

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生物科

第二名

030312

探討 O_2 、 CO_2 與溫度等因子的變化對大刀屬螳
螂生存之影響

學校名稱： 南投縣立宏仁國民中學

作者：	指導老師：
國一 潘尹嘉	李季篤
國一 陳湟鎧	李宜芳
國一 曾恩好	

關鍵詞： 大刀屬螳螂(*Tenodera*)、螳螂體溫、螳螂呼
吸

摘要

本研究探討 O_2 、 CO_2 與溫度等因子的變化對大刀屬螳螂(*Tenodera*)生存之影響，以下研究簡稱大刀螳螂。結果一：7 種野生環境 O_2 最低平均 19.79%、 CO_2 最高 438.57ppm，全罩環境 CO_2 濃度平均最高 1200ppm，且不吃不喝下平均存活了 43 天。當低 O_2 平均在 8.2%、 CO_2 濃度 6496ppm 時，雄蟲呼吸速率增快 397.2%，經過 6.47 小時昏迷，最快 0.48 小時甦醒。結果二：8 種不同環境溫度與行為，首度證實之前從未被證實過大刀螳螂體溫總平均高於環境 $2.79^{\circ}C$ 。第 9 種溫度實驗發現在 $40^{\circ}C$ 時，體溫總平均竟高於環境 $6.97^{\circ}C$ ，平均 3 分鐘死亡。

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一、動機

小時候經常跟家人到郊外踏青，每次看到昆蟲都想帶回家飼養，體型像我們手指那般長的大刀螳螂是其中一種。我們一直認為養螳螂是一件很簡單的事，因為帶回家的螳螂，只要捉紋白蝶或大麥蟲餵食，就可以把牠養得肥肥胖胖。但在上完國中第一堂的自然課後，對於飼養螳螂的想法有了更深刻認識與了解，原來生物之所以能存活，不是單給足食物就好而已，更需要滿足『空氣、陽光、水與養分』等四大基本生存要素(康軒，2024；圖 A 作者繪)。我們都知道了四大要素的重要性，其中空氣與陽光或溫度皆沒有具體的形象，因此我們很好奇這些因子的變化對大刀螳螂又有何影響？

我們曾閱讀世界衛生組織(WHO)公布的文章，指出全球每年估計有數百萬人死於空氣污染，還有更多人呼吸著含有高濃度污染的空氣而嚴重傷及身體，從這可知，空氣污染已經成為現今最大環境問題之一。而就在我們學校前方的小山坡，住著一群大刀螳螂，牠的棲息地同樣面臨開發棲地被破壞與帶來的空污問題。我們曾經目睹道路整修，施工單位不僅把螳螂居住的地方剷平鋪路，還釀成嚴重的空氣污染(圖 B)，因此我們『想要研究大刀螳螂的動機』，是要探討『空氣與溫度對大刀螳螂生存之影響』。根據眼前所見到的景象，擬定兩個研究方向。第一『空氣因子』：大刀螳螂的棲息地不只被破壞，其中每天還有為數不少的汽車不斷穿梭(圖 C)，每次車子經過所排出來的廢氣，正悄悄的改變了空氣中 O_2 、 CO_2 濃度，所以我們第一個研究方向，要探討『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響？第二『溫度因子』：因為汽車排出來的廢氣有很多種，其中排放的 CO_2 是造成溫室效應的氣體之一，會導致環境出現高溫或極端氣候，因此『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響成為我們第二個研究方向。

對於研究的動機以及內心疑問，主要目的是希望透過此次的研究，再次喚起『大家對於環境的重視，並在這些環境因子受到改變之前，為大刀螳螂找到生存範圍與關鍵』。



二、研究目的

- (一)、研究『O₂、CO₂濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響
- (二)、研究『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響

三、關於螳螂研究的文獻回顧與我們的見解

(一)、有關螳螂『體色變化』的研究，作品如下：

1. Rosenheim, Leah; Rosenheim, Jay; Maxwell, Michael (2025) Coloration in a Praying Mantis: Color Change, Sexual Color Dimorphism, and Possible Camouflage Strategies. 研究重要論點如下：
 - (1) 螳螂在發育的過程中，會根據當時環境的不同而改變體色，導致個體間出現變異。
 - (2) 雄性螳螂比雌性螳螂有較大的變異性體色，例如身體呈綠色、前胸背板是棕色等。
2. 周津苓(1984)・揭開螳螂體色的奧秘，研究的重要論點如下：

- (1) 螳螂身上不同的體色，與他所棲息在植物上的顏色有關係。
- (2) 當螳螂棲息在與體色不同的環境時，受到環境影響的關係，有 62.5% 會改變體色。

(二)、有關螳螂『生殖行為』的研究，作品如下：

1. 王楷甯(2024)・'kalus-nibu' 的生殖行為—探討枯葉大刀螳螂交尾、產卵、孵化的生殖行為研究，研究的重要論點如下：
 - (1) 交配完成後，雄螳螂會以 $78 \pm 19.8 \text{ cm/s}$ 的速率逃離，避免被雌螳螂獵捕。
 - (2) 被雌螳螂咬斷頭胸部後的雄螳螂，平均還可以再活 5 天。
2. 林偉爵(2017)・寬腹斧螳雌蟲營養狀態與雄蟲被偵測與否對於性食行為的影響，研究的重要論點如下：
 - (1) 寬腹斧螳性食率幾乎不受雌蟲營養狀況影響，且不論狀況好或壞皆具有極高性食率。
 - (2) 作者發現，雄螳螂被雌螳螂偵測到之後，才上背的雄螳螂有極高的性食率。
3. Jayaweera A, Rathnayake DN, Davis KS, Barry KL. (2015). The risk of sexual cannibalism and its effect on male approach and mating behaviour in a praying mantid. Anim Behav 110:113-119.
研究的重要論點如下：
 - (1) 發現性食行為過程，會影響雄性螳螂的求偶和交配行為。
 - (2) 雄性會根據當時風險狀況調整行為，目的是在減少被雌性性食的機會。
4. Maxwell MR, Gallego KM, Barry KL. (2010). Effects of female feeding regime in a sexually cannibalistic mantid: fecundity, cannibalism, and male response in *Stagmomantis limbata* (Mantodea). Ecol Entomol 35:775-787. 研究的重要論點如下：
 - (1) 雌性螳螂對食物攝取量與繁殖具有顯著差異，當雌性螳螂進食較多時，繁殖力較高。
 - (2) 性食行為的頻率增加，這可能是因為雌性需要更多的營養來支持其產卵的過程。

(三)、有關螳螂『被鐵線蟲寄生』的研究，作品如下：

1. 邱名鍾(2017)・臺灣鐵線蟲生物多樣性及寄生對於寄主形態發育的操控，重要論點如下：
 - (1) 發現臺灣目前有三種鐵線蟲，分別是臺灣索鐵線蟲、臺灣尖尾鐵線蟲、原鐵線蟲。
 - (2) 其中臺灣索鐵線蟲主要寄主在斧螳 (*Hierodula spp.*)，少部分也寄生在花螳螂科。

(四)、有關螳螂『溫、濕度影響孵化、捕食、習性、天氣、型態分類』的研究，作品如下：

1. 趙云彤(2022) · 螳螂捕食行為之生物力學初步探討，研究的重要論點如下：
 - (1) 不同種類的螳螂，只要體長相近產生的拉力會相近；體長越長能產生的拉力越大。
 - (2) 螳螂 6 隻腳之中腳與後腳有助於牠固定在物體的表面。
2. 周倖瑜(2006) · 名和異跳螳(Amantisnawai(Shiraki,1908))翅的二型性：台灣地區名和異跳螳雄蟲具有不同翅型，研究的重要論點如下：
 - (1) 發現兩種翅型雄蟲不僅外表形態 (除翅膀) 類似、生殖器形態也幾乎相同。
 - (2) 不同翅型名和異跳螳雄蟲為同物種，是螳螂目第一次所記錄到翅膀的二型性。
3. Iuliana M. Chiru(2022) · Weather Influence on Native and Alien Mantis Dynamics and Their Abundance in the Current Climate Change Conditions.研究的重要論點如下：
外來種的螳螂族群數量與當地天氣因素（如風速、風向、日照時數）等有密切相關。
4. Catherine Anne Linn(2016) · Habitat Preference of German Mantis religiosa Populations (Mantodea:Mantidae) and Implications for Conservation.研究的重要論點如下：
溫度是影響德國歐洲螳螂 (*Mantis religiosa*) 卵孵化與若蟲存活的主要非生物因子。

(五)、我們對於文獻回顧後的見解想法，並『擬定與前人不同的研究方向與目的』

整理了 11 篇前人文獻資料後，我們覺得螳螂受到很多人的喜愛，才會有這麼多人願意投入研究，在諸多文獻中，我們印象最深刻的還有一篇在於全國中小學科展競賽的報告，這篇在第 23 屆(民國 72 年)時就完成的報告，當時陳偉利等人以鳶山上的小狩獵者-螳螂生活習性和捕食行為的研究，我們認為這是一篇全面性的觀察報告，因為報告中記錄了螳螂的捕食、擬態行為、各階段型態、產卵、生態習性、複眼功能等等的生態行為，這些完整的資料，成為了日後大家研究螳螂的基礎知識。

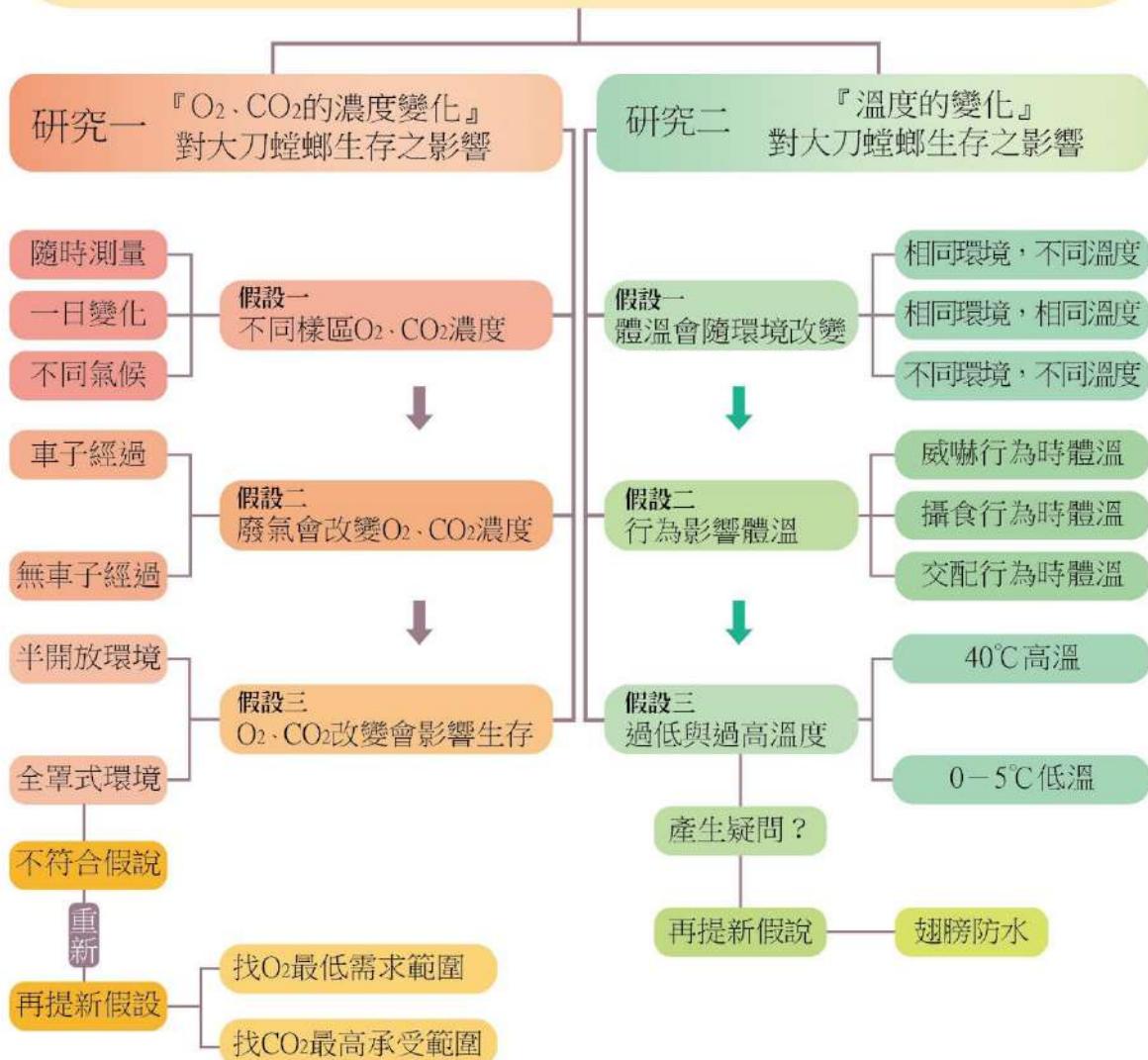
不過經過了 42 年，如今將相關的研究資料彙整之後，我們發現前人研究螳螂的生態，大多傾向於螵蛸孵化、生活史記錄、天敵寄生、型態特徵、體色變異、分類、族群分布、捕食與生殖行為等研究為主，而對於螳螂所生存環境的 O_2 範圍是多少？多少 CO_2 濃度會對牠造成傷亡？螳螂的體溫是多少？何種溫度會威脅到牠的生命？這些在文獻裡較少見到。『因此我們決定把研究的方向，朝向這些前人研究較少的內容』，以空氣中 O_2 、 CO_2 、溫度等因素的變化對大刀螳螂生存之影響，做為我們今年科展的研究主題，其『目的』是希望透過這次研究，喚起大家重視環境，因為 O_2 、 CO_2 或溫度的改變，是現今環境的重大議題，也可能是造成大刀螳螂存亡的因素，所以透過此研究，了解大刀螳螂生存的重要關鍵。

貳、研究設備及器材

1. 二氧化碳偵測器、氧氣偵測器、紅外線熱像儀、真空抽氣器、溫度器、製冷熱調控器。
2. 流量計泡器、細化器、筆電、數位攝影機、台灣座標轉換 APP、電子磅秤、 CO_2 鋼瓶。
3. 直尺、手機、絕緣膠帶、鑷子、碼錶、板手、pipette、飼養箱、透明飼養杯、保麗龍。

參、研究流程或方法

探討 O_2 、 CO_2 與溫度等因子的變化 對大刀屬螳螂生存之影響研究架構



研究一、探討『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響

(一)、大刀螳螂野生棲息海拔與棲息處的調查

1. 大刀螳螂棲息的海拔有多高？

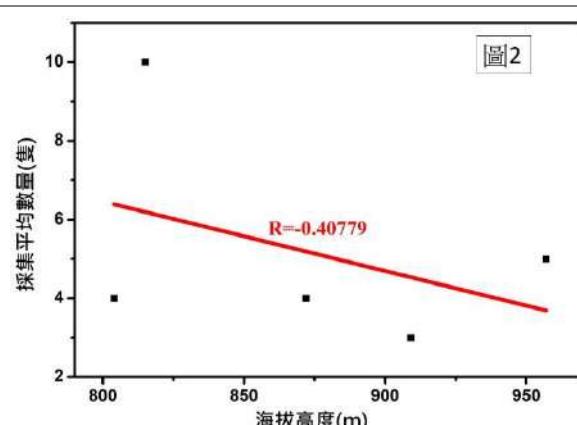
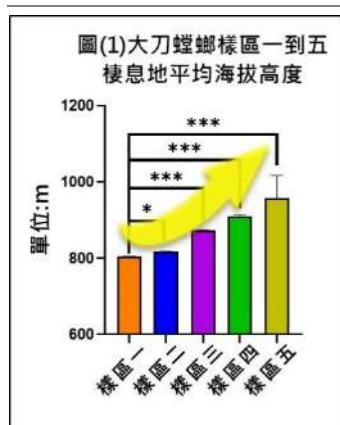
使用手機拍攝棲息樣區的畫面，再利用手機下載台灣座標轉換 APP 應用程式定位，找出野生大刀螳螂棲息的樣區座標與海拔高度，將採集點分為五個樣區，如(表一)。

2. 棲息的海拔高度與大刀螳螂數量間關係？

記錄野生大刀螳螂各階段數量，其中成蟲用奇異筆畫上♀、♂記號辨識，並分析不同高度與數量之間的相關性，在不同的海拔樣區中，大刀螳螂的族群數量間 R 值為-0.40，屬中度相關，可以推測大刀螳螂的族群數量與海拔高度雖然有些關係，其變化還與與其他因素有關 $n=155$ (如圖 1、2、A)。

表一、大刀螳螂野生棲息地的「經度」、「緯度」、「海拔高度」與採集樣區的測量結果

樣區一	樣區二	樣區三	樣區四	樣區五
經度	121.010051°	121.011278°	121.009233°	121.009417°
緯度	23.9093414°	23.9107735°	23.9148963°	23.9154655°
海拔(m)	804±1.247	815±4.082	872±2.054	909±3.265



(二)、提出疑問

我們順利測量到了大刀螳螂樣區的海拔高度結果，可是在過程中，我們看到了樣區附近不斷有機車、汽車，甚至水泥攪拌車來回經過，每次車子經過後，都會排出大量黑煙廢氣造成空氣汙染，這令人難聞的廢氣改變了原有的清新空氣(如圖 A、B、C)。教科書上說空氣中 O_2 與 CO_2 是生物生存的重要氣體之一(康軒，2024)，因此我們產生了三個疑問。第一、生活在不同樣區的大刀螳螂， O_2 與 CO_2 濃度會一樣嗎？第二、汽車所產生的廢氣，會改變樣區的 O_2 與 CO_2 嗎？第三、 O_2 與 CO_2 的改變會影響大刀螳螂的生存嗎？



(三)、提出假設：

假設一、不同樣區 O_2 與 CO_2 的濃度可能不大一樣？假設二、車輛排放的廢氣可能會改變棲息地附近 O_2 與 CO_2 濃度？假設三、 O_2 與 CO_2 的濃度改變，可能會影響大刀螳螂的生存嗎？

(四)、動手實驗：

實驗 1-1 假設一、不同樣區 O_2 與 CO_2 的濃度可能不一樣？

實驗時間與分組：在 113 年 10 月~113 年 12 月間的周六、日，我們在不同的樣區提出『三種不同』的情況，來測量大刀螳螂棲息地的 O_2 與 CO_2 濃度。

步驟 1. 第一種情況，『隨時、隨機』測量的 O_2 與 CO_2 濃度是多少？

- (1) 實驗的想法：來自上述調查大刀螳螂野生棲息環境的時候，我們想到生活在這裡的大刀螳螂環境中的 O_2 與 CO_2 濃度是多少？
- (2) 測量的時間：白天在進行調查時，隨時、隨機進行測量。
- (3) 測量的方法：將 O_2 與 CO_2 偵測棒固定在三角架上，放在五個棲息樣區上，開啟偵測棒熱機 1 分鐘後，『隨機』進行測量，每 5 分鐘循環測量一次，測出最大(MAX)與最小(MIN)濃度，每個樣區都重複三次測量($n=5$)。

步驟 2. 第二種情況，野生大刀螳螂棲息地『樣區一日』 O_2 與 CO_2 的濃度變化是多少？

- (1) 實驗的想法：來自步驟 2 隨機測量時，當時陽光很強烈，因此我們很想知道太陽出來前、後棲息地的 O_2 與 CO_2 濃度會一樣嗎？
- (2) 測量的時間與測量的方法：在 113 年 10 月 19、26 日與 113 年 11 月 9、16 日共四日的早上 07：00~15：00 進行測量。方法如上述步驟 1-(3)，並選擇較低海拔的樣區一與較高海拔的樣區五進行測量，每個樣區都重複三次測量($n=4$)。

步驟 3. 第三種情況，野生大刀螳螂的棲息地在『不同氣候時』的 O_2 與 CO_2 濃度是多少？

- (1) 實驗的想法：測完第二種情況後，我們還想到大刀螳螂棲息在這裡，不僅晝夜而已，還會遇到雨天或寒流天等不同的氣候環境。
- (2) 測量的時間：在白天早上 8：00~12：00 間、晚上選擇天黑後 6~8 小時間進行測量、雨天以雨剛停止時、寒流則選擇在 114 年 2 月 8 日寒流來時的早上測量。
- (3) 測量的方法：如上述步驟 1-(3)，每個樣區都重複三次測量($n=41$)。

實驗 1-2 假設二、車輛排放的『廢氣可能會改變棲息地附近』 O_2 與 CO_2 濃度？

步驟 1. 實驗的想法：來自我們在路旁記錄時，只要車子經過，就會排出廢氣，同時聞到一股濃濃的汽油或惡臭味，因此我們想測量汽車排出廢氣中的 CO_2 濃度。

步驟 2. 測量的方法：如假設一、步驟 1-(3)，再分成『實驗組小型車、水泥攬拌車』經過；『對照組沒有車子』經過，比較棲息地在有、無車子經過時 O_2 與 CO_2 濃度的變化。車子經過無法再來一次，但每個樣區都重複三次測量($n=52$)

實驗 1-3 假設三、 O_2 與 CO_2 的濃度改變，『可能會影響大刀螳螂的生存』？

實驗的想法： O_2 與 CO_2 濃度被改變，會出現『能存活』與『不能存活』兩種情況。

步驟 1. 第一種情況，在『半開放式』環境下飼養，空氣正常對流，即使 O_2 與 CO_2 的濃度改變了，大刀螳螂還是『能存活』。

- (1) 實驗室位置定位：同上述實驗(一)~1。
- (2) 實驗時間與條件：從 113 年 10 月 5 日~114 年 1 月 19 日，溫度 $20\pm3^\circ C$ 、濕度 52~72 %、光線 $0\sim321.65\pm38.25 lux$ 、雄成蟲 17 隻、雌成蟲 20 隻、若螳 19 隻，每天給與水分、每隔 2~3 日給予充足麵包蟲或蝴蝶獵物($n=56$)。
- (3) 實驗分組與測量：實驗組為 $20\times28\text{ cm}$ 的『上方半開放式』有螳螂飼養箱、對照組在

開窗空氣對流的『開放式』環境，從 8：00~16：00 測量兩組環境的 O_2 、 CO_2 濃度變化，每個樣本每小時測三次。

(4) **半開放式飼養存活率**：記錄大刀螳螂成蟲、熟齡若螳至羽化成蟲等，在半開放式環境下飼養，以是否攝食、移動作為存活的天數與存活率($n= 56$)。

步驟 2. 第二種情況，大刀螳螂在『全罩式』下飼養，也就是當有限空間下的 O_2 以及自己產生的 CO_2 環境下，大刀螳螂『不能存活』？

(1) **實驗條件**：剛成功羽化雌雄成蟲 12 隻、溫度 $20\pm1^\circ C$ 、濕度 $63\sim 64\%$ 、光線 $0\sim 321.65\pm 38.25 lux$ ，以及實驗前給足獵物，讓大刀螳螂吃飽、喝飽，接下來實驗過程不再給予獵物與水分($n=12$ ，因在全罩式內無法移動，所以重複測量 7 次)。

(2) **實驗裝置製作與實驗分組**：實驗組利用 $15\times 25\text{ cm}$ \square 字型全罩式飼養箱有『雌、雄大刀螳螂』的環境，左右各挖 4cm 與 2cm 的小洞，分別放入 O_2 、 CO_2 偵測棒。對照組內無螳螂。之後再放入『不完全變態的蚱蜢($n=5$)、完全變態的紋白蝶($n=10$)等獵物』做比較。

(3) **全罩式下環境不能存活的依據以及研究測量的項目**：

- ① 依據能否自由移動、頭能左右張望或觸角抖動，來判斷存活。
- ② 記錄缺食物、水、低 O_2 、高 CO_2 存活天數、實驗前、後體重變化。
- ③ 記錄每日 O_2 、 CO_2 濃度變化，再利用公式(結束濃度-原來濃度)/原來濃度 $\times 100\%$ ，計算濃度增減百分比、求出大刀螳螂能存活的濃度範圍($n=12$)。

研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響

(一)、觀察：

進行上述研究一，我們再進行大刀螳螂棲息地的海拔高度調查過程中，曾在大太陽下、下雨天、以及寒流侵襲等不同氣候找尋大刀螳螂，我們發現大刀螳螂所處的棲息環境，這裡的溫度、濕度變化很大(如下圖 A、B、C)。



A：環境溫度 $32.2^\circ C$ 、濕度 49%的大刀螳螂棲息在植物莖上。B：環境溫度 $24.5^\circ C$ 、濕度 54%褐色大刀螳螂停在葉片下。C：環境溫度 $14.8^\circ C$ 、濕度 97%的大刀螳螂若螳棲息在枝條上。

(二)、提出疑問：觀察後我們產生了幾個疑問，第一、大刀螳螂有體溫嗎？根據上述的觀察，環境溫度不同，大刀螳螂的體溫也會不同嗎？第二、大刀螳螂的行為，是否也會受到環境溫度的影響？第三、不同的環境溫度會影響牠的生存嗎？

(三)、提出假設：

假設一、大刀螳螂是外溫動物，牠還是有體溫，而且體溫會隨著環境的溫度而改變。

假設二、大刀螳螂常見的威嚇、攝食、交配等行為時的體溫，也會受到環境溫度的影響。

假設三、過高或過低的環境溫度，都會影響大刀螳螂的生存。

(四)、動手實驗：

實驗 2-1 假設一、探討大刀螳螂是外溫動物、有體溫、且體溫會隨著環境的溫度而改變。

步驟 1. 當大刀螳螂處於靜止不動時，在『相同環境、不同溫度』時，體溫會一樣嗎？

(1) 實驗條件與分組：113 年 10 月~113 年 12 月，利用周六日早上 9：00~12：00 進行。

依照大刀螳螂棲息地的不同溫度，分成 $10\text{~}14^\circ\text{C}$ 、 $15\text{~}19^\circ\text{C}$ 、 $20\text{~}25^\circ\text{C}$ 、 $26\text{~}30^\circ\text{C}$ 、 $31\text{~}33^\circ\text{C}$ 等五組，在五種不同的環境溫度下，測量螳螂的體溫。

(2) 測量方式：實驗組使用紅外線熱像儀對準『雌、雄成蟲與若螳最大面積的腹部』、對照組為『棲息點的葉片或樹枝與當下的環境溫度』。測量時按下測量鈕，並錄下實驗組與對照組的溫度影像，每一個樣本重複進行三次測量($n=12$)。

步驟 2. 當大刀螳螂處於靜止不動時，在『相同環境、相同溫度』時，體溫是多少？

(1) 實驗條件與分組：環境溫度 $20\pm1^\circ\text{C}$ ，分成『實驗組』雌成蟲、雄成蟲、熟齡若螳，與環境做比較。

(2) 測量方式：操作如上述步驟 1-(2)，每一個樣本重複進行三次測量($n=12$)。

步驟 3. 當大刀螳螂處於靜止不動時，在『不同環境、不同溫度』時，體溫又會是多少？

(1) 實驗條件與分組：實驗組是野生環境溫度 $28\pm1^\circ\text{C}$ ，對照組是實驗室溫度 $22\pm1^\circ\text{C}$ 。

(2) 測量方式：實驗組在野生環境下，先測量雌、雄大刀螳螂體溫之後，再將大刀螳螂帶回實驗室，靜放於 2~3 小時後，接著測量被帶回來的大刀螳螂的體溫，比較體溫有何不同，每一個樣本重複進行三次測量($n=5$)。

實驗 2-2 假設二、探討大刀螳螂威嚇、攝食、交配等行為時體溫，也受到環境溫度的影響。

步驟 1. 大刀螳螂在『威嚇』的時候體溫是多少？實驗溫度條件為 $27\pm1^\circ\text{C}$ ，『實驗組』雌蟲威嚇前、中、後體溫，『對照組』環境溫度，每一個樣本重複進行三次測量($n=6$)。

步驟 2. 大刀螳螂在『攝食』的時候體溫是多少？實驗溫度條件在 $20\pm1^\circ\text{C}$ ，『實驗組』為攝食前、中、後時的體溫，『對照組』環境溫度，每一個樣本重複進行三次測量($n=6$)。

步驟 3. 大刀螳螂在『交配』的時候體溫是多少？實驗溫度條件在 $24\pm2^\circ\text{C}$ ，記錄雌、雄螳螂交配前、上背、交配中等體溫有何不同，『對照組』環境溫度，每一個樣本重複進行三次測量($n=6$)。以上三種行為實驗的操作方式，如操作如上述步驟 1-(2)。

實驗 2-3 假設三、過低或過高的溫度，都會影響大刀螳螂的生存。

步驟 1. 低溫或高溫定義：依中央氣象署公告 113 年台灣寒流出現 $5\text{~}0^\circ\text{C}$ 下低溫，及 $30\text{~}35^\circ\text{C}$ 高溫為基本依據。

步驟 2. 自製儀器與操作：利用製冷、製熱調控器與保麗龍盒，設計一組可以調控『 5°C 、 0°C 、 40°C 』間的飼養箱，並在飼養箱裡面底層鋪上泥土與樹葉、放上枯枝。

步驟 3. 實驗分組：實驗組以剛羽化為雌雄成蟲的健康大刀螳螂為樣本、對照組環境溫度。

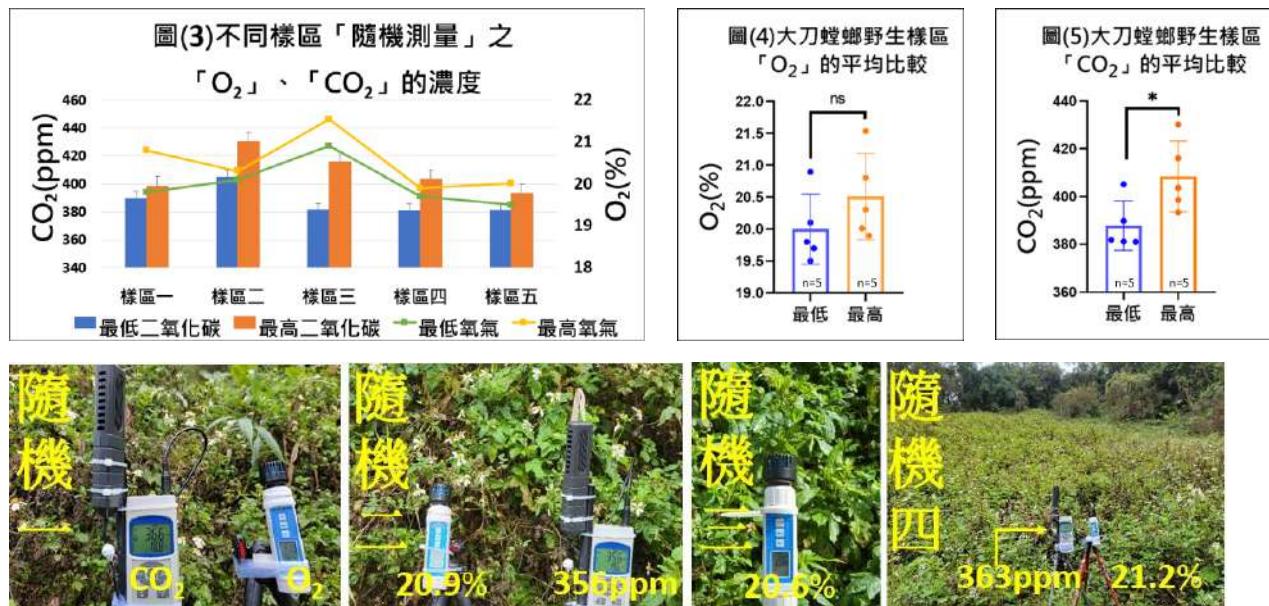
步驟 4. 實驗操作順序：① 分成第一種高溫環境與第二種低溫環境進行實驗。② 實驗前環境溫度 $20\pm1^\circ\text{C}$ ，先測量大刀螳螂的體溫。③ 將製冷器調降至 $5\pm1^\circ\text{C}$ 、 $0\pm1^\circ\text{C}$ 、 $40\pm1^\circ\text{C}$ ，分批將雌雄大刀螳螂放入飼養箱之後，每小時記錄體溫一次，因寒流或高溫至少侵襲一夜，所以連續記錄 7 小時。④ 過程中如遇螳螂死亡，實驗就停止並關閉製冷、熱氣，打開觀察通風口，讓溫度慢慢回升，並記錄環境溫度回升過程的體溫，直到原來 $20\pm1^\circ\text{C}$ 環境，找出大刀螳螂在低、高溫環境中的生存範圍(低、高溫共 $n=14$)。

