

Chinese Journal of Environmental Education

VOLUME 21

DECEMBER 2023

CONTENTS

Editor's Note-----	Chien-Chih Chen	I
Development of Biocomplexity and Inquiry-Based Teaching----- -----	Yang Yu-Wen, Yang Jen-Lee	1
A Curriculum Study on Climate Smart Food and Agriculture Education of the Sixth-Graders in Elementary School-----	Yu-hwa Tsa, Jui-lin Chen, Chien-Chih Chen	17
A preliminary study on the connotation of green chemistry literacy that the general public should have-----	Yu-Jie Chang, Yu-Chun Wang, Yu-Kai Lin, Hung-Te Hsu	39
Biological Diversity Survey of Millet Fields in Taitung, Taiwan-- -----	Cheng-Te Huang, Ting-Yang Chien	63
The spatiotemporal distribution of butterfly Fauna on Guishan Island-----	Yueh-Tzu Yang, Chien-Chih Che	97



環境教育學刊 第二十一期

Chinese Journal of Environmental Education 2023.12

臺北市立大學 地球環境暨生物資源學系發行

環境教育學刊

Chinese Journal of Environmental Education

第二十一期 2023.12
臺北市立大學
地球環境暨生物資源學系發行
(含環境教育與資源碩士班)



臺北市信義新城頂樓的太陽能光電板裝置

主編的話

全球環境變遷對人類生存環境造成極大威脅，因此聯合國訂定2030年要達到永續發展目標：包含 17 項目標(Goals)及 169 項細項目標(Targets)。政府間氣候變化專門委員會(IPCC)也定期召開締約方大會，共議減排淨零策略。甫在杜拜世博城舉辦的COP28，各締約方也承諾增加三倍的再生能源部署，削減煤炭使用，以及減少強效溫室氣體甲烷的排放。生物多樣性公約(CBD)COP15也通過「昆明—蒙特婁全球生物多樣性框架(Kumming-Montréal global biodiversity framework)」替代「愛知生物多樣性目標」(Aichi Biodiversity Targets)，以落實2020年後十年的全球生物多樣性目標，共計涵蓋23項的2030年短期行動目標，以及四項瞄準2050年的長期目標。這三個國際間最重要的環境相關組織，都戮力解決人類面臨的環境問題，為人類永續發展尋求解方。

本期環教學刊共收錄五篇與環境教育相關研究報告，其中第一篇「生物複雜性發展與探究式教學」是生物多樣性保育相關教學的綜合論述，第二篇「國小六年級氣候智慧食農教育課程研究」是配合氣候智慧農業所研發之教學型研究報告。第三篇「一般民眾應具備之綠色化學素養內涵初探」，是有關環境素養的研究論述。第四篇「臺東地區的小米田地生物多樣性調查」及第五篇「龜山島蝶相之時空分布」都是有關生物多樣性保育的研究報告。這五編都是針對永續發展進行的相關研究。

臺北市立教育大學地球環境暨生物資源學系
(含環境教育與資源碩士班) 謹識

中華民國112年12月

目 錄

主編的話	陳建志	I
生物複雜性發展與探究式教學～以歐美經驗為例	楊宇雯、楊仁理	1
國小六年級氣候智慧食農教育課程研究	蔡侑樺、陳瑞玲、陳建志	17
一般民眾應具備之綠色化學素養內涵初探	張育傑、王玉純、林于凱、徐宏德	39
臺東地區的小米田地生物多樣性調查	黃正德、簡廷仰	63
龜山島蝶相之時空分布	楊月姿、陳建志	97

附錄

臺北市立大學_環境教育學刊_徵稿辦法

臺北市立大學_環境教育學刊_文稿書寫注意事項

臺北市立大學_環境教育學刊_投稿者資料表

臺北市立大學_環境教育學刊_投稿者聲明及著作授權書

封面故事

方於杜拜舉行的聯合國氣候變遷綱要公約第28屆締約方大會（COP28），各締約方達成共識承諾於2030年前達到三倍再生能源裝置容量。臺灣在2050淨零目標之能源轉型路徑之打造零碳能源系統中定了最大化再生能源策略，所以建置技術較成熟的太陽光電及風力發電成為臺灣未來能源供應的首要路徑。台北市大安區信義新城社區的屋頂裝上太陽能光電板，不僅省電頂樓防漏，每年種電收入還能回饋住戶。

生物複雜性發展與探究式教學～以歐美經驗為例

楊宇雯¹、楊仁理²

摘要

本文旨在淺析「生物複雜性」的發展進程與教育面向。當吾人面對二十世紀接踵而至的地球環境議題，回首時序新舊交迭，三十年來國際間孕育自然環境資源保育的「生物多樣性」思潮，漸次演遞「生物複雜性」概念的芻議與研究，刻正風起雲湧地推向全球各處。學界無不期待透過嶄新的思維與向度，脫離傳統知識結構的桎梏，利用人工智慧的運算技術，試圖釐清社會、經濟與自然環境之間錯綜複雜的關係。無庸置疑，欲保有、享用地球自然資源於生生不息並臻至永續發展的理想，非由研究與教育著手不能竟其功。有關探究對於環境教學與K-12教育階層學習的價值，乃在於展現學生正向的學習成果、態度、批判性思考、過程技能、問題解決能力等。所以「如何針對當前國際的環境思潮、配合本地的自然環境特色、規劃科際整合的K-12探究教學方向？」無疑是吾人維護生物複雜性與永續發展指標的挑戰。

關鍵詞：生物複雜性、生物多樣性、永續發展、探究式教學、人工智慧

1國立臺北科技大學 機電學院 研究生

2國立臺灣藝術大學 師培中心 兼任副教授

壹、緒論

上世紀末國際間興起了維護「生物多樣性」的自然保育思潮，千禧年後對「生物複雜度」的探究，及至晚近永續發展指標15（SDGs 15）確保生物複雜的精密度以減低生物多樣性下降的速度（Mazor et. al., 2018），正風起雲湧地推向世界各地。期望透過嶄新的思考向度、突破傳統的知識結構及運用精密的分析技術，去面對並釐清接踵而至的社會、經濟與自然環境之間錯綜複雜的問題。所以了解生命系統與環境之間的相互作用、系統複雜性的動態特徵及其演化機制便更加重要（McMahon et al., 2001; Uddén et al., 2020）。

近年來教育行政部門致力擬定可行的「生物複雜性」教育策略，試圖有效拉近政府補助科學研究與社會大眾之間的距離，藉以提升民眾對科學的認知。科學研究人員往往埋首於設計新的調查方法與工具去研究問題，至於如何將研究成果與教育宣廣作結合卻束手無策，意即無法適切地利用現代教育學方法將科學研究新知公告周知，進而達到教育大眾的目的。

貳、從「生物多樣性」到「生物複雜性」

巴西里約熱內盧地球高峰會議以來，希望藉由各國在會間的共識，保護地球上饒富價值的自然資源及其間所蘊含數量驚人、高度歧異的動、植物種。但是「生物多樣性的真義為何？」、「我們擁有哪些的生物多樣性優勢？」、「失去生物多樣性有何後果？」、「如何維護生物多樣性？」及「生物多樣性的教育工作如何推展？」等疑問仍懸而未決。美國史丹佛大學生物保育中心主任 Dr. Daily 指出：「自然保育策略不僅侷限於某些特定地區與國家，抑或偏僻的山林、田野、溪流及大海，若真如此，保育的範圍就顯得太狹隘，畢竟星羅棋佈的自然保育區與生物多樣性熱點（Biodiversity hotspot）無法肩負起維護整個地球生物多樣性的重責大任。吾人為了能持續接受大自然的恩寵，永續利用許多生物性與物理性的資源。了解生物多樣性轉變的驅力，調和農業地帶與生物多樣性保育區塊，估算生態系服務的產能與價值，以及結合保育與人類發展的嶄新政策與金融機制，將成為未來評斷多樣性保育成功與否的關鍵（Daily

et al., 2003; Pereira & Daily, 2006)。

全球暖化、氣候異常、持續性化學污染等諸多環境議題的浮現，吾人所見所聞盡是整個地球環境生態罹病以及「生物多樣性」快速降低的事實。自然界所帶來的挑戰尚待研究人員作全面性、系統化的檢視。生物間互動網絡之綿密，常會令人感到驚訝，端賴「生物複雜性」的分析與探究才能解釋 (Colwell, 2001a; Andelman, Bowles et al., 2004; Pavlov & Bukvareva, 2007; Peters, 2008)。但也因為自然界的因果常呈現非線性關係、難以精準的預測，生物間存在的複雜程度不易由簡單的實驗釐清 (Adami, 2002; Cottingham, 2002; Pickett et al., 2005)。

縱使如此，研究的契機仍不斷地崛起，故「生物複雜性」透過許多學門研究人員爭取時間、空間的努力來了解，以下是研究過程所衍生的問題：

(一) 生物如何面對緊迫 (stress)，如何去適應？

(二) 在變動的環境中，生物具有適應與預知的能力？

(三) 能否預測氣候對社會、經濟層面所產生的效應？

(四) 物種、遺傳及文化上的多樣化如

何影響生態系的永續性？

(五) 氣候變化如何透過複雜的食物鏈關係影響物種的分佈範圍？

傳統上，研究人員多僅針對一、二個向度 (或變項) 的操弄來探討生命自然現象，以「生物多樣性」為研究主題的學者，著眼於微小的基因層次，例如以細菌族群結構的單純模式嘗試去分析複雜的適應現象 (Brainard, 1999; Douglas, 2010; Lynch & Abegg, 2010)。「生物複雜性」則著重於發展橫跨時間、空間及單純既定限界 (如微棲地 niche) 的嶄新研究模式，透過人工智慧將過去累積的自然資源調查資料，賦予有意義的連結，探究自然生態存在的意義與價值，提供生態資源永續發展的契機與方向。如此，方能對支付可觀研究經費的普羅大眾 (科學研究經費往往是由國家的稅收支應) 有所交代，這便是當今自然資源保育思潮所極力強調—生態社會服務的普世價值 (Callicott et al., 2007; Mahees, 2022)。

參、大學校園「生物複雜性」研究教學

「生物複雜性」開拓了人類由分子

層次到整個地球的研究面向，並賦予環境議題科際整合的新契機。各領域的研究人員總是習慣簡化研究的方法，並專注於片段的、獨立的研究主題上，在群組中操縱單一變項，好比在寬廣的田地上撒下一顆種子，即想得知整個農場的良好。「生物複雜性」的操作期待由知識平台上獲得最多科學新知與技術。基因科學、資訊科技及奈米科技的發展得以分析包含生物、生態、物理及地球科學等錯綜複雜的交互關聯性，帶領研究人員進入地球環境科學研究領域與預測未來動向的新紀元。也因著複雜性的研究使吾人洞悉並跨越科際的尺度與藩籬（Dalton, 1999; Singkran & Meixler, 2008; Carpenter et al., 2009; Barad, 2022）。

康乃爾大學、西拉鳩斯大學及紐約市立大學自2000年開始合作進行「安大略湖生物複雜性研究」（Lake Ontario Biocomplexity Study），以該湖區作為研究的基地，希望透過諸多學門的科際整合，分析有關人類與自然環境的交互作用；利用不同的研究尺規，透過垂直與水平不同的面向，解決湖區廣大高灘地內所存在關係龐雜的生物-環境問題（Arend & Bain, 2008）。

- 一、生態與演化生物學：森林與溼地生態、生態資料解析、古生物。
- 二、海洋學：魚類、底棲無脊椎動物、水中大型植物、浮游生物族群動態、地球（海洋）化學、海洋氣象、海洋物理。
- 三、土木與環境工程學：水力工模式、水文分析、水質化學、水質分析。
- 四、地理學：都市與區域規劃、土地利用。
- 五、其他：系統工程、經濟學、數學及電子計算機科學。

美國生物科學會（American Institute of Biological Sciences, AIBS）有關「生物複雜性」的研究規劃中，即由跨越傳統的研究限界，企圖去尋求生態系中「生物多樣性」管理的新觀念，並強調藉由研究人員、教師、學生、政策擬定者及其他相關人員相互交流才能達成目的。欲檢視族群與生態系的結構、階層及能量流動的現象，需要結合自然、社會及計算機科學以發展新的方法與非線性關係的模式，同時透過與各科際學門的學術研討會、座談會及城市論壇等交流方式凝聚共識，並在教育過程中鼓勵各學習階層的學生從事知識的整合（Covich, 2000）。從「生物多樣性」到

「生物複雜性」的時序與進程，強調實際整合教育的迫切性。整合各領域的觀點，使之形塑為層面更廣、更具體的課程，以便為學生規劃出嶄新、專業的探究學習內容。

密西根大學全球變遷學程（Global Change Program）的實施經驗，或可提供全國或區域綜合型大學規劃相關課程的參考。該校提供大學部學生有關自然科學與社會科學兼備的環境學程，這個跨領域的群組課程包含物質科學、歷史人文及永續專題研究等三個面向，整體課程規劃實施與成效分析的經費需求來自於國家科學基金會與大學所屬的教育學院。學習期間學生除了物質科學外（包含物理、化學、生物），重點放在全球變遷對人類的衝擊層面，最後選定一個區域或國家作為研究對象，分析不同區域或國家的人口變項、拓殖（殖民）歷史、氣候變遷政策、公共衛生及自然資源等 (Avila, 2003; Kroll et al., 2019)。密西根大學全球變遷學程主任Dr. van der Pluijm指出：「我們認為應該讓學生浸淫在以科學為基礎、量化為背景的學習課程中，使其了解人類與地球環境系統之間涉及多重複雜性、議題性及整體性的關係。」期望大學部一、二年級

學生藉由此學程建立厚實的科學基礎、了解變遷的尺度與規模、利用跨領域的思維與方法釐清生物與環境之間錯綜複雜的關係。Dr. Killeen並補充道：「許多學程的學生會是未來的律師、政治家或其他眾多領域的菁英，他們所做的決定勢必影響我們未來的生活。所以，不僅要導引學生學習物質科學、歷史人文課程的內容，更要使其具有審視、思考相關環境議題的能力，以培育出學養兼具的地球公民與理性的決策者 (van der Pluijm, 2006)。」

國內為落實永續環境理念，致力推動綠色大學的校園實踐。各式各樣與環境氣候變遷相呼應的選修學程紛紛出籠：氣候變遷學程、地球系統科學學程、永續資源學程、永續環境發展學程、永續環境與科技學程、永續建築與生態景觀學程、永續環境營造學程、永續環境設計學程、環境教育學程、綠色科技學程、綠色能源科技學程、材料與綠色能源學程、潔淨能源與再生資源綠色製程學程、生質能源產業學程、綠環境設計學位學程、環境生物技術學程、水環境保育學程等不一而足，依學校的規模、屬性與學生的質性來設計，著眼於功能性的規劃。

肆、K-12「生物複雜性」探究教學舉隅

探究式環境教學的核心：探究生物-生物、生物-環境之間錯綜複雜的關係（包含面臨的問題與疑問）。透過調查場域的選定（包含探究的活動與設計）；實地調查與生態資料蒐集；量化統計與質性的分析；論述統整並形成結論。在溝通過程中，增強學習者的環境實作能力以及對自然生態的了解。研究顯示138位學生在概念學習與科學知識的習得，與以探究式為主的學習活動呈現正相關 (Capps et al., 2012)。Wilson et al. (2010) 進行一項有關探究式與傳統式課堂教學的比較研究，也顯示以探究式為假設前提的教學，能引導學習者知識、推理及論述能力的正向遷移。

以美國國家科學基金會 (National Science Foundation, NSF) 為例，資助24個原生生態區位從事長期調查計畫，中亞利桑那-鳳凰城長期生態研究 (Central Arizona-Phoenix Long-Term Ecological Research, CAP LTER) 的部分研究計畫援請亞利桑那州立大學的生物學、物理及社會學家，配合當地K-12教育人員與學生組成工作團隊。期待透過

該研究計畫達到 (1) 研擬、推動K-12校園生態調查方案，由K-12學生與教師橫跨首府鳳凰城蒐集有關昆蟲、鳥類及植物的基礎資料，輸入資料庫中與各校分享，並發展適當的假說與實驗去解釋他們的發現；(2) 由大學層級的研究人員導引K-12學生與教師增進科學研究的能力；(3) 提升K-12教師有關科學探索與相關課程活動設計能力；(4) 提供K-12學生與教師接觸、運用CAP LTER調查資料系統，鼓勵計畫研究人員與K-12教育社群共同從事調查工作。參與是項研究計畫的K-12教師表示，學生藉由與研究人員的互動，學習如何從事生態調查，獲得實作的經驗，並能夠認同當地的生態風貌 (Avila, 2003; Banks et al., 2005)。

另一項富有挑戰性的「生物複雜性」探究教學工作坊—教師極地經驗之旅 (Teachers Experiencing Antarctica and the Arctic, TEA)。K-12教師參與北冰洋碳循環研究船團隊，透過協助研擬並執行研究計畫所獲得的經驗，幫助K-12教師了解科學的過程、科學的意涵與恆變、冗長的研究與反覆試驗的特性。K-12教師在旅程中負責將航行日誌、照片放在網站上與學生分享。結束

極地之旅，K-12教師發展主題活動並舉辦工作坊，把寶貴的極地遊弋、研究經驗與其他教師分享，以便將珍貴的素材運用於實際課堂教學中（Avila, 2003; Shipp et al., 2003; Bruccoli et al., 2004）。

。上述K-12教育的「生物複雜性」探究教學與工作坊的實施成果評估，致力達成（1）誘導K-12教育師生的好奇心，並進一步由科學探索的過程中，增加對我們生活的地球有更多的認識；（2）轉變K-12科學教育的面貌，使其能真正反映實際的科學過程；（3）K-12教育對科學知識大幅的增長，並促進公眾增加對科學的關注、了解科學的真諦與價值。將實地的研究調查成果與經驗，轉化成為未來寶貴的教學內容。並可藉由專業學習與工作坊的成立，讓更多同儕受惠（Warburton et al., 2009; Timm et al., 2009）。

此外，Dr. Sneider 表示：「科學家透過非正式的管道互動的優點，讓K-12學生可藉由科學家闡述科學史與介紹現代化儀器設備來增長知識。」（Avila, 2003）。以麻塞諸薩州波士頓科學博物館的探究教學模式為例，天氣預報原本就是人人所關心，特別是對身處當地的氣象資料，往往需藉由預報員

在電視、廣播甚或網站上公告週知。館方設計角色反轉的戲碼——現在就報（Nowcasting project）的即時氣象預報，指導K-12學生在都卜勒氣象雷達上分析某一自選區域的資料，甚至可以解讀居家附近的降雨、風向、溫度等天候狀況，進而做出客製化的即時氣象報告。這種新奇與興奮的經驗，透過館方導引K-12學生透過氣候的科學過程學習大自然的變化，對近來層出不窮的天候異常與生物之間複雜的交互作用過程，能以實證科學和更客觀的角度看待。除此之外，館方更深入K-12校園，邀請當地學校加入氣象網絡計劃（WeatherNet Project），學生透過互聯網分享在校園中所蒐集的天候資料，並在周末假期利用博物館的設施展示預報成果，實際得到探究學習的經驗（Hoffman & Barstow, 2007）。

伍、「生物複雜性」探究教學事例舉隅

【教學事例一】

萊姆病（Lyme disease）的爆發為何與橡實有關？事實上，是一個已經證實的確切例子。當橡樹結實纍纍時，鹿

群會出現以之為食，鹿群踏伐時所抖落的扁虱便增多，促使萊姆病增加。科學家現在可由橡實的產量多寡，預測萊姆病爆發的週期（Dybas, 2001）。

【教學事例二】

一個半世紀以來，美國大西洋的喬治亞灣一直被新英格蘭漁民稱為「麵包籃」（breadbasket），90年代早期漁業資源幾乎被開發殆盡，想要洞悉「生物複雜度」可由漁業管理與海洋生態的基礎研究著手。海洋動力學的追蹤探討海洋物理如何與海洋生態產生關聯。美國國家海洋暨大氣總署套用數理模式的解析，直接在喬治亞灣管理沿岸的扇貝資源，藉由預測扇貝產季及幼貝的撫育場所，訂定出捕撈成貝的漁期，以確保資源的永續利用（Colwell, 2001b）。

【教學事例三】

每年春天由美國密西西比河流入墨西哥灣的大量含氮化物所引起的一連串效應，影響海洋初級生產力的事實早已眾所皆知，其結果造成溼地與沿岸缺氧狀態的持續惡化。這個被稱為「死亡區域」的地方（dead zone）於90年代初期即已擴大，面積由5,454平方英哩增加

至後來的7,700平方英哩，科學家的採樣船由這個泥濘不堪的河面延伸至墨西哥灣，收集不到研究所需的生物樣本，更遑論對「生物複雜性」做進一步的探討（Rabalais et al., 2002）。

營養鹽的污染成為當今全球海岸敏感地帶的嚴重問題，便成了不爭的事實，近90%的溼地已被破壞，其餘的部分也正被戕害中，甚至在保留區內的溼地，也被道路與公共建設的擴張計畫所威脅，日漸形消的溼地說明「生物多樣性」急遽下降的警訊。加州含鹽溼地的研究報告中也指出：「一旦物種消失了，多樣性便不容易恢復，實導因於棲地環境的惡化或關鍵物種間相互依存關係的瓦解。」此即「生物複雜度」是謂「生物多樣性」的延續提供一項明證（Dybas, 2001）。

【教學事例四】

歐洲的母親之河—多瑙河流域挾帶沿岸多國農業地區所流釋的營養鹽，導致河口域嚴重的優氧化，隨著浮游植物迅速繁生甚或有毒藻華的產生，1970年代即常有大量海洋生物死亡，並被海浪沖刷上岸而產生嚴重的環境健康問題。營養鹽的污染成為全球海岸敏感地帶的

頭號殺手，遂成為不爭的事實。

【教學事例五】

太平洋暖化（聖嬰現象-南方震盪，*El Nino-Southern Oscillation*，*ENSO*）與霍亂疫情的爆發關係密切，科學家使用精密繁複的數理模式，套用在海洋學與人類流行病學的資料以求得其中的相關性（Michener et al., 2001）。

陸、結論

回顧聯合國二十一世紀議程架構中，SDG 15強調了保護、管理和恢復環境生態系的重要性，並以維護生態完整性和生物多樣性。這包括保護各種生態系統，如濕地、森林和草地，以及實現可持續的森林管理、防治沙漠化、防止土地退化以及保護生物多樣性。在在都說明欲達到地球生物資源永續利用的目的，由傳統的單一物種保育的派典是不夠的。唯有了解各式生態系的特性，進而藉「生物複雜度」的整合研究，以釐清生物與環境間相互依存的關係，規劃全面性的保育策略，使保護「生物多樣性」的成效彰顯出來。自然科學研究學者與教育工作人員該對當前教育舞台的

轉變抱持期許並謀劃求變，因為未來的學習環境是未可知的。企盼新型態的探究教學內容結合嶄新的人工智慧工具，讓我們跟上科學教育革命的腳步。方能使K-12學生在「生物多樣性」延伸至「生物複雜度」的認知與習得過程中沒有斷點，進而確保自然資源的永續發展與利用於不墜，並為國家培育符合未來長期需求且具有前瞻性的地球公民。

參考文獻

- Adami, C. (2002). What is complexity? *BioEssays*, 24, 1085-1094.
- Andelman, S. J., Bowles, C. M., Willig, M. R., & Waide, R. B. (2004). Understanding environmental complexity through a distributed knowledge network. *Bioscience*, 54(3), 240-246.
- Arend, K.K., & Bain, M. B. (2008). Fish communities in coastal freshwater ecosystems: the role of the physical and chemical setting. *BMC Ecology*, 8, 23.
- Aulls, M.W., & Shore, B. M. (2008). *Inquiry in education* (Vol. 1). New York, NY: Lawrence Erlbaum.

- Avila, B. K. B. (2003). Integrating research and education: biocomplexity investigators explore the possibilities: summary of a workshop. Washington, DC: National Academies Press.
- Banks, D. L., Elser, M. L., & Saltz, C. L. (2005). Analysis of the K-12 component of the cCentral Arizona--Phoenix long-term ecological research (CAP LTER) project 1998 to 2002. *Environmental Education Research, 11*, 649-663.
- Barad, D. (2022). Postcolonial studies in the anthropocene: bridging perspectives for a sustainable future. *Journal of Higher Education and Research Society: A Refereed International, 10*(2), 203-213.
- Brainard, J. (1999). NSF director requests big increase for research into biocomplexity. *The Chronicle of Higher Education, 45*(25), 30-31.
- Brucoli, A., Madsen, J. M., & Porter, M. (2004, December 13-17). Bringing polar science to the classroom. Paper presented at the Fall Meetings of the American Geophysical Union, San Francisco, CA.
- Callicott, J. B., Rozzi, R., Delgado, L., Monticino, M., Acevedo, M., & Harcombe, P. (2007). Biocomplexity and conservation of biodiversity hotspots: Three case studies from the Americas. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362*(1478), 321-333.
- Capps, D. K., Crawford, B. A., & Constatas, M. A. (2012). A review of empirical literature on inquiry professional development: Alignment with best-practices and a critique of the findings. *Journal of Science Teacher Education, 23*, 291-318.
- Carpenter, S. R., Armbrust, E. V., Arzberger, P. W., Chapin III, F. S., Elser, J. J., Hackett, E. J., Ives, A. R., Kareiva, P. M., Leibold, M. A., Lundberg, Per., Mangel, M., Merchant, N., Murdoch, W. W., Palmer, M. A., Peters, D. P. C., Pickett, S. T. A., Smith, K. K., Wall, D. H., & Zimmerman, A. S. (2009). Accelerate synthesis in ecology and environ-

- mental sciences. *BioScience*, 59(8), 699-701.
- Colwell, R. R. (2001a). "World enough, and time": A global investment for the environment. *Bioscience*, 51(11), 908-914.
- Colwell, R. R. (2001b). Biocomplexity: an umbrella for many disciplines. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(5), 13-15.
- Cottingham, K. L. (2002). Tackling biocomplexity: the role of people, tools, and scale. *BioScience*, 52(9), 793-799.
- Covich, A. (2000). Biocomplexity and the future: The need to unite disciplines. *Bioscience*, 50(12), 1035.
- Daily, G. C., Ceballos, G., Pacheco, J., Suza'n, G., & Sa'nchez-Azofeifa, A. (2003). Countryside biogeography of Neotropical mammals: conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservative Biology*, 17, 1814-1826.
- Dalton, R. (1999). Monitoring system planned for US biodiversity drive. *Nature*, 398, 738.
- Douglas, D. A. (2010). The limits of complex adaptation: an analysis based on a simple model of structured bacterial populations. *BiO-Complexity*, 4, 1-10.
- Dybas, C. L. (2001). From biodiversity to biocomplexity: A multidisciplinary step toward understanding our environment. *Bioscience*, 51(6), 426-430.
- Hoffman, M., & Barstow, D. (2007). Revolutionizing earth system science education for the 21st century. Retrieved May 12, 2023, from <http://www.oesd.noaa.gov>
- Kroll, C., Warchold, A., & Pradhan, P. (2019). Sustainable development goals (SDGs): are we successful in turning trade-offs into synergies? *Palgrave Communications*, 5, 140.
- Lynch, M., & Abegg, A. (2010). The rate of establishment of complex adaptations. *Molecular Biology and Evolution*, 27, 1404-1414.
- Manduca, C., Macdonald, H., & Feiss, G. (2008). Education: Preparing students for geosciences of the

- future. *Geotimes*, 53(4), 59.
- Mahees, M. T. M. (2022) Green social works: the role social worker in ecological justice and collective environmental actions. *E-Journal of Social Work*, 4 (1), 15-23.
- Mazor, T., Doropoulos, C., Schwarzmueler, Florian., Gladish, D., Kumaran, N., Merkel, K., Di Marco, M., & Gagic, V. (2018). Global mismatch of policy and research on drivers of biodiversity loss. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 1071-1074.
- McMahon, S. M., Miller, K. H., & Drake, J. (2001). Networking tips for social scientists and ecologists. *Science*, 293, 1604-1605.
- Michener, W. K., Baerwald, T. J., Firth, P., & Palmer, M. A. (2001). Defining and unraveling biocomplexity. *Bioscience*, 51(12), 1018-1023.
- Pavlov, D. S., & Bukvareva, E. N. (2007). Biodiversity and life support of humankind. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 77, 550-562.
- Pereira, H. M., & Daily, G. C. (2006). Modeling biodiversity dynamics in countryside landscapes. *Ecology*, 87, 1877-1885.
- Peters, D. P. C. (2008). Ecology in a connected world: A vision for a network of networks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 227.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & Grove, J. M. (2005). Biocomplexity in coupled natural-human systems: A multidimensional framework. *Ecosystems*, 8, 225-232.
- Rabelais, N.N., Turner, R. E., Dortch, Q., Justic, D., Bierman, V. J., & Wiseman, W. J. (2002). Nutrient-enhanced productivity in the Northern Gulf of Mexico: past, present and future. *Hydrobiologia*, 475, (6), 39-63.
- Shipp, S. S., Brucoli, A., Porter, M., & Meese, D. (2003, December 8-12). Facilitating participant success: Teachers Experiencing Antarctica and the Arctic Program. Paper presented at the Fall Meetings of the American Geophysical Union, San

- Francisco, CA.
- Singkran, N., & Meixler, M. M. (2008). Influences of habitat and land cover on fish distributions along a tributary to Lake Ontario, New York. *Landscape Ecology*, 23(5), 539-551.
- Tal, T., Levin-Peled, R., & Levy, K. S. (2019). Teacher views on inquiry-based learning: the contribution of diverse experiences in the outdoor environment. *Innovation and Education volume*, 1, 2.
- Timm, K., Warburton, J., & Larson, A. M. (2009, December 14-18). Polar TREC-celebrating the legacy of the IPY through researcher-educator partnerships. Paper presented at the Fall Meetings of the American Geophysical Union, San Francisco, CA.
- Uddén, J., Martins, M. D., Zuidema, W., & Fitch W. T. (2020). Hierarchical structure in sequence processing: how to measure it and determine its neural implementation. *Topics in Cognitive Science*, 12, 910-924.
- van der Pluijm, B. A. (2006). The global change curriculum and minor at the University of Michigan. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 249-254.
- Warburton, J., Timm, K., & Larson, A. M. (2009, December 14-18). PolarTREC-A model program for taking polar literacy into the future. Paper presented at the Fall Meetings of the American Geophysical Union, San Francisco, CA.
- Werner, K., & Zedler, J. B. (2002). How sedge meadow soils, microtopography, and vegetation respond to sedimentation. *Wetlands*, 22, 451-466.
- Wilson, C. D., Taylor, J. A., Kowalski, S. M., & Carlson, J. (2010). The relative effects and equity of inquiry-based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 276-301.

Wu, H. K., & Hsieh, C. E. (2006). Developing sixth graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments. *International Journal of Science Education*, 28, 1290-1313.

Development of Biocomplexity and Inquiry Based Teaching- Using Europe and America as Case Studies

Yang Yu-Wen,¹ Yang Jen-Lee²

Abstract

This paper tries discussing a series of research schemes, multidisciplinary integration, and education aspect that refer to the up-to-date research tendency and practical projects provided from the world. As we enter a new century and millennium, environmental policy makers and educators must come up with new knowledge and artificial intelligence techniques that address the demands of a constantly evolving society, economy, and milieu. Ensuring that environmental study stays relevant to the needs of the community in which complex issues involved in biodiversity protection and biocomplexity research last three decades. These challenges to environmental issues require that we reexamine the way we do research, train environmental professionals and educators, and deal with conservation problem as well as the way we announce environmental information to the general public and make the most of profit from natural resource and achieve the goal of sustainable development. The value of inquiry to environment teaching and learning in K-12 education is supported by a compelling body of research that demonstrates positive effects on student achievement, attitudes, critical thinking, process skills, problem solving. However, a question emerges: how to draft a suitable research aspect and multidisciplinary K-12 inquiry teaching package to orientate the tide of international environment policy currently. Certainly, we must face the related problems of important environmental task and challenge.

