

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國小組

作品名稱：暗空校園：「光環境」如何改變星星可見度？

關 鍵 詞

1. 光汙染 (Light Pollution) 及光源控制(Lighting Control)、
2. 暗空校園 (Dark Sky Campus)、
3. SQM (Sky Quality Meter) 數據收集

編號：A5005

目錄

摘要.....	3
壹、 前言.....	4
一、 研究動機.....	4
二、 研究目的.....	4
三、 文獻回顧.....	5
參、 研究設備與器材.....	7
一、 SQM (Sky Quality Meter) 天空亮度儀：.....	7
二、 星空定位與輔助觀測設備.....	7
三、 燈光對照實驗設備.....	8
四、 研究記錄與分析工具.....	8
參、 研究過程和方法.....	8
一、 資料收集與認識環境：.....	9
二、 實地觀測與量化測量：.....	11
三、 資料比對與討論：.....	11
肆、 研究結果.....	13
一、 控制變因：觀測場域與量測方式（同一儀器、同一量測次數與取值規則）.....	13
二、 操縱變因：周圍有手電筒光源（手電筒光源條件）.....	13
三、 應變變因：觀測記錄指標（北極星可見性／代表星群可見星數）.....	13
四、 環境變因：觀測條件說明（月亮、雲量）.....	13
五、 結果判讀：.....	13
伍、 討論.....	21
一、 路燈光源顏色與亮度對夜空品質的影響，其量測結果顯示：.....	21
二、 人為手電筒干擾對觀測結果的影響，在相同場域條件下加入不同手電筒光源比較：.....	21
三、 本研究數據比對全球光害地圖數值：.....	21
四、 月亮與雲量的環境影響：.....	22
五、 「SQM 數值」與「波特爾等級」對應討論：.....	22

陸、 結論.....	24
一、 核心研究結論：	24
二、 光害治理與相關議題之結合：	24
三、 批判性思考以及未來期許：	25
四、 本研究下個階段設計之一：	25
五、 天文數據科學與地方記憶的連結回應：	26
柒、 參考文獻資料.....	27

暗空校園：「光環境」如何改變星星可見度？

摘要

2025 年的恆春半島因建城 150 年活動與「十大觀星場域」推廣而非常熱鬧，其中九處優良觀星地點都位於半島周邊，卻發現我們對家鄉星空知識多停留在課本上，缺乏實際系統性的觀測方法。另外，我們在參加星空活動後發現，儘管地處觀星勝地，但不當的照明卻會影響大家看星星的「感覺」、這種「感覺」很難化為客觀數據，跟指導老師討論完後、老師建議大家可以嘗試用科學數據來呈現。

因此，本研究利用 SQM (天空亮度儀) 紀錄數據來呈現並量化夜空亮度，並結合波特爾暗空分類法，另外再設計了「不同觀測場域（校內路燈、校內暗處、佳樂水風景區）」與「不同人造光源（無/紅/白光手電筒）」的交叉對照，並納入「月亮」與「雲量」作為環境變因進行系統性分析。

研究結果有三點心得總結：

1. 「白光」光害的危害：即使在天然條件極佳的佳樂水風景區 (SQM 數據高達 20.07，波特爾 4~5 級)，但只要開啟白光照明，觀測點的局部光害程度相當於波特爾第 9 級 (市中心天空)，更導致目視觀察時、「仙后座完全不可見」。
2. 環境變因：在有月光與雲層反射的環境下 (本研究之情境 B)，黃光路燈因波長較長、眩光較弱，仍能勉強維持亮星辨識度；而白光直射則會破壞眼睛暗適應，使瞳孔收縮。
3. 校園暗空潛力：校內只要避開直接光源（加裝燈罩或限制光源），校園夜空品質即可回升至波特爾 6~7 級。

本研究以量化數據證實：光害是「可被管理的人為因素」。透過避免白光眩光、降低光源色溫（改用暖光），以及落實燈具向下並遮光，我們不僅能找回校園星空，更能呼應聯合國永續發展目標（SDGs），為恆春半島的星空觀光與永續發展提供更多科學數據實證。

壹、前言

一、研究動機

2025 年的恆春半島格外熱鬧，一方面迎接恆春建城 150 年，各種在地文化與歷史活動紛紛展開；另一方面，屏東縣政府推廣「十大觀星場域」，其中有九處位於恆春半島，被天文專家評為全台少見的優質觀星地點。然而，我們因為參加恆春半島建城 150 週年的觀星活動，開始注意到一件事情：在戶外暗空場域看星星時，星星很多、很清楚；但回到校園，同樣的天空，看到的星星卻明顯變少。

於是我們產生了一個疑問：為什麼同一片天空，星星數量會差這麼多？在查閱暗空小鎮與光害相關資料後，我們發現人造燈光可能會影響夜空品質。然而，多數人只是憑感覺說「這裡比較亮」，卻缺乏實際數據證明。

因此，我們決定使用 SQM (Sky Quality Meter) 測量夜空亮度，透過場域比較與對照實驗，驗證光環境是否真的改變星星的可見度。

我們也希望進一步思考：校園，是否有機會更接近暗空環境？

二、研究目的

我們這次研究，想回答一個問題：光環境，真的會改變星星的可見度嗎？為了回答這個問題，我們設定了幾個具體目標：

- (一)我們想分析不同燈光顏色；像是白光、黃光和紅光，會不會讓夜空亮度 (SQM 數值) 產生差異。
- (二)我們想比較不同觀測位置；例如路燈下面，和校園比較暗的地方，夜空品質是不是不一樣。
- (三)我們希望用清楚的實驗架構來驗證因果關係。我們刻意改變燈光與位置，觀察 SQM 數值變化和星星數量怎麼改變。
- (四)我們把量測到的 SQM 數值，對應到「波特爾暗空分類法」，看看我們的校園大約落在哪一個等級。
- (五)最後，我們希望根據本實驗收集到的數據，提出有方向的改善建議，讓校園未來有機會更接近暗空環境。