肆、研究結果

研究一、探討『O₂、CO₂濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響，實驗結果與分析。

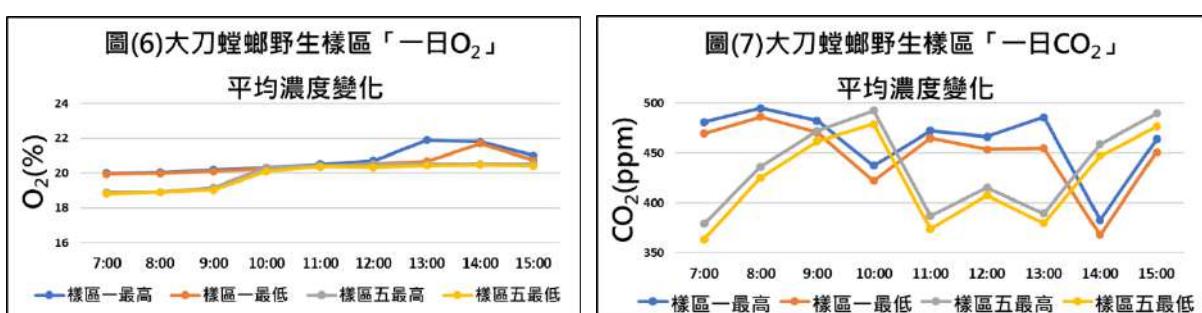
1. 實驗 1-1-1 大刀螳螂野生棲息地『隨時、隨機測量』的 O₂ 與 CO₂ 濃度結果。

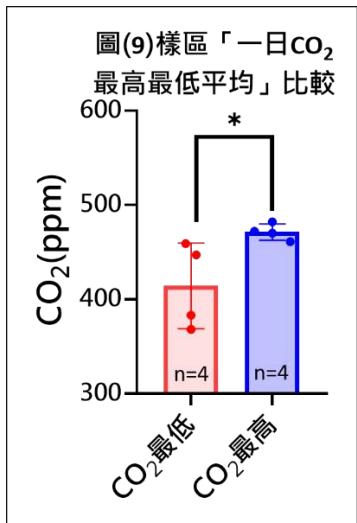
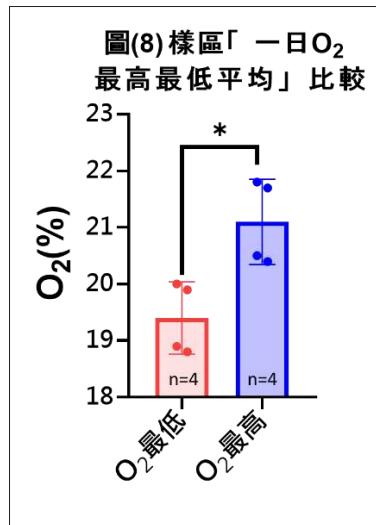
- (1) 五個樣區之間的『O₂』平均從 19.9 ± 0.5 ~ 21.54 ± 0.51 %，整個樣區 O₂ 濃度總均為 ns 無顯著性差異，顯示在隨機測量大刀螳螂棲息環境 O₂ 濃度沒有太大的變化(如圖 3、4)。
- (2) 五個樣區之間的『CO₂』平均從 393.4 ± 23.6 ~ 430.2 ± 49.2 ppm，整個樣區 CO₂ 濃度低~高 總平均為 * $p < 0.05$ 具顯著差異，顯示大刀螳螂所棲息環境裡的 CO₂ 濃度有顯著性的變化 (如圖 5、隨機一~四)。



2. 實驗 1-1-2 野生大刀螳螂棲息地『樣區一日』O₂ 與 CO₂ 的濃度變化結果。

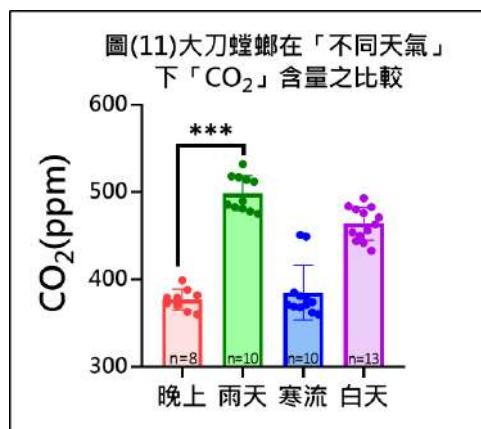
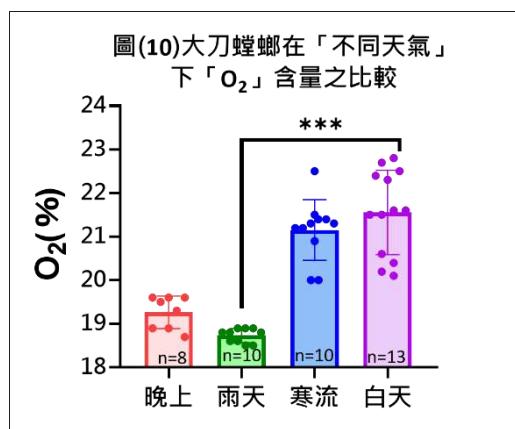
- (1) 大刀螳螂野生棲息地『樣區一日 O₂』的濃度，早上 07:00 平均 19.41 ± 0.56 % 最低，到中午 14:00 平均 20.87 ± 0.59 % 最高，最低與最高兩個時段的 O₂ 平均為 * $p < 0.05$ 具顯著差異，顯示大刀螳螂所棲息的環境 O₂ 濃度，在一日之間會有變化(如圖 6、8、A)。
- (2) 大刀螳螂野生棲息地『樣區一日 CO₂』濃度，在 14:00 時平均 414.25 ± 39.34 ppm 最低，在 09:00 時 471.25 ± 7.46 ppm 最高，兩個時段的 CO₂ 平均為 * $p < 0.05$ 具顯著差異，顯示大刀螳螂所棲息的環境 CO₂ 濃度，在一日之間也會有變化(如圖 7、9、A)。





3. 實驗 1-1-3 野生大刀螳螂棲息地在『不同氣候時』O₂與CO₂濃度變化的結果與分析。

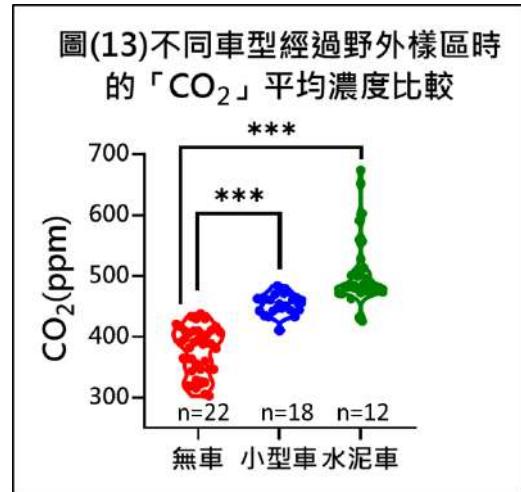
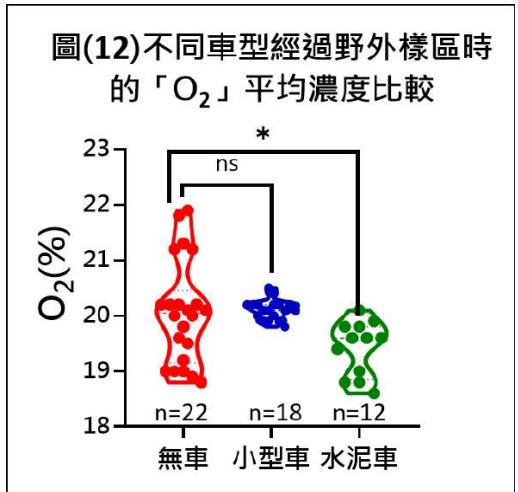
- (1) 大刀螳螂野生棲息地在白天、晚上、雨天、寒流天『O₂濃度』總平均分別在 $21.3 \pm 0.98\%$ 、 $19.3 \pm 0.35\%$ 、 $18.7 \pm 0.14\%$ 、 $21 \pm 0.61\%$ 。其中白天跟雨天間 O₂ 濃度為 *** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，顯示這兩種環境下 O₂ 濃度變化最大(如圖 10)。
- (2) 大刀螳螂野生棲息地在白天、晚上、雨天、寒流天『CO₂濃度』總平均在 $409.3 \pm 51.7\text{ppm}$ 、 $377 \pm 11.49\text{ppm}$ 、 $498.73 \pm 19.10\text{ppm}$ 、 $385.08 \pm 29.87\text{ppm}$ 。其中雨天跟晚上間 CO₂ 濃度為 *** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，顯示白天受到車流不斷的往來的影響 CO₂ 濃度高，到了夜晚幾乎沒有車流情況下，CO₂ 濃度逐漸下降(圖 11、A~A1 夜晚記錄)。



4. 實驗 1-2 假設二、車輛排放的『廢氣可能會改變棲息地附近』O₂與CO₂濃度之實驗結果

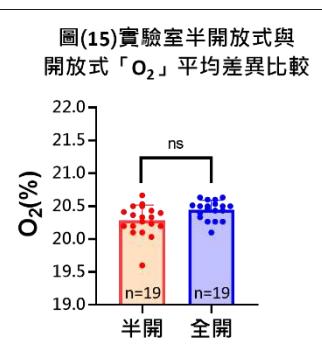
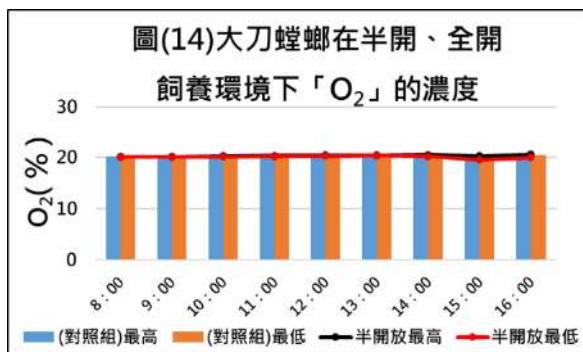
- (1) 大刀螳螂野生棲息地在沒有車子經過時樣區的 O₂ 的濃度為 $20.05 \pm 0.91\%$ ，當小型車快速經過時 O₂ 的濃度為 $20.11 \pm 0.71\%$ ，兩者之間為 ns，顯示環境中 O₂ 沒有明顯變化。但當大型的水泥攪拌車緩慢行駛通過時，所排出的大量廢氣造成 O₂ 下降至 $19.41 \pm 0.47\%$ ，與無車經過相比較，兩者間為 * $p < 0.05$ 具顯著差異，顯示大刀螳螂所棲息的環境 O₂ 濃度，出現了變化(如圖 12、圖 A)。

(2) 大刀螳螂野生棲息地在沒有車子經過時樣區的 CO_2 的濃度為 $381.57 \pm 37.45 \text{ ppm}$ 、小型車與水泥攪拌車經過的時候， CO_2 之濃度上升至 $450.43 \pm 17.28 \text{ ppm}$ 、 $508.48 \pm 89.67 \text{ ppm}$ ，其 CO_2 *** $p < 0.001$ 都有非常顯著的差異，顯示大刀螳螂棲息環境的 CO_2 濃度有受到大型車經過而出現明顯的變化(如圖 13、圖 B)。



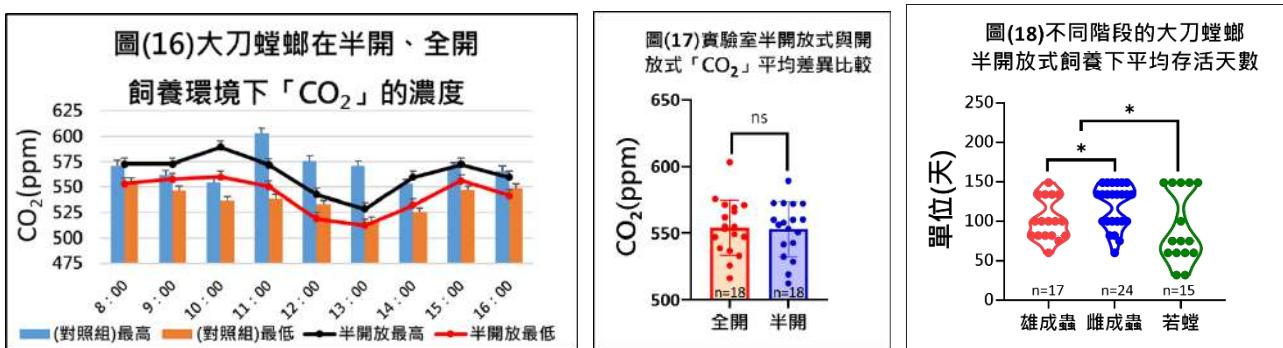
5. 實驗 1-3-1 第一種情況，在『半開放式』下飼養，大刀螳螂『能存活』結果與分析。

(1) 實驗室海拔高約 473m，實驗室半開放式與開放式環境間，『 O_2 』平均為 $20.28 \pm 0.14\%$ 、 $20.44 \pm 0.12\%$ ，兩者 p 值為 ns，顯示飼養箱內、外 O_2 沒有大變化(如圖 14~15、A、B)。



(2) 實驗室半開放式與開放式環境，『 CO_2 』平均為 $553.02 \pm 16.75 \text{ ppm}$ 、 $554.18 \pm 9.39 \text{ ppm}$ ，兩者 p 值為 ns 沒有差異，顯示飼養箱內外 CO_2 濃度沒有大變化(如圖 16~17)。

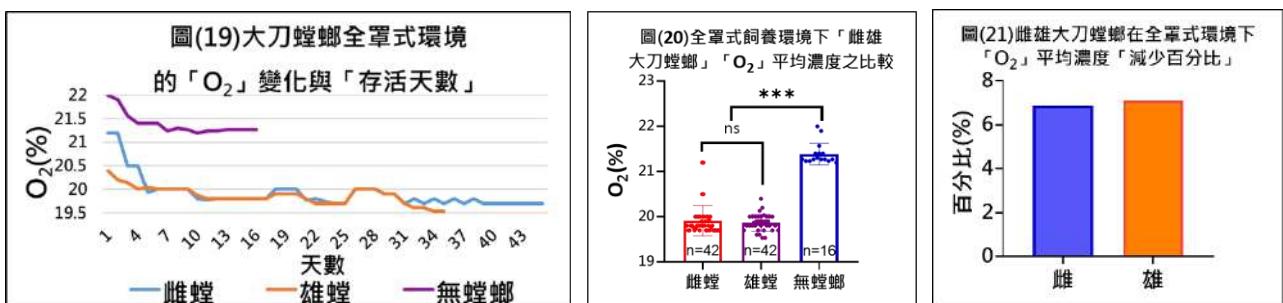
(3) 在存活天數，實驗室半開放式 O_2 、 CO_2 濃度變化小的環境，雄成蟲平均至少能活 101.76 ± 25.22 天、雌成蟲平均至少能活 119.38 ± 27.02 天、若螳平均 91.6 ± 43.57 天，三者間* $p < 0.05$ 具顯著差異，顯示大刀螳螂在此環境雌成蟲存活天數最高、若螳最低(如圖 18)。



6. 實驗 1-3-2 第二種情況、在『全罩式』下飼養，大刀螳螂『不能存活』的結果與分析。

(1) 雌、雄螳螂在全罩式環境裡『O₂』濃度變化結果：

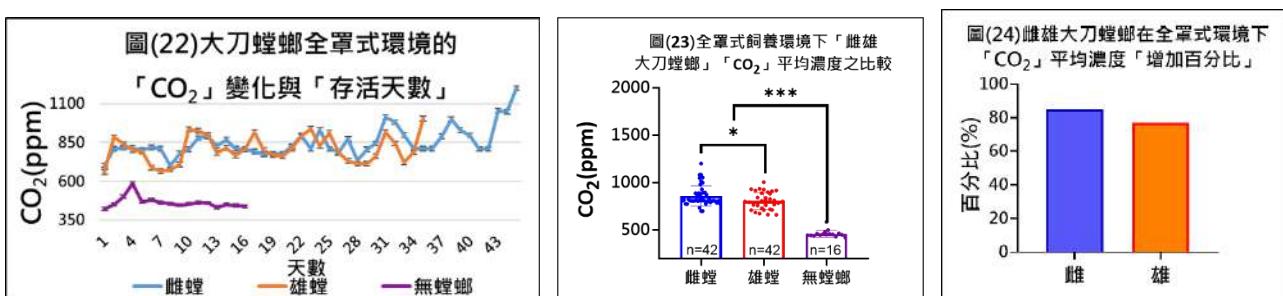
當雌性大刀螳螂放入後，每日 O₂ 濃度從『最低到最高』平均分別為 $19.7 \pm 0 \sim 21.2 \pm 0\%$ ，總平均為 $19.91 \pm 0.33\%$ 。雄性大刀螳螂為 $19.53 \pm 0.47 \sim 20.4 \pm 0\%$ ，總平均為 $19.87 \pm 0.18\%$ ，兩者間 *p* 值為 ns 無顯著性差異，顯示雌雄性大刀螳螂在全罩式環境，消耗 O₂ 量差不多。但是與對照組之間 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異，顯示當雌雄大刀螳螂進入全罩式環境後，O₂ 明顯減少了 6.9%~7.1%、即減少 0.069~0.071 倍(如圖 19~21)。



(2) 雌、雄螳螂在全罩式環境裡『CO₂』濃度變化結果：

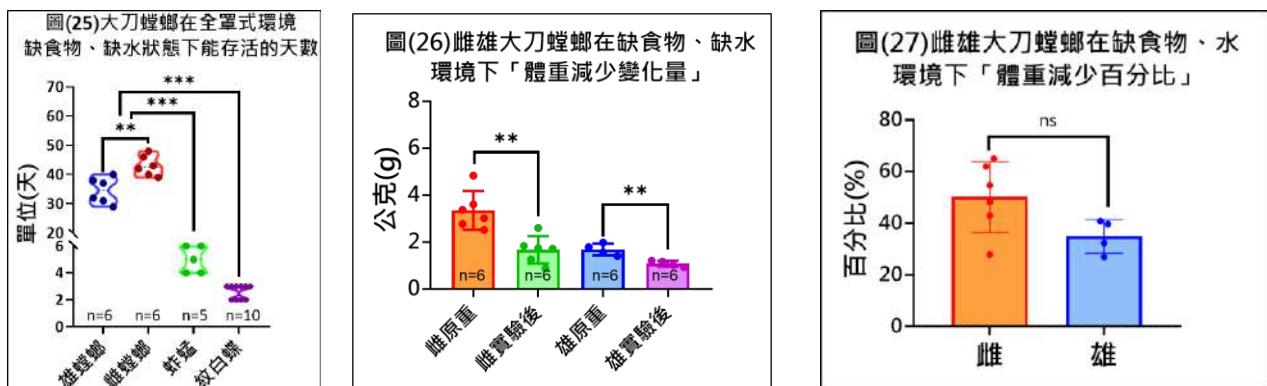
當雌性大刀螳螂放入後，每日 CO₂ 濃度『最低到最高』平均分別為 $700.67 \pm 14.29 \sim 1200.67 \pm 59.87\text{ppm}$ ，總平均 $859.19 \pm 105.95\text{ppm}$ 。雄性大刀螳螂平均 $661.33 \pm 10.33 \sim 1004 \pm 26.47\text{ppm}$ ，總平均 $819.54 \pm 92.42\text{ppm}$ ，兩者間 **p* < 0.05 具顯著性差異，顯示雌性較雄性在全罩式環境裡面，產生較多的 CO₂ (如圖 22、圖 23)。

與對照組兩組比較 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異，顯示雌雄大刀螳螂進入全罩式環境後 CO₂ 增加了 77%~85%、即增加 0.77~0.85 倍 (如圖 24)。



(3) 全罩式環境下大刀螳螂存活天數：在完全沒有食物與沒有水的情況下，雌、雄螳螂分別存活 43 ± 3.16 天與 34.5 ± 4.03 天，兩者間 $**p < 0.01$ 具有極顯著性差異，顯示『雌性』大刀螳螂較『雄性』大刀螳螂更能承受惡劣之環境。而與對照組的蚱蜢平均存活 5 ± 0.89 天、蝴蝶平均存活 2.6 ± 0.49 天間 $***p < 0.001$ 有非常顯著的差異，顯示大刀螳螂在全罩式環境下，耐受度較不完全變態的蚱蜢、完全變態的紋白蝶還要高。(如圖 25)

(4) 缺食物、缺水環境下體重減少量：雌、雄螳螂原來重量分別為 3.36 ± 0.75 g、 1.69 ± 0.22 g、經過 43 ± 3.16 天與 34.5 ± 4.03 天後，體重剩下 1.68 ± 0.53 g、 1.09 ± 0.11 g，體重總平均間 $**p < 0.01$ 具有極顯著性差異，顯示在未進食的狀態下，雌雄螳螂體重皆有明顯下降。而雌蟲體重平均減少百分比分別為 $50.16 \pm 12.44\%$ ，雄蟲體重平均減少了 $35 \pm 5.68\%$ ，雌雄成蟲之間為 ns，顯示在缺食物、缺水的環境，雌雄成蟲體重是沒有顯著性差異(如圖 26、27)。



實驗後產生的疑問？

上述實驗後，我們反思實驗的設計、操作過程、結果分析，心裡產生了 2 個疑問。

第一、大刀螳螂在全罩式的環境下，到底是餓死、渴死、還是因為缺氧而死的呢？

第二、全罩式環境的設計，我們的假設是該測出大刀螳螂對低 O_2 需求及對高 CO_2 濃度的生存範圍？但是在上述的實驗，發現雌性大刀螳螂竟然可以在全罩式的缺 O_2 、高 CO_2 、缺水、缺食物等環境下，平均『存活了 43 天』，對肉食性的昆蟲而言，似乎有點不可思議。我們認為這次實驗，無法找到致命的濃度，可見這還不是大刀螳螂對 O_2 、 CO_2 的臨界範圍。

因此我們認為，全罩式的實驗並未達到我們當時提出的不能存活的實驗假設想法，因此決定『重新再提新假設』，求證大刀螳螂對 O_2 最低需求及高 CO_2 濃度的臨界濃度。

重新再提新假設：根據上述實驗所獲得的結果，提出『 O_2 』濃度至少低於 $19.9 \pm 0.5\%$ ，才有可能找出對 O_2 的最低需求範圍，而『 CO_2 』濃度至少高於 1200.67 ± 59.87 ppm 以上，才有可能找出能承受 CO_2 的最高濃度範圍。

重新再實驗：

再實驗一、大刀螳螂『對 O_2 的最低需求範圍』實驗。

步驟 1. 實驗條件與器材製作：溫度 $25 \pm 1^\circ C$ 、濕度 $55 \sim 58\%$ 利用原本全罩式的飼養箱，在下方挖出一個 2cm 的小洞，放入一支抽氣筒之通氣管，成為一個可以抽出空氣的飼養箱，模擬『低 O_2 』環境。

步驟 2. 實驗分組：實驗組放入『雌、雄大刀螳螂』，對照組為全罩式雄性大刀螳螂 O_2 總平均 $19.87 \pm 0.18\%$ 與野生環境 O_2 總平均之 $19.9 \pm 0.5\%$ 。

步驟 3. 操作方法與大刀螳螂的反應：

- (1) 把空氣抽出，『將 O_2 降至 19% 以下』，達到低 O_2 數值需維持 1min，並且在低 O_2 濃度時，同時也測量 CO_2 濃度數值。
- (2) 大刀螳螂的反應以是否走動、左右觀望、觸角抖動、四腳站立為活著依據，直到無法站立倒下，分別測①對 O_2 需求量、②低 O_2 、低 CO_2 增減少百分比、③低 O_2 能存活時間，因為在封閉的環境所以重複 8 次測試實驗($n=6$)。

再實驗二、大刀螳螂『對高濃度的 CO_2 能承受最大範圍』實驗。

步驟 1. 實驗條件與器材製作：溫度 $20 \pm 1^\circ C$ 、濕度 $61 \pm 1\%$ 利用上述全罩式的飼養箱，再另外挖出一個 1cm 的小孔，放入一條 CO_2 通氣管，把 CO_2 鋼瓶內的 CO_2 灌入，模擬嚴重『空氣汙染』的環境。

步驟 2. 實驗設分組：實驗組『雌、雄大刀螳螂』，對照組為全罩式雌性大刀螳螂 CO_2 平均 $1200.67 \pm 59.87 ppm$ 與野生棲息地水泥攪拌車經過時 CO_2 濃度 $508.48 \pm 89.67 ppm$ 。

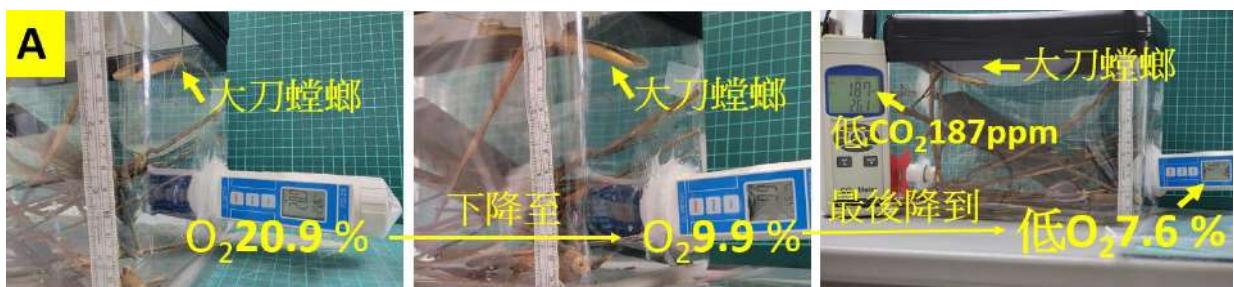
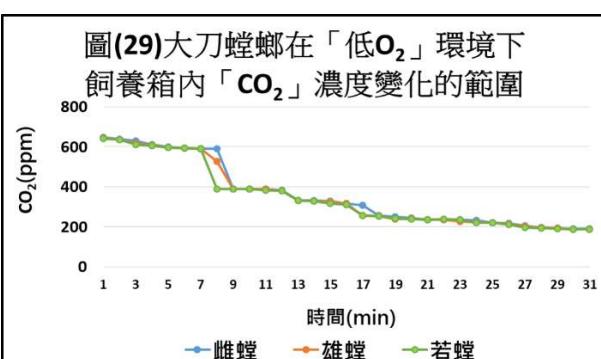
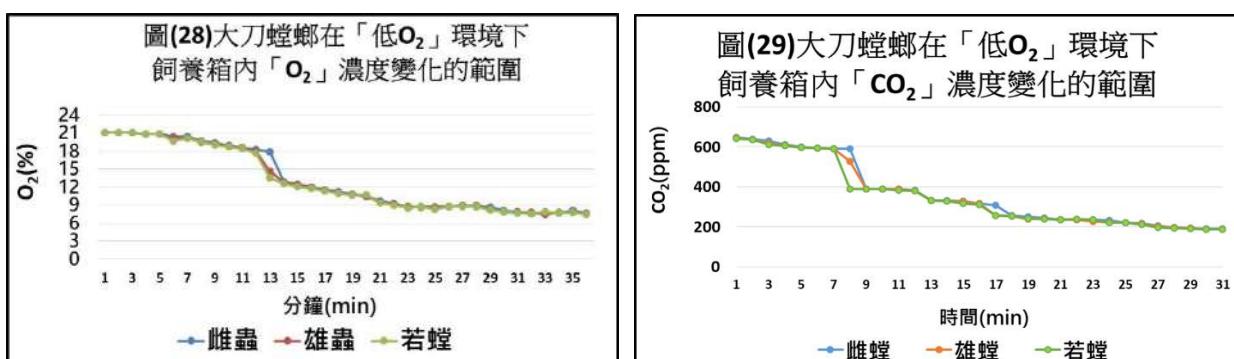
步驟 3. 操作方法與大刀螳螂的反應：

- (1) 透過『流量計泡器』， CO_2 以 $50c.c/min$ 的流量，灌入 $73330cm^3$ 的飼養箱中，再透過『細化器』緩慢分散到每一個角落，所『灌入的 CO_2 量必須高於 1200ppm』。
- (2) 達到高 CO_2 濃度時維持 3min，並且在高 CO_2 濃度時，同時也測量 O_2 濃度數值。
- (3) 找出大刀螳螂對 CO_2 之臨界值，計時接觸多久高 CO_2 濃度後昏迷→昏迷後多久甦醒→有無昏迷的呼吸速率→經過多久恢復正常呼吸等，如能甦醒重複三次測試($n=9$)。
- (4) 攝影機拍下昏倒大刀螳螂，計算每分鐘呼吸速率、求呼吸速率增減百分比：以(昏倒後-昏倒前)/昏倒前 $\times 100\%$ 、用 ImageJ 軟體計算昏倒前後，腹部呼吸時增減面積。

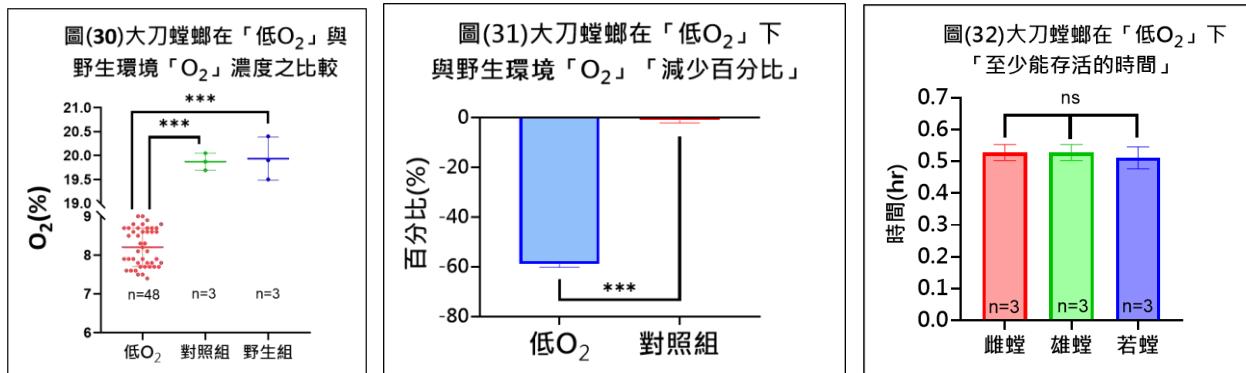
再實驗的結果與分析：

再實驗一、大刀螳螂『對 O_2 的最低需求範圍』實驗之結果與分析。

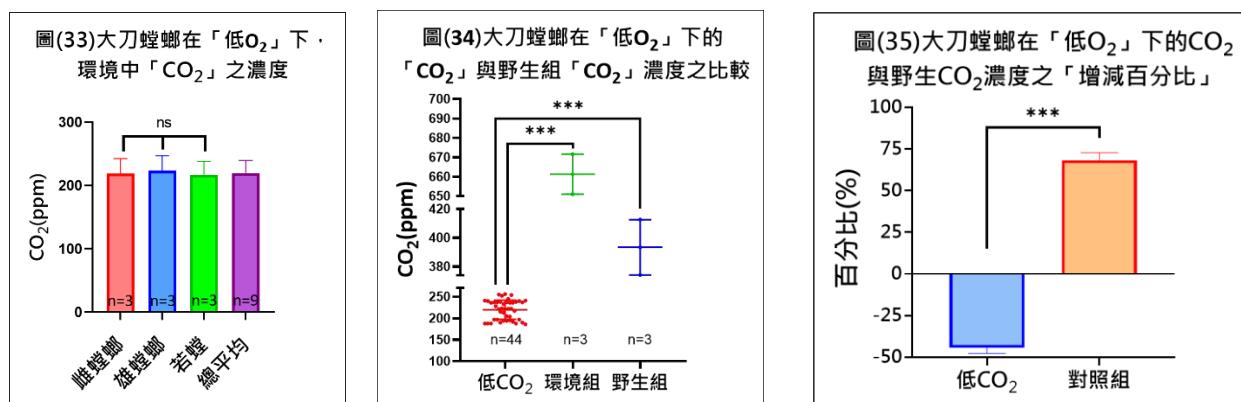
1. 低 O_2 、低 CO_2 範圍分析：雌蟲、雄蟲與若蟬等三種階段大刀螳螂，在『低 O_2 』環境下能生存的濃度範圍平均從 $21.1 \pm 0\%$ 下降到 $7.60 \pm 0.08\%$ (如圖 28、A)，此時 CO_2 也從 $645.67 \pm 2.05 ppm$ 下降到 $188.67 \pm 0.94 ppm$ (如圖 29)。



