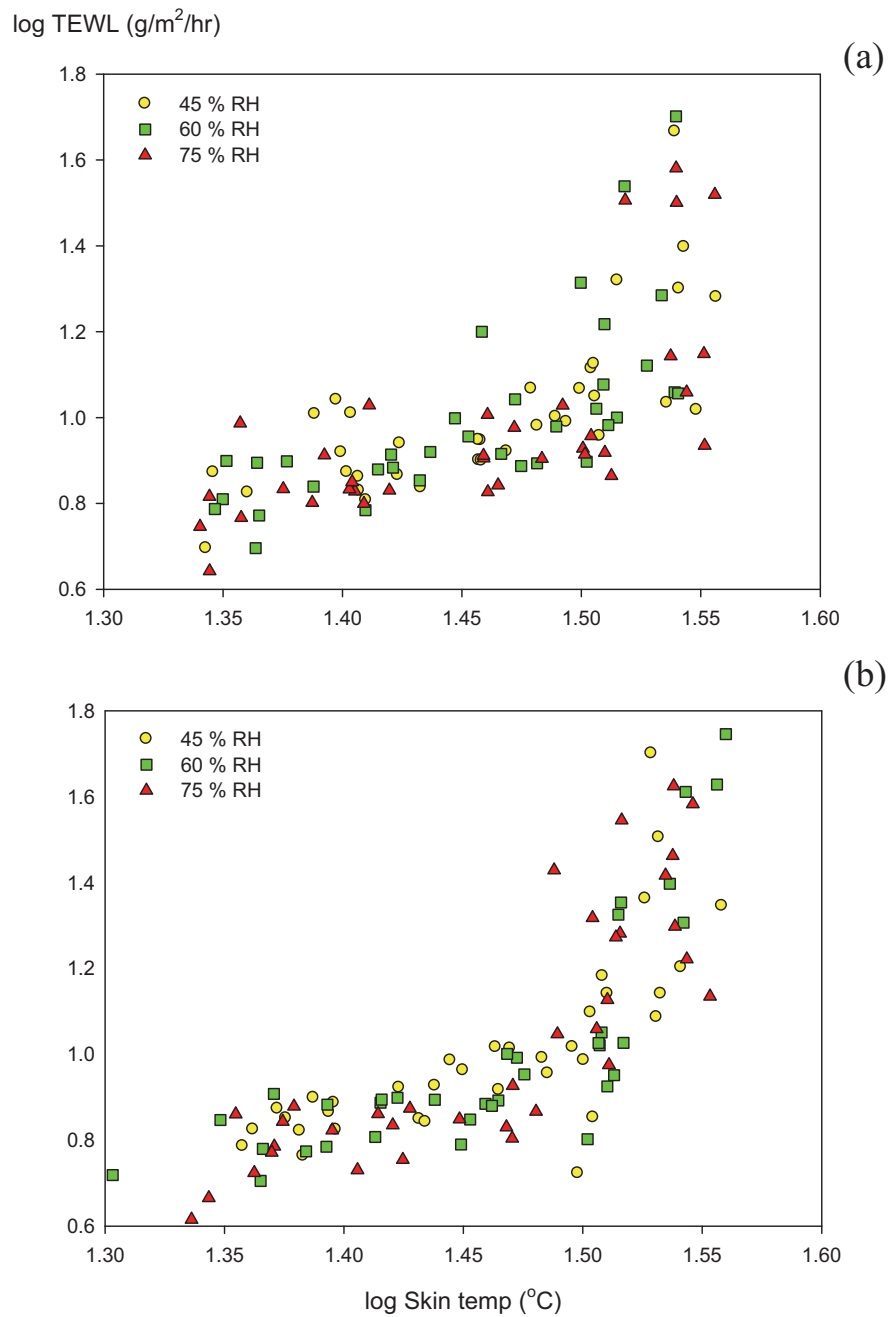


圖 4-119 前臂外側之經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值依不同環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-60 受試人員前臂外側經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)對應皮膚溫度(skin temperature)之 log 數值散佈圖與非線性迴歸^a及相關分析^b之統計檢定

Regression equation	r ^a	R ^{2a}	Adj. R ^{2a}	p-value ^a	r _s ^b	p-value ^b
實驗組 $y = 102.11x^3 - 431.00x^2 + 607.36x - 284.87$	0.73	0.54	0.54	0.160	0.57	0.004 ^c
控制組 $y = 144.75x^3 - 605.51x^2 + 845.03x - 392.59$	0.85	0.72	0.72	0.007 ^c	0.67	<0.001 ^c

^a 檢定 TEWL 對應皮膚溫度之迴歸方程式(regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R²)、調整判定係數(Adj. R²)、以及顯著性(p-value)

^b 以皮爾森積差相關檢定 TEWL 對應皮膚溫度之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性(p-value)

^c p-value < 0.01

溫度之上升並未促成 TEWL 值之顯著改變。當室內環境溫度偏高時(31 及 34°C)，TEWL 數值再次隨皮膚溫度增加而快速上升，且增加幅度超越低環境溫度期。以上結果顯示，TEWL 值對應皮膚溫度之增加在室內溫度較高與較低時比較明顯。若皮膚溫度代表人體生理恒定與周邊熱環境平衡之結果，TEWL 則適當反應人體熱調節系統因應上述平衡需求之作用時機，故為觀察人體為達到熱舒適狀態生理機制調節現象之良好指標。

圖 4-120 所示為 log SBFC 與 log TEWL 之對應散佈關係；圖 4-121 及圖 4-122 則分別為圖 4-120 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-61 所示為前臂外側 SBFC 依使用防曬乳液與否對應 TEWL 之非線性迴歸方程式、r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關統計檢定分析結果。使用防曬乳液者之 SBFC 之變化與皮膚濕度之改變呈非線性相關($R^2 = 0.23$)；未使用防曬乳液組非線性則為 $R^2 = 0.39$ 。迴歸分析結果顯示：與實驗組相較，控制組前臂外側 SBFC 對應皮膚濕度上升之增加量較大，且相關性較高($r = 0.62$ ； $R^2 = 0.39$)。實驗組非線性迴歸方程式之統計檢定達顯著差異($p\text{-value} < 0.05$)；控制組非線性迴歸方程式則未達統計顯著。如非線性迴歸之二次方迴歸方程式所建議，SBFC 對應 TEWL 之變化可分為兩階段。在環境溫度為 28°C 或以下時，隨環境溫度之增加，SBFC 快速上升，但 TEWL 則增加有限，反應人體熱調節機制透過血液循環將多餘體熱輸送至皮膚表面之現象；當環境溫度逾 28°C 後，SBFC 之增加到達飽

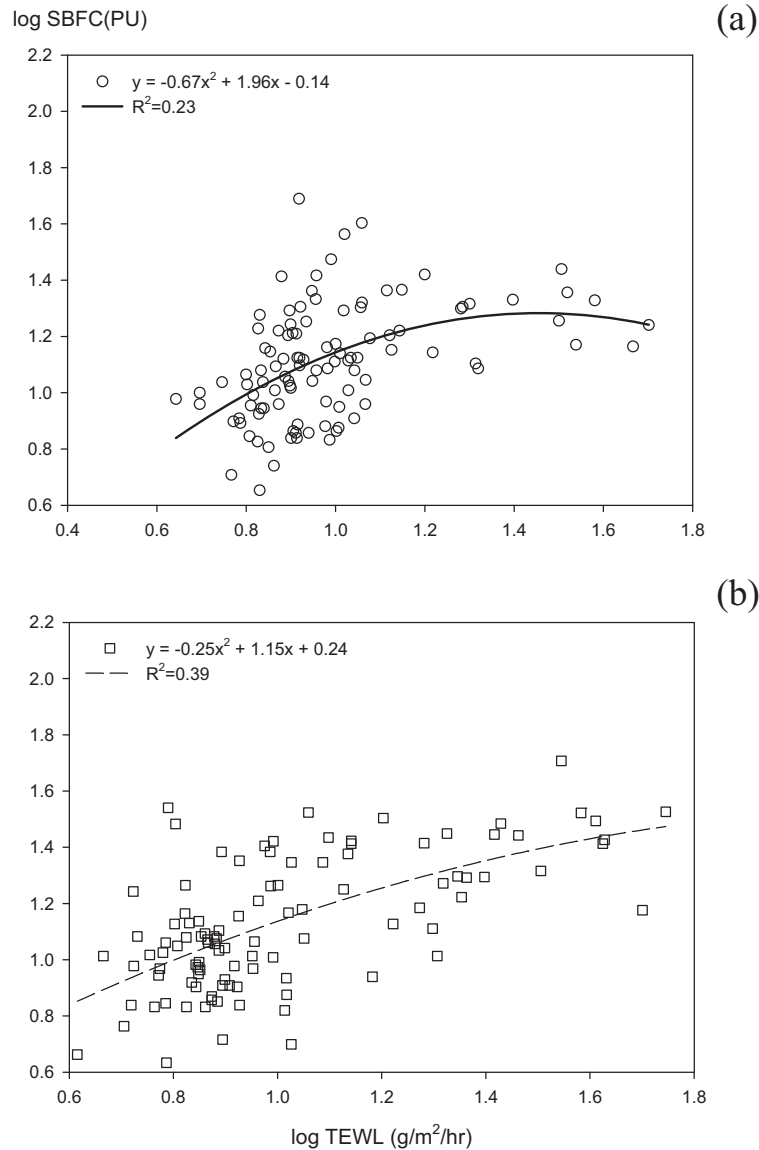


圖 4-120 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之 log 數值散佈圖與非線性迴歸：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