三、文獻回顧

表 1 資料來源與出處

編號	資料來源與出處	內容摘要整理	本研究之應用與對應關聯
1	屏東星空觀光資源(屏東十大觀星場域出爐)	報導指出屏東縣擁有極佳的星空資源，並評選出十大觀星場域，展現當地推動星空旅遊的潛力與成果。	呼應研究動機，佐證「恆春半島擁有很多適合看星星的地方」，凸顯本研究在地場域的適切性。
2	恆春在地天文活動(來恆春擁抱宇宙觀星活動)	報導恆春建城 150 週年舉辦的觀星活動，顯示當地民眾與政府對天文觀測的重視。	呼應研究動機與未來展望，證明推動暗空校園能實質幫助地方活動。
3	都市光害與夜空亮度實測分析(林義盛，逢甲大學碩論)	該研究首度以 SQM 測量台中市，證實「商業行為」與「土地分區」會直接影響夜空亮度，商業區光害最嚴重。	提供本研究數據收集參考。證實本研究採用「SQM 測量校內路燈旁與暗處差異」的方法是符合學術規範的。
4	聯合國永續發展目標 (SDGs 17 項目標)	介紹聯合國為解決全球環境與社會問題所制定的 17 項核心永續發展目標 (SDGs)。	將光害改善行動精準對應至本研究結論的核心精神。
5	科展價值與 SDGs 之結合(科展秘笈-科學 X 博士)	說明優秀科展作品應結合 SDGs，透過平易近人的裝置解決真實社會與環境問題。	確立本研究「下一階段」的行動方案，說明為何我們不只停留在測量，還要「自製燈罩」走出校園推廣。
6	在地精準氣象數據(交通部中央氣象署-恆春鎮)	提供恆春地區即時與預報的氣象資訊，包含雲量、濕度與天氣概況。	協助本研究在實地觀測時判斷「雲層對光害反射」的影響，並作為選擇適合觀測日期的氣象科學依據。
7	波特爾暗空分類法 (Bortle Scale)	將夜空黑暗程度分 1 至 9 級。第 8 級為「城市星空」，僅能見少數亮星，熟悉星座難以辨認。	用於定性分析，解釋本實驗中「校園路燈旁」為何屬於第 8 級，並作為評估校園星空亮度的視覺標準。
8	國際暗空標準與防制原則(DarkSky International)	國際暗空公園認證要求無月夜空的 SQM 需達 21.2 至 21.6 以上，且照明需遵循「加裝向下遮罩」等原則。	本研究最核心的量化對照標準，以及提出「加裝燈罩、改用紅光」解決方案的國際科學依據。

編號	資料來源與出處	內容摘要整理	本研究之應用與對應關聯
9	光害的生態影響(光害，害在哪？-節電屏東篇)	說明光污染除了遮蔽星空，還會影響鳥類、海龜與植物生態。提出燈具需加蓋遮擋及減少藍光溢散。	作為本研究中「加裝燈罩」與設計「紅光/白光對照實驗」的生態保護理論基礎。
10	全球光害地圖數值查詢(Light Pollution Map)	提供精確到鄉鎮（如屏東縣恆春鎮）的波特爾等級與天空亮度預估數值。	協助本研究在選擇「校園暗處」及「校外果園」進行對照實驗時，能事先比對當地的背景光害基礎數值。
11	月相變化資訊(月相查詢：Star Walk)	提供每日精準的月相盈虧（如農曆十五的滿月）、月出與月落時間資訊。	控制實驗變因的關鍵工具。協助本研究準確記錄「有無月亮」對 SQM 數值的干擾及利用高度角觀測器練習觀測月亮高度。
12	精準定位誤差：磁偏角(可觀自然教育中心暨天文館)	指北針受地磁影響的「磁北」，與地理「正北」有誤差。台灣磁北較正北偏西約 3 到 4 度。	解釋本實驗中「為何不能只依賴指北針，必須搭配平板 APP 與 S50 智慧望遠鏡修正」的科學方位依據（北方：北極星）。
13	光害地圖的應用與判讀(雷神的星天地：DarkSiteFinder)	介紹如何利用光害地圖查詢並判斷是否會受到鄰近城市光源（如恆春鎮中心）的波及與干擾。	幫助本研究在校外暗空場域（如火龍果園區）進行觀測時，評估背景光害與直接眩光的差異。
14	北極星的真實亮度(雷神的星天地：亮星排名)	北極星實際視星等僅有 2.0 等，在全天亮星排名中連前 30 名都進不了，極易被光害掩蓋。	利用合理的科學現象，證實本實驗觀測結果：「在白光路燈旁連北極星都完全找不到」。

資料來源:研究者整理

參、 研究設備與器材

為確保量測之準確性、可重複性與觀測定位之精確，本研究使用下列設備進行夜空觀測與數據記錄。：



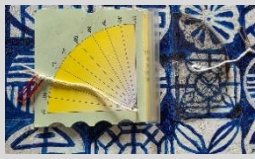
圖 1 天空亮度儀

一、 SQM（Sky Quality Meter）天空亮度儀：

數值以（單位： mag/arcsec^2 ）為單位，數值越高表示夜空越暗、光害越少，觀測條件越好。每個地點測量前要避免瞬間光源干擾，之後連續量測 6 次 SQM，紀錄數值後再平均。

二、 星空定位與輔助觀測設備

表 2 輔助觀測設備

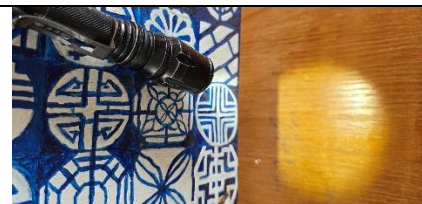
	設備	用途說明
1.	 指北針	用途：確認觀測方向並校正方位。
2.	 高度角觀測器	用途：測量天體仰角，驗證北極星高度是否符合當地緯度（約 22° ）。
3.	 指星筆	用途：協助成員辨識星座位置，避免誤判。
4.	 平板電腦 觀星 App (Stellarium)	用途：即時校對星座與季節代表星群位置。
5.	 天球儀	用途：預測觀測時間之星群位置與仰角。

6.	 ZWO Seestar S50 全自動天文望遠鏡	用途： 1.自動尋星與定位 2.影像堆疊確認天體 3.作為肉眼觀測之輔助驗證工具 本研究以其作為輔助定位設備，並非主要量測儀器。
----	---	--

資料來源:研究者整理

三、燈光對照實驗設備

表3 燈光對照實驗設備

1.	 白光手電筒	用途：模擬人造白光對夜空之干擾。
2.	 紅光手電筒	用途：模擬低干擾光源進行對照比較。

資料來源:研究者整理

四、研究記錄與分析工具

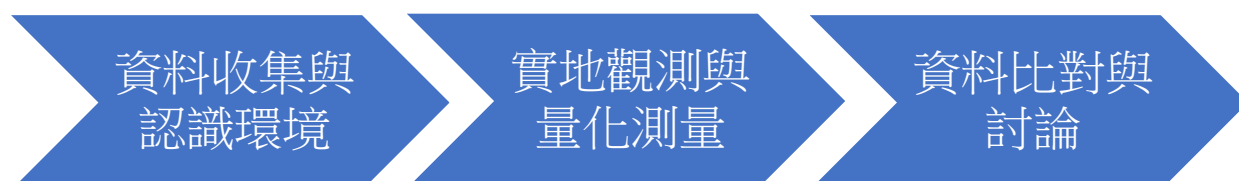
〔一〕觀測紀錄表；用途：記錄 SQM 數值、北極星可見性、季節代表星群可見星數與環境變因。