2. 對 O_2 需求的分析：低 O_2 濃度環境下總平均為 $8.20 \pm 0.47\%$ 與對照組 $19.87 \pm 0.18\%$ 、野生組 $19.90 \pm 0.5\%$ 比較 *** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，尤其 O_2 平均減少 57.5 % 情況下，大刀螳螂仍然沒有出現昏迷狀態，且至少能存活 $0.51 \pm 0.02\text{hr}$ ~ $0.52 \pm 0.02\text{hr}$ ， p 值間皆為 ns 沒有差異性，顯示大刀螳螂對『 O_2 濃度的需求很低』，(如圖 30、31、32)。

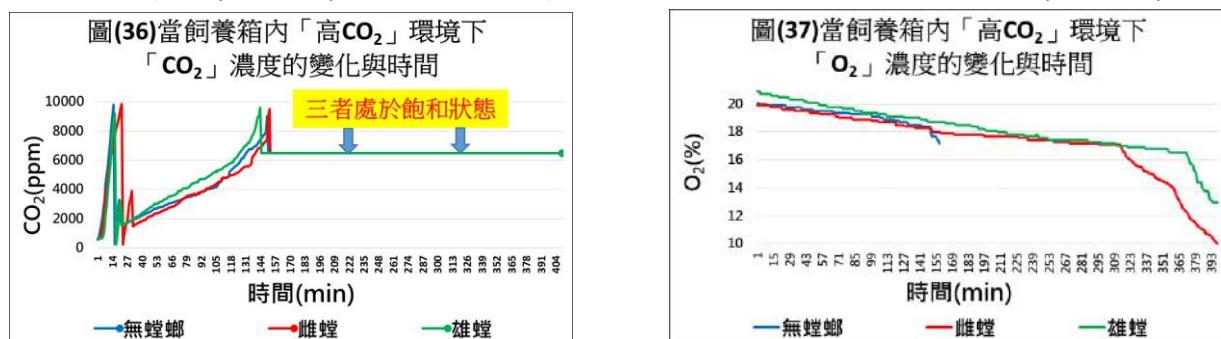


3. 在低 CO_2 環境的分析：受到 O_2 被抽出的關係， CO_2 濃度跟著下降，此時三種階段的大刀螳螂處在 $219 \pm 23.53\text{ppm}$ 、 $223.5 \pm 23.63\text{ppm}$ 、 $217 \pm 21.1\text{ ppm}$ 三者間 p 值為 ns 沒有差異(如圖 33)。三種低 CO_2 濃度的總平均為 $219.67 \pm 2.49\text{ppm}$ 、與環境組 $CO_2 661.33 \pm 8.43\text{ppm}$ 、野生組 $CO_2 393.4 \pm 15.73\text{ppm}$ 比較，三者間 *** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，即使 CO_2 平均下降減少了 40.88% 仍然沒昏迷且存活，顯示大刀螳螂能承受低 CO_2 的環境(如圖 34、35)。



再實驗二、大刀螳螂在『高 CO_2 』環境下，能承受的範圍結果與分析。

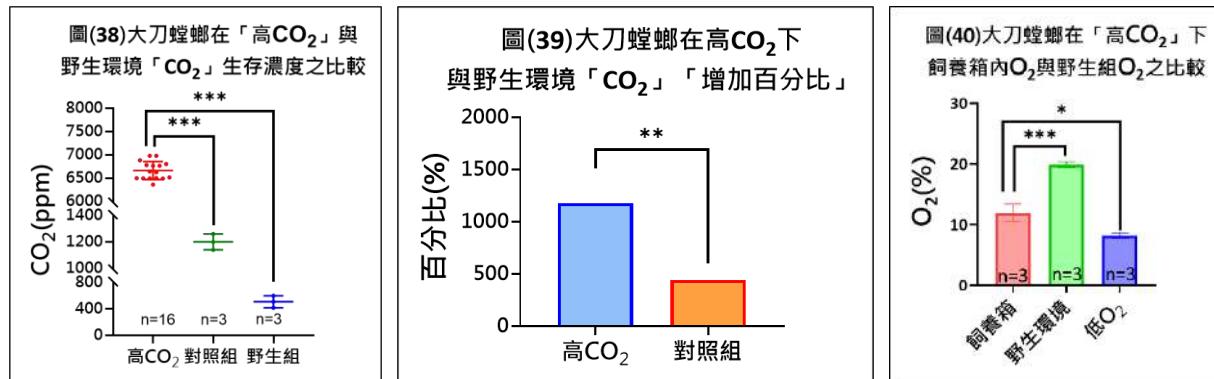
1. 在高 CO_2 環境範圍結果分析：三種階段大刀螳螂，在『高 CO_2 』環境下能生存的濃度範圍平均從 $633.88 \pm 5.23\text{ppm}$ 上升到 $9022.67 \pm 15.79\text{ppm}$ 、再降到 $6496.15 \pm 0.3\text{ppm}$ 接近飽和狀態，還能存活(如圖 36)，而 O_2 濃度也從 $20.285 \pm 0.01\%$ 下降到 $11.57 \pm 0.33\%$ (如圖 37)。



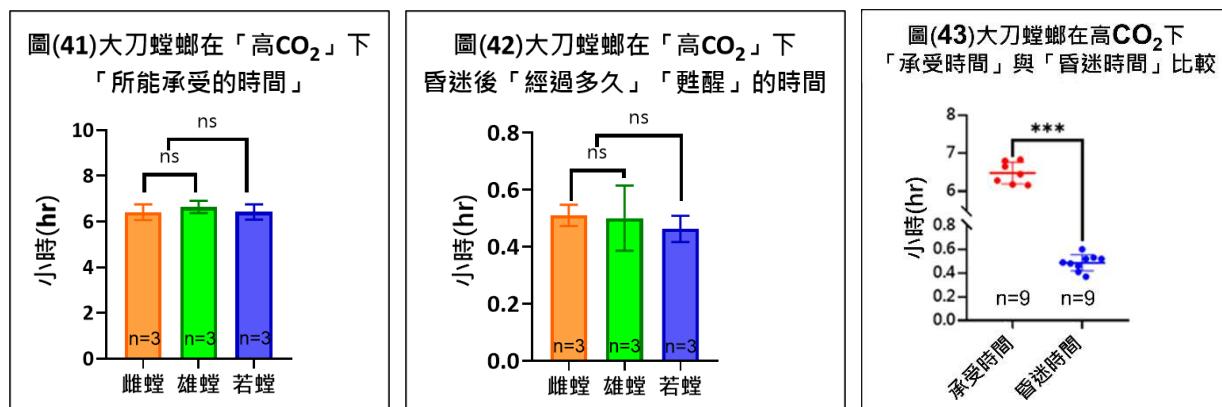
2. 在高 CO_2 環境下承受的分析：當高 CO_2 濃度的環境為 $6496.15 \pm 0.30\text{ppm}$ (呈飽和狀態)與對

照組的 $1200.67 \pm 48.89 \text{ ppm}$ 、野生組 $508.48 \pm 73.21 \text{ ppm}$ 比較，三者間 $***p < 0.001$ 具非常顯著性差異。且 CO_2 平均增加了 1177.56% 與 441.04% 兩者間 $**p < 0.01$ 具極顯著性差異。這些都顯示大刀螳螂『能夠承受高濃度的 CO_2 』(如圖 38、39、B)。

3. 在高 CO_2 環境下 O_2 濃度的分析：當 CO_2 灌入接近飽和時， O_2 濃度也跟著下降至 $11.57 \pm 0.33\%$ ，與野生棲息環境的 $19.9 \pm 0.5\%$ 間 $***p < 0.001$ 具非常顯著性差異，顯示在此差異大與低 O_2 環境大刀螳螂仍然存活，對『 O_2 需求量很低』(如圖 40)。



4. 在高 CO_2 環境昏迷後，能否再甦醒與存活的分析：大刀螳螂雌、雄成螳、若螳在 CO_2 接近飽和環境後分別經過 $6.4 \pm 0.24 \text{ hr}$ 、 $6.64 \pm 0.19 \text{ hr}$ 、 $6.42 \pm 0.27 \text{ hr}$ 進入昏迷狀態(如圖 41)。昏迷後再經過 $0.50 \pm 0.03 \text{ hr}$ 、 $0.49 \pm 0.09 \text{ hr}$ 、 $0.46 \pm 0.03 \text{ hr}$ 甦醒(如圖 42)。因此在高濃度 CO_2 下大刀螳螂平均承受 $6.47 \pm 0.26 \text{ hr}$ 才進入昏迷，昏迷後平均花費 $0.48 \pm 0.06 \text{ hr}$ ，兩者間 $***p < 0.001$ 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂能長時間承受高濃度的 CO_2 ，而且離開高濃度 CO_2 的環境能快速地甦醒起來 (如圖 43)。

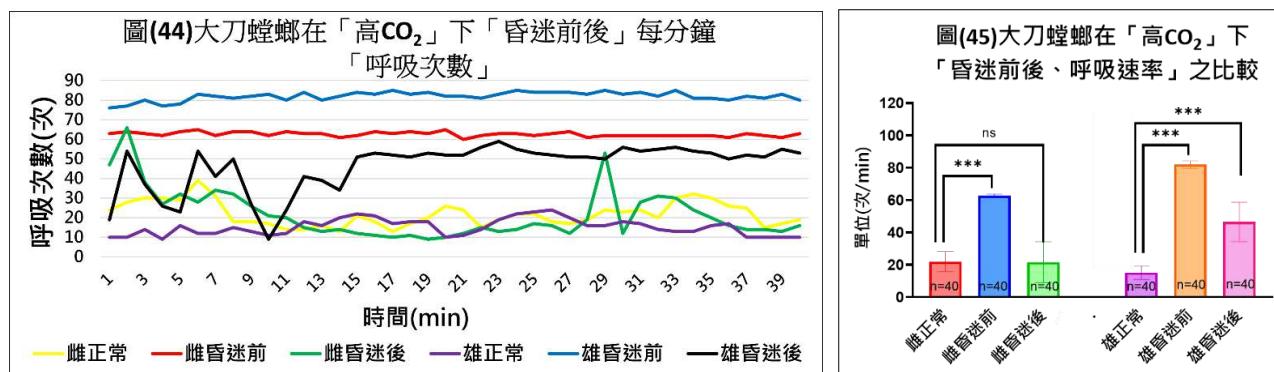


5. 大刀螳螂在高濃度 CO_2 環境下，呼吸換氣與分析：

(1) 快速呼吸換氣：利用腹部肌肉舒張將空氣吸入並進入氣管，腹部體積膨脹變大，而稱為吸氣。接著腹部收縮將氣體排出，腹部體積變小，這動作稱為呼氣(如圖 A)。

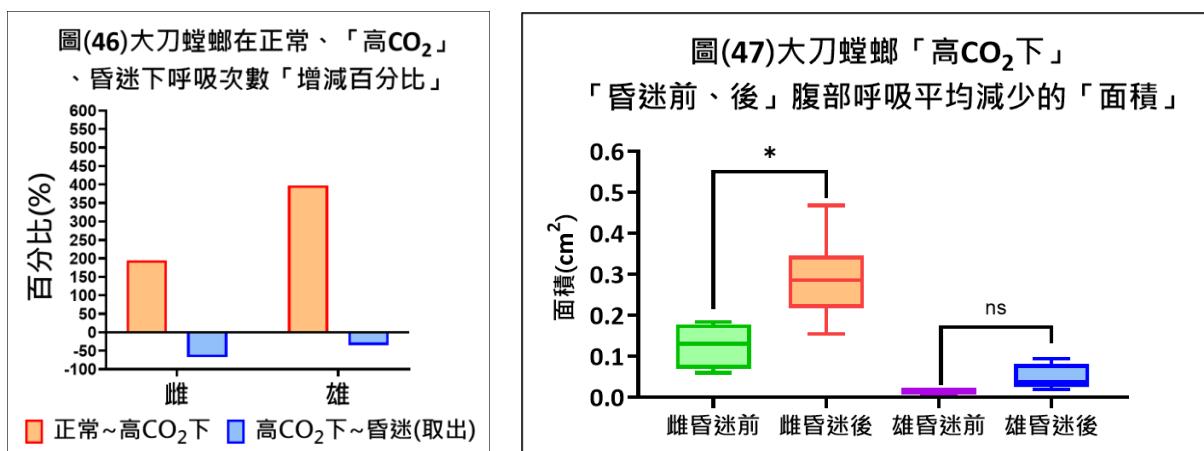


(2) 在高 CO_2 環境下的呼吸速率結果與分析：正常情況下雌蟲每分鐘 21.92 ± 6.1 次/min、雄蟲 15.17 ± 4.12 次/min，而在高濃度 CO_2 環境下，雌、雄蟲呼吸速率增快分別達 62.67 ± 1.12 次/min、 81.97 ± 2.23 次/min，直到雌、雄螳螂昏迷後立刻取出，離開高濃度 CO_2 環境後，呼吸的速率會降至 21.62 ± 12.47 次/min、 46.45 ± 11.99 次/min(如圖 44、45)。



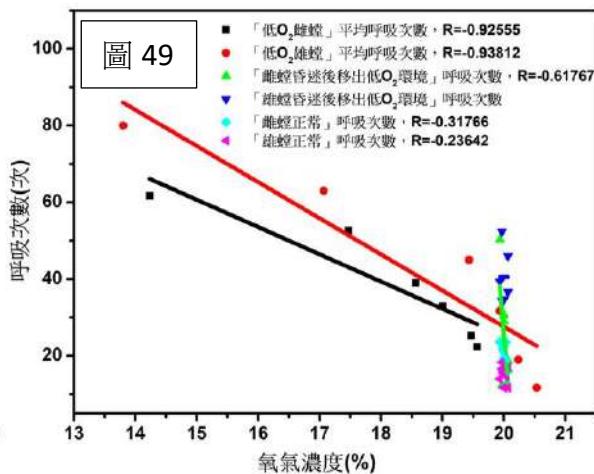
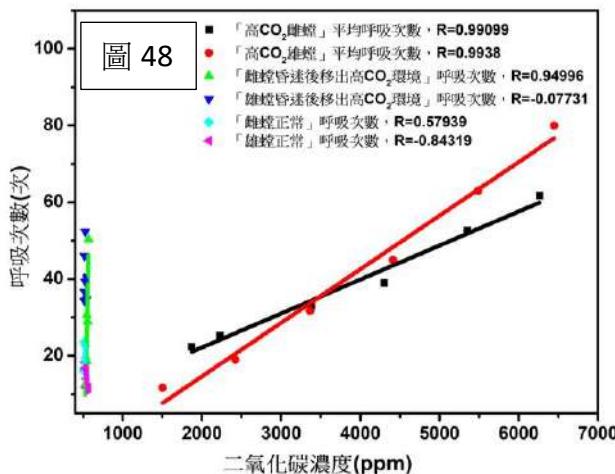
(3) 在高 CO_2 環境的呼吸增減百分比分析：當大刀螳螂由正常情況下進入高 CO_2 環境下時，雌雄蟲的呼吸速率分別平均增快了 159.04% 、 397.2% 並進入了昏迷。不過取出大刀螳螂離開高濃度 CO_2 環境之後，雌雄蟲呼吸速率分別平均下降 67.03% 、 34.67% (如圖 46)。

(4) 在高 CO_2 環境的呼吸面積分析：雌大刀螳螂從昏迷前到昏迷後吸氣和呼氣腹部面積差分別由 $0.12 \pm 0.04 \sim 0.29 \pm 0.09 \text{ cm}^2$ 兩者間 $* p < 0.05$ 具顯著差異，顯示雌蟲昏迷後呼吸大且深層，而雄蟲呼吸差只由 0.01 ± 0.04 到 $0.04 \pm 0.02 \text{ cm}^2$ 兩者間 p 值為 ns 沒有差異(圖 47)。



(4) 不同高 CO_2 與低 O_2 與環境下，大刀螳螂呼吸間的相關性分析：

隨著 CO_2 濃度增加，與雌雄螳螂間呼吸 R 值均為 0.99 的高度相關，但是離開高濃度 CO_2 回到原來 527ppm 環境，雄螳螂的呼吸忽快、忽慢極為不穩定，呈-0.07 低度相關(圖 48)。另外隨著 O_2 濃度降低，與雌雄螳螂間呼吸 R 值均為-0.9 的高度相關，當離開低濃度 O_2 回到原來 19.9% 環境，雄螳螂呼吸極快平均 50 次/min，而出現無相關的狀態。以上實驗結果得知，不正常環境高濃度 CO_2 與低 O_2 會影響大刀螳螂的呼吸速率(圖 49)。

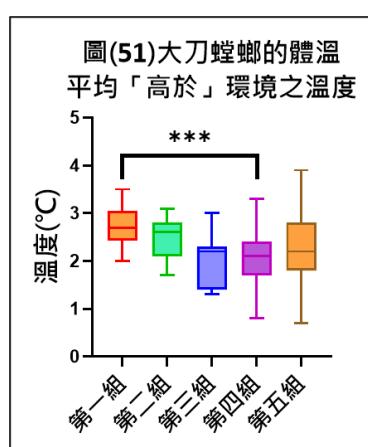
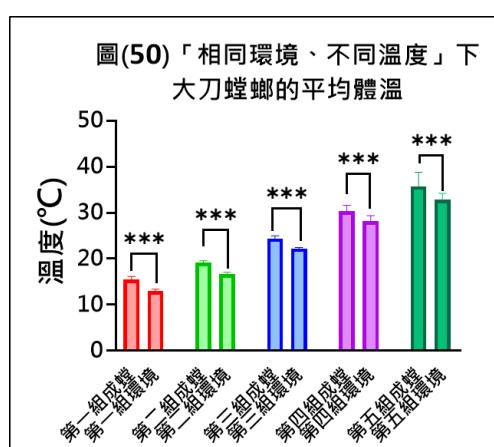


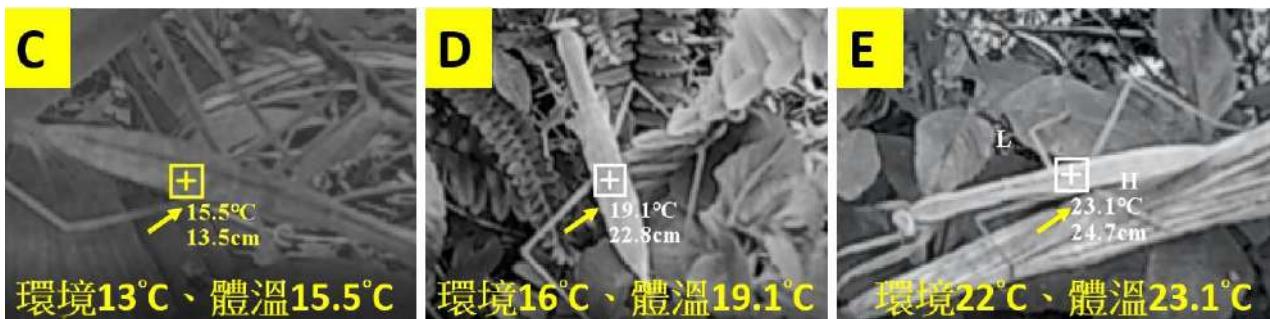
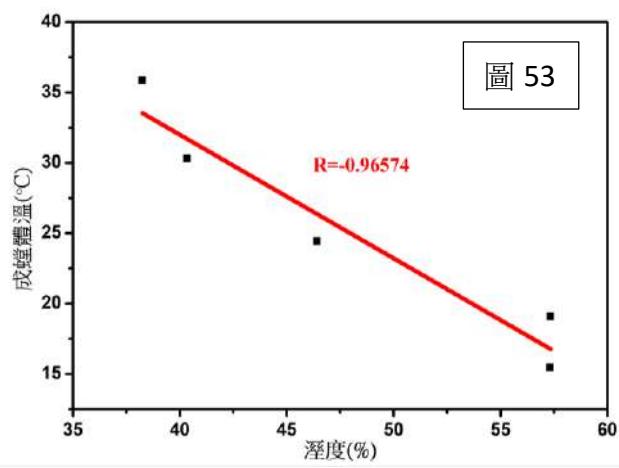
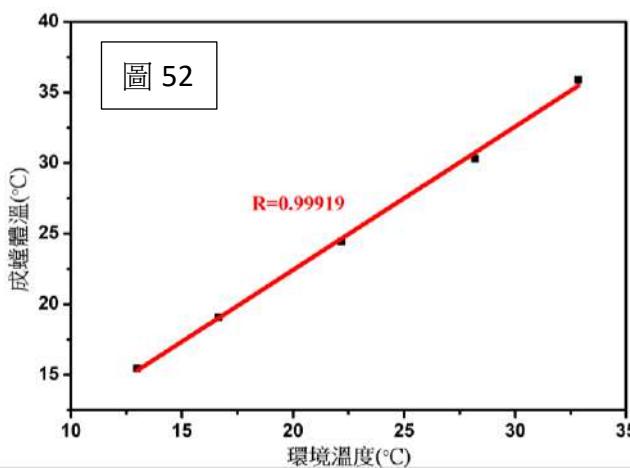
研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響，實驗結果與分析

1. 假設一、探討大刀螳螂是外溫動物、有體溫且體溫會隨著環境溫度而改變的實驗結果。

實驗 2-1-1『相同環境、不同溫度』與大刀螳螂體溫間實驗的結果與分析：

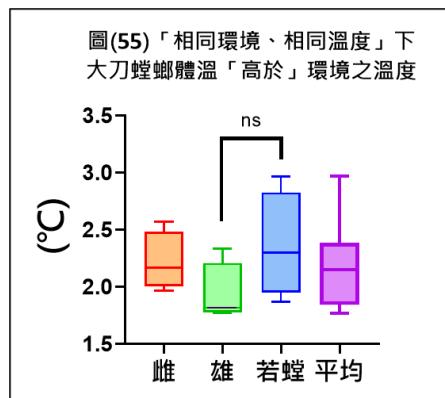
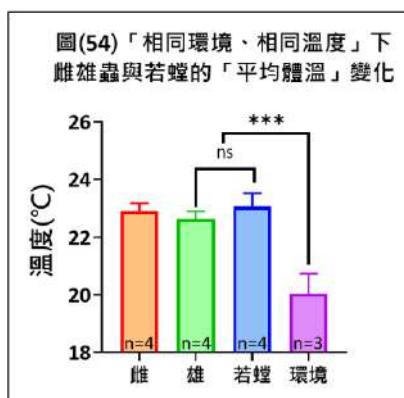
- (1) 當環境溫度平均在 $13\pm1^\circ\text{C}$ 、 $16\pm1^\circ\text{C}$ 、 $22\pm1^\circ\text{C}$ 、 $29\pm1^\circ\text{C}$ 、 $33\pm1^\circ\text{C}$ 的時候，大刀螳螂體溫分別平均為 $17.84\pm3.19^\circ\text{C}$ 、 $19.16\pm0.52^\circ\text{C}$ 、 $24.44\pm0.57^\circ\text{C}$ 、 $30.32\pm1.32^\circ\text{C}$ 、 $35.78\pm3.04^\circ\text{C}$ 。不同環境溫度與大刀螳螂體溫間 $***p < 0.001$ 皆具有非常顯著性差異，顯示大刀螳螂體溫平均高於環境(圖 50)。
- (2) 我們發現大刀螳螂各組的體溫，平均高於環境溫度 $2.71\pm0.66^\circ\text{C}$ 、 $2.49\pm0.39^\circ\text{C}$ 、 $2.01\pm0.56^\circ\text{C}$ 、 $2.06\pm0.53^\circ\text{C}$ 、 $2.29\pm0.69^\circ\text{C}$ ，五組總平均高於環境溫度 $2.32\pm0.10^\circ\text{C}$ (圖 51、A、B)。
- (3) 不同的環境溫度、濕度與大刀螳螂體溫之間有 0.999、-0.965 的高度相關，顯示環境溫度越高、濕度越低的環境下，螳螂體溫會越高(圖 52、53、C、D、E)。





2. 實驗 2-1-2 『相同環境、相同溫度』與大刀螳螂體溫間實驗的結果與分析：

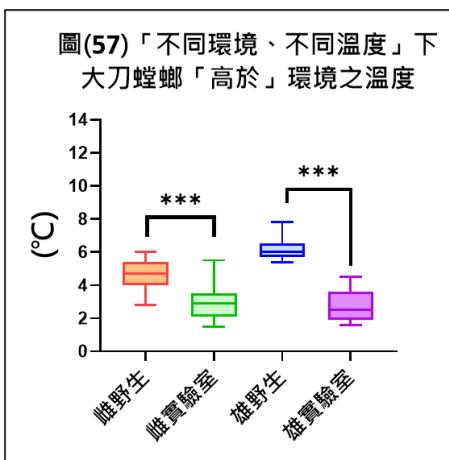
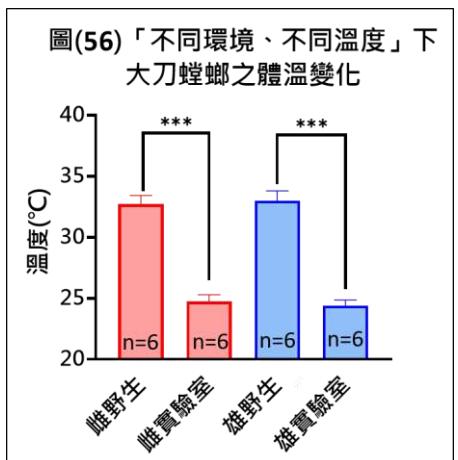
- (1) 當環境溫度在 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 『相同』時，雌、雄螳螂、若螳與對照組分別測得體溫為 $22.9\pm0.22^{\circ}\text{C}$ 、 $22.63\pm0.23^{\circ}\text{C}$ 、 $23.05\pm0.39^{\circ}\text{C}$ ，三者間與環境溫度 $***p<0.001$ 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂體溫高於環境溫度(圖 54)。
- (2) 在環境溫度『相同』下，雌、雄螳螂、若螳的體溫高於環境溫度 $1.78\pm0.48^{\circ}\text{C}\sim2.35\pm0.39^{\circ}\text{C}$ 之間，三者體溫總平均『高於』環境溫度 $2.16\pm0.34^{\circ}\text{C}$ 。(圖 55、A、B)。



3. 實驗 2-1-3 『不同環境、不同溫度』與大刀螳螂體溫間的實驗結果與分析：

- (1) 當野生環境 $28.51\pm0.56^{\circ}\text{C}$ ，測到雌螳平均體溫 $32.72\pm0.68^{\circ}\text{C}$ ，雄螳體溫 $34.61\pm0.72^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 回到實驗室後環境溫度為 $21.8\pm0.6^{\circ}\text{C}$ 時，此時測到的雌螳體溫為 $24.75\pm0.52^{\circ}\text{C}$ ，雄螳體溫為 $24.41\pm0.42^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 兩者在不同環境、不同溫度下，大刀螳螂的體溫間 $***p<0.001$ 皆具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂的體溫會隨著環境的溫度而改變(圖 56)。

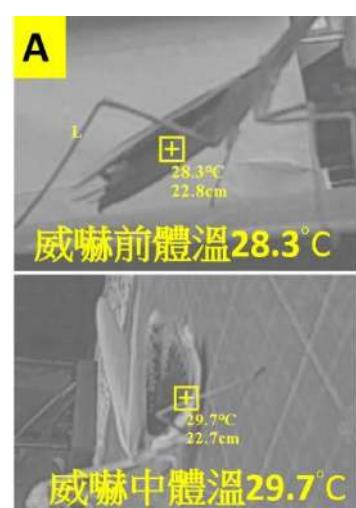
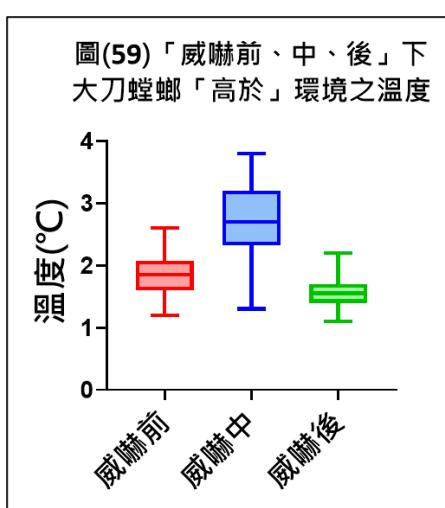
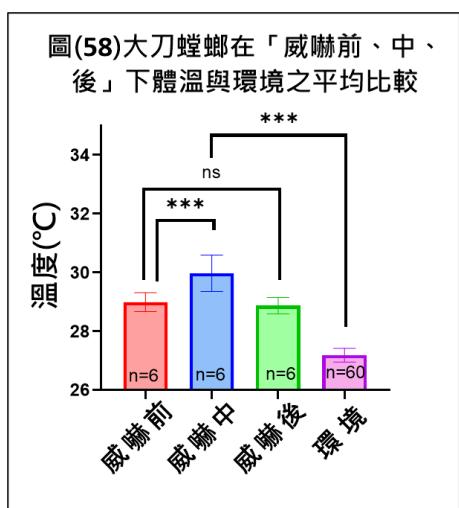
(4) 雌性大刀螳螂體溫在野生環境下『高於』環境 $4.67 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 。帶到實驗室後，體溫『高於』環境 $2.95 \pm 0.94^\circ\text{C}$ ，所以不管在野生的環境或是大刀螳螂被移到室內的環境，與體溫間 $***p < 0.001$ 具非常顯著性差異，體溫總平均『高於』環境 $3.81 \pm 0.86^\circ\text{C}$ (圖 57、A~B-1)。