Key words: biocomplexity, biodiversity, sustainable development, inquiry-based teaching, artificial intelligence

國小六年級氣候智慧食農教育課程研究

蔡侑樺¹、陳瑞玲²、陳建志³

摘要

全球暖化導致全球氣候變遷，地球環境對人類生活的衝擊越趨顯著，氣候智慧農業目標：「生產」、「調適」、「減排」將是因應環境變遷調整飲食生活的途徑。本研究目的以氣候智慧農業的3個概念主題，發展出9項次概念，設計16節國小十二年國教素養導向環境教育(Environmental Education)課程，對國小六年級學童進行「氣候智慧食農教育課程」教學活動，並探討此課程之學習成效。

本研究方法以量化研究為主，質性研究為輔。研究結果顯示，學童能習得氣候智慧食農教育之精神；了解氣候變遷對環境、生物多樣性、生物棲地、農業之影響；學會如何在生活中調適並知曉人類活動對生物以及生物棲地的影響。研究結果如下：

- (一) 實施「氣候智慧食農教育課程」教學活動後，學童的環境教育知識、態度、行為學習成效提升。
- (二) 實施「氣候智慧食農教育課程」教學活動後，從問卷分析、質性資料顯示：學童在環境保護、人類行為對環境的影響以及如何從生活中幫助地球，能更深入的了解。
- (三) 實施「氣候智慧食農教育課程」教學活動後，質性資料顯示：學童不僅在氣候智慧農業的「生產」、「調適」、「減排」的學習顯著進步；對於本課程亦能產生興趣。

本研究期盼能作為設計十二年國教素養導向環境教育「氣候智慧食農教育課程」之參考。

關鍵字: 氣候智慧農業、食農教育、戶外教育

1臺北市立大學

2新北市立深坑國小

3臺北市立大學

壹、前言

氣候變遷不僅影響地球生物棲息的環境，人類長久以來所進行的農業生產，也因氣候變化而有所改變。而氣候變遷下的農作物生產，伴隨而來的是糧食生產的問題(姚明輝，2015)。呼應未來面對全球暖化、氣候變遷的糧食問題，除了農業需朝向永續農業方向邁進、轉型，人們在生活飲食與對自然環境維護的觀念了解、如何調適目前及未來愈嚴峻的氣候變化？解決臺灣農產失衡過剩？這些問題皆是具挑戰性的環境教育議題。

為減緩與調適地球環境，在臺灣，涵蓋糧食安全、食品安全、友善農耕……等多項重大議題的食農教育是值得努力的方向。食農教育的推廣除了讓人們能認識「食」的教育(例如:餐桌上的飲食、綠色烹調、低碳飲食、在地傳統飲食文化、食品安全等等)，還需了解氣候變遷對環境、生物多樣性、生物棲地、農業的影響；以及如何在生活中調適，並知曉人類活動對生物以及生物棲地的影響，這些皆為食農教育重要的一環(陳瑞玲，2019)。

食農教育從糧食的生產到消費者餐

桌上的飲食，涵蓋了地產地消、飲食文化、糧食安全、碳足跡……等重要食農教育概念，每個環節對於人們以及環境的影響皆不可忽視(陳俊吉、林勇信、張芯瑜，2017)。

人們的行為與活動對於農業市場及自然環境的影響佔有很大的比例。因此，如何讓人們了解甚至轉變舊有的認知，是一個高深的課題。然而，了解全球氣候變遷對糧食安全的影響，乃至於對生物棲地的危機，卻是目前人們急需接納學習的全方位思考方向。本研究將氣候智慧農業理念與食農教育相結合，以氣候智慧農業的目標：農糧生產穩定、氣候變遷調適以及減少農作物耕種過程溫室氣體排放為主要概念，作為食農教育課程的根基，進而發展九項氣候智慧食農教育的概念，據以設計課程；期望透過課程的實施，讓學童對於全球環境的變化和臺灣土地的認識，能有深入理解感受，並能隨環境變化調適飲食生活方式，而實際運用於生活中，讓氣候智慧食農教育，從小紮根。

貳、文獻探討

一、食農教育

「食農教育」著重傳遞人們餐桌上飲食與土地相互連結的概念，培養人們對於生活上食物的選擇以及食物從何而來的發想與了解。除了對於本地農產生產銷售過程背景的了解，「食農教育」也強調面對氣候變遷，如何在生活中跟隨環境的變化，調適日常生活飲食的習慣(陳建志、林妙娟，2015)。本研究將「食農教育」與「氣候智慧農業」相結合，設計「氣候智慧食農教育」課程。

二、氣候智慧農業

面對氣候變遷的挑戰，以及因應氣候變遷農業面臨的考驗，為提升糧食安全，並在農業生產友善環境、低汙染的前提下，農業生產系統必須有一套提升產量，保持穩定的產量及產季，同時能適應或減緩農業活動對生態及社會層面影響的政策與方法。因應此一環境處境，為推動農業轉型，國際農糧組織(Food and Agriculture Organization【FAO】)及眾國際組織於「農業、糧食安全及氣候變遷全球研討會」公布行動路徑圖，提出提升農業活動的韌性

(Resilience)或降低對氣候變遷的脆弱性(Vulnerability)的概念，也就是提高在面對風險及干擾因素下，維持穩定及高產量的能力，此概念已成為農業轉型的核心議題(陳威仲，2013)。在此背景下，氣候智慧農業(Climate Smart Agriculture, CSA)，成為國際間推動農業轉型的新永續農業模式。

本研究「氣候智慧食農教育課程」之課程設計乃依據氣候智慧農業的三大目標，而氣候智慧農業三大目標為：維護糧食安全、因應氣候變遷及永續天然資源利用與產出利潤，集中為一體，進而勾勒出路線藍圖/行動地圖(roadmap)，以達成此一理想目標的農/林/漁業生產系統；並且是一套發展技術、政策及投資條件達成永續農業，是在氣候變遷挑戰下提升糧食安全的方法(陳建志，2020)。

三、氣候智慧農業的目標

農業科技資訊平台(2018)的氣候智慧型農業，乃為解決氣候變遷造成農業生產方面之衝擊，而在農業經營管理上提出調整與建議，本課程之設計，以氣候智慧型農業法所包含的三項目標為主要內涵。氣候智慧型農業法三項目標

(Khatri-Chhetri, A., Poudel, B., Shirsath, P. B., & Chaudhary, P., 2017), 如圖1所示:

(1) 永續提升糧食生產力穩定糧食安全;

(2) 提升農糧體系對氣候變遷之調適力及回復力;

(3) 降低溫室氣體在農糧生產過程中之排放。

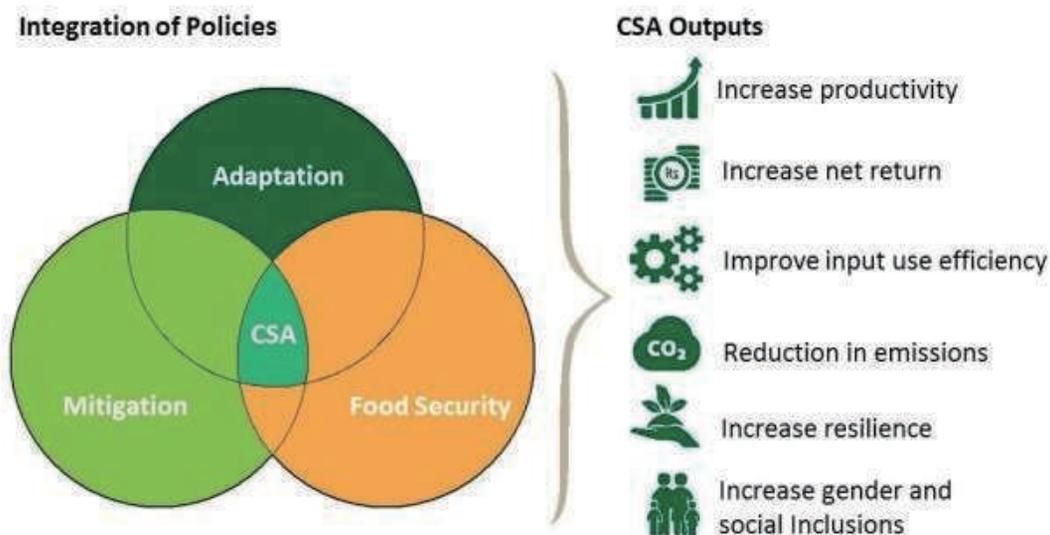


圖1: Conceptual Framework for Climate-Smart Agriculture and Expected Outputs

四、氣候智慧食農教育

面對全球暖化、氣候變遷對農業的影響，氣候智慧農業是因應目前以及未來農業體系能適應愈趨險峻的氣候環境的一種永續農業的方法。氣候智慧以永續農業為發展目標包含：增加生產力（糧食安全 Food security）、強化回復力（調適 Adaptation）、降低/除去溫室氣體排放（緩解 Mitigation）。此研究所指氣候智慧食農教育是以氣候智慧農業

的目標結合全變下的食農教育概念圖（陳建志、林妙娟，2015）中的主題，如圖2所示，發展九項氣候智慧食農教育概念，本研究以氣候智慧農業的目標，結合全變下的食農教育概念（低碳飲食、友善關懷、均衡飲食、飲食文化、食品安全、社區產業、全變調適、農事體驗）九項度設計「氣候智慧食農教育課程」。

<p>低碳飲食 地產地消與自然加工 適量不浪費 多蔬食少吃肉 研發昆蟲等低碳飲食</p>	<p>友善關懷 友善土地的自然農法 自然農法保育生物多樣性 關懷在地友善小農 建立產銷互信</p>	<p>均衡飲食 認識營養素與需求 健康飲食原則 餐點製作及食物組合 綠色烹調</p>
<p>飲食文化 食物的重要性 飲食特色 節慶食物 飲食行為</p>	<p>臺灣食農教育概念圖</p>	<p>食品安全 食品選購與飲食安全 加工食品及添加物 食品運送與保存 政府政策-農產履歷</p>
<p>社區產業 認識里山與里海 社區的特色與農產品 在地小農市集 融入環境教育</p>	<p>全變調適 台灣農業面臨問題 全變下農業生產調適 安全糧食供給 農業生產永續</p>	<p>農事體驗 社區參與 體驗農業生產 體驗食物烹調 生態體驗</p>

圖2 全變下的食農教育概念圖

參、研究方法

一、研究架構

本研究以量化研究為主、質性研究為輔，結合氣候智慧農業目標（農糧生產穩定、氣候變遷調適以及減少農作物耕種過程溫室氣體排放），以全變下食農教育為基礎，著重氣候變遷、糧食供給的考驗，發展「氣候智慧食農教育」

課程，其內容設計包含三大概念(生產、調適、減排)，以及九個次概念(田間管理、堆肥循環、友善農耕、食在昆蟲、變通替代、食品加工、蔬食適量、地產地消、少吃紅肉)。課程的進行，以走出課室之外的戶外教育為教學策略，帶領學生體驗，讓學習的經驗更貼近生活，能運用於生活中(Watson, A. D.2016)。課程架構如圖3所示：

氣候智慧食農教育課程概念圖

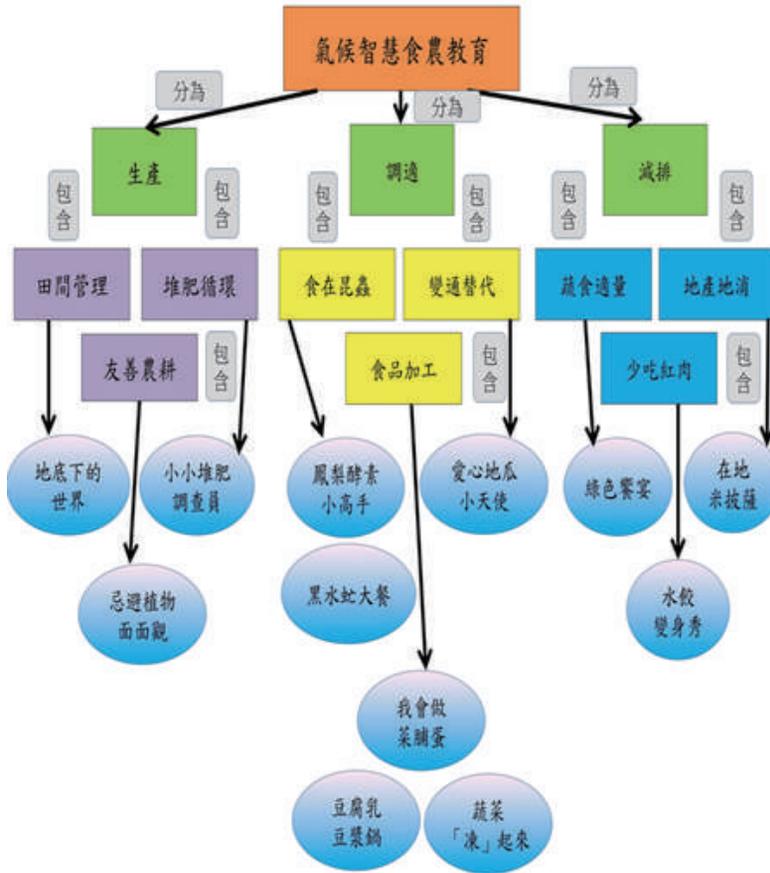


圖3 課程架構圖

本研究以「氣候智慧食農教育問卷」進行前、後測；蒐集半結構式訪談、學習單、課堂觀察紀錄，作為質性資料分析，期望達到課程修正及學生學習需求，而研究過程先調查：要改變的是甚麼？如何觀察以及如何評鑑？（吳明隆，2002）。教學歷程的部分，了解學生的特質有何不同，並將學科知識適度

轉化，從學生的經驗出發，運用生動有趣的教學方法，為學生建構學習的鷹架，協助學生順利、有效的學習。因此，教師除了要對學科具備充足的專業知識 (content knowledge)、擁有教育知識 (pedagogic knowledge)、專業技能與態度外，在教學過程中所衍生的種種問題，諸如：學生的學習動機、品格教育、

心理輔導、生活適應等，也都能一一深入探索與研究，最後解決問題，協助學生學習（張德銳，2013）。

本研究實施「氣候智慧食農教育課程」，探討教學活動對於國小六年級學童之影響，以作為環境教育教學的參考，其研究流程如圖4所示：

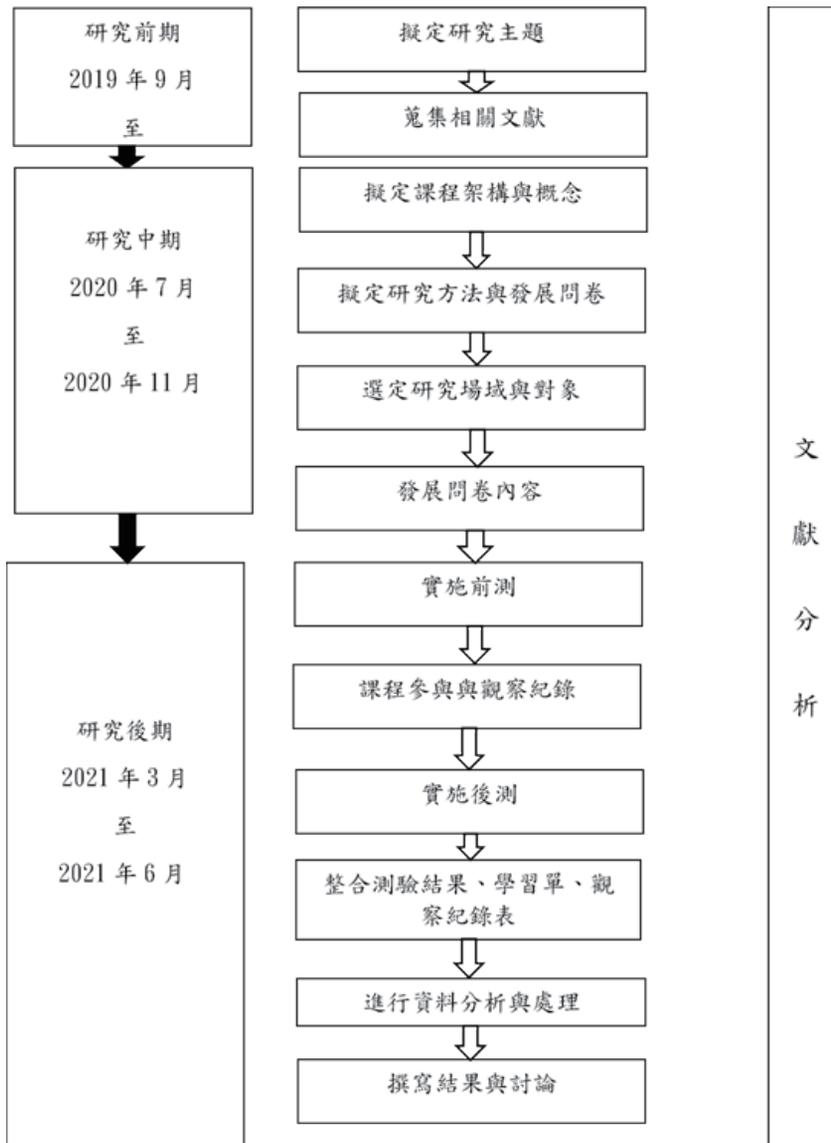


圖4 研究流程圖

二、研究工具

本研究以問卷為量化工具，以訪談、學習單、課堂觀察紀錄作為質性工具。因教學教師熟識該兩班導師，並任教於這兩班級，教學對象採方便取樣。本研究工具參考改編自陳瑞玲「國小學童環境教育主題問卷」(陳瑞玲, 2019)並由三位專家(一位自然領域教師、兩位經驗教師)的意見審查修改完成問卷內容。

「氣候智慧食農教育課程」問卷

本研究問卷量化以及質性的訪談作

為研究工具。本問卷主要調查受試者接受『氣候智慧食農教育課程』教學活動，教學實驗前、後，其環境教育目標能力是否產生改變。內容參考教育部(2014)十二年國民基本教育課程綱要，設計發展而成。

(一) 撰寫問卷

本研究參考十二年國教核心素養、環境教育目標(包含知識、態度、行為等項目)，並發展自陳瑞玲「國小學童環境教育主題問卷」，加以整理、歸納。「氣候智慧食農教育課程」雙項細目對照詳列如下表1所示：

表1 十二年國教核心素養導向「氣候智慧食農教育課程」雙項細目對照表

十二年 國教核 心素養	環境教育 目標	單元 主題	課程名稱	題號
身心素 養與自 我精進、 道德實 踐與公 民意識	知識、態度、 行為	田間管理	地底下的世界	3、4、8、 13
		堆肥循環	小小堆肥調查員	3、4、8、 13
		友善農耕	忌避植物面面觀	1、5、6

十二年 國教核 心素養	環境教育 目標	單元 主題	課程名稱	題號
多元文 化與國 際理解	知識	「食」在昆 蟲	鳳梨酵素小高手、 黑水蛇大餐	2、7、22
		變通替代	愛心地瓜小天使	19、21
		食品加工	我會做菜脯蛋、 蔬菜「凍」起來、 豆腐乳豆漿鍋	9、11、12、14、17、 18、20、23、24、25、 26、29
藝術涵 養與美 感素養、	態度、行為			(續下頁)
多元文 化與國 際理解	態度、行為	蔬食適量	綠色饗宴	10、15、16、27、28、 30
		地產地消	在地米披薩	9、11、12 、17、18、20、26、 29
		知識、行為		

資料來源：問卷發展自陳瑞玲（2019）。探討應用新世代科學課程標準設計STEAM課程對國小高年級學童環境教育學習成效之影響—以「太陽能燜燒鍋」及「食農教育」教學為例（未出版之博士論文）。國立臺北教育大學，臺北市。

據上述設計「氣候智慧食農教育課程」問卷題目以量測學童在實施課程後環境教育目標:知識、態度、行為的學習成效，量表各題答案選項均以環境教育學習主題設計出選項。量表填答方式，反應程度分成五種選項，受試者可由代表不同程度的五個選項中，選擇其中一個答案填答。其代表之意義及給分標準如下：量表填答方式採李克特氏五點量表(Likert- Five -Point Scale)，反應程

度分等五種選項「每次都做到」、「經常做到」、「偶爾做到」、「很少做到」、「從來沒有做到」，題目包括正向及反向敘述。正向題目依「每次都做到」、「經常做到」、「偶爾做到」、「很少做到」、「從來沒有做到」的順序分別給予5分、4分、3分、2分、1分；反向題目則依上述順序給予1分、2分、3分、4分、5分。所得總分越高，表示越正向、越積極；總分越低，表示越負向、越消極。

「氣候智慧食農教育課程」量表以十二年國教之課程綱要環境教育學習主題為主，分知識、態度、行為等五個向度，各項度之意義採用問卷題數並分述如下：

1. 以環境教育目標「知識」為主者採10題。

教導學生了解生態學基本概念、環境問題（如溫室效應、土石流、河川污染、核污染、能源和空氣污染……等）及其對人類社會文化的影響（永續發展、生物多樣性）；了解日常生活中的環保機會與行動（如資源節約與再利用、簡樸生活、生態設計、綠色消費、非核家園……等）。

2. 以環境教育目標「態度」為主者採用

11題。

藉由環境倫理價值觀的教學與重視培養學生正面積極的環境態度，使學生能欣賞和感激自然及其運作系統、欣賞並接納不同文化，關懷弱勢族群，進而關懷未來世代的生存與發展。

3. 以環境教育目標「行為」為主者採用9題。

教導學生具辨認環境問題、研究環境問題、收集資料、建議可能解決方法、評估可能解決方法、環境行動分析與採取環境行動的能力。

三、研究對象

問卷調查之對象為SK國小六年級的A班以及B班，因為新北市深坑區的SK國小是一個較純且位置於樸都市與農村交界的社區，與臺北市的文教區有相當大的差異，所以本班學生家長大部分以勞工、服務業為主，父母學歷以國、高中占多數，家長大部分都關心子女學習狀況。教學者與六年級自然與生活科技老師及該兩班級導師平日時常一起討論教學相關的問題，相互砥礪，因此本研究以「方便取樣」的方式作為研究對象的選擇，進行為期一年的研究；而這兩個班

共45位學童，其中男生26位，女生19位。調查方式以課程進行前、後發放問卷，並於實施課程後以學習單及訪談進行質性訪談。

四、資料處理與分析

(一) 量化資料

本研究設計採量化為主、質性為輔，並採單一組前、後測設計之研究方式。本研究之實驗設計如表2所示：

表2 實驗設計（單組前後測）

組別	前測	實驗處理	後測
實驗組兩個班	O1	X	O2

註：O1：「氣候智慧食農教育問卷」前測

O2：「氣候智慧食農教育問卷」後測

X：表示接受「氣候智慧食農教育課程」的實驗處理

本研究之實驗設計由「氣候智慧食農教育課程」教學活動開始前，對班級實施「氣候智慧食農教育問卷」前測，而後進行課程的實施，最後發放問卷進行後測。

(二) 質性資料

研究者閱讀有關十二年國教五大環境教育學習主題相關文獻，以及學童可能出現對於環境議題的迷思概念做初步了解後，依學習目標編擬晤談大綱。請教環教輔導團教學專家、科教專家及國小資深自然科教師加以審核，進行專家效度，並選擇學童進行試驗式晤談，從試驗式晤談所得的資料，修正晤談大綱

的題目內容及用語，以利學童能真正表達出心中的想法，正式晤談大綱見附錄。

研究者依實驗組學童在各領域學年總成績的百分等級分為高分組（百分等級在69~100）、中分組（百分等級在34~68）和低分組（百分等級在0~33）（每班抽五人），並參考學童口語表達、晤談內容等資料選擇晤談學童，分別選取高分組4人、中分組3人和低分組3人共10人。本研究晤談人數表（表），學童半結構性晤談內容（代號I）列出晤談學童編號及性別，樣本數為男女各半，晤談人數分配表如表3所示。

表3 晤談人數分配表

組別	晤談學生編號及性別	小計
高分組 35%	IB1 (男) IB2 (男) IG3 (女) IG4 (女)	4 人
中分組 35%	IB5 (男) IG6 (女) IG7 (女)	3 人
低分組 30%	IB8 (男) IB9 (男) IG10 (女)	3 人

註：IB8 (男) 表示晤談組男學童編號8號，IG10 (女) 表示晤談組女學童編號10號

肆、研究結果

一、「氣候智慧食農教育課程問卷」成對樣本t檢定

「氣候智慧食農教育課程問卷」前

、後測得分之成對樣本t檢定總量表；學童於「氣候智慧食農教育課程問卷」前、後測得分之平均數與標準差總量表，如表4所示：

表4「氣候智慧食農教育課程」環境教育知識、態度、行為前、後測成對樣本t檢定摘要表

項目	平均數	標準差	t值	顯著性 (雙尾)
知識前測	41.44	5.59		
知識後測	46.22	2.48		
成對樣本t檢定			-6.57	.000***
態度前測	45.96	5.65		
態度後測	51.20	3.00		
成對樣本t檢定			-7.22	.000***
行為前測	33.27	4.71		
行為後測	36.44	2.31		
成對樣本t檢定			-4.44	.000***
總量表前測	120.67	13.54		
總量表後測	133.87	6.36		
成對樣本t檢定			-7.49	.000***

註:p<.05*; p<.01**; p<.001***

表4所示學童在「氣候智慧食農教育學習主題問卷」總量表，前測平均數為120.67分，其中前測標準差是13.54分，而總量表後測平均數為133.87分，後測標準差是6.36分，後測平均成績高於前測平均成績，進步13.20分。結果顯示，學童在環境教育知識、態度、行為

的學習成效是有提升的。

研究結果顯示學童在「氣候智慧食農教育學習主題問卷」中，環境教育知識、態度、行為的學習成效提升與黃瑋筠(2020)、張萱芝(2020)的研究結果具有相同的效果。

表5「氣候智慧食農教育課程」知識前後測成對樣本t檢定摘要表

項目	平均數	標準差	t值	顯著性(雙尾)
知識前測	41.44	5.59		
知識後測	46.22	2.48		
成對樣本t檢定	-4.78		-6.57	.000***

註:p<.05*; p<.01**; p<.001***

如表5所示之成對樣本t檢定量表中，學童在「氣候智慧食農教育學習主題問卷」知識量表前測平均數為41.44分，其中前測標準差是5.59分，而後測平均數為46.22分，後測標準差是2.48分，後測平均成績高於前測平均成績，進步4.78分。而成對樣本t檢定結果方面，t值為-6.57，p=.000<.001，達顯著差異

。結果顯示「氣候智慧食農教育課程」實施後，對學生環境教育知識學習方面有提升其成效。

「氣候智慧食農教育學習主題問卷」態度前、後測得分之成對樣本t檢定量表；學童於「氣候智慧食農教育學習主題問卷」態度前、後測得分之平均數與標準差量表，如表6所示。

表6「氣候智慧食農教育課程」態度前後測成對樣本t檢定摘要表

項目	平均數	標準差	t值	顯著性(雙尾)
態度前測	45.96	5.65		
態度後測	51.20	3.00		
成對樣本t檢定	-5.24		-7.21	.000***

註:p<.05*; p<.01**; p<.001***

如表6所示成對樣本t檢定量表中，學童在「氣候智慧食農教育學習主題問卷」態度量表前測平均數為45.96分，其中前測標準差是5.65分，而後測平均數為51.20分，後測標準差是3.00分，後測平均成績高於前測平均成績，進步5.24分。

而成對樣本t檢定結果方面，t值為-7.21， $p=.000<.001$ ，達顯著差異。結

表7「氣候智慧食農教育課程」行為前後測成對樣本t檢定摘要表

項目	平均數	標準差	t值	顯著性(雙尾)
行為前測	33.27	4.71		
行為後測	36.44	2.31		
成對樣本t檢定	-3.17		-4.44	.000***

註: $p<.05^*$; $p<.01^{**}$; $p<.001^{***}$

學童在「氣候智慧食農教育學習主題問卷」行為量表表4-4，行為量表前測平均數為33.27分，其中前測標準差是4.71分，而後測平均數為36.44分，後測標準差是2.31分，後測平均成績高於前測平均成績，進步3.17分。

而成對樣本t檢定結果方面，t值為-4.44， $p=.000<.001$ ，達顯著差異。結果顯「氣候智慧食農教育課程」對學生環境教育行為提升有其成效。

結果顯示實施「氣候智慧食農教育課程」教學，學生在教學前後的环境教

果顯示「氣候智慧食農教育課程」實施後，對學生環境教育態度學習方面有提升其成效。

「氣候智慧食農教育學習主題問卷」行為前、後測得分之成對樣本t檢定量表；學童於「氣候智慧食農教育學習主題問卷」行為前、後測得分之平均數與標準差量表，如表7所示。

育知識、態度及行為均達顯著差異，顯示此課程進行教學活動的教學有其可行性與顯著成效。

二、「氣候智慧食農教育課程」教學成效分析

「氣候智慧食農教育課程」分為三個主題概念:生產、調適、減排，再由這3個主題發展9個構面:田間管理、堆肥循環、友善農耕、「食」在昆蟲、變通替代、食品加工、蔬食適量、少吃紅肉、地產地消，並以9個構面來發展設

計課程活動。

學童在進行以「生產、調適、減排」為設計內涵的九大主題「田間管理、堆肥循環、友善農耕、食在昆蟲、食品加工、變通替代、蔬食適量、地產地消、少吃紅肉」教學活動後，對整個教學活動的學習回饋，教學完畢，進行半結構性晤談(Interview)

(一)由以下學童所述可發現學童對於生命的關懷:

- 做米披薩用在地的米是台灣自己種的可以減少碳足跡，還有做泡菜、冷凍蔬菜食物都是可以幫助我們度過颱風的好方法。

(二)由以下學童所述可發現學童對於農作物耕種過程減少溫室氣體排放重要性的了解。

- 要吃當地的食物不要吃進口的，多

吃蔬菜少吃紅肉，對地球是很有幫助的，老師教我們分組的東西像做米Pizza，還有做水餃，我們也學會了一些如何做對地球環保的事情。

- 老師要我們要學著吃昆蟲，昆蟲很營養，還有不要開墾山坡地，可以永續發展。
- 不要破壞環境。例如不要隨意砍伐樹木破壞森林不要灑農藥在植物上面。

(三)由以下學童所述可發現學童對於了解農糧生產穩定的重要性

- 讓大家知道地球不是屬於人類的而是所有生物的環境汙染的問題主要還是人類造成的。
- 種菜的時候要不破壞棲地，讓生物有地方住，少用農藥，讓他們有地方住。



家裡要多備可以放很久的食物，遇到一些無法出門的天氣時，就可以在家的做，不用出去瘋狂搶購一堆食物，造成物資短缺，害一些人吃不到東西，也有可能造成經濟危機。要讓爸爸、媽媽在家裡是先準備這些保存更久的食物，就可以防止出現上面所說的危機了！

三、教師在進行教學活動後， 依據教學活動的學生學習 回饋，作為課程的改進

- 我們設計的食農課程可以與學校的校訂課程結合，可以融入各科，體驗課程很受歡迎，也可以帶給小朋友樂趣與自信心。
- 要設計課程讓學童接受昆蟲是可以吃得頗有難度，但是很值得挑戰，可以先從餵食其他生物做起。
- 小朋友在種菜的過程中，蔬菜漸漸長大，但是要教導學童昆蟲也一起來分享，除了是生物觀察的好機會也是環境倫理教學的好機會。
- 合作學習，都是讓學童發現問題，解決問題的好機會。

由學童陳述的內容可知學生確能習得生產、調適、減排三大概念，了解工廠方面的加工技術，早在農業社會時代，為了貯存食品，農民常將盛產時候自行生產的蔬菜、水果或禽畜產品以傳統的加工方法加工貯存，這些知識，此類加工品，如福菜、酸菜、蘿蔔乾、柿餅、高麗菜、醃瓜等，是具有傳統特殊風味及地方特色作物、集合了先人的智慧與手藝的飲食文化。

教學後學生確能了解台灣農業是糧食的基礎，關係到人們日常飲食生活，全球暖化氣候變遷及人為環境的影響會直接或間接造成全球糧食系統的產量以及穩定性，廣泛影響了農業在地球上的運作；而友善土地採用自然農法、穩定農作物收成、多吃昆蟲改變蛋白質攝取習慣、農產加工、地產地消、種植低排放作物想改變種植植栽的品種，這些都是未來地球公民必須習得的能力。

教師參與本研究的專業成長也是一種學習的歷程。教師在其「教學知識」上的成長包括：由講述方式到設計體驗式戶外教育並生活化系統化的跨科教學；由情境串連到應用學校及社區資源設計教學內容；由紙筆測驗到使用真實性評量評估學童表現。教師在其「教學信念」上的成長包括：由獨立單元的教學到突破教材限制延伸概念；由單一學科的教學到運用綜合活動統整學習；由單打獨鬥的教學到成立專業社群合作成長的經驗；由固定單純的教學到發展特色教學增進效能。教師在其「社群關係」上的成長包括：由班級到運用社群教學來發展學童多元學習(Achieve, Inc., 2023)；由被動溝通到建立教學共識以促進同仁互動；由資源匱乏到善用家長

資源以增進教學成效；由單純的課本教學運用社會資源以擴展學習領域。

伍、結論與建議

一、結論

研究結果顯示，大部分的學童確實能達到教學目標，除能認識多面向「食」的教育(例如:餐桌上的飲食、綠色烹調、低碳飲食、在地傳統飲食文化、食品安全……等)，亦能了解氣候變遷對環境、生物多樣性、生物棲地、農業的影響以及在全變下調適，並知曉人類活動對生物以及生物棲地的影響。

- (一) 實施教學活動後，結果顯示學童於環境教育知識、態度、行為學習成效提升。
- (二) 國小六年級學童在實施教學活動後，質性資料的研究結果顯示：學童對本課程多能產生興趣。

二、建議

教學方面，開放式學習單的設計，可針對課堂中所討論的環境問題做延伸和後續回應，也可讓課堂進行的討論活動更深入、更有效率。學童藉由寫聯絡簿的日記，回應並發表自己的想法。教

學者能藉由學習單及日記，有效的得知學生的學習成效，也在回應時給予引導和肯定。因應近期疫情停課，蒐集學童的線上回饋十分精采，線上教學方式讓學童應用資訊能力，完整表達自己的學習心得。

教師在課程設計方面，應用氣候智慧型農業經營管理上的三項目標：

- (1) 永續提升糧食生產力穩定糧食安全；
- (2) 提升農糧體系對氣候變遷之調適力及回復力；
- (3) 降低溫室氣體在農糧生產過程中之排放。

本研究加入「生產、調適、減排」三面九項以及融入氣候智慧農業，朝友善土地自然農法、穩定農作物收成、攝取昆蟲蛋白質、農產加工、地產地消、種植低排放作物等概念設計，確能提供國小教學的氣候智慧食農教育教學模組。從學生的實驗成果，和學童課堂反應、分享及學習單等回饋，來進行教師群的課後教學改進，研究討論確實能改進教學，使教師教學精進，得到課程設計及教學改進的專業成長。

本研究以氣候智慧農業為目標:生產、調適、減排為課程主要概念，在未來相關研究方面，配合十二年國教課程實行，讓學童了解人們的行為與活動對於自然環境、生物和對人類關係密切的農業的影響是佔有相當大的比例，因此，如何透過教育讓人們提早從小接觸、了解如何在環境保護與人類需求取得平衡，甚至接收調適地球環境的飲食生活方法，是一個高深的課題。而了解全球氣候變遷對糧食安全的影響，乃至於對生物棲地的危機，是人們目前急需接納學習的知識概念。

本研究將氣候智慧農業理念與食農教育相結合，以氣候智慧農業的目標:農糧生產穩定、氣候變遷調適以及減少農作物耕種過程溫室氣體排放為主要概念，作為食農教育課程的根基，發展九項氣候智慧食農教育的概念，設計完整課程期盼能作為其他學校參考進而推廣；透過課程的實施，確實達到讓學童對於全球環境的變化和臺灣這塊土地能有更進一步的認識與感受，拓展自己的視野，學習了解、跟隨環境變化調適飲食生活的方式，並實際運用於生活中。本研究所發展出的關鍵素養的食農課程與各項素養的指標，設計出校訂課程，應

對於十二年國教新課綱上路，讓教師實施跨領域主題教學的參考，由學校組成食農教育專業社群研究小組，然後行政規畫研習培訓、教師致力課程發展及教材設計，從真實生活情境及跨領域能力，走向實質的十二年國教素養導向教育，期盼能提供未來國內校園食農課程設計參考。

參考文獻

- 吳明隆（2002）。教育行動研究導論理論與實務。五南圖書出版公司，臺北市。
- 姚明輝（2015）。氣候變遷下糧食安全研究議題之探討。農業試驗所技術服務季刊，103，27-30。
- 張德銳（2013）。教學行動研究實務手冊與理論研究。高等教育出版社，臺北市。
- 教育部（2014）。十二年國民基本教育課程綱要【文字資料】。取自 <https://www.naer.edu.tw/files/15-1000-7944,c639-1.php?Lang=zh-tw>
- 陳威仲（2013）。氣候智慧農業的國際行動與意涵。APEC與氣候變遷，171，5-8。
- 陳建志（2020）。氣候智慧農（林）業。環境教育電子報。取自 <https://www.sdec.ntpc.edu.tw/p/4041000--2272.php?Lang=zh-tw>。
- 陳建志、林妙娟（2015）。全球環境變遷下食農教育的課程內涵探討。國教新知，62（4），61-72。
- 陳建智、張雅茹（2018）。型塑臺灣韌性農業，迎戰極端氣候。農政與農情，314。
- 陳瑞玲（2019）。探討應用新世代科學課程標準設計STEAM課程對國小高年級學童環境教育學習成效之影響—以「太陽能燜燒鍋」及「食農教育」教學為例（未出版之博士論文）。國立臺北教育大學，臺北市。
- 國家地理（2014）。臺灣糧食安全【文字資料】。取自 <https://www.natgeo.com/environment/article/content-2619.html>
- 農業科技資訊平台（2018）。氣候智慧型農業將有助於農民對抗全球氣候變遷之衝擊【文字資料】。取自 <https://agritech-foresight.atri.org.tw/article/contents/1657>
- Achieve, Inc. (2023). Understanding the Standards. Retrieved from <https://www.nextgenscience.org/>
- Khatri-Chhetri, A., Poudel, B., Shirsath, P. B., & Chaudhary, P. (2017). Assessment of climate-smart agriculture (CSA) options in Nepal. *CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food*

Security (CCAFS), New Delhi, India.