〔二〕筆記本與書寫工具；用途：現場即時紀錄。

〔三〕手機或攝影設備；用途：時間確認與觀測環境紀錄。

參、研究過程和方法

本研究用兩種方法一起做：場域比較＋對照實驗，透過量化測量與實地觀測，分析光環境是否改變夜空可見度。。



一、資料收集與認識環境：

(一) 我們先參考暗空小鎮與光害相關資料，了解影響夜空品質的主要因素，包括「燈光顏色、亮度、照射方向」皆可能影響夜空品質。

圖 2 光害總類與形成

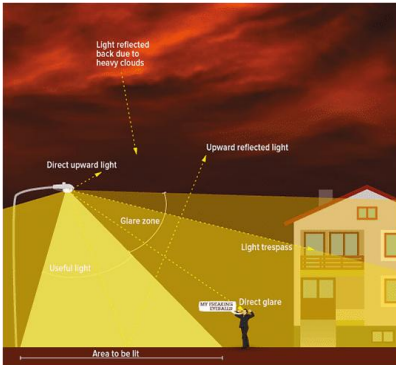


圖 3 波特爾暗空分類法 (Bortle Scale)

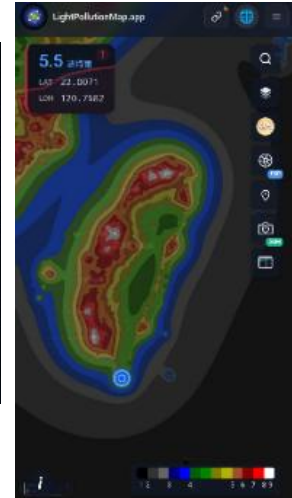


圖 4 全球光害(屏東縣 恆春鎮)地圖數值查詢(Light Pollution Map)

圖 5 天空亮度儀操作



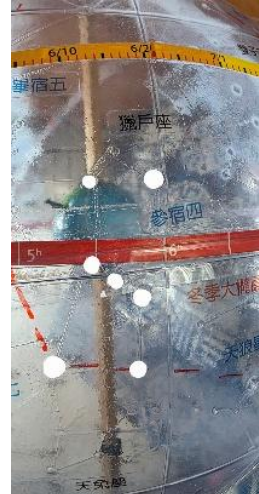
圖 6 天球儀(北極星定位)



圖 7 仙后座亮星數量



圖 8 獵戶座亮星數量



(二) 同時認識本研究的工具與指標：SQM（天空亮度儀）操作；天球儀操作、尋找北極星、季節代表星群在天空位置、星群辨識及可見星

(三) 在正式觀測前，我們先到校園與周邊場域踏查，確認可觀測的位置（路燈下／校內暗處），利用地景參照物確認方位以及預判北極星所在位置，並建立固定的記錄表與觀測規範。包括：

1. 觀測時間（固定時段）
2. 觀測流程（量測與記錄順序）
3. 天空雲量與有無月亮之觀察判斷與記錄方式



圖 9 校園內白光照明處



圖 10 校園內黃光照明處(安全)



圖 11 利用天球儀練習尋找當季星座(冬季星座)



圖 12 方位及北極星尋找練習

(四) 完成夜間觀測的安全與操作訓練：

1. Stellarium（觀星 App）以及天球儀操作認識：白天先使用 Stellarium（觀星 App）進行比對並搭配天球儀，學習校正日期與時間、確認方位（東西南北）、對應季節星群位置，確保辨識星群時有一致的判準。
2. 指星筆安全規範：由老師保管與統一使用，不照人眼、不照飛機及道路、不長時間固定照射同一方向，必要時僅短暫指示星位後立即關閉。
3. 夜間觀察裝備：穿著包鞋（避免滑倒與割傷）、攜帶小型手電筒（以紅光優先）、並遵守結伴同行與固定集合點規範。



圖 13 白天練習月相觀察



圖 14 全自動天文望遠鏡操作練習



圖 15 天球儀練習

二、實地觀測與量化測量：

- (一) 研究採用「場域比較」和「對照實驗」。我們比較不同位置（白光路燈下、黃光路燈下、校內陰暗處）與不同光環境（白燈手電筒、紅燈手電筒）之差異。
- (二) 每次觀測固定在 19:00~21:00，由同一組學生使用同一台 SQM 操作。
- (三) 每個地點測量前要避免瞬間光源干擾，之後連續量測 6 次 SQM，紀錄數值後再平均，同時記錄：
 1. 北極星是否可見。
 2. 季節代表星群辨識情形（仙后座）（獵戶座）。
 3. 季節代表星群可見星數（仙后座）（獵戶座）。
- (四) 背景條件相同下模擬干擾因素，因此加入：
 1. 白光手電筒
 2. 紅光手電筒

觀察 SQM 與可見星數之變化，以比較不同光源顏色對夜空可見度的影響。

三、資料比對與討論：

(一) 整理比較：場域和干擾條件的差異

我們將不同觀測場域（白光路燈下、黃光路燈下、校內陰暗處）與不同干擾條件（無手電筒／紅光手電筒／白光手電筒）下的「SQM 數值」與「肉眼觀測紀錄」（北極星是否可見、季節代表星群之星群辨識情形、季節代表星群之亮星顆數）彙整成表格與圖表，直接比較夜空亮度與星群辨識差異。

(二) 數值轉換：「SQM 數值」對應「波特爾暗空等級」

國際暗空公園的認證基準中，夜空品質指標 SQM 數值通常要求在 21.2 至 21.6 mag/arcsec² 或以上，數值越高表示天空越暗、無光害污染。台灣合歡山暗空公園的「SQM 數值」實測標準常態維持在 21.3~21.7 之間的極佳水平。

為了讓量測數值更容易理解，我們將 SQM 數值對應到「波特爾暗空分類法（Bortle Scale 1~9 級）」，用以判斷校園夜空品質屬於哪一個等級範圍，並以「是否可辨識北極星、觀測到的仙后座/獵戶座亮星數」作為觀測驗證。

表 4 「SQM 數值」與「波特爾等級」對照表

波特爾等級	天空品質描述	SQM 參考值 (mag/arcsec ²)	環境描述
1	極度黑暗 (Excellent Dark-Sky)	21.75 – 22.0	銀河亮到能在地面上投出事物的影子
2	真正黑暗 (Typical Truly Dark)	21.60 – 21.75	肉眼直接看到梅西耶天體中的許多球狀星團
3	鄉村天空 (Rural Sky)	21.30 – 21.60	在春季和秋季，黃道光容易看見
4	鄉村/郊區過渡 (Rural/Suburban Transition)	20.40 – 21.30	黃道光依然勉強可見
5	郊區天空 (Suburban Sky)	19.50 – 20.40	只能在春秋季節最好的晚上才能看到少許黃道光
6	明亮郊區 (Bright Suburban)	18.50 – 19.50	無法看到黃道光了；僅在天頂方向才能看見銀河
7	郊區/城市過渡/滿月時 (Suburban/Urban Transition)	18.00 – 18.50	整個天空呈現出淺灰白色；在各個方向上光污染的強光源都清晰可見
8	城市天空 (City Sky)	17.50 – 18.00	天空發出白色、灰色或橙色的光
9	市中心天空 (Inner-city Sky)	< 17.50 (且地平線極亮)	除了昴宿星團，肉眼再看不到任何梅西耶天體；只有月亮、行星和一些最明亮的星團才能給觀星者帶來一些樂趣。