4. 假設二、大刀螳螂威嚇、攝食、交配等行為時的體溫，受環境溫度的影響結果。

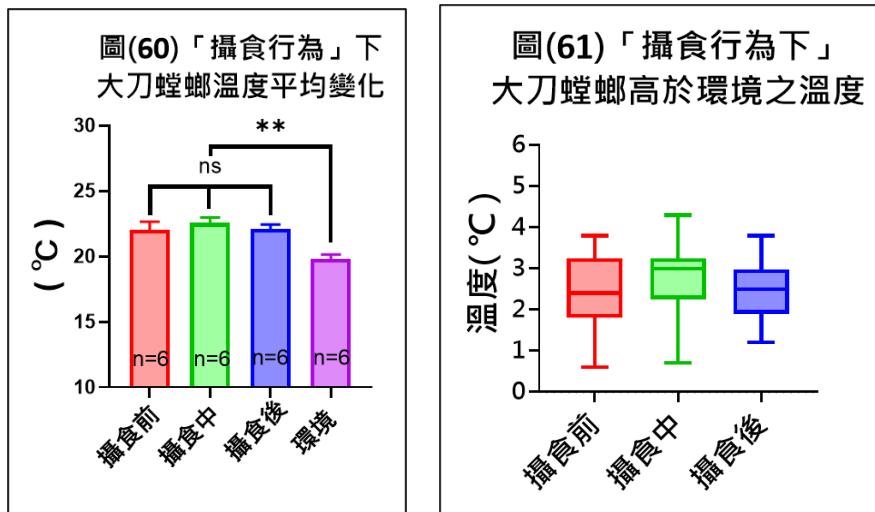
實驗 2-2-1 大刀螳螂產生『威嚇行為』與環境溫度的實驗結果分析：

- (1) 在環境溫度 $27.18 \pm 0.11^\circ\text{C}$ 的時候，當大刀螳螂的威嚇前、中、後，體溫分別為 $28.99 \pm 0.02^\circ\text{C}$ 、 $29.97 \pm 0.35^\circ\text{C}$ 、 $28.65 \pm 0.18^\circ\text{C}$ ，體溫與環境間 $***p < 0.001$ 具非常顯著性差異，第四次證實，大刀螳螂體溫與環境溫度間，因威嚇行為，體溫比環境溫度還要高(圖 58)。
- (2) 大刀螳螂威嚇前、中、後行為，體溫總平均『高於』環境溫度 $2.03 \pm 0.48^\circ\text{C}$ (圖 59、A)。



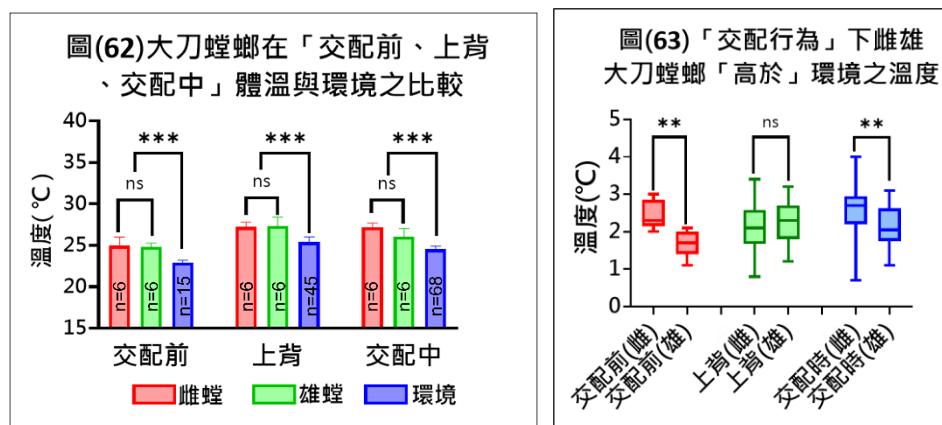
5. 實驗 2-2-2 大刀螳螂在『攝食行為』與環境溫度的實驗結果與分析：

- (1) 在環境溫度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 時, 大刀螳螂『攝食前』體溫是 $22.04 \pm 0.44^\circ\text{C}$ 、『攝食中』體溫 $22.36 \pm 0.19^\circ\text{C}$ 、『攝食後』體溫 $22.10 \pm 0.23^\circ\text{C}$ 。攝食過程體溫差, 攝食前為 $2.42 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 、攝食中為 $2.70 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 、攝食後為 $2.49 \pm 0.64^\circ\text{C}$, 總平均為 $22.17 \pm 0.14^\circ\text{C}$ 三者間 p 值為 ns 沒有顯著性差異(圖 60)。
- (2) 大刀螳螂產生攝食行為時的體溫『高於』環境溫度總平均為 $2.53 \pm 0.12^\circ\text{C}$ (圖 61、A)。



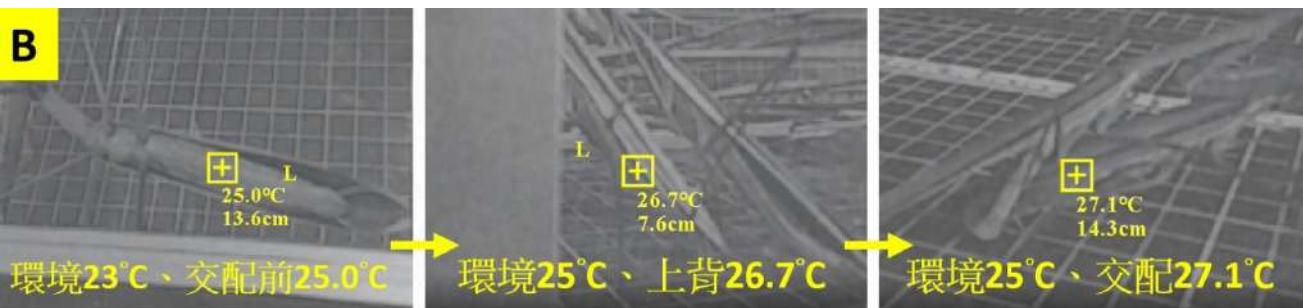
6. 實驗 2-2-3 大刀螳螂在『交配行為』與環境溫度的實驗結果與分析：

- (1) 在環境溫度 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 的時候, 雌、雄大刀螳螂交配前體溫分別是 $25.35 \pm 0.29^\circ\text{C}$ 、 $24.62 \pm 0.27^\circ\text{C}$, 雄螳螂爬到雌螳螂背部(上背)時, 體溫分別為 $27.25 \pm 0.60^\circ\text{C}$ 、 $27.25 \pm 0.37^\circ\text{C}$, 當進行交配時 $27.23 \pm 0.52^\circ\text{C}$ 、雄螳為 $26.53 \pm 0.47^\circ\text{C}$ 。因此大刀螳螂在交配前、上背時、交配中等三種交配動作的 p 值皆為 ns 沒有顯著性差異, 顯示交配行為體溫沒有太大變化, 不過與環境溫度間 *** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異(圖 62)。
- (2) 雌、雄大刀螳螂交配前、後的體溫平均『高於』環境溫度 $2.41 \pm 0.17^\circ\text{C}$ 與 $1.99 \pm 0.23^\circ\text{C}$, 總平均『高於』環境溫度 $2.2 \pm 0.21^\circ\text{C}$ (圖 63、A、B 與表二)。



表二、大刀螳螂交配行為體溫變化過程, 測量結果, 單位為 $^\circ\text{C}$ ：

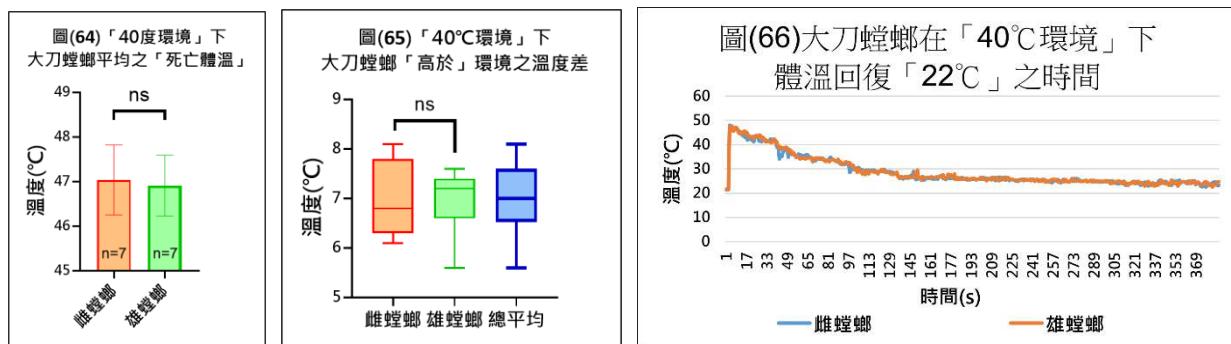
	『交配前』 『高於』環境溫度	『上背時』 『高於』環境溫度	『交配時』 『高於』環境溫度	總平均 『高於』環境溫度
雌成蟲	2.460 ± 0.34	2.18 ± 0.62	2.60 ± 0.65	2.41 ± 0.17
雄成蟲	1.678 ± 0.32	2.21 ± 0.56	2.10 ± 0.57	1.99 ± 0.23



7. 假設三、過高或過低的環境溫度，都會影響大刀螳螂的生存實驗結果。

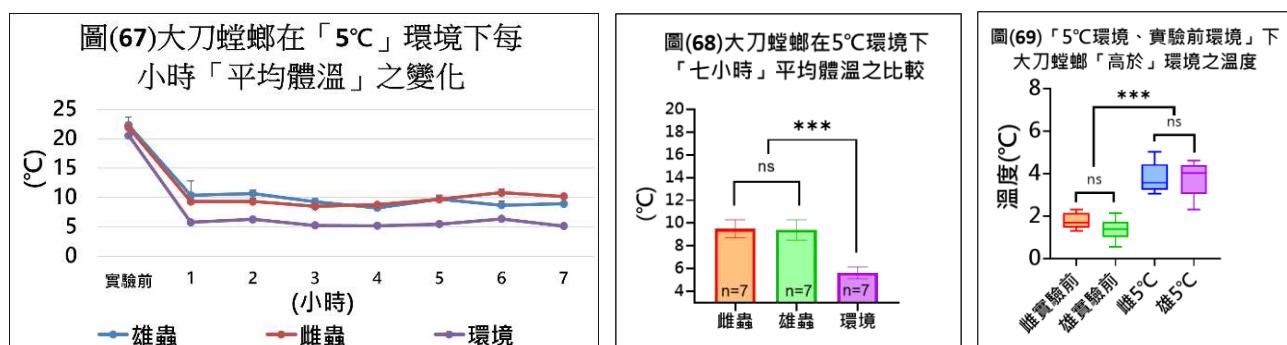
2-3-1 第一次種環境，當『溫度過高時』的實驗結果與分析：

當環境溫度在 40°C 時，平均 3.57 ± 0.37 min，雌雄大刀螳螂就倒下死亡，此時牠們的體溫分別平均上升到 47.04 ± 0.73 °C、 46.91 ± 0.63 °C (圖 64)，而雌雄的體溫『高於』環境的溫度達到 7.04 ± 0.73 °C 與 6.91 ± 0.63 °C，總平均為 6.97 ± 0.06 °C (圖 65)，這時候即使迅速把螳螂移出來，經過 385 ± 1 秒(圖 66)，螳螂的體溫雖然恢復到接近原來的體溫，但是大刀螳螂不再甦醒，因此環境溫度低於 40°C 為大刀螳螂生存的臨界高溫範圍。



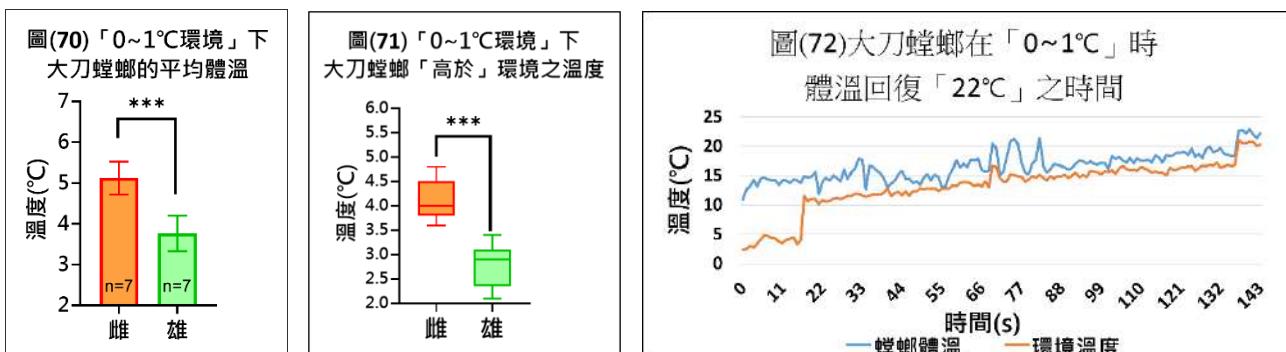
8. 2-3-2 第二種環境，當『溫度過低時』的實驗結果與分析：

- (1) 大刀螳螂處在環境溫度 5°C 的時候，雌、雄螳螂原本體溫平均為 22.13 ± 0.19 °C，經過第 1 小時體溫後平均體溫在 9.85 ± 0.52 °C，因此 5°C 時體溫平均下降了 12.28 ± 1.28 °C(圖 67)。
- (2) 7 小時之後，雌、雄螳螂體溫維持在 9.51 ± 0.74 °C、 9.41 ± 0.82 °C，兩者間 *p* 值為 ns 無顯著性差異，顯示時雌、雄螳螂在 5°C 時體溫變化不大(圖 68)。
- (3) 經過測量大刀螳螂的體溫比 5°C 環境溫度，總平均高 3.83 ± 0.71 °C，兩者間 *** *p* < 0.001 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂即使處在 5°C 的低溫環境，再次證實大刀螳螂的體溫還是高於環境溫度(圖 69、A)。





(4) 大刀螳螂處在環境溫度 0°C ~ 1°C 時，雌雄體溫平均分別在 $5.12\pm0.38^{\circ}\text{C}$ 、 $3.77\pm0.41^{\circ}\text{C}$ ；而分別『高於』環境溫度 $4.12\pm0.38^{\circ}\text{C}$ 、 $2.77\pm0.41^{\circ}\text{C}$ ，兩者間*** $p<0.001$ 具非常顯著性差異，顯示在低溫的環境下，雌雄蟲平均留住 $3.44\pm0.78^{\circ}\text{C}$ 的體溫在體內。把大刀螳螂從 0°C ~ 1°C 的低溫環境取出，平均只需花費 $126\pm6\text{s}$ ，即恢復到原來的體溫(圖 70~72、A)。



實驗後產生的疑問？

做完溫度對大刀螳螂的影響實驗後，心裡產生了一個疑問。即是當溫度驟降時，通常可能會伴隨著下雨或下雪，這時螳螂身上有沒有防禦氣候變化的構造？經過討論後，我們有個聯想，就是每年寒流來的時候，我們都會穿上厚衣服或夾克來禦寒，那麼披在大刀螳螂身上的就是二對大翅膀，因此我們懷疑，大刀螳螂的翅膀能抵禦雨水或禦寒？

國外學者 STEPHANIE A.HILL(2007)曾研究 *M. religiosa*(一種歐洲螳螂)，發現後翅構造與腹部摩擦產生聲音，有可能是一種防禦的行為，這與我們常看到的揚翅威嚇防禦的方式很類似。不過對於大刀螳螂的翅膀能不能防水禦寒的相關文獻，卻查無相關資料，因此我們嘗試實驗，要找出大刀螳螂翅膀能否防水的功能。

因此重新再提新假設：假設大刀螳螂的翅膀有防水功能，避免身體接觸水後，導致失溫。

重新再實驗：

步驟 1. 實驗分組：實驗組『螳螂的翅膀』、對照組『雨衣片』、實驗溫度 $20\pm1^\circ\text{C}$ 、濕度 64~62%之間。

步驟 2. 實驗方法：用剪刀把雨衣剪出一個長 4.0cm × 寬 1.0cm 成為雨衣片，用 pipette 吸水滴入 4 粒水珠到螳螂死亡後留下的翅膀與雨衣片上，每粒水珠 20 μl 、重約 0.0155g。計算水珠滴入前重量，每小時記錄一次，連續記錄 7 小時的重量變化，實驗重複三次($n=9$)。

步驟 3. 實驗記錄：假設翅膀『會』防水：翅膀上的水分蒸散量 = 雨衣片上水分的蒸散量。如果翅膀『不會』防水：水分滲入翅膀量 = 雨衣片上水蒸散量 - 翅膀水蒸散量。

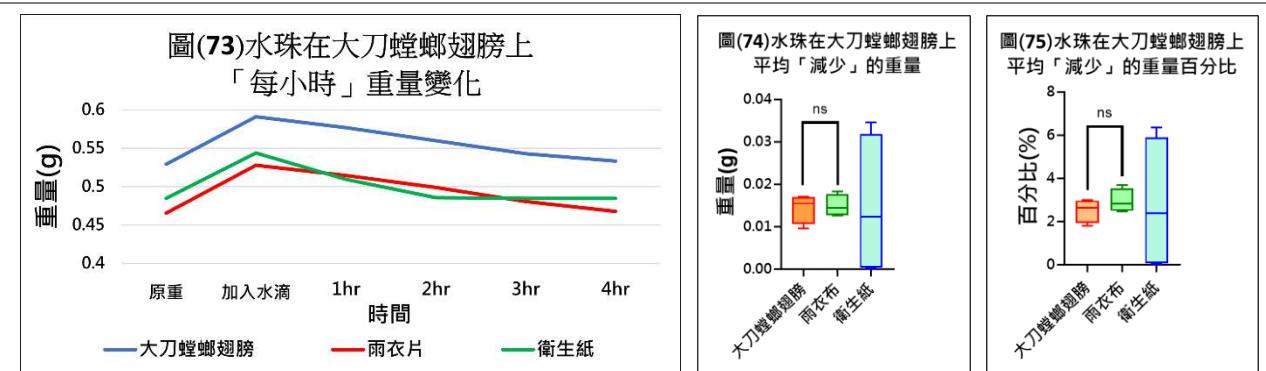
比較野生大刀螳螂遇雨水狀態，與室內飼養時水灑在螳螂翅膀狀態，兩者間的異同。

再實驗的結果與分析：

1. 翅膀能防水分析：水珠在大刀螳螂翅膀上經過 4 小時與雨衣片間，重量平均分別減 $0.0077\pm0.004\text{g}$ 、 $0.0065\pm0.003\text{g}$ ；而重量百分比平均分別減少 $1.11\pm0.61\%$ 、 $1.31\pm0.64\%$ 兩者之間 p 值為 ns 無顯著性差異，顯示大刀螳螂的翅膀的構造，有類似雨衣片防水般的功能，當寒冷又夾帶雨水時，應能阻擋雨水於外，不讓身體變得更低溫(表三、圖 A、圖 73~75)。

表三：水珠在大刀螳螂翅膀上與不同材質上蒸散的重量結果：單位(g)

	大刀螳螂翅膀			雨衣片			衛生紙		
	重量	增減重	減少百分比	重量	增減重	減少百分比	重量	增減重	減少百分比
原重	0.5292			0.4652			0.4845		
加水珠後重	0.5908			0.5275			0.5439		
第 1 小時重	0.5767	0.0141	2.38	0.5144	0.0131	2.48	0.5093	0.0346	6.36
第 2 小時重	0.5596	0.0171	2.90	0.4986	0.0158	3.10	0.4857	0.0236	4.60
第 3 小時重	0.5427	0.0169	3.00	0.4803	0.0183	3.70	0.4846	0.0011	0.20
第 4 小時重	0.5333	0.0096	1.80	0.4677	0.0126	2.60	0.4844	0.0002	0.04



伍、討論

一、關於研究一『O₂、CO₂的濃度變化』對大刀螳螂生存之影響的問題與討論

眾所皆知，O₂對人體的重要性不言而喻，從美國 OSHA(職業安全與健康管理局)與台灣職業安全衛生法的法規裡，可以知道當氧氣濃度低於 19.5%就被視為是缺氧的環境了，低於 6~10%則會危及到生命安全；而 CO₂的濃度同樣重要，根據環保署室內空氣品質標準的上限達 300-1,000ppm 是室內正常濃度，勞動部也公布容許暴露的標準為 5,000ppm，超過 10,000 ppm 以上，則有中毒的症狀。以上資料所指的都是對人體所能接受的範圍，但是對於我們所研究的大刀螳螂這類小昆蟲，牠需要多少 O₂才能存活呢？以及多少 CO₂會造成牠生命的危險？是本篇研究的重點。

低 O₂對昆蟲有何影響？前人研究當昆蟲長期缺氧狀態，最終會導致大多數的昆蟲死亡，例如蝗蟲在 30°C 缺氧 4 小時後仍無法完全恢復(Harrison, 2019)。另外 M.G. Nielsen (2007) 曾研究一種紅樹蟻(*Camponotus anderseni*)，在面臨潮汐淹水那段時間，會封閉自己的巢穴以防止大水入侵，可是封閉巢穴的結果，會導致蟻巢裡面的 O₂濃度下降至 1%以下、CO₂濃度升高到 30%以上，紅樹蟻面臨極端環境下，會改變原有的呼吸方式，轉為無氧呼吸，以維持生命，總結：紅樹蟻的無氧呼吸方式，證實了社會性昆蟲之前從未被證實過的特殊呼吸能力。還有廚房或教室內同學沒吃完的水果，常招來果蠅，就有學者發現指出果蠅在缺氧條件之下，同樣具有無氧呼吸的能力，尤其當氧氣恢復正常供應之後，身體能夠快速恢復代謝的速率，代表果蠅對缺氧具有高度的耐受性(Wayne A Van Voorhies, 2009)。相較於紅樹蟻、果蠅、蝗蟲等小昆蟲，我們所研究的大刀螳螂體型大多了，雖然我們的實驗，受限研究器材的關係，沒有辦法做到無氧階段的環境，但是我們的實驗仍然有找到大刀螳螂能在 **8.20±0.47%** 如此低 O₂環境下，至少能活 **0.51±0.02hr ~0.52±0.02hr** 的重要發現。

另外高濃度的 CO₂對昆蟲又會有什麼影響？學者 Matthews, P.G.D.(2011)發現昆蟲透過氣管系統進行氣體交換，這是一種直接從外界的空氣進入昆蟲體內的方式，當 CO₂由氣孔進入時，CO₂在血淋巴中跟水結合後形成了碳酸、並解離出 H⁺離子(CO₂+H₂O ⇌ H₂CO₃ ⇌ H⁺+HCO₃⁻)，但是過多的 CO₂積聚結果最後會酸化導致酸中毒。

根據我們的研究，在高濃度 CO₂飼養箱中，總平均達到 **6496.15±0.3ppm** 濃度時，最後經過 **6.47±0.26hr**，大刀螳螂出現了昏迷狀態，我們推測此時的大刀螳螂應該進入酸中毒症狀，如果持續維持酸中毒的狀態，我們認為會影響大刀螳螂的生命，因此我們的實驗設計，不在讓大刀螳螂死亡，當大刀螳螂呈現昏迷時，立刻就將大刀螳螂移出，讓牠離開高濃度的 CO₂環境，所幸之後若螳、雄成螳、雌成螳平均在 **0.48±0.06hr** 甦醒並存活過來了(圖 A)。



二、關於研究二『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響的問題與討論

大刀螳螂是一種不完全變態的昆蟲、是一種變溫動物，牠的體溫會隨著環境的溫度而改變，這是我們從小就知道的知識。

關於溫度對昆蟲的生存或繁殖方面的影響，Hofmann, T., & Fischer, K. (2012)研究指出一般在適宜的溫度範圍之內，昆蟲的代謝速率會隨著溫度的升高而增加，不過要注意一點，如果超過了某一個臨界點，太高的溫度會對昆蟲體內造成壓力，導致代謝的效果下降。例如，某些甲蟲中，最好的生長溫度範圍為 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 之間，超出這個範圍之後，有可能導致生長遲緩或死亡。另外在低溫環境下，昆蟲的活動力通常會降低，能量消耗比較少，而延長了生命的時間，高溫與低溫之間看起來低溫對昆蟲的生存比較有利，但是學者也指出長期低溫的結果，可能會影響昆蟲的生存和繁殖力方面的問題。

報告中作者提到的甲蟲生長問題，我們在研究二觀察記錄到大刀螳螂棲息地的溫度範圍，也有在做棲地溫度相關調查。例如：我們完整紀錄冬天寒流的 8°C ~夏天的 31°C 左右，發現都有螳螂的足跡，而成蟲主要活動範圍在 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 的春、夏天最多，繁殖季主要在 $18^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的秋天等結果。只不過溫度影響昆蟲生長，不是我們本篇研究的重點，我們的重點著重於溫度是否造成螳螂的生存。

所以我們再閱讀了另一篇資料，學者研究亞洲螳螂 (*Hierodula patellifera*) 在韓國的活動與分布的報告，其中特別提到溫度的上升對螳螂的活動週期與地理分布是有影響的，因為當氣溫上升的時候，螳螂活動天數增加了，活動季節也被影響而提早與延後，這結果對螳螂的繁殖與覓食週期可能產生了不容小覷的影響。另外，在氣候暖化的情況之下，*H. patellifera* 的棲息地慢慢往韓國其他地方擴展，分布範圍逐漸擴大(Journal of Asia-Pacific Entomology, 2023)。

還有一篇是關於氣候變遷對熊蜂震動授粉的影響，本篇研究的背景在於溫度不斷上升的情況下，對自然環境還有生物(熊蜂)造成的影響。結論指出在 32°C 環境下的熊蜂幾乎沒有死亡的狀態，但攝取糖水的量遞減，逐漸走向無氧呼吸，當溫度調高到 35°C 時，熊蜂在抵抗高溫，使得能量轉移至抵抗熱逆境，所以活動力較差，死亡率變高。證明在高溫環境下，熊蜂的振翅頻率下降、活動力變差，導致授粉的效率逐漸降低，所以，未來的環境溫度持續上升，將會影響熊蜂授粉的行為，也影響作物的產量(郭耘，2021)。

綜合以上的前人研究我們與前人研究不同處，首先在螳螂族群遷移方面，或許因為韓國地理環境偉度偏高的關係，所以長期處於較寒冷的環境，因此韓國地區環境溫度一旦上升，*H. patellifera* 的足跡便向各地擴散，而我們所研究的大刀螳螂的遷移方式，我們推測與韓國的 *H. patellifera* 遷移擴散方式有所不同，原因是，我們所進行的八種不同環境溫度與螳螂行為狀態的體溫比較發現，螳螂的體溫『總平均已經高於』環境溫度 $2.79 \pm 0.72^{\circ}\text{C}$ ，以如今台灣夏季平地常常有超過 35°C 甚至逼近 38°C 的高溫，這已經是接近大刀螳螂死亡的 40°C 不遠，所以居住在低海拔的大刀螳螂，如果台灣年均溫度不斷上升的情況，牠的族群遷移方向不會往各地來擴展，我們認為牠應該會逐漸往海拔高一點的環境遷移，以避免因高溫造成死亡。還有前人提到熊蜂於 35°C 時死亡，而我們研究的大刀螳螂 40°C 才死亡，雖然看起來大刀螳螂較熊蜂對溫度的耐受度高了些，但是對於昆蟲這類小生物而言，環境溫度每升高 1°C 就有可能危害牠們的生命，所以保護環境，不讓環境溫度持續上升是刻不容緩之事。

統整研究結果，我們把『研究新發現』與『前人有無研究』做比較與探討

探討主題	前人有無研究	我們的『新發現』
一、探討大刀螳螂『野生棲息的O ₂ 濃度變化』與『對O ₂ 的需求生存範圍』	無研究	<p>1.新發現：野生棲息地與全罩式環境間O₂濃度最低總平均為$19.79\pm0.86\%$、$19.77\pm0.25\%$兩者間p值為ns無顯著性差異。</p> <p>2.新發現：當大型車通過廢氣造成O₂平均下降至$19.41\pm0.47\%$，與無車經過相比較，兩者間為*$p<0.05$具顯著差異，顯示此時的環境中O₂濃度出現了變化。</p> <p>3.新發現：當低O₂濃度環境下，總平均為$8.2\pm0.47\%$與對照組$19.87\pm0.18\%$、野生組$19.9\pm0.5\%$三者間***$p<0.001$具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂對『O₂需求低、耐受度很高』。</p>
二、探討大刀螳螂『野生棲息的CO ₂ 濃度變化』與『承受CO ₂ 的範圍』	無研究	<p>1.新發現：野生棲息地與全罩式環境間CO₂濃度最高濃度總平均為$438.57\pm50.48\text{ ppm}$、$780.15\pm297.39\text{ ppm}$兩者間為*$p<0.05$具顯著性差異。</p> <p>2.新發現：晚上跟雨天間CO₂濃度的***$p<0.001$具非常顯著性差異，顯示不同氣候會影響CO₂的濃度。</p> <p>3.新發現：CO₂平均接近6496ppm飽和濃度下，約6.47小時後陷入昏迷。</p>
三、探討大刀螳螂的『體溫』與『環境溫度』間的關係	無研究	<p>1.新發現：在8種不同環境溫度與行為上，大刀螳螂的體溫總平均『高於』環境溫度$2.79\pm0.72^\circ\text{C}$。</p> <p>2.新發現：當環境在$0\sim1^\circ\text{C}$低溫時，大刀螳螂的體溫總平均『高於』環境溫度$3.44\pm0.67^\circ\text{C}$。</p> <p>3.新發現：第9種的環境在40°C高溫時，大刀螳螂的體溫總平均『高於』環境溫度$6.97\pm0.06^\circ\text{C}$，因此低於$40^\circ\text{C}$為能生存的溫度範圍。</p>
四、探討O ₂ 、CO ₂ 、溫度對大刀螳螂『生存的影響』	無研究	<p>1.新發現：在全罩式環境不吃不喝的環境下，最久平均可以存活43 ± 3.16天。</p> <p>2.新發現：高CO₂的雄螳螂每分鐘呼吸速率最快達到81.97 ± 2.23次/min，呼吸速率增快了397.2%。</p> <p>3.新發現：當高CO₂濃度接近飽和的$6496.15\pm0.30\text{ppm}$環境下，會進入昏迷狀，平均經過0.48小時甦醒。顯示大刀螳螂對『CO₂濃度耐受度也很高』。</p> <p>4.新發現：當低溫伴隨下雨，水珠在大刀螳螂翅膀上，經4小時與雨衣布間重量減少百分比為$1.11\pm0.61\%$、$1.31\pm0.64\%$兩者之間p值為ns無顯著性差異，顯示大刀螳螂翅膀的構造，有類似雨衣片防水般的功能。</p> <p>5.新發現：環境溫度上升到40°C時，平均3.57 ± 0.37min，雌雄大刀螳螂就倒下死亡。</p>

陸、結論

研究一、探討『O₂、CO₂ 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響結論

- 不同樣區 O₂ 與 CO₂ 的濃度可能不一樣嗎？**根據結果不同的樣區 O₂ 濃度總平均為 ns 無顯著性差異，顯示大刀螳螂棲息環境的 O₂ 濃度沒有太大的變化。而『CO₂』平均從 393.4±23.6~430.2±49.2 ppm，樣區間的 CO₂ 濃度低~高總平均間* *p*<0.05 具顯著差異，顯示大刀螳螂所棲息環境裡的 CO₂ 濃度會受到外在因素而有變化。
- 樣區一日的 O₂ 與 CO₂ 的濃度有變化嗎？**：早上 O₂ 濃度平均 19.41±0.56% 最低，中午 14:00 平均 20.87±0.59 % 最高，兩個時段的 O₂ 平均為* *p*<0.05 具顯著差異。而『CO₂』濃度，在 14:00 時平均 414.25±39.34 ppm 最低，在 09:00 時 471.25±7.46 ppm 最高，兩個時段的 CO₂ 平均為* *p*<0.05 具顯著差異，顯示一日之間不管 O₂、CO₂ 濃度皆有變化。
- 不同氣候時的 O₂ 與 CO₂ 濃度有變化嗎？**白天、雨天、晚上間 O₂、CO₂ 濃度間*** *p*<0.001 具非常顯著性差異，顯示一日之間不管 O₂、CO₂ 濃度皆有變化。
- 車輛排放的廢氣會改變棲息地附近 O₂ 與 CO₂ 濃度嗎？**當大型的水泥攪拌車緩慢行駛通過時，所排出的大量廢氣造成 O₂ 下降至 19.41±0.47%，與無車經過相比較，兩者間為* *p*<0.05 具顯著差異，顯示此時的環境中 O₂ 濃度，出現了變化。而 CO₂ 濃度在有無車子經過，兩者間為*** *p*<0.001 都有非常顯著的差異，顯示大刀螳螂棲息環境的 CO₂ 濃度有受到大型車經過而出現明顯的變化。
- 半開放式飼養能存活嗎？**O₂ 與 CO₂ 平均的 *p* 值為 ns 沒有差異，顯示半開放式飼養內外 O₂、CO₂ 沒有大變化。
- 全罩式環境不能存活嗎？**O₂ 明顯減少了 6.9%~7.1%、CO₂ 增加了 77 ppm ~85 ppm，而且在不吃、不喝的環境下，平均存活 34.5±4.03 天~43±3.16 天。
- 對 O₂ 最低需求範圍？**當低 O₂ 濃度環境下總平均為 8.2±0.47% 與對照組 19.87±0.18 %、野生組 19.9±0.5 % 比較，*** *p*<0.001 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂對『O₂ 濃度耐受度很高』。而受到 O₂ 被抽出的關係，CO₂ 濃度也跟著下降，當三種階段的大刀螳螂三者間 *p* 值為 ns 沒有差異，顯示各階段的大刀螳螂在如此低的 CO₂ 濃度下存活不受影響。
- 對高濃度 CO₂ 能承受最大範圍？**當高濃度 CO₂ 接近飽和的 6496.15±0.30 ppm 環境下，經過 6.4±0.24 hr~6.64±0.19 hr 進入了昏迷狀態；昏迷後再經過 0.50±0.03 hr、0.49±0.09 hr、0.46±0.03 h 後甦醒，顯示大刀螳螂對『CO₂ 濃度耐受度很高』。
- 高濃度 CO₂ 與低 O₂ 與呼吸間關係？**雌、雄蟲呼吸速率增快達 62.67±1.12 次/min~81.97±2.23 次/min，直到雌、雄螳螂昏迷後立刻取出，離開高濃度 CO₂ 環境後，呼吸的速率會降至 21.62±12.47 次/min、46.45±11.99 次/min。隨著 CO₂ 濃度增加，雌雄蟲的呼吸速率分別平均增快了 159.04%、397.2%，R 值均為 0.9 或-0.9，皆呈高度相關，顯示 CO₂ 濃度的增加與呼吸快慢有相關。