Watson, A. D. (2016). Reinventing the STEAM engine for Art+ Design education. *Art Education*, 69(4), 8-9.

A Curriculum Study on Climate Smart Food and Agriculture Education of the Sixth-Graders in Elementary School

Yu-hwa Tsa, Jui-lin Chen, Chien-Chih Chen

Abstract

The fact global warming caused by climate change that impacts human life and environment on earth are increasingly alarming. And in what ways we can do to mitigate and to adapt the living environment are concerned these days.

CSA is the key to resolve these issues. It includes three main objectives: sustainably increasing agricultural productivity and incomes; adapting and building resilience to climate change; and reducing or removing CO₂. In this study, it aims to design 9 concepts, at the foundation of 3 objectives of CSA, and develop 16 environmental education courses of 12-Year Basic Education Curricula toward elementary school students in sixth grade. "Climate Smart Food and Agriculture Education Curriculum" is being implemented to the students to explore the learning effect to these courses.

The research results and recommendations are as follows:

- (1) After the implementation of the teaching activities, the learning effect of children's learning of environmental education knowledge, attitude and behaviors have been improved.
- (2) According to the qualitative data, the children have made significant progress in the concepts of CSA's three objectives; also, the students generate interest to the courses.

The study is expected to provide teachers with the idea of designing climate smart food and agriculture education curriculum.

Keywords: Climate smart agriculture, Food and agriculture education, Outdoor education

一般民眾應具備之綠色化學素養內涵初探

張育傑¹、王玉純²、林于凱³、徐宏德⁴

摘要

自1991年美國環保署提出綠色化學迄今三十年，現在化學家的養成，也多具備綠色化學素養。雖然綠色化學的概念具備促進永續發展的良好特質，然而，一般民眾仍不易親近，單靠化學家與化學工程師對綠色化學的理解，並不足以影響整個世界。在此情形之下，一般民眾該具備的綠色化學素養究竟為何，便相形重要。本研究運用文獻分析法，蒐集不同領域所詮釋的綠色化學內涵，繼之以整併、發展方式建構出綠色化學素養架構與指標。研究方法首先說明一般化學專業領域的綠色化學12原則，進而探討非化學製造、合成專業所需的綠色化學素養，再討論到國際國內在化學品管理角度上，該了解的綠色化學內涵。最後再嘗試建構一般民眾應有的綠色化學素養架構與指標。所建構的指標系統分為「知識」、「態度」、「技能與行為」三大構面，每一構面各有「整體」、「預防」、「永續」、「確保」四個次構面，共計建立26個指標。本指標系統架構涵蓋綠色化學十二原則精神，適合一般民眾理解，預計未來經過適當的調查與實證研究後，將有助於發展適合更廣泛對象的推廣資源與施政參考。

關鍵字：綠色化學素養、綠色化學原則、永續化學、環境教育

1臺北市立大學

2中原大學

3臺北市立大學

4國立臺灣海洋大學

壹、前言

化學的創新與應用帶給人們許多的便利與福祉，工業革命以後的科技發展，也突顯了不以永續的方式使用化學產品所帶來的後遺症。自1991年美國環保署提出綠色化學迄今三十年，在化學合成、防治污染、源頭減量、清潔生產等領域迭有進展，現在化學家的養成，也多具備綠色化學素養。然而，儘管有許多單位（例如美國環保署、Beyond Benign網站、美國化學學會等）不遺餘力地推廣綠色化學，綠色化學的推廣仍未普遍化，且多僅限於化學領域(Loste等，2020a)，單靠化學家與化學工程師在技術上的精進與創新，並不足以讓整個世界不斷朝永續發展邁進。除了技術層面之外，教育、社會、政府、產業等幾個層面也需提升這方面的認知，共同努力，才能使有限的能資源獲得更永續的利用(Lancaster，2002)。只強化化學專業相關人員與政府組織的能力，是不夠的。在此情形之下，一般民眾該具備的綠色化學素養究竟為何，便相形重要。Loste在2020年回顧整理許多文獻發現，為了提高綠色化學在促進永續的應用，綠色化學需要被推廣，特別是對

於在非化學領域的對象，可以透過教育的方式來實踐(Loste等，2020b)。而直接運用綠色化學的12原則（Anastas與Warner，1998），在非化學領域或對象上有執行上的困難(Loste等，2019)。有鑑於此，本研究嘗試建構適合非化學專業領域的對象，特別是一般民眾應該具備的綠色化學素養，運用文獻分析法，蒐集不同領域所詮釋的綠色化學內涵，繼之以整併、發展方式建構出綠色化學素養架構與指標。本研究首先以一般常見的化學專業領域所了解的綠色化學12原則開始，進而探討非化學製造、合成專業所需的綠色化學素養，再討論到國際國內在化學品管理角度上，該了解的綠色化學內涵。最後再以較大尺度的構念，嘗試建構一般民眾應有的綠色化學素養架構與指標。

貳、化學專業技術領域所關切的綠色化學教育

一般所謂的綠色化學，是指設計化學產品製造的過程中，避免或減少生產和使用對人類健康和環境具有危害的物質。根據Anastas跟Warner所提出的綠色化學12項原則，分列如下：（Anastas與

Warner, 1998) :

- 1.預防(Prevention)：防止廢棄物產生，優於產生廢棄物後再想辦法處理。
- 2.原子經濟(Atom Economy)：化學合成方法應該設計成把使用的材料最大化地反應成最終產品。
- 3.較小危害性的化學合成(Less Hazardous Chemical Syntheses)：在實際可行的前提下，所設計的產品合成方法應該使用對人體健康和環境很少或不含毒性的物質來進行。
- 4.設計更安全的化學品(Designing Safer Chemicals)：設計減少毒性而仍能保有其功能效力的化學產品。
- 5.使用更安全的溶劑及佐劑(Safer Solvents and Auxiliaries)：應儘可能不使用輔助物質（溶劑或分離劑）；如果必須使用，應選擇無害的物質。
- 6.參考能源效率的設計(Design for Energy Efficiency)：使用能源應認知到能源對環境和經濟的衝擊，並減少衝擊；合成方法應盡可能在常溫常壓下進行。
- 7.使用可再生原料(Use of Renewable Feedstocks)：當技術和經濟實際可行的情況下，使用可再生的材料與原料以避免造成某些資源枯竭。
- 8.減少衍生化學物(Reduce Derivatives)：盡可能避免不必要的衍生化，以減少不必要的添加藥劑以及廢棄物產生。
- 9.觸媒(Catalysis)：使用觸媒（儘可能選用具選擇性者）優於使用化學計量試劑進行反應。
- 10.設計可分解的產品(Design for Degradation)：化學產品應該設計在功能結束後可分解為無害物質，不會在環境中持久殘留者。
- 11.即時分析防止污染(Real-time Analysis for Pollution Prevention)：分析方法需要進一步發展，以便能在有害物質形成之前就能即時地在程序中監測和控制。
- 12.選用安全的化學物質來避免意外事故的發生(Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention)：化學反應的反應物與產物，應選擇能夠儘可能減少潛在化學事故（包括洩漏、爆炸、火災等）者。

若以傳統的「灰色」(brown)化學為例，20世紀的化學/化工產業慣常使用的過程似乎依循著下列的公式(Woodhouse與Breyman, 2005)進行：

- 大都從石化原料開始，
- 溶解或添加試劑
- 使化合物反應生成中間產物
- 透過一系列其他額外的化學反應產生數百萬噸的潛在危險產品
- 在不了解長期影響的情況下將它們釋放到生態系統和人類環境中
- 人類並無逐步擴大記取經驗教訓
- 在此反應過程中，產生數百萬噸的危險副產品。
- 釋放到生態系統或人類環境當中，而對於其長期效應不清楚

Woodhouse與Breyman (2005)提到，相對於傳統的「灰色」化學，「綠色」的化學，應該是：

- 設計可加速生物代謝和生物分解的新分子；
- 以碳水化合物（糖/澱粉/纖維素）或油性（油性/脂肪）物質作為原料生產化學品；
- 並依靠催化劑（通常是生物催化劑）在小規模的過程中
- 不使用溶劑或改用良性溶劑
- 僅需幾個步驟，
- 幾乎沒有產生危險廢棄物或沒有產生危險的副產品；

- 合成少量的新化學物質進行詳盡的毒理學和其他測試，
- 隨後逐步擴大規模，邊做邊學。

Lancaster嘗試用比較精簡的方式描述綠色化學，如下6點(Lancaster, 2002)：

- 1.最大化的將試劑轉換為有用的產品（原子經濟性）
- 2.透過反應設計將廢物的產生減至最少
- 3.盡可能使用非危險原料和生產非危險性產品
- 4.反應程序設計為本質安全
- 5.優先使用可再生原料
- 6.程序設計旨在提高能源效率

由這樣的定義看來，綠色化學似乎專注於化學物質的合成、產品製造過程中，與傳統（灰色）化學相較之下，多考慮對生態環境與人類環境的可能衝擊。

Anastas與Lankey以預防產生污染為主軸，描述不同生命週期下，應如何於產生污染前即予以有效的預防(Anastas與Lankey, 2000)。表1係本研究整理自Anastas與Lankey的文獻，描述以生命週期觀點看產品生產過程中，綠色化

學可以著力之處，另外，本研究亦參考 Clark 的文獻，整理在不同生命週期下，所對應的綠色化學十二原則(Clark, 2002)。由表1所整理的對應關係可以觀察得知，若以廣義的污染預防而言，基於不同生命週期對於污染的預防，除了原則1「預防」之外，尚對應到多數的綠色化學原則，包含原則5「使用更安全的溶劑及佐劑」、原則7「使用可再生原料」、原則8「減少衍生化學物」等；而狹義的預防，則在於符合原則1「預防：優先防止產生廢棄物」，其對應的產品生命週期在表1的產品生命終期階段。由此表也可以看出，以綠色化學十二原則而言，終究適合於化學產品的製造、合成階段，對於生命週期的其他階段，應用上較不容易直覺理解。

表1 產品生命週期中可以改善之處與其對應的綠色化學十二原則（摘譯自Anastas 與 Lankey (2000); 對應綠色化學原則由本研究參考Clark (2002)文獻整理）

生命週期	製造前階段	製造階段	產品運送階段	產品使用階段	產品生命終期
運用綠色化學可改善之處	替代原料/可再生資源 替代性方法 避免助劑 減少運輸 利用廢物 減少溶劑	原子經濟性 催化劑而不是試劑 溶劑替代 更安全化學物 更簡單化學物 最低能源使用 避免添加劑	最少的運輸 最小包裝/ 環保包裝	最低消費/ 最高效率 最小的輔助需求 能源消耗最少	可生物降解 可回收 環境相容性
對應的綠色化學原則編號	[7]使用可再生原料 [8]減少衍生化學物 [5]使用更安全的溶劑及佐劑	[2]原子經濟 [9]觸媒 [6]參考能源效率的設計 [11]即時分析防止污染 [12]選用安全的化學物質來避免意外事故的發生	[7]使用可再生原料	[6]參考能源效率的設計	[1]預防 [7]使用可再生原料 [10]設計可分解的產品

製造/合成化學家、工程師們在設計特定的應用的化學品方面已經累積了相當多的專業知識，雖然毒理學和環境衛生學的進展已經大幅提高了科學家們對與人類健康風險和環境危害有關的化學物質的了解。然而，Lasker等人認為在將這些進展融入到傳統的化學、化工課程上，依然相當有限。美國華盛頓大學環境與職業安全衛生學系持續教育學程(University of Washington Department of Environmental and Occupational Health Sciences Continuing Education Programs, UW DEOHS CEP)與耶魯大學的綠色化學團隊，鑑於產業界的需要，開發了綠色化學與化學管理認證學程（Green Chemistry & Chemical Stewardship Certificate Program），所發展的課程是針對從事環境和職業衛生的從業人員，包括職業醫學、職業健康護理、工業衛生、安全、有害物質管理、污染預防專家以及相關學科的從業人員。在此認證課程中，學員的學習目標，不僅止於產業和技術相關的資訊，還要著重於綠色化學的系統思維，包含商業、公共和環境衛生、化學安全評估工具以及社會和環境正義等要素(Lasker等，2019)。

所以，新時代的化學家或工程師必須在運用化學促進社會進步並謀求人類福祉的同時，也需找到如何避免不當使用化學物質的方法，因為不當的使用往往導致不永續的結果。綠色化學或永續化學對於新時代的社會就非常重要。要達到這樣的目標，Lancaster認為需要技術、教育、社會、政府與產業等幾個層面共同努力才能達到(Lancaster, 2002)。擇要整理如下：

1. **技術**。精進更多符合綠色化學原則的技術。科學上的研發，更具環境友善、經濟可行的綠色技術的研發與進展。
2. **教育**。必須儘早提高環境意識以及科學扮演的角色。在大專教育中，綠色化學原理（原則）必須成為整個大學部和研究所課程的基礎，而不是作為個別課程進行教授。唯有及早具備環境永續思維，日後發展的產品才能越綠色。
3. **社會**。消費是決定生產產品方向的主要力量。具備足夠素養，知情消費者則可以做出有利於永續環境的消費選擇。
4. **政府**。需要制訂相關鼓勵發展綠色技術的政策與機制。
5. **產業**。產業的首要目的是增加股東投

資的收益。然而，人們日益認識到，未來成功的投資不在僅是依照經濟來評斷，必須同時考量經濟、環境和社會，亦即需考慮到企業社會責任與企業永續。未來，造成環境損害的成本都將變得越來越高，最後會到達令人難以接受的程度。

雖然綠色化學需要這麼多層面配合才能逐步達到目標，但目前綠色化學相關教育所瞄準的受眾，一般既定的印象，仍會多偏重在化學/化工/環工專業領域對象。一般民眾並不易察覺綠色化學與其之相關切身關係，但整體社會的發展，確實需要非化學/化工專業對象，也具備該有的綠色化學素養，才能實現永續地運用化學，以謀人類的福祉。目前針對以技術觀點的綠色化學教育與推廣相關研究與教學資源已經漸漸增加，鑑於針對一般民眾的綠色化學教育相關研究不多，故本文分析探討除了以技術為前提的綠色化學內涵之外，其他層面，包含教育層面中的非化學技術對象、社會層面的綠色消費、政府層面的管理策略、產業層面的社會責任與永續發展等，所需要足有足夠對應的綠色化學素養究竟為何，並嘗試建構。

參、非化學製造、合成專業的綠色化學內涵

非直接化學製造、合成相關專業的領域，也有與綠色化學息息相關者，例如，綠色工程等課程包含對環境議題了解、化學物質風險與流佈以及工業生態或生命週期評估觀點。Shonnard等(2003)將這樣的課程內涵規劃詳如表2，這是一個典型的課程規劃：在第一篇中，導入環境議題與風險概念，先行導入化學工程師該有的責任，引起適當的學習動機。在第二篇中，則由降低風險去學習在不同程序下，該如何降低對環境的衝擊。第三篇，則導入生命週期評估與工業生態學的思維，這樣可以更積極的朝綠色設計更進一步。由表中亦確實描述出其所規劃課程與綠色化學12項原則對應之關係。

表2 綠色工程課程規劃示例（摘譯整理自Shonnard等(2003)）

課程主題	課程內容	對應綠色化學原則
第一篇	環境議題介紹	
	風險概論	
化學工程師的環境議題指引 (本篇概述主要環境問題，並介紹環境立法、風險管理和風險評估。)	環境法規：管末處理的污染防制	1, 2
	化學工程師的角色與責任	
第二篇	環境宿命評估：化學結構取徑	1
	暴露評估	
降低化學程序的環境風險 (本篇介紹了用於評估和改進化學程序的環境績效之各種分析工具。這篇的章節從分子水平開始，然後對程序流程進行詳細分析。)	綠色化學	1, 2, 4
	合成程序中的環境績效評估	1-4
	單元操單元操作與污染預防	2-4
	程序分析與污染預防	10
	程序之環境績效評估	1
	環境成本會計	2
第三篇	生命週期概論	1, 4, 12
	工業生態學	10
超越廠房範疇 (本篇介紹用於改進產品管理和提高化學程序與其他材料運用間的整合工具。)		

許多大學認為發展技術的素養，應該是大學通識教育的一部分。Shonnard等(2003)認為對於非主修化學的科系學生，其綠色工程(化學)的教學策略，應

由六大元素(碳、氫、氧、氮、磷、硫)的地球生化循環開始，了解人為的循環介入後，對環境不同介質可能產生的干擾，進而了解國家層級、產業類別的

人為工程系統與自然生態系統的交互影響。最後，可以量化的方式呈現其影響，並習得物質、能量平衡與解決方案。這就是一種以環境衝擊為主要觀點的教學策略。

而Juntunen與Aksela(2014)亦將化學對環境產生的不同衝擊予以分類如表3。由表3可以得知，化學物質對環境的衝擊，可以描述成對水圈、地質圈、大氣圈、生物圈的直接影響（或是初級primary影響），他的影響型態，可能是點污染、散佈點、非點源、乾沈降、溼沈降、或者是從地殼、土壤溶出到水體等型態。但這些初級影響，就可能會造成後續生態、生物的（次級）影響。例如，氮、磷等營養元素的不當排放會

造成優養化、pH改變會造成危害物質從底泥溶出、脆弱性生態系的衝擊會造成生物多樣性喪失、鹽化造成生態、經濟的衝擊、缺氧造成湖泊河川的生態衝擊、持久性有機物透過食物鏈的生物濃縮等效應。而對生物的直接傷害，則是多從生物毒性試驗得到評估的結果，包含急毒性或慢毒性試驗，以及暴露度的評估，便可推得這些化學物質對個體、個別物種或族群的影響。影響的效應，包含有死亡、生長、繁衍、荷爾蒙、基因體、器官代謝、腫瘤、疾病及對生物多樣性或生物行為的改變等效應。故表3描述化學物質可能會生態環境與生物產生的直接衝擊與間接衝擊，可協助有效建構綠色化學內涵。

表3 化學物質對環境產生的不同衝擊型式(本研究摘譯自Juntunen與Aksela，2014)

化學物質可能對環境的衝擊型式	衝擊類別示例說明
對水圈、地質圈、大氣圈、生物圈的影響（的化學物質）	重金屬、有機金屬、放射性物質、無機氣體、石棉、藻毒、光化學反應氧化物、含鹵碳氫化合物、甲烷、多環芳香碳氫化合物（PAH）、戴奧辛、夫喃、石油洩漏、氣狀污染物、塑膠添加物、污水、清潔劑、藥物、氣味、顏色、噪音等
污染型態	點污染、散佈點、非點源、乾沈降、溼沈降、溶出

化學物質可能對環境的衝擊型式	衝擊類別示例說明
對生態系統的影響	優養化、pH 改變、生物多樣性喪失、鹽化、缺氧、食物鏈的生物濃縮等
對健康的影響	急毒性或慢毒性，對個體、個別物種或族群的影響
產生關聯	死亡、生長、繁衍、荷爾蒙、基因體、器官代謝、腫瘤、疾病、對生物多樣性或生物行為的改變

肆、國內外之綠色化學政策

如前述，要使化學品有效管理，達到綠色化學、永續化學的目標，需要技術、教育、社會、政府、產業等幾個層面共同努力才能達到。在政府部門的管理政策中，比較引起注目的，是歐盟在2000年前後開始一系列的對電子產品的管制指令(directives)。包含廢棄電子電氣設備 (Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)指令、危害性物質限制指令(Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, RoHS)、耗能產品指令(Energy-Related Products/Energy-using Products, ErP/EuP)。在WEEE指令中，開始導入延伸生產者責任(Extended

Producer Responsibility, EPR)的精神。EPR是指生產者必須對產品從生命週期中的搖籃到生命終期，都負有一定的責任。所以，消費者有權利可以讓他使用過的電子產品得到妥善的處理。這就促使生產者必須考量產品到生命終期後，必須多付出的回收與處理成本，因而，各個生產者所生產的產品必須避免廢棄物的產生，也必須減少回收所需花費的成本，包含，易拆解、產品材質單一化等綠色設計，而這也是符合綠色化學的原則（原則1, 7）。在RoHS指令中，直接限制產品中的危害性物質成分與含量，而這也是符合綠色化學的原則（原則2, 3）。在EuP指令中，則考慮產品使用階段與整個生命週期的能耗，這也是符合綠色化學的原則（原則6）。鑑於新的化學品源源不絕被開發出來，但在

投入市場使用前，缺乏負責、審慎的評估，因而有了REACH(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)指令。在REACH指令中要求，新的化學品必須先註冊、評估後，才能取得授權使用。評估的方式，則包含了生物毒性（急毒性、慢毒性）、生態毒性等多項的評估。讓化學品的使用更受到妥善的管理。

2006年2月6日在杜拜舉行的第一屆國際化學品管理會議 (The First International Conference on Chemicals Management, ICCM1)上所通過的「國際化學品管理戰略方針」(Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM)，是促進全球化學品安全的整體政策架構。SAICM是由多方利害關係人和多部門籌備委員會所制定，以致力實現 2002 年約翰尼斯堡永續發展世界高峰會議(World Summit on Sustainable Development)所議定的2020年目標。SAICM的總體目標就是實現化學品整個生命週期的健全管理，以便到2020年，化學品的生產和使用方式將對環境和人類健康的重大不利影響降至最低。（引自SAICM官網，<https://www.sa->

icm.org/）

我國與化學物質管理相關部會高達 13 個，每個部會均有各自掌管的法規與政策；國內已知既有化學物質共有 10 萬餘種，惟化學物質之管理係跨部會工作、其資訊匯流整合、檢驗分析技術提升與民眾對化學物質之正確認知，均須有一專責機關來統籌。行政院為展現化學物質管理制度之決心，參考聯合國SAICM架構，集結各部會之力量及資源，於2018年4月以行政院院臺環字第1070008670 號函核定「國家化學物質管理政策綱領」，以為施政依據。該政策綱領係以「有效管理化學物質，建構健康永續環境」為化學管理之願景，並就國家治理、降低風險、管理量能、知識建立以及跨境管理等重要領域，建立化學管理五項關鍵能力為施政目標，期能透過政府政策引導及資源挹注，有效強化化學物質安全管理，保護人體健康與環境不受化學物質使用所產生的風險威脅。並與國際接軌，增進國際化學物質正確使用在安全貿易的競爭力，推動永續發展。該五項施政目標如下（國家化學物質管理政策綱領，2018）：

- (一) 國家治理－制定國家目標、健全法規制度：將配合國際趨勢建立本土化之目標。
- (二) 降低風險－落實正確使用、打造無毒環境：預防化學物質不當使用造成之災害與健康風險，以提升勞工作業安全、食品安全與公共安全，並強化國家廢棄物處理管理方法，提升化學物質危害之救治。
- (三) 管理量能－推動部會合作、強化資訊整合：將建立部會協調合作機制，以提升化學物質管理之技術與設備能力。
- (四) 知識建立－提高全民意識、共同監測管制：將強化國民對化學物質之正確認知，以發揮公民監督機制。
- (五) 跨境管理－推動國際合作、監管跨境運輸：將積極配合國際公約與協定，有效管控化學物質之輸出（入）。

在這五項關鍵能力，其中之「知識建立」，之施政重點為「提高全民意識、共同監測管制：將強化國民對化學物質之正確認知，以發揮公民監督機制。」正符合本文所意欲探討的「一般民眾」所應具備的化學素養。

伍、一般民眾應具備的綠色化學素養

我國「國家化學物質管理政策綱領」五大關鍵能力，其中之「知識建立」，之施政目標為「提高全民意識、共同監測管制。將強化國民對化學物質之正確認知，以發揮公民監督機制。」，其推動策略為：

1. 強化企業社會責任，導正媒體與利害相關者對危害化學物質之認知。
2. 強化社區知情權，促進資訊交流與協調合作，建立培訓和基礎設施。
3. 落實社區與學校之全民教育，建立對化學物質之正確認識。
4. 提升民間社會與公眾利益，促進非政府組織參與。

綜合上述，要達到國家化學物質管理政策綱領「有效管理化學物質，建構健康永續環境」之目標，只強化化學專業相關人員與政府組織的能力，是不夠的。要達到這樣的目標，綠色化學概念其溝通對象似應由化學專業領域，擴大到全民，以符合提高全民意識之目標，強化國民對化學物質之正確認知，確實發揮公民監督之機制。

而如同前述本文所提及，文獻上所提綠色化學內涵多與化學專業相關，即便非化學合成、製造直接相關，亦與環境、職安、公衛、毒理、生態等相關，鮮少有適合一般民眾者。美國化學學會(ACS)所出版的非技術人員、適合所有人的綠色化學口袋指南(The Non-Technical Green Chemistry Pocket Guide; ACS, 2021)中明確指出，綠色化學是與自然共存的永續化學。其要義是，減少有害性物質使用與產生的化學產品與程序設計。它是更聰明的(smarter)、更安全、更有效率、省錢、節能、防污、再使用與再利用的設計、改變化學形象。因而認為，綠色化學可以創造更美好的未來。其原則可以詮釋為以下五點：

1. 以自然為師，使用可自然分解的可再生原料
2. 更有效率的使用資源與能源
3. 崇尚自然，在污染產生前就積極預防
4. 可以建構永續的未來
5. 對於新世代的化學家有培育、啟發、製造工作機會的作用

以上五點，相形之下，所涵蓋的內涵，較易為一般人所接受。

Clark統整以生命週期觀點的概念，用下五個要點來涵蓋綠色化學(Clark, 2002)：

1. 對化學產品和製程採取生命週期觀點
2. 意識到供應商和客戶的作為在某種程度上決定了產品綠色的程度
3. 對於非消耗性(dissipative)產品，需考慮可回收性
4. 對於消耗性產品（例如藥品，農作藥物等），需考慮產品投放對環境的影響
5. 進行綠色程序設計以及綠色產品設計

Juntunen與Aksela (2014)認為結合化學教育的永續發展教育應包含三個構面，

1. 某一地方或環境，朝永續發展的體驗與知識
2. 環境化學與永續發展的技能與知識
3. 如何運用化學對永續發展做出行動的價值教育

美國工程技術認證委員會(Accreditation Board for Engineering and Technology)亦在其規章中提到，會員應具備的條件包含下列與綠色化學有關的要件(Shonnard等，2003)：

1. 了解化學方案對全球與社會的影響
2. 具備當代環境議題的知識
3. 了解專業與倫理責任

國內學者蔣本基教授將綠色化學的原則與內涵，區分為三大構面，分別為「污染與意外的防止」、「能源與資源的永續」以及「安全與保全的確保」，進一步提出prevention（預防），assurance（確保），sustainability（永續）等，稱之為PAS原則（Chen等，2020）。其中，預防、永續、確保三大原則，

與原本的綠色化學12原則的對應關係經整理如表4。由表4可以發現，綠色化學的十二原則，彼此並非相互獨立，不易將之確切的透過PAS原則分類。例如，原則5「使用更安全的溶劑及佐劑」同時適合歸類於「預防」與「確保」，原則10「設計可分解的產品」同時適用歸類於「預防」與「永續」，原則9「觸媒」則同時適合歸類於「永續」與「確保」。雖然如此，但PAS原則確實建立一個讓一般大眾更容易理解的綠色化學分類原則。

表4 預防、永續、確保三原則與綠色化學12原則之對應關係
(整理自Chen等，2020)

主題	內涵	對應 12 原則
預防	積極預防污染產生	1, 3, 8
		5*, 10#
永續	更有效率的使用資源與能源	2, 6, 7
		9**, 10#
確保	注重安全與降低風險	4, 11, 12
		5*, 9**

說明：表中*、**、#等符號代表適合歸類於兩者的綠色化學原則。

在環境部化學署所執行「大專校院綠色化學教育推動計畫」（環保署，2017）中，將大專院校學生，非化學相關系所者，所應具備的綠色化學素養，以三個構面進行歸納統整。分別是環境關聯（知識）、環境關懷（覺知、態度）以及永續環境（技能、行動）。其相關內涵如下：

（一）環境關聯(知識)

- 對水圈、地質圈、大氣圈與生物圈的影響(Effects on hydro-, geo-, atmo- and biospheres)
- 對生態系統的影響(Effects on ecosystems)
- 對健康的影響(包含食安) (Health effects)
- 正確的化學知識(包含風險)

（二）環境關懷(覺知、態度)

- 覺知許多資源逐漸耗竭(未來的影響)
- 簡樸生活對減緩環境衝擊重要性
- 關懷某些污染的不可復原，

（三）永續環境(技能、行動)

- 辨識環境友善標章
- 如何減少暴露
- 友善環境的(消費)行為

本研究在統整更多參考資料後，依舊以認知、情意、技能/行為三大構面來進行規劃。但有別於環保署（今環境部）2017年版的架構雛形，本研究採用蔣本基教授團隊的PAS三個分類，並將之簡化為「預防、永續、安全」作為本指標架構的次構面。經過重新整理，得到結構較為完整的素養架構如表5。因為增加合適的次構面之故，原有指標雛形的不同位階差異得以有效減少。部分統整性位階較高、含括性較廣的指標，有的可以根據不同的次構面進行分項。例如，原2017版本的「永續環境」構面下的「友善環境的(消費)行為」，分配到「預防、永續、安全」三個次構面，所發展的指標分別為「3.1.2能鑑別產品製造是否考慮永續性與可自然分解性」、「3.2.2能鑑別產品材料是否考慮永續性與可回收性」以及「3.3.1能鑑別產品化學成分是否具危害性」。轉換後的指標，指向更明確，能分別代表不同構面的行為。

雖然運用PAS的次構面，有效減少指標位階的不一致，以及使指標完備性更形提升。但是，仍有許多指標，無法依照「預防、永續、安全」三個次構面

進行區分。例如，

「1.0.1對化學產品和製程採取生命週期觀點」，生命週期觀點與三個次構面均相關，所以，本研究將之歸類在整體性指標，可能涵蓋兩個次構面以上，或有別於此三個次構面之外。畢竟，此三個次構面，源自於以製造程序為基礎的綠色化學十二原則。在將對象擴大到技術以外層面的時候，原來的範疇無法涵蓋，亦屬正常。例如，「2.0.1相信這世界需要新世代有綠色永續觀點的化學家，且願意支持」、「2.0.2意識到供應商和客戶的作為在某種程度上決定了產品綠色的程度」、「2.0.3化學物質並不

等同於危害性化學物質」，以及，「3.0.1具備辨識環境友善標章的能力」、「3.0.2願意支持綠色化學產品，為建構永續的未來付諸行動」等。

與以製造、合成為主要觀點的綠色化學十二項原則相較，可以發現，除了十二原則很重視技術與專業之外。另一點有趣的地方是，在十二原則很強調「技術上、經濟上實際可行」，畢竟這是現實層面上要考慮的。而在本研究所建構的綠色化學素養架構，則少了此一層面的考量，多了以消費者、使用者、或環境衝擊接受者的利害關係人觀點，來形塑綠色化學。

表5 適合一般民眾之綠色化學素養指標架構

構面	次構面	指標	參考來源*
1. 認知	1.0 整體	1.0.1 對化學產品和製程採取生命週期觀點	Clark, 2002
		1.0.2 理解綠色程序設計以及綠色產品設計的原理	Clark, 2002
		1.0.3 以自然為師，使用可自然分解的可再生原料	ACS, 2021
	1.1 預防	1.1.1 對於消耗性化學產品（例如藥品，農作藥物等），需考慮產品投放對環境的影響	Clark, 2002

構面	次構面	指標	參考來源*
1. 認知	1.2 永續	1.1.2 了解不當的化學品散佈，會對水循環、大氣循環、生物圈、生態系統造成什麼衝擊	Juntunen & Aksela, 2014
		1.2.1 知道運用再使用、再利用等方式可以更有效的使用資源	ACS, 2021
	1.2.2 對於非消耗性(dissipative)產品，需考慮可回收性	Clark, 2002	
	1.3 安全	1.3.1 知覺生活中的化學品不當使用也可能對人體造成傷害	「國家化學物質管理政策綱領」
		1.3.2 知道危害性物質進入人體途徑，以及可能影響	Juntunen & Aksela, 2014
	2. 情意	2.0 整體	2.0.1 相信這世界需要新世代有綠色永續觀點的化學家，且願意支持
2.0.2 意識到供應商和客戶的作為在某種程度上決定了產品綠色的程度			Clark, 2002
2.0.3 化學物質並不同於危害性化學物質			「國家化學物質管理政策綱領」
2.1 預防		2.1.1 關懷某些持久性污染或脆弱環境的不可復原	環保署，2017
		2.1.2 重視自然環境，在污染產生前就積極預防	ACS, 2021
2.2 永續		2.2.1 覺知許多資源逐漸耗竭	EuChemS, 2019
		2.2.2 簡樸生活對減緩環境衝擊甚為重要	環保署，2017

構面	次構面	指標	參考來源*
	2.3 安全	2.3.1 關心居家與鄰近區域環境中可能的危害性物質來源與監測資料	「國家化學物質管理政策綱領」
		2.3.2 對生活中常見化學物品，其健康危害性具敏感度	
3. 技能 與行動	3.0 整體	3.0.1 具備辨識環境友善標章的能力	環保署， 2017
		3.0.2 願意支持綠色化學產品，為建構永續的未來付諸行動	ACS, 2021
	3.1 預防	3.1.1 知道如何避免使用對環境造成危害的物品	
		3.1.2 能鑑別產品製造是否考慮永續性與可自然分解性	
	3.2 永續	3.2.1 具備選擇節能或替代產品的能力	
		3.2.2 能鑑別產品材料是否考慮永續性與可回收性	Clark, 2002
	3.3 安全	3.3.1 能鑑別產品化學成分是否具危害性	
		3.3.2 具備避免不當化學品暴露的能力	環保署， 2017

*說明：表中指標未列參考文獻來源者，則代表由本研究所發展。

陸、結論與建議

本研究嘗試建構適合非化學專業領域的對象應該具備的綠色化學素養，運用文獻分析法，蒐集不同領域所詮釋的綠色化學內涵，繼之以整併、發展方式建構出綠色化學素養架構與指標，所得結論敘述如下：

一、本研究所建構適合一般民眾之綠色化學素養指標架構。其認知構面包含以下內涵：

1. 對化學產品和製程採取生命週期觀點、理解綠色程序設計以及綠色產品設計的原理
2. 以自然為師，使用可自然分解的可再生原料
3. 對於消耗性化學產品（例如藥品，農作藥物等），需考慮產品投放對環境的影響，了解不當的化學品散佈，會對水循環、大氣循環、生物圈、生態系統造成什麼衝擊，也可能對人體造成傷害，
4. 對於非消耗性(dissipative)產品，需考慮可回收性，知道運用再使用、再利用等方式可以更有效的使用資源

二、所建構適合一般民眾之綠色化學素養指標架構。其情意構面包含以下內涵：

1. 相信這世界需要新世代有綠色永續觀點的化學家，且願意支持
2. 意識到供應商和客戶的作為在某種程度上決定了產品綠色的程度，覺知許多資源逐漸耗竭，簡樸生活對減緩環境衝擊甚為重要
3. 關懷某些持久性污染或脆弱環境的不可復原，重視自然環境，在污染產生前就積極預防。關心居家與鄰近區域環境中可能的危害性物質來源與監測資料，對生活中常見化學物品，其健康危害性具敏感度
4. 化學物質並不同於危害性化學物質

三、所建構適合一般民眾之綠色化學素養指標架構。其技能與行動構面包含以下內涵：

1. 具備辨識環境友善標章的能力，能鑑別產品製造是否考慮永續性與可自然分解性，能鑑別產品材料是否考慮永續性與可回收性，能鑑別產品化學成分是否具危害性。
2. 知道如何避免使用對環境造成危害的物品，具備選擇節能或替代產品的能

力，具備避免不當化學品暴露的能力。

3. 願意支持綠色化學產品，為建構永續的未來付諸行動。

建議：

- 一、綠色化學發展迄今已三十年，有別於較多的論述與發展針對化學專業的對象，適合非化學專業的一般民眾該具備的綠色化學素養，在本研究中嘗試做一整理。後續可參考此一架構，發展適合不同對象所需的學習資源。
- 二、配合我國化學物質管理政策綱領，除了新世代的化學專業人員，應有足夠的環境議題知識，與綠色化學專業技能之外。對於一般民眾的綠色化學素養，亦應有對應的提升策略。在決策者、消費者、生產者也具備同樣共識的情形下，可以更永續地運用化學、進一步達成為人類創造福祉的目標。
- 三、建議可仿效國外運用綠色化學結合循環經濟或綠色化學結合永續教育的方式，運用適用於一般民眾的綠色化學素養作為發展相關推廣教育的參考。

柒、參考文獻

- ACS (American Society of Chemistry). (2021). *The Non-Technical Green Chemistry Pocket Guide*, Retrieved from ACS website: <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>
- Anastas, P. T. and Lankey, R. L. (2000). Life cycle assessment and green chemistry: the yin and yang of industrial ecology. *Green Chemistry*, 2, 289-295.
- Anastas, P. T.; Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: New York.
- Chen, T.-L., Kim, H., Pan, S.-Y., Tseng, P.-C., Lin, Y.-P., & Chiang, P.-C. (2020). Implementation of green chemistry principles in circular economy system towards sustainable development goals: Challenges and perspectives. *Science of the Total Environment*, 716, 136998.