資料來源：參考國際暗空協會 SQM 數據與光害地圖環境描述

- (三) 將月亮（有／無）與雲量比例（40~70%）等環境變因，檢視其 SQM 數值與星群辨識的影響。
- (四) 最後我們將校園各場域的 SQM 數據落點，與「佳樂水暗空場域」SQM 數據進行對照，作為「理想暗空」的參考基準。結合是否有月亮與雲量等環境變因的影響，提出校園照明改善的方向。

肆、研究結果

一、控制變因：觀測場域與量測方式（同一儀器、同一量測次數與取值規則）

觀測地點均選在校園內之安全觀測區，並依周邊照明條件區分為三類：（1）白光路燈下（2）黃光路燈下（3）校內陰暗處（安全處）。各場域每次連續量測 6 次 SQM 數據，紀錄數值後平均再紀錄。

二、操縱變因：周圍有手電筒光源（手電筒光源條件）

為比較「人為光源干擾」對夜空亮度的影響，本研究於相同場域條件下設定三種周圍照明狀態進行對照：（1）周圍沒有手電筒（2）周圍有紅光手電筒（3）周圍有白光手電筒。

操作規範與干擾模擬：為模擬真實戶外觀星活動時，人群隨意使用手電筒所產生的實際光害情形，測量時持手電筒者皆「圍繞儀器周圍 1 公尺以外」的距離，並以隨機方向（包含照射地面、周圍人員與天空）進行動態照射。實驗過程中控制光源「絕不直射」監測儀器，以模擬光線於空氣與環境中真實散射所造成的背景光害，而非儀器作弊產生的眩光誤差。

三、應變變因：觀測記錄指標（北極星可見性／代表星群可見星數）

除 SQM 數值外，並搭配肉眼觀測記錄可見星數與代表星群辨識情形，包括北極星是否可見，以及季節代表星群之亮星顆數（以仙后座 5 顆亮星、獵戶座 7 顆亮星作為辨識基準）。

四、環境變因：觀測條件說明（月亮、雲量）

為降低時間差造成的夜空變化，本研究由同一組成員依同一流程操作，並固定觀測時段進行記錄。同時記錄月亮（有／無）與雲量比例（40 - 70%）作為環境變因分組比較依據。

五、結果判讀：

表 5 觀測點說明

場域觀測點說明	觀測當下條件說明
情境 A：校內(安全處)	無月亮、無雲層（手電筒對照）
情境 B：校內(安全處)	有月亮、有雲層（雲量比例 $\geq 50\%$ ）+ 手電筒對照）
情境 C：佳樂水風景區(安全處)	有月亮、有雲層（雲量比例 $\geq 50\%$ ）+ 手電筒對照）

資料來源:研究者整理

(一) 情境 A：無月亮、無雲層，（場域（校內）+手電筒對照）

表 6 情境 A

場域 (SQM 數值)	照明條件	北極星 可觀測 (是/否)	仙后座亮星數 (0~5)	獵戶座亮星數 (0~7)
校內暗處(18.80)	無手電筒	是	5	7
校內暗處(17.25)	紅光手電筒	是	5	7
校內暗處(16.01)	白光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(15.59)	無手電筒	是	5	7
黃光路燈下(15.32)	紅光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(14.88)	白光手電筒	是	5	7
白光路燈下(9.26)	無手電筒	否	0	2
白光路燈下(9.15)	紅光手電筒	否	0	2
白光路燈下(8.92)	白光手電筒	否	0	2

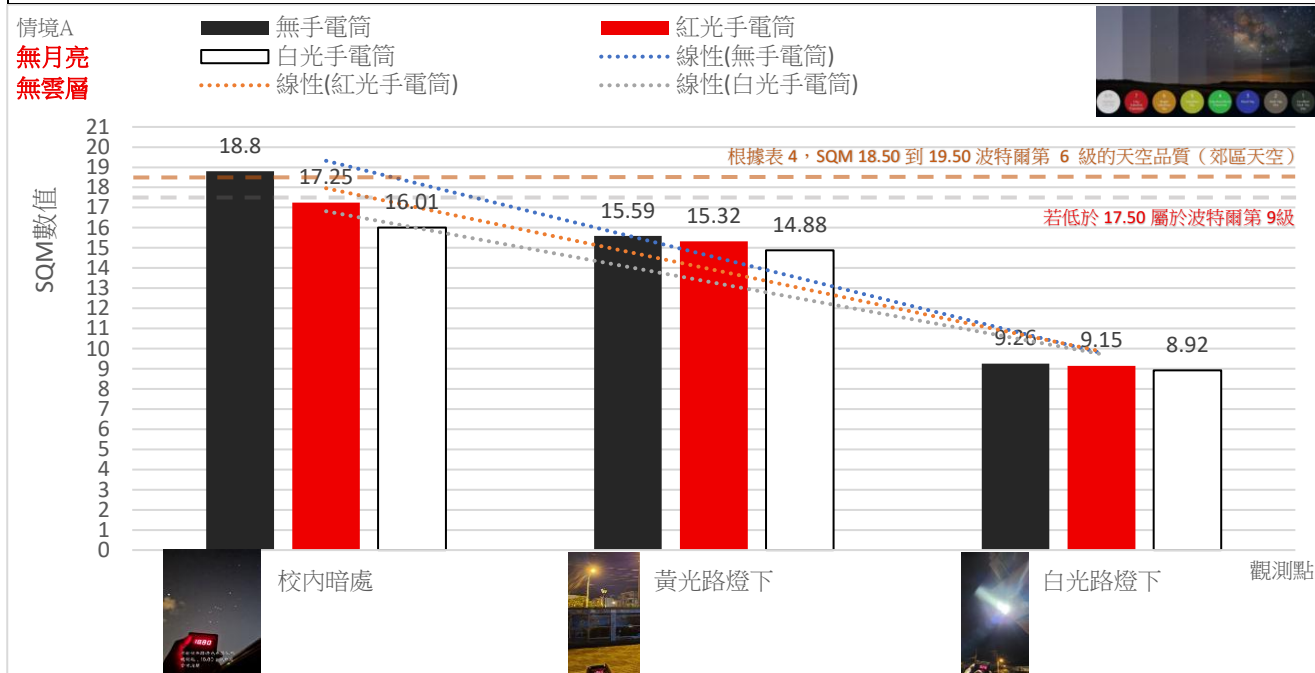


表 7 情境 A 肉眼觀測表格整理

觀測場域	北極星 (1 顆)	仙后座 (5 顆)	獵戶座 (7 顆)
校內暗處	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
黃光路燈下	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
白光路燈下	✗ (看不到)	☆☆☆☆☆	★★☆☆☆ ☆☆