研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響結論

- 相同環境、不同溫度：**相同環境、不同的環境溫度與體溫間*** *p*<0.001 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂體溫較高，且總平均『高於』環境溫度 2.32±0.1°C。
- 相同環境、相同溫度：**相同環境、環境溫度相同下與體溫之間*** *p*<0.001 具非常顯著性差異，顯示大刀螳螂體溫較高，且總平均『高於』環境溫度 2.16±0.34°C。

3. **不同環境、不同溫度**：發現大刀螳螂體溫在野生環境下『高於』野生環境 $4.67 \pm 0.84^\circ\text{C}$ 。帶到實驗室後，體溫『高於』環境 $2.95 \pm 0.94^\circ\text{C}$ ，所以不管在野生環境，或是室內環境大刀螳螂的體溫間*** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，總平均『高於』環境溫度 $3.81 \pm 0.86^\circ\text{C}$ 。
4. **威嚇、交配不同行為**的體溫『高於』環境溫度 $2.03 \pm 0.48^\circ\text{C}$ 與 $2.2 \pm 0.21^\circ\text{C}$ ，兩者與環境間*** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異。而攝食行為的體溫『高於』環境溫度 $2.53 \pm 0.12^\circ\text{C}$ ，兩者間** $p < 0.01$ 具極顯著性差異。
5. **環境溫度在 40°C 時**，經過短短的 $3.57 \pm 0.37\text{min}$ ，雌雄大刀螳螂就倒下死亡，此時牠們的體溫分別平均上升到 $47.04 \pm 0.73^\circ\text{C}$ 、 $46.91 \pm 0.63^\circ\text{C}$ ，而雌雄體溫『高於』環境溫度 $7.04 \pm 0.73^\circ\text{C}$ 與 $6.91 \pm 0.63^\circ\text{C}$ ，總平均為 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$ ，即使迅速把螳螂移出來，經過 385 ± 1 秒體溫漸漸恢復接近原來體溫，但死亡不再甦醒，因此環境溫度 40°C 以下為大刀螳螂生存的臨界範圍。
6. **環境溫度 5°C 與 $0 \sim 1^\circ\text{C}$ 時體溫**『高於』環境溫度 $3.83 \pm 0.71^\circ\text{C}$ 與 $3.44 \pm 0.78^\circ\text{C}$ ，兩者間*** $p < 0.001$ 具非常顯著性差異，顯示體溫有變化。且把大刀螳螂從 $0 \sim 1^\circ\text{C}$ 的低溫環境取出，平均只需 $126 \pm 6\text{s}$ ，即能甦醒且恢復到原來的體溫。
7. **水珠在大刀螳螂翅膀上**，經過 4 小時與雨衣片間重量減少百分比平均為 $1.11 \pm 0.61\%$ 、 $1.31 \pm 0.64\%$ 兩者之間 p 值為 ns 無顯著性差異，顯示大刀螳螂的翅膀的構造，有類似雨衣片防水般功能，在寒冷又夾帶雨水之時，應能阻擋雨水於翅膀外面，不讓身體變得更低溫。

柒、總結

我們研究這個的動機：當初會選擇這個主題做研究，我們的動機不僅是因為看到了大刀螳螂生活的棲地被破壞，擔心牠的生存外，還有一個理由，是因為所有人的都認識 O_2 、 CO_2 、溫度等因子，而且每一個人也都直接或間接利用這些環境因子，但是卻很少人關心、注意這些維繫我們生命安危的物質。所以我們希望藉由這一篇研究，能引起大家重視周遭環境被破壞的問題，以及防範未來可能造成的影響。

O_2 、 CO_2 、溫度等因子的變化對大刀屬螳螂生存之影響『首度兩大發現』：第一、當 O_2 平均持續在 $8.20 \pm 0.47\%$ 或 $6496.15 \pm 0.30\text{ppm}$ 高濃度 CO_2 時，大刀螳螂會呈現短暫性昏迷狀態，而且只要離開高濃度的 CO_2 環境，還有存活的機會。第二、在 8 種不同的環境溫度變化與行為中，大刀螳螂的體溫『總平均高於』環境溫度 $2.79 \pm 0.72^\circ\text{C}$ ，這讓外溫動物的螳螂體溫維持在一定範圍。唯第 9 種環境溫度達 40°C 時，大刀螳螂的體溫竟平均『高出』環境溫度 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$ ，最終會造成大刀螳螂死亡，可見溫度上升將會是大刀螳螂生存的重要關鍵之一。

研究後我們的想法：從以上的實驗數據判斷，如此低 O_2 與高濃度 CO_2 的環境，目前在地球雖然不會出現，且離我們人類生存的範圍還有段距離，我們的想法是現在什麼都不在乎，什麼都不做，持續無知的破壞環境，而促使 CO_2 濃度不斷增加，最終嚴重的溫室效應產生，導致環境溫度不斷上升，一旦危害到我們生命之時？想彌補，也都為時已晚。

我們能為大刀螳螂能做什麼？本研究首次評估 O_2 、 CO_2 、溫度等因子的變化對大刀屬螳螂生存有所影響，提供了未來保育相關螳螂的科學依據。未來可進一步探討大刀屬螳螂在空氣、溫度改變後生理調控因應的機制。更要讓重視環境、愛護環境不再淪為一個口號，畢竟此刻的環境確實正在改變，我們只有一個地球，每個人都有責任保護這片土地，讓大刀螳螂及所有生物，能在乾淨、污染少的環境下順利成長與存活。

以上研究所測得到數據、科學圖表繪製及實驗結果照片，皆由作者製作、拍攝與繪畫。

捌、參考文獻資料及其他

- 一、康軒出版社(2024)・自然與生活科技 國一自然與生活科技 上冊、下冊生物篇
- 二、王楷甯(2024)・*kalus-nibu'* 的生殖行為—探討枯葉大刀螳螂交尾、產卵、孵化的生殖行為研究・中華民國第 64 屆中小學科學展覽會作品說明書
- 三、郭耘(2021)・氣候變遷對熊蜂震動授粉 (buzz pollination) 的影響・第四十二屆台灣昆蟲學會年會
- 四、邱名鍾(2017)・台灣鐵線蟲生物多樣性及寄生對於寄主型態發育的操控・國立台灣大學博士論文
- 五、林偉爵(2017)・寬腹斧螳雌蟲營養狀態與雄蟲被偵測與否對於性食行為的影響・國立台灣大學碩士論文
- 六、周倖瑜(2006)・名和異跳螳(Amantisnawai(Shiraki,1908))翅的二型性：台灣地區名和異跳螳・國立台灣大學碩士論文
- 七、周津苓(1984)・揭開螳螂體色的奧秘・中華民國第 38 屆科學展覽會作品說明書
- 八、陳偉利(1983)・鳶山上的小狩獵者-螳螂生活習性和捕食行為的研究・中華民國第 23 屆科學展覽會作品說明書
- 九、Rosenheim,Leah;Jay;Maxwell,Michael (2025)Coloration in a Praying Mantis:Color Change, Sexual Color Dimorphism, and Possible Camouflage Strategies.
- 十、Sookyung Shin, Duhee Kang, Jongsung Lee, Min Seock Do, Hong Gu Kang(2023) Climate warming induces the activity period prolongation and distribution range expansion of the Asian mantis *Hierodula patellifera* in South Korea.
- 十一、Iuliana M. Chiru(2022)Weather Influence on Native and Alien Mantis Dynamics and Their Abundance in the Current Climate Change Conditions.
- 十二、Harrison(2019) Effects of anoxia on ATP, water, ion and pH balance in an insect (*Locusta migratoria*).
- 十三、Catherine Anne Linn(2016)Habitat Preference of German Mantis religiosa Populations (*Mantodea:Mantidae*) and Implications for Conservation.
- 十四、Jayaweera A, Rathnayake DN, Davis KS, Barry KL.(2015)The risk of sexual cannibalism and its effect on male approach and mating behaviour in a praying mantid. *Anim Behav* 110:113-119.
- 十五、Maxwell MR, Gallego KM, Barry KL. (2010)Effects of female feeding regime in a sexually cannibalistic mantid: fecundity, cannibalism, and male response in *Stagmomantis limbata* (*Mantodea*). *Ecol Entomol* 35:775-787.
- 十六、Wayne A Van Voorhies(2009)Metabolic function in *Drosophila melanogaster* in response to hypoxia and pure oxygen
- 十七、M.G. Nielsen (2007) The mangrove ant, *Camponotus anderseni*, switches to anaerobic respiration in response to elevated CO₂ levels.
- 十八、交通部中央氣象署 <https://www.cwa.gov.tw/V8/C/W/Town/Town.html?TID=1000813>
<https://udn.com/news/story/7266/8064263>.

【評語】030312

1. 本研究顯示大刀螳螂對低 O_2 與高 CO_2 環境具高耐受性，體溫可高於環境溫度，尤其在極端溫度條件下更顯脆弱，突顯氣候異常對生態系潛在威脅。創意性較低， O_2 少、 CO_2 多、溫度高動物會死亡實為正常，未來可以探討更深層之生物機制並試圖逆轉這些逆境，將有助於進一步評估此類昆蟲在極端氣候下的生存能力。
2. 從環境因子切入，呼應空氣污染與氣候變遷對昆蟲生態的影響，兼顧野外觀察與實驗室控制，題材契合當代環境議題。
3. 大多數實驗結果均附帶平均值、標準差及顯著性檢定 (P 值)，比較不同組別變異性充分。建議於圖例中清楚標示樣本數與檢定方式。同時，部分圖表缺乏說明或樣本數標示，可能影響結果的說服力，建議補充並加強整體統整與延伸討論，明確說明研究對生態保育或未來應用的貢獻。
4. 後續的研究都是在相對封閉的環境下進行，沒有辦法反映出上述環境變化對於該存活區之螳螂的真實影響。
5. 報告內容雖然詳實豐富，但整體略顯冗長，建議進行文字精簡與邏輯重整，段落用語偏口語例如將「餓死、渴死」改以「營養供應不足」、「脫水狀態」等專業用語，以提升科學表達的能力。

6. 整體而言，此為具原創性與潛力的優秀作品，若能進一步修潤表達與架構，將更具競爭力。

7. 實驗日誌詳實記錄，值得肯定，如加入記錄時間更佳。

作品海報

探討O₂、CO₂與溫度等因子的變化 對大刀屬螳螂生存之影響



摘要

本研究探討 O_2 、 CO_2 與溫度等因子的變化對大刀螳螂 (*Tenodera*) 生存之影響，以下研究簡稱大刀螳螂。結果一：7 種野生環境 O_2 最低平均 19.79%、 CO_2 最高 438.57ppm，全罩環境 CO_2 濃度平均最高 1200ppm，且不吃不喝下平均存活了 43 天。當低 O_2 平均在 8.2%、 CO_2 濃度 6496ppm 時，雄蟲呼吸速率增快 397.2%，經過 6.47 小時昏迷，最快 0.48 小時甦醒。結果二：8 種不同環境溫度與行為，首度證實之前從未被證實過大刀螳螂體溫總平均高於環境 2.79°C。第 9 種溫度實驗發現在 40°C 時，體溫總平均竟高於環境 6.97°C，平均 3 分鐘死亡。

壹、前言(含研究動機、目的)

我們學校前方的小山坡，住著一群大刀螳螂，牠的棲息地面臨開發棲地被破壞與帶來的空污問題。施工單位不僅把螳螂居住的地方剷平鋪路，還釀成嚴重的空氣污染，因此我們『想要研究大刀螳螂的動機』，是要探討『空氣與溫度對大刀螳螂生存之影響』。

我們第一個研究方向，要探討環境中的『 O_2 、 CO_2 濃度』對大刀螳螂生存之影響。我們第二個研究方向，要探討環境中的『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響。

本文研究目的如下：

(一)、研究『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響。

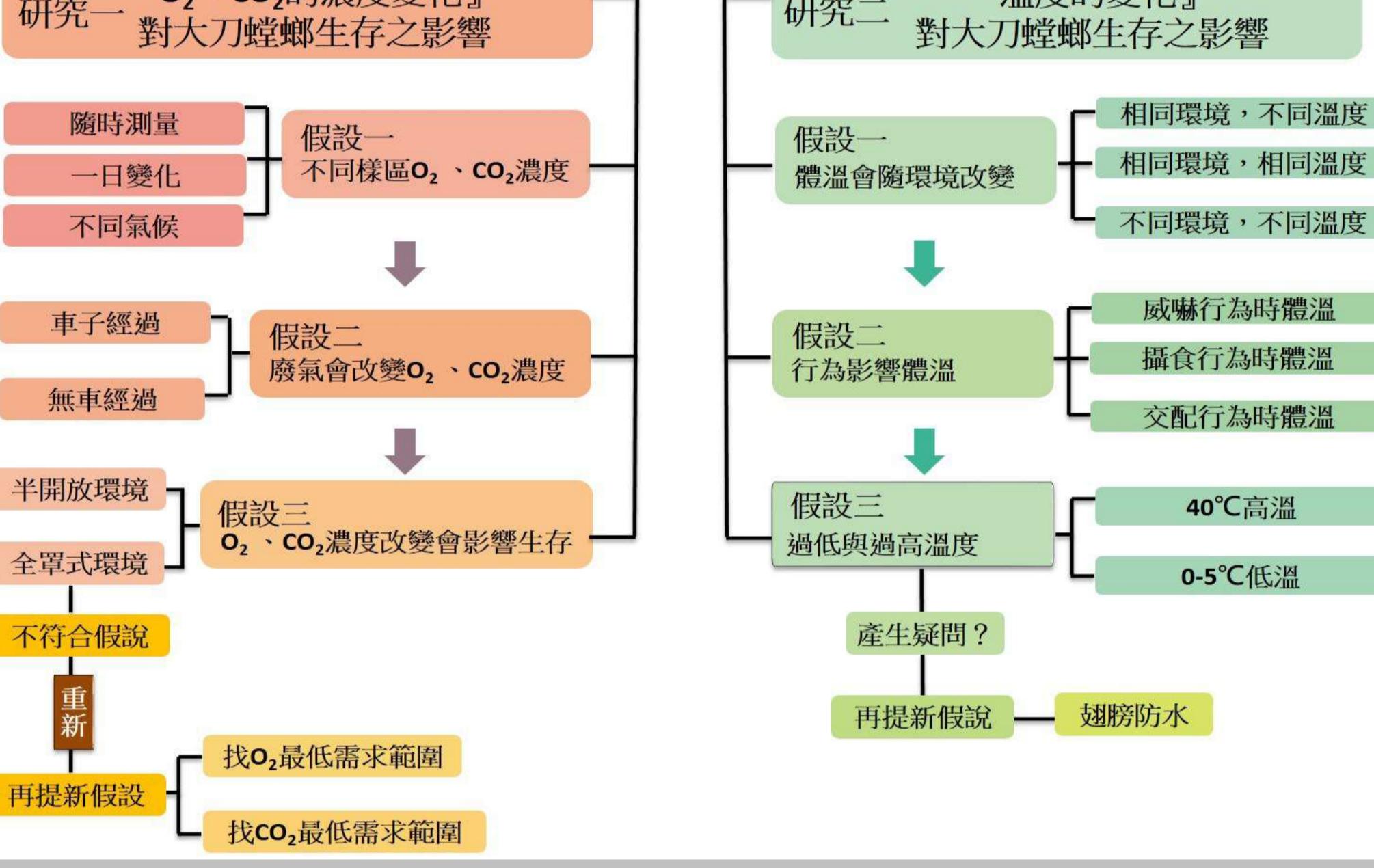
(二)、研究『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響。

貳、研究設備及器材

1. 二氫碳偵測器、筆型氧氣偵測器、紅外線熱像儀、真空抽氣器、溫度器。2. 筆電、數位攝影機、PicPick、Prism、Excel、ImageJ、台灣座標轉換 APP、電子磅秤。3. 直尺、手機、絕緣膠帶、碼錶、板手、pipette、透明飼養杯、保麗龍。4. CO_2 鋼瓶、製冷調控器。5. 雨衣。

參、研究方法

探討 O_2 、 CO_2 與溫度等因子的變化對大刀螳螂生存之影響研究架構



研究一、探討『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響

(一) 觀察後產生的疑問及假設：我們發現樣區有車輛經過並排放廢氣，這些廢氣改變了原有的空氣。因此我們產生了三個疑問：

第一、生活在不同樣區的大刀螳螂， O_2 與 CO_2 濃度會一樣嗎？

第二、汽車所產生的廢氣，會改變樣區的 O_2 與 CO_2 嗎？

第三、 O_2 與 CO_2 的改變會影響大刀螳螂的生存嗎？



假設一、不同樣區 O_2 與 CO_2 的濃度可能不大一樣？

假設二、車輛排放的廢氣可能改變棲地附近 O_2 與 CO_2 濃度？

假設三、 O_2 與 CO_2 的濃度改變，可能會影響大刀螳螂的生存嗎？

(二) 動手實驗：

實驗 1-1 假設一、不同樣區 O_2 與 CO_2 的濃度可能不一樣？

(1) 第一種情況：隨時、隨機測量：白天在棲息樣區隨機測量。

(2) 第二種情況：棲息地一日 O_2 與 CO_2 的濃度：選擇較低與較高海拔的樣區進行測量。時間：113 年 10-11 月間 7:00-15:00 進行測量。

(3) 第三種情況：不同氣候時測量：測量白天夜晚、雨天和寒流的 O_2 與 CO_2 濃度。時間：白天 8-12:00、天黑後 6-8h、雨停時、寒流來時。

實驗 1-2 假設二、車輛排放的『廢氣可能會改變棲息地附近』 O_2 與 CO_2 濃度？

不同車型經過：比較棲息地在有無車子經過時 O_2 與 CO_2 濃度的變化。

實驗 1-3 假設三、 O_2 與 CO_2 的濃度改變，『可能會影響大刀螳螂的生存』？

(1) 第一種情況：半開放式的環境下飼養，因空氣正常對流，所以假設大刀螳螂『能存活』。

(2) 第二種情況：在全罩式有限空間下的 O_2 以及自己產生的 CO_2 環境

研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響

(一) 觀察後產生的疑問及假設：我們發現大刀螳螂的棲息環境，溫度、濕度變化很大。觀察後我們產生了三個疑問：

第一、大刀螳螂有體溫嗎？環境溫度不同，螳螂體溫也會不同嗎？

第二、大刀螳螂的行為，是否也會受到環境溫度的影響？

第三、不同的環境溫度會影響牠的生存嗎？



假設一、大刀螳螂是外溫動物，體溫會隨環境溫度而改變。

假設二、威嚇、攝食、交配等行為的體溫，受環境溫度的影響。

假設三、過高或過低的環境溫度，都會影響大刀螳螂的生存。

(二) 動手實驗：

實驗 2-1 假設一、探討大刀螳螂是外溫動物、有體溫、且體溫會隨著環境的溫度而改變。

(1) 靜止不動、相同環境、不同溫度：錄下螳螂的溫度影像，每個樣本重複三次測量。

(2) 靜止不動、相同環境、相同溫度：操作如上述(1)步驟。

(3) 靜止不動、不同環境、不同溫度：在野生環境下測量大刀螳螂體溫再帶回實驗室 2-3 小時後測量，並且比較兩者差異。

實驗 2-2 假設二、探討大刀螳螂威嚇、攝食、交配等行為時體溫，也受到環境溫度的影響。

進行不同行為時：測量螳螂威嚇、攝食與交配時的體溫，並與環境溫度比較。

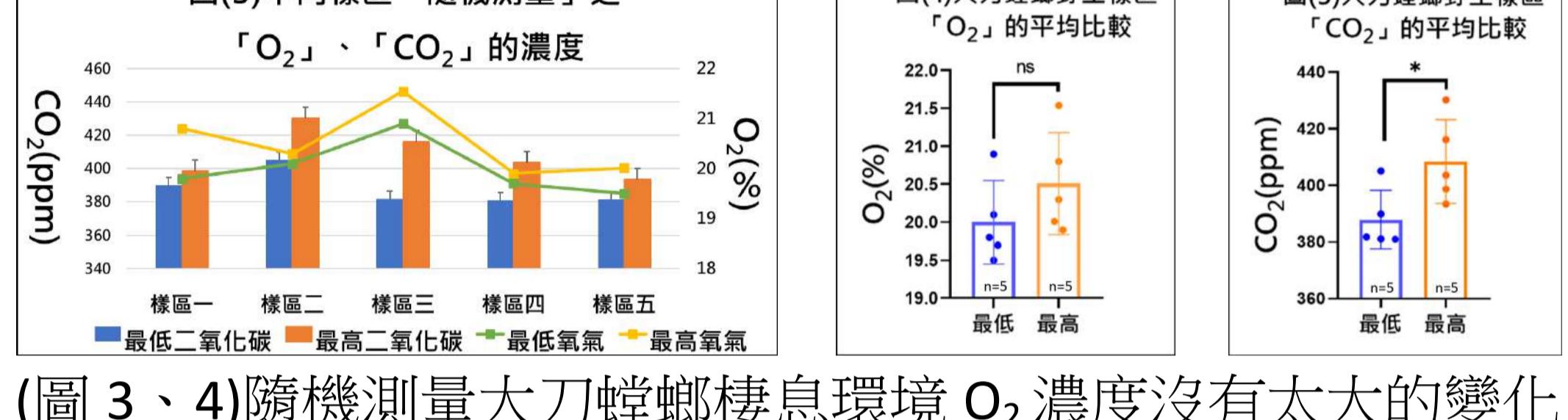
實驗 2-3 假設三、過低或過高的溫度，都會影響大刀螳螂的生存。

分成第一種高溫環境和第二種低溫環境，進行實驗。利用製冷、製熱調控器與保麗龍盒模擬大刀螳螂在寒流或高溫下至少侵襲一夜，連續紀錄 7 小時並每小時記錄 1 次。

肆、研究結果

研究一、探討『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響結果分析。

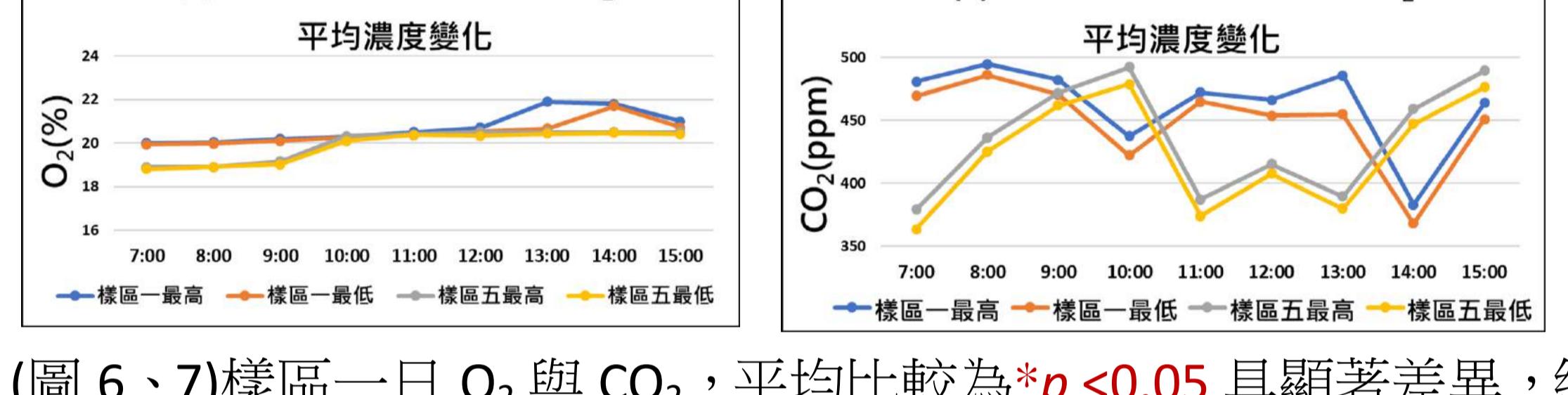
實驗 1-1-1 大刀螳螂野生棲息地『隨時、隨機測量』的 O_2 與 CO_2 濃度結果。



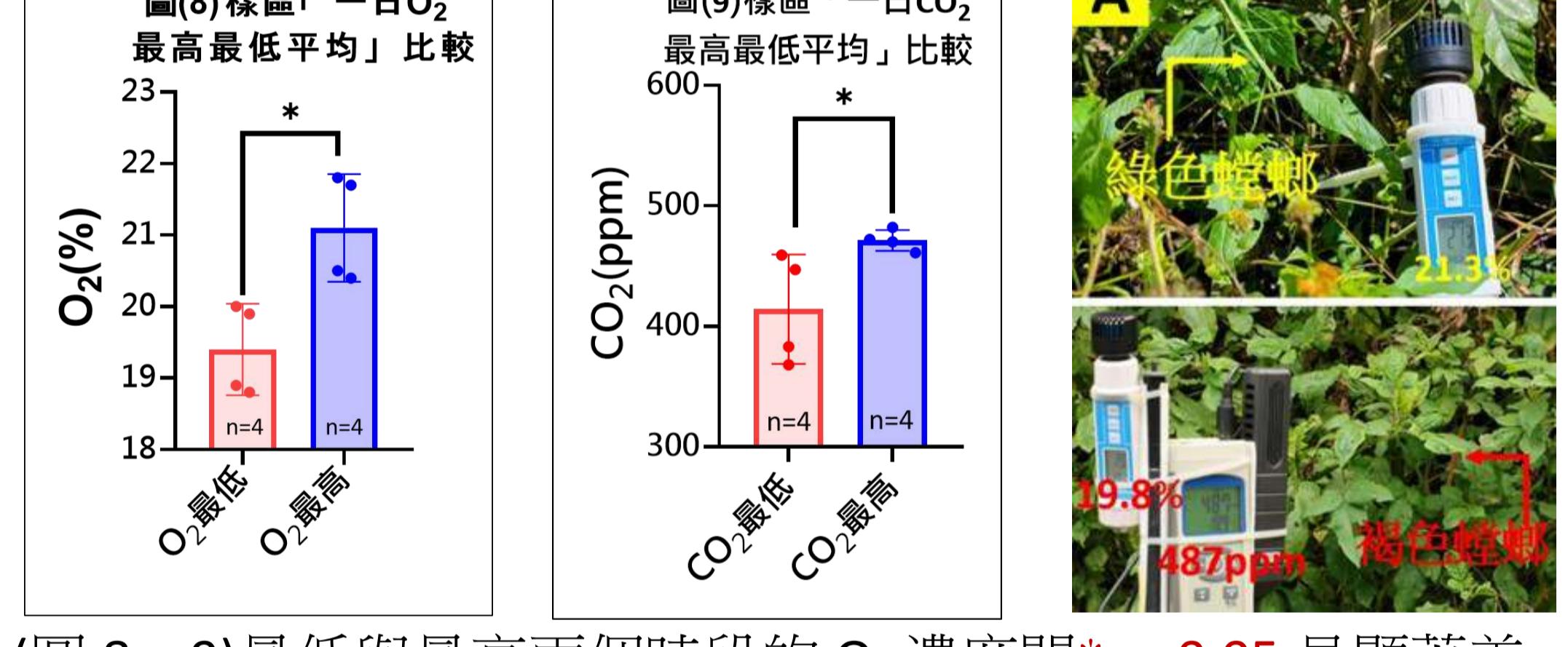
(圖 3、4)隨機測量大刀螳螂棲息環境 O_2 濃度沒有太大的變化。

(圖 5)樣區間的 CO_2 濃度有變化且 *p < 0.05 具顯著差異。

實驗 1-1-2 野生大刀螳螂棲息地『樣區一日』 O_2 與 CO_2 的濃度變化結果。

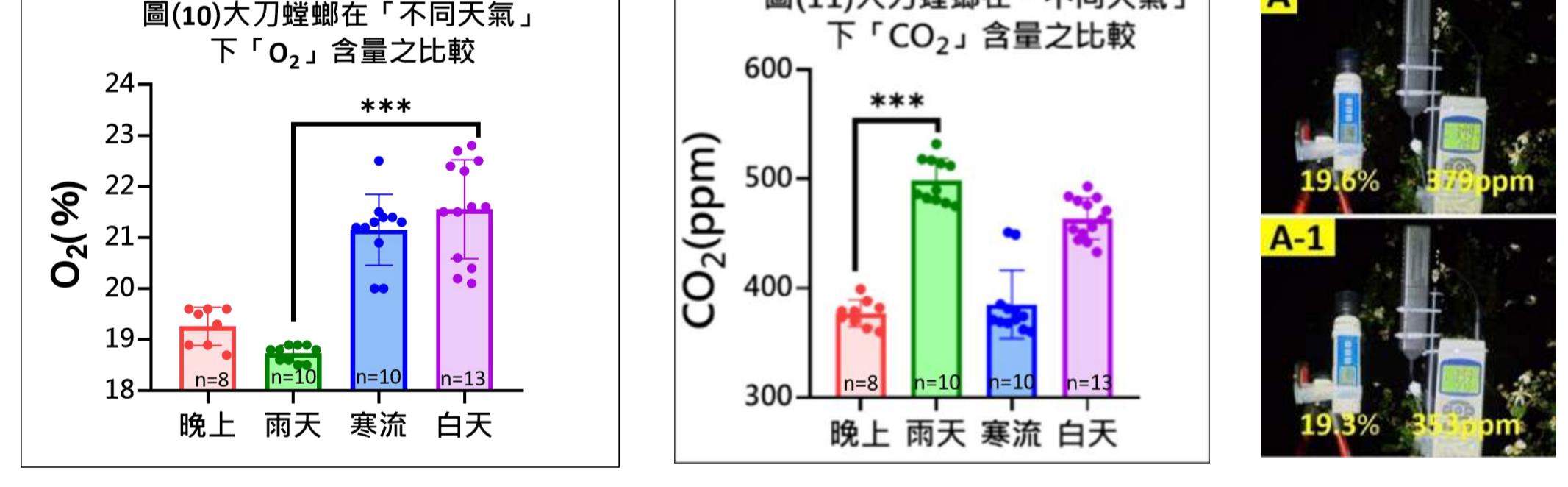


(圖 6、7)樣區一日 O_2 與 CO_2 ，平均比較為 *p < 0.05 具顯著差異，結果顯示大刀螳螂棲息地 O_2 與 CO_2 濃度，在一日之間會有變化。