- Clark, J. H. (2002) Introduction. In J. Clark and D. Macquarrie (Eds.), *Handbook of Green Chemistry and Technology*, Blackwell Science Ltd. (pp. 2-9)
- European Commission. (2002). Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS) and amendments.
- European Commission. (2011). Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast).
- European Commission. (2012). Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment, WEEE. *Official Journal of the European Union L*, 197, 38-71.
- European Commission. (2006). Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC. *Official Journal of the European Union*, 396, 1-849.
- Juntunen, M., & Aksela, M. (2014). Education for sustainable development in chemistry—challenges, possibilities and pedagogical models in Finland and elsewhere. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 488-500.
- Lancaster, M. (2002) Principles of Sustainable and Green Chemistry. In J. Clark and D. Macquarrie (Eds.) ,

- D. Macquarrie (Eds.), *Handbook of Green Chemistry and Technology*, Blackwell Science Ltd. (pp. 25-26)
- Lasker, G. A., Mellor, K. E., & Simcox, N. J. (2019). Green Chemistry & Chemical Stewardship Certificate Program: a Novel, Interdisciplinary Approach to Green Chemistry and Environmental Health Education. *Green chemistry letters and reviews*, 12, 178-186.
- Loste, N., Roldán, E., & Giner, B. (2020a). Is Green Chemistry a feasible tool for the implementation of a circular economy? *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 6215-6227.
- Loste, N., Chinarro, D., Gomez, M., Roldan, E., & Giner, B. (2020b). Assessing awareness of green chemistry as a tool for advancing sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120392.
- Loste, N., Roldán, E., Lomba, L., & Giner, B. (2019). Green chemistry and environmental management systems: relationships, synergies, advantages and barriers of joint implementation at universities. *Environmental management*, 64(6), 783-793.
- Shonnard, D. R., Allen, D. T., Nguyen, N., Austin, S. W., & Hesketh, R. (2003). Green Engineering Education Through a US EPA/Academia Collaboration. *Environmental Science & Technology*, 37, 5453-5462.
- Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM), Retrieved from SAICM website: <https://www.saicm.org/>
- Woodhouse, E. J. and Breyman, S. (2005). Green chemistry as social movement? *Science, Technology & Human Values*, 30, 199-222.
- 國家化學物質管理政策綱領，取自：
<https://www.tcsb.gov.tw/dl-903.-6c7adbf4e61c431d9ea1173c45f2d9f0.html>
- 環保署，(2017)，大專校院綠色化學教育推動計畫，計畫編號：TCSB-106-CP02-02-A016。

An Initial Exploration of the Essential Green Chemistry Literacy for the General Public

Yu-Jie Chang, Yu-Chun Wang, Yu-Kai Lin, Hung-Te Hsu

ABSTRACT

Almost 30 years' progress on the topic of green chemistry has been made since the US Environmental Protection Agency proposed green chemistry in 1991. Nowadays, most chemists are cultivated with green chemistry literacy. However, only the chemists and chemical engineers knew green chemistry well is not enough to keep the whole world moving towards sustainable development. Under such conditions, what green chemistry literacy should be possessed by the general public becomes more and more important. This research uses the literature analysis method to collect the contents of green chemistry described in different fields, and then constructs the framework and indicators of green chemistry literacy through integration and development. The research method first explains the 12 principles of green chemistry in general chemistry majors, then discusses the green chemistry literacy required for non-chemical manufacturing and synthesis majors. Finally, try to construct the framework and indicators of green chemistry literacy that the general public should have. The indicator system constructed is divided into three dimensions: "knowledge", "attitude", and "skills and behaviors". Each dimension has four sub-levels of "holistic", "prevention", "sustainability" and "assurance". In terms of dimensions, a total of 26 indicators have been established. The framework of this indicator system covers the concept of the 12 principles of green chemistry, which is suitable for the general public to understand. It is expected that after proper investigation and empirical research in the future, it will help to develop promotion resources and governance references suitable for a wider range of targets.

Keywords: Green Chemistry Literacy; The Principles of Green Chemistry; Sustainable Chemistry, Environmental Education

臺東地區的小米田地生物多樣性調查

黃正德¹、簡廷仰²

摘要

本研究在臺東縣金峰鄉新興村的三塊相同時期小米田，以及臺東縣海端鄉崁頂村的一塊小米田，自2019年的兩次試作以及2020年自一月開始自八月的每月一次監測生物多樣性調查，以陸域小型哺乳動物、節肢動物、爬蟲類、兩生類、土壤環節動物以及軟體動物物種為主，結果共紀錄 199 科 385 種 5275 隻次棲息於小米田棲地的小型脊椎與無脊椎動物，顯示小米田共生棲息的小型動物多樣性與生物量豐度極為龐大，也表現出原住民在里山的傳統農業區與傳統農法，對農業生態與生物多樣性的貢獻，值得深入探索研究，並應進行長期監測調查。

關鍵字：小米田、生物多樣性、原住民傳統農業

1臺東縣永續發展學會

2臺北市立大學 地球環境暨生物資源學系

壹、前言

保育全球生物多樣性 (biodiversity) 之譏議，自 1992 年由各初始締約國於巴西里約熱內盧簽署生物多樣性公約 (Convention on Biological Diversity, CBD) 迄今已達 31 年，全球參與 CBD 之國家與政體如今亦已高達 193 之譜，顯見生物多樣性議題儼然已成為聯合國在本世紀最重要的發展主軸；與生物多樣性共列聯合國本世紀重點環境公約的「永續發展」議題，則強調為人類與環境永續之目標努力。此二重大議題共存之核心主題中，「糧食安全」與「原住民文化與權益」，亦為國際間共同努力之目標；2019 年 CBD 締約國的發展主題“*Our biodiversity, our food, our health*”更強調了生物多樣性與人類糧食、健康之關聯。

近年來，農業部林業及自然保育署 (原農委會林務局) 在推動我國實踐生物多樣性公約精神、落實推動生物多樣性之保護、永續利用以及公平惠益分享目的之價值等指標性工作上，付出極大的努力並已完成許多重大成果；基於「原住民文化傳統」與「糧食安全」等議題核心並含括綠色經濟、永續發展層面的

「臺東山村綠色經濟永續發展計畫」，即為林業及自然保育署臺東分署與臺東縣永續發展學會共同合作，戮力發展的重點項目之一，以下就本研究之中兩個作業區，位於臺東海端鄉與金峰鄉兩區塊原住民傳統農業區的小米田進行生物多樣性監測與調查，並列出彙報 2019 年小米收成季末期 (2019 年十、十一月) 之試作初探調查與 2020 年小米種植季全生長期 (2020 年一月份至 2020 年八月份) 之調查結果。

貳、研究方法

(一) 樣區範圍與環境描述

本案執行範圍位於臺東縣金峰鄉新興村的三塊相同時期小米田以及臺東縣海端鄉炭頂村的一塊小米田。新興的一號到三號樣區皆位在相近區域，範圍北界為森川南線產業道路，南界為文理溪，東鄰北金峰鄉溪，西鄰文理溪支流；炭頂樣區範圍北界紅石林道，南界為炭頂溪，東鄰台九線，西鄰炭頂溪。

新興小米田皆主要種植小米，除種植小米外周圍亦有種植其他作物，例如洛神花以及少許仙人掌科植物。該區小米於十月時開始疏苗，並在隔年一月中

旬收割，新一期小米於二月播種，於四月中旬之後成熟，五月收割完之後不再馬上種植小米，而是放置讓土地休息或是種植洛神花等其他作物；炭頂小米田主要種植小米，但亦有種植其他多種作物。播種時間稍為比新興早一些，十月調查時已經疏苗完畢，並在隔年一月初收割，新一期小米於二月播種，此外一併種植紅藜，芋頭以及其他多種作物，於四月至五月之間收割之後，除了其他原有作物之外，暫不續耕種小米。

(二)生物資源調查

生物資源調查是了解依地區生物多樣性組成的必要方式，本計畫進行之陸域動物相調查，標的物種包含小型哺乳動物、爬蟲類、兩生類、節肢動物、土壤環節動物及軟體動物等，調查主要採用下述調查方式進行：目視法、掃網法、掉落式陷阱、馬氏網、捕鼠籠陷阱等，記錄各類群生物種類、數量、分布，活體樣本拍照記錄並測量後原地放回，若已死亡個體則以 75 % 濃度酒精浸泡保存標本。調查樣點依照所耕種小米田，將樣區分為四塊，調查樣區見表 1:

表 1 調查樣區

樣區編號	樣區名稱	小米耕種時期
01	新興一號樣區	約十月之前播種，於一月中旬收割，二月播種新一期
02	新興二號樣區	約十月之前播種，於一月中旬收割，二月播種新一期
03	新興三號樣區	約十月之前播種，於一月中旬收割，二月播種新一期
04	炭頂樣區	約十月之前播種，於一月中旬前收割，二月播種新一期

(三)陸域小型哺乳動物、節肢動物、爬蟲類、兩生類、土壤環節動物以及軟體動物調查方法

本計畫陸域生物依計畫目標與物種特性，將目標類群分為小型哺乳動物、節肢動物、爬蟲類、兩生類、土壤環

節動物以及軟體動物。針對不同生物類群設計不同的調查取樣方式，採樣紀錄方式分別使用目視法、掃網法、掉落式陷阱、馬氏網、捕鼠籠陷阱等，除以定點、穿越線調查取樣外，另佐以隨機取樣，詳細調查方式見表 2：

表 2 調查方法

類群	調查方法	調查方法說明	每次調查時間	鑑定參考資料
小型哺乳類	掉落式陷阱	每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。	自放置起直至器材回收	(1)TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 (2)行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」
	捕鼠籠陷阱	每個樣區沿小米田邊緣以及隨機田地內側設置四個鼠籠陷阱，以地瓜塗上花生醬為餌料，於樣區設置一晚之後採集。 每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。	自放置起至隔日回收	(1)TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」
爬蟲類	掉落式陷阱	每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。	自放置起至器材回收	(1)TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」

類群	調查方法	調查方法說明	每次調查時間	鑑定參考資料
兩生類	掉落式陷阱	每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。	自放置起至器材回收	(1) TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」
	目視法	沿小米田穿越線以目視方式紀錄小米田及其周圍的物種。	上午 8~12 時；下午 13~17 時 (依天氣情況適時調整)	
	掃網法	沿小米田穿越線左右草叢以及作物上進行掃網，以手抄網左右來回呈 8 字形掃網，待掃網結束後以鏟子以及吸蟲管進行捕捉樣本動作，並泡入 70%酒精帶回。	上午 8~12 時；下午 13~17 時 (依天氣情況適時調整)	(1) TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 (2) 行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」

類群	調查方法	調查方法說明	每次調查時間	鑑定參考資料
節肢動物	掉落式陷阱	<p>每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。</p> <p>於小米田設置帳篷樣式的紗網狀陷阱，於自放置起至器</p>	<p>自放置起至器材回收</p>	<p>(3) 相關網路論壇以及研究學者群組，例如：臺灣膜翅目研究社 (Taiwan Hymenopterist Club)、台灣的隱翅蟲 (Staphyliniformia from Taiwan) 等</p>
土壤環節動物	挖掘取樣	<p>於調查樣區挖掘土壤，並以篩網過濾掘出之土壤後取得土壤中環節動物(蚯蚓) 樣本</p>	<p>每次調查十餘各樣性</p>	<p>TaiBIF 臺灣生物多樣性資訊入口網 http://www.taibif.org.tw/ 的資料</p>
土壤環節動物	掉落式陷阱	<p>每個樣區沿小米田邊緣以及近田地內側共設置三個直立式掉落式陷阱，邊緣設置三枚擋板作為引導物種進入陷阱之設置，於每個月採收一次。</p>	<p>自放置起至器材回收</p>	

類群	調查方法	調查方法說明	每次調查時間	鑑定參考資料
軟體動物	目視法	沿小米田穿越線以目上午 8~12 時；下午 13~17 時 (依多樣性資訊入口網其周圍的物種。	天氣情況適時調整)	(1)TaiBIF 臺灣生物 http://www.taibif.org.tw/ 的資料 (2)行政院農業部於 2019 年 1 月 09 日公告「保育類野生動物名錄」 (3)臺灣蝸牛圖鑑(三版)(謝伯娟、吳書平、蔡奇立所著)(2013)

參、結果與討論

2019 年十月與十一月，對於海端鄉 (崁頂) 與金峰鄉 (新興) 兩個區域的生物多樣性調查工作先期試作結果，十月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種動物共計 29 科 41 種 136 隻次；金峰鄉新興一號樣區 25 科 38 種 64 隻次、新興二號樣區 17 科 21 種 43 隻次、新興三號樣區 22 科 30 種 68 隻次，新興三個樣區合計 38 科 73 種 175 隻次。十月份的優

勢種主要以雙翅目的日蠅科 (Heleomyzidae) 蠅類為主。十月份的調查資料顯示，生物多樣性最高的樣區為新興一號 (S1) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.4557，生物多樣性最低樣區為新興二號 (S2) 樣區，Shannon 多樣性指數 2.69 (表3)。群聚相似性類聚分析方面，以新興一號與新興二號 (S1 / S2) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 28.398，最低者為新興三號與崁頂兩樣區 (S3 / K)，相似度 14.12 (表 4、圖 1)。

表 3 2019 年 10 月份生物多樣性與群聚分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	36	55	8.734	0.96432	3.4557	0.98182
S2	20	42	5.0834	0.89793	2.69	0.92567
S3	30	68	6.8728	0.89022	3.0278	0.94425
K	38	133	7.5659	0.75107	2.7321	0.86124

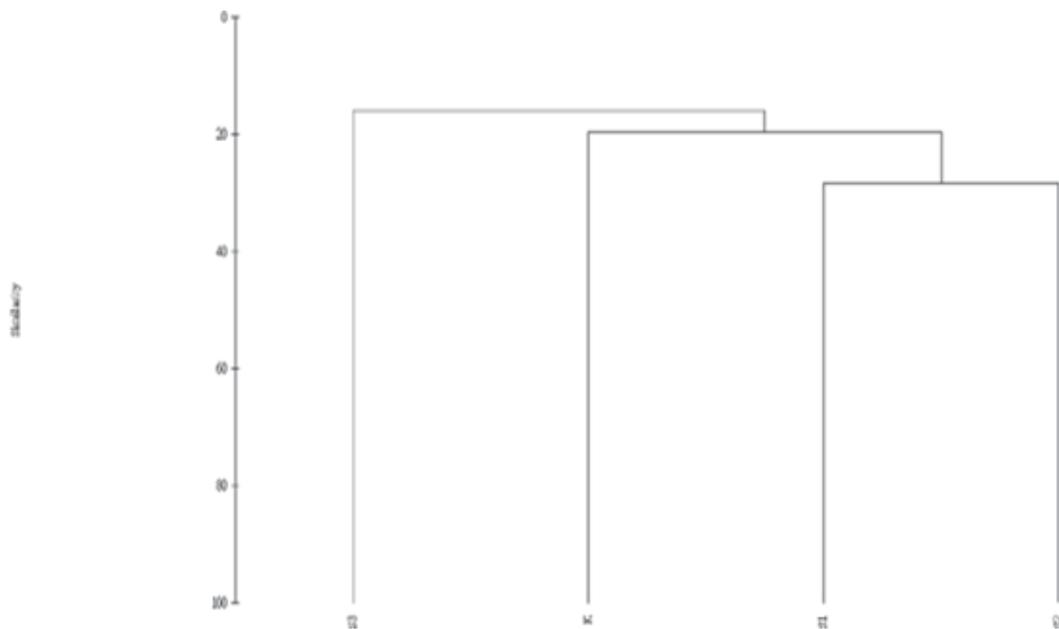
備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 4 2019 年 10 月份群聚相似性類聚分析

樣區	S1	S2	S3	K
S1	--			
S2	28.398	--		
S3	18.957	14.496	--	
K	21.435	17.794	14.12	--

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

圖 1 2019 年 10 月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。



樣區縮寫：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

十一月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 55 科 100 種 419 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 24 科 33 種 65 隻次、新興二號樣區 31 科 40 種 65 隻次、新興三號樣區 35 科 57 種 127 隻次，金峰鄉新興三樣區合計 50 科 105 種 261 隻次。十一月份的優勢種主要以雙翅目的日蠅科 (Heleomyzidae)、酪蠅科 (Piophilidae) 蠅類以及半翅目的葉蟬科 (Cicadellidae) 為主。十一月份的調查資

料，生物多樣性最高的樣區為新興三號 (S3) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.6436，生物多樣性最低樣區為崁頂 (K)，Shannon 多樣性指數 3.2087 (表5)。

相似性類聚分析方面，以新興一號與新興三號 (S1 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 29.846，最低者為新興一號與崁頂兩樣區 (S1 / K)，相似度 11.066 (表 6、圖 2)。

表 5 2019 年 11 月份生物多樣性與群聚分析

樣區	物種數 S	個體數 N	物種豐度 d	均勻度 J'	Shannon 多樣性指數 H'(loge)	優勢度指數 1-Lambda'
S1	33	65	7.6658	0.93334	3.2634	0.96683
S2	41	68	9.4798	0.93823	3.4842	0.97366
S3	57	125	11.598	0.9012	3.6436	0.96697
K	100	415	16.423	0.69675	3.2087	0.86945

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 6 2019 年 11 月份群聚相似性類聚分析

樣區	S1	S2	S3	K
S1	--			
S2	25.339	--		
S3	29.846	24.435	--	
K	11.066	19.525	20.896	--

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

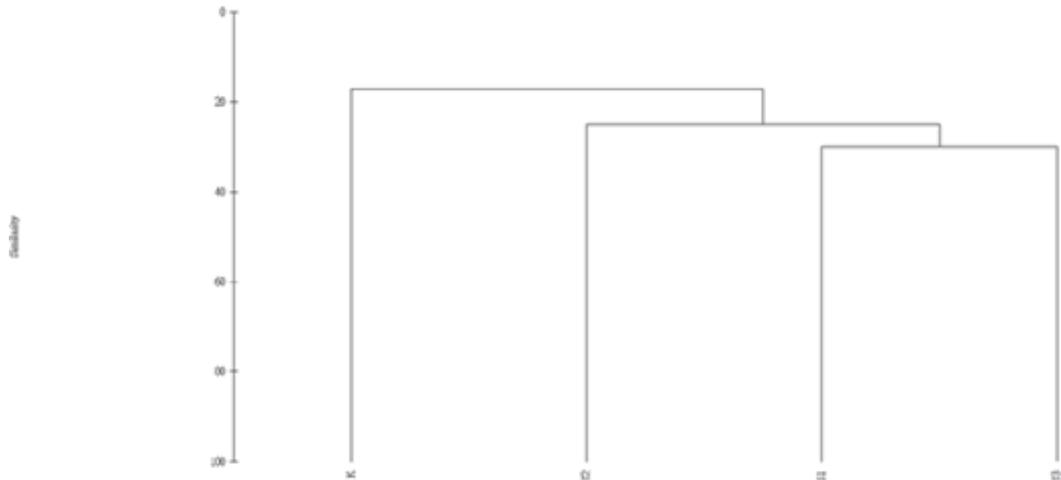


圖 2 2019年11月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

2020年一月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 47 科 64 種 111 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 30 科 45 種 215 隻次、新興二號樣區 16 科 20 種 28 隻次、新興三號樣區 14 科 20 種 55 隻次，新興三樣區合計 48 科 99 種 407 隻次。一月份的優勢種主要以長角跳蟲科 (Entomobryidae) 兩物種為主。一月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為

崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.9744，生物多樣性最低樣區為新興三 (S3)，Shannon 多樣性指數 2.479 (表7)。群聚相似性類聚分析方面，以新興一與新興三 (S1 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 41.903，最低者為新興三與崁頂兩樣區 (S3 / K)，相似度 7.2236 (表8、圖 3)。

表 7 2020 年 1 月份生物多樣性與群聚分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	45	215	8.1927	0.68606	2.6116	0.84855
S2	20	28	5.7019	0.95027	2.8468	0.96296
S3	20	55	4.7413	0.82749	2.479	0.88956
K	64	111	13.377	0.95564	3.9744	0.98624

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 8 2020 年 1 月份群聚相似性類聚分析

樣區	S1	S2	S3	K
S1	--			
S2	32.442	--		
S3	41.903	26.818	--	
K	11.481	12.613	7.2236	--

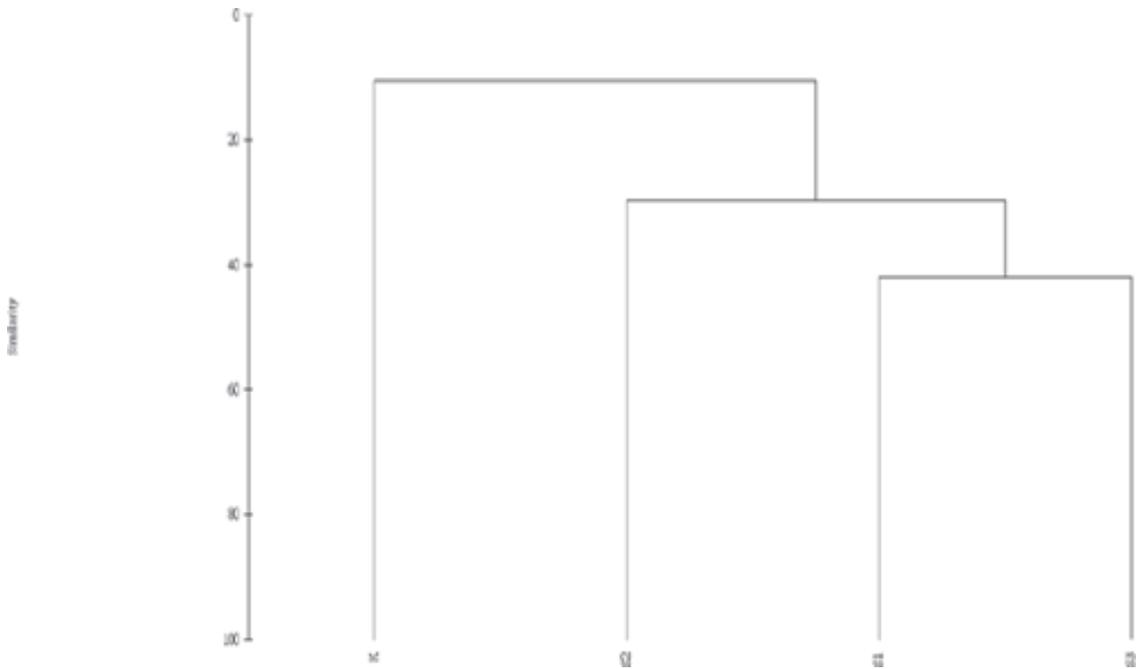


圖 3 2020年1月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 炭頂。

二月份在海端鄉炭頂樣區紀錄各種樣區動物共計 35 科 50 種 255 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 16 科 22 種 53 隻次、新興二號樣區 28 科 48 種 135 隻次、新興三號樣區 17 科 27 種 109 隻次，新興三樣區合計 44 科 94 種 315 隻次。二月份的優勢種主要以大附蠅科 (Sphaeroceridae)、果蠅科 (Drosophilidae)、蚤蠅科 (Phoridae) 蠅類、蟻科 (Formicidae) 的多樣寡家蟻、長角跳蟲科 (Entomobryidae) 物種、疥蟎目 (Sarcoptiformes) 物種為主。二月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為炭頂

(K) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.0337，生物多樣性最低樣區為新興三 (S3)，Shannon 多樣性指數 1.9621 (表 9)。群聚相似性類聚分析方面，以新興一與新興三 (S1 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 29.167，最低者為新興二與炭頂兩樣區 (S2 / K)，相似度 1.9455 (表 10、圖 4)。

表 9 2020 年 2 月份生物多樣性與群聚分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	22	53	5.2893	0.8682	2.6836	0.92163
S2	48	135	9.5815	0.76751	2.9712	0.90249
S3	27	109	5.5421	0.59532	1.9621	0.68892
K	50	257	8.8303	0.77548	3.0337	0.92479

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 10 2020 年 2 月份群聚相似性類聚分析

樣區	S1	S2	S3	K
S1	--			
S2	3.3683	--		
S3	29.167	5.1512	--	
K	2.665	1.9455	3.2521	--

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

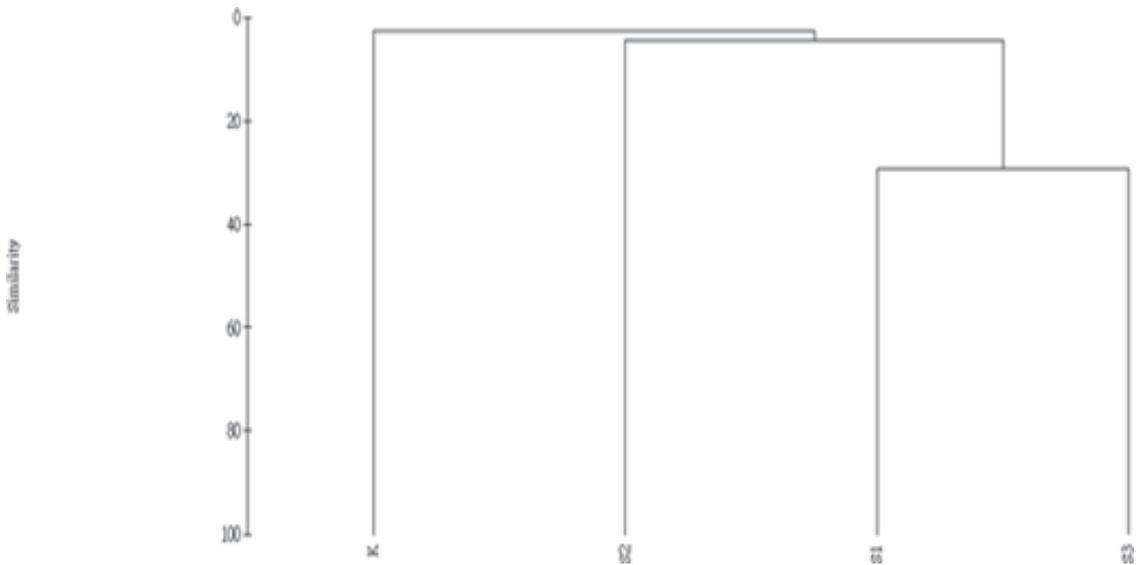


圖 4 2020年2月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

三月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 48 科 75 種 355 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 24 科 38 種 108 隻次、新興二號樣區 23 科 28 種 52 隻次、新興三號樣區 27 科 39 種 131 隻次，新興三樣區合計 71 科 126 種 646 隻次。三月份的優勢種主要以蕈蚋科 (Mycetophilidae)、蚤蠅科 (Phoridae) 蠅類、隱翅蟲科 (Staphylinidae)、長角跳蟲科 (Entomobryidae) 物種以及疥蟎目 (Sarcoptiformes) 物種為主。三月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.398，生物多樣性最低樣區為新興三 (S3)，Shannon 多樣性指數 2.901 (表 11)。群

聚相似性類聚分析方面，以新興一與新興三 (S2 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 31.69399，最低者為新興二與崁頂兩樣區 (S2 / K)，相似度 13.26781 (表 12、圖 5)。

表 11 2020 年 3 月份生物多樣性分析

樣區	物種數 S	個體數 N	物種豐度 d	均勻度 J'	Shannon 多樣性指數 H'(loge)	優勢度指數 1-Lambda'
S1	37	109	7.674	0.8619	3.112	0.9416
S2	28	52	6.833	0.8896	2.964	0.9412
S3	39	131	7.795	0.7919	2.901	0.9076
K	75	355	12.6	0.7869	3.398	0.9407

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 12 2020 年 3 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	28.57143			
S3	23.33333	31.69399		
K	15.08621	13.26781	15.63786	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

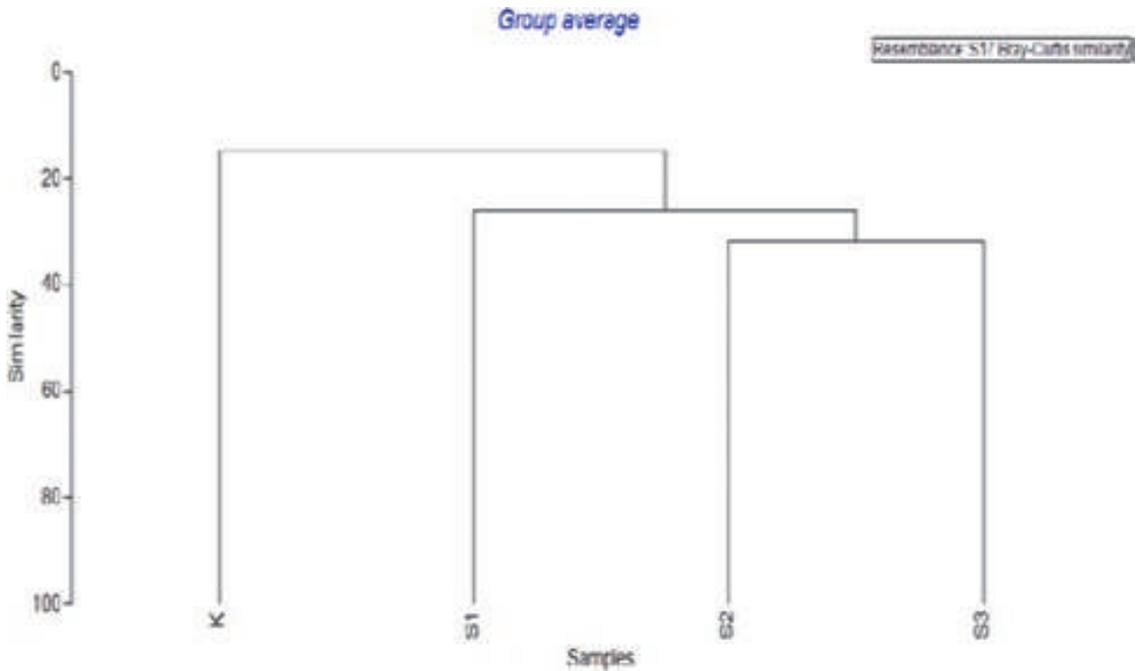


圖 5 2020年 3月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

四月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 34 科 54 種 115 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 34 科 51 種 133 隻次、新興二號樣區 10 科 10 種 24 隻次、新興三號樣區 28 科 42 種 153 隻次，新興三樣區合計 66 科 123 種 425 隻次。四月份的優勢種主要以大附蠅科、果蠅科、蚤蠅科、家蠅科，以及長角跳蟲科物種為主。四月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.5，生物多樣性最低樣區為新興二 (S2)，Shannon 多樣

性指數 2.062 (表 13)。群聚相似性類聚分析方面，以新興一與新興三 (S1 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 30.76923，最低者為新興一與新興二兩樣區 (S1 / S2)，相似度 10.19108 (表 14、圖 6)。

表 13 2020 年 4 月份生物多樣性分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	50	133	10.02	0.8727	3.414	0.9534
S2	10	24	2.832	0.8957	2.062	0.8841
S3	42	153	8.15	0.8124	3.037	0.9278
K	54	115	11.17	0.8774	3.5	0.9515

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 14 2020 年 4 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	10.19108			
S3	30.76923	11.29944		
K	29.03226	18.70504	19.40299	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

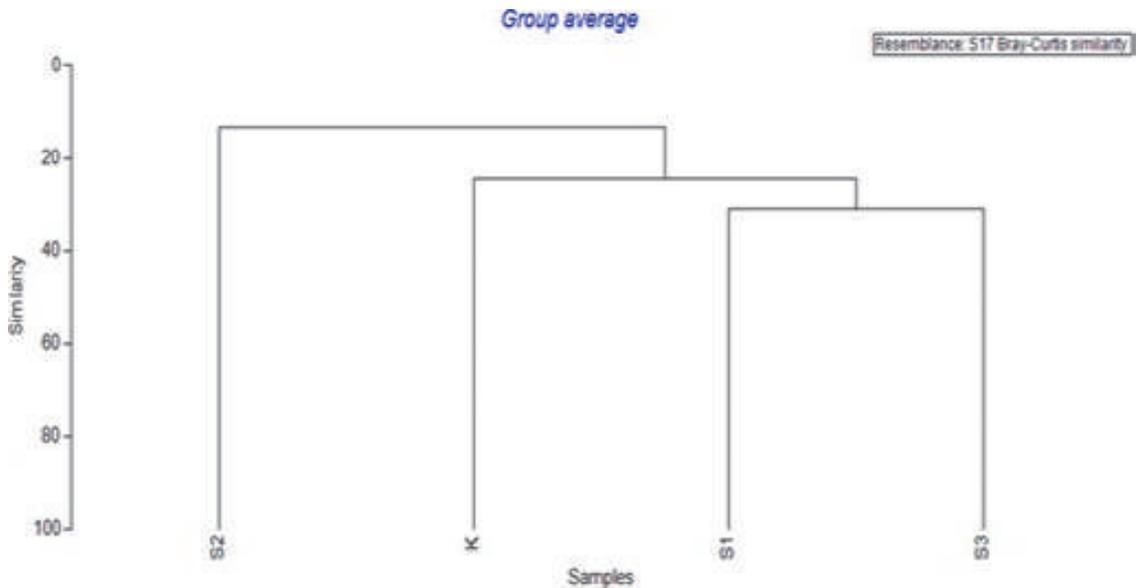


圖 6 2020年 4月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

五月份在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 97 科 272 種 930 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 58 科 105 種 321 隻次、新興二號樣區 11 科 15 種 21 隻次、新興三號樣區 25 科 35 種 106 隻次，新興三樣區合計 120 科 356 種 1378 隻次。五月份的優勢種主要以葉蟬科、蟻科、寄生蠅科、姬蜂科、小蠶蟲科、金龜子科、叩頭蟲科、隱翅蟲科、瓢蟲科、金花蟲科昆蟲，以及長角跳蟲科物種為主。五月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 4.984，生物多樣性最低樣區為新興三 (S3)，Shannon 多樣性指數 2.155 (表 15)。群聚相似性類聚分