資料來源:研究者整理

情境 A 數據分析：（證明只要控制好光源，校園具備優良的觀星潛力。）

根據「表 4 對照表」，可以將「表 6 情境 A」的測量結果進行以下分類：

1. 校內暗處

（1）無手電筒(SQM 18.80)：SQM 數據 18.50~19.50 之間，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 5~6 級」。這說明只要避開直射路燈，校園暗處具備看見仙后座與獵戶座亮星的能力。

（2）紅光手電筒：SQM 數值 17.25，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。（雖然儀器偵測變亮，但因為紅光不破壞暗適應，肉眼依然能看到 5 顆仙后座）。

（3）白光手電筒(SQM 16.01)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」，光污染極度嚴重。

2. 黃光路燈下

所有條件(SQM 數值 14.88~15.59)：遠低於 17.50，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。

但因為黃光散射較白光弱，肉眼仍勉強可辨識北極星與亮星。

3. 白光路燈下

所有條件(SQM 數值 8.92~9.26)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。

在白光路燈下連北極星都看不到，觀測仙后座亮星數量更是 0 顆星！導致仙后座完全不可見。

(二) 情境 B：有月亮、有雲層（雲量比例 $\geq 50\%$ ）（場域（校內）+手電筒對照）

表 8 情境 B

場域 (SQM 數值)	照明條件	北極星 可觀測 (是/否)	仙后座亮星數 (0-5)	獵戶座亮星數 (0-7)
校內暗處(17.60)	無手電筒	是	5	7
校內暗處(17.13)	紅光手電筒	是	5	7
校內暗處(16.62)	白光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(13.56)	無手電筒	是	5	7
黃光路燈下(13.13)	紅光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(12.88)	白光手電筒	是	5	7
白光路燈下(8.26)	無手電筒	否	0	0
白光路燈下(8.94)	紅光手電筒	否	0	0
白光路燈下(8.22)	白光手電筒	否	0	0

資料來源:研究者整理

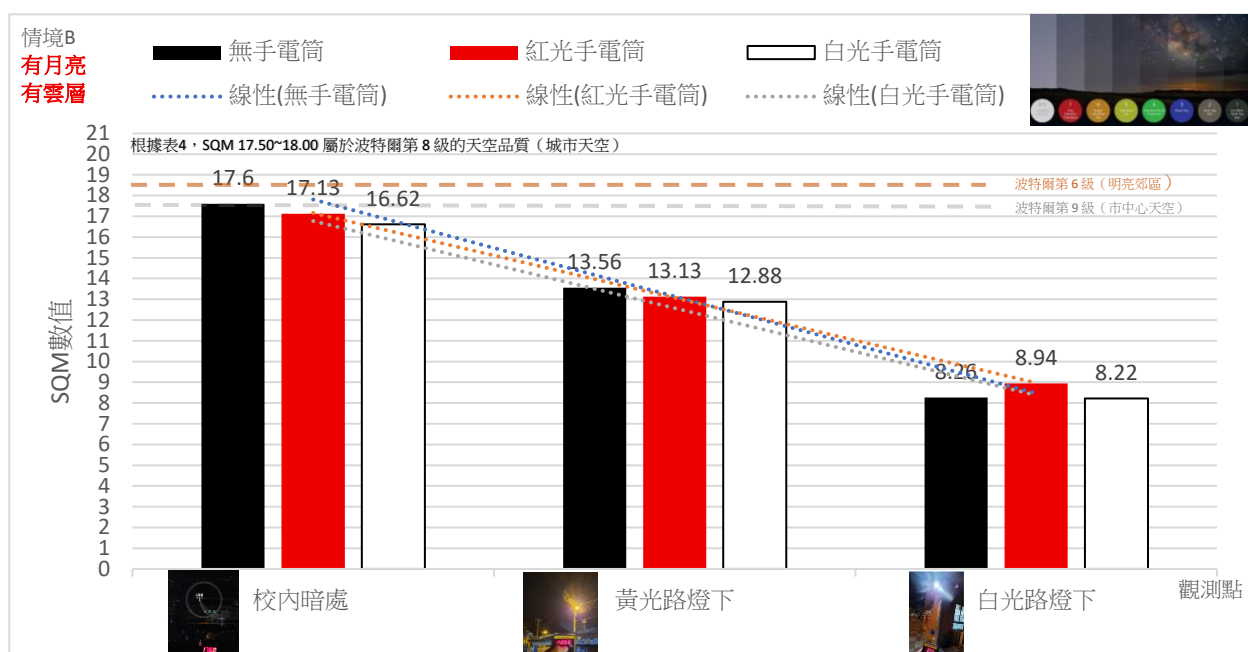


表 9 情境 B 肉眼觀測表格整理

觀測場域	北極星 (1 顆)	仙后座 (5 顆)	獵戶座 (7 顆)
校內暗處	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
黃光路燈下	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
白光路燈下	✗ (看不到)	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆ ☆☆

資料來源:研究者整理

情境 B 數據分析：

證明在有月光與厚雲層的惡劣天候下，「避免白光眩光」是有效看見星星的方法選擇之一。根據「表 4 對照表」，可以將「表 8 情境 B」的測量結果進行以下分類：

1. 校內暗處

- (1) 無手電筒(SQM 數值 17.60)：落在 SQM 數值 17.50~18.00 之間，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 8 級(城市天空)」。這說明即使受到月光與雲層反射「天空輝光」的雙重影響，校園暗處仍勉強維持在第 8 級，肉眼依然能看見仙后座與獵戶座的亮星。
- (2) 紅光手電筒(SQM 數值 17.13)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。(雖然儀器偵測變亮，但因紅光不破壞暗適應，肉眼依然能看到 5 顆仙后座)。
- (3) 白光手電筒(SQM 數值 16.62)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」，光污染與眩光干擾極度嚴重。

2. 黃光路燈下

所有條件(SQM 數值 8.22~8.94)：遠低於 SQM 數值 17.50，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。但因為黃光散射較白光弱，肉眼仍勉強可辨識北極星與亮星。

3. 白光路燈下

所有條件(SQM 數值 8.22~8.94)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級(市中心天空)」。在白光直射與雲層反射的干擾下，連北極星都看不到，觀測仙后座與獵戶座亮星數量更是 0 顆星！