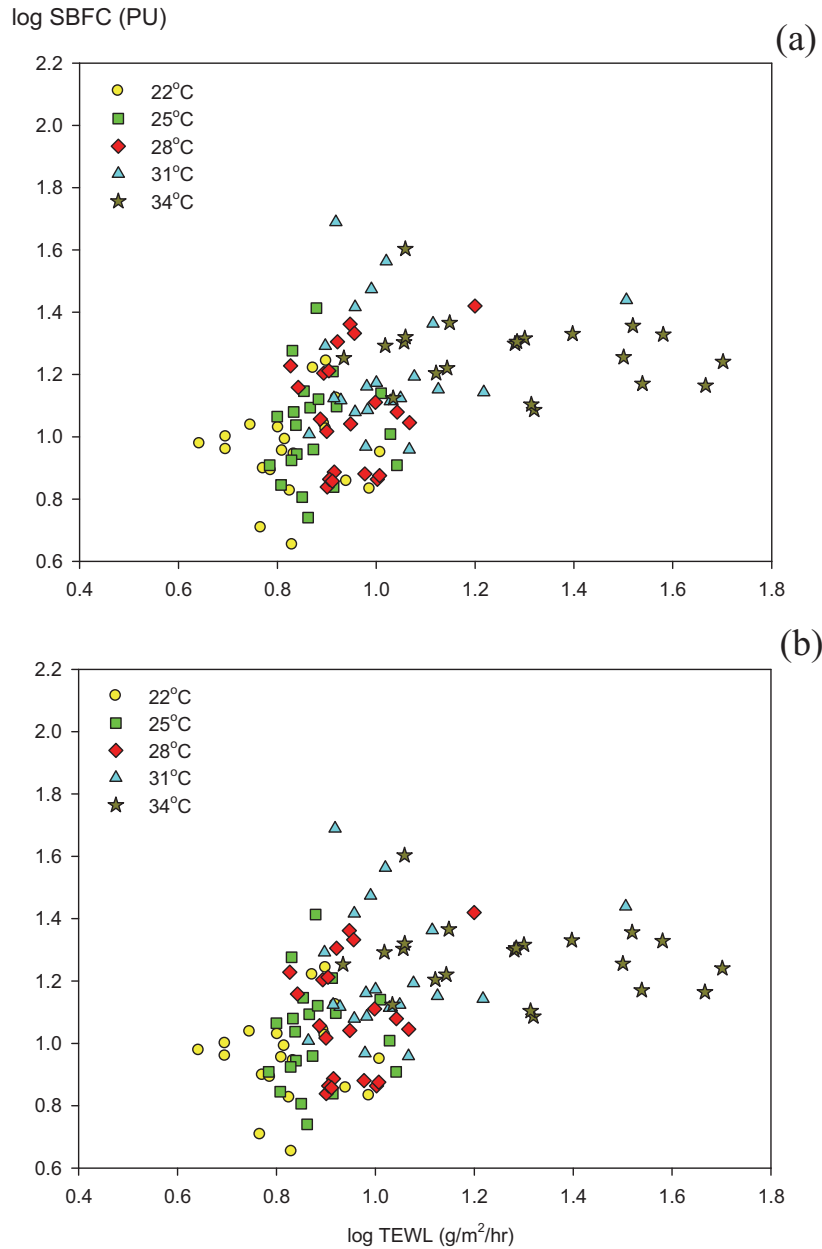


圖 4-121 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

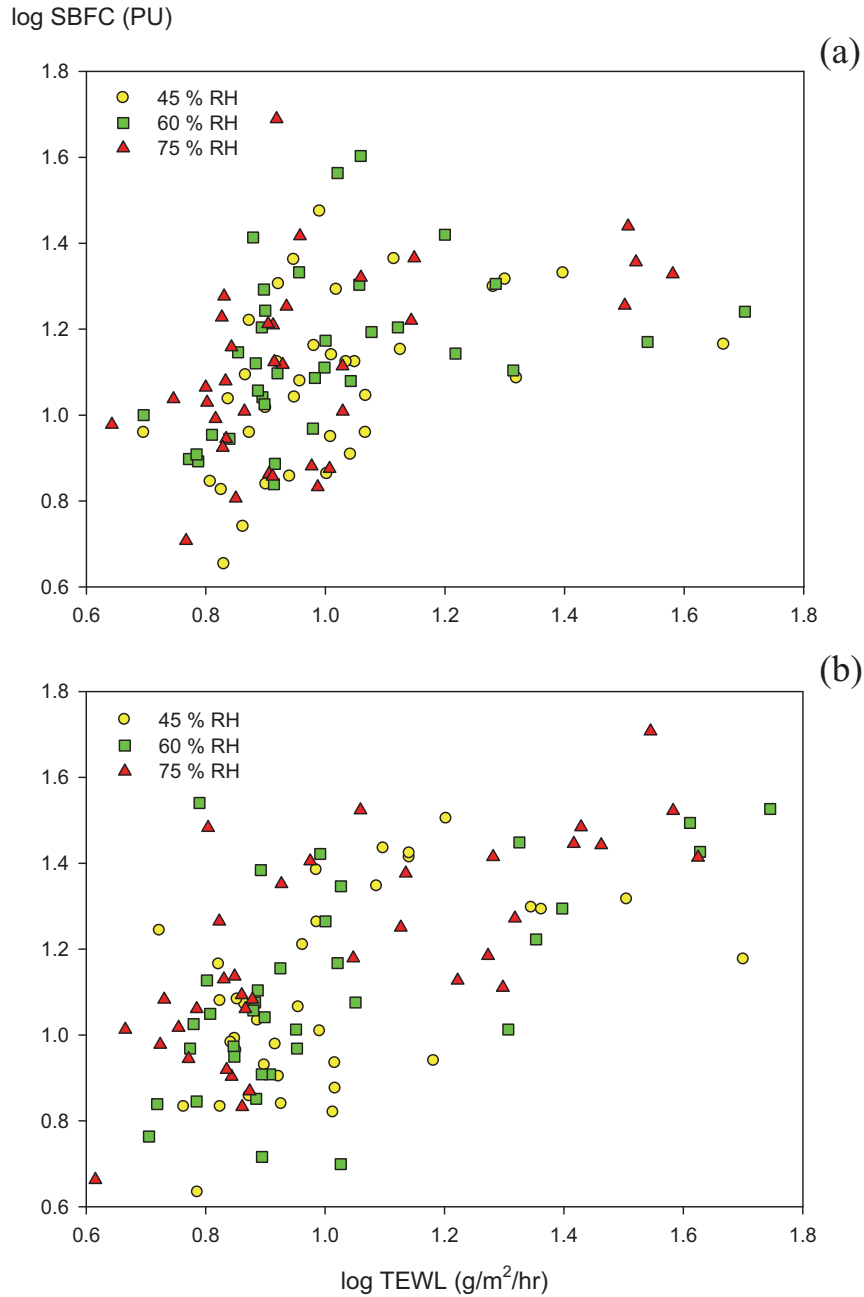


圖 4-122 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之 log 數值依不同環境環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-61 受試人員前臂外側皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)對應經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之 log 數值散佈圖與非線性迴歸^a及相關分析^b之統計檢定

Regression equation	r ^a	R ² ^a	Adj. R ² ^a	p-value ^a	r _s ^b	p-value ^b
實驗組 $y = -0.67x^2 + 1.96x - 0.14$	0.48	0.23	0.21	0.004 ^c	0.28	0.004 ^c
控制組 $y = -0.25x^2 + 1.15x + 0.24$	0.62	0.39	0.38	0.060	0.59	<0.001 ^c

^a 檢定 SBFC 對應 TEWL 之迴歸方程式(regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R²)、調整判定係數(Adj. R²)、以及顯著性(p-value)

^b 以皮爾森積差相關檢定 SBFC 對應 TEWL 之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性(p-value)

^c p-value < 0.01

和，此時因應體表蓄積之多餘體熱，TEWL 值快速上升，亦即體表以類排汗形式散發體熱。

圖 4-123 所示為 SBFC、皮膚濕度與 TEWL 之立體散佈圖。上述三生理指標對應熱環境變化主要皆受環境溫度之影響。如圖所示，不論使用防曬乳液與否，皮膚溫度首先隨著環境溫度上升而增加。控制組與實驗組之 SBFC 於環境溫度高於 28°C 時隨著環境溫度上升而明顯增加，但控制組之 SBFC 增加量較顯著。而後皮膚濕度出現顯著變化：控制組之皮膚濕度於環境溫度高於 28°C 時隨環境溫度上升而顯著增加。控制組之 TEWL 於環境溫度達 31°C 時明顯上升；實驗組則因防曬乳液提供皮膚保溼機制故其 TEWL 於環境溫度逾 34°C 時才隨環境溫度上升而顯著增加。

圖 4-124 所示為 log 皮膚濕度與 log TEWL 之對應散佈關係；圖 4-125 及圖 4-126 則分別為圖 4-124 依不同環境溫度與相對濕度區分之散佈圖。表 4-62 則表列前臂外側 TEWL 依使用防曬乳液與否對應皮膚濕度之線性迴歸方程式、r 值、 R^2 值、調整後 R^2 值與相關統計檢定分析結果。實驗組之測量值集中區域為 TEWL 0.7-1.2 g/m²/hr、皮膚濕度 2.2-2.8 μ S 之範圍。與以上測量值相關之環境溫度為 22、25、28 及 31°C；測量值之變化較不受環境溫度之影響。控制組之測量值集中之區域為 TEWL 0.6-1.2 g/m²/hr、皮膚濕度 log 1.5-2.8 μ S 之範圍；與測量值相關環境溫度為 22、25、及 28°C。顯示實驗組在環境溫度為 31°C 及以下與控制組在 28°C 及

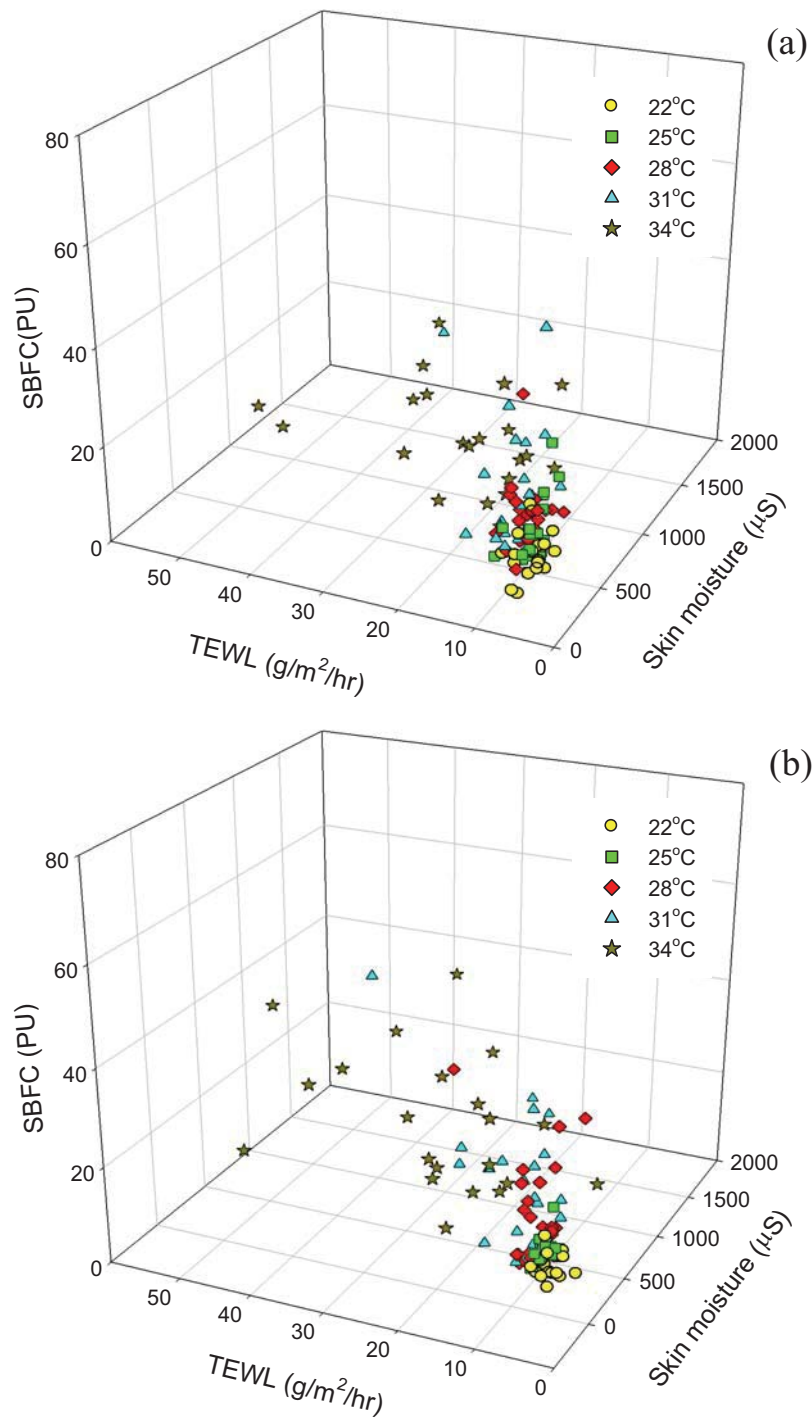


圖 4-123 前臂外側之皮膚微血流變化量(skin blood flow change, SBFC)、皮膚濕度(skin moisture)、以及經皮水分散失量(transdermal water loss, TEWL)於不同環境溫度之立體散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

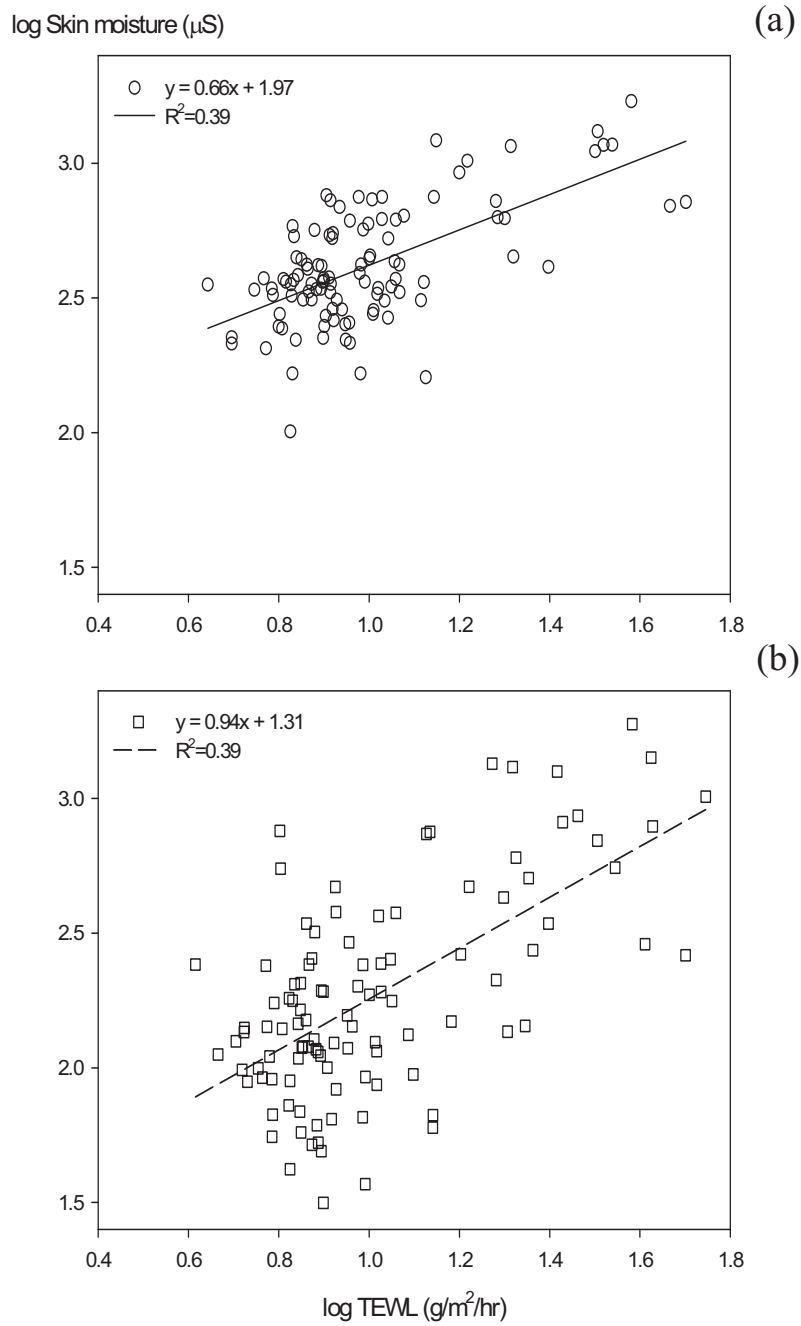


圖 4-124 前臂外側之皮膚濕度 (skin moisture) 對應經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL) 之 log 數值散佈圖與線性迴歸：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