(圖 8、9)最低與最高兩個時段的 O_2 濃度間 *p < 0.05 具顯著差異；兩個時段的 CO_2 平均 *p < 0.05 具顯著差異。

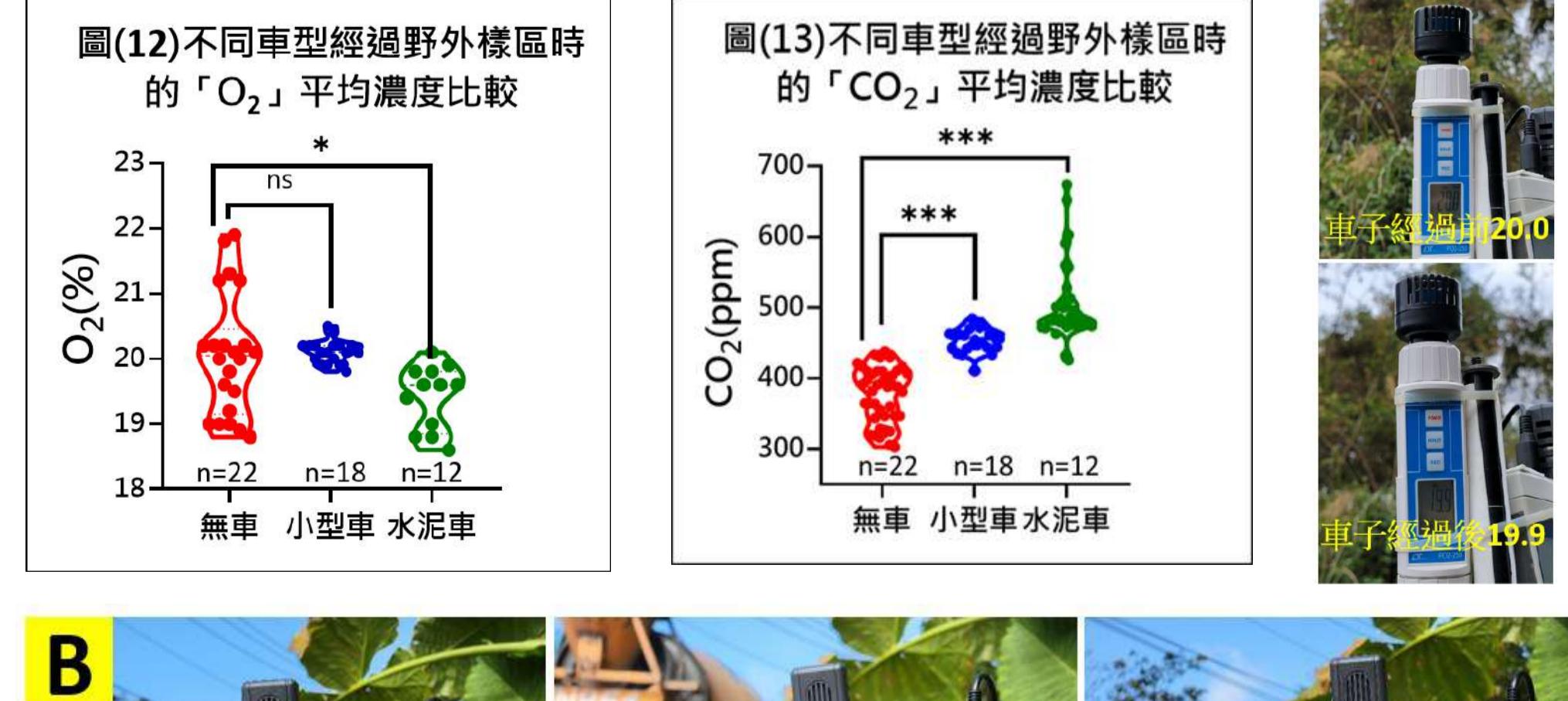
實驗 1-1-3 野生大刀螳螂棲息地在『不同氣候時』的 O_2 與 CO_2 濃度變化結果。



(圖 10)白天跟雨天間兩種環境下 O_2 濃度 ***p < 0.001 具非常顯著差異，顯示這兩種環境 O_2 濃度在不同天氣間變化大。

(圖 11)雨天跟晚上環境間 ***p < 0.001 具非常顯著差異，顯示白天受車流影響的 CO_2 濃度比夜晚還多。

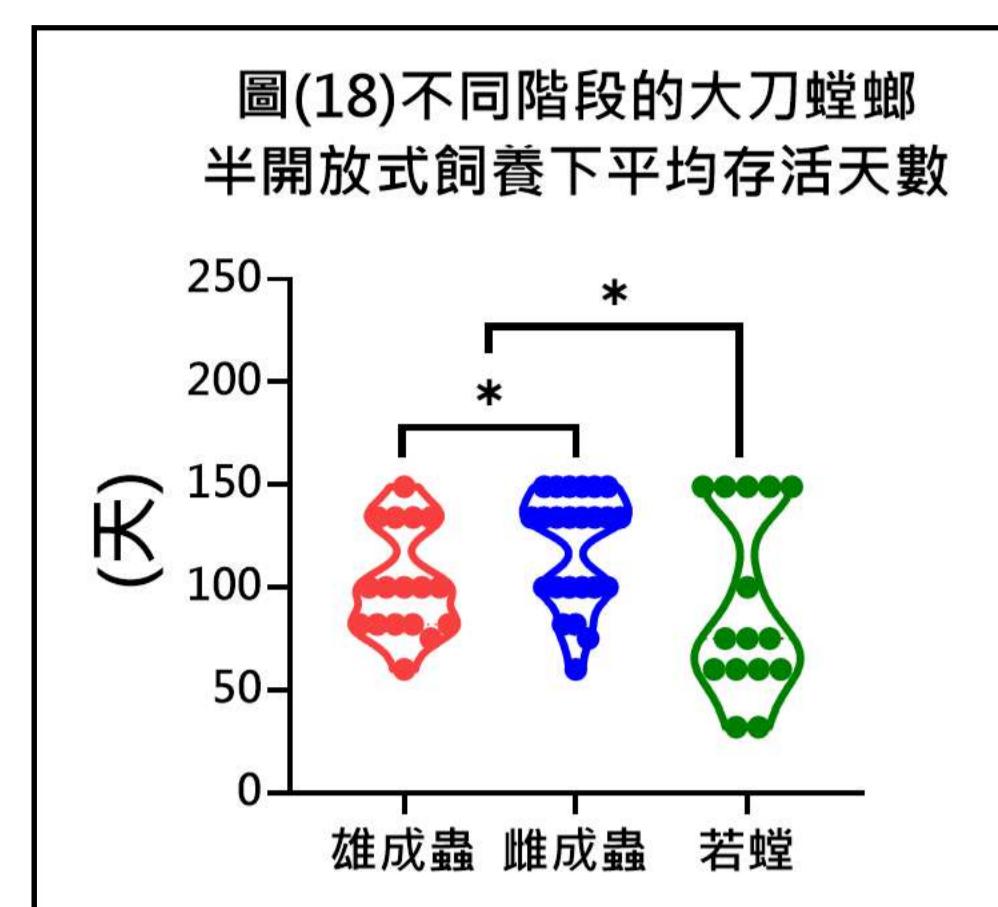
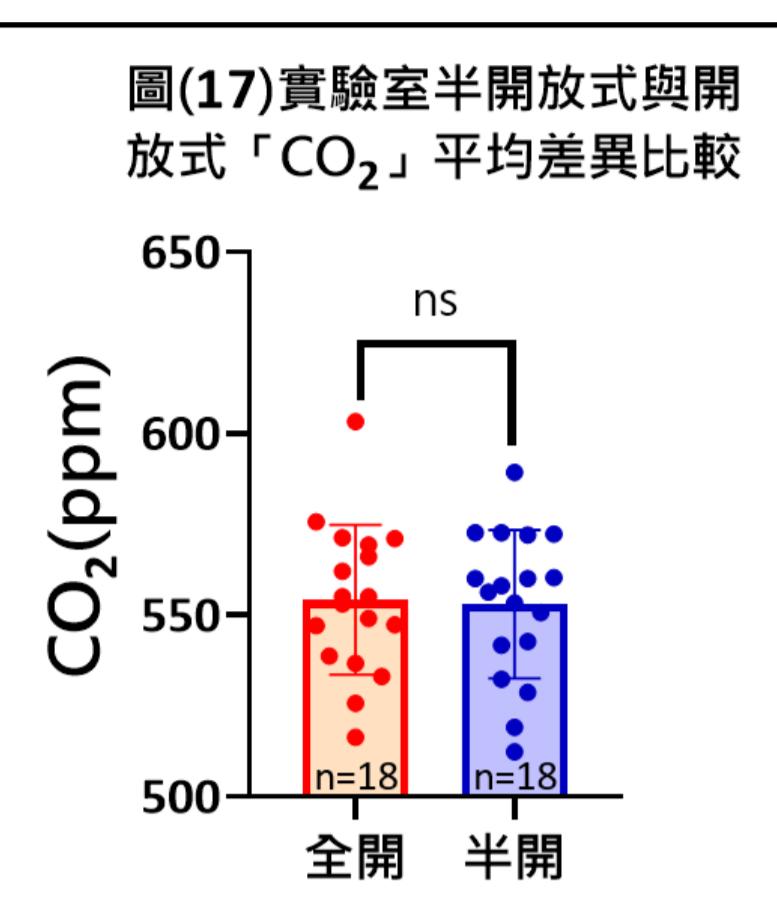
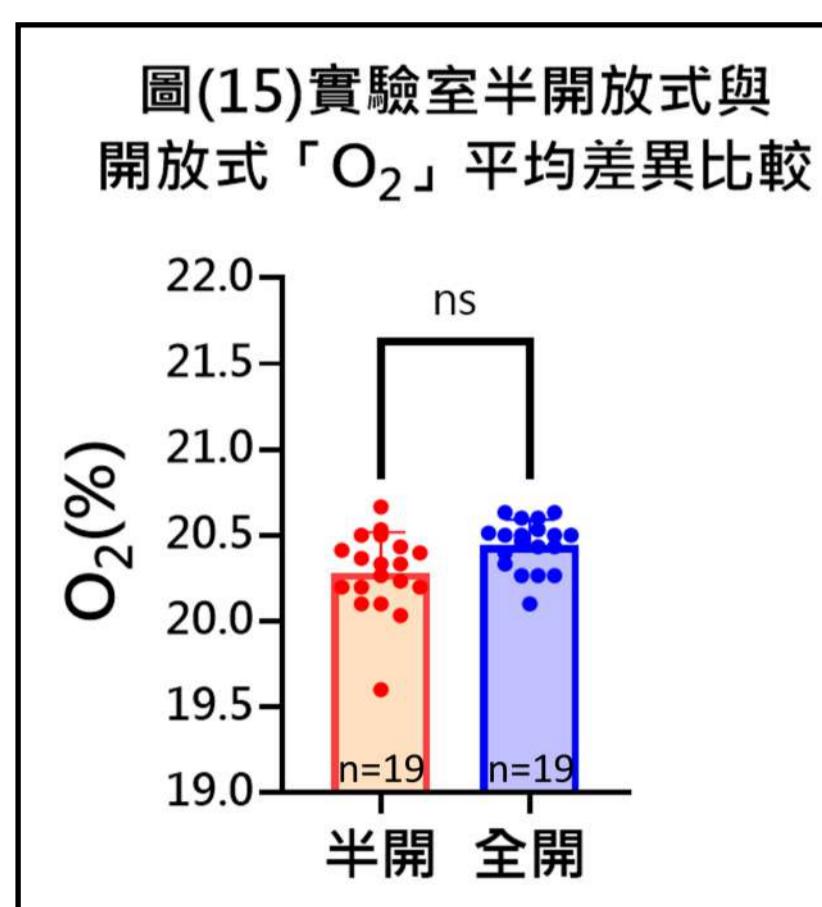
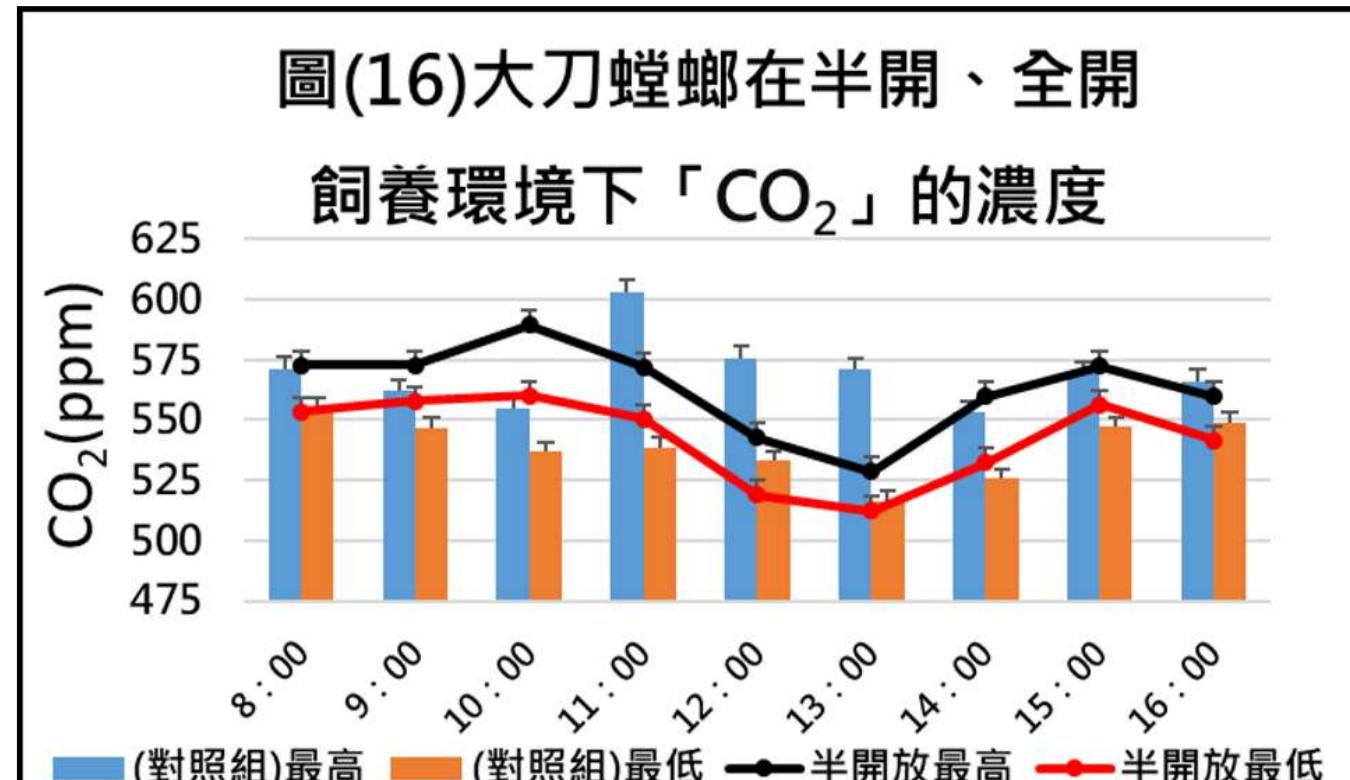
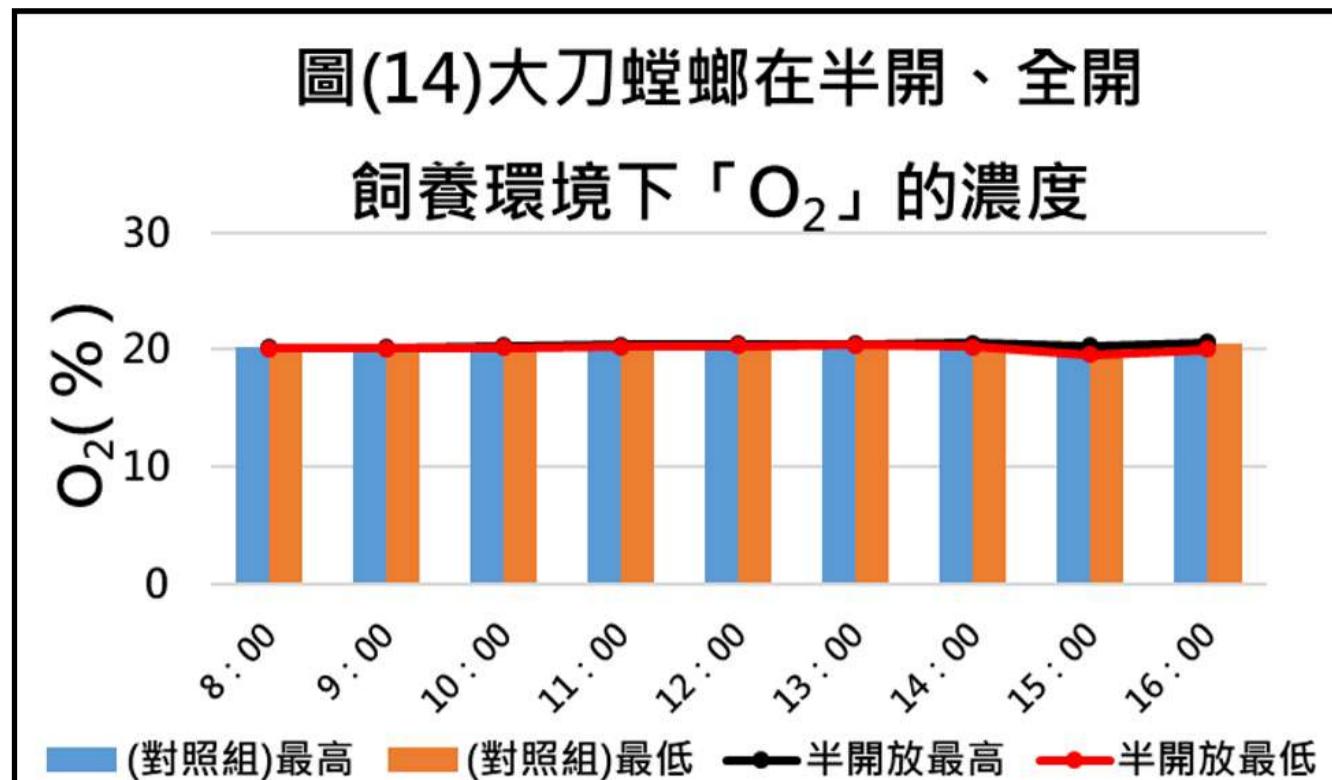
實驗 1-2 野生大刀螳螂的棲息地在『不同車型經過時』 O_2 與 CO_2 濃度變化結果。



(圖 12)當大型的水泥車通過時，與無車比較 *p < 0.05 具顯著差異，顯示大刀螳螂棲息地 O_2 濃度出現了變化。

(圖 13)水泥攪拌車經過時，與無車比較 ***p < 0.001 具非常顯著差異，顯示大刀螳螂棲息地 CO_2 濃度出現了明顯的變化。

5. 實驗 1-3-1 第一種情況，在『半開放式』下飼養，大刀螳螂『能存活』結果與分析。

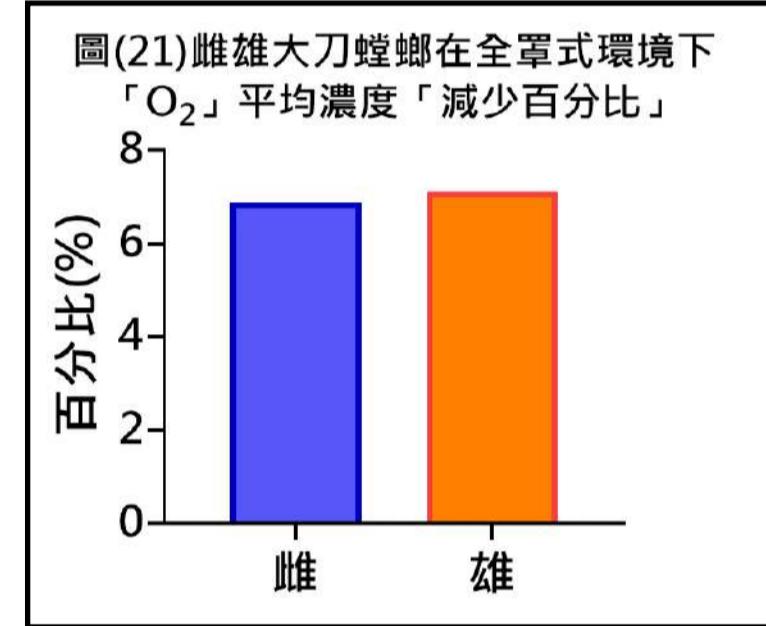
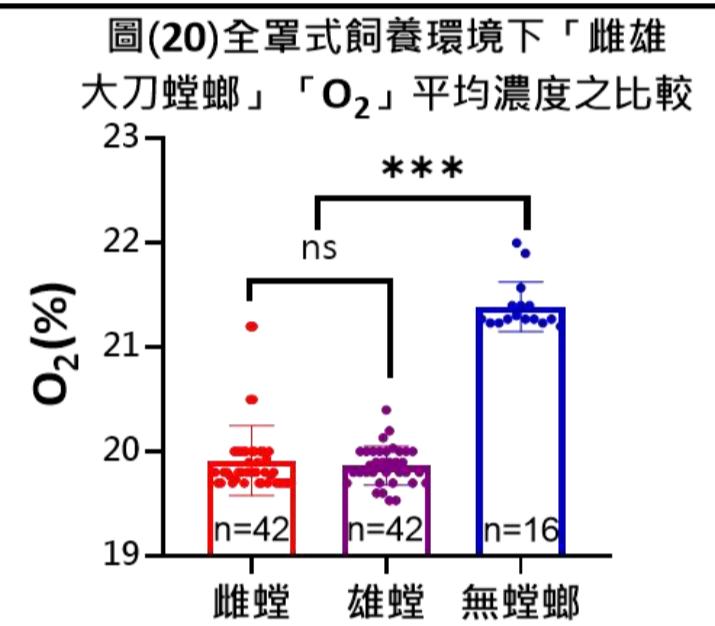
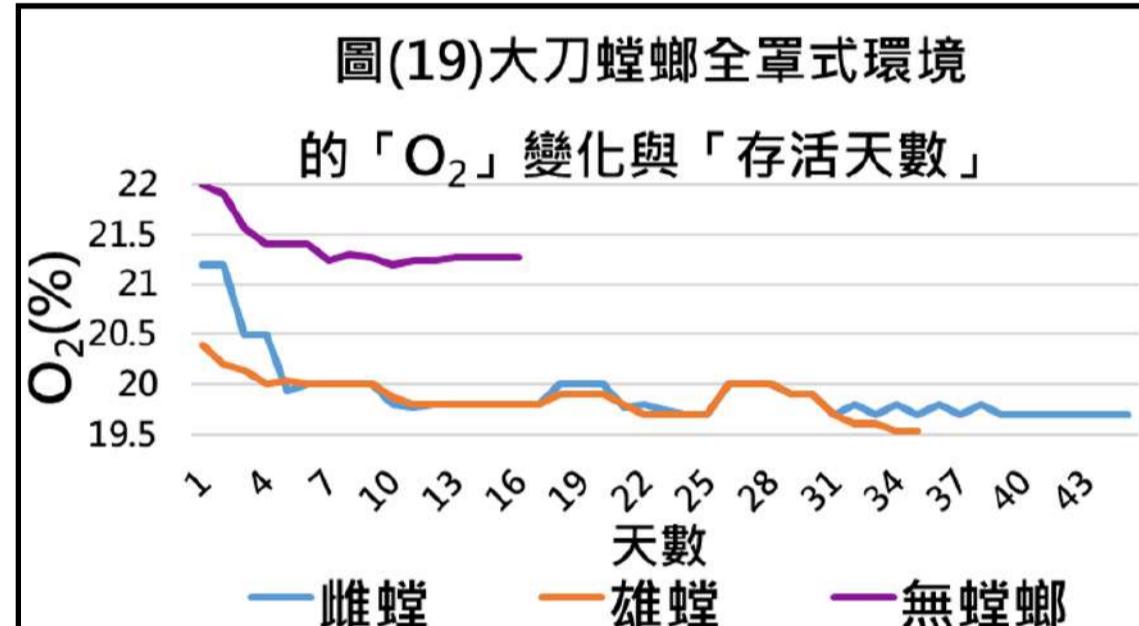


(圖 14、15)半開放與開放環境 O₂濃度之間 *p* 值為 ns 無顯著差異，顯示半開放式環境中 O₂ 還能穩定對流，因此 O₂ 沒有明顯的變化。

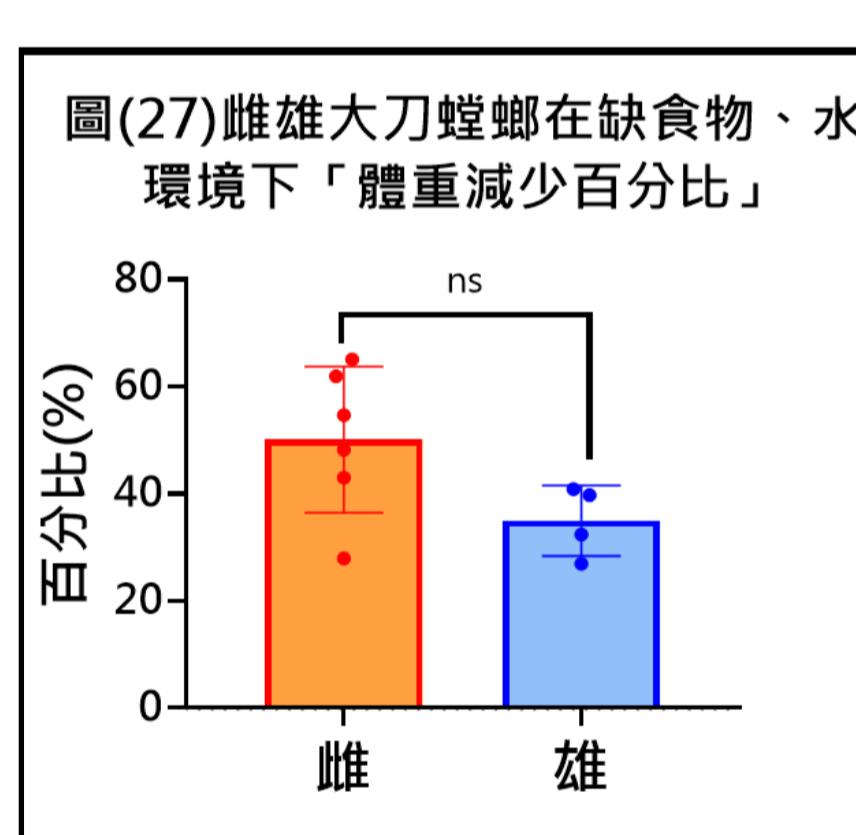
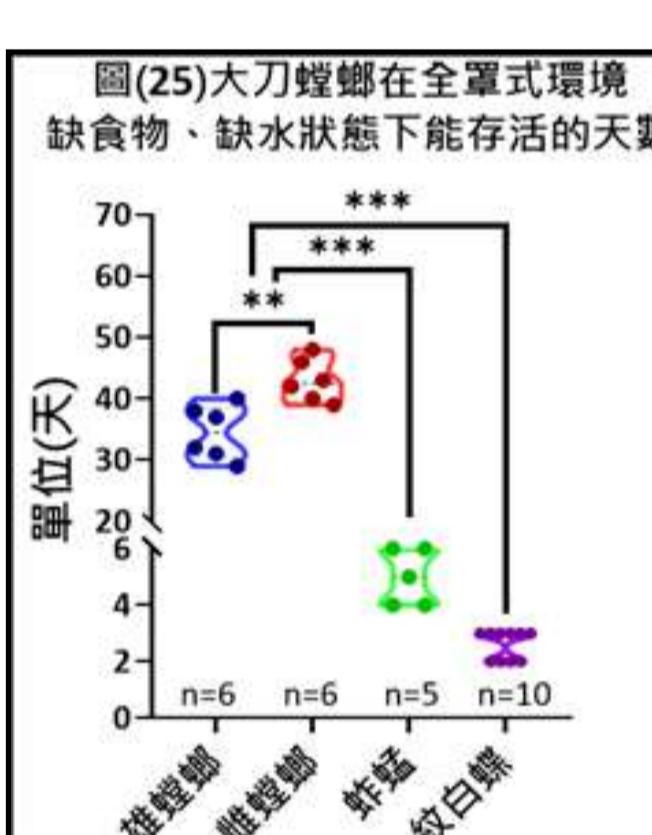
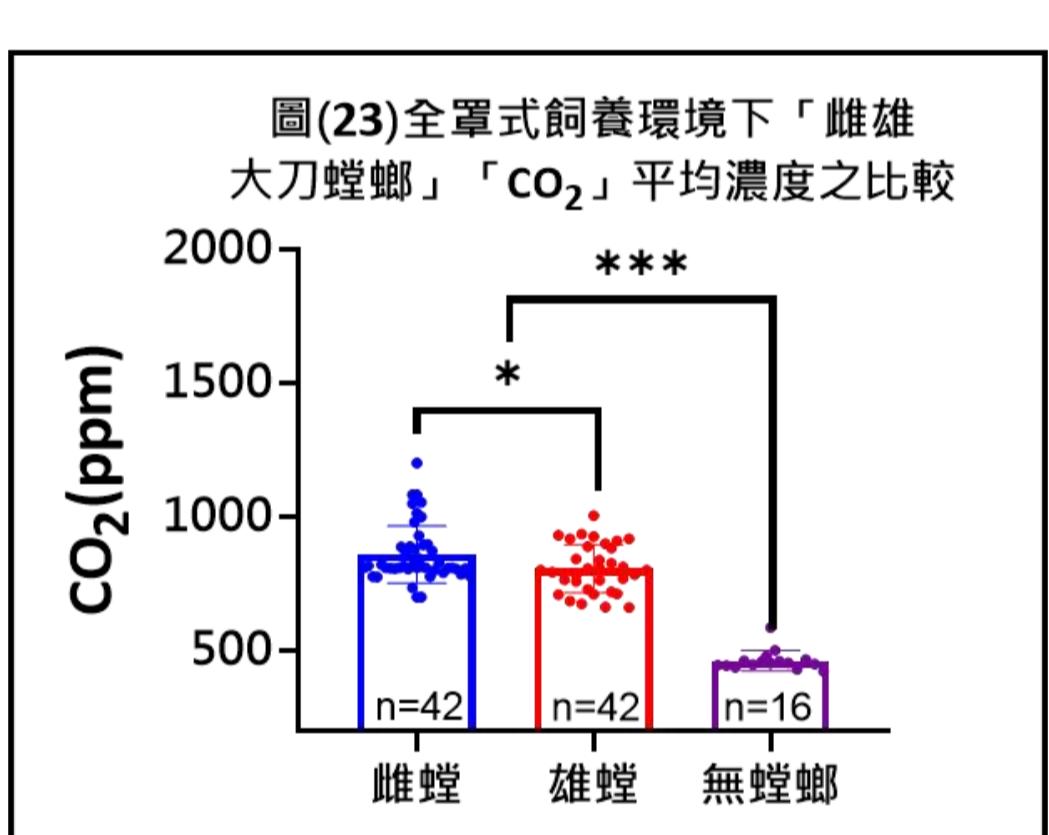
(圖 16、17)半開放與開放環境 CO₂ 濃度之間 *p* 值為 ns 無顯著差異，也顯示在半開放式環境中 CO₂ 還能穩定對流，因此 CO₂ 沒有明顯的變化。