析方面，以新興一與崁頂 (S1 / K) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 15.02798，最低者為崁頂與新興二兩樣區 (K / S2)，相似度 1.68244 (表 16、圖 7)。

表 15 2020 年 5 月份生物多樣性分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	104	321	17.85	0.8281	3.846	0.9537
S2	15	21	4.598	0.9444	2.558	0.9524
S3	35	106	7.291	0.6063	2.155	0.6783
K	272	930	39.65	0.8891	4.984	0.9882

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 16 2020 年 5 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	4.678363			
S3	8.899297	11.02362		
K	15.02798	1.68244	5.405405	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

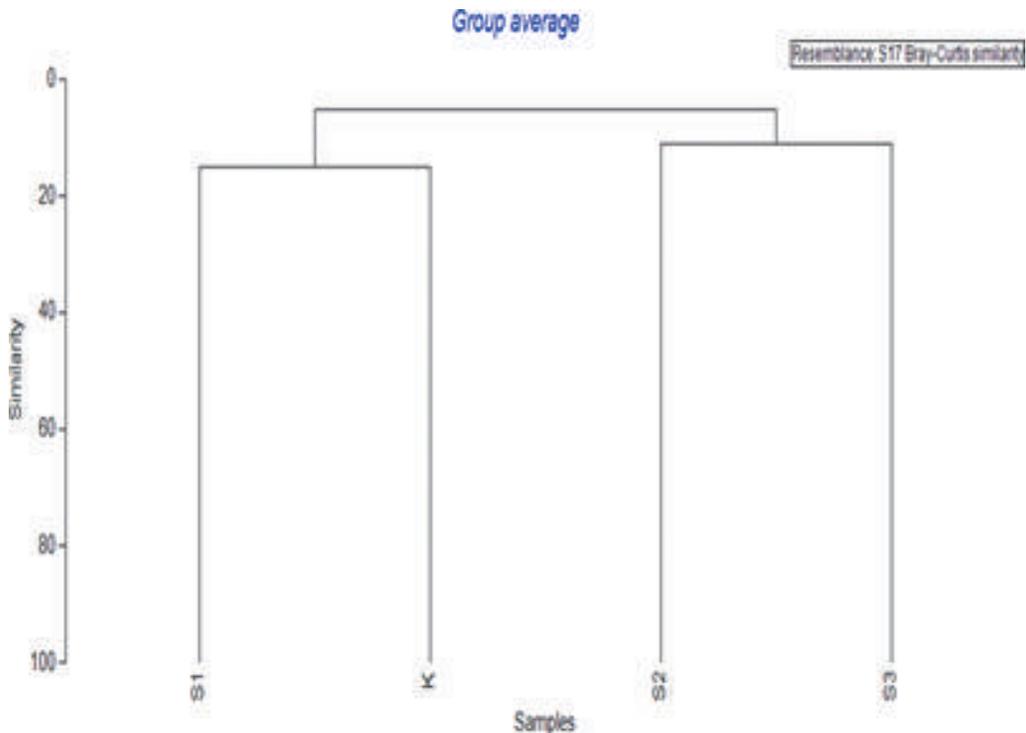


圖 7 2020 年 5 月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。
備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

六月份在海端崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 49 科 85 種 209 隻次；金峰鄉新興一號樣區 46 科 89 種 261 隻次、新興二號樣區 9 科 11 種 18 隻次、新興三號樣區 22 科 33 種 79 隻次，新興三樣區合計 78 科 178 種 567 隻次。六月份的優勢種主要以蟻科、叩頭蟲科、瓢蟲科、金花蟲科、長角象鼻蟲科物種為主。六月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 3.788，生物多樣性最低樣區

為新興二 (S2)，Shannon 多樣性指數 2.091 (表 17)。群聚相似性類聚分析方面，以新興一與崁頂 (S1 / K) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 12.82051，最低者為新興三與新興二兩樣區 (S3 / S2)，相似度 2.061856 (表 18、圖 8)。

表 17 2020 年 6 月份生物多樣性分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	89	262	15.8	0.8348	3.747	0.9505
S2	10	18	3.114	0.9082	2.091	0.902
S3	33	79	7.324	0.8517	2.978	0.9159
K	83	206	15.39	0.8573	3.788	0.9576

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 18 2020 年 6 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	7.142857			
S3	12.31672	2.061856		
K	12.82051	2.678571	10.52632	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

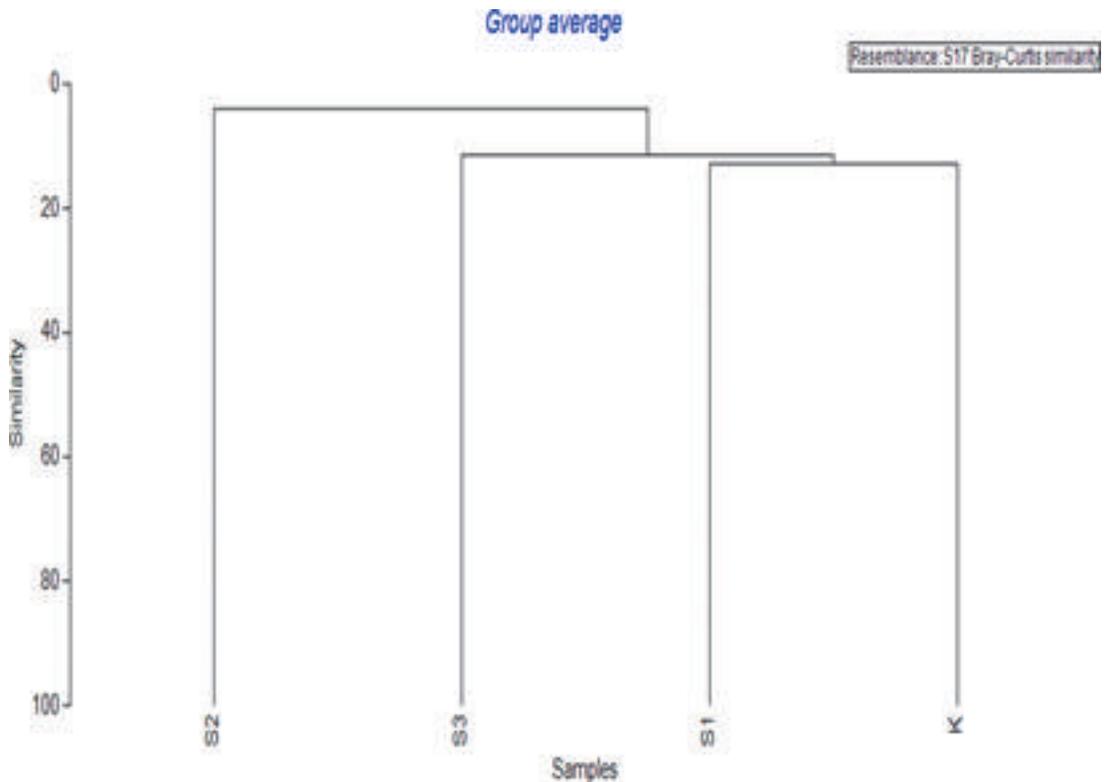


圖 8 2020年6月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

七月份在海端崁頂樣區紀錄各種樣區動物共計 58 科 98 種 232 隻次；金峰鄉新興一號樣區 11 科 15 種 25 隻次、新興二號樣區 10 科 11 種 32 隻次、新興三號樣區 25 科 44 種 88 隻次，新興三樣區合計 73 科 141 種 377 隻次。七月份的優勢種主要以蟻科、瓢蟲科、長角跳蟲科物種為主。七月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為崁頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 4.134，生物多樣性最低樣區為新興二 (S2)，Shannon

多樣性指數 1.833 (表 19)。群聚相似性類聚分析方面，以新興二與新興三 (S2 / S3) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 20.16807，最低者為新興一與崁頂兩樣區 (S1 / K)，相似度 7.003891 (表 20、圖 9)。

表 19 2020 年 7 月份生物多樣性分析

樣區	物種數		物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	14	25	4.039	0.9438	2.491	0.9433
S2	11	32	2.885	0.7646	1.833	0.7661
S3	43	87	9.405	0.9061	3.408	0.9602
K	97	232	17.63	0.9036	4.134	0.9776

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 20 2020 年 7 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	17.54386			
S3	14.28571	20.16807		
K	7.003891	11.36364	10.03135	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

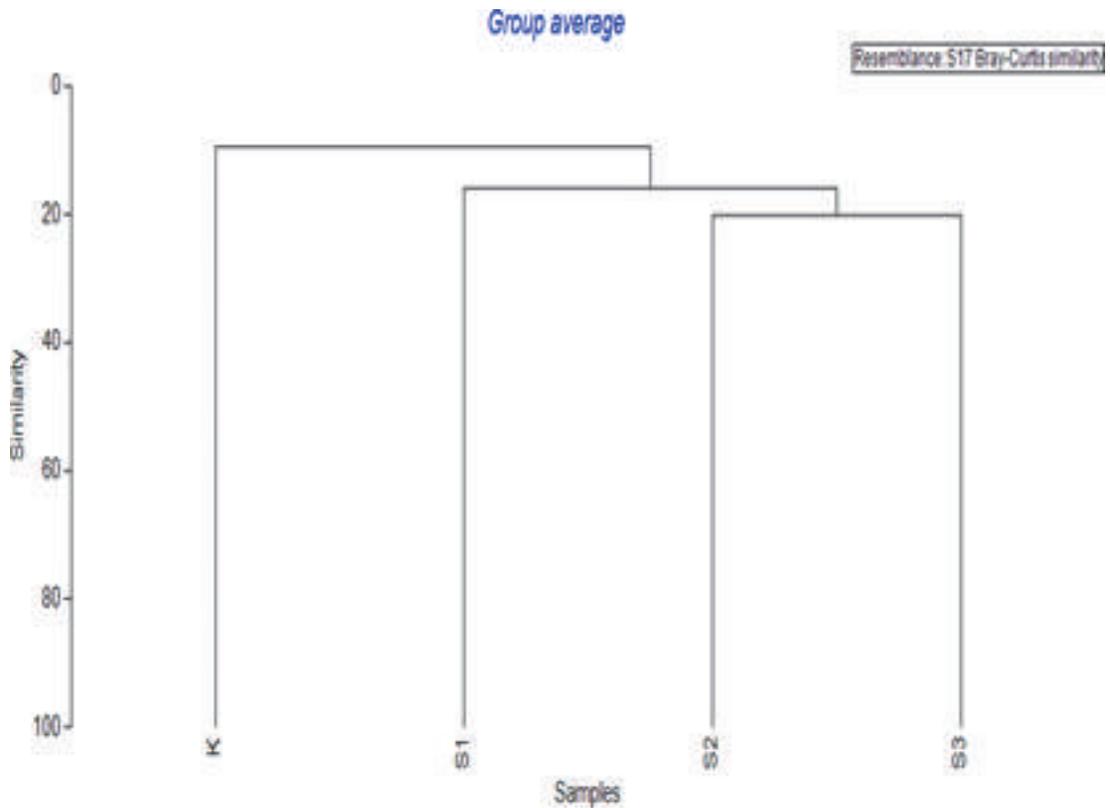


圖 9 2020年7月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 炭頂。

八月份在海端炭頂樣區紀錄各種樣區動物共計 64 科 148 種 335 隻次；金峰鄉的新興一號樣區 20 科 26 種 52 隻次、新興二號樣區 22 科 27 種 36 隻次、新興三號樣區 30 科 44 種 186 隻次，新興三樣區合計 80 科 194 種 609 隻次。八月份的優勢種主要以蟻科、瓢蟲科、長角跳蟲科物種為主。八月份的調查資料，生物多樣性最高的樣區為炭頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數 4.573，

生物多樣性最低樣區為新興三 (S3)，Shannon 多樣性指數 2.858 (表 21)。群聚相似性類聚分析方面，以新興二與新興一 (S2 / S1) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 31.81818，最低者為新興二與炭頂兩樣區 (S2 / K)，相似度 7.54717 (表 22、圖 10)。

表 21 2020 年 8 月份生物多樣性分

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	24	52	5.821	0.9172	2.915	0.951
S2	26	36	6.976	0.9536	3.107	0.973
S3	43	186	8.037	0.7599	2.858	0.9067
K	146	335	24.94	0.9177	4.573	0.9862

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表 22 2020 年 8 月份群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	31.81818			
S3	21.84874	13.51351		
K	8.268734	7.54717	10.74856	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

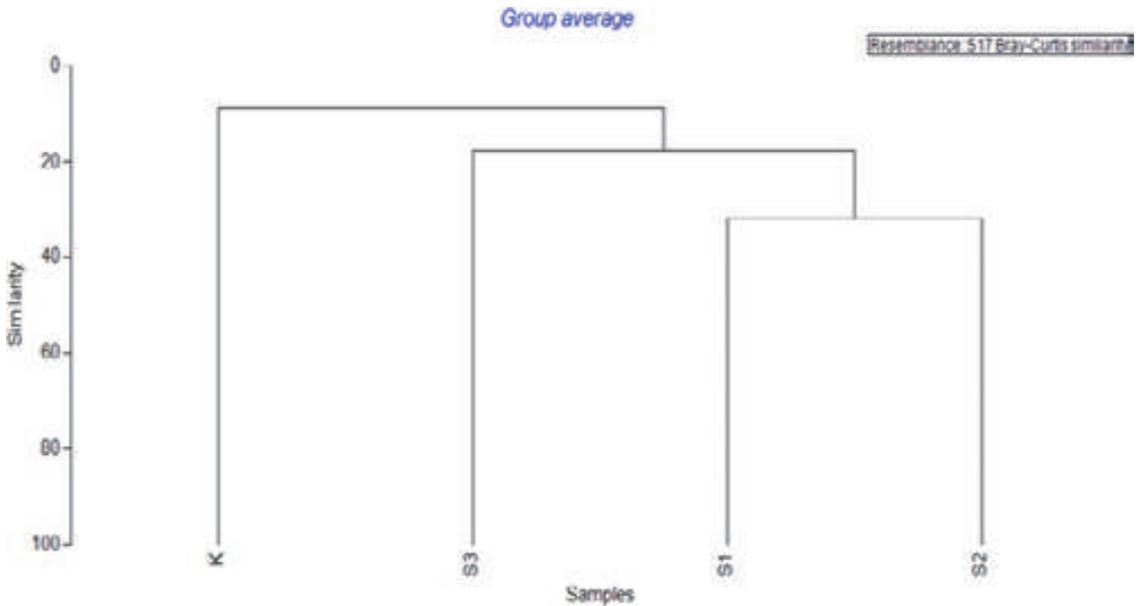


圖 10 2020年8月份各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 炭頂。

目前已完成的全期調查，共計在海端鄉炭頂樣區紀錄各種樣區動物（包括小型哺乳類、兩生類、爬蟲類與節肢、環節與軟體動物等無脊椎動物類群）共計 168 科 279 種 3087 隻次；金峰鄉新興一樣區計 99 科 104 種 902 隻次；新興二樣區計 46 科 48 種 183 隻次；新興三樣區計 88 科 126 種 1103 隻次；海端鄉炭頂與金峰鄉新興兩地樣區，共計於調查期間內紀錄 199 科 385 種 5275 隻次棲息於小米田棲地的小型脊椎與無脊椎動物。2020 年全期小米田生物多樣性調查狀況，生物多樣性最高的樣區為炭頂 (K) 樣區，Shannon 多樣性指數

5.557，生物多樣性最低樣區為新興二號 (S2)，Shannon 多樣性指數 3.927 (表 23)。群聚相似性類聚分析方面，以新興三號與新興一號 (S3 / S1) 兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，相似度 (similarity) 達 32.65306，最低者為新興二號與炭頂兩樣區 (S2 / K)，相似度 8.547009 (表 24、圖 11)

表 23 2020 年全期生物多樣性分析

樣區	物種數	個體數	物種豐度	均勻度	Shannon 多樣性指數	優勢度指數
	S	N	d	J'	H'(loge)	1-Lambda'
S1	226	902	33.07	0.8637	4.682	0.9837
S2	78	183	14.78	0.9013	3.927	0.9741
S3	249	1107	35.38	0.8278	4.567	0.9787
K	623	3093	77.39	0.8637	5.557	0.9905

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

表24 2020 年全期群聚相似性類聚分析

	S1	S2	S3	K
S1				
S2	22.1198156682028			
S3	32.6530612244898	18.9147286821705		
K	25.8823529411765	8.54700854700855	24.5238095238095	

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

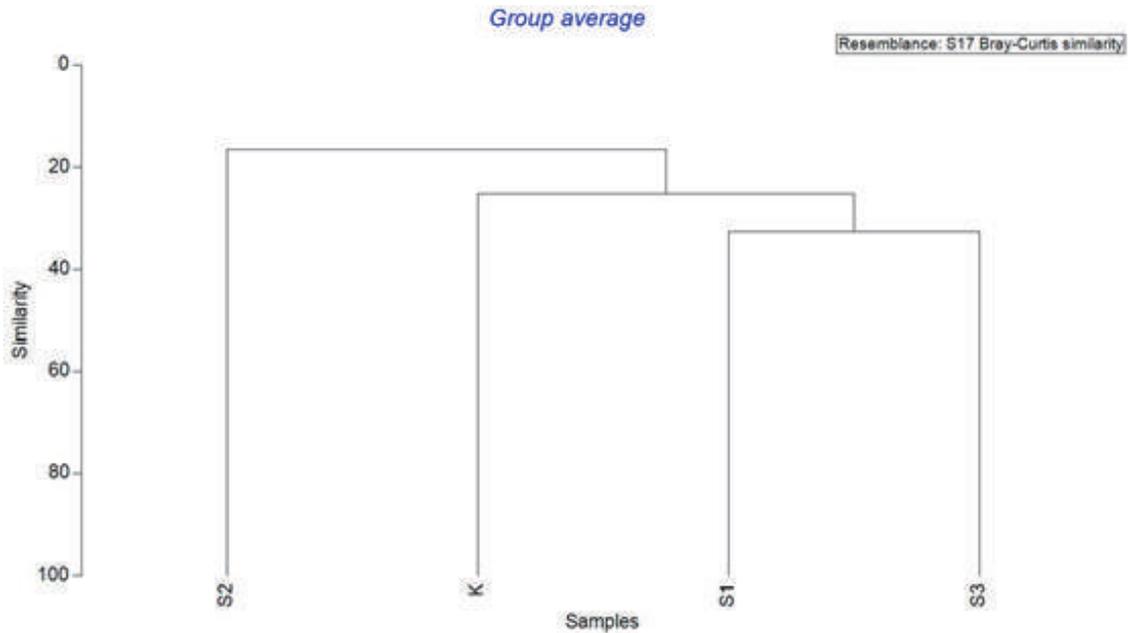


圖 11 2020年全期各樣區生物多樣性群聚相似度類聚分析。

備註：S1: 新興一；S2: 新興二；S3: 新興三；K: 崁頂。

肆、結論與建議

目前已完成 2019 年 10-11 月的試作調查與本年度 (2020) 1-8 月份全期調查工作，海端鄉崁頂與金峰鄉新興兩地的小米田小型動物多樣性指數與群聚關係顯示，兩地的動物群聚結構呈明顯差異性。

本年度之調查由海端鄉與金峰鄉兩地的小米田調查樣區中，共計在海端鄉崁頂樣區紀錄各種樣區動物 (包括小型哺乳類、兩生類、爬蟲類與節肢、環節與軟體動物等無脊椎動物類群) 共計

168 科 279 種 3087 隻次；金峰鄉新興一號樣區計 99 科 104 種 902 隻次；新興二號樣區計 46 科 48 種 183 隻次；新興三號樣區計 88 科 126 種 1103 隻次，共計達 2188 隻次；海端鄉崁頂與金峰鄉新興兩地樣區，共計於調查期間內紀錄 199 科 385 種 5275 隻次棲息於小米田棲地的小型脊椎與無脊椎動物。生物多樣性最高的樣區為崁頂樣區，生物多樣性最低樣區為新興二號。群聚相似性類聚分析方面，以新興三號與新興一號兩樣區間的生物群聚組成相似性最高，最低者為新興二號與崁頂兩樣區。海端鄉

炭頂與金峰鄉新興樣區，在已完成的調查中，小米田中的小型動物生物多樣性與動物群聚結構都具有時間序列上的差異性，顯示此二地的小型動物生物群聚具有相當高的異質性，且在不同月份間，其優勢物種也具有明顯變化，導致在計算調查料時，呈現此時間序列差異。未來，這是個非常值得持續探討的議題，因同為旱作的農業區，生物群聚結構的差異性可能導致包括授粉昆蟲來源不同、農業區的周邊生物群聚與依存這些群聚的食物網 (food web) 也產生差異，這在討論原住民文化傳承、區域生物多樣性以及糧食生產關係時，都將是一個非常重要且值得重視的面向。因各區域具有高度的棲地與生物相異質性，在倡議生物多樣性議題時，就不能自陷於僅只發展樣板 (或明星) 示範區，必須兼顧維護各區域的特色與價值，因此從事小米或傳統農耕文化的各部落，皆具有獨特的生物多樣性意義與特有價值，需投入更全面的調查研究、彰顯其特色與並推動永續發展。

經由本年度的調查研究顯示，小米田共生棲息的小型動物多樣性與生物量豐度極為龐大，臺東地區的原住民傳統農業區與傳統農法，對農業生態與生物

多樣性的貢獻，值得深入探索研究，並應進行長期監測調查；或於傳統原住民農業區 (低密度土地開發利用) 與其他高密度土地開發利用區域進行對比式調查監測，以了解原住民傳統農法在生物多樣性維護議題上的生態功能。

此外，由於小米農作屬於旱田種植，相較於水田種植水稻的農業型態，兩種作物的水足跡具有極大差異，若能充分計算並比較小米與水稻在水足跡與耗水性的差異性，對水資源的使用、管理與未來我國糧食安全與水資源政策的推動，當可做出重大貢獻。儘管小米農業在目前屬於小規模之經濟型態，直接販售所能獲得之經濟價值相對不高，且受進口小米低價競爭壓力，較難直接且立即性地創造原鄉經濟；但若將小米之栽種農業結合探討生物多樣性維護與保育貢獻、水資源管理、土地利用，比較小米與稻米在與土壤相關物質元素循環 (碳、磷、氮等) 的差異性，並就小米種植產業與原住民傳統文化、歷史藝術等精神價值進行系統性檢核與論述，當能將小米的價值從單純的傳統農業建構為具有經濟、文化與環境資源共構之結構性脈絡，亦即將小米農業所代表的原住民傳統農業價值最大化，則可大幅提升

原住民傳統農業型態中，小米文化的貢獻。

本年度完成的小米田動物項調查監測並分析其群聚結構與生物多樣性組成特徵等研究工作，有助於研議擬訂新的研究議題與探索方向，結合原住民傳統農業價值、里山農業的精神與對環境的裨益等層次，探討在傳統原民農業經濟之下，農業生物多樣性對在地居民文化與健康之影響。

伍、參考文獻

- 李奇峰、鄭興宗（2007）。台灣產金花蟲科圖誌(1)。臺北：四獸山昆蟲相調查網。
- 李奇峰、鄭興宗（2010）。台灣產金花蟲科圖誌(2)。臺北：四獸山昆蟲相調查網。
- 李奇峰、曹美華、鄭興宗（2016）。台灣產金花蟲科圖誌(3)。臺北：四獸山昆蟲相調查網。
- 呂光洋、杜銘章、向高世（1999）。臺灣兩棲爬行動物圖鑑。臺北：中華民國自然保育生態協會。
- 周文一（2008）。台灣天牛圖鑑。臺北：貓頭鷹出版社。
- 林義祥、虞國躍（2012）。瓢蟲圖鑑。臺中：晨星出版社。
- 張永仁（1998）。昆蟲圖鑑。臺北：遠流出版社。
- 陳克敏（2002）。冀金龜的世界。臺北：貓頭鷹出版社。連日清（2004）。臺灣蚊種檢索。新北：藝軒圖書出版社。許育銜（2009）。鳴蟲音樂國。臺北：天下遠見出版社。
- 鄭勝仲、林義祥（2013）。椿象圖鑑。臺中：晨星出版社。
- 謝伯娟、吳書平、蔡奇立（2013）。臺灣蝸牛圖鑑(三版)。臺北：行政院農業委員會林務局。
- Johnson, N. F., Triplehorn, C. A. (2004). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*(7th). Boston, BSN: Cengage Learning.
- Papp, L.; Darvas, B. (1997) *Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera Volume 2: Nematocera and Lower Brachycera*. Budapest: Science Herald.
- Papp, L.; Darvas, B. (1998) *Contributions to a Manual of Palaearctic Diptera Volume 3: Higher Brachycera*. Budapest: Science Herald.

- Ruppert, E. E., Fox, R. S., and Barnes, R. D. (1994). *Invertebrate Zoology: A Functional Evolutionary Approach* (7th). Boston, BSN : Cengage Learning.
- Yoshida, T., Karner, M., and Hirowatari, T. (2018). *A Revision of Taiwanese Species in the Genus Psammoecus Latreille* (Coleoptera, Silvanidae). *Zoological Studies* 57(18)
- 中央研究院生物多樣性研究中心。
TaiBNET 臺灣物種名錄【線上名錄】。取自
<http://taibnet.sinica.edu.tw/home.php>
- 行政院農業部林業及自然保育署自然保育網。保育類野生動物名錄。取自
<https://conservation.forest.gov.tw/0-002021>
- 蠟蠟的異想世界。取自
https://www.facebook.com/groups/2-84250961783294/?ref=group_browse
- 臺灣膜翅目研究社 (Taiwan Hymenopterist Club))。取自
https://www.facebook.com/groups/393148477475231/?ref=group_browse
- 臺灣的隱翅蟲 Staphyliniformia from Taiwan。取自
https://www.facebook.com/groups/855310991230738/?ref=group_browse
- 臺灣的嚙蟲。取自
https://www.facebook.com/groups/151884478314100/?ref=group_browse
- 臺灣的螞蟻 Formicidae from Taiwan。取自
https://www.facebook.com/groups/426143717577423/?ref=group_browse
- 直翅目生態貼圖發問區 Orthoptera of Taiwan。取自
https://www.facebook.com/groups/569332026476460/?ref=group_browse
- 臺灣椿象(蝽類)分類生態誌。取自
https://www.facebook.com/groups/583329348353349/?ref=group_browse
- 臺灣的食糞群金龜 (Coprophagous group scarab-beetles of Taiwan)。取自
https://www.facebook.com/groups/414444592276226/?ref=group_browse

browse

慕光之城-蛾類世界 PART 2。取自

https://www.facebook.com/groups/458912734201477/?ref=group_

browse

臺灣的擬步總科 Friends of Tenebrion-
oidea。取自

https://www.facebook.com/groups/1642536302700110/?ref=group_

browse

蠟蟻討論板(Dermaptera of Taiwan)。取

自 https://www.facebook.com/groups/469609406429953/?ref=group_browse

臺灣的象鼻蟲 (Weevils from Taiwan)。
取自

https://www.facebook.com/groups/608406765959113/?ref=group_browse

臺灣蛛式會社。取自

https://www.facebook.com/groups/244193792337063/?ref=group_browse

台灣螳螂研究公會。取自

https://www.facebook.com/groups/165773213492752/?ref=group_browse

臺灣的郭公蟲 Cleridae From Taiwan。
取自

https://www.facebook.com/groups/815030058583003/?ref=group_browse

臺灣的叩頭蟲。取自

https://www.facebook.com/groups/546390365417317/?ref=group_browse

臺灣的金花蟲。取自

https://www.facebook.com/groups/125650937534462/?ref=group_browse

昆蟲各種問題貼圖討論區。取自

https://www.facebook.com/groups/369189783201470/?ref=group_browse

台灣昆蟲譜。取自

<http://gaga.biodiv.tw/9701bx/in94.htm> BugGuide。取自
<https://bugguide.net/node/view/15740>

Biological Diversity Survey of Millet Fields in Taitung, Taiwan

CHENG-TE HUANG¹, TING-YANG CHIEN²

Abstract

This study offers an overview of biodiversity survey in three millet fields in Sinxing Village, Jinfeng Township, Taitung County, and one millet field in Kanding Village, Haiduan Township, Taitung County. This study included two pretests in 2019 and monthly monitoring from January to August in 2020, focusing on terrestrial small mammals, arthropods, reptiles, amphibians, soil annelids, and mollusk species. The results documented a total of 199 families, 385 species, and 5275 individuals of both vertebrate and invertebrate animals inhabiting the millet field habitats. This highlights the immense diversity and abundance of small animals coexisting in millet fields. The findings also underscore the significant contribution of indigenous communities in Satoyama regions, practicing traditional agriculture and farming methods, to the ecology and biodiversity of agriculture. Further in-depth exploration and long-term monitoring are warranted to better understand and study this relationship.

Key words: millet field, biological diversity, indigenous traditional agriculture

龜山島蝶相之時空分布

楊月姿¹、陳建志²

摘要

本研究為探討龜山島蝶相組成及時空分布。採用穿越線調查法，選擇龜尾湖環湖步道林緣及草地環境、高地步道森林環境和401步道山頂共4條樣線，記錄穿越線兩側之蝶種、隻次及行為。調查期間為2020年6月至2022年7月，排除封島期間8個月，期間計18個月，共完成72次有效穿越線調查。

本研究調查結果，記錄到龜山島的蝴蝶共有5科99種6,431隻次。與過去紀錄相比，新增無尾白紋鳳蝶、翠斑青鳳蝶(綠斑鳳蝶)、紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)、深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶)和蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)、尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶)、斑鳳蝶(褐斑鳳蝶)、玳灰蝶(恆春小灰蝶)、淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶)等9種新紀錄種，加上東北角管理處志工於2020年4月18日記錄到的新紀錄種墨子黃斑弄蝶(細帶黃斑弄蝶)，共計10種，此結果使龜山島蝴蝶名錄由原先文獻記載的120種增加至130種。加上本研究結束後新紀錄的小雙尾蛺蝶(姬雙尾蝶)及方環蝶(鳳眼方環蝶)，龜山島的蝴蝶紀錄為132種。

Shannon-Weiner多樣性指數分析結果，各月份指數分布多在2.5至3.3之間，而以2021年3月份的1.5為最低，顯示島上蝶類多樣性穩定，是生態豐富的島嶼；在最低指數的該月份是因豆波灰蝶和白粉蝶的大量發生，造成分布不均而指數偏低，是值得探討的問題；各樣線中以環湖步道林緣及高地步道森林的3.38及3.35為最高，環湖步道草地的1.81為最低，可看出草地環境的蝶類主要為少數種類優勢者，造成其生物多樣性指數較林緣及森林環境為低。由於島上植被維護管理對於蝶類分布和活動影響較大，但顧及遊客安全與環境維護，島上的除草工作無法避免，因此本研究建議採分區處理降低干擾，並且加強工作人員對寄主植物的辨識以免誤除重要植物而影響蝴蝶生態。

關鍵詞：龜山島、蝶相、時空分布、多樣性指數

1 交通部觀光署東北角及宜蘭海岸國家風景區管理處

2 臺北市立大學

壹、前言

臺灣本島蝴蝶資源豐富，種類記錄大致完備，然而離島蝶相資料尚不齊備。臺灣離島蝶相各具特色，鄰近大陸沿海者具有大陸性蝶相，有的則受菲律賓等海洋性島嶼的影響（徐堉峰、王守民、黃行七、呂晟智，2014）。

龜山島位於臺灣東北部的太平洋中，距離臺灣本島約10公里，東西長約3.3公里、南北長1.7公里和海岸線長約10公里，面積約2.85平方公里（交通部觀光局東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處，2022年6月），島上紀錄的蝶種超過100種，但是早期蝶相文獻僅有零星記錄，未有長期系統性資料呈現，因此龜山島的蝶相應深入探討。（徐堉峰、黃行七、千葉秀幸，2009）

本研究旨在建立龜山島蝴蝶多樣性資料庫，探討龜山島蝶相組成及其變化與環境的關係。希望透過本研究了解島上的蝴蝶資源，並充實近年臺灣地區蝴蝶資源在離島的資料庫，同時提出建議提供相關管理單位在推廣環境教育、自然保育和環境維護棲地營造等方面之參考。

貳、文獻探討

龜山島的蝴蝶調查文獻零星不多，但大致可分述如下：

1. 日治時期

有關龜山島陸域最早的動物學採集行動始於1932年，在日治時期並無龜山島蝶類專文之記載（吳永華，1997、2002）。僅有一筆為1932年丹桂之助在〈台北州龜山島旅行記〉中提到記錄蝶類5種。端紅蝶 (*Hebomoia glaucippe formosana*)、青帶鳳蝶(*Graphium sarpedon connectens*)、大白斑蝶(*Idea leuconoe clara*)、琉球青斑蝶(*Ideopsis similis*)、黑脈樺斑蝶(*Danaus genutia*)。（李英茂譯，1996）。

2. 國立臺灣大學的調查

《龜山島生物資源與地質調查報告書》列出青帶鳳蝶、黑鳳蝶(*Papilio protenor protenor*)、青斑蝶(*Parantica sita nipponica*)、琉球青斑蝶、圓翅紫斑蝶(*Euploea eunice hobsoni*)、大白斑蝶、黑端豹斑蝶(*Argynnis hyperbius*)、白條蔭蝶(*Penthema formosanum*)、小蛇目蝶(*Mycalesis francisca formosana*)、褐弄蝶(*Pelopidas mathias oberthueri*)、白裙弄蝶(*Tagiades cohaerens*)、沖繩小灰

蝶(*Zizeeria maha okinawana*)、紅邊黃小灰蝶(*Heliophorus ila matsumurae*) 共計有13種蝴蝶。楊平世指出青斑蝶被證實會北渡日本鹿兒島，因此龜山島的青斑蝶是否也會往北遷飛，或成為陽明國家公園之青斑蝶北遷的中繼站，的確值得深入探討(楊平世，1994、2002)。

3. 臺灣省立博物館人員的調查

李俊延指出龜山島蝴蝶相的特色有二：蝴蝶種類與臺灣本島共通性高以季風型蝴蝶種類多。同時提到島上有棕櫚科的蒲葵純林，在臺灣本島地區已知是紫蛇目蝶和黑星弄蝶的幼蟲寄主植物，尚未觀察到，但可能性很大(李俊延，1997)；林春吉記錄到7科42種蝶類(林春吉，1997)。王效岳、李俊延在《龜山島的蝴蝶與蛾類》中介紹島上發現56種蝶類(王效岳、李俊延，1998)。