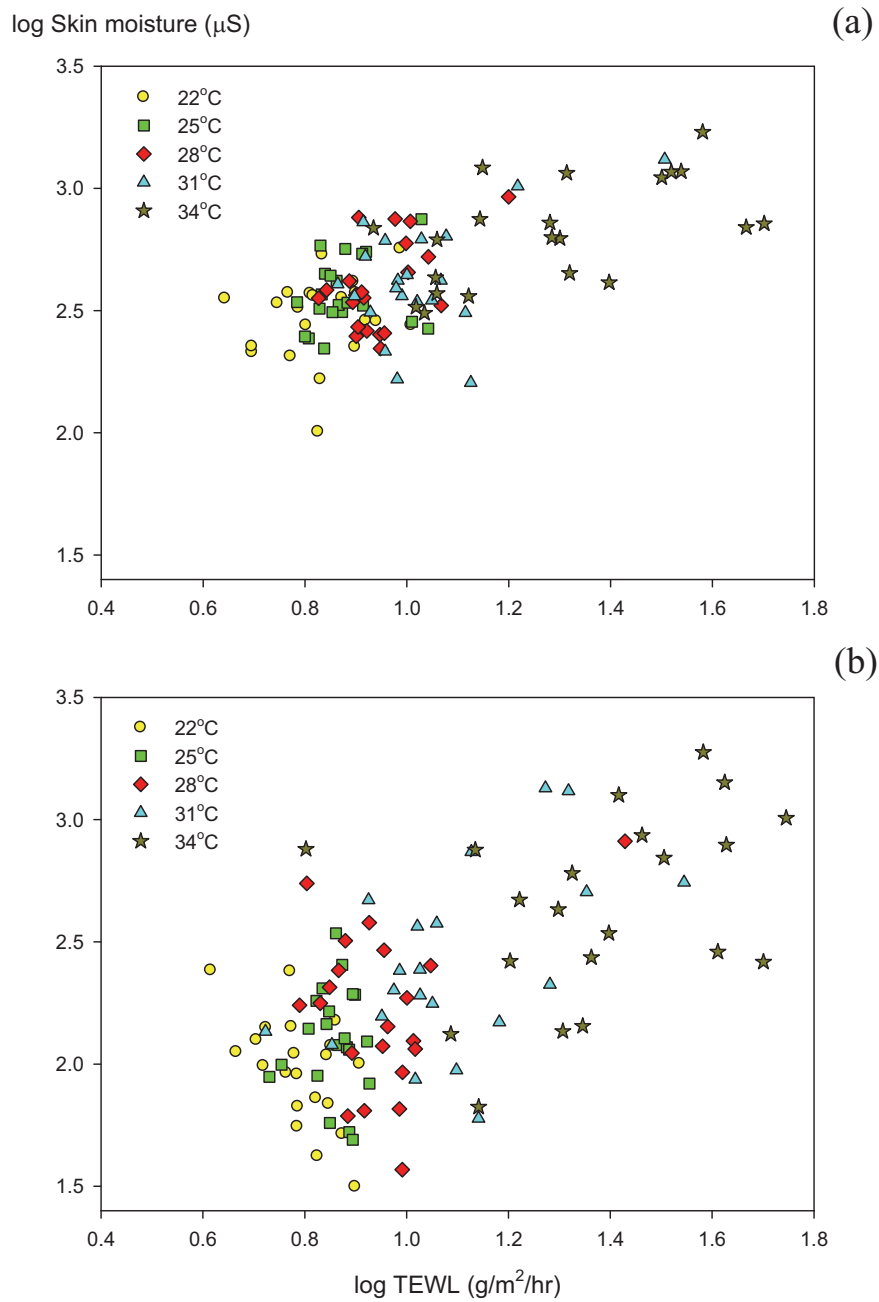


圖 4-125 前臂外側之皮膚濕度 (skin moisture) 對應經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL) 之 log 數值依不同環境溫度區分之散佈圖：(a) 實驗組 (使用防曬乳液)、(b) 控制組 (未使用防曬乳液)

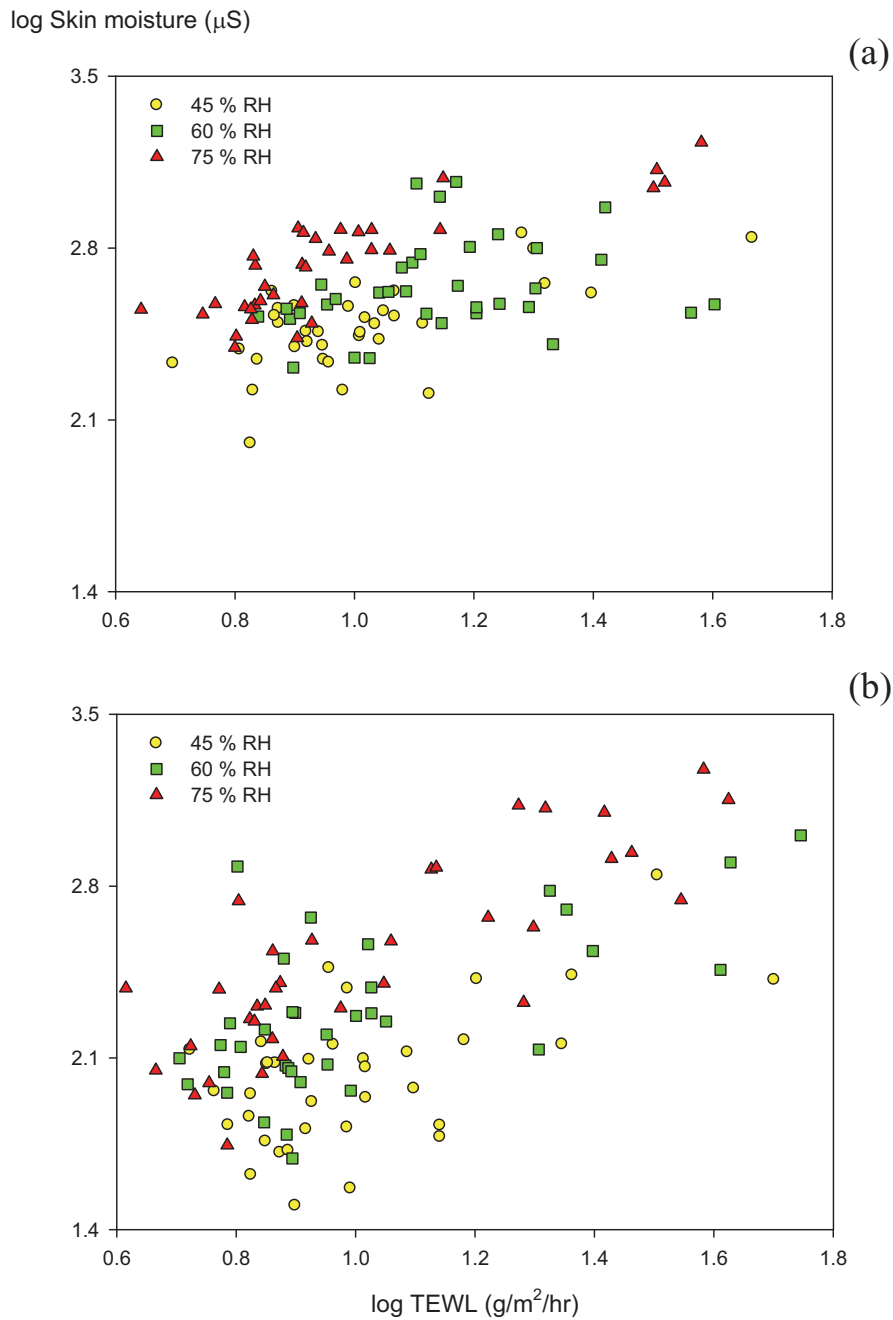


圖 4-126 前臂外側之皮膚濕度(skin moisture)對應經皮水分散失量 (transepidermal water loss, TEWL) 之 log 數值依不同環境環境相對濕度區分之散佈圖：(a)實驗組(使用防曬乳液)、(b)控制組(未使用防曬乳液)

表 4-62 受試人員前臂外側皮膚濕度(skin moisture)對應經皮水分散失量(transepidermal water loss, TEWL)之 log 數值散佈圖與線性迴歸^a及相關分析^b之統計檢定

Regression equation	r ^a	R ^{2a}	Adj. R ^{2a}	p-value ^a	r _s ^b	p-value ^b
實驗組 $y = 0.66x + 1.97$	0.63	0.39	0.39	< 0.001 ^c	0.66	< 0.001 ^c
控制組 $y = 0.94x + 1.31$	0.52	0.39	0.38	< 0.001 ^c	0.64	< 0.001 ^c

^a 檢定皮膚濕度對應 TEWL 之迴歸方程式(regression equation)、相關係數(r)、判定係數(R²)、調整判定係數(Adj. R²)、以及顯著性(p-value)

^b 以皮爾森積差相關檢定皮膚濕度對應 TEWL 之關聯性，皮爾森積差相關係數(r_s)、以及顯著性(p-value)

^c p-value < 0.01

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。而後隨著環境溫度上升，皮膚濕度快速增加。組別間之差異可能源自於防曬乳液所提供之涼膚效能，因此實驗組之皮膚濕度至環境溫度高於 31°C 才明顯增加。此外，防護乳液在皮膚表面所形成之類薄膜屏障，對皮膚與外界熱環境直接接觸亦可能產生隔離效果，造成實驗組皮膚生理現象之延遲反應。不論使用防曬乳液與否，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，當環境溫度分別增高至 28 與 31°C 以上時，控制組與實驗組皮膚濕度對應 TEWL 之測量值產生較大之變異。在環境濕度之影響方面，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。

綜合以上觀察與分析可獲致以下推論：當遭受熱環境刺激時，皮膚溫度直接反應外在環境溫度之變化，並透過 SBFC 之增加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。以作為反應因應熱環境之生理變化指標而言，SBFC 與

皮膚濕度具先期性之優點，且穩定性較 TEWL 為高。但 SBFC 為一高敏感之皮膚生理指標，故僅需少量之環境溫度刺激即可產生顯著變化，惟變化形成之後環境物理因子之持續增強則不必然導致 SBFC 之擴大。顯見 SBFC 為本研究選取皮膚生理指標中對環境物理因子影響具先期指引效能之指標。但受限於其難以量化反應(如透過線性迴歸模式)物理因子之影響程度，故 SBFC 之使用當以作為定性指標為主。

4.2.7 環境物理力與使用防曬乳液與否對於主客觀熱舒適指標之綜合影響分析

本研究另利用 two-way ANOVA 探討環境溫度與環境相對濕度對於使用防曬乳液與否對於主客觀指標(SBFC、TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、以及熱感知調查)有無影響，以及瞭解其中可能在的交互作用。如表 4-63 所示，環境溫度對 SBFC、TEWL、皮膚溫度、以及 TSV 之影響達統計顯著意義(SBFC F-value = 9.222, p -value < 0.001；TEWL F-value = 19.563, p -value < 0.001；皮膚溫度 F-value = 548.332, p -value < 0.001；以及 TSV F-value = 67.441, p -value < 0.001)；環境溫度與環境相對濕度對皮膚濕度之影響皆有顯著性(環境溫度 F-value = 12.862, p -value < 0.001；相對濕度 F-value = 16.623, p -value < 0.001)。而未使用防曬乳液受試者之統計結果，如表 4-64 所示，環境溫度對 TEWL 與皮膚溫度之影響達統計顯著意

表 4-63 實驗組(使用防曬乳液)前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a

對應環境溫度(indoor temp)與環境相對濕度(relative humidity,

RH)以 two-way ANOVA 之統計檢定、F-value 與 *p*-value

		F-value	<i>p</i> -value
SBFC	indoor temp	9.222	< 0.001 ^b
	RH	0.987	0.376
	indoor temp * RH	0.521	0.838
TEWL	indoor temp	19.563	< 0.001 ^b
	RH	0.047	0.954
	indoor temp * RH	0.081	0.999
Skin temp	indoor temp	548.332	< 0.001 ^b
	RH	0.801	0.452
	indoor temp * RH	2.453	0.019 ^b
Skin moisture	indoor temp	12.862	< 0.001 ^b
	RH	16.623	< 0.001 ^b
	indoor temp * RH	1.216	0.299
TSV	indoor temp	67.441	< 0.001 ^b
	RH	2.128	0.125
	indoor temp * RH	1.123	0.356

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

^b*p*-value < 0.05

表 4-64 控制組(未使用防曬乳液)前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a

對應環境溫度(indoor temp)與環境相對濕度(relative humidity,

RH)以 two-way ANOVA 之統計檢定、F-value 與 *p*-value

		F-value	<i>p</i> -value
SBFC	indoor temp	17.562	< 0.001 ^b
	RH	3.745	0.027 ^b
	indoor temp * RH	1.606	0.134
TEWL	indoor temp	30.343	< 0.001 ^b
	RH	0.600	0.551
	indoor temp * RH	0.841	0.569
Skin temp	indoor temp	485.693	< 0.001 ^b
	RH	0.066	0.936
	indoor temp * RH	1.179	0.321
Skin moisture	indoor temp	17.386	< 0.001 ^b
	RH	20.850	< 0.001 ^b
	indoor temp * RH	3.053	0.004 ^b
TSV	indoor temp	53.414	< 0.001 ^b
	RH	3.386	0.038 ^b
	indoor temp * RH	2.189	0.035 ^b