(圖 18)在存活天數上，實驗室內雄成蟲與若螳三者間 **p* < 0.05 具顯著差異，顯示大刀螳螂在此環境下雌成蟲存活天數最高、若螳最低。

6. 實驗 1-3-2 第二種情況、在『全罩式』下飼養，大刀螳螂『不能存活』的結果與分析。



(圖 19、20、21)當雌性大刀螳螂放入後，每日 O₂ 濃度從『最低到最高』平均分別為 19.7 ± 0.21.2 ± 0%，總平均為 19.91 ± 0.33%。與對照組之間 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異，顯示當大刀螳螂進入全罩式環境後，O₂ 相較於進入前明顯減少了 6.9%~7.1%。



(圖 23)雌螳在全罩式環境中產生的 CO₂ 總平均 859.19 ± 105.95 ppm 濃度高於雄螳總平均 819.54 ± 92.42 ppm，兩者有顯著差異。

(圖 25)在缺水與缺食環境下，雌螳螂平均存活天數 43 ± 3.16 天明顯高於雄螳 34.5 ± 4.03 天，顯示雌螳螂對缺食、缺水耐受度較高。

(圖 26)雌雄螳螂體重皆明顯下降，雌性體重平均減少 50.16%、雄性 35.68%。

實驗過後的疑問與想法？

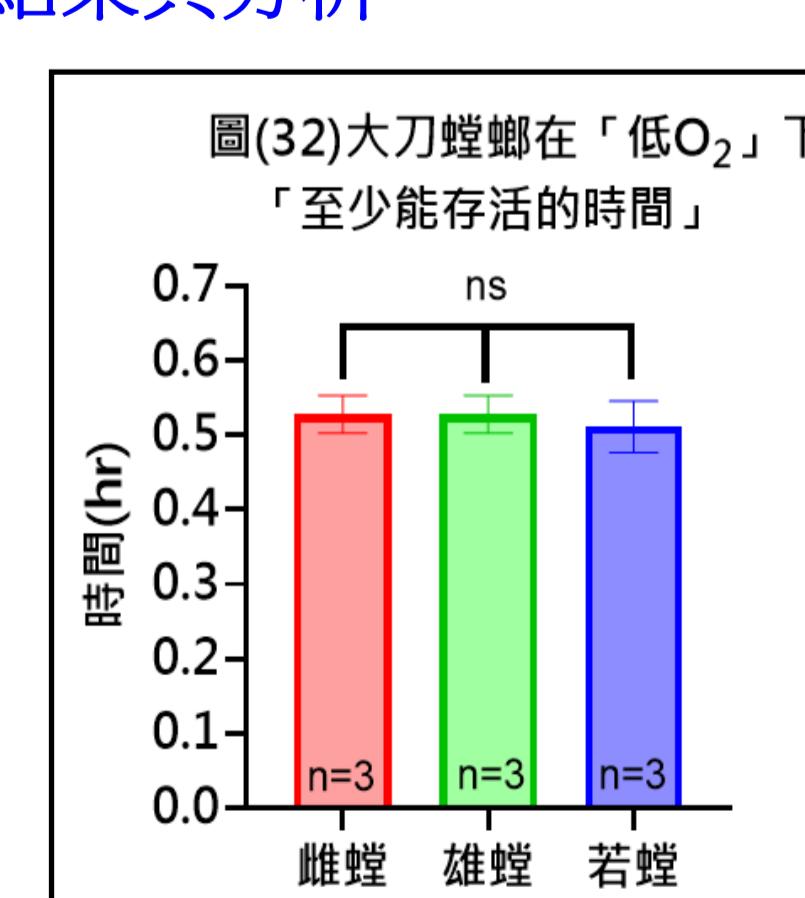
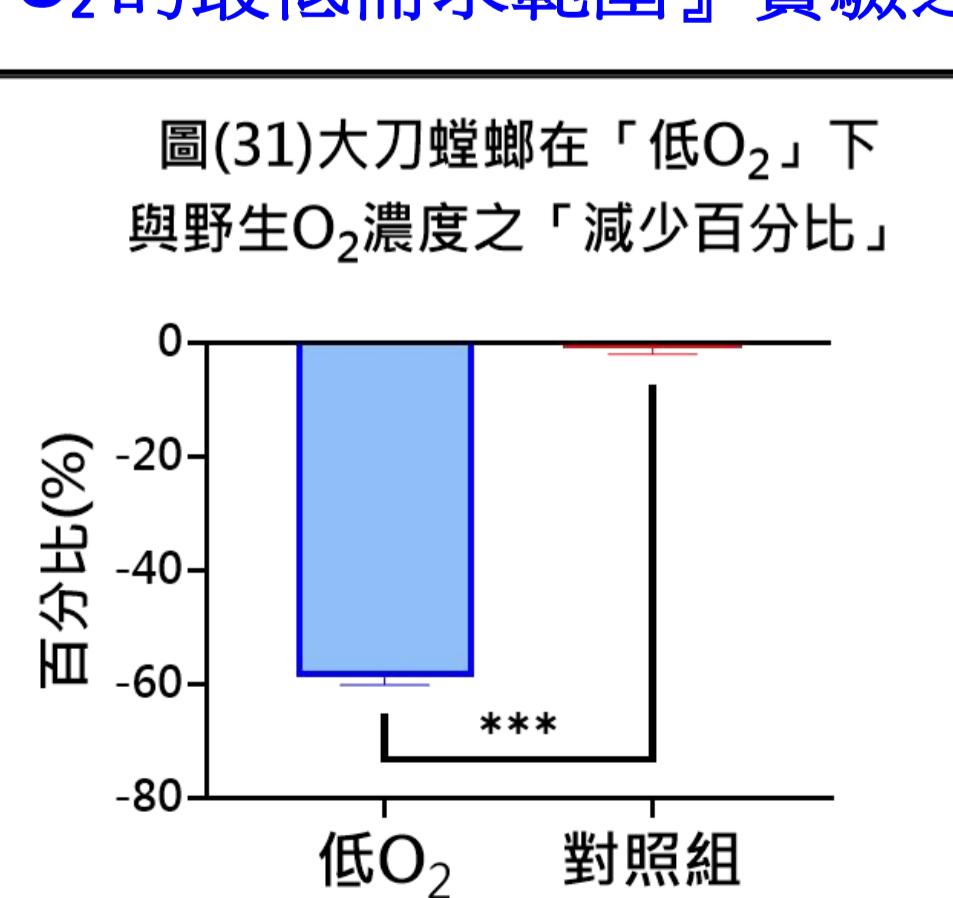
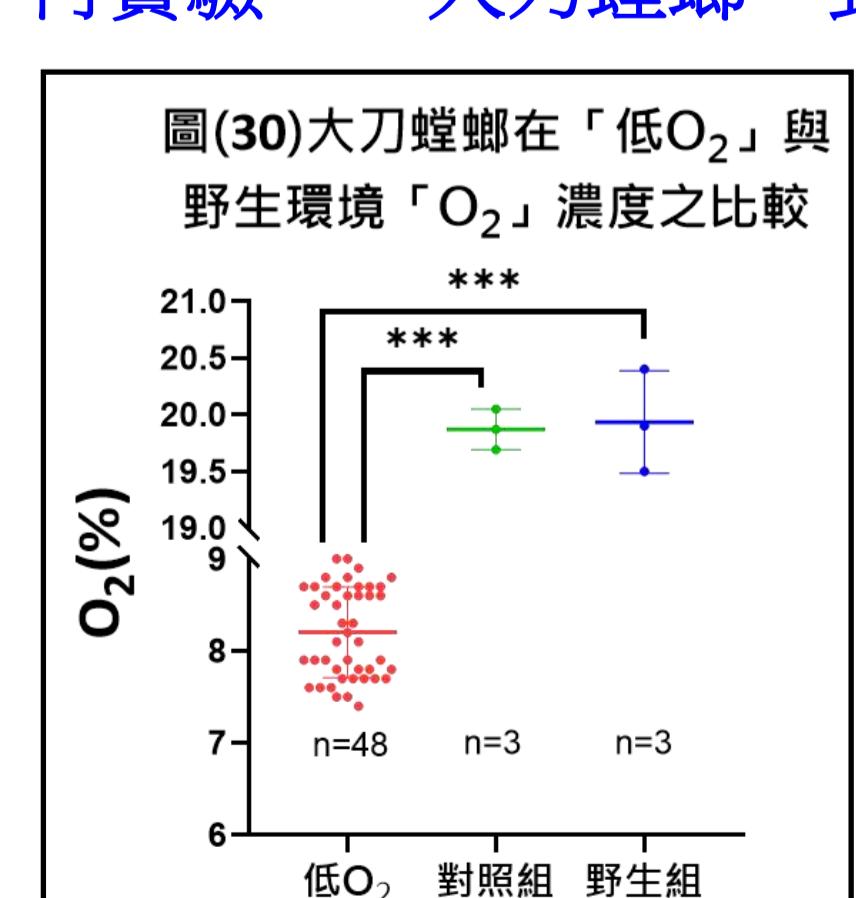
上述的實驗，我們發現雌性大刀螳螂竟然可以在全罩式的缺 O₂、高 CO₂、缺水、缺食物的環境下，平均『存活了 43 天』，對肉食性的昆蟲而言，似乎有點不可思議。在驚訝之餘，我們反思這個結果的意義與整個實驗的過程，心裡同時也產生了 2 個疑問。

一、大刀螳螂在全罩式的環境下，到底是餓死、渴死、還是因為缺氧而死？
二、全罩式環境的設計，我們的假設是該測出大刀螳螂對低 O₂ 需求及對高 CO₂ 濃度的生存範圍？不過全罩式的實驗並未達到我們當時提出的實驗假設想法，因此決定『重新再提新假設』，求證大刀螳螂對 O₂ 最低需求及高 CO₂ 濃度的臨界濃度。

重新提出新假設：

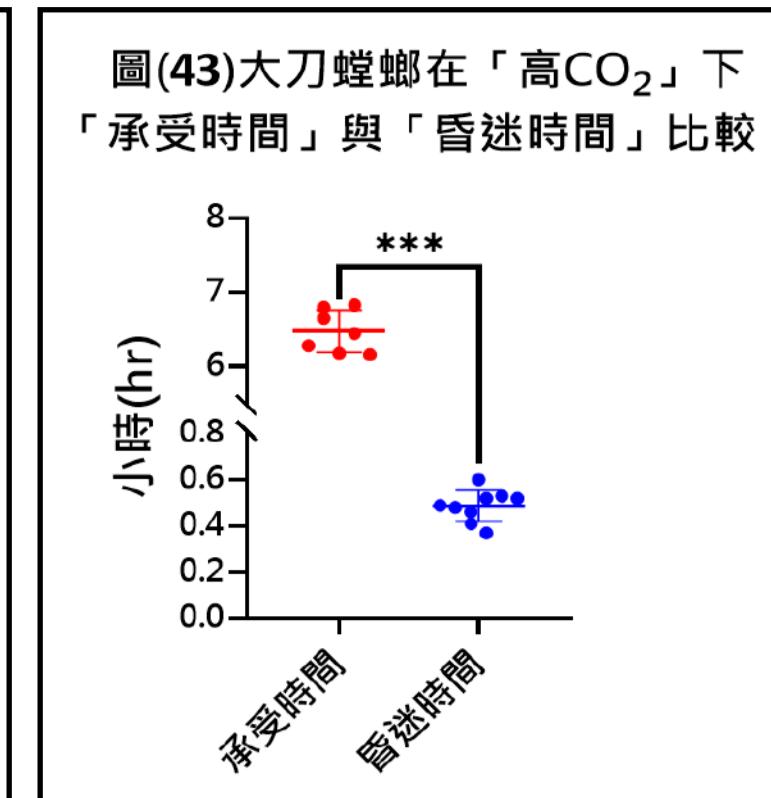
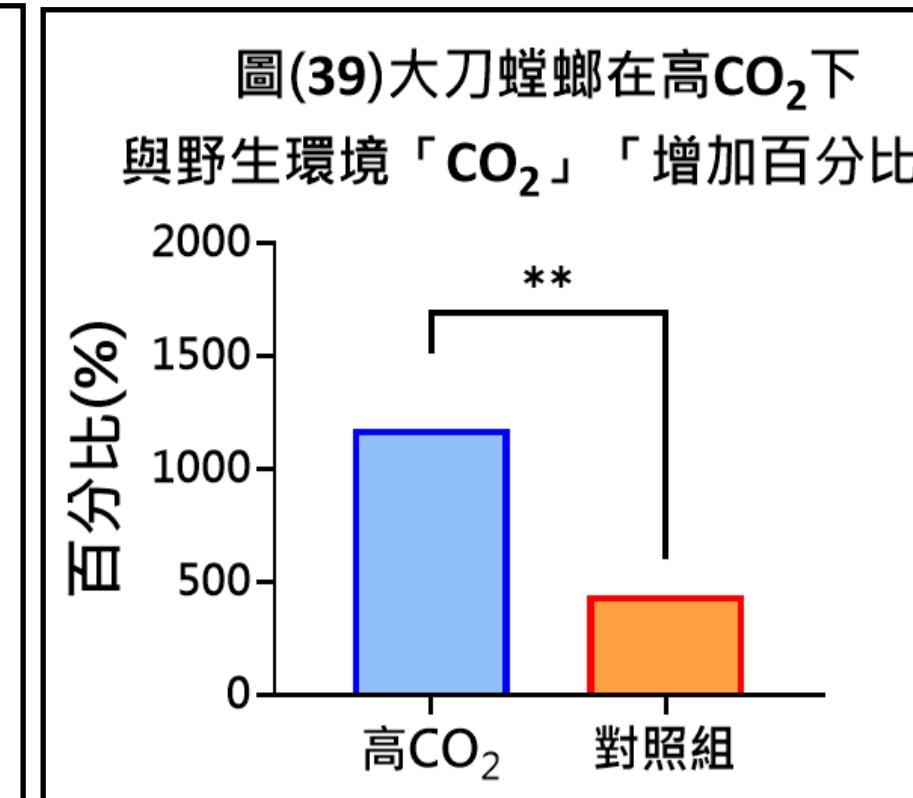
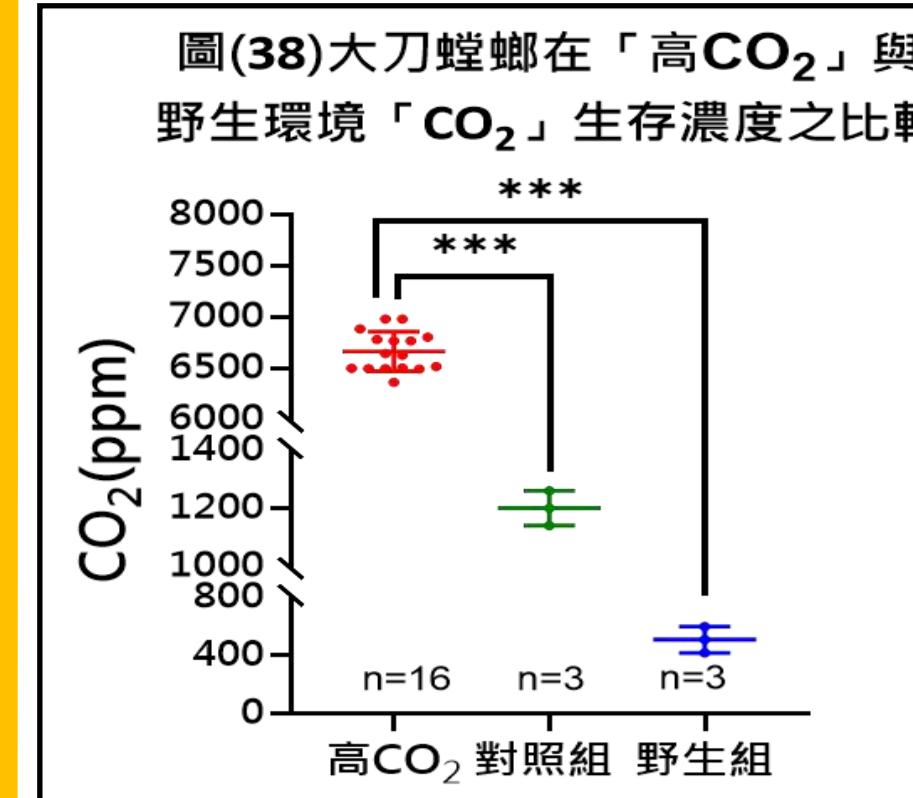
只有當 O₂ 濃度低於 19.9 ± 0.5% 且 CO₂ 濃度高於 1200.67 ± 59.87 ppm 時，才可能對其造成致命威脅。

再實驗一、大刀螳螂『對 O₂ 的最低需求範圍』實驗之結果與分析。

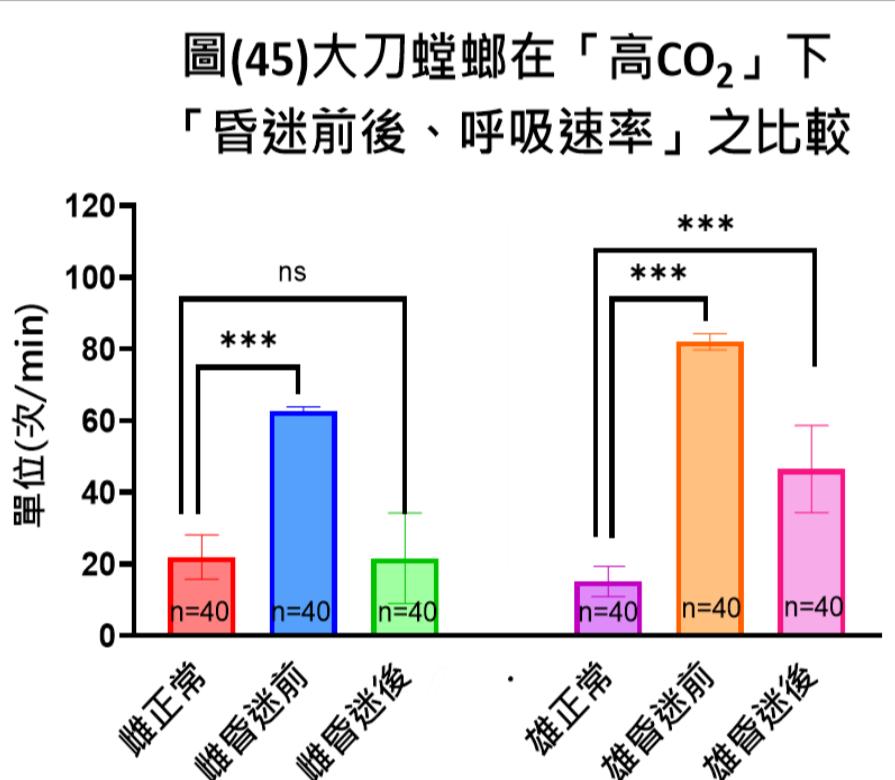
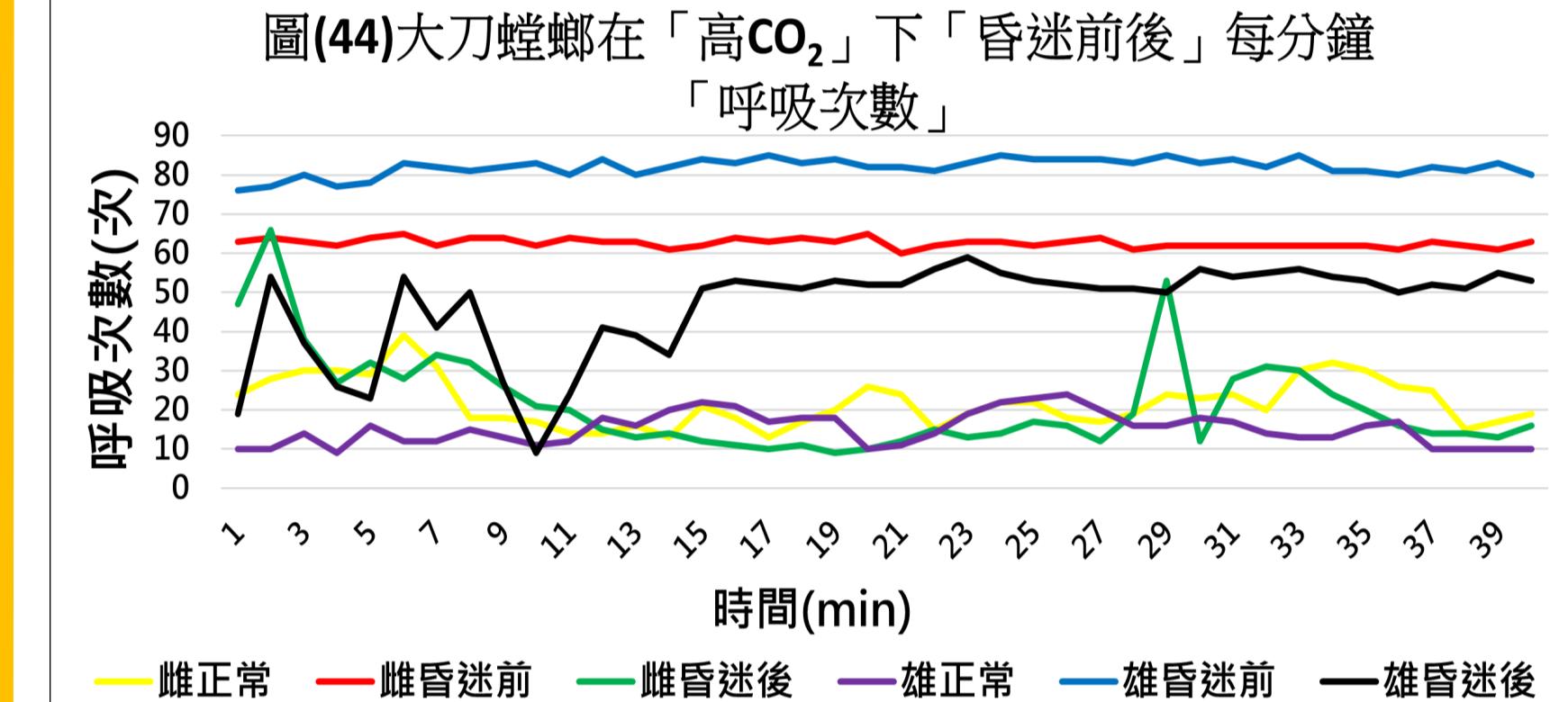
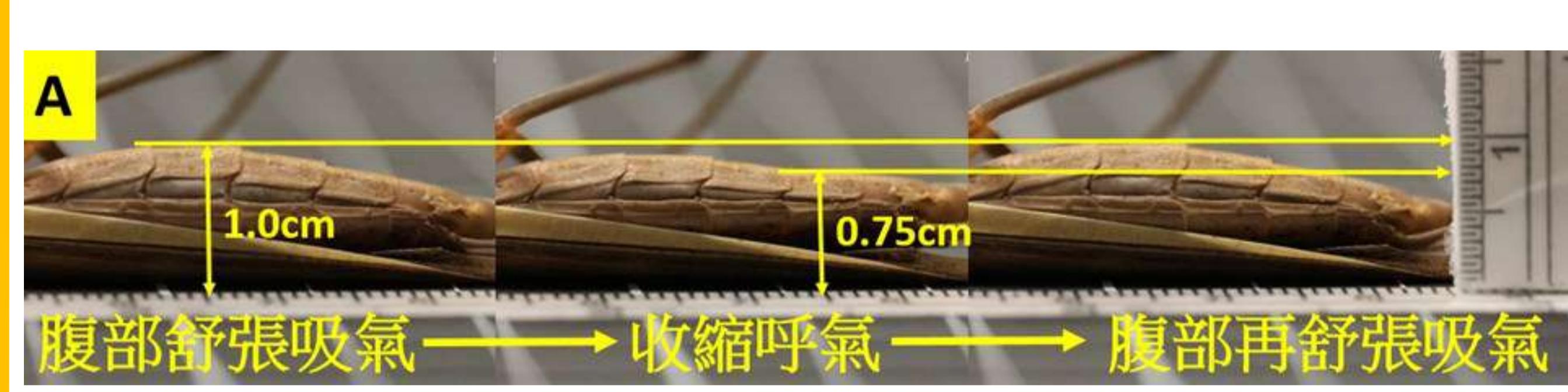


(圖 30、31、32)低 O₂ 濃度環境下總平均為 8.20 ± 0.47% 與對照組 19.87 ± 0.18%、野生組 19.90 ± 0.5% 比較 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異，尤其 O₂ 平均減少 57.5% 情況下，大刀螳螂仍然沒有出現昏迷狀態，且至少能存活 0.51 ± 0.02 hr ~ 0.52 ± 0.02 hr，*p* 值間皆為 ns 沒有差異性，顯示大刀螳螂對 O₂ 濃度的需求很低。』

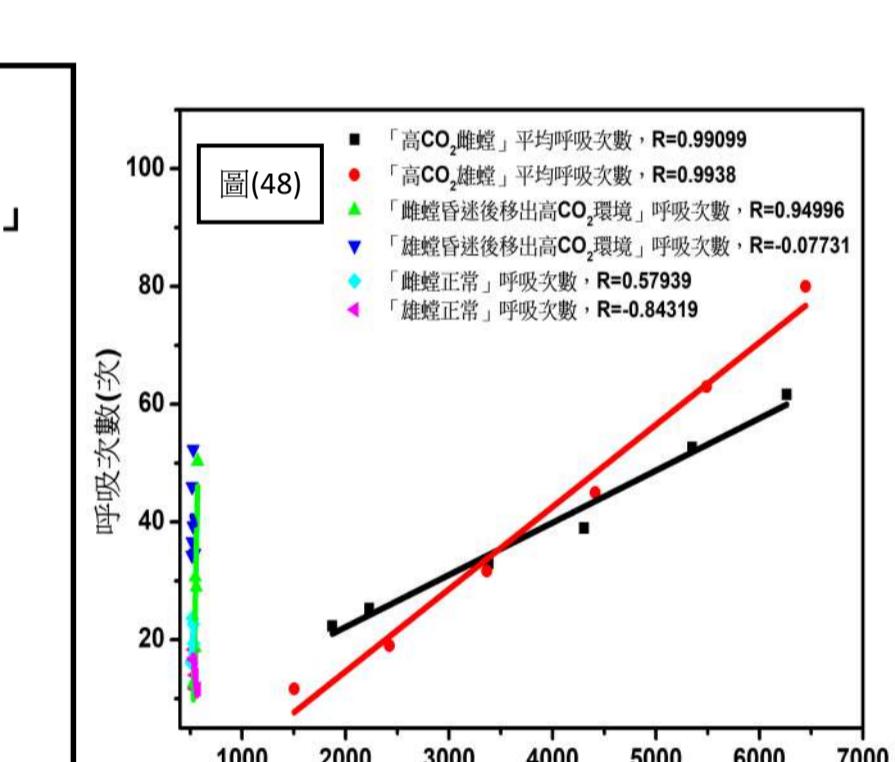
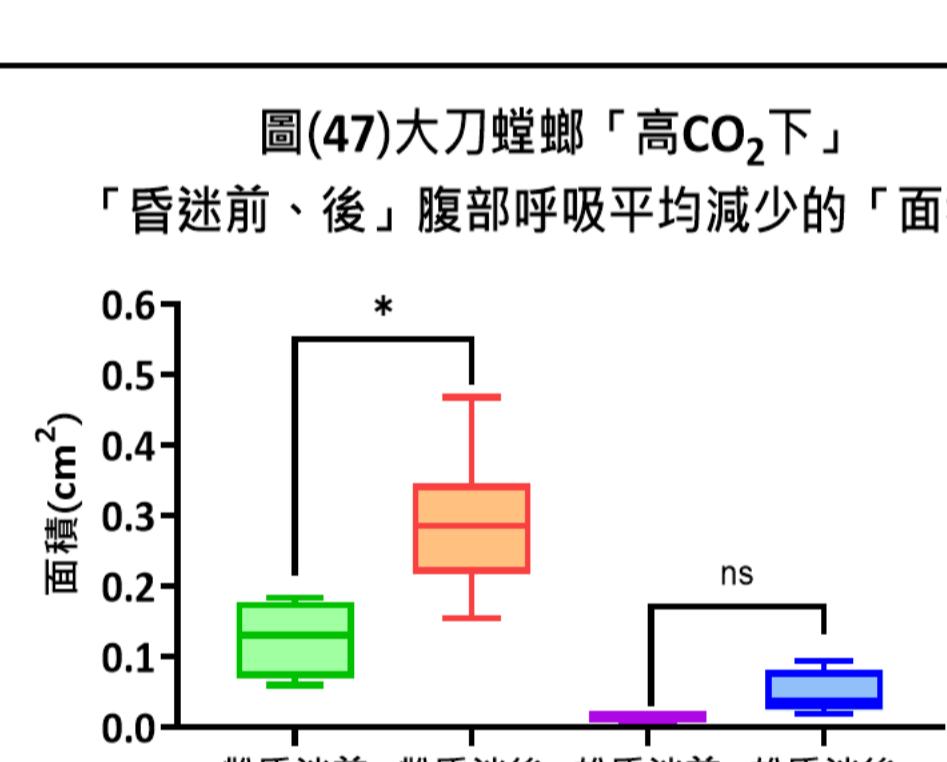
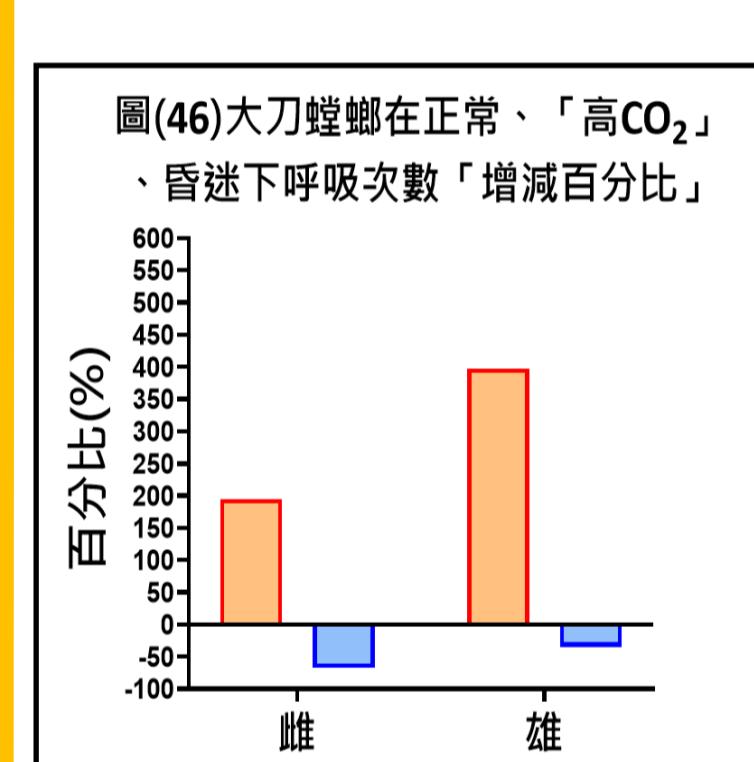
再實驗二、大刀螳螂在『高 CO₂』環境下，能承受的範圍結果與分析。



(圖 38)高 CO₂ 濃度 6496 ppm 與對照組間具 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異。
(圖 39)環境中 CO₂ 相較於野生環境平均增加了 1177.56% 與 441.04%，兩者間 ***p* < 0.01，顯示大刀螳螂能夠承受『高濃度的 CO₂ 環境』。
(圖 43)大刀螳螂在高濃度 CO₂ 下平均能夠承受約 6.47 ± 0.26 hr 才進入昏迷，當離開高濃度的 CO₂ 環境後平均花費 0.48 ± 0.06 hr 醒來。