4. 社團法人宜蘭縣野鳥學會的調查

在2001至2003年間社團法人宜蘭縣野鳥學會調查團隊登島十餘次，共記錄到76種蝴蝶(吳永華，2002；黃行七，2006)。

5. 社團法人台灣蝴蝶保育學會的調查暨文獻彙整

蝶會義工在2002年開始陸續登龜山島調查共記錄到110種，其中新紀錄種

有27種，並彙整文獻截至2007年龜山島的蝴蝶種數有118種，並提及這樣小面積島嶼其蝶種的來源多樣，值得更深入探討(黃行七、徐渙之、洪素年、吳文德，2009)；於2020年黃行七增列黃鉤蛺蝶，龜山島蝴蝶名錄增至119種。2005年401高地捕獲一隻由日本鹿兒島飛到龜山島的青斑蝶(大絹斑蝶) *Parantica sita nipponica*，證實日本的青斑蝶會隨東北季風來到龜山島(陳威光，2005；黃行七，2016)。

6. 臺北市立動物園執行臺灣狐蝠計畫意外記錄到保育種蝶類

2009年4月11日動物園陳湘繁博士研究團隊在龜山島曾有一筆黃裳鳳蝶(*Troides aeacus formosanus* Rothschild, 1899)紀錄，此蝶種目前被歸為第Ⅲ級保育類，也是島上截至目前為止唯一一筆保育類紀錄，是由團隊成員林青峰、吳慧雯在島上做臺灣狐蝠相關研究時，於龜尾區域海巡署所屬營區的前方草地所目擊到的，當時該蝶飛行未能留下影像紀錄。研究者當年在島上執行志工勤務時與林和吳兩位相遇，因而取得此筆珍貴資料。

前人文獻到目前為止共有120種蝶類紀錄，本研究調查結果將與之比較差

異及探討。綜合上述，早期文獻零星稀少，益顯珍貴。但缺乏長期、標準化且系統性的調查資訊，文獻上呈現多以獲取蝴蝶名錄為重，而蝴蝶數量及時空分布等相關資料較為稀少，甚或闕如，所以更凸顯利用科學方法建立資料庫及探討的重要性。

參、研究方法

一、樣區環境描述

龜山島因形似浮龜而得名，龜首向東，呈橢圓錐形；龜甲向北成方形，南為凹地、北為扇形山麓，有小溪，水量極少；龜尾向西北延伸有一砂嘴長約1公里；龜頸岩層由交叉的火山碎屑岩流組成，碎屑岩流動的方向為來自東方的龜首和西方的龜甲兩個方向，碎屑岩流動的方向可指示火山口的位置，因此推測龜山島至少有兩個火山口，一在龜首的東側，一是龜甲的南方，由碎屑岩流的交叉結構分析，來自龜首的火山碎屑岩覆蓋在來自龜甲的火山碎屑岩上，推測龜首的火山比龜甲火山年輕，但噴發規模可能較小（王崧興，1967；宋增璋，1989；江協堂，2020/12）。蔡志忠（2009）提到全島海岸線大多是斷崖直

逼入海，僅在龜尾及東北岸的龜潭一帶
有礫灘地，適合海漂果實著陸，其餘地區過於陡峭及海浪侵蝕作用，海漂植物難以著陸生長。西方最早對龜山島的稱呼為Steep Island，為陡崖島之意。龜山島以火山地形和全臺唯一的天然蒲葵林著稱（鍾喬等人，1993）。島上保留許多東北角地區少見的物種，在生物地理學上有重要的意義（陳子英、袁孝維，2022）。

本研究以宜蘭縣頭城鎮龜山島為研究範圍，採用穿越線調查法，依環境棲地規劃為環湖步道之環湖林緣、環湖草地、高地步道和401山頂，記錄穿越線兩側之蝶種、隻次及行為。

臺灣本島與龜山島相關位置圖及研究範圍示意圖，如圖1.所示。



圖1. 臺灣本島與龜山島相關位置圖及研究範圍示意圖

資料來源：修改自：mapbox.com (2022/06)。龜山島等高線圖【地圖資訊】。
。取自：<https://www.mapbox.com/>。

二、樣區的選定

(一)樣區的選定

本研究是以宜蘭縣頭城鎮龜山島為研究範圍，依不同棲地類型劃定穿越線樣區。分別為環湖步道1,300m(分為林緣及草地環境)、高地步道(森林環境)1,300m及401山頂(稜線環境)，穿越線位置請見圖1。

1.環湖步道湖畔次生林緣 (lakeside secondary forest margin)

龜尾湖環湖步道，全長1.300m。在環境棲地不同劃分為林緣環境750m(湖東南側)及開闊地環境(湖西北側)550m。此區步道如圖2.所示，為海岸林植物相，屬於林緣環境。觀音像後方熔岩丘難以涵養水源，山壁常滲水，此處步道極為濕滑，其他路段較為乾燥。步道階

梯沿龜尾湖而設高低起伏不小，時而透光時而屬於半陰暗環境。

經研究者調查步道兩旁的植物，主要有菊科：刀傷草 (*Ixeridium laevigatum*)、黃鵪菜(*Young japonica japonica*)、細葉假黃鵪菜 (*Crepidiastrum lanceolatum*)、雙花蟛蜞菊 (*Wedelia biflora biflora*)、臺灣山菊 (*Farfugium japonicum formosanum*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa radiata*)、琉球澤蘭(*Eupatorium luchuense*)；桑科：小葉桑(*Morus australis*)、菲律賓榕(*Ficus ampelas*)、雀榕(*Ficus subpisocarpa*)、牛奶榕(*Ficus erecta beecheyana*)、榕樹(*Ficus microcarpa*)、椶果榕(*Ficus septica*)、薜荔(*Ficus pumila pumila*)；芸香科：雙面刺(*Zanthoxylum nitidum*)、食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides ailanthoides*)、賊仔樹(*Tetradium glabrifolium*)、假三腳蟹(*Melicope triphylla*)；夾竹桃科：爬森藤 (*Parsonsia alboflavescens*)、鷓鴣蔓 (*Tylophora ovata*)、海欖果(*Cerbera manghas*)、絨毛芙蓉蘭(*Marsdenia tinctoria*)、毬蘭 (*Hoya carnosa*)、細梗絡石(*Trachelospermum asiaticum*)；唇形科：朝鮮紫珠 (*Callicarpa japonica luxurians*)、杜虹花(*Callicarpa formosa*

na formosana)；破布子科：金平氏破布子(*Cordia aspera kanehirae*)；百合科：粗莖麝香百合(鐵炮百合) (*Lilium longiflorum*)；禾本科：五節芒(*Miscanthus floridulus*)、臺灣蘆竹(*Arundo formosana*)、細毛鴨嘴草(*Ischaemum ciliare*)；酢漿草科：黃花酢漿草(*Oxalis corniculata*)、紫花酢漿草(*Oxalis corymbosa*)；天南星科：柚葉藤(*Pothos chinensis*)、姑婆芋(*Alocasia odora*)；大戟科：血桐(*Macaranga tanarius*)；黃耨花科：猿尾藤(*Hiptage benghalensis*)；豆科：老荊藤(*Callerya reticulata*)；紫茉莉科：皮孫木(*Pisonia umbellifera*)；樟科：紅楠(*Machilus thunbergii*)；山柑科：魚木(*Crateva formosensis*)；五加科：江芩(*Heptapleurum heptaphyllum*)；薑科：月桃(*Alpinia zerumbet*)；柿樹科：毛柿(*Diospyros philippensis*)；金絲桃科：臺灣金絲桃(*Hypericum formosanum*)；胡椒科：風藤(*Piper kadsura*)；棕櫚科：臺灣黃藤(*Calamus formosanus*)；茜草科：雞屎藤(*Paederia foetida*)；蘭科：臺灣白及(*Bletilla formosana*)；茶科：日本山茶(*Camellia japonica*)；蕁麻科：青芋麻(*Boehmeria nivea tenacissima*)；毛膏菜科：小毛氈苔(*Drosera*

spatulata)；鞭藤科：印度鞭藤(*Flagellaria indica*)；爵床科：爵床(*Justicia procumbens procumbens*)；省沽油科：三葉山香圓(*Turpinia ternata*)；葡萄科：角花烏斂梅(*Cayratia corniculata*)；阿福花科：桔梗蘭(*Dianella ensifolia*)；非洲核果木科：臺灣假黃楊(*Liodendron formosanum*)；景天科：石板菜(*Sedum formosanum*)；繖形科：雷公根(*Centella asiatica*)；蓼科：火炭母草(*Persicaria chinensis*)；茄科：刺茄(*Solanum capsicoides*)；露兜樹科：露兜樹(*Pandanus odorifer*)；列當科：野菰(*Aeginetia indica*)；防己科：木防己(*Cocculus orbiculatus*)、千金藤(*Stephania japonica japonica*)；美人蕉科：美人蕉(*Canna indica*)；報春花科：臺灣山桂花(*Maesalperlaria formosana*)、樹杞(*Ardisia sieboldii*)等。以上植物的中文名及學名依據臺灣物種名錄網站所記載(<https://taibnet.sinica.edu.tw>) (鍾國芳、邵廣昭, 2022/6)。



圖2. 環湖步道之湖畔林緣現場環境照

2. 環湖步道湖畔開闊草地 (lakeside open grassland)

此區步道如圖3所示，為舊房舍及營區與軍事設施遺跡，以及防波護堤，為平緩且干擾較嚴重的區塊，植被為草生景觀，呈現荒廢草生開闊地型態。經研究者調查步道兩旁植物，主要的有菊科：琉球澤蘭(*Eupatorium luchuense*)、紫背草(*Emilia sonchifolia javanica*)、鵝仔草(*Lactuca indica*)、黃鵪菜(*Young japonica japonica*)、雙花蟋蟀菊(*Wedelia biflora biflora*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa radiata*)、刀傷草(*Ixeridium laevigatum*)；豆科：煉莢豆(*Alysicarpus vaginalis*)、蠅翼草(*Desmodium triflorum*)、獨行菜(小團扇薺)(*Lepidium virginicum*)、長葉豇豆(*Vigna luteola*)、肥豬豆(*Canavalia lineata*)、濱豇豆(*Vigna marina*)、印度草木樨(*Melilotus indicus*)；唇形科：風輪菜(*Clinopodium chinense*)、海埔姜(*Vitex rotundifolia*)；百合科：粗莖麝香百合(鐵炮百合)(*Lilium longiflorum*)；繖形科：濱當歸(*Angelica hirsutiflora*)、雷公根(*Centella asiatica*)、水芹菜(*Oenanthe javanica*)；禾本科：臺灣蘆竹(*Arundo formosana*)、五節芒(*Miscanthus floridulus*)；茄科

：刺茄(*Solanum capsicoides*)、龍葵(*Solanum nigrum*)；棕櫚科：蒲葵(*Livistona chinensis subglobosa*)、臺灣海棗(*Phoenix hanceana*)；酢漿草科：黃花酢漿草(*Oxalis corniculata*)、紫花酢漿草(*Oxalis corymbosa*)；露兜樹科：露兜樹(*Pandanus odorifer*)；夾竹桃科：海欖果(*Cerbera manghas*)；阿福花科：桔梗蘭(*Dianella ensifolia*)；石蒜科：文珠蘭(*Crinum asiaticum*)；蕁麻科：青苧麻(*Boehmeria nivea tenacissima*)；海州常山科：苦林盤(*Clerodendrum inerme*)；景天科：石板菜(*Sedum formosanum*)；報春花科：濱排草(*Lysimachia mauritiana*)；薑科：月桃(*Alpinia zerumbet*)；列當科：野菰(*Aeginetia indica*)；莎草科：磚子苗(*Mariscus sumatrensis*)；玄花科：馬鞍藤(*Ipomoea pes-caprae brasiliensis*)；爵床科：爵床(*Justicia procumbens procumbens*)；蓼科：羊蹄(*Rumex japonica*)；石竹科：瓜槌草(*Sagina japonica*)；防己科：木防己(*Cocculus orbiculatus*)；草海桐科：草海桐(*Scaevola taccada*)；茜草科：脈耳草(*Leptopetalum coreanum*)；車前草科：車前草(*Plantago asiatica*)；馬鞭草科：鴨舌癩(過江藤)(*Phyla nodiflora*)；馬齒

莧科：毛馬齒莧(*Portulaca pilosa pilosa*)
；莧科：假千日紅(*Gomphrena celosioi-*
des)；鳶尾科：射干(*Iris domestica*)等。

以上植物的中文名及學名依據臺灣物種
名錄網站所記載(<https://taibnet.sinica.edu.tw>) (鍾國芳、邵廣昭, 2022/6)。



圖3. 環湖步道之湖畔開闊草地現場環境照

3. 401高地步道-森林 (broadleaf forest trail)

此為401高地步道，如圖4.所示，長度約1,400公尺。海拔260M以下是為次生林，以上是風衝林，早期為住民農墾之路，為陡峭地形且偶有巨石矗立之山徑。屬於中坡地形，沒有溪谷。本步道共有1,706階梯，但樣線規劃是到1,605階處為該穿越線的終點。步道兩側留有先民活動遺跡例如駁坎及墳墓一座，其附近有桂竹林及相思樹林。在

235階及1,000階處各設有一座涼亭提供休憩。目前僅開放每日100名遊客申請進入步道登頂賞景。低海拔林相，由於是遮蔽良好的蔭鬱環境，目前也是臺灣狐蝠等稀有動物的重要棲息地，此步道偶有毒蛇出沒，龜殼花和臭青公是較為常見的蛇類。於調查期間在1,500階處曾遇見一隻黑頭蛇紅色型。

經研究者調查401高地步道兩旁植物，主要有禾本科：桂竹(*Phyllostachys makinoi*)、臺灣蘆竹(*Arundo formosana*)、棕葉狗尾草(*Setaria palmifolia*)、五節芒(*Miscanthus floridulus*)；菊科：黃鵪菜(*Young japonica japonica*)、大花咸豐草(*Bidens pilosa radiata*)、臺灣山菊(*Farfugium japonicum formosanum*)、一枝香(*Cyanthillium cinereum cinereum*)、雙花蟛蜞菊(*Wedelia biflora biflora*)、刀傷草(*Ixeridium laevigatum*)；夾竹桃科：臺灣牛皮消(*Cynanchum formosanum*)、絨毛芙蓉蘭(*Marsdenia tinctoria*)、毬蘭(*Hoya carnosa*)、細梗絡石(*Trachelospermum asiaticum*)；茜草科：水金京(*Wendlandia formosana*)、圓葉雞屎樹(*Lasianthus wallichii*)、九節木(*Psychotria rubra*)、苞花蔓(*Geophila herbacea*)；桑科：稜果榕(*Ficus septica*)、小葉桑(*Morus australis*)、水同木(*Ficus fistulosa*)、菲律賓榕(*Ficus ampelas*)、天仙果(*Ficus formosana*)、薜荔(*Ficus pumila*)；芸香科：食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoidesilanthoides*)、雙面刺(*Zanthoxylum nitidum*)、賊仔樹(*Tetradium glabrifolium*)、山刈葉(*Melicope semecarpifolia*)、假三腳鬘(*Melicope triphylla*)；露

兜樹科：露兜樹(*Pandanus odorifer*)、山露兜(山林投)(*Freycinetia formosana*)；酢漿草科：黃花酢漿草(*Oxalis corniculata*)、紫花酢漿草(*Oxalis corymbosa*)；省沽油科：三葉山香圓(*Turpinia ternata*)；冬青科：倒卵葉冬青(金平氏冬青)(*Ilex maximowicziana*)；報春花科：臺灣山桂花(*Maesa perlaria formosana*)；豆科：山葛(*Pueraria montana*)；夾竹桃科：鷓鴣蔓(*Tylophora ovata*)、報春花科：樹杞(*Ardisia sieboldii*)，非洲核果木科：臺灣假黃楊(*Liodendron formosanum*)；大戟科：血桐(*Macaranga tanarius*)；薑科：月桃(*Alpinia zerumbet*)；鞭藤科：印度鞭藤(*Flagellaria indica*)；茄科：刺茄(*Solanum capsicoides*)；葫蘆科：雙輪瓜(*Diplocyclos palmatus*)；胡椒科：風藤(*Genus Piper*)；鼠刺科：鼠刺(*Itea oldhamii*)；拔葵科：拔葵(*Smilax china*)；蕁麻科：青苧麻(*Boehmeria nivea tenacissima*)；天南星科：姑婆芋(*Alocasia odora*)；唇形科：朝鮮紫珠(*Callicarpa japonica luxurians*)、白花草(*Leucas chinensis*)；鴨跖草科：鴨跖草(*Commelina communis*)；棕櫚科：山棕(*Arenga engleri*)；木蘭科：烏心石(*Magnolia compressa*)

compressa)；山柑科：魚木(*Crateva formosensis*)；五加科：江某(*Heptapleurum heptaphyllum*)；蓼科：火炭母草(*Persicaria chinensis*)；景天科：石板菜(*Sedum formosanum*)等。以上植物的中文名及學名依據臺灣物種名錄網站所記載(<https://taibnet.sinica.edu.tw>) (鍾國芳、邵廣昭，2022/6)。



圖4. 登山步道森林現場環境照

4. 401高地山頂-稜線 (401 highland ridge)：

此區為定點，如圖5.所示，位於401高地步道的山頂(又稱401高地)，也是島上最高點海拔398m，加上一座軍方建的瞭望台，共有401m高，可以

眺望360度景觀。定點觀察人工建築物處大約17x17公尺。此處可能是蝶道及2005年11月5日有一筆日本青斑蝶標放再捕獲的珍貴紀錄，由陳威光先生在此401高地山頂所發現。

經研究者調查401山頂稜線上主要植物有桑科：小葉桑(*Morus australis*)、菲律賓榕(*Ficus ampelas*)；禾本科：五節芒(*Miscanthus floridulus*)、棕葉狗尾草(*Setaria palmifolia*)；芸香科：雙面刺(*Zanthoxylum nitidum*)、假三腳鬘(*Melicope triphylla*)；菊科：大花咸豐草(*Bidens pilosa radiata*)、雙花螞蟥菊(*Wedelia biflora biflora*)、臺灣山菊(*Farfugium japonicum formosanum*)；茜草科：圓葉雞屎樹(*Lasianthus wallichii*)、山黃梔(*Gardenia jasminoides*)、水金京(*Wendlandia formosana*)；夾竹桃科：毬蘭(*Hoya carnosa*)、細梗絡石(*Trachelospermum asiaticum*)；木蘭科：烏心石(*Magnolia compressa compressa*)；清風藤科：筆羅子(*Meliosma rigida*)；大戟科：粗糠柴(*Mallotus philippensis*)、血

桐(*Macaranga tanarius*)；杜鵑花科：金毛杜鵑(*Rhododendron oldhamii*)；報春花科：大明橘(*Myrsine seguinii*)、臺灣山桂花(*Maesa perlaria*)；杜英科：薯豆(*Elaeocarpus japonicus Siebold*)；露兜樹科：山露兜(山林投)(*Freycinetia formosana*)；唇形科：朝鮮紫珠(*Calli-carpa japonica luxurians*)；薑科：月桃(*Alpinia zerumbet*)；五加科：江某(*Hep-tapleurum heptaphyllum*)；蕁麻科：青苧麻(*Boehmeria nivea tenacissima*)；鼠李科：小葉黃鱧藤(*Berchemia lineata*)；天南星科：姑婆芋(*Alocasia odora*)；蓼科：火炭母草(*Persicaria chinensis*)；酢漿草科：黃花酢漿草(*Oxalis corniculata*)、紫花酢漿草(*Oxalis corymbosa*)等。以上植物的中文名及學名依據臺灣物種名錄網站所記載(<https://taibnet.sinica.edu.tw>) (鍾國芳、邵廣昭, 2022/6)。



圖5. 401步道山頂稜線現場環境照

資料來源：東北角風管處吳裕隆志工提供

(二)樣區環境資料之收集

調查各樣區之大氣因子，包括：氣溫、相對濕度、風速。每月至少二次，在每一樣線之起始點、中段和終點共三次記錄收集溫、濕度及風速資料。電子溫濕度計(E-510)以離地約1公尺位置測量溫度和濕度，並以風速計(Lutron AM-4200)測量離地約2公尺位置之風速1分鐘，記錄測量期間之最大風速，單位為公尺/秒(m/sec) (邱思叡，2016)。

三、蝶相調查

本研究採用穿越線調查法(transect line)，以龜山島上既有的步道，規劃選定不同環境棲地的穿越線樣區。依Pollard(1977)之目測方式，記錄看到的蝴蝶種類、隻數及行為。適合調查的天候條件基準為晴天、無風和溫度20°C左右，並以不影響蝴蝶活動為原則。調查資料以Windows版Excel 2019軟體建檔，再進行生物多樣性指數(Index of Biodiversity)分析。

調查期間為2020年6月至2022年7月，排除封島期間8個月，共計18個月完成72次有效調查。以龜山島規劃之樣區為調查範圍，每月至少進行兩次的有效調查。為避免時空因子重疊，調查順

序分為順向及逆向(黃馨賢，2016)。每日上、下午各進行1次調查，調查時間為上午9時至12時30分及下午13時分至16時30分。以目視方式沿穿越線採徒步緩行做蝶相調查，記錄蝶種、隻次和11種行為類型，不易辨識之蝶種，以網捕法鑑定(陳建志、朱耀沂，1999)。下午以反方向進行調查。在所定的時間內沿固定的路線記錄範圍內所見到的蝶類、數量和行為(如表1.) (陳建志，1996)。調查結果經整理後進行資料統計，分析各樣線的蝶相、時空分布。

表1. 蝴蝶行為定義表

行為	定義
飛翔 Flight	蝴蝶鼓翅移位，時而上上下下或左左右右不經意於空中飛行，看是不規律，也沒跟其他生物有互動。
巡弋 Patrolling	蝴蝶以規律的形式在空中或上或下繞飛，通常發生在較小的範圍中。
追逐 Pecking	雄蝶通常比較具有領域性，會去追逐或驅趕同種雄蝶或其他蝶。
吸蜜 Nectar feeding	成蝶在花間吸食植物花蜜的行為。
吸水 Pudding	蝴蝶在潮濕的土壤、地表，積水處或是溪流邊吸食水份的行為。
腐食 Saprophagy	有些蝴蝶喜好吸食腐果、或是樹幹上流出的汁液，也有些會吸食動物屍液或是糞液等等。
求偶 Courtship	雄蝶與雌蝶出現彼此旋轉的方式飛行並且互相碰觸牠們的觸角、翅膀等觸碰行為。
交配 Mating	雄蝶與雌蝶腹部生殖腔與腹部相連的行為。
產卵 Egg-laying	雌蝶會到處在寄主植物附近穿梭，然後在葉子上或下面、莖、花或是果實等部位產卵。
曝曬 Basking	蝴蝶在有陽光的地方休息，並吸收陽光的熱能。
休息 Roosting	蝴蝶停留在某處，但無其他行為發生。

資料來源：陳建志（1996）。臺北動物園蝴蝶公園之蝶類群聚研究(未出版之博士論文)。國立臺灣大學，臺北市。

肆、結果與討論

本文分為三部分，依序為龜山島之蝶相探討、龜山島蝶相之時間分布、龜山島蝶相之空間分布。

一、龜山島之蝶相探討

(一)龜山島的蝶相組成

本研究龜山島的調查期間為2020年6月至2022年7月，排除封島期間8個月，共計18個月。(封島為每年12月到隔年2月，以及肺炎疫情三級警戒期間封島)。由於每個月四次有效的穿越線調查，所以本研究期間共計72次有效調查資料作為分析數據。另外，有22趟登島因天候等因素無法完成調查視為無效調

查，主要在3月及11月常因天候欠佳及海象變差浪況變大或長浪影響，為了安全起見而提前封島，遊客及相關人員須立即配合撤離島上，搭船返回臺灣本島。

本研究共記錄到成蝶及幼生期共五科99種(含黃蝶*Eurema* spp.)共計6,431隻

次(含幼蟲51隻次和掛網3隻成蝶)；在四個不同棲地均出現的有23種，三個棲地出現有28種，二個棲地有19種，單一棲地有29種，推估島上蝴蝶大約七成為常駐種。本調查的龜山島蝴蝶名錄如表2所示。

表2. 龜山島蝴蝶名錄 (2020年6月至2022年7月)

學名	中文名	環湖 林緣	環湖 草地	高地 步道	401 山頂	合計
Hesperiidae	弄蝶科					
<i>Badamia exclamationis</i>	長翅弄蝶(淡綠弄蝶)	3		1		4
<i>Borbo cinnara</i>	禾弄蝶(臺灣單帶弄蝶)	1		6	1	8
<i>Burara jaina formosana</i>	橙翅傘弄蝶(鸞褐弄蝶)	28				28
<i>Hasora chromus chromus</i>	尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶) *			1		1
<i>Notocrypta curvifascia</i>	袖弄蝶(黑弄蝶)	6		4	1	11
<i>Parnara guttata</i>	稻弄蝶(單帶弄蝶)	3		5	3	11
<i>Polytremis lubricans kuyaniana</i>	黃紋孔弄蝶(黃紋褐弄蝶)	17		26		43
<i>Potanthus confucius angustatus</i>	黃斑弄蝶(臺灣黃斑弄蝶)	1	2	18	1	22
<i>Potanthus pava</i>	淡黃斑弄蝶(淡色黃斑弄蝶)			2		2
<i>Suastus gremius</i>	黑星弄蝶(黑星弄蝶)	10	1	31		42
<i>Tagiades cohaerens</i>	白裙弄蝶(白裙弄蝶)				1	1
<i>Tagiades tethys moori</i>	玉帶裙弄蝶(玉帶弄蝶)				1	1
<i>Telicota bambusae horisha</i>	竹橙斑弄蝶(埔里紅弄蝶)	5		19	44	68
<i>Telicota ohara formosana</i>	寬邊橙斑弄蝶(竹紅弄蝶)			2		2
<i>Udaspes folus</i>	薑弄蝶(大白紋弄蝶)	1				1
Papilionidae	鳳蝶科					
<i>Graphium agamemnon</i>	翠斑青鳳蝶(綠斑鳳蝶) *			2	4	6
<i>Graphium doson postianus</i>	木蘭青鳳蝶(青斑鳳蝶)	1		7	15	23
<i>Graphium sarpedon connectens</i>	青鳳蝶(青帶鳳蝶)	7	1	11	116	135
<i>Papilio agestor matsumurae</i>	斑鳳蝶(褐斑鳳蝶) *				1	1
<i>Papilio bianor thrasymedes</i>	翠鳳蝶(烏鴉鳳蝶)	2			4	6

學名	中文名	環湖 林緣	環湖 草地	高地 步道	401 山頂	合計
<i>Papilio castor formosanus</i>	無尾白紋鳳蝶(無尾白紋鳳蝶) *			1	1	2
<i>Papilio helenus fortuneus</i>	白紋鳳蝶(白紋鳳蝶)			1	2	3
<i>Papilio memnon heronus</i>	大鳳蝶(大鳳蝶)	3		2		5
<i>Papilio paris nakaharai</i>	琉璃翠鳳蝶(大琉璃紋鳳蝶)			3	3	6
<i>Papilio polytes polytes</i>	玉帶鳳蝶(玉帶鳳蝶)	1		3	15	19
<i>Papilio protenor protenor</i>	黑鳳蝶(黑鳳蝶)	25	1	50	97	173
<i>Papilio xuthus xuthus</i>	柑橘鳳蝶(柑橘鳳蝶)			1		1
Pieridae	粉蝶科					
<i>Appias albina semperi</i>	尖粉蝶(尖翅粉蝶)	17	5	9	24	55
<i>Appias indra aristoxemus</i>	雲紋尖粉蝶(雲紋粉蝶)	2				2
<i>Appias lycinda eleonora</i>	異色尖粉蝶(臺灣粉蝶)	26	8	35	4	73
<i>Appias paulina minato</i>	黃尖粉蝶(蘭嶼粉蝶)	7	5	9	4	25
<i>Catopsilia pomona</i>	遷粉蝶(銀紋淡黃蝶)	2		3		5
<i>Colias erate formosana</i>	紋黃蝶(紋黃蝶)		21			21
<i>Eurema blanda arsakia</i>	亮色黃蝶(臺灣黃蝶)	7	9	9	5	30
<i>Eurema hecabe hecabe</i>	黃蝶(荷氏黃蝶)	4	13	10	2	29
<i>Eurema spp.</i>	黃蝶	12	15	6		33
<i>Hebomoia glaucippe formosana</i>	橙端粉蝶(端紅蝶)	3			4	7
<i>Leptostia nina niobe</i>	纖粉蝶(黑點粉蝶)	58		45		103
<i>Pieris canidia</i>	緣點白粉蝶(臺灣紋白蝶)	3	6	5		14
<i>Pieris rapae crucivora</i>	白粉蝶(紋白蝶)	75	586	62	61	784
Lycenidae	灰蝶科					
<i>Acytolepis puspa myla</i>	靛色琉灰蝶(臺灣琉璃小灰蝶)				3	3
<i>Catochrysops panormus exiguus</i>	青珈波灰蝶(淡青長尾波紋小灰蝶)		1	1		2
<i>Catochrysops strabo luzonensis</i>	紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶) *				3	3
<i>Celastrina lavendularis himilcon</i>	細邊琉灰蝶(埔里琉璃小灰蝶)	1			6	7
<i>Chilades pandava peripatria</i>	蘇鐵綺灰蝶(東陞蘇鐵小灰蝶)	1				1
<i>Curetis acuta formosana</i>	銀灰蝶(銀斑小灰蝶)	2		3		5
<i>Deudorix epijarbas menesicles</i>	玳灰蝶(恆春小灰蝶) *			1		1
<i>Euchrysops cnejus cnejus</i>	奇波灰蝶(白尾小灰蝶)	1	27			28
<i>Heliophorus ila matsumurae</i>	紫日灰蝶(紅邊黃小灰蝶)	2		1	2	5

學名	中文名	環湖 林緣	環湖 草地	高地 步道	401 山頂	合計
<i>Jamides alecto dromicus</i>	淡青雅波灰蝶(白波紋小灰蝶)	34	1	70	184	289
<i>Jamides bochus formosanus</i>	雅波灰蝶(琉璃波紋小灰蝶)	47	18	27	35	127
<i>Lampides boeticus</i>	豆波灰蝶(波紋小灰蝶)	13	591	6		610
<i>Megisba malaya sikkima</i>	黑星灰蝶(臺灣黑星小灰蝶)	67	1	27	25	120
<i>Nacaduba kurava thersasia</i>	大娜波灰蝶(埔里波紋小灰蝶)	27	1	121	253	402
<i>Prosotas nora formosana</i>	波灰蝶(姬波紋小灰蝶)	15	10	20	82	127
<i>Rapala varuna formosana</i>	燕灰蝶(墾丁小灰蝶)	1		2	2	5
<i>Spindasis lohita formosana</i>	虎灰蝶(臺灣雙尾燕蝶)	2		10		12
<i>Zizeeria maha okinawana</i>	藍灰蝶(沖繩小灰蝶)	102	206	126	4	438
<i>Zizina otis riukuensis</i>	折列藍灰蝶(小小灰蝶)	18	440	1		459
Nymphalidae	蛺蝶科					
<i>Argynnis hyperbius</i>	斐豹蛺蝶(黑端豹斑蝶)	1			1	2
<i>Athyma cama zoroastes</i>	雙色帶蛺蝶(臺灣單帶蛺蝶)				14	14
<i>Athyma selenophora laela</i>	異紋帶蛺蝶(單帶蛺蝶)	10		1	6	17
<i>Cupha erymanthis</i>	黃襟蛺蝶(臺灣黃斑蛺蝶)	29	4	30	12	75
<i>Cyrestis thyodamas formosana</i>	網絲蛺蝶(石牆蝶)	57	2	36	50	145
<i>Danaus genutia</i>	虎斑蝶(黑脈樺斑蝶)	2	2	11	1	16
<i>Elymnias hypermnestra hainana</i>	藍紋鋸眼蝶(紫蛇目蝶)	18		14	17	49
<i>Euploea eunice hobsoni</i>	圓翅紫斑蝶(圓翅紫斑蝶)	6		15	10	31
<i>Euploea mulciber barsine</i>	異紋紫斑蝶(端紫斑蝶)	2		4	1	7
<i>Euploea sylvester swinhoei</i>	雙標紫斑蝶(斯氏紫斑蝶)	9		25	2	36
<i>Hestina assimilis formosana</i>	紅斑脈蛺蝶(紅星斑蛺蝶)				15	15
<i>Hypolimnas anomala</i>	端紫幻蛺蝶(八重山紫蛺蝶)	1				1
<i>Hypolimnas bolina kezia</i>	幻蛺蝶(琉球紫蛺蝶)	3		2	40	45
<i>Idea leuconoe clara</i>	大白斑蝶(大白斑蝶)	77	10	52	11	150
<i>Ideopsis similis</i>	旖斑蝶(琉球青斑蝶)	159	42	263	36	500
<i>Junonia almana almana</i>	眼蛺蝶(孔雀蛺蝶)				1	1
<i>Junonia orithya orithya</i>	青眼蛺蝶(孔雀青蛺蝶)	1		1		2
<i>Kaniska canace drilon</i>	琉璃蛺蝶(琉璃蛺蝶)	38		17	5	60
<i>Lethe chandica ratnacri</i>	曲紋黛眼蝶(雌褐蔭蝶)			1		1
<i>Lethe europa pavida</i>	長紋黛眼蝶(玉帶蔭蝶)	1		1		2
<i>Lethe insana formosana</i>	深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶) *				3	3

學名	中文名	環湖 林緣	環湖 草地	高地 步道	401 山頂	合計
<i>Limenitis dudu jinamitra</i>	紫俳線蛺蝶(紫單帶蛺蝶)				10	10
<i>Melanitis phedima polishana</i>	森林暮眼蝶(黑樹蔭蝶)			1		1
<i>Neope muirheadi nagasawae</i>	褐翅蔭眼蝶(永澤黃斑蔭蝶)			5		5
<i>Neptis hylas luculenta</i>	豆環蛺蝶(琉球三線蝶)	4		6	1	11
<i>Neptis nata lutatia</i>	細帶環蛺蝶(臺灣三線蝶)	2		2	3	7
<i>Neptis sappho formosana</i>	小環蛺蝶(小三線蝶)	16		84	43	143
<i>Neptis taiwana</i>	蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶) * #				2	2
<i>Parantica aglea maghaba</i>	絹斑蝶(姬小紋青斑蝶)	118	4	152	26	300
<i>Parantica sita nipponica</i>	大絹斑蝶(青斑蝶)	10	1	62	49	122
<i>Parantica swinhoei</i>	斯氏絹斑蝶(小青斑蝶)	3		8	9	20
<i>Penthema formosanum</i>	臺灣斑眼蝶(白條斑蔭蝶) #			1		1
<i>Polyura eudamippus formosana</i>	雙尾蛺蝶(雙尾蝶)	1				1
<i>Symbrenthia brabira scatania</i>	黃豹盛蛺蝶(姬黃三線蝶)	1		1	5	7
<i>Symbrenthia lilaea lunica</i>	散紋盛蛺蝶_華南亞種(黃三線蝶_華南亞種)	11		5	2	18
<i>Tirumala limniace limniace</i>	淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶) *			1		1
<i>Tirumala septentrionis</i>	小紋青斑蝶(小紋青斑蝶)	2				2
<i>Vanessa cardui cardui</i>	小紅蛺蝶(姬紅蛺蝶)	2	1	2		5
<i>Vanessa indica indica</i>	大紅蛺蝶(紅蛺蝶)	2	3	8	5	18
<i>Ypthima wangi</i>	王氏波眼蝶(王氏波紋蛇目蝶) #	67		55	13	135
蝴蝶隻次合計		1,316	2,038	1,671	1,406	6,431
蝴蝶種數合計		72	32	75	64	99
Shannon-Wiener Index (H')		3.38	1.81	3.35	3.12	
Pielou's Evenness Index (J')		0.79	0.52	0.78	0.75	