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

^b *p*-value < 0.05

義(TEWL F-value = 30.343, p -value < 0.001 與皮膚溫度 F-value = 485.693, p -value < 0.001)；環境溫度與環境相對濕度對以下生理指標具顯著性影響：SBFC(環境溫度 F-value = 17.562, p -value < 0.001；相對濕度 F-value = 3.745, p -value = 0.027)、皮膚濕度(環境溫度 F-value = 17.386, p -value < 0.001；相對濕度 F-value = 20.850, p -value < 0.001)、以及 TSV(環境溫度 F-value = 53.414, p -value < 0.001；相對濕度 F-value = 3.386, p -value = 0.038)。環境溫度與環境相對濕度之交互作用在實驗組方面主要存在於對皮膚溫度之影響上方面(F-value = 2.453, p -value = 0.019)；在控制組則存在於對皮膚濕度(F-value = 3.053, p -value = 0.004)與 TSV(F-value = 2.189, p -value = 0.035)之影響上。

由以上結果可發現：因防曬乳液可提供保溼之效果，因此主、客觀指標(如 TSV、SBFC)受環境相對濕度影響之程度會隨使用防曬乳液與否而變化。皮膚濕度為先前討論中發現惟一同時可反應環境溫度與環境相對濕度之皮膚客觀指標；此處在控制組部分發現環境溫度與環境相對濕度產生交互作用，再次印證先前結論。防曬乳液在皮膚表面形成類薄膜屏障，提供皮膚保溼效能，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離，因此在實驗組並未發現交互作用之情況。

表 4-65 所示為暴露艙實驗中前臂外側 SBFC、TEWL、皮膚溫度、皮膚濕度、及 TSV 對應環境溫度、相對濕度、使用防曬與否之多項式複

表 4-65 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境溫度(x_1)、相對濕度(x_2)、使用防曬與否(x_3)^b 之多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)、標準化多項式複迴歸方程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R^2)、調整複判定係數(adjusted R^2 , Adj. R^2)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

	多項式複迴歸方程式	標準化多項式複迴歸方程式	r	R^2	Adj. R^2	p -value ^d	VIF
SBFC	$y = 1.070x_1 + 0.095x_2 - 1.160x_3 - 20.102$	$y = 0.562x_1 + 0.144x_2 - 0.072x_3$	0.585	0.342	0.333	< 0.001 ^e	1.000
TEWL	$y = 1.364x_1 + 0.024x_2 - 1.281x_3 - 26.930$	$y = 0.626x_1 + 0.032x_2 - 0.069x_3$	0.630	0.397	0.980	< 0.001 ^e	1.000
Skin temp	$y = 0.957x_1 - 0.001x_2 - 0.131x_3 + 2.335$	$y = 0.974x_1 - 0.003x_2 - 0.016x_3$	0.974	0.949	0.948	< 0.001 ^e	1.000
Skin moisture	$y = 36.392x_1 + 10.523x_2 + 185.576x_3 - 1361.690$	$y = 0.483x_1 + 0.403x_2 + 0.290x_3$	0.693	0.480	0.473	< 0.001 ^e	1.000
TSV	$y = 0.279x_1 + 0.011x_2 + 0.133x_3 - 8.143$	$y = 0.824x_1 + 0.094x_2 + 0.047x_3$	0.405	0.164	0.144	< 0.001 ^e	1.000

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

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

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

^d 檢定多項式複迴歸方程式與標準化多項式複迴歸方程式是否具有線性關係

^e p -value < 0.01

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。因使用防曬乳液與否變項為類別型數據，故在複迴歸方程式標準化過程中成為獨立變項。由表中可觀察到皮膚溫度之複相關係數為所量測皮膚生理指標迴歸中最高者($R^2 = 0.949$)，顯示皮膚溫度複迴歸方程式具較高之代表性；不論皮膚客觀指標值或主觀指標值之統計檢定結果均達顯著差異($p\text{-value} < 0.001$)。各複迴歸方程式之共線性診斷結果，VIF 均低於 10，顯示複迴歸方程式中共線性問題較低。

接著以標準化多項式複迴歸方程式討論各指標與自變數間之線性關係；使用標準化過程之目的在去除單位可能造成之影響。從迴歸係數上可發現，對 SBFC、TEWL、皮膚溫度、TSV 值影響最大之變數均為環境溫度(slope 分別為 0.562、0.626、0.974、0.824)。環境溫度與環境相對濕度皆能影響皮膚濕度測量值(slope 分別為 0.483 與 0.403)。以上標準化多項式複迴歸方程式結果與 two-way ANOVA 統計方式探討環境溫度與環境相對濕度對於主客觀指標影響之結果一致。另外，從標準化多項式複迴歸方程式之迴歸係數可觀察到，除了防曬乳液之使用對 SBFC、TEWL、皮膚濕度之影響及環境相對濕度對皮膚溫度之影響為負相關，其餘關係皆為正相關。由以上結果可推論防曬乳液在皮膚表面形成類薄膜屏障，提供皮膚保溼、涼膚效能，故對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離，遲滯 SBFC 與 TEWL 對外界熱環境變化之反應。

表 4-66 所示為暴露艙實驗中前臂外側皮膚生理指標與主觀感受對環境物理因子與性別之逐步迴歸方程式、複相關係數、複判定係數、調整複判定係數、共線性診斷與統計檢定。藉由逐步迴歸修正後，原 SBFC 複迴歸方程式中之防曬乳液使用因子被移除；修正後方程式中之影響因子為環境溫度與環境相對濕度因子。以上結果說明環境溫度與環境相對濕度為主要影響 SBFC 變化之主要因素。原 TEWL 與原皮膚溫度之複迴歸方程式經修正後成為簡單線性迴歸，僅有環境溫度為影響因子。而皮膚濕度之方程式經逐步迴歸後，最佳影響因子為依舊保留環境溫度、環境相對濕度、以及使用防曬乳液與否—皮膚濕度除受環境溫度與環境相對濕度作用外，同時亦受到使用防曬乳液與否之影響，符合先前所觀察到之結論。在暴露艙實驗中，人體主觀 TSV 對應環境物理力與使用防曬乳液與否之複迴歸方程式由逐步迴歸法修正後發現具影響力之二因子為環境溫度與環境相對濕度，顯示人體主觀感受主要受環境溫度與相對濕度影響，若配合標準化多項式複迴歸方程式即可發現影響 TSV 變化之主要因素為環境溫度(slope = 0.824)。而防曬乳液之使用，除對皮膚濕度造成影響外，並不改變其他熱舒適相關之主客觀指標。

4.2.8 戶外日光實驗與暴露艙實驗中皮膚生理指標之差異

表 4-67 所示為戶外日光實驗與暴露艙實驗中實驗組與控制組前臂外

表 4-66 暴露艙實驗前臂外側皮膚生理指標及主觀熱感知^a 對應環境溫度(x₁)、相對濕度(x₂)、使用防曬與否(x₃)^b 之

多項式複迴歸方程式(multiple regression equations)逐步迴歸法(stepwise regression)、標準化多項式複迴歸方

程式(standardized multiple regression equations)、複相關係數(r)、複判定係數(R²)、調整複判定係數(adjusted

R², Adj. R²)、共線性診斷(collinearity diagnostics)^c 與統計檢定

	多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	標準化多項式複迴歸方程式逐步迴歸法	r	R ²	Adj. R ²	p-value ^d	VIF
SBFC	y = 1.070x ₁ + 0.095x ₂ - 20.682	y = 0.562x ₁ + 0.144x ₂	0.581	0.337	0.331	<0.001 ^e	1.000
TEWL	y = 1.364x ₁	y = 0.626x ₁	0.626	0.392	0.389	<0.001 ^e	1.000
Skin temp	y = 0.957x ₁	y = 0.974x ₁	0.974	0.948	0.948	<0.001 ^e	1.000
Skin moisture	y = 36.392x ₁ + 10.523x ₂ + 185.576x ₃ - 1361.690	y = 0.483x ₁ + 0.403x ₂ + 0.290x ₃	0.693	0.480	0.473	<0.001 ^e	1.000
TSV	y = 0.279x ₁ + 0.011x ₂ - 8.076	y = 0.824x ₁ + 0.094x ₂	0.830	0.689	0.686	<0.001 ^e	1.000

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

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

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

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

^e p-value < 0.01

表 4-67 戶外日光實驗與暴露艙實驗中實驗組(使用防曬乳液)與控制組(未始用防曬乳液)前臂外側皮膚生理指標^a之比值及統計檢定

戶外日光實驗	SBFC(PU)	TEWL(g/m ² /hr)	Skin temp(°C)	Skin moisture(μS)	
日光照射區	實驗組	25.27 ± 13.04	58.79 ± 29.10	37.29 ± 2.31	891.67 ± 304.49
	控制組	21.78 ± 12.37	77.27 ± 27.47	36.96 ± 2.46	838.53 ± 332.77
戶外陰涼區	實驗組	36.02 ± 19.28	20.50 ± 13.43	32.88 ± 0.96	894.34 ± 361.40
	控制組	32.79 ± 14.27	29.57 ± 13.34	32.92 ± 1.05	872.77 ± 342.83
暴露艙實驗					
暴露艙實驗	實驗組	14.38 ± 7.32	11.42 ± 8.15	28.95 ± 4.15	474.27 ± 275.88
	控制組	15.54 ± 8.72	12.71 ± 10.18	28.08 ± 4.19	288.70 ± 333.16

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

側皮膚生理指標測量值之平均值及統計檢定。由表中可觀察到戶外日光測
實驗日光照射區中實驗組與對照組前臂外側 SBFC 之平均值分別為 25.27
PU 與 21.78 PU；於戶外陰涼區中之平均值分別為 36.02 PU 與 32.79 PU；暴
露艙實驗中之平均值分別為 14.38 PU 與 15.54 PU。比較二階段實驗之
SBFC，顯示受測人員前臂外側皮膚經紫外光曝曬或太陽輻射熱影響而產生
差異。若進而比較戶外實驗時有無紫外光曝曬之狀況，則可發現戶外陰涼
區之 SBFC 值較高；考量陰涼區未受日光直接照射，且測量時間均為晌午(日
光照射區之測量時間為上午 10 時至 12 時)，故 SBFC 較高之主要因素當為
環境溫度之影響。

在 TEWL 方面，戶外日光測實驗日光照射區中實驗組與對照組前臂外
側 TEWL 之平均值分別為 58.79 g/m²/hr 與 77.27 g/m²/hr；於戶外陰涼區中
之平均值分別為 20.50 g/m²/hr 與 29.57 g/m²/hr；暴露艙實驗中之平均值分別
為 11.42 g/m²/hr 與 12.71 g/m²/hr。比較二階段實驗之 TEWL，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，此傷害至戶外陰涼
區(二區實驗時間間隔為 2 小時)有舒緩之現象。

在皮膚溫度方面，戶外日光測實驗日光照射區中實驗組與對照組前臂
外側皮膚溫度之平均值分別為 37.29°C 與 36.96°C；於戶外陰涼區中之平均
分別為 32.88°C 與 32.92°C；暴露艙實驗中之平均值分別為 28.95°C 與
28.08°C。分別比較兩階段實驗後，可發現戶外日光實驗中之比值均高於暴

露艙實驗，進而比較有無紫外光曝曬，可發現皮膚溫度亦受到太陽輻射熱影響而上升。

在皮膚濕度方面，戶外日光測實驗日光照射區中實驗組與對照組前臂外側皮膚濕度之平均值分別為 891.67 μS 與 838.53 μS ；於戶外陰涼區中之平均值分別為 894.34 μS 與 872.77 μS ；暴露艙實驗中之平均值分別為 474.27 μS 與 288.70 μS 。比較二階段實驗之皮膚濕度，顯示皮膚因日光曝曬(含太陽輻射熱)，因此皮膚濕度有上升之現象。而使用防曬乳液可提供皮膚保溼之效能，此現象於暴露艙實驗較顯著。



第五章 結論與建議

第一節 結論

本論文調查夏季日光紫外線與環境熱因子對於使用防曬乳液與否之人體皮膚生理與主觀熱感知影響進行研究，經由研究結果之分析與探討，歸納結論如下：

1. 皮膚微血流變化量為一高敏感之皮膚生理指標，故僅需少量之環境物理因子(如太陽光線產生之輻射熱與溫度)刺激即可產生顯著變化，惟變化形成之後環境物理因子之持續增強則不必然導致皮膚微血流變化量之擴大。顯見皮膚微血流變化量為本研究選取皮膚生理指標中對環境物理因子影響之先期指標。但受限於其難以量化反應(如透過線性迴歸模式)物理因子之影響程度，故皮膚微血流變化量之使用當以作為定性指標為主。
2. 經皮水分散失量顯著地受環境溫度影響；其測量值與變異幅度隨環境溫度上升而顯著增加。本研究中經皮水分散失量測量結果局部反應人體皮膚經日光紫外線短期或長期曝曬後之生理變化；惟在高暴露劑量狀況下無法有效地作為量化指標。
3. 皮膚溫度為本研究所使用生理指標當中，可明顯且穩定隨環境溫度變化而改變之指標，且其變化量透過環境暴露艙實驗發現與環

境溫度變化量呈良好線性關係；環境相對濕度對於皮膚溫度之影響並不顯著。以上結果說明皮膚溫度從作為生理指標之觀點而言，同時兼具與外部環境熱平衡(感受並傳遞外界熱環境改變之訊息至人體)及維持生理恒定(作為人體因應熱環境改變產生散熱行為之節流閥)之功能。