(三) 情境 C：場域（佳樂水風景區）+ 手電筒對照
有月亮、有雲層（雲量比例 $\geq 50\%$ ）

表 10 情境 C

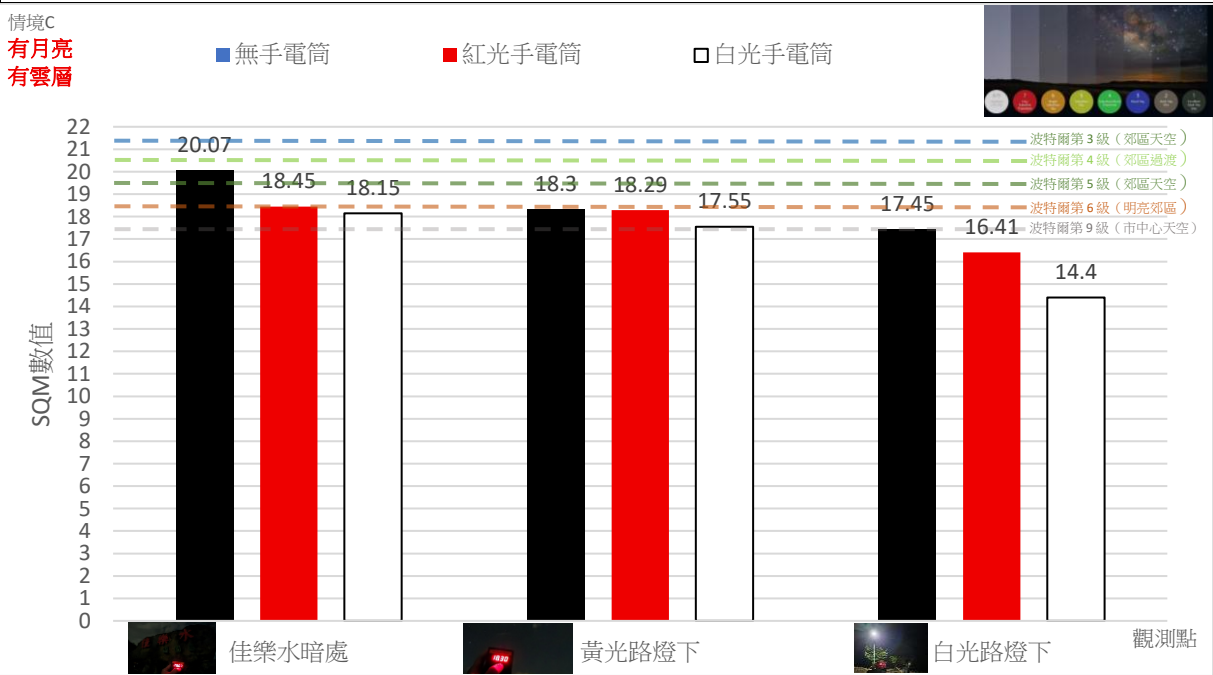
場域（佳樂水風景區）	無手電筒	紅光手電筒	白光手電筒
暗處	 20.07	 18.45	 18.15
黃光路燈	 18.30	 18.29	 17.55
白光路燈	 17.45	 16.41	 14.40

資料來源:研究者整理

情境 C：場域（佳樂水風景區）+ 手電筒對照，有月亮、有雲層（雲量比例≥50%）

表 11 情境 C

場域(SQM 數值)	照明條件	北極星 可觀測 (是/否)	仙后座亮星數 (0-5)	獵戶座亮星數 (0-7)
佳樂水暗處(20.07)	無手電筒	是	5	7
佳樂水暗處(18.45)	紅光手電筒	是	5	7
佳樂水暗處(18.15)	白光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(18.30)	無手電筒	是	5	7
黃光路燈下(18.29)	紅光手電筒	是	5	7
黃光路燈下(17.55)	白光手電筒	是	5	7
白光路燈下(17.45)	無手電筒	否	2	5
白光路燈下(16.41)	紅光手電筒	否	2	5
白光路燈下(14.40)	白光手電筒	否	0	4



觀測場域	北極星 (1 顆)	仙后座 (5 顆)	獵戶座 (7 顆)
佳樂水暗處 (所有條件)	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
黃光路燈下 (所有條件)	✓ (看得到)	★★★★★	★★★★★ ★★
白光路燈下 (無 / 紅光手電筒)	✗ (看不到)	★★☆☆☆	★★★★★ ☆☆
白光路燈下 (白光手電筒)	✗ (看不到)	☆☆☆☆☆	★★★★★ ☆☆

資料來源:研究者整理

情境 C 數據分析：

證明即使在優良的自然暗空場域，不當的白光照明仍會摧毀觀星環境。根據「表 4 對照表」，可以將「表 11 情境 C」的測量結果進行以下分類：

1. 暗處（佳樂水無光害區）

- (1) 無手電筒(SQM 數值 20.07)：突破 SQM 數值 19.50，觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 5 級（郊區暗空）」。這證明即使在「有月光與雲層干擾下」，佳樂水仍保有「極佳的自然暗空條件」，肉眼能清晰看見仙后座 (5 顆) 與獵戶座 (7 顆)
- (2) 紅光手電筒(SQM 數值 18.45)：受到手電筒直射干擾，觀測點的局部光害程度相當於波特爾第 7 級。但因自然背景夠暗，星星辨識度仍未受嚴重影響。
- (3) 白光手電筒(SQM 數值 18.15)：受到手電筒直射干擾，觀測點的局部光害程度相當於波特爾第 7 級。但因天空背景夠暗，星星辨識度仍未受嚴重影響（北極星可見，仙后座 5 顆與獵戶座 7 顆皆清晰）。

2. 黃光路燈下

所有條件(SQM 數值 17.55 ~ 18.30)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 7-8 級」。雖然路燈造成光害，但肉眼觀測依然能維持極佳的辨識率（北極星可見，仙后座 5 顆與獵戶座 7 顆皆清晰）。

3. 白光路燈下

- (1) 人為光源干擾「無手電筒 (SQM 數值 17.45)」 / 「紅光手電筒 (SQM 數值 16.41)」：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級（市中心天空）」。在此環境下，北極星看不見，仙后座僅剩 2 顆，獵戶座降至 5 顆。
- (2) 白光手電筒 (SQM 數值 14.40)：觀測點的局部光害程度相當於「波特爾第 9 級」。在「白光路燈 + 白光手電筒」的雙重眩光與散射破壞下，仙后座亮星數歸零 (0 顆)，獵戶座僅剩 4 顆。即使是佳樂水風景區，白光照明都是星空保育的最大致命傷！

伍、 討論

本研究透過不同光環境與人為干擾條件下之 SQM 量測與星群辨識結果，進行整體比較與分析，並結合區域光害分布圖與地理條件進行討論。

一、路燈光源顏色與亮度對夜空品質的影響，其量測結果顯示：

(一) 白光路燈下之 SQM 數值最低（天空最亮）

(二) 黃光路燈次之

(三) 校內陰暗處最高（天空最暗）

討論：我們無法得知校園路燈的真實瓦數。但我們透過 SQM 數據觀察發現，白光容易形成天空光暈，導致背景亮度升高，使暗星消失。數據說明，「光源顏色」會影響夜空品質。