所記錄到的蝶種組成有弄蝶科15種 在種類方面以蛺蝶科種類最多，約佔
 245隻次、鳳蝶科12種380隻次、粉蝶科 40%，在數量方面則以灰蝶科最多，約
 13種1,181隻次、灰蝶科19種2,644隻次 佔41%，其次為蛺蝶科和粉蝶科。
 、蛺蝶科40種1,981隻次，如表3.所示。

表3. 蝴蝶各科種數和數量百分比

科別	蝶種數	種類百分比	蝶數量	數量百分比
弄蝶科	15	15.15%	245	3.81%
鳳蝶科	12	12.12%	380	5.91%
粉蝶科	13	13.13%	1,181	18.36%
灰蝶科	19	19.19%	2,644	41.11%
蛺蝶科	40	40.40%	1,981	30.80%
合計	99	100.00%	6,431	100%

龜山島蝴蝶種類過去研究119種，加上黃裳鳳蝶及本研究共增加至130種，依國家紅皮書受威脅類別歸類如表4.所示。其中易危物種(NVU)有柑橘鳳蝶、虎斑蝶、斐豹蛺蝶、琉璃蛺蝶、暮眼蝶、稻眉眼蝶等。近危物種(NNT)有褐弄

蝶、綠弄蝶、熱帶橙斑弄蝶、淡黃斑弄蝶、寬帶青鳳蝶、斑鳳蝶、飛龍白粉蝶、紋黃蝶、綠灰蝶、霓彩燕灰蝶、白斑嫵琉灰蝶、深山黛眼蝶、苧麻珍蝶、流星蛺蝶、長紋黛眼蝶、玉帶黛眼蝶等。

表4. 龜山島蝴蝶受威脅類別對應表

受脅類別	弄蝶科	鳳蝶科	粉蝶科	灰蝶科	蛺蝶科	蝶種數
極危(NCR)	0	0	0	0	0	0
瀕危(NEN)	0	0	0	0	0	0
易危(NVU)	0	1	0	0	5	6
近危(NNT)	4	2	2	3	5	16
無危(LC)	18	12	10	22	41	103
數據缺乏(DD)	0	0	0	0	0	0
合計	22	15	12	25	51	125

說明：紫珈波灰蝶、端紫幻蛺蝶、王氏波眼蝶、黃尖粉蝶、蕉弄蝶等5種，未被列入評估。

記錄到個體數量最多的優勢蝶種前5名依序是白粉蝶(紋白蝶)的數量最多，共記錄784隻次(12.2%)、豆波灰蝶(波紋小灰蝶) 610隻次(9.5%)、旖斑蝶(琉球青斑蝶) 500隻次(7.8%)、折列小灰蝶(小小灰蝶) 459隻次(7.1%)、藍灰蝶(沖繩小灰蝶) 438隻次(6.8%)。以上5種蝶類在開闊性的草生地都很容易見到，出現頻率較高，尤其是在龜尾營區草生地以及步道入口開闊地環境，因有外來種大花咸豐草提供了牠們以及其他蝶種的蜜源。寄主植物部分有觀察到紋白蝶產卵在十字花科的獨行菜的葉片上以及幼蟲啃食該植物葉片，獨行菜是紋白蝶在島上重要的寄主植物；波紋小灰蝶會在濱豇豆和長葉豇豆上產卵，豆科是牠的寄主植物；小小灰蝶在龜尾軍營草地是主要棲地，因為有豆科的煉莢豆、蠅翼草提供蜜源及寄主植物，所以數量穩定豐富；沖繩小灰蝶主要棲地與小小灰蝶重疊，但島上分布比小小灰蝶廣泛，因其寄主植物黃花酢漿草廣泛分布在島上草地及各步道兩旁。

本調查記錄到3種特有種，分別為王氏波眼蝶(王氏波紋蛇目蝶)在步道兩側很容易見到，但在環湖草生環境尚未有紀錄；臺灣斑眼蝶(白條斑蔭蝶)在

401高地步道破空處僅記錄到一次；蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)是在401山頂記錄到兩次。(社團法人台灣蝴蝶保育學會，2020/12)

調查記錄中，只出現在單一樣線的蝶種有29種，占全部出現蝶種數29%，比例很高，可能反映這些蝶種對特定棲地類型有偏好。僅於單一樣線記錄到的蝶種在環湖林緣有7種(36隻次)、環湖草地有1種(21隻次)、高地步道10種(16隻次)和401山頂11種(54隻次)，而環湖草生地記錄的紋黃蝶(21隻次)在其他樣線並無發現，但2022年3至7月每月均有發現成蝶以及印度草木樨上啃食葉片的幼蟲(本研究調查於2022年7月底結束)。401山頂記錄較多可能與本處為蝶道有關，值得未來注意觀察。

調查紀錄中，僅記錄1隻次的蝶種有15種，占全部出現蝶種的15%，比例亦高。此類蝶種在環湖林緣有4種，分別為薑弄蝶、蘇鐵綺灰蝶、端紫幻蛺蝶、雙尾蛺蝶。薑弄蝶的幼蟲寄主為薑科植物，月桃在林緣步道廣泛分布，但調查期間只記錄到一隻，應該不是偶產種(迷蝶)，調查期間若再拉長應該會再被記錄到；蘇鐵綺灰蝶在湖邊林緣被記錄到，文獻也有紀錄，但島上並無幼蟲寄

主蘇鐵科植物，後續有待觀察；端紫幻蛺蝶(八重山紫蛺蝶)在水井涼亭附近發現，是島上新紀錄種，其幼蟲的寄主為蕁麻科的落尾麻，島上並無此植物，應為偶產種(迷蝶)；雙尾蛺蝶在拱蘭宮後方林緣被發現停棲，島上有其幼蟲寄主植物豆科的頷垂豆及老荊藤等，值得再觀察。高地步道7種分別為尖翅絨弄蝶、柑橘鳳蝶、玳灰蝶、曲紋黛眼蝶、淡紋青斑蝶、森林暮眼蝶和臺灣斑眼蝶。尖翅絨弄蝶為島上新紀錄種，寄主植物為水黃皮，但島上並無此植物，應為偶產種；柑橘鳳蝶在401高地步道發現，其幼蟲寄主植物芸香科島上不少，值得再觀察；玳灰蝶是為新紀錄種，在步道口發現，寄主植物有柿樹科的軟毛柿，但不知是否為偶產種有待後續觀察；曲紋黛眼蝶在文獻已有紀錄，寄主植物為禾本科，應有機會再觀察到；淡紋青斑蝶為新紀錄種，在步道入口觀察到，島上無寄主植物為夾竹桃科華他卡藤及夜香花，需後續觀察是否為偶產種；森林暮眼蝶的幼蟲寄主是臺灣蘆竹等禾本科植物，島上不少，應有機會再發現；臺灣斑眼蝶為特有種，在山地步道破空處發現停棲，寄主植物為綠竹、刺竹等禾本科植物，應有建立族群可持續觀察。

401山頂有4種，分別為玉帶裙弄蝶、白裙弄蝶、斑鳳蝶和眼蛺蝶。玉帶裙弄蝶和白裙弄蝶的寄主植物都為裡白葉薯榔、華南薯蕷、日本薯蕷等薯蕷科植物，島上不難見到，有機會建立族群；斑鳳蝶是新紀錄種，寄主植物為常見的紅楠、大葉楠等樟科植物，斑鳳蝶是僅出現在春季的一年一世代蝶種，屬於季節性蝶類，錯過春天就不易見到牠；眼蛺蝶其寄主植物在島上有外來種馬鞭草科的鴨舌癩(過江藤)，應已建立族群值得留意。

以蝶科來看，蛺蝶科就佔有7種(46.7%)，其次依序是弄蝶科5種(33.3%)、鳳蝶科2種(13.3%)和灰蝶科1種(6.7%)，粉蝶科則沒有。以上觀察到單一隻次的單點出現蝶種，若將調查期間拉長，這種偶發的蝶種可能呈現動態的變動，即蝶種改變機率很大。如表5.所示。

表5. 本調查僅記錄一次或僅於單一樣線紀錄的蝶種

科別	蝶名	特有種	新紀錄種	環湖林緣	環湖草地	高地步道	401山頂	合計	單點出現	單點單隻
弄	玉帶裙弄蝶(玉帶弄蝶)*						1	1	V	V
弄	白裙弄蝶(白裙弄蝶)*						1	1	V	V
弄	尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶)*		V			1		1	V	V
弄	寬邊橙斑弄蝶(竹紅弄蝶)					2		2	V	
弄	橙翅傘弄蝶(鸞褐弄蝶)			28				28	V	
弄	薑弄蝶(大白紋弄蝶)*			1				1	V	V
鳳	柑橘鳳蝶(柑橘鳳蝶)*					1		1	V	V
鳳	斑鳳蝶(褐斑鳳蝶)*		V				1	1	V	V
粉	紋黃蝶(紋黃蝶)				21			21	V	
粉	雲紋尖粉蝶(雲紋粉蝶)			2				2	V	
灰	玳灰蝶(恆春小灰蝶)*		V			1		1	V	V
灰	紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)		V				3	3	V	
灰	靛色琉灰蝶(臺灣琉璃小灰蝶)						3	3	V	
灰	蘇鐵綺灰蝶(東陞蘇鐵小灰蝶)*			1				1	V	V
蛺	小紋青斑蝶(小紋青斑蝶)			2				2	V	
蛺	曲紋黛眼蝶(雌褐蔭蝶)*					1		1	V	V
蛺	紅斑脈蛺蝶(紅星斑蛺蝶)						15	15	V	
蛺	淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶)*		V			1		1	V	V
蛺	淡黃斑弄蝶(淡色黃斑弄蝶)					2		2	V	
蛺	深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶)		V				3	3	V	
蛺	眼蛺蝶(孔雀蛺蝶)*						1	1	V	V
蛺	森林暮眼蝶(黑樹蔭蝶)*					1		1	V	V
蛺	紫俳蛺蝶(紫單帶蛺蝶)						10	10	V	
蛺	端紫幻蛺蝶(八重山紫蛺蝶)*			1				1	V	V
蛺	臺灣斑眼蝶(白條斑蔭蝶)*	V				1		1	V	V
蛺	蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)	V	V				2	2	V	
蛺	褐翅蔭眼蝶(永澤黃斑蔭蝶)					5		5	V	

科別	蝶名	特有種	新紀錄種	環湖林緣	環湖草地	高地步道	401山頂	合計	單點出現	單點單隻
蛺蝶	雙色帶蛺蝶(臺灣單帶蛺蝶)						14	14	V	
蛺蝶	雙尾蛺蝶(雙尾蝶)*			1				1	V	V
蝶種數合計		2	7	7	1	10	11	29	29	15
蝶隻次合計				36	21	16	54	127		

*為僅出現一隻次。

台灣蝴蝶保育學會發行的蝶季刊2009夏季號刊載徐堉峰、黃行七、千葉秀幸等3位發表的「臺灣離、外島蝶相初探」所提供的龜山島蝴蝶名錄117種，另外同年2009年黃行七等四人以蝶會之名在2009年的臺灣昆蟲第二十九卷第四期發表的118種，以及後來社團法人台灣蝴蝶保育學會顧問黃行七老師於2020年4月提供給研究者時的龜山島蝴蝶名錄已增至119種，故本研究將調查結果與這份名錄進行比較。如表6.本次調查中新增之蝶種紀錄以及增加1筆往昔紀錄。

比較結果本研究調查新增9筆新紀錄種，在401高地山頂新增6種為無尾白紋鳳蝶(無尾白紋鳳蝶)、翠斑青鳳蝶(綠斑鳳蝶)、紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)、深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶)、蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)和斑鳳蝶(褐斑鳳蝶

)，在山地步道入口新增3種紀錄種為尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶)、玳灰蝶(恆春小灰蝶)、淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶)。另外，東北角管理處鄧昭祥志工於2020年4月18日在山地步道入口記錄到新紀錄種墨子黃斑弄蝶(細帶黃斑弄蝶) *Potanthus motzui*，是為台灣特有種，再加上臺北市立動物園隊2009年4月11日記錄到的Ⅲ級保育類黃裳鳳蝶，龜山島蝴蝶名錄已達130種之多。新增蝶種如表6.所示。

表6. 本次調查新紀錄之蝶種以及增加2筆往昔紀錄

學名	中文名	特有種	保育類	隻次	出現地點	備註
<i>Papilio castor formosanus</i>	無尾白紋鳳蝶(無尾白紋鳳蝶)			2	401 山頂、高地步道	本次調查
<i>Graphium agamemnon</i>	翠斑青鳳蝶(綠斑鳳蝶)			6	401 山頂、高地步道	本次調查
<i>Catochrysops strabo Luzonensis</i>	紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)			3	401 山頂	本次調查
<i>Lethe hyrانيا formosana</i>	深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶)			1	401 山頂	本次調查
<i>Neptis taiwana</i>	蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)	V		2	401 山頂	本次調查
<i>Chilasa agestor matsumurae</i>	斑鳳蝶(褐斑鳳蝶)			1	401 山頂	本次調查
<i>Hasora chromus chromus</i>	尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶)			1	高地步道	本次調查
<i>Deudorix epijarbas menesicles</i>	玳灰蝶(恆春小灰蝶)			1	高地步道	本次調查
<i>Tirumala limniace limniace</i>	淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶)			1	高地步道	本次調查
<i>Potanthus motzui</i>	墨子黃斑弄蝶(細帶黃斑弄蝶)	V		1	高地步道	20200418
<i>Troides aeacus kaguya</i>	黃裳鳳蝶(黃裳鳳蝶)		III	1	營區草地	20090411

與蝶會調查暨整理之蝴蝶名錄119種比較，本研究調查名錄僅記錄到89種(75%)，而有30種未被記錄到(25%)，其中弄蝶科7種(綠弄蝶/大綠弄蝶、蕉弄蝶/香蕉弄蝶、熱帶橙斑弄蝶/熱帶紅弄蝶道弄蝶、小稻弄蝶/姬單帶弄蝶、褐弄蝶、尖翅褐弄蝶、臺灣黯弄蝶/黑紋弄蝶)、鳳蝶科2種(寬帶青鳳蝶/寬青帶鳳蝶、花鳳蝶/無尾鳳蝶)、粉蝶科1種(飛龍白粉蝶/輕海紋白蝶)、灰蝶科7種(日本紫灰蝶/紫小灰蝶、綠灰蝶/綠底小灰蝶、霓彩燕灰蝶/平山小灰蝶、三斑虎灰蝶/三星雙尾燕蝶、細灰蝶/角紋小灰蝶、迷你藍灰蝶/迷你小灰蝶、白斑嫵琉灰蝶/白斑琉璃小灰蝶)和蛺蝶科13種(金斑蝶/樺斑蝶、苧麻珍蝶/細蝶、波

蛺蝶/樺蛺蝶、枯葉蝶、黃鈎蛺蝶/黃蛺蝶、雌擬幻蛺蝶/雌紅紫蛺蝶、玄珠帶蛺蝶/白三線蝶、流星蛺蝶、小波眼蝶/小波紋蛇目蝶、玉帶黛眼蝶/玉帶黑蔭蝶、眉眼蝶/小蛇目蝶、稻眉眼蝶/姬蛇目蝶、暮眼蝶/樹蔭蝶)。

不過，在22次無效調查中，臺灣特有種臺灣黯弄蝶(黑紋弄蝶)、黃鈎蛺蝶(黃蛺蝶)在調查統計時未被列入，以及本研究於2022年7月31日調查結束後陸續被發現的蝶種有金斑蝶(樺斑蝶)、暮眼蝶(樹蔭蝶)，所以在文獻中尚未被發現的蝶種有26種。由於蝶會系統此份島上蝴蝶名錄119種是為長期累積幾十年來的紀錄，本研究調查期間僅18個月，而且調查路線、方式及人力皆不同，因

此多種蝴蝶類未能發現屬合理情形。

本研究調查名錄與特生中心2005年出版之「宜蘭縣之野生動物」附錄之蝴蝶名錄(邱玉娟、方懷聖, 2005)做比較, 約有九成的蝴蝶種類與臺灣本島宜蘭共通性高, 僅10種蝶類未出現在該名錄, 分別為黑星弄蝶、玉帶裙弄蝶(玉帶弄蝶)、斑鳳蝶(褐斑鳳蝶)、尖粉蝶(尖翅粉蝶)、黃尖粉蝶(蘭嶼粉蝶)、紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)、蘇鐵綺灰蝶(東陞蘇鐵小灰蝶)、銀灰蝶(銀斑小灰蝶)、王氏波眼蝶(王氏波紋蛇目蝶)、端紫幻蛺蝶(八重山紫蛺蝶)。龜山島在春及秋兩季也呈現季風型蝴蝶型態, 春天有隨西南氣流北上擴散的紫斑蝶族群, 而秋天也有因東北季風南下擴散的青斑蝶族群, 主要以4月及11月較多。島上4-5月菊科琉球澤蘭盛開時, 在崖壁或堤防下及礫灘避風處, 同時間都可以觀察到10-20隻紫斑蝶類吸花蜜。而401步道上的臺灣山菊及茜草科雞屎樹屬植物都不難見到青斑蝶類吸取花蜜。

王氏波紋蛇目蝶 *Ypthima wangi* 在1998年被發表為新種, 模式標本在龜山島, 因為棲地侷限問題或是與接受度有關採用江崎波紋蛇目蝶 *Ypthima esakii wangi* (龜山島亞種或北部亞種), 不得

其解; 端紫幻蛺蝶除臺東綠島之外, 在臺灣其他地區無常駐族群(徐堉峰, 2013), 在龜山島並無牠的幼蟲寄主植物蕁麻科的落尾麻, 所以是偶產種(迷蝶); 紫珈波灰蝶在蘭嶼有紀錄, 是否為隨西南氣流擴散北上, 尚有待觀察; 蘇鐵綺灰蝶過去數量稀少, 現已成為常見蘇鐵類園藝植物害蟲(徐堉峰, 2013), 島上並無原生及園藝類蘇鐵, 且僅發現1隻, 值得持續關注; 不難見到的一年多世代的黑星弄蝶、尖粉蝶、黃尖粉蝶、玉帶裙弄蝶、銀灰蝶及一年一世代的斑鳳蝶不在宜蘭縣蝴蝶名錄中, 不知是否為疏漏或其他原因而無記錄則不得而知。

本研究與歷史紀錄及宜蘭縣蝴蝶名錄之比較, 如表7.所示, 與蝶會119種比約占八成, 與宜蘭265種比約占4成, 又與臺灣地區373種比約占2成5。

表7.本研究與歷史紀錄及宜蘭縣蝴蝶名錄之比較

Family	本研究龜山島		蝶會文獻		特生中心		徐氏名錄		蝶會文獻		特生中心		徐氏名錄		本研究龜山島		
	蝶種	%	龜山島	宜蘭地區	臺灣產	龜/龜	龜/宜蘭	龜/臺灣	龜/龜	龜/宜蘭	龜/臺灣	隻次	%	隻次	%	隻次	%
弄蝶科 Hesperiidae	15	15.2%	21	40	63	71.4%	37.5%	23.8%	245	3.8%							
鳳蝶科 Papilionidae	12	12.1%	11	28	31	109.1%	42.9%	38.7%	380	5.9%							
粉蝶科 Pieridae	13	13.1%	13	24	35	100.0%	54.2%	37.1%	1,181	18.4%							
灰蝶科 Lycaenidae	19	19.2%	24	67	114	79.2%	28.4%	16.7%	2,644	41.1%							
蛺蝶科 Nymphalidae	40	40.4%	50	106	130	80.0%	37.7%	30.8%	1,981	30.8%							
Total	99	100.0%	119	265	373	83.2%	37.4%	26.5%	6,431	100.0%							

(邱玉娟、方懷聖，2005；黃行七，2006)

另外，本研究於2022年7月底結束後，龜山島安檢管理員黃婉貞新增兩筆龜山島的新紀錄種，分別是2023年8月6日在401高地山頂平台停棲的小雙尾蛺蝶(姬雙尾蝶) *Polyura narcaea meghaduta*，以及10月2日在龜尾苦林盤區靠山樹林內的外來種蝶方環蝶(鳳眼方環蝶) *Discophora sondaica tulliana*，因此龜山島的蝴蝶紀錄已增至132種。

(二) 龜山島蝴蝶行為模式分析

調查結果依蝴蝶行為模式定義表之飛翔、巡弋、追逐、曝曬、休息、吸蜜、吸水、腐食、求偶、交尾、產卵等11種行為，歸類了6,377隻次的成蝶行為。(註：本研究共紀錄6,431隻次，扣除幼蟲51隻次和掛網成蝶3隻，故樣本數取6,377隻次分析)

就取樣數而言，行為模式以飛翔2,922隻次最高，占所觀察隻行為記錄總數45.8%，其次為吸蜜1,329隻次(20.8%)、休息820隻次(12.9%)、追逐773隻次(12.1%)，這四種行為加起來所佔比例高達91.6%，而且每個月都有觀察記錄到，為本調查記錄的最主要成蝶行為，其他七種行為所佔比例皆很小，在0.2~2.6%之間。如表8.和圖6.所示。

表8. 龜山島各月份蝴蝶行為觀察紀錄

Behavior	2020年					2021年					2022年					Total	%			
	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Mar	Apr	May	Aug	Sep	Oct	Nov	Mar	Apr			May	Jun	Jul
吸蜜 Nectar feeding	81	107	16	45	166	25	99	42	35	11	137	272	45	17	70	57	70	34	1,329	20.8%
吸水 Pudding				1	2		3		5		1			1			1	1	15	0.2%
腐食 Saprophagy	5							4		2	1						2	6	20	0.3%
休息 Roosting	53	32	62	49	74	24	26	38	28	58	58	67	39	11	5	31	87	78	820	12.9%
飛翔 Flight	135	67	141	182	162	94	395	232	221	183	121	198	95	39	91	95	187	284	2,922	45.8%
巡弋 Patrolling	1	2	14	7	1	1		2	8	8	12	8	2	4	4	6	22	35	137	2.1%
追逐 Pecking	52	15	15	15	16	17	109	52	40	50	35	36	26	21	16	53	78	127	773	12.1%
求偶 Courtship			2	2			20	8	2		6	8			4				52	0.8%
交尾 Mating				2	2		8			4		2					2	4	24	0.4%
產卵 Egg-laying			2	2	1		51	32	6	5				1	5	6	1	6	118	1.9%
曝曬 Basking	6	4	12	1			15	17	8	6	4	3	3	5	8	2	24	49	167	2.6%
Total	333	227	264	306	424	161	726	427	353	327	375	594	210	99	203	250	474	624	6,377	100%

註：本研究調查總數量為 6,431 隻次，其中成蝶 6,377 隻次、幼蟲 51 隻次以及掛網 3 隻次。

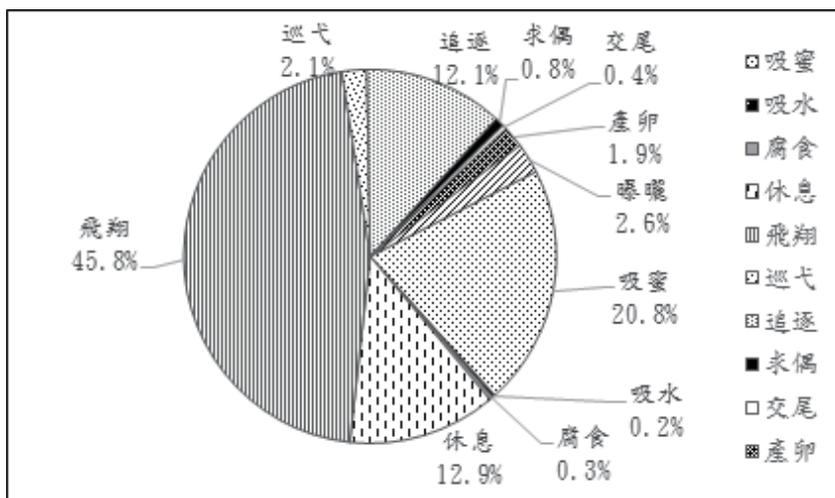


圖6. 龜山島蝴蝶行為模式分析

就蝴蝶行為於各月份觀察的情形(如表8.)，分述如下：吸蜜行為在10月觀察到166及272隻次為最高，以琉球青斑蝶訪花頻率282隻次最多；吸水行為記錄最少，僅15隻次，以5月5隻次最高，網絲蛺蝶4隻次最多；腐食行為較少觀察到，僅20隻次，以7月6隻次最高，琉璃蛺蝶9隻次最多；休息行為記錄到820隻次，以6月的87隻次為最高，大娜波灰蝶124隻次為最多；曝曬行為有167隻次，以7月的49隻次最高，大娜波灰蝶48隻次最多；飛翔行為的2,922隻次是所有11種行為中隻次最高的，所有月份以3月的395隻次為最高，以紋白蝶的426隻次最多；巡弋行為有137隻次，以7月的35隻次最高，以黑鳳蝶73隻次最多。追逐行為共773隻次，7月127隻次最高，以大娜波灰蝶125隻次最多；求偶行為有52隻次，以3月20隻次最高，紋白蝶30隻次最多。交尾行為24隻次，

以3月8隻次最高，豆波灰蝶10隻次最多；產卵行為共118隻次，以3月51隻次最高，白粉蝶66隻次最高。

依11種行為模式在調查記錄時，有些行為在觀察時，礙於進行速度及時間的關係，在記錄上的呈現上會明顯較少，比方說飛翔、吸蜜、休息、追逐等較易觀察，而產卵的行為過程相對所花時間較多，若同一時間出現隻次較多時，行進速度就會受到影響。

(三)氣候因子溫度、溼度與風速

調查期間在各樣線的前、中、後段各三個點量測溫度、溼度及風速，所得資料做成月平均圖表，得到結果如表9.及圖7.。調查期間最高月溫度為度為7月(33℃)，最低為11月(25.3℃)；溼度最高11月(75.88%)，最低為6月(63.60%)；風速最大為10月(1.77m/s)，最小為9月(0.37m/s)。

表9. 調查期間各月溫度、溼度與風速表

月份	月平均溫度 $^{\circ}\text{C}$	月平均相對濕度(%)	月平均風速 m/s
Jun-20	31.6	63.60	1.58
Jul-20	32.0	69.33	1.16
Aug-20	32.1	67.21	1.28
Sep-20	31.8	69.04	1.11
Oct-20	27.2	66.33	1.77
Nov-20	25.3	75.21	1.54
Mar-21	27.7	66.63	1.29
Apr-21	27.3	69.40	1.00
May-21	28.7	66.92	1.05
Aug-21	31.3	70.69	1.14
Sep-21	30.6	69.25	0.37
Oct-21	29.7	74.48	1.52
Nov-21	25.3	75.88	1.21
Mar-22	26.4	65.25	0.47
Apr-22	27.8	69.73	1.41
May-22	26.0	71.44	1.38
Jun-22	30.8	65.56	1.36
Jul-22	33.0	67.77	1.39

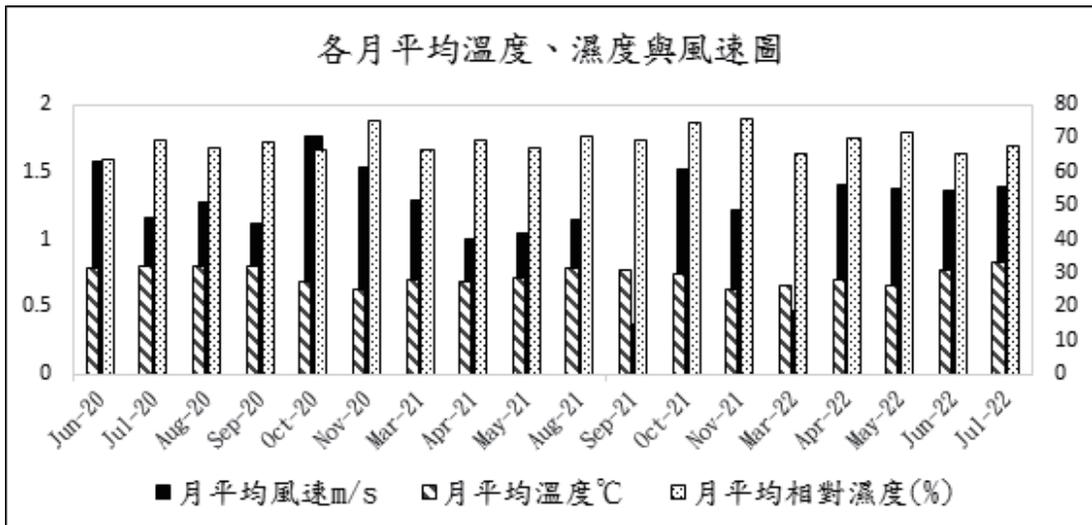


圖7. 調查期間各月溫度、溼度與風速圖

二、龜山島蝶相之時間分布

龜山島蝶相之時間分布如表10和圖8所示，可以看出蝶種數最高在2021年10月份，共記錄到52種蝶類，高於調查總蝶種數99種的1/2，蝶況相當豐富的月份；最低的月份在2022年3月為27種，可能東北季風南下以及低溫的關係，不適合蝴蝶的活動。

比較各月蝶類隻次結果顯示為2021年3月732隻次最多，次高為2022年7月，11月為進入低溫期數量較少。比較特別的是2021年3月及2022年3月的蝶隻數量，前者為732隻次，主要為白粉蝶366隻次和豆波灰蝶240隻次，共有606隻次，而後者3月則為100隻次，其中白粉蝶32隻次及豆波灰蝶1隻次，調查時月均溫度分別為27.7°C及26.4°C，顯示草地性蝶類，蝶相極具不穩定性，非常值得後續觀察。蝶種數最高則為2021年10月份的52種，次高為2022年6月50種，每年3、4月及11月為低溫期，蝶類活動力不強而出現的種類較少。

以個別蝶種觀察頻率，在2020年6月份觀察到335總隻次，最高前3名依序為姬小紋青斑蝶（44隻次）、沖繩小灰蝶（38隻次）、琉球青斑蝶（34隻次）；7月份229隻次，依序為琉球青斑蝶（

33隻次）、姬波紋小灰蝶（30隻次）、姬小紋青斑蝶（16隻次）；8月份264隻次，依序為小小灰蝶（63隻次）、埔里波紋小灰蝶（24隻次）、琉球青斑蝶（23隻次）；9月份307隻次，依序為小小灰蝶（127隻次）、琉球青斑蝶（49隻次）、藍灰蝶（31隻次）；10月份424隻次，依序為小小灰蝶（105隻次）、琉球青斑蝶（104隻次）、埔里波紋小灰蝶（24隻次）；11月份161隻次，依序為青斑蝶（49隻次）、小小灰蝶（20隻次）、白波紋小灰蝶（16隻次）；在2021年3月份732隻次，依序為紋白蝶（366隻次）、波紋小灰蝶（240隻次）、沖繩小灰蝶（24隻次）；4月份435隻次，依序為紋白蝶（167隻次）、波紋小灰蝶（73隻次）、沖繩小灰蝶（63隻次）；5月份357隻次，依序為紋白蝶（88隻次）、沖繩小灰蝶（69隻次）、姬小紋青斑蝶（41隻次）；6~7月因嚴重特殊傳染性肺炎(COVID-19)實施三級警戒封島；8月份330隻次，依序為波紋小灰蝶(65隻次)、沖繩小灰蝶(37隻次)、埔里波紋小灰蝶(33隻次)；9月份375隻次，依序為埔里波紋小灰蝶(40隻次)、黑點粉蝶(33隻次)、琉球青斑蝶(29隻次)；10月份599隻次，依序為琉球青斑蝶

(139隻次)、臺灣黑星小灰蝶(55隻次)、姬小紋青斑蝶(50隻次)；11月份211隻次，依序為青斑蝶(46隻次)、臺灣黑星小灰蝶(39隻次)、琉璃波紋小灰蝶(37隻次)；2022年3月100隻次，依序為紋白蝶(32隻次)、沖繩小灰蝶(11隻次)、青帶鳳蝶(7隻次)；4月份207隻次，依序為紋白蝶(87隻次)、斯氏紫斑蝶(33隻次)、圓翅紫斑蝶(24隻次)；5月份261隻次，依序為紋白蝶(39隻次)、沖繩小灰蝶(22隻次)、埔里波紋小灰蝶(21隻次)；6月份479隻次，依序為白波紋小灰蝶(49隻次)、波紋小灰蝶(41隻次)、姬波紋小灰蝶(38隻次)；7月份625隻次，依序為波紋小灰蝶(129隻次)、埔里波紋小灰蝶(109隻次)、白波紋小灰蝶(64隻次)。

在觀察紀錄中紋白蝶只有出現在3~5月份，其隻次數量是這3個月最多的，是為最優勢種；會隨西南氣流而來的紫斑蝶類在4~5月為最多；會隨東北季風擴散來的大絹斑蝶(青斑蝶)在11月是出現的高峰期，也是該月蝶數量最多蝶類，約有50隻次，調查記錄只出現在3~5月及10~11月，有東北季風吹拂及溫度較低、濕度較高的季節。以上這些都是非常值得關注的蝶種。

調查期間18個月份均有出現的僅大白斑蝶1種(150隻次)；出現17個月有7種為埔里波紋小灰蝶(402隻次)、白波紋小灰蝶(289隻次)、沖繩小灰蝶(438隻次)、小三線蝶(143隻次)、琉球青斑蝶(500隻次)、青帶鳳蝶(135隻次)和黑鳳蝶(173隻次)；出現16個月有4種為波紋小灰蝶(610隻次)、王氏波紋蛇目蝶(135隻次)、姬小紋青斑蝶(300隻次)和石牆蝶(145隻次)。這與島上寄主植物有關，大白斑蝶的幼蟲寄主植物是爬藤，在龜尾湖林緣山坡上穩定存在，春天時容易見到幼蟲在枝條或葉子下方爬行，但位置大概都在高處需抬頭方能見到；埔里波紋小灰蝶的寄主植物在島上觀察到為報春花科的樹杞和臺灣山桂花，主要在401高地步道；白波紋小灰蝶的寄主植物是薑科的月桃，在各步道兩旁都有散生，所以為常見種；沖繩小灰蝶的寄主植物為黃花酢漿草，在草地及步道兩旁，很容易觀察產卵的行為；小三線蝶的寄主植物山葛和老荊藤在龜尾湖及401高地步道不少，不虞匱乏；琉球青斑蝶的寄主植物鷓鴣菜及絨毛芙蓉蘭，鷓鴣菜的數量在步道上不少，但除草很容易被除掉，不過，隔一陣子它會再長出新葉來，在鷓鴣菜葉下比較容