4. 皮膚濕度為所有探討之生理指標中，惟一同時顯著地反應環境溫度與環境相對濕度影響者；其測量值與變異幅度隨著環境溫度與環境相對濕度上升而增加。戶外日光實驗時，戶外相對濕度變異量幅度不大，而未明顯發現皮膚濕度隨相對濕度改變而影響。皮膚濕度除受環境溫度與環境相對濕度影響外，亦受防曬機制使用與否而呈現明顯差異。
5. 皮膚紅斑生成現象明顯受使用防曬乳液與否之影響。當遭受日光紫外線曝曬時，使用防曬乳液提供皮膚適當防護，故有效降低曬傷、紅斑生成之現象。黑色素沉澱現象(曬黑)傳統認知為長期、累積性曝曬後可產生之健康效應，但本研究發現黑色素沉澱現象充分反應皮膚受紫外線短期曝曬後所造成之健康效應，故亦可作為皮膚受日光短期曝曬後之良好生理指標。
6. 人體主觀熱感知明顯受環境溫度及日光曝曬所影響，受環境相對濕度影響較低。其中日光曝曬之影響主要應源自於日光輻射熱。

主觀熱感知與客觀皮膚生理指標之相關性由高至低依序為：皮膚溫度、皮膚微血流變化量、皮膚濕度、及經皮水分散失量；皮膚溫度最能充分反應出人體主觀熱感知。

7. 風速對皮膚生理指標(皮膚微血流變化量、經皮水分散失量、皮膚溫度、及皮膚濕度)之影響為二分式，亦即有或無，而非循線性模式發生(即皮膚生理指標之變化不隨風速變化呈現量化關係)。
8. 防曬乳液之使用主要目的在防止日光紫外線曝曬造成之傷害。但在使用時，防曬乳液在皮膚表面所形成之類薄膜屏障，亦對皮膚與外界熱環境之直接接觸產生隔離效果，因此對不同皮膚生理指標反應外界熱環境變化之效能造成影響。以上影響在防護乳液使用初期並不明顯，所反應者為防護乳液本身具有之涼膚效果。

第二節 研究限制

本實驗研究目標之一建立日光紫外線曝曬與生理指標間之劑量-反應關係。在控制型實驗中，欲有效建立劑量-反應關係，暴露狀況應包含高、中、低之各級劑量。惟在本研究戶外日光實驗中，受測人員平均曝曬之紫外線指數為 5.18 ± 1.41 (實驗組為 5.40 ± 1.40 ；對照組 4.58 ± 1.38)，故受測人員所接受之紫外線強度多屬於中量級，缺乏高劑量之日光紫外線曝曬，故難以有效建立皮膚生理指標在反應短期

或長期紫外線曝曬時之劑量-反應關係。顯示本類型研究主要限制之一為日光紫外線強度。此外，本研究所選用之防曬乳液防曬效能為 SPF 30 (UVB 防護)且 PA+++ (UVA 防護)。受限於實驗設計在規模上之限制，本研究並未嘗試具不同 SPF 或 PA 值之防曬乳液。但由研究結果顯示，不論是在對抗日光紫外線之能量吸收傷害或反應環境熱因子之變化上，欲有效闡明防曬乳液之影響，宜考慮使用防護等級較高與較低之防曬乳液(類似前述高、中、低劑量之概念)。第三項主要限制則為進行戶外日光實驗時之時間長度。就觀察曝曬後之急性反應而言，本研究之設計應屬妥切，但總長度為兩個月之戶外實驗是否可有效觀察生理指標遭受累積性暴露後之變化，如黑色素生成與退化之長期性效應等，則值得討論。最後一項實驗限制為實驗參與人員。本研究中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。但研究人員無法精確掌握每位受測人員是否確實逐日據實填表，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，但此類問卷仍為研究設計上，瞭解每位受測人員平日外出曝曬情況之適切與便利的方法。

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。惟此二警示系統未明確將人體於戶外或室內環境過度暴露時可能產生之健康效應與該環境中之物理力強度連結，造成資訊使用者在應用以上資訊選擇防護機制時之困難。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，並探討使用防曬乳液之確切效能，及在在濕熱地區如我國之適用性。本研究之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：未使用防曬乳液者可分別以皮膚濕度與皮膚紅斑生成現象作為評估指標；使用防曬乳液者，可藉由皮膚紅斑生成現象作為評估防曬乳液之效能。皮膚黑素沉澱現象可作為累積性曝曬評估工具。以上皮膚生理指標可配合短期日光紫外線指標(UVI)或長期累積輻射量指標(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。

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為：

經皮水分散失量與皮膚紅斑生成現象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。此外亦宜考慮選用不同防護等級之防曬乳液，量化其防護效能。除了使用防曬乳液，如撐洋傘、添加衣物(袖套、外套、帽子等衣物)，亦為常見之防曬措施，可將不同防曬措施納入實驗參數，探討於溼熱地區較為合適之防曬方式。在實驗時間長度上，亦宜由本研究中所使用之兩個月擴大為夏季，甚或可考慮逐季節選擇固定時段測量，以有效評估長期曝曬對人體可能產生之累積性傷害。

此外，可考慮分別紀錄 UVA 與 UVB 紫外光輻射劑量，進一步探討不同紫外光能量對皮膚生理指標之影響，亦可明確區分日光曝曬之 UVA、UVB、及輻射熱之影響。最後，戶外實驗可擴大為在曝曬日光前先測量皮膚生理指標，以提供與日光照射區曝曬參數相互比較之基

線，完整探討皮膚因遭受日光曝曬產生之影響程度。戶外實驗時，環境風速變異量幅度較大，可於暴露艙實驗時，將環境風速納入觀察之環境物理因子，進一步探討不同環境溫濕度時，環境風速對皮膚生理指標產生之變化。亦可於暴露艙實驗中設計探討輻射熱對主客觀生理指標造成之影響。



參考文獻

1. WHO. 2006. Solar ultraviolet radiation—global burden of disease from solar ultraviolet radiation. Environmental Burden of Disease Series, No. 13. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).
2. WHO. 1994. Ultraviolet radiation. Environmental Health Criteria 160. Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).
3. Diffey, B.L. 2002. Source and measurement of ultraviolet radiation. Methods 28:4-13.
4. 環境保護署。空氣品質監測網：紫外線監測—認識紫外線。
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/b12081.aspx>。台北市，台灣：中華民國行政院環境保護署；2009。
5. Farr, P.M. and Diffey, B.L. 1985. The erythematous response of human skin to ultraviolet radiation. Br J Dermatol 113:65-76.
6. USEPA. 2006. The burning facts. EPA 430-F-06-013. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air and Radiation.
7. WHO. 2002. Global Solar UV Index: a practical guide. WHO/SDE/OEH/02.2. Geneva, Switzerland: World Health Organization

(WHO).

8. Nordlund, J.J., Collins, C.E., and Rheins, L.A. 1981. The proliferative and toxic side effects of ultraviolet light and inflammation on epidermal pigment cells. *J Invest Dermatol* 77:361-368.
9. Kondo, S., Kono, T., Sauder, D.N., and McKenzie, R.C. 1993. IL-8 gene expression and production in human keratinocytes and in their modulation by UVB. *J Invest Dermatol* 101:690-694.
10. Schwarz, A., Bhardwaj, R., Aragane, Y., Mahnke, K., Riemann, H., Metze, D., Luger, T.A., and Schwarz, T. 1995. Ultraviolet-B-induced apoptosis of keratinocytes: evidence for partial involvement of tumor necrosis factor- α in the formation of sunburn cells. *J Invest Dermatol* 104:922-927.
11. Aufiero, B.M., Talwar, H., Young, C., Krishnan, M., Hatfield, J.S., Lee, H.K., Wong, H.K., Hamzavi, I., and Murakawa, G.J. 2006. Narrow-band UVB induces apoptosis in human keratinocytes. *J Photochem Photobiol B: Biol* 82:132-139.
12. Stanojević, M., Stanojević, Z., Jovanović, D., and Stojiljković, M. 2004. Ultraviolet radiation and melanogenesis. *Arch Oncol* 12:203-205.
13. Mommaas, A.M., Mulder, A.A., and Vermeer, B.J. 1993. Short-term and long-term UVB induced immunosuppression in human skin exhibit

different ultrastructural features. *Eur J Morphol* 31:30-34.

14. Narbutt, J., Lesiak, A., Skibinska, M., Wozniacka, A., van Loveren, H., Sysa-Jedrzejowska, A., Lewy-Trenda., I., Omulecka, A., and Norval, M. 2005. Suppression of contact hypersensitivity after repeated exposures of humans to low doses of solar simulated radiation. *Photochem Photobiol Sci* 4:517-522.
15. Steerenberg, P.A., Daamen, F., Weesendorp, E., and Van Loveren, H. 2006. No adaptation to UV-induced immunosuppression and DNA damage following exposure of mice to chronic-UV exposure. *J Photochem Photobiol B:Biological* 84:28-37.
16. 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 (WMO).
17. USEPA. 2006. Human health benefits of stratospheric ozone protection. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air and Radiation, Global Programs Division.
18. USFDA. 2009. Sunburn protection factor. <http://www.fda.gov/AboutFDA/CentersOffices/CDER/ucm106351.htm>; accessed on: May 6, 2010. Silver Spring, MD: U.S. Food and Drug Administration (USFDA).

19. JCIA. 1995. Measurement standards for UVA protection efficacy. Japan Cosmetic Industry Association Technical Bulletin. Issued Nov 21, 1995. Tokyo, Japan: Japan Cosmetic Industry Association (JCIA)
20. Bernard, T.E. 2002. Thermal stress. In: Fundamentals of industrial hygiene. 5th ed., Plog, B.A. and Quinlan, P.J., eds. Itasca, IL: National Safety Council, pp. 327-356.
21. ACGIH. 2006. Heat stress and strain. Documentation of the TLVs® and BEIs® with Other Worldwide Occupational Exposure Values. 2006 CD-ROM. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
22. 吳介銘：發展熱危害與日光紫外線暴露之健康危害生理指標(碩士論文)。台中市，台灣：中國醫藥大學。2009。
23. Fluhr, J.W., Feingold, K.R., and Elias, P.M. 2006. Transepidermal water loss reflects permeability barrier status: validation in human and rodent in vivo and ex vivo models. *Exp Dermatol* 15:483-492.
24. NIOSH. 2009. NIOSH Current Intelligence Bulletin 61: A strategy for improvement of skin notations. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-147. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health

(NIOSH).

25. Hwang, R.L., Yang, K.H., Chen, C.P., and Wang, S.T. 2008. Subjective responses and comfort reception in transitional spaces for guests versus staff. *Build Environ* 43:2013-2021.
26. Hodder, S.G. and Ken, P. 2006. The effects of solar radiation on thermal comfort. *Int J Biometeorol* 51:233-250.
27. Roberts, M.S. and Walters, K.A. 1998. The relationship between structure and barrier function of skin. In: *Dermal absorption and toxicity assessment*, Roberts, M.S. and Walters, K.A., eds. New York: Marcel Dekker.
28. Pinnagoda, J., Tupker, R.A., Coenraads, P.J., and Nater, J.P. 1989. The intra- and inter-individual variability and reliability of transepidermal water loss measurements. *Contact Dermatitis* 21: 255-259.
29. Haratake, A., Uchida, Y., Schmuth, M., Tanno, O., Yasuda, R., Epstein, J.H., Elias, P.M., and Holleran, W.H. 1997. UVB-induced alterations in permeability barrier function: roles of epidermal hyperproliferation and thymocyte-mediated response. *J Invest Dermatol* 108:769-775.
30. Bissett, D.L., Hannon, D.P., and Orr, T.V. 1987. An animal model of solar-aged skin: histological, physical, and visible changes in UV-irradiated hairless mouse skin. *Photochem Photobiol* 46:367-378.

31. Bronaugh, R.L. and Stewart, R. 1985. Methods for in vitro percutaneous absorption studies V: permeation through damaged skin. *J Pharm Sci* 74:1062-1066.
32. Meguro, S., Arai, Y., Masukawa, Y., Uie, K., and Tokimitsu, I. 2000. Relationship between covalently bound ceramides and transepidermal water loss. *Arch Dermatol Res* 292:463-468.
33. Akitomo, Y., Akamatsu, H., Okano, Y., Masaki, H., and Horio, T. 2003. Effects of UV irradiation on the sebaceous gland and sebum secretion in hamsters. *J Dermatol Sci* 31:151-159.
34. Jiang, S.J., Chen, J.Y., Lu, Z.F., Yao, J., Che, D.F., and Zhou, X.J. 2006. Biophysical and morphological changes in the stratum corneum lipids induced by UVB irradiation. *J Dermatol Sci* 44:29-36.
35. 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.
36. Fitzpatrick, T.B. 1988. The validity and practicality of sun-reaction skin types I through VI. *Arch Dermatol* 124:869-871.
37. Takiwaki, H., Shirai, S., Kohno, H., Soh, H., and Arase, S. 1994. The degree of UVB-induced erythema and pigmentation correlate linearly

and are reduced in a parallel manner by topical anti-inflammatory agents.
J Invest Dermatol 103:642-646.

38. Diffey, B.L., Farr, P.M., and Oakley, A.M. 1987. Quantitative studies on UVA-induced erythema in human skin. *Br J Dermatol* 117:57-66.
39. Park, S.B., Huh, C.H., Choe, Y.B., and Youn, J.I. 2002. Time course of ultraviolet-induced skin reactions evaluated by two different reflectance spectrophotometers: DermaSpectrophotometer[®] and Minolta spectrophotometer CM-2002[®]. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 18:23-28.
40. Suh, K.S., Roh, H.J., Choi, S.Y., Jeon, Y.S., Doh, K.S., Bae, J.H., and Kim, S.T. 2007. Long-term evaluation of erythema and pigmentation induced by ultraviolet radiations of different wavelengths. *Skin Res Technol* 13:154-161.
41. Youn, C.S., Kwon, O.S., Hwang, E.J., Jo, S.J., Lee, M.J., Lee, H.S., and Chung, J.H. 2005. The effects of heating and cooling on ultraviolet radiation-induced erythema and pigmentation in human skin. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 21:198-203.
42. Thiele, J.J., Dreher, F., Maibach, H.I., and 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.