二、人為手電筒干擾對觀測結果的影響，在相同場域條件下加入不同手電筒光源比較：

(一) 無手電筒 → SQM 數值最高

(二) 紅光手電筒 → 影響較小

(三) 白光手電筒 → 明顯降低 SQM 數值。

討論：尤其在白光手電筒存在時，北極星辨識明顯困難。原因在於白光會破壞眼睛暗適應，使瞳孔收縮，降低對微弱星光的敏感度。這證實光害不只是「遠方路燈」，觀測點附近的小型白光源也會直接影響星空可見度。

三、本研究數據比對全球光害地圖數值：

本研究數據同時比對全球光害地圖數值（Light Pollution Map）數據，顯示校園本區落在波特爾等級 6 左右。雖屬「明亮郊區」，但觀測時仍可見亮星與主要星群，原因與恆春半島地理特性密切相關，顯示恆春半島地理條件的影響：

(一) 三面環海且周圍丘陵地形林立

(二) 三面環海，恆春半島附近無大型都市光源

(三) 公共建設（高樓照明設備及路燈數量）低於人口密集的都會區

討論：全球光害地圖顯示恆春半島的有波特爾第 6 級的實力，也是屏東縣「觀星據點」多集中於此的原因。但我們實測後發現「波特爾第 6 級的實力」只有在「刻意躲開」路燈到校內暗處（SQM 18.80）才達得到。只要一走到「校園

白光路燈下」，刺眼的路燈會瞬間讓觀測點的局部光害變成波特爾第 9 級（SQM 8.92），連仙后座都無法被肉眼觀測。本研究數據證明了光害地圖只能看出「大環境」有多好，但真正搶走眼前星星的，其實是我們身邊那些「未經妥善設計」的「白光路燈」。

四、月亮與雲量的環境影響：

月光存在時，SQM 數值明顯下降。雲量增加時，若附近有光源，雲層會反射地面光，使天空變亮；若無光源，則可能略為遮蔽星光。因此夜空品質同時受到以下多重因素交互影響：

- (一) 人為光源
- (二) 月相與月出時間（本研究只記錄是否有月亮，無紀錄月相影響）
- (三) 雲層反射效應。

五、「SQM 數值」與「波特爾等級」對應討論：

本研究依據各場域 SQM 量測結果，對應至波特爾暗空分類法（Bortle Scale 1 - 9 級），分析不同光環境下夜空品質落點。

(一) 校園與佳樂水場域的光源干擾比較之分析：

表 12 校園與佳樂水場域的光源干擾比較之分析

場域	觀測條件	SQM 數據 (mag/arcsec ²)	對應 Bortle 等級	判讀
校園	白光路燈下	9.2	9 級	嚴重光害，僅見極亮星
校園	黃光路燈下	15.5	9 級	高光害，星群辨識困難
校園	陰暗處	18.8	6 級	明亮郊區等級，卻可見部分亮星
佳樂水	白光路燈下	17.4	9 級	人為光源明顯影響
佳樂水	黃光路燈下	18.3	7 級	郊區與城市過渡等級，可見部分亮星
佳樂水	陰暗處	20.0	5 級	郊區暗空，具良好觀星潛力

資料來源:研究者整理

(二) 變因對暗空環境之影響分析：

表 13 變因對暗空環境之影響分析

比較面向	校園暗處	佳樂水暗處	差距判讀
SQM 數據	SQM 數據平均後約 17~18	SQM 數據平均後約 19~21	佳樂水暗空環境 明顯更暗更好
Bortle 等級	6 級	5 級	佳樂水暗空環境 明顯更暗更好
主要影響因素	校內照明光 很多有外溢現象	周邊光源干擾少	校內夜空背景較亮

資料來源:研究者整理

討論：我們在比對環境變因（表 5）時發現了一個極大的反差：佳樂水觀測時（情境 C）遭遇有月光與厚雲層的惡劣天候，但其暗處 SQM 數據仍有 20.07；而校園（情境 A）是在「無雲無月」的完美條件下測量，最暗 SQM 數據卻僅有 18.80！數據顯示佳樂水在惡劣天候下的表現，竟然完勝完美天氣下的校園！這反差，更凸顯了佳樂水為自然暗空場域的優勢條件，也證實了校園人造外溢光的嚴重性。此差距主要來自「人為光源」的「配置」與「管理方式」，比較結果顯示：

- （1）白光條件可使夜空品質下降。
- （2）光害屬於「可管理、可改善」的環境因素，而非不可改變的自然條件。
- （3）校園場域受固定照明設施、白光外溢影響，使夜空背景亮度提升。
- （4）光源種類與照明設計對夜空品質的影響，往往大於地理條件本身。
- （5）佳樂水因丘陵地形林立、建築密度低、人工光源干擾較少，夜空品質較為穩定。

因此，夜空品質的關鍵不在天空本身，而在人類如何使用光。若能透過「合理照明設計」與「外溢光控制」，校園夜空品質理論上可接近波特爾 Bortle5 級之等級。

陸、 結論

本研究透過不同光環境與人為光源條件比較，結合 SQM (mag/arcsec^2) 量測與星群辨識結果，確認夜空品質的關鍵，在於我們「如何使用光」。

一、核心研究結論：

恆春半島三面環海，遠離大型都會區，加上山海地形阻隔，使夜空背景亮度相對穩定，整體約落於波特爾等級 5 左右。

然而，校園內局部白光照明與近距離光源干擾，會顯著降低星星可見度。若白光減少、眩光控制、外溢光改善，SQM 數值能提升，星群辨識度提高，證實光害屬於可被管理的人為因素。

二、光害治理與相關議題之結合：

生態保護、能源管理、教育實踐、地方經濟、觀星教育、環境永續議題等。

恆春半島多數區域位於國家公園範圍內，屬於高度生物多樣性區域。光害的影響涵蓋：

表 14 光害的影響面向

面向	影響內容	對應 SDGs
陸蟹遷徙	白光「可能影響」陸蟹方向判斷，增加路殺風險	SDG 15 陸域生態
夜行性鳥類	強光「可能影響」鳥類夜間飛行與棲息行為	SDG 15 陸域生態
農業與授粉昆蟲	夜間的照明「可能影響」昆蟲活動與授粉行為	SDG 2 消除飢餓、 SDG 12 責任消費與生產
能源消耗	過度照明會增加「電力使用」與「碳排放」	SDG 7 可負擔的潔淨能源、 SDG 13 氣候行動
科學探究與環境教育	培養學生從「觀察」→「提問」→「蒐集資料」→「提出假設」→「實驗設計」→「實驗結果」→「討論」→「結論」等步驟。讓學生參與實測星空紀錄、累積當地星空相關的科學數據	SDG 4 優質教育
永續社區	改善光害提升生活品質	SDG 11 永續城市與社區
星空導覽與就業	生態旅遊與夜間觀星導覽經濟之發展	SDG 8 良好工作與經濟成長