易發現其幼蟲，尤其是在環湖邊坡及步道兩側，而絨毛芙蓉蘭在環湖林緣邊坡上大部分攀爬在樹冠高處再垂降下來居多，不易發現幼蟲；青帶鳳蝶的寄主植物有樟科的紅楠、香楠，在各步道皆有發現存在；黑鳳蝶的寄主植物芸香科的食茱萸、賊仔樹、雙面刺，在步道上都很容易見到這些植物；波紋小灰蝶的寄主植物在島上為豆科的濱豇豆、長葉豇豆和肥豬豆；王氏波紋蛇目蝶的寄主植物是禾本科，其成蝶在龜尾林緣及401高地步道200階以下很穩定出現被觀察到；姬小紋青斑蝶的寄主植物為夾竹桃科的鷓鴣菜，常可見雌蝶在步道兩側草地或斜坡上徘徊尋找鷓鴣菜欲產卵行為，在葉下不難找到卵或幼蟲；石牆蝶的寄

主植物為桑科榕屬植物的稜果榕、雀榕、天仙果、菲律賓榕等，島上寄主植物不少。以上為調查出現16~18個月均出現的12種成蝶與島上寄主植物情形。以蝴蝶科別來看，各科蝴蝶隻次出現最多月份，分別為灰蝶科3月（266隻次）；弄蝶科為9及10月（49及48隻次）、粉蝶科3月（367隻次）、蛺蝶科10月（297隻次）、鳳蝶科7月（58隻次）。灰蝶和粉蝶兩科的隻次都是3月最多，所以3月在龜尾的草生地可以看到為數不少的體型較大的粉蝶和小型的灰蝶在草地上飛舞、追逐、求偶和產卵，但草地上也有一些危機，本調查有兩次紀錄為三角蟹蛛躲在大花咸豐草的白色舌狀花間捕捉1隻紋白蝶及沖繩小灰蝶。

表10. 龜山島蝴蝶各科各月數量及種數

科別	Jun -20	Jul -20	Aug -20	Sep -20	Oct -20	Nov -20	Mar -21	Apr -21	May -21	Aug -21	Sep -21	Oct -21	Nov -21	Mar -22	Apr -22	May -22	Jun -22	Jul -22	合計
灰蝶	133	69	136	172	189	59	266	149	121	183	111	171	117	18	18	117	239	376	2,644
弄蝶	9	13	10	1	20	3	8	7	5	11	49	48	7	13	7	9	11	14	245
粉蝶	37	29	5	7	10	6	367	171	101	28	83	67	6	40	95	62	37	30	1,181
蛺蝶	129	85	78	104	195	88	77	98	107	80	112	297	76	20	80	62	146	147	1,981
鳳蝶	27	33	35	23	10	5	14	10	23	28	20	16	5	9	7	11	46	58	380
總隻次	335	229	264	307	424	161	732	435	357	330	375	599	211	100	207	261	479	625	6,431
總種數	36	35	35	36	42	28	33	29	35	38	47	52	33	27	30	44	50	37	99

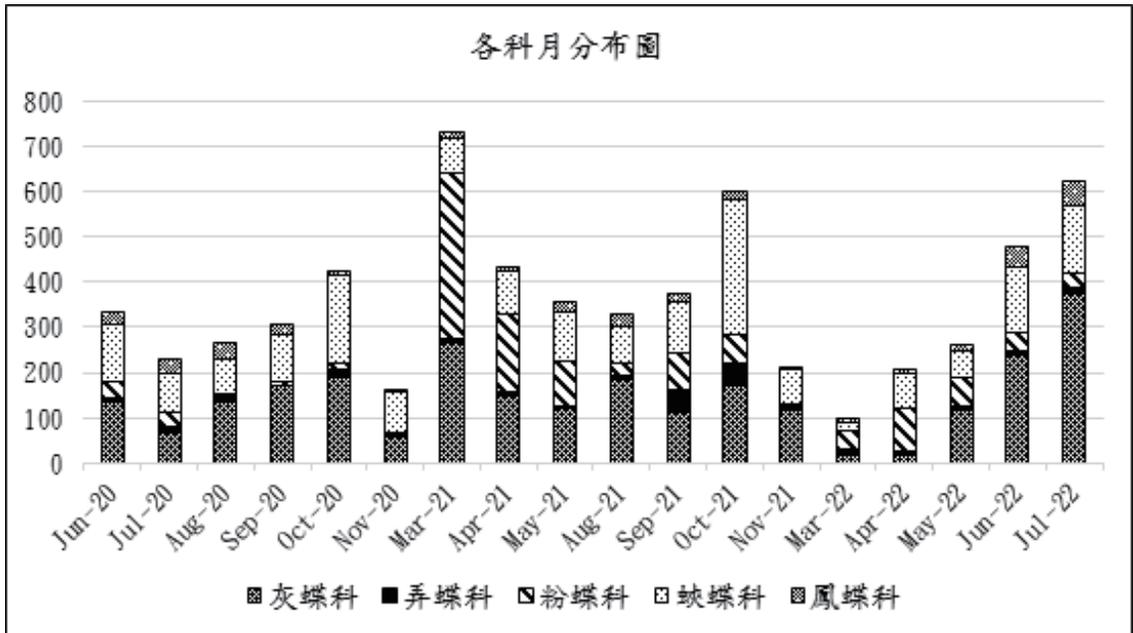


圖8.各科月分布圖

龜山島的蝶相變化依不同月份的蝴蝶數量、種類及Shannon-Wiener Index (H')和Pielou's Evenness Index(J')消長變化如表11.和圖9.所示。所得指數在1.50~3.33之間，顯示龜山島蝶相豐富穩定，僅2021年3月份指數為1.5較低，

因波紋小灰蝶和紋白蝶的大量發生，造成族群量分布不均而影響指數，是值得深入探討的問題。以季節而言，秋季有較高的多樣性，其中2021年9月最高3.33。

表11. 龜山島各月份蝴蝶數量、種數及Shannon-Wiener Index(H')和 Pielou's Evenness Index(J')

調查月份	Jun -20	Jul -20	Aug -20	Sep -20	Oct -20	Nov -20	Mar -21	Apr -21	May -21	Aug -21	Sep -21	Oct -21	Nov -21	Mar -22	Apr -22	May -22	Jun -22	Jul -22	Total
蝴蝶隻次	335	229	264	307	424	161	732	435	357	330	375	599	211	100	207	261	479	625	6,431
蝴蝶種數	36	35	34	31	41	25	32	28	31	38	47	52	33	27	30	44	50	37	99
Shannon-Wiener Index(H')	3	3.03	2.8	2.22	2.58	2.51	1.5	2.16	2.53	2.82	3.33	3.04	2.55	2.61	2.13	3.06	3.24	2.78	-
Pielou's Evenness Index(J')	0.84	0.85	0.79	0.65	0.69	0.78	0.43	0.65	0.74	0.79	0.87	0.77	0.77	0.80	0.65	0.85	0.84	0.78	-

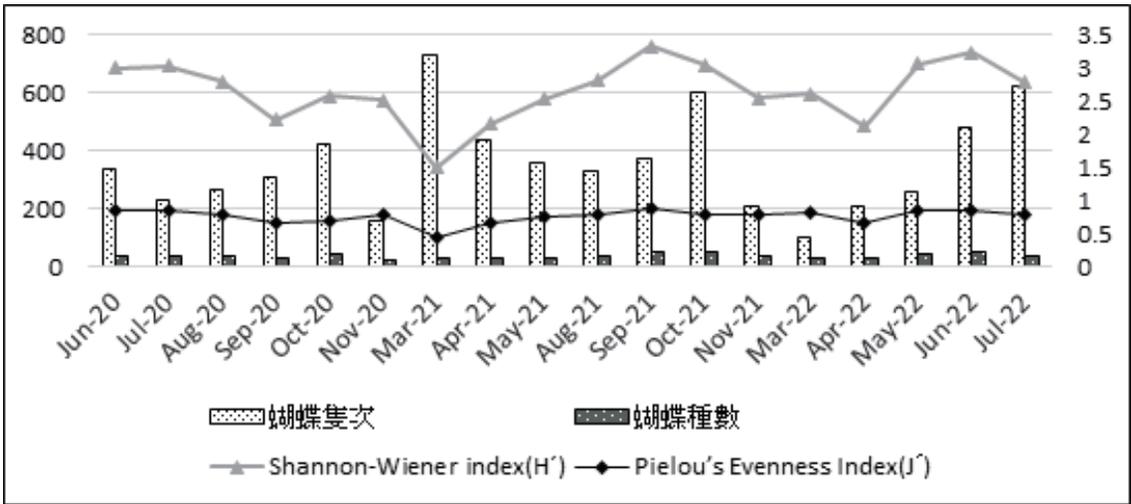


圖9. 龜山島各月份蝴蝶數量、種數及Shannon-Wiener Index(H')和 Pielou's Evenness Index(J')

三、龜山島蝶相之空間分布

龜山島研究區之不同穿越線蝶相調查結果，以生物多樣性指數中的Shannon-Wiener index(H')以及均勻度指數 Pielou's Evenness Index(J')進行分析。如表12.所示。

環湖林緣為3.38、高地步道3.35和401山頂3.12三者指數是屬於較佳，環湖草地僅有1.81屬於較低，指數數值高低為呈現不同棲地環境特性，環湖草地的物種多樣性比其他三處較低，是因草地性的蝶類較少所致。

各穿越線之均勻度指數，環湖林緣為0.79、高地步道0.78和401山頂0.75三者均勻度指數相近，是為較佳，而環湖

草地為0.52屬於普通，顯示龜山島是為穩定的棲地環境，值得繼續追蹤關注。

利用兩種不同生物多樣性指數計算各穿越線出來的結果呈現相近似，在四個不同的棲地環境上，皆為環湖林緣最高或最佳，其次皆依序為高地步道、401山頂及環湖草地。各穿越線棲地蝶相概述如下：

(一)環湖林緣

本穿越線調查記錄有5科72種1,316隻次，是總紀錄中種數僅低於高地步道(75)，高於山頂(64)和草地(32)；隻次為四樣線中最低；蛺蝶科是優勢有29種653隻次(50%)，其中旖斑蝶(琉球青斑蝶) 159隻次最多，其次絹斑蝶(姬小

紋青斑蝶) 118隻次，兩種合計就佔了調查總隻次的21%。本穿越線雖然蝶的隻次最少，蝶種略遜於401高地步道，但是環湖步道林緣植物相豐富，有許多的寄主植物如爬藤、老荊藤、猿尾藤、鷓鴣蔓、絨毛芙蓉蘭、雙面刺、魚木、月桃等植物，比較容易觀察幼蟲，以及有各季節開花的蜜源植物如琉球澤蘭、雙花螳螂菊、臺灣山菊、酢漿草等，但遊客干擾很大，加上除草等因素，林緣的環境在種數及隻次上比高地步道及401山頂略少。在調查時，步道上較高的樹冠上方可以看見有蝴蝶活動，但遠及高無法辨識。

本穿越線Shannon-Wiener index(H')的歧異度(3.38)以及 Pielou's Evenness Index(J')均勻度(0.79)都顯示此區物種分布均勻，沒有明顯的優勢種，生物多樣性較高。

(二)環湖草地

本穿越線調查記錄有5科32種2,038隻次，是總紀錄中隻次最高的穿越線。灰蝶科是優勢有10種，其中豆波灰蝶(波紋小灰蝶)最多有591隻次(29%)，其次粉蝶科的白粉蝶(紋白蝶) 586隻次最多(28.8%)，兩種合計就佔了調查總隻次的57.8%。這裡的草生地有灰蝶

科和粉蝶科的寄主植物，如煉莢豆、蠅翼草、濱豇豆、長葉豇豆、酢漿草、紫花酢漿草，以及獨行菜(小團扇薺)等等提供了蝴蝶幼蟲豐富的食物來源。

本穿越線是四條穿越線上是蝶種最少、數量最多的棲地環境。弄蝶僅記錄到黃斑弄蝶及黑星弄蝶，附近有寄主植物，禾本科及棕櫚科植物；鳳蝶科僅記錄到青帶鳳蝶及黑鳳蝶各1隻，草生地沒有鳳蝶科幼蟲的寄主植物如樟科、芸香科、馬兜鈴科等植物，而在蜜源上，這一區除了大花咸豐草之外，都是低矮貼地生長藤類植物或豆科植物等，並不適合鳳蝶科吸食。

Shannon-Wiener Index(H')的歧異度(1.81)和Pielou's Evenness Index(J')均勻度(0.52)都最低，顯示此區生物多樣性最低，除了因為這裡為棲地類型單一的草生地外，此區域經常有遊客拍照踩踏、除草和進行修繕工程而有較多人為的擾動，蝶況會有一些影響。

(三)401高地步道

本穿越線調查記錄有5科75種1,671隻次，是總紀錄中種數最高、隻次最高的穿越線。蛺蝶科是優勢有30種866隻次(52%)，其中旖斑蝶(琉球青斑蝶) 263隻次最多(16%)，其次絹斑蝶(姬

小紋青斑蝶) 152隻次(9%)，兩種合計就佔了調查總隻次的25%。本穿越線為陡峭的階梯型步道，為低海拔次生林，經過演替已經是綠意盎然的步道植物相豐富，有許多的寄主植物如桑科榕屬植物、芸香科植物、樹杞、老荊藤、魚木、鷓鴣、絨毛芙蓉蘭、雙面刺、毬蘭、月桃、臺灣假黃楊、臺灣山桂花、烏心石、筆羅子、相思樹、紅楠等植物，以及各季節開花的蜜源植物如琉球澤蘭、雙花螳螂菊、臺灣山菊、酢漿草、大頭艾納香、江荊、水金京、食茱萸、圓葉雞屎樹等植物。

本穿越線Shannon-Wiener Index(H')的歧異度(3.35)以及Pielou's Evenness Index(J')均勻度(0.78)都顯示此區物種分布均勻，沒有明顯的優勢種，生物多樣性較高。

(四)401山頂稜線

本穿越線調查記錄有5科64種1,406隻次，以大娜波灰蝶(埔里波紋小灰蝶) 253隻次最多(18%)，淡青雅波灰蝶(白波紋小灰蝶) 184隻次(13%)為次高，青鳳蝶(青帶鳳蝶) 116隻次(8%)，其他蝶種及隻次較均勻，沒有數量特別高的優勢蝶種。401山頂稜線有報春花科的樹杞及臺灣山桂花是大娜波灰蝶(埔里波紋小灰蝶)幼蟲的寄主植物，而薑科的月桃是提供淡青雅波灰蝶(白波紋小灰蝶)幼蟲的寄主植物，樟科的紅楠及大葉楠是提供青鳳蝶(青帶鳳蝶)幼蟲的寄主植物。

本穿越線Shannon-Wiener Index(H')的歧異度(3.12)以及Pielou's Evenness Index(J')均勻度(0.75)，顯示此區物種分布均勻，生物多樣性指數較佳。

表12. 各穿越線蝶相組成之Shannon-Wiener Index (H')和Pielou's Evenness Index

穿越線	環湖林緣	環湖草地	高地步道	401 山頂
蝶種數	72	32	75	64
蝶隻次	1,316	2,038	1,671	1,406
Shannon-Wiener Index(H')	3.38	1.81	3.35	3.12
Pielou's Evenness Index(J')	0.79	0.52	0.78	0.75

伍、結論與建議

一、結論

本研究結論分別以龜山島蝶相組成、不同穿越線蝶相之時間分布、不同穿越線蝶相之空間分布分述如下。

(一)龜山島蝶相組成

本研究調查結果，記錄到龜山島的蝴蝶共有5科99種6,431隻次。與歷史紀錄相比，新增無尾白紋鳳蝶、翠斑青鳳蝶(綠斑鳳蝶)、紫珈波灰蝶(紫長尾波紋小灰蝶)、深山黛眼蝶(深山玉帶蔭蝶)和蓬萊環蛺蝶(埔里三線蝶)、尖翅絨弄蝶(沖繩絨毛弄蝶)、斑鳳蝶(褐斑鳳蝶)、玳灰蝶(恆春小灰蝶)、淡紋青斑蝶(淡小紋青斑蝶)等9種新紀錄種，加上東北角管理處志工於2020年4月18日記錄到的新紀錄種並且是特有種的墨子黃斑弄蝶(細帶黃斑弄蝶)，共計10種，此結果使龜山島蝴蝶名錄由原先文獻記載的120種增加至130種。加上本研究結束後新紀錄的小雙尾蛺蝶(姬雙尾蝶)及方環蝶(鳳眼方環蝶)龜山島的蝴蝶紀錄為132種。

四條穿越線中，以蝶種而言，401高地步道75種蝶類為最多，隻次為1,671，因為步道登山口林緣為開闊地，大花咸豐草、雙花薔棋菊和貼地生長的一些

植物都提供了很好的蜜源，較容易觀察到，因為管制每日登山客人數，干擾較少，比較容易記錄到蝶種及森林性的蝶類，次之為環湖林緣72種(1,316隻次)及401山頂的64種1,406隻次，總種數及隻次差異不大，種類最低的是環湖的草地，這裡地勢平坦，遊客休憩拍照景點，干擾較大，僅32種蝶類，但有2,038隻次是數量最多的穿越線，因為灰蝶及粉蝶科在春季時會有季節性的大發生出現。但這些大發生的蝴蝶，在季節過後通常不再出現，如白粉蝶(紋白蝶)及折列藍灰蝶(小小灰蝶)非常明顯；有些蝴蝶與歷史紀錄相比，現在穩定可以見到，如白尾小灰蝶，蝶會系統3年調查中才記錄到3隻，但牠的寄主植物濱豇豆和長葉豇豆一直存在；有些蝴蝶下午出現比上午高，如絹斑蝶(姬小紋青斑蝶)和雅波灰蝶(埔里波紋小灰蝶)等。

(二)龜山島不同穿越線蝶相之時間分布

龜山島是定位生態島，周休一天(週三)、年休一季(冬季)。調查期間因冬季12隔年2月是島上休養期以及疫情三級警戒(封島)，所以2020年6月到2022年7月，僅有18個月的調查。其中以秋季10月出現的蝶種53種最高，超越總調查的蝶種的1/2，而10月隻次是599是為第

2高；最低的月份是11月25種，因為東北季風開始吹拂南下，氣溫開始下降到20℃甚或更低，不利蝴蝶活動。

(三)龜山島不同穿越線蝶相之空間分布

透過生物多樣性指數分析穿越線環湖林緣的Shannon-Wiener Index (H') 3.38最高，表示物種多樣性高，其次依序是高地步道3.35、401 山頂3.12，最低的是環湖草地僅有1.82，多樣性最低。Pielou's Evenness Index(J')均勻度指數最高為環湖林緣0.79，其他依序為高地步道0.78、401山頂0.75，最低的是環湖草地0.52。指數高低為顯示該棲地的環境特色，非個棲地之間的優劣比較，為提供後續監測是否變動之參考依據。環湖林緣、高地步道和401 山頂這三者的歧異度Shannon-Wiener Index (H')及均勻度Pielou's Evenness Index(J')指數都相近，在3.12~3.38及0.75~0.79，生物多樣性最高及較佳。環湖草地不管是歧異度或均勻度指數都最低(1.81及0.52)，顯示此區生物多樣性較低，除了因為這裡為棲地類型單一的草生地外，此區域經常有遊客拍照踩踏、除草和島上修繕工程而有較多人為擾動影響亦有關係。

二、建議

本研究之建議事項如下：

- (1)由於調查日都採當天船班來回，因此本研究調查時間限縮於日間部份時段，若能開放研究人員住宿，則可增加晨昏等時段調查，亦可增加腐果或陷阱調查，以及擴大調查範圍如北岸步道，如此可更完整建構出龜山島的蝶相及生態。
- (2)為維護並增加島上蝴蝶豐度與多樣性，建議可調整除草與植物修剪的頻率、時間和方法。目前島上是依據宜蘭縣環境清潔維護自治條例執行島上環境維護工作。除草和植物修剪的頻率可分區並視各區不同使用或安全需求調整，以低頻度維護管理為原則；時間上於各區蝶類活躍季節或植物開花和新葉生長季節可降低維管頻度；方法上除分區管理外，可加強相關工作人員對特定寄主和蜜源植物的辨識能力，維護管理時可優先保留此類植物，另外草地部分可提高割草高度，避免地表裸露，並可保留草本蜜源和寄主植物生長空間。
- (3)建議可加強外來種的移除。大花咸豐草由於提供重要蜜源，且入侵已久無法藉由移除有效根除，可視為歸化

種適度管理；銀合歡在龜尾地區已出現，發現時應立即移除；裂葉月見草在龜尾也是隨處可見，擴散速度快，應執行移除工作並留意後續發展；小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha*)於調查期間有船家導覽員告知龜尾湖步道有發現，經查是與小花蔓澤蘭極為相似的蔓澤蘭(*Mikania cordata*)，生長在環湖步道靠近湖側，目前僅發現一處。另外，東北角及宜蘭海岸國家風景區管理處有調查報告指出401高地步道上小花蔓澤蘭，並提供座標，但本研究調查期間多次往返該地點均未發現小花蔓澤蘭，後續若發現會通報相關單位處理。

- (4)四、五月間搭船往龜山島途中，海面上可看到紫斑蝶往龜山島方向飛，島上也常可在避風處發現小群約10-20隻紫斑蝶(以斯氏紫斑蝶及圓翅紫斑蝶居多)聚集吸食琉球澤蘭，亦值得進一步研究。
- (5)本研究彙整過往調查資料，並執行系統性蝶類調查，初步掌握龜山島蝶類資源及生態特性，建議相關單位後續可推動長期的蝶相普查工作，瞭解龜山島蝶類資源的長期變動狀況，也更能呈現島嶼蝶相的豐富度與特色。

陸、參考文獻

- Pollard, E. (1977). A Method for assessing changes in the abundance of butterflies. *Conservation Biology*, 12, 115-134.
- 王效岳、李俊延 (1998)。龜山島的蝴蝶與蛾類。宜蘭縣：宜蘭縣自然史教育館。
- 王崧興 (1967)。龜山島—漢人漁村社會之研究。中央研究院民族學研究所專刊之十三，12。臺北市：中央研究院民族學研究所。
- 江協堂 (2020/12)。地質專欄—龜山島海域地質。蘭博電子報，20。2006年9月出刊。【文字資料】。取自：<https://www.lym.gov.tw/ch/collection/epaper/epaper-detail/138041f0-1180-11ea-8482-2760f1289ae7/>
- 交通部觀光局 (2022//6)。龜山島生態旅遊作業管理要點。【文字資料】。取自https://motclaw.motc.gov.tw/Law_ShowAll.aspx?LawID=L0219014&Mode=0&PageTitle=%e6%a2%9d%e6%96%87%e5%85%a7%e5%ae%b9

- 宋增璋（1989）。臺灣省附屬島嶼之今昔。**臺灣文獻**，40(1)，79。
- 李俊延（1997）。龜山島蝴蝶相之形成。**臺灣博物**，16(4)，20-24。
- 李英茂（譯）（1996）。台北州龜山島旅行記（原作者：丹桂之助）。**宜蘭文獻雜誌**，19，22-32。（原著出版年：1932，**地學研究**，4，116-128。）。
- 吳永華（1997）。**蘭陽三郡動物誌**。臺北市：玉山社。
- 吳永華（2002）。**龜山島生態情報**。臺中市：晨星出版有限公司。
- 社團法人台灣蝴蝶保育學會（2020/12）。台灣產蝶類名錄20200103修訂-徐氏編號【文字資料】。取自 <https://drive.google.com/file/d/1I22PrIgjxMCsDcozzhnck04adGyT-f7fV/view?usp=sharing>
- 林春吉（1997）。龜山島的蝴蝶世界。**臺灣博物**，16(4)，25-30。
- 邱玉娟、方懷聖（2005）。**宜蘭縣蝴蝶資源現況**。宜蘭縣的野生動物。南投縣：行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 邱思叡（2016）。**北海岸農耕水梯田與休耕水梯田水棲昆蟲群聚結構之研究**(未出版之碩士論文)。臺北市立大學，臺北市。
- 徐琦峰、黃行七、千葉秀幸（2009）。臺灣產蝶類雜記 離島篇。**昆虫と自然**，44(3)，22-31。
- 徐琦峰、王守民、黃行七、呂晟智（2014）。台灣離島の蝶相。**昆虫と自然**，49(14)，13-17。
- 陳子英、袁孝維（2022）。龜山島生態之旅。**悠遊噶瑪蘭海岸：東北角暨宜蘭海岸國家風景區宜蘭轄區生態解說專書**，104。新北市：交通部觀光局東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處。
- 陳威光（2005）。飛過滄海的蝴蝶龜山島捕獲青斑蝶感言。**蝶季刊**，2005冬季號，24。
- 陳建志（1996）。**台北動物園蝴蝶公園之蝶類群聚研究**(未出版之博士論文)。國立臺灣大學，臺北市。
- 陳建志、朱耀沂（1999）。台北市立動物園蝴蝶公園蝶相之時空分布。**動物園學報**，11，27-48。
- 黃行七（2006）。龜山島的蝴蝶資源。**龜山島導覽人員生態旅遊訓練活動手冊**。臺北縣：交通部觀光局東北角海岸國家風景區管理處。

- 黃行七、徐渙之、洪素年、吳文德（2009）。龜山島蝶相調查。**台灣昆蟲第二十九卷第四期**，418。
- 黃行七（2016）。東北角的蝴蝶相。**105年度志工第四次研習計畫—認識台灣植物和東北角的蝴蝶相研習手冊**。新北市：交通部觀光局東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處。
- 黃馨賢（2016）。**新北市石門區崧山社區蝶相及其生態之研究**(碩士論文)。臺北市立大學，台北市。
- 楊平世（1994）。**龜山島生物資源與地質調查報告書**。國立臺灣大學植物學系，臺北市。
- 楊平世（2002）。**龜山島上的蟲蟲。重返龜山島**。臺北市：中華民國自然生態保育協會。
- 蔡志忠（2009）。**龜山島植物相之探討** (未出版之碩士論文)。靜宜大學，臺中市。
- 鍾國芳、邵廣昭（2022/6）。**臺灣物種名錄**。網路電子版 version 2022【文字資料】。取自<http://taibnet.sinica.edu.tw>
- 鍾喬、賴春標、劉秀滿、游靜秋、潘寶珠、吳永華（1993）。宜蘭：台灣人的心靈故鄉。宜蘭市：宜蘭縣政府。

The spatiotemporal distribution of butterfly Fauna on Guishan Island

Yueh-Tzu Yang, Chien-Chih Chen

Abstract

The purpose of this study is to explore the composition and spatiotemporal distribution of butterflies on Guishan Island. Four transect lines were established along different habitat types, including the Turtle Lake trail edge and grassland environment, the highland trail forest environment, and the 401 trail mountaintop, using transect line survey methods. Data were recorded for butterfly species, individuals, and behaviors on both sides of these transect lines. The study was conducted from June 2020 to July 2022, excluding an 8-month island closure period, resulting in a total of 72 effective survey months.

The study recorded a total of 99 species from 5 families, comprising 6,431 individual butterflies on Guishan Island. Compared to historical records, 9 new species were added, including *Papilio castor formosanus*, *Graphium agamemnon*, *Catochrysops strabo luzonensis*, *Lethe insana formosana*, *Neptis taiwana*, *Hasora chromus*, *Papilio agestor matsumurae*, *Deudorix epijarbas menesicles*, and *Tirumala limniace limniace*. Additionally, a new record, *Potanthus motzui*, was documented by volunteers from the Northeastern Coast National Scenic Area Administration on April 18, 2020. These findings expanded the butterfly species list on Turtle Island from the previously documented 120 species to 130 species. Dominant species, with a total occurrence of over 5%, included *Pieris rapae crucivora* (12.2%), *Lampides boeticus* (9.5%), *Ideopsis similis* (7.8%), *Zizina otis riukuensis* (7.1%), *Zizeeria maha okinawana* (6.8%), and *Nacaduba kurava therasia* (6.3%). The Shannon-Weiner diversity index analysis indicated that the diversity index ranged from 2.5 to 3.3 in different months, with the lowest value of 1.5 observed in March 2021. This suggests that the butterfly diversity on the island is stable, indicating a rich ecological environment. The low diversity index in March was due to the high abundance of *Lampides boeticus* and *Pieris rapae crucivora*, causing uneven distribution and a lower diversity index. The highest diversity indices were observed in the trail edge forest and highland trail forest with values of 3.38 and 3.35, respectively, while the grassland along the Turtle Lake trail had the lowest diversity index at 1.81, indicating that grassland environments support fewer dominant species and have lower diversity compared to forested environments.

Because vegetation maintenance and management on the island have a significant impact on butterfly distribution and activity, the study recommends adopting zone-specific treatments to reduce disturbance and increasing staff knowledge of host plants to prevent the inadvertent removal of crucial vegetation that affects butterfly ecology.

Keywords: Guishan Island, butterfly fauna, spatiotemporal distribution, diversity index.

徵稿辦法

- 一、 本刊以論述環境教育理論、環境教育實務、及研究成果為主，歡迎踴躍賜稿。
- 二、 撰稿原則如下：
 1. 來稿請用橫式稿紙，文長以一萬字至二萬字為原則，並請附磁片(請用一般文字檔儲存)。
 2. 來稿請附中、英文篇名及中、英文摘要與關鍵字；中文摘要不超過300字，英文摘要不超過300字(附標題及作者之英文全名)，中英文關鍵字以三～五個為限。
 3. 作者請註明真實姓名、最高學歷、服務單位及現任職銜。
 4. 來稿之附註及參考書目，請用APA格式。
 5. 來稿若為譯文，請附原文影本及原著作同意函，並請註明原文出處、原作者姓名及出版年月。
- 三、 請勿一稿兩投，或侵犯他人著作權。
- 四、 本稿刊出，該著作所有列名作者皆須同意文章被刊登於環境教育學刊後，其著作財產權即授權給臺北市立大學地球環境暨生物資源學系(含環境教育與資源碩士班)並同意其得再授權給國家圖書館與其他資料庫業者進行數位化、重製，並存於資料庫，透過單機、網際網路、無線網路等公開傳輸方式，提供使用者檢索、瀏覽、下載、傳輸、列印等產品或服務，或以光碟方式發行；並得為符合國家圖書館『遠距圖書服務系統』或其他資料庫之需求，酌做格式之修改。
- 五、 來稿若經錄用，本刊因編輯需要，保有文字刪修權。
- 六、 本刊採匿名審稿制度，由本刊編輯委員或有關學者專家審核之。凡經審查委員要求修改之文章，請作者修改後再行刊登。
- 七、 來稿不論審查通過與否，一律不退件，惟本刊會另函通知作者。
- 八、 來稿請以掛號郵寄臺北市愛國西路一號「臺北市立大學地球環境暨生物資源學系(含環境教育與資源碩士班)」收或以e-mail傳至 envir-cjee@go.utapei.edu.tw

文稿書寫注意事項

- 一、 文稿須以Microsoft Word可讀取之軟體編輯，以A4紙列印，文稿之天、地、左、右須留白3公分，於每頁正下方註記頁碼。
- 二、 論文內容順序：題目，作者，職稱，摘要（300字），壹、前言，貳、文獻探討，參、研究方法，肆、結果與討論，伍、結論與建議，陸、參考文獻
- 三、 本文敘述，應用數字編號時，其層次
中文用：一、(一)、1、(1)、…
英文用：I、(I)、1、(1)、A、a、(a)…
- 四、 中英文單位請用公制之符號，例如：kg、mg、ml、ppm、pH、cm等，數值請以阿拉伯數字表示之，年代一律用西元。
- 五、 插圖請用白紙（或繪圖紙）以黑墨水精繪，亦可採電腦製圖，惟須以雷射印表機列印；照片限原始攝影採光面相紙沖印者，幻燈片限用原片；未按規定之插圖致圖片模糊無法製版者不予受理。
- 六、 六、圖片之標題在下方，表格標題在上方，標題需中英文並列，圖的說明應中英文對照另頁繕打，不可附在繪圖及相片上面。本文中圖表順序以1，圖2，表1，表2…，Fig.1, Fig. 2, Table 1, .Table 2, …等表示。
- 七、 圖表內容請用中文或英文，表格不加縱線。圖、表均以A4大小、列印，定稿後圖、表請送原稿。
- 八、 引用文獻以確經引用者為限，文中提到之文獻，請列出姓氏、年代。
- 九、 引用文獻書寫方式：以APA格式，先列中、日、韓文，次列西文，其書寫方法按作者、年份、題目、發表刊物名稱（全名，不採用縮寫）、卷期及頁號順序。例：
吳美麗（1999）。探討食用、藥用真菌在國小自然科教學的應用。**科學教育研究與發展**，14，7-19。
Wu M. L. and Haines, J. H. (1999). A new foliicolous *Lachnum* from Taiwan. *Mycotaxon*, 73, 45-49.

臺北市立大學「環境教育學刊」投稿者資料表

投稿日期	年 月 日	投稿序號	(作者免填)
字數		語文類別	<input type="checkbox"/> 中文 <input type="checkbox"/> 英文
論文名稱	中文： 英文：		
作者資料	姓 名	服務單位及職稱(全銜)	
第一作者	中文：	中文：	
	英文：	英文：	
共作者 A	中文：	中文：	
	英文：	英文：	
共作者 B	中文：	中文：	
	英文：	英文：	
通訊作者	中文：	中文：	
	英文：	英文：	
	TEL. (H) (O) FAX :		E-mail :
通訊處：(郵遞區號)			
論文格式	<input type="checkbox"/> 本論業已依 APA 格式撰寫		
論文遞送方式	<input type="checkbox"/> 郵寄論文三份紙本(匿名)及電子檔(磁片或 CD) <input type="checkbox"/> 郵寄論文三份紙本(匿名)及電子檔以 e-mail 傳送至 envir2@utapei.edu.tw		
作者簽章：_____ 年____ 月 ____ 日 (如有兩位以上作者，每位作者均需簽章)			

投稿地址：10048 臺北市中正區愛國西路一號 電話：02-23113040#3153
 臺北市立大學「環境教育學刊編輯委員會」(理學院 環境教育暨資源碩士班)

環境教育學刊

Chinese Journal of Environmental Education

第二十一期

VOLUME 21

定價：新臺幣壹佰元整

刊期頻率：本刊原為年刊，於96年起改為半年刊，6月底及12月底出刊。

出刊年月：民國112年12月

創刊年月：民國91年原名臺北市立師範學院環境教育學刊(91-93)

民國94年5月更改為臺北市立教育大學環境教育學刊

民國95年臺北市立教育大學與臺北市立體育學院合併，成為臺北市立大學

編輯者：臺北市立大學環境教育學刊編輯委員會

主編：陳建志

編輯委員：余泰毅、楊平世、盧秀琴

(以上3位為校外委員，依姓氏筆劃順序排列)

吳書平、陳建志、廖運志

(以上3位為校內委員，依姓氏筆劃順序排列)

總編輯：劉宛菁

執行編輯：楊佳璇

執行助理編輯：呂宜軒

發行人：邱英浩

發行所：臺北市立大學地球環境暨生物資源學系(含環境教育與資源碩士班)

發行地址：10048臺北市中正區愛國西路1號

電話：(02)2311-3040#3152、3153

傳真：(02)2381-9406

印刷廠：永揚立有限公司

地址：新北市蘆洲區中華街49號1樓

ISSN：1727-8635

GPN：2009103918