43. Shea, C.R. and Parrish, J.A. 1982. Effects of temperature on ultraviolet-induced erythema of human skin. *Arch Dermatol Res* 273:233-239.
44. Holloway, G.A., Jr. and Watkins, D.W. 1977. Laser Doppler measurement of cutaneous blood flow. *J Invest Dermatol* 69:306-309.
45. Miyai, N., Terada, K., Sakaguchi, S., Minami, Y., Tomura, T., Yamamoto, H., Tomida, K., and Miyashita, Y. 2005. Preliminary study on the assessment of peripheral vascular response to cold provocation in workers exposed to hand-arm vibration using laser Doppler perfusion imager. *Ind Health* 43:548-555.
46. Terada, K., Miyai, N., Maejima, Y., Sakaguchi, S., Tomura, T., Yoshimasu, K., Morioka, I., and Miyashita, K. 2007. Laser Doppler imaging of skin blood flow for assessing peripheral vascular impairment in hand-arm vibration syndrome. *Ind Health* 45:309-317.
47. Eicke, B.M., Milke, K., Schlereth, T., and Birklein, F. 2004. Comparison of continuous wave Doppler ultrasound of the radial artery and laser Doppler flowmetry of the fingertips with sympathetic stimulation. *J Neurol* 251:958-962.
48. Öberg, P.A. Laser-Doppler flowmetry. 1990. *Crit Rev Biomed Eng* 18 :125-163.

49. Moor Instruments. 2009. Basic theory and operating principles of laser Doppler blood flow monitoring and Imaging (LDF&LDI), Issue 1. Devon, UK: Moor Instruments, Ltd.
50. Dreher, F., Garbard, B., Schwindt, D.A., and Maibach, H.I. 1998. Topical melatonin in combination with vitamins E and C protects skin from ultraviolet-induced erythema: a human study in vivo. *Brit J Dermatol* 139:332-339.
51. Perugini, P., Vettor, M., Rona, C., Troisi, L., Villanova, L., Genta, I., Conti, B., and Pavanetto, F. 2008. Efficacy of oleuropein against UVB irradiation: preliminary evaluation. *Int J Cosmetic Sci* 30:113-120.
52. Bergersen, T.K., Eriksen, M., and Walløe, L. 1995. Effect of local warming on hand and finger artery blood velocities. *Am J Physiol* 269(2 Pt 2):R325-330.
53. Bergersen, T.K., Eriksen, M., and Walløe, L. 1997. Local constriction of arteriovenous anastomoses in the cooled finger. *Am J Physiol* 273(3 Pt 2):R880-886.
54. Hwang, R.L., Lin, T.P., and Kuo, N.J. 2005. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energ Buildings* 38: 53-62.
55. Lan, L., Lian, Z., Liu, W., and Liu, Y. 2007. Investigation of gender

difference in thermal comfort for Chinese people. *Eur J Appl Physiol* 102: 471-480.

56. Rigel, D.S. 2002. The effect of sunscreen on melanoma risk. *Dermatol Clin* 20:601-6.
57. Gasparro, F.P. 2000. Sunscreens, skin photobiology, and skin cancer: the need for UVA protection and evaluation of efficacy. *Environ Health Persp* 108(Suppl 1):71-78.
58. Perugini, P., Vettor, M., Rona, C., Troisi, L., Villanova, L., Genta, I., Conti, B., and Pavanetto, F. 2008. Efficacy of oleuropein against UVB irradiation: preliminary evaluation. *Int J Cosmetic Sci* 30:113-120.
59. Zhai, H., Behnam, S., Villarama, C.D., Arens-Corell, M., Choia, M.J., and Maibacha, H.I. 2005. Evaluation of the antioxidant capacity and preventive effects of a topical emulsion and its vehicle control on the skin response to UV exposure. *Skin Pharmacol Physiol* 18:288-293.
60. Pearse, A.D. and Marks, R. 1983. Response of human skin to ultraviolet radiation: dissociation of erythema and metabolic changes following sunscreen protection. *J Invest Dermatol* 80:191-194.
61. Hongbo, Z., Myeong, J.C., Michaela A.C., Birgit A.N., and Howard I.M. 2003. A rapid, accurate, and facile method to quantify the antioxidative capacity of topical formulations. *Skin Res Tech* 9:254-256.

62. Touitou, E. and Godin, B. 2008. Skin nonpenetrating sunscreens for cosmetic and pharmaceutical formulations. *Clin Dermatol* 26:375-379.
63. Beradesca, E. and Maibach, H.I. 1990. Transepidermal water loss and skin surface hydration in the non invasive assessment of stratum corneum function. *Derm Beruf Umwelt* 38:50-53.
64. de Paepe, K., Derde, M.P., Roseeue, D., and Rogiers, V. 2000. Claim substantiation and efficiency of hydrating body lotions and protective creams. *Contact Dermatitis* 42: 227-234.
65. Dreher, F., Denig, N., Gabard, B., Schwindt, D.A., and Maibach, H.I. 2005. Effect of topical antioxidants on UV-induced erythema formation when administered after exposure. *Dermatol* 198:52-55.
66. Véronique, E.-D. 1995. Sunscreens. In *Bioengineering of the skin: cutaneous blood flow and erythema*, Berardesca, E., Elsner, P., and Maibach, H.I., eds., Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 225-228.
67. Wulf, M.C., Staberg, B., and Eriksen, W.H. 1983. Laser Doppler of blood flow in pig skin after sunscreens and artificial sunlight. *Photobiochem Photobiophys* 6:231-237.
68. Droud, V., Wilson, D.R., Maribach, H.I., and Guy, R.H. 1984. Quantitative assessment of UV-induced change in microcirculatory flow by laser Doppler velocimetry. *J Invest Dermatol* 83:188-192.

69. Rich, P.M., Hetrick, W.A., and Savig, S.C. 1995. Modeling topographic influences on solar radiation: a manual for the solar flux model. Los Alamos National Laboratory (LANL) Report LA-12989-M. Los Alamos, NM: U.S. Dept. of Energy, LANL.
70. Diffey, B.L. 2002. Human exposure to solar ultraviolet radiation. *J Cosmet Dermatol* 1:124-130.
71. Turmabull, D.J. and Parisi, A.V. 2010. Latitudinal variations over Australia of the solar UV-radiation exposures for vitamin D₃ in shade compared to full sun. *Radiat Res* 173:373-379.
72. Shapiro, Y., Moran, D., Epstein, Y., Stroschein, L., and Pandolf, K.B. 1995. Validation and adjustment of the mathematical prediction model for human sweat rate responses to outdoor environmental conditions. *Ergonomics* 38: 981-986.
73. Givoni, B. and Goldman, R.F. 1973. Predicting heart rate response to work, environment, and clothing. *J Appl Physiol* 34: 201-204.
74. de Dear, R.J., Leow, K.G., and Ameen, A. 1991. Thermal comfort in the humid tropics-part I: climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore. *ASHRAE Trans* 97:874-879.
75. de Dear, R.J., Leow, K.G., and Ameen, A. 1991. Thermal comfort in the humid tropics-part II: climate chamber experiments on thermal

acceptability in Singapore. ASHRAE Trans 97:880-886.

76. Fang, L., Clausen, G., and Fanger, P.O. 1998. Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures. *Indoor Air* 8:276-284.
77. Wyon, D.P. and Sandberg, M. 1996. Discomfort due to vertical thermal gradients. *Indoor Air* 6:48-54.
78. Trane Inc. 1983. Psychrometric chart (SI units). Pub. No. 1-43.196. La Crosse, WI:Trane, Inc.
79. 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 (ISO).
80. ASHRAE. 2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE 55-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE).
81. 中央氣象局。民國 98 年 6 月至 9 月份台中地區紫外光即時監測資料。
<http://www.cwb.gov.tw/V6/observe/UVI/UVIhoulyly.htm>。台北市，台灣：中央氣象局大氣物理科；2009。

82. Rosner, B. 2006. Fundamentals of Biostatistics. 6th ed. Belmont, CA: Thomosn Brooks/Cole, pp. 376-377.
83. Rosner, B. 2006. Fundamentals of Biostatistics. 6th ed. Belmont, CA: Thomosn Brooks/Cole, pp. 577-578.
84. Rosner, B. 2006. Fundamentals of Biostatistics. 6th ed. Belmont, CA: Thomosn Brooks/Cole, pp. 366-372.



附錄 A 中國醫藥大學公共衛生學院倫理委員會研究計畫同意書





中國醫藥大學公共衛生學院

CHINA MEDICAL UNIVERSITY COLLEGE PUBLIC HEALTH

台中市北區學士路 91 號

研究倫理委員會研究計畫同意書

Tel:886-4-22053366 ext:6001 Fax:886-4-2201-9901

主持人：陳振華 助理教授 (職業安全與衛生學系)

計畫名稱：日光紫外線曝曬健康危害辨識與因應防護措施效能評估

編號：98.08.20-2

中國醫藥大學公共衛生學院研究倫理委員會已審查通過上述為
期十二個月的研究案。

計畫有效期限到 99 年 7 月 31 日為止。計畫進行期間，應確實遵
守研究倫理。該計畫任何部分若欲更改，需向本委員會重新報可。計
畫主持人對受試者任何具有危險而且未能預期之問題，需立即向本委
員會主任委員提出書面報告。

中國醫藥大學公共衛生學院學術研究人權維護審查小組：



主任委員：

宋鴻樟



中華民國 98 年 8 月 21 日



中國醫藥大學公共衛生學院

CHINA MEDICAL UNIVERSITY COLLEGE PUBLIC HEALTH

台中市學士路 91 號

91 Hsueh-Shih Road, Taichung 40402, Taiwan, R.O.C

TEL:(04)22053366 ext:6001

The Institutional Review Board, China Medical University College of Public Health, Taichung, 404 Taiwan

Tel:886-4-22053366 ext:6001 Fax:886-4-2201-9901

Expedited Approval

Date: August 21, 2009

To: Chen-Peng Chen, Assistant Professor, Department of Occupational Safety and Health

From: *Rylyy Song*


Subject: Evaluating health hazards from over-exposure to solar ultraviolet light and efficacy of protective mechanisms

The Institutional Review Board met on August 20, 2009, and reviewed the above study protocol. The IRB recommended approval of the protocol for a period until July 31, 2010.

Change in protocol in this project requires its resubmission to the Board. By the end of this period you may be asked to inform the Board on the status of your project. If this has not been completed, you may request renewed approval at that time.

Also, the principal investigator must report to the Chairman of the Institutional Review Board promptly, and in writing, any unanticipated problems involving risks to the study subjects.



The logo of China Medical University is a circular emblem. It features a central caduceus (a staff with two snakes entwined and wings at the top). The Chinese characters "中國醫藥大學" are arranged in a circle around the top, and "CHINA MEDICAL UNIVERSITY" is written in English around the bottom. There are also two small floral motifs on the left and right sides of the inner circle.

附錄 B 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、受試者同意書、每週戶外活動紀錄表)

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：陳振華老師 電話(研究室)：(04) 22053366 #6207

填表日期：____年____月____日

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

(在過去半年內是否有以下情形發生？若有則請依發生頻率勾選)								
症狀種類	從未 (0%)	偶爾 (1~25%)	普通 (26~50%)	經常 (51~75%)	一直 (76%~)	症狀何時 開始？(年/月)	症狀是否具 持續性？	
皮膚乾澀	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
皮膚紅腫	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
皮膚刺激 (癢、痛)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
氣喘	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
支氣管炎	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
過敏性鼻炎	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
異位性皮膚炎	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
皮膚過敏	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
自覺狀況		非自覺狀況 (經醫師診斷)						
二、個人皮膚生理狀況								

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，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) 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：常用品牌_____；防曬係數(SPF)_____；UVA PA _____
使用頻率： 每日早上出門前擦拭一次； 每日定期擦拭：次數_____；每
次大約時間_____； 出門時擦拭及流汗後補充； 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、戶外活動狀況

四、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)：

種類	穿著頻率高低順位	約佔所有時間百分比
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，球鞋，無/短襪		

短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，無/短襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，無/短襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，球鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，及膝襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，球鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，長褲襪		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，拖鞋		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，拖鞋		
短褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，拖鞋		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		

及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，球鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，無/短襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，球鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，及膝襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，球鞋，長褲襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，球鞋，長褲襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，球鞋，長褲襪		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，拖鞋		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，拖鞋		
及膝褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，拖鞋		
長褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/ T-shirt，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		

長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，及膝襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，皮鞋/休閒鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，球鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，球鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，球鞋，無/短襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，球鞋，及膝襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，球鞋，及膝襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，球鞋，及膝襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，球鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，球鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，球鞋，長褲襪		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，拖鞋		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，背心，拖鞋		
長褲/裙，短袖襯衫/T-shirt，薄外套，拖鞋		