資料來源:研究者整理

三、批判性思考以及未來期許：

表 15 批判性思考以及未來期許

	批判性反思（目前限制）	未來改進方向及期許
1.	觀測時間集中於 19:00~21:00，尚未比較不同時段差異	增加清晨、深夜與不同季節觀測，建立長期追蹤資料。
2.	雲量以肉眼分類，可能存在主觀誤差	結合氣象資料或使用專業儀器進行雲量與大氣透明度量測。
3.	未納入「實際電力」消耗數據	統計照明耗電量，分析光害改善與節能效益之關聯。
4.	未整合生物行為量測數據	結合陸蟹遷徙、夜行性鳥類與昆蟲活動觀察。
5.	科學數據不夠，需要建立「年度資料庫」，進行「跨年度」趨勢比較	研究時間為「跨年度交叉比對觀測」。
6.	樣本場域集中於校園範圍	走出校園、擴展至社區道路、海岸線與其他場域進行「暗空數據」之比較。
7.	目前僅記錄月亮有無與雲量變化，尚未完整整理不同月相變化與 SQM 數值之間的相互關係。	未來可持續記錄新月、上弦月、滿月與下弦等不同月相，並結合月出月沒時間、月亮高度角與 SQM 數據進行長期比較，建立月相變化對夜空亮度影響的資料基礎。

資料來源:研究者整理

四、本研究下個階段設計之一：

在前往佳樂水風景區途中，我們觀察到沿途農田（火龍果園）使用大量夜間照明設備。由於此類照明範圍廣、亮度高，可能對夜空背景亮度造成影響，因此進行現場 SQM 測量比較。



圖 16 火龍果園(光源無遮擋)



圖 17 火龍果園(光源些許遮擋)



圖 18 火龍果園(背對光源)

不同觀測方式所得 SQM 數據測量結果如下：

表 16 探討眩光影響

觀測位置	SQM 數值 (mag/arcsec ²)	夜空亮度判讀
光源直射處	13.73	受到『眩光』干擾
光源直射處（有部分遮蔽物）	16.93	光害減弱，但仍受『眩光』影響
背對光源直射處	17.63	夜空亮度明顯改善

資料來源:研究者整理

討論：

這證明了『眩光』會直接癱瘓儀器和人眼！這也正是為什麼推論『加裝燈罩遮蔽直射光』比「關燈」更重要，因為只要「背對」或「擋住」直射光，眼睛就有機會看見燦爛的星空。這也顯示，即使在存在大量照明的區域，透過「遮光」或「改變光源照射角度」，仍有機會降低光害影響。

在恆春半島、農業與自然環境交錯的地區，農業夜間照明可能對周邊觀星環境產生影響，特別是農業照明設施可能成為影響夜空背景亮度的重要因素。因此，「合理的照明設計」與「遮光措施」，可能成為降低光害的重要管理方式。

五、天文數據科學與地方記憶的連結回應：

指導老師回憶起自 2013 年起，屏東縣政府曾經在在貓鼻頭公園舉辦長期的「南十字星吶」系列活動，標語依舊讓人印象深刻：

如果天夠暗，星星就會閃亮

如果心夠靜，星星就會吶喊

慢下來，打開自己的眼睛

靜下來，打開自己的心靈

本研究的數據，正是對這段標語的科學回應：

當夜空回到應有的黑暗，星星自然會發光；當光被妥善管理，天空會變暗，生態或許會更好，能源會更節省。因為對「光環境」的研究，我們重新學會尊重自然的節奏，也重新看見屬於恆春半島這片土地上的宇宙。

柒、 參考文獻資料

1. 屏東「十大觀星場域」出爐，2 萬張星空美照縮時一次看。
<https://www.youtube.com/watch?v=EmV6MJVZ9yY&t=48s> (Youtube 影音資料)。
2. 「來恆春擁抱宇宙」觀星活動 為恆春建城 150 週年暖身。
<https://www.youtube.com/watch?v=jnXlzhIrbi0> (Youtube 影音資料)。
3. 林義盛（2015）。都市光害構成因子與夜空亮度之研究-以原臺中市為例（碩士論文）。逢甲大學建築學系，臺中市。
<https://ndltd.ncl.edu.tw/handle/rmscus>
4. SDGs 聯合國永續發展 17 項目標。(Youtube 影音資料
https://www.youtube.com/playlist?list=PLJ_IH0TzILVWx7OE0NYgGICWzy5m_wWvA)
5. 科展秘笈-科學 X 博士（2025 年 3 月 29 日）。全國科展第一名...做成符合聯合國 SDGs 永續發展目標的作品 (Youtube 影音資料)。
<https://www.youtube.com/watch?v=ypXpLwxui0&list=PLlrWSgToJ7Iks8R7U0KasX7rXWluRZh3l&index=19>
6. 交通部中央氣象署-鄉鎮預報 - 屏東縣恆春鎮。
<https://www.cwa.gov.tw/V8/C/W/Town/Town.html?TID=1001304>
7. 維基百科編者（2023）。波特爾暗空分類法。
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%A2%E7%89%B9%E5%B0%94%E6%9A%97%E7%A9%BA%E5%88%86%E7%B1%BB%E6%B3%95>
8. 什麼是光害？會產生哪些影響？如何應對光害？保護世界各地的黑夜星空保護區。國際暗空協會 (DarkSky International)（2024）。擷取自 DarkSky 官方網站。
<https://darksky.org/>
9. 光害，害在哪？(2015/11/16)—節電屏東篇 <https://pansci.asia/archives/88480>
10. 光害地圖 波特爾等級與暗空觀測(2026) Light Pollution Map | Bortle Scale & Dark Sky (2026) 位置詳情 屏東縣,恆春鎮。
<https://lightpollutionmap.app/zh-tw/?lat=21.991537&lng=120.769958&zoom=8>
11. 月相查詢：今天是什麼月相？<https://starwalk.space/zh-Hant/moon-calendar>
12. 嚮色園主辦可觀自然教育中心暨天文館。當使用地圖時，有沒有發現地圖上的 3 個北，分別為正北、網格北和磁北。https://www.hokoon.edu.hk/weeklysp/1406_5.html#gsc.tab=0
13. 新光害地圖 DarkSiteFinder 推薦！想觀星一定要學會看光害地圖！雷神的星天地。
<https://www.youtube.com/watch?v=UvuYrKXDAIc&list=PLlrWSgToJ7Iks8R7U0KasX7rXWluRZh3l&index=7> (Youtube 影音資料)。
14. 雷神的星天地（出版年份 2024 年 12 月 18 日）。夜空中最亮的星！全天亮星排名，第一名不是北極星！（Youtube 影音資料）。
<https://www.youtube.com/watch?v=ocl3P45XjRk> (Youtube 影音資料)。