附錄 B-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「日光紫外線及濕熱環境之皮膚暴露危害與防曬乳液效能評估」研究。本研究分為兩階段進行，第一階段為戶外日光實驗，第二階段為暴露艙實驗。此研究目的在於瞭解在正常日光照射下，皮膚在使用與未使用防曬霜狀況下，所可能產生之生理反應(包含皮膚微血流變化量(SBFC)、經皮水分散失度(TEWL)、皮膚溫度、皮膚溼度、紅斑生成指數(Erythema index)、色素沉澱指數(Melanin index))變化，並將實驗結果應用於建立評估日光紫外線暴露與濕熱環境之生理指標。本論文僅供學術研究探討，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：陳玉潔 聯絡電話：研究室 0422053366#6207

第一階段實驗(戶外日光實驗)：

1. 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，實驗組左前臂皮膚測量處請依規定使用指定之防曬乳；控制組左前臂皮膚測量處請勿使用乳液、化妝、及藥用等產品。
2. 實驗對象共分為實驗組及控制組，每組各 7 名參與人員。控制組成員之左臂皮膚於整體實驗過程中不得施用防曬乳液或其他保養用品；實驗組成員之左臂皮膚使

用指定之防曬乳液(由研究人員提供)；單次使用劑量約為 2 g(可塗抹表面積約為 450 cm²)，均勻塗抹於左手前臂及上臂。一日至少 3 次，分別為早上出門前，中午 12 時，及下午 3 時；此外若遇到活動後流汗及清洗皮膚後亦須補充。於每次戶外日光實驗前 30 分鐘，使用指定之防曬乳液。

3. 在本階段實驗中，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。
4. 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(日光照射區)及不受陽光照射處(戶外陰涼區)。
5. 全體參與人員於 7/6 前至 16 樓職安系皮膚暴露實驗室進行生理指標基值量測。
6. 每次戶外日光實驗時受測者應於指定地點(日光照射區)進行靜態活動 10 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。曝曬日光 10 分鐘後，即時填寫熱舒適問卷，並進行皮膚生理指標測量；生理指標量測位置為前臂外側距腕關節約 10 cm 處與上臂內側距肘關節約 15 cm 處。
7. 受測人員於曝曬日光活動後，移動至戶外陰涼區，在確定手臂皮膚乾燥後(靜坐 20 分鐘)，即時填寫熱舒適問卷，並進行皮膚生理指標測量。
8. 若在實驗過程中，受測人員有任何身體不適，請立即向實驗人員反應。

第二階段實驗(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. 實驗組(7 名參與人員)左前臂皮膚測量處於實驗進行期平時不可施用乳液、化妝、及藥用等產品；防曬乳液於進入暴露艙時使用指定之防曬乳液(由研究人員提供)。控制組左前臂皮膚測量處不可施用乳液、化妝、及藥用等任何產品。
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；測量日期為 10 月份起連續六周。

4. 量測將依照下列溫濕度之組合進行 15 次；溫度：22、25、28、31、與 34 °C；溼度：45、60、與 75 %。預計各組合之量測需一個工作天完成。此外於環境溫度為 28 °C 及相對溼度 60 % 時，依據不同風速(無、低、中與高)進行 3 次量測。預計各組合之量測需一個工作天完成。
5. 受測人員於測量前先進入暴露艙維持靜止狀態 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。
6. 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 SBFC、TEWL(及皮膚溫度)、皮膚溼度、Erythema index、及 Mmelanin index 值。
7. 熱舒適問卷調查將於每次進入暴露艙時與測量前各進行一次；問卷填寫完畢，請繳回至工作人員。
8. 若在實驗過程中，受測人員有任何身體不適，請立即向工作人員反應。



附錄 B-3 受試者同意書



受測者同意書

姓名：_____ 受測者編號：_____

1. 本人同意參加日光紫外線及濕熱環境之皮膚暴露危害與防曬乳液效能評估之研究計畫，將據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. 本人同意參與本研究同時確認在實驗開始前一個月內並未使用手部防曬乳液及保養品。
4. 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。
5. 本人願意全程參與戶外日光實驗，並完成全部實驗(共十六次；為期八週)，再領取受測費用。
6. 本人願意於戶外日光實驗結束後，全程參與暴露艙實驗，完成全部實驗(共十八次；為期六週)，再領取受測費用。
7. 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 B-4 每週戶外活動紀錄表

每週戶外活動紀錄表-實驗組(固定使用防曬乳液組)

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之時間長度。時間長度之代號為：A. 小於 10 分鐘；B. 約 10 至 20 分鐘；C. 約 20 至 30 分鐘；D. 約 30 至 40 分鐘；E. 約 40 至 50 分鐘；F. 約 50 至 60 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 98 年 _____ 月 _____ 日

	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日
7 am ~ 8 am							
8 am ~ 9 am							
9 am ~ 10 am							
10 am ~ 11 am							
11 am ~ 12 pm							
12 pm ~ 1 pm							
1 pm ~ 2 pm							
2 pm ~ 3 pm							
3 pm ~ 4 pm							
4 pm ~ 5 pm							
5 pm ~ 6 pm							
備註事項							

每週戶外活動紀錄表-控制組(未使用防曬乳液、化妝品、及藥用品組)

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之時間長度。時間長度之代號為：A. 小於 10 分鐘；B. 約 10 至 20 分鐘；C. 約 20 至 30 分鐘；D. 約 30 至 40 分鐘；E. 約 40 至 50 分鐘；F. 約 50 至 60 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 98 年 ____ 月 ____ 日

	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日
7 am ~ 8 am							
8 am ~ 9 am							
9 am ~ 10 am							
10 am ~ 11 am							
11 am ~ 12 pm							
12 pm ~ 1 pm							
1 pm ~ 2 pm							
2 pm ~ 3 pm							
3 pm ~ 4 pm							
4 pm ~ 5 pm							
5 pm ~ 6 pm							
備註事項							

附錄 C 環境熱舒適問卷



日期：_____ 時間：_____

濕熱環境舒適性問卷

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 聯絡電話：研究室 0422053366#6207

受訪者基本資料

1.姓名：_____組別：_____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.可接受 2 不接受： 過冷； 過熱

2-3 【 】 您覺得目前整體的**熱環境**：

1.舒適 2.不舒適

請根據您目前對整個環境的溫度感覺回答：

3-1 【 】 您覺得目前環境的**溫度**：

1.可接受 2 不接受： 過冷； 過熱

3-2 【 】 您覺得目前環境的**溫度**：

1.舒適 2.不舒適

請根據您目前對整個環境的溼度感覺回答：

4-1 【 】 您覺得目前環境的**溼度**：

1.可接受 2 不接受： 過濕； 過乾

4-2 【 】 您覺得目前環境的**溼度**：

1.舒適 2.不舒適

附錄 D 台灣中部地區 98 年夏季(7 至 9 月)每日紫外線
指數即時測報資料(UVI)



表 D-1 台灣中部地區 98 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
20090701	0	0	0	0	0	0	0.5012	1.834	4.0439	6.0526	6.1603	6.8809	7.1261	7.6966	5.6614	3.1556	1.1823	0.2418	0	0	0	0	0	0	7.6966
20090702	0	0	0	0	0	0	0.2567	1.1983	3.4828	4.6472	2.5184	1.6201	2.4491	2.0996	1.8332	1.4193	0.5854	0.038	0	0	0	0	0	0	4.6472
20090703	0	0	0	0	0	0	0.0317	0.5537	1.2754	2.3806	2.3985	0.8481	1.7356	1.5318	1.5903	1.2866	0.8924	0.0555	0	0	0	0	0	0	2.3985
20090704	0	0	0	0	0	0	0.3257	1.1849	3.0475	5.5932	5.1282	9.9467	9.8476	5.6342	4.6766	2.5796	0.9233	0.1237	0	0	0	0	0	0	9.9467
20090705	0	0	0	0	0	0	0.2806	1.0876	2.0151	3.0897	4.8879	7.8307	6.8694	3.5882	3.6702	2.8888	1.1551	0.2131	0	0	0	0	0	0	7.8307
20090706	0	0	0	0	0	0	0.3171	1.5396	2.8959	4.3554	5.9602	8.2842	6.5243	5.7199	5.4613	3.8121	1.3678	0.2597	0	0	0	0	0	0	8.2842
20090707	0	0	0	0	0	0	0.3644	1.5959	3.6508	6.4506	8.5554	6.8724	4.3219	4.9177	4.3189	2.9	1.0861	0.1423	0	0	0	0	0	0	8.5554
20090708	0	0	0	0	0	0	0.2694	1.1894	2.3046	4.0558	4.1959	6.4144	6.7449	4.5179	4.8543	3.441	1.5586	0.4225	0	0	0	0	0	0	6.7449
20090709	0	0	0	0	0	0	0.2385	0.7445	1.8459	2.8091	5.7244	6.0429	8.4783	4.8126	4.8711	3.403	1.5985	0.4035	0	0	0	0	0	0	8.4783
20090710	0	0	0	0	0	0	0.288	1.5843	3.4209	6.1767	6.5497	6.5135	5.3108	5.541	2.5743	1.3261	1.2747	0.3793	0	0	0	0	0	0	6.5497
20090711	0	0	0	0	0	0	0.3886	1.6253	3.6609	4.2671	3.7514	3.9072	3.8978	3.8896	1.9726	1.5024	0.8626	0.3897	0	0	0	0	0	0	4.2671
20090712	0	0	0	0	0	0	0.171	0.9591	2.6653	5.2385	7.1086	7.2103	7.8922	6.8466	4.1125	2.4387	1.0802	0.177	0	0	0	0	0	0	7.8922
20090713	0	0	0	0	0	0	0.0689	0.7937	1.7103	1.9662	1.4494	1.9167	2.4182	2.9615	1.5761	1.3406	0.376	0	0	0	0	0	0	0	2.9615
20090714	0	0	0	0	0	0	0.4475	1.7226	3.1351	3.9899	3.7451	7.4238	3.3058	2.166	0.9192	0.9978	0.4337	0.0261	0	0	0	0	0	0	7.4238
20090715	0	0	0	0	0	0	0.3897	1.6387	3.1269	5.7039	5.844	8.1903	8.1865	8.732	6.3421	3.7175	1.6346	0.4583	0	0	0	0	0	0	8.732
20090716	0	0	0	0	0	0	0.43	1.7069	3.9299	5.3935	7.4059	9.6378	9.5793	8.8058	6.4416	3.6806	1.6152	0.4322	0	0	0	0	0	0	9.6378
20090717	0	0	0	0	0	0	0.3469	1.4383	2.9283	4.0849	7.0289	7.4573	9.1285	8.4041	6.4569	3.9716	1.2918	0.3972	0	0	0	0	0	0	9.1285
20090718	0	0	0	0	0	0	0.3026	1.3231	2.328	4.415	6.1961	3.0095	5.0835	1.9908	2.1797	0.5541	0.4244	0.0637	0	0	0	0	0	0	6.1961
20090719	0	0	0	0	0	0	0.2657	1.4707	3.3814	4.7086	7.6846	6.3403	5.765	1.7762	0.6297	0.3883	0.4371	0	0	0	0	0	0	0	7.6846
20090720	0	0	0	0	0	0	0.1006	1.0012	2.6105	4.8446	4.8178	3.3967	6.6354	5.2966	4.5793	2.7264	1.3105	0.2519	0	0	0	0	0	0	6.6354
20090721	0	0	0	0	0	0	0.3435	1.4357	3.1489	6.3	7.8113	8.7972	9.0983	5.3927	4.7761	3.6333	1.4252	0.3462	0	0	0	0	0	0	9.0983
20090722	0	0	0	0	0	0	0.275	1.2385	2.7483	1.4614	5.5515	8.6169	7.4622	5.819	5.4326	3.64	1.5974	0.3603	0	0	0	0	0	0	8.6169
20090723	0	0	0	0	0	0	0.3681	1.4561	3.7887	5.6152	7.7316	8.1251	7.3523	6.5355	3.9377	2.2569	0.8909	0.3819	0	0	0	0	0	0	8.1251
20090724	0	0	0	0	0	0	0.2489	1.1405	2.9302	5.1002	5.9189	5.4497	8.1478	5.6442	4.9501	2.7435	0.8875	0.3618	0	0	0	0	0	0	8.1478
20090725	0	0	0	0	0	0	0.3611	1.6369	3.9146	5.9923	6.2669	5.4434	6.0705	6.2084	2.6966	1.5232	0.9982	0.2545	0	0	0	0	0	0	6.2669
20090726	0	0	0	0	0	0	0.3145	1.3019	3.1795	6.2028	5.9811	5.1807	8.1482	8.1347	6.0482	3.055	0.9691	0.0741	0	0	0	0	0	0	8.1482
20090727	0	0	0	0	0	0	0.3543	1.4088	3.6143	6.1078	6.3973	5.7776	7.9563	5.0574	4.4281	3.7454	1.6823	0.3506	0	0	0	0	0	0	7.9563
20090728	0	0	0	0	0	0	0.2485	1.5649	3.8449	6.553	7.7916	9.3841	7.571	9.0711	6.3306	3.7797	1.1271	0.0671	0	0	0	0	0	0	9.3841
20090729	0	0	0	0	0	0	0.3253	1.5139	3.4712	5.4114	5.3722	5.1271	3.4589	5.8414	3.7581	3.2532	1.5038	0.269	0	0	0	0	0	0	5.8414
20090730	0	0	0	0	0	0	0.3573	1.1979	2.9067	4.3166	5.6834	5.7765	5.0783	4.5395	4.5339	2.8899	1.7363	0.4345	0	0	0	0	0	0	5.7765
20090731	0	0	0	0	0	0	0.3365	1.4722	3.2551	5.24	6.4975	6.3105	2.2736	4.0029	4.8498	2.8586	1.287	0.3909	0	0	0	0	0	0	6.4975

表 D-2 台灣中部地區 98 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
20090801	0	0	0	0	0	0	0.291	1.3306	3.2033	5.3879	4.0051	5.9241	6.0958	6.3213	3.8047	2.8706	1.3157	0.3115	0	0	0	0	0	0	6.3213
20090802	0	0	0	0	0	0	0.2843	1.2479	3.1392	5.2333	7.2964	8.7976	8.8405	6.3298	4.772	3.0621	1.3846	0.3566	0	0	0	0	0	0	8.8405
20090803	0	0	0	0	0	0	0.1047	0.3003	0.6036	0.8592	1.8645	4.3677	1.1797	0.5358	1.5914	0.832	0.3078	0.044	0	0	0	0	0	0	4.3677
20090804	0	0	0	0	0	0	0.3447	1.4398	3.8934	6.5396	7.2513	3.8665	0.829	1.0515	0.6778	0.6174	0.168	0	0	0	0	0	0	0	7.2513
20090805	0	0	0	0	0	0	0.1345	0.8358	2.625	4.3699	6.8198	6.8917	4.2451	2.0583	0.4587	0.0809	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8917
20090806	0	0	0	0	0	0	0.0332	0.3652	1.5381	2.4119	1.8608	3.5629	6.7017	5.92	1.6007	0.7702	0.5459	0	0	0	0	0	0	0	6.7017
20090807	0	0	0	0	0	0	0.0309	0.7765	1.5977	2.0471	1.695	2.0821	1.7602	1.7587	1.1171	0.5772	0.1189	0	0	0	0	0	0	0	2.0821
20090808	0	0	0	0	0	0	0	0.2385	0.7426	1.4744	1.0593	1.6257	1.4748	1.0347	1.1052	0.6834	0.1416	0	0	0	0	0	0	0	1.6257
20090809	0	0	0	0	0	0	0	0.0134	0.5891	0.5839	0.7594	0.8984	0.8209	0.6282	0.1718	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8984
20090810	0	0	0	0	0	0	0.063	0.4892	1.4502	1.569	1.398	1.9458	1.5523	0.5693	0.5664	0.3927	0.0809	0	0	0	0	0	0	0	1.9458
20090811	0	0	0	0	0	0	0.0861	0.8477	3.0237	4.7556	7.0393	8.8826	5.0805	7.0978	3.8066	1.9771	0.8499	0.3044	0	0	0	0	0	0	8.8826
20090812	0	0	0	0	0	0	0.2765	1.2702	3.3669	5.3588	8.9701	6.2568	9.5909	6.1618	2.6615	1.9506	0.7828	0.2605	0	0	0	0	0	0	9.5909
20090813	0	0	0	0	0	0	0.2877	1.5146	3.7242	6.6466	8.1075	5.1602	9.4787	7.4268	5.2806	2.3117	1.1141	0.1166	0	0	0	0	0	0	9.4787
20090814	0	0	0	0	0	0	0.2634	1.4196	3.412	5.1722	7.78	8.8487	6.271	5.8954	5.7307	3.2193	1.4204	0.2888	0	0	0	0	0	0	8.8487
20090815	0	0	0	0	0	0	0.2075	1.2795	3.2819	6.1141	8.6147	9.484	9.6688	3.1511	0.8466	0.2742	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6688
20090816	0	0	0	0	0	0	0.234	1.3179	3.0792	5.0354	7.846	8.4231	4.4445	1.4588	2.0311	1.35	0.4799	0	0	0	0	0	0	0	8.4231
20090817	0	0	0	0	0	0	0.2727	1.3611	3.2659	4.7675	6.8373	7.7804	5.2273	5.7769	5.4669	2.6779	1.0291	0.2336	0	0	0	0	0	0	7.7804
20090818	0	0	0	0	0	0	0.2012	1.1152	2.3538	4.0592	5.3771	6.189	4.1043	5.639	4.2146	2.4961	1.1931	0.1263	0	0	0	0	0	0	6.189
20090819	0	0	0	0	0	0	0.1099	1.0791	2.7077	3.3963	3.5964	3.0759	2.5445	5.7847	3.6881	2.7796	1.1365	0.1557	0	0	0	0	0	0	5.7847
20090820	0	0	0	0	0	0	0.1498	1.0854	2.6951	4.3487	4.0051	5.2198	5.8712	6.2065	4.402	2.4812	0.9829	0.1401	0	0	0	0	0	0	6.2065
20090821	0	0	0	0	0	0	0.1859	1.1555	2.8978	5.028	5.2131	5.3924	5.0294	2.5479	1.5821	2.0967	0.9755	0.1502	0	0	0	0	0	0	5.3924
20090822	0	0	0	0	0	0	0.0876	0.9066	2.0739	3.1496	5.4095	3.5532	2.9034	2.6504	2.9056	2.4033	1.0332	0.1606	0	0	0	0	0	0	5.4095
20090823	0	0	0	0	0	0	0	0.7221	1.6961	2.571	5.8894	4.5395	3.1564	3.4447	4.6393	2.9354	1.2162	0.2094	0	0	0	0	0	0	5.8894
20090824	0	0	0	0	0	0	0.1762	1.1353	2.8333	4.8554	4.6971	4.2395	2.1809	1.0925	3.2249	2.0512	0.5943	0	0	0	0	0	0	0	4.8554
20090825	0	0	0	0	0	0	0.1721	1.2162	3.0591	5.6409	5.9759	6.6834	4.2336	3.2726	3.5506	2.2561	0.9654	0.1274	0	0	0	0	0	0	6.6834
20090826	0	0	0	0	0	0	0.1807	1.0996	2.4566	4.519	5.2474	5.6062	3.8762	2.5591	2.7897	2.04	0.6968	0.0592	0	0	0	0	0	0	5.6062
20090827	0	0	0	0	0	0	0.193	1.1886	2.8344	4.7805	7.2819	5.449	3.4399	4.9016	4.592	2.511	0.9937	0.149	0	0	0	0	0	0	7.2819
20090828	0	0	0	0	0	0	0.1528	1.0288	2.6626	4.7325	6.3526	4.7969	3.1727	4.5063	3.5379	2.3538	0.9326	0.1181	0	0	0	0	0	0	6.3526
20090829	0	0	0	0	0	0	0.1252	0.8462	1.958	1.8176	4.7623	3.58	2.4831	1.2866	2.3437	1.7281	0.6856	0.0395	0	0	0	0	0	0	4.7623
20090830	0	0	0	0	0	0	0.1625	1.037	2.4883	3.9045	4.8092	3.1094	2.0959	1.1365	0.6137	0.7739	0.9356	0.0797	0	0	0	0	0	0	4.8092
20090831	0	0	0	0	0	0	0.0816	1.0247	2.5669	4.6065	3.4623	3.5699	3.2473	2.7487	3.1202	1.2717	0.8264	0.1218	0	0	0	0	0	0	4.6065

表 D-3 台灣中部地區 98 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
20090901	0	0	0	0	0	0	0.2262	1.2162	3.0569	4.8279	7.1499	8.1675	7.8411	6.8783	5.0391	2.106	0.8603	0.0775	0	0	0	0	0	0	8.1675
20090902	0	0	0	0	0	0	0.0306	0.7113	2.1563	3.0744	5.0421	2.8571	3.5733	4.4508	3.4	1.1256	0.2094	0	0	0	0	0	0	0	5.0421
20090903	0	0	0	0	0	0	0.1621	0.936	2.2505	3.9712	5.2597	4.6617	4.1303	5.2892	3.0502	1.7229	0.8585	0.0674	0	0	0	0	0	0	5.2892
20090904	0	0	0	0	0	0	0.1595	1.0165	2.4912	2.606	4.0908	5.4896	3.9027	4.203	2.2211	2.0926	0.9248	0.0917	0	0	0	0	0	0	5.4896
20090905	0	0	0	0	0	0	0.1334	1.0385	2.5632	3.6773	5.6577	8.4679	7.419	6.4606	4.8677	2.5497	0.9326	0.0686	0	0	0	0	0	0	8.4679
20090906	0	0	0	0	0	0	0.174	1.2177	2.8348	2.6604	4.6773	4.2466	5.3059	4.5056	4.0867	2.4689	0.9345	0.082	0	0	0	0	0	0	5.3059
20090907	0	0	0	0	0	0	0.1889	1.1689	3.0788	5.1781	6.3962	7.2539	7.7077	6.5683	4.4746	2.3366	0.8745	0.079	0	0	0	0	0	0	7.7077
20090908	0	0	0	0	0	0	0.1647	1.006	1.7751	3.2562	5.5176	3.3132	4.0089	4.6751	3.991	2.1611	0.825	0.0537	0	0	0	0	0	0	5.5176
20090909	0	0	0	0	0	0	0.1557	1.0597	2.0598	3.8509	4.9221	3.9832	4.8528	5.2046	3.4641	2.0255	0.7083	0.0186	0	0	0	0	0	0	5.2046
20090910	0	0	0	0	0	0	0.1796	1.2002	3.039	5.3845	6.0895	3.6445	3.5882	3.2257	3.093	1.4729	0.607	0.0063	0	0	0	0	0	0	6.0895
20090911	0	0	0	0	0	0	0.1539	1.183	3.0952	5.8004	8.3058	6.1801	7.0378	5.8894	3.4246	1.0601	0.0499	0	0	0	0	0	0	0	8.3058
20090912	0	0	0	0	0	0	0.1472	1.0828	2.5062	4.2101	4.9069	5.7143	7.1634	7.0486	4.488	2.2792	0.7318	0	0	0	0	0	0	0	7.1634
20090913	0	0	0	0	0	0	0.1435	1.1152	1.8556	5.5947	5.4061	6.7498	7.1764	2.647	3.7745	1.7509	0.3503	0.0186	0	0	0	0	0	0	7.1764
20090914	0	0	0	0	0	0	0.0891	0.9431	2.8389	4.9423	5.8376	4.0555	6.2777	5.0913	3.1265	0.5954	0.0633	0	0	0	0	0	0	0	6.2777
20090915	0	0	0	0	0	0	0.1639	1.0541	1.6972	4.0976	3.3773	5.68	4.6945	5.5053	3.6493	0.5257	0.0648	0	0	0	0	0	0	0	5.68
20090916	0	0	0	0	0	0	0.1621	1.1607	2.9082	5.2068	7.2982	5.8995	7.0911	6.1555	3.0487	0.7746	0.5045	0	0	0	0	0	0	0	7.2982
20090917	0	0	0	0	0	0	0.177	1.1387	2.8762	4.415	6.4588	7.6899	7.6124	6.7296	4.4541	2.3038	0.7765	0.0186	0	0	0	0	0	0	7.6899
20090918	0	0	0	0	0	0	0.1576	1.0645	2.6783	4.3375	5.7378	6.1983	7.3299	5.4646	4.0424	2.1831	0.7519	0.006	0	0	0	0	0	0	7.3299
20090919	0	0	0	0	0	0	0.0611	0.9379	2.8173	5.3927	4.8927	4.2894	4.6091	4.2406	4.2637	2.2856	0.6673	0.0123	0	0	0	0	0	0	5.3927
20090920	0	0	0	0	0	0	0.0879	0.5891	1.7997	4.3643	6.363	7.8296	7.7074	6.3254	4.3975	2.1522	0.7117	0	0	0	0	0	0	0	7.8296
20090921	0	0	0	0	0	0	0.101	1.0019	2.5255	3.1396	5.24	5.1088	4.6818	2.0963	3.0285	1.5787	0.5753	0	0	0	0	0	0	0	5.24
20090922	0	0	0	0	0	0	0.0306	0.9267	2.2032	4.0804	4.9847	6.4666	3.8114	4.6617	2.7312	1.0161	0.3741	0	0	0	0	0	0	0	6.4666
20090923	0	0	0	0	0	0	0.082	0.8633	1.9491	3.4533	3.8218	2.1999	1.6398	1.6305	0.6543	0.8581	0.2627	0	0	0	0	0	0	0	3.8218
20090924	0	0	0	0	0	0	0.0741	0.7978	2.0512	3.5327	2.3776	3.8334	4.548	4.9128	3.4943	1.8496	0.5787	0	0	0	0	0	0	0	4.9128
20090925	0	0	0	0	0	0	0.1118	0.901	2.2476	3.6597	3.4548	4.6874	5.4721	4.6498	2.4003	1.6223	0.4654	0	0	0	0	0	0	0	5.4721
20090926	0	0	0	0	0	0	0.117	1.0191	2.571	3.9765	5.7516	5.18	6.2181	5.1938	3.5047	1.7654	0.5444	0	0	0	0	0	0	0	6.2181
20090927	0	0	0	0	0	0	0	0.0864	0.718	1.0742	1.5631	3.6635	4.6781	2.5281	2.1961	1.4703	0.3812	0	0	0	0	0	0	0	4.6781
20090928	0	0	0	0	0	0	0.0123	0.5977	0.8861	2.1291	3.5167	5.0697	5.1591	3.7104	2.5561	1.0236	0.1885	0	0	0	0	0	0	0	5.1591
20090929	0	0	0	0	0	0	0.1028	0.8775	2.6485	5.145	7.1395	9.2794	8.485	6.4852	4.4411	1.8791	0.4251	0	0	0	0	0	0	0	9.2794
20090930	0	0	0	0	0	0	0.1364	1.0623	2.745	5.0097	4.7943	2.6187	0.62	1.5497	1.3362	0.6252	0.1654	0	0	0	0	0	0	0	5.0097