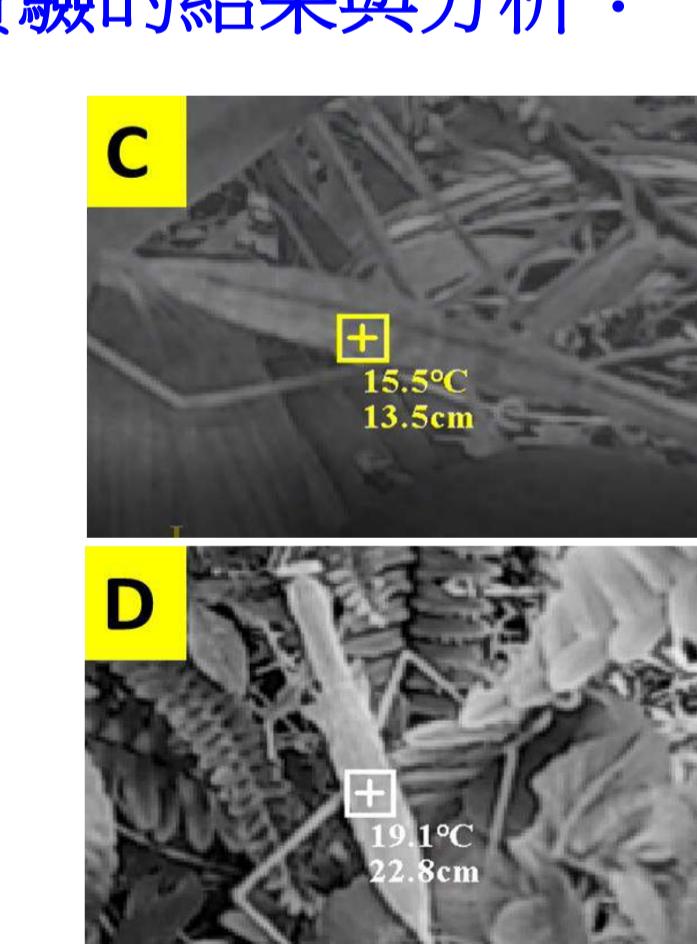
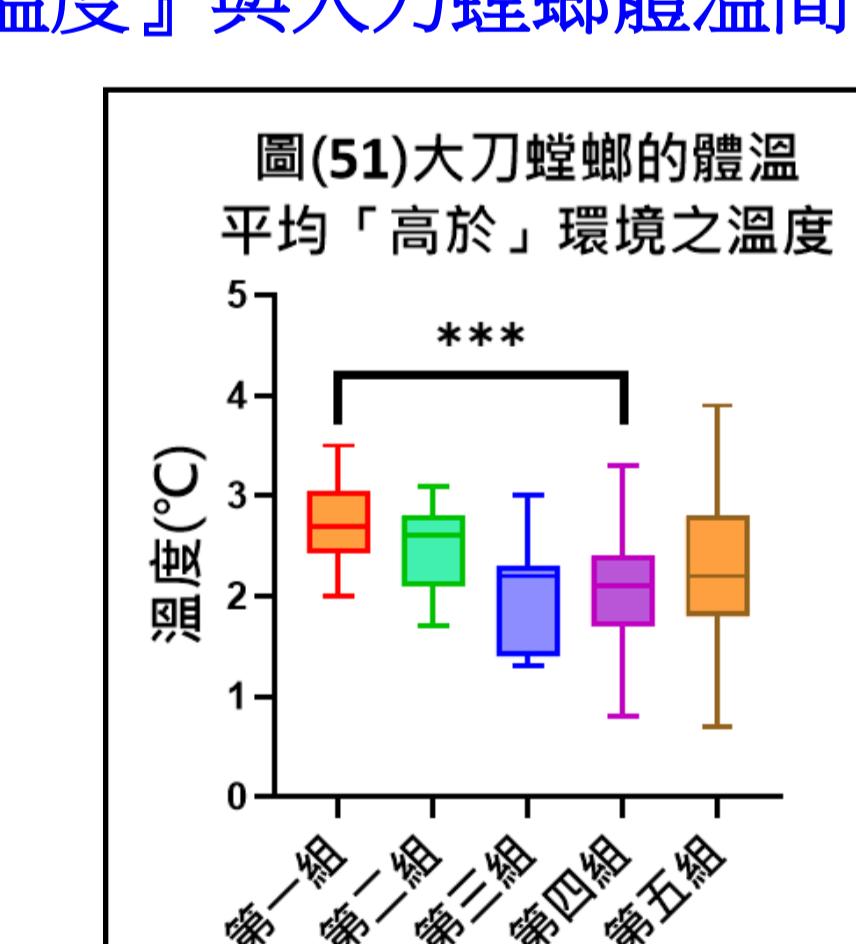
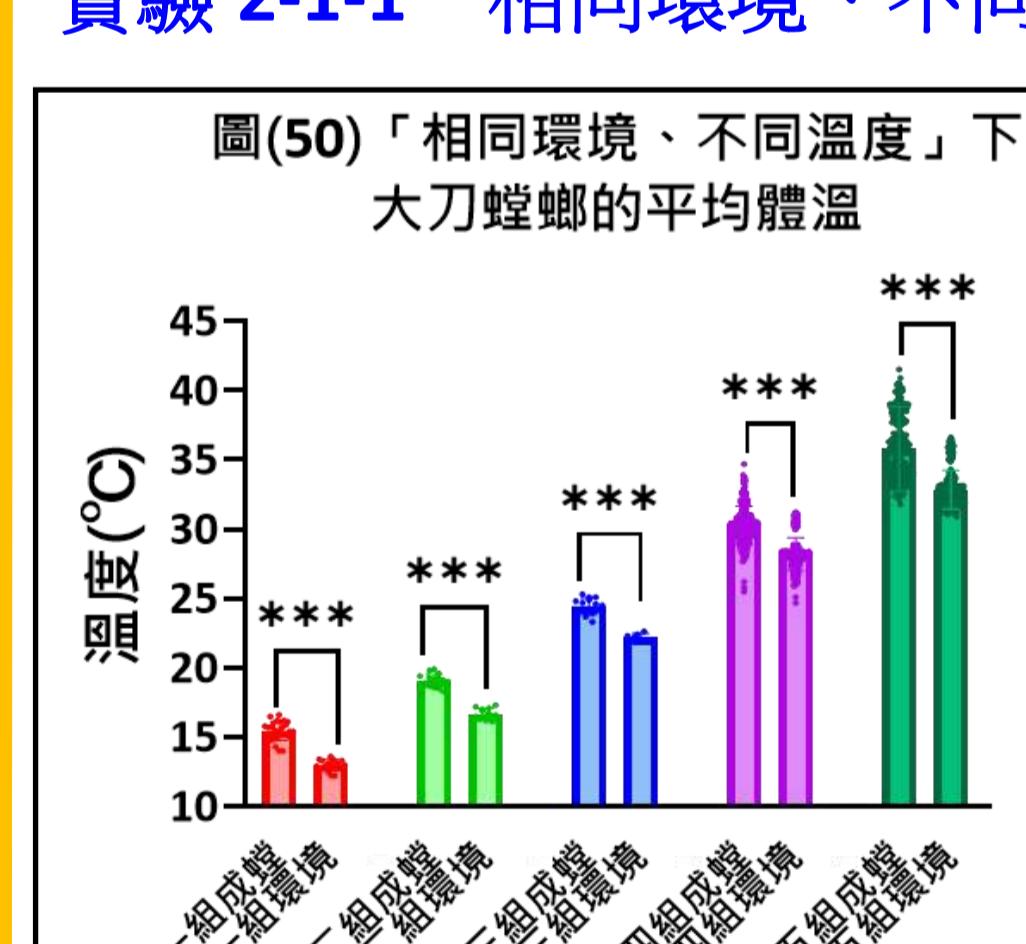


(圖 44、45、A)正常雌雄呼吸每分鐘 21~25 次/min，在高濃度 CO₂ 環境下，雌、雄蟲呼吸速率增快分別達到了 62.67 ± 1.12 次/min、81.97 ± 2.23 次/min，直到雌、雄螳螂昏迷後立刻取出，離開高濃度 CO₂ 環境後呼吸速率會降至 21.62 ± 12.47 次/min、46.45 ± 11.99 次/min。



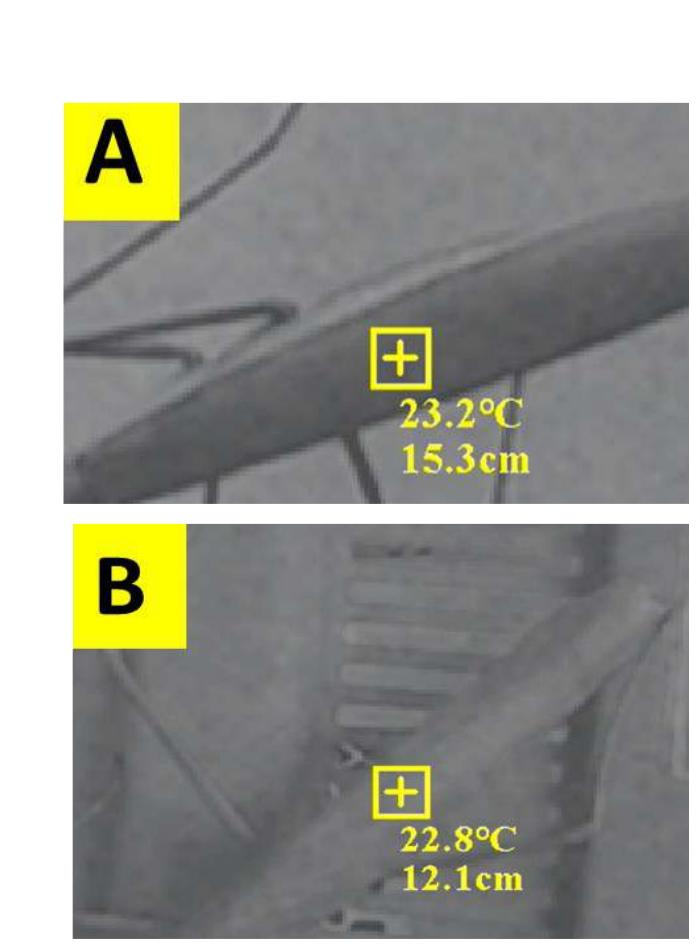
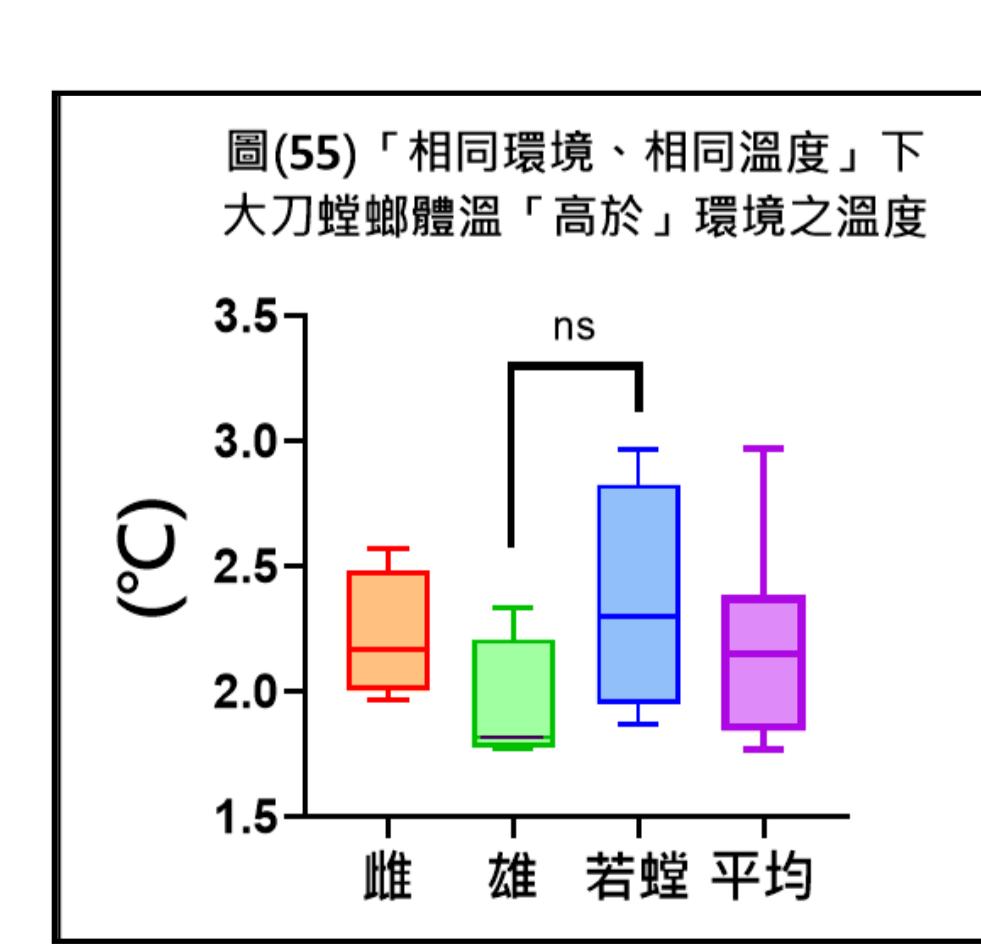
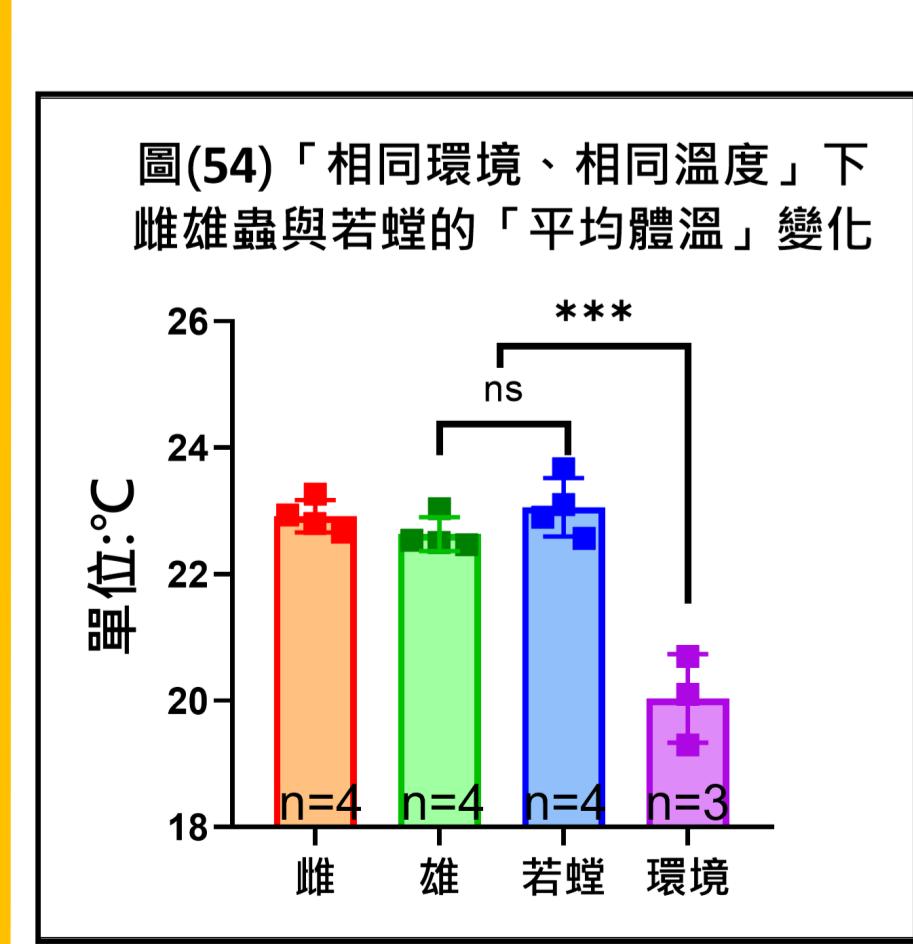
研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響，實驗結果與分析

實驗 2-1-1『相同環境、不同溫度』與大刀螳螂體溫間實驗的結果與分析：



(圖 50、51、C、D)不同環境溫度與大刀螳螂體溫間皆 ****p* < 0.001 具有非常顯著性差異，五組不同溫度總平均高於環境溫度 2.32 ± 0.10 °C。

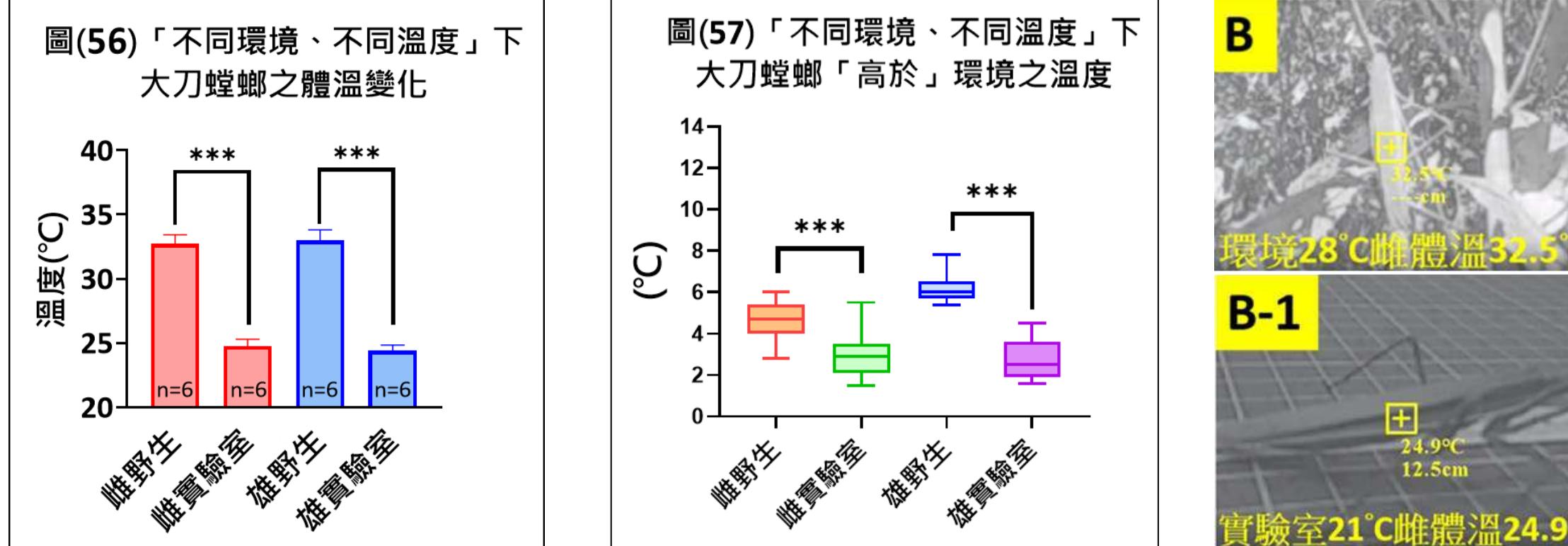
實驗 2-1-2『相同環境、相同溫度』與大刀螳螂體溫間實驗的結果與分析：



(圖 54、A、B)同環境同溫度下雌、雄與若螳分別測得體溫 22.9 ± 0.22 °C、22.63 ± 0.23 °C、23.05 ± 0.39 °C，與環境 ****p* < 0.001 具非常顯著性差異。

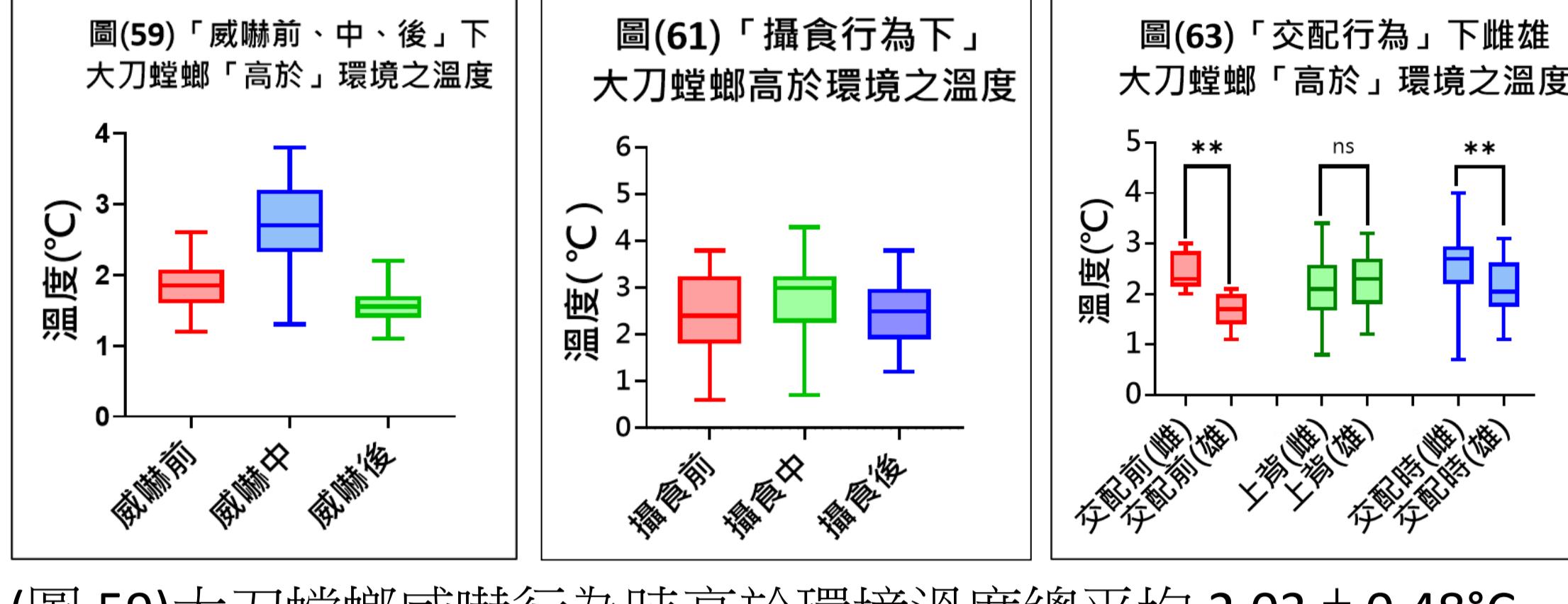
(圖 55)雌雄螳與若螳的體溫高於環境溫度 1.78 ± 0.48 °C ~ 2.35 ± 0.39 °C 之間，三者體溫總平均『高於』環境溫度 2.16 ± 0.34 °C。

實驗 2-1-3『不同環境、不同溫度』與大刀螳螂體溫間實驗的結果與分析：



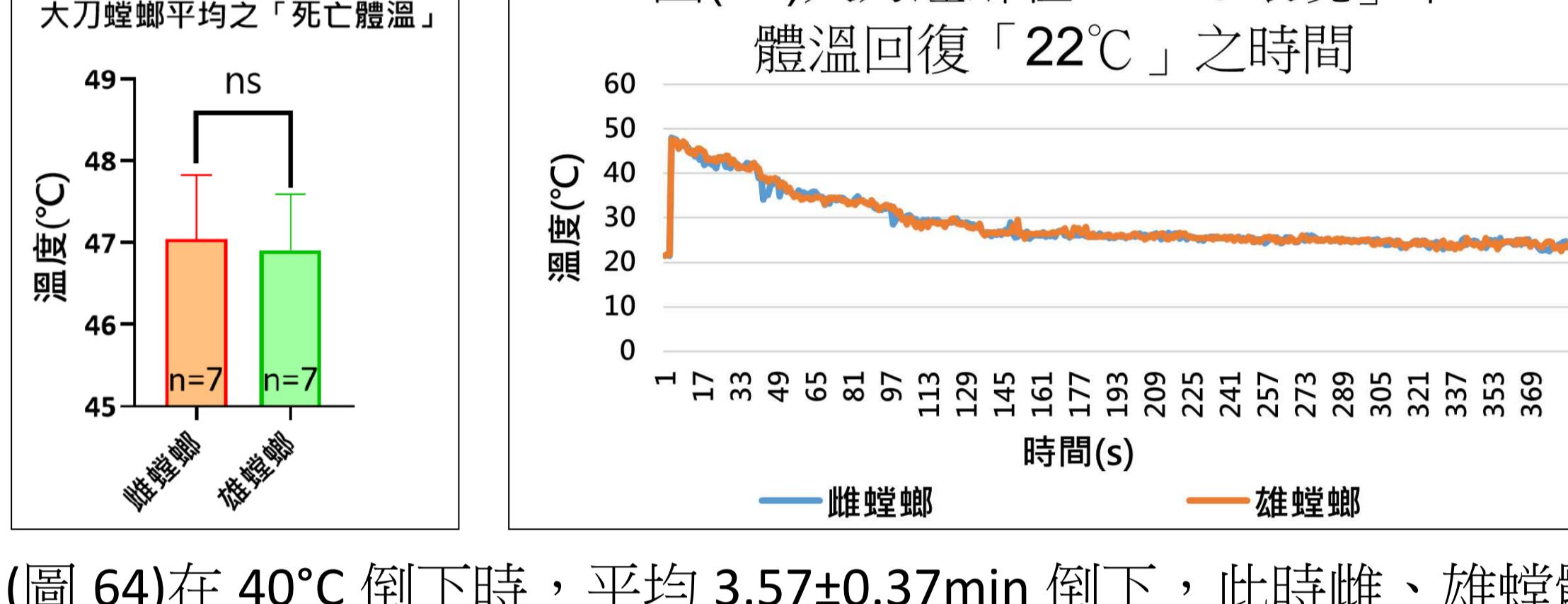
(圖 56)雌、雄螳螂在野生環境體溫為 32.72 ± 0.68 、 $34.61 \pm 0.72^\circ\text{C}$ 在實驗室為 24.75 ± 0.52 、 $24.41 \pm 0.42^\circ\text{C}$ ，體溫間具非常顯著差異
(圖 57)雌、雄大刀螳螂體溫平均高於環境 $3.81 \pm 0.86^\circ\text{C}$ 。

實驗 2-2-1~3 大刀螳螂在『威嚇、攝食、交配行為』與環境溫度的結果與分析：



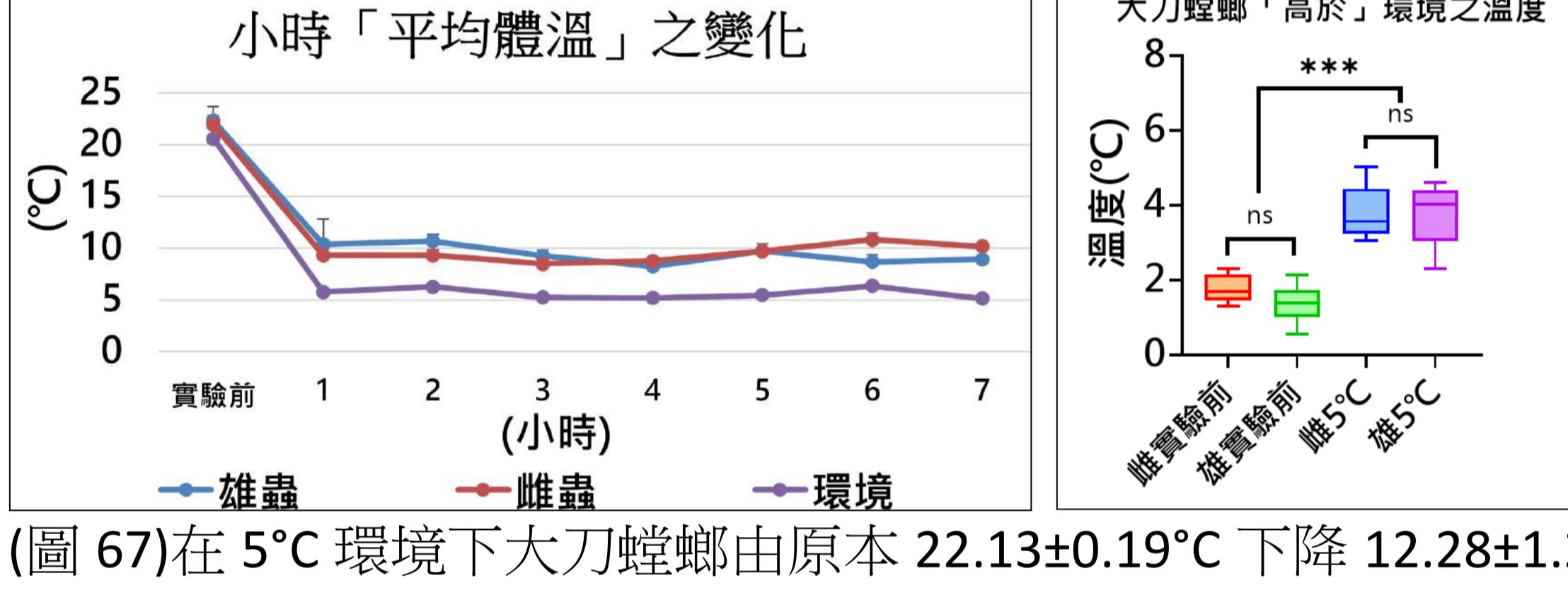
(圖 59)大刀螳螂威嚇行為時高於環境溫度總平均 $2.03 \pm 0.48^\circ\text{C}$ 。
(圖 61)大刀螳螂攝食行為時高於環境溫度總平均 $2.53 \pm 0.12^\circ\text{C}$ 。
(圖 63)大刀螳螂交配行為時高於環境溫度總平均 $2.20 \pm 0.21^\circ\text{C}$ 。

實驗 2-3-1 當『溫度過高時』的結果與分析：



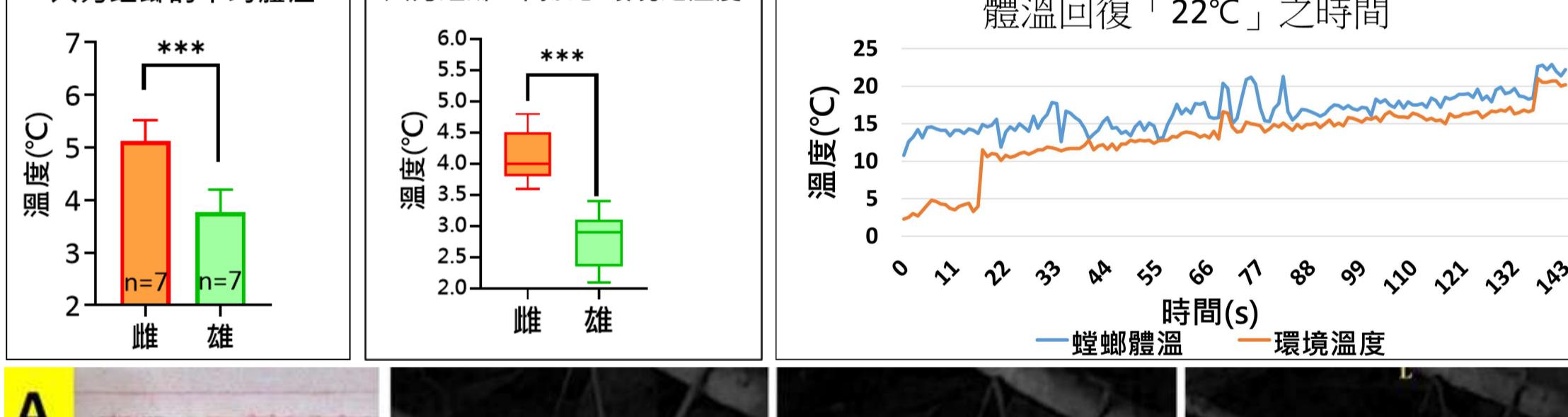
(圖 64)在 40°C 倒下時，平均 $3.57 \pm 0.37\text{min}$ 倒下，此時雌、雄螳體溫分別升至 47.04 ± 0.73 、 $46.91 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 。平均高於環境 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$
(圖 66)移出螳螂經過 $385 \pm 1\text{s}$ ，螳螂的體溫會回復到原來的體溫，但大刀螳螂仍不再甦醒，可知 40°C 為螳螂臨界高溫範圍。

實驗 2-3-2 當『溫度過低時』的結果與分析：



(圖 67)在 5°C 環境下大刀螳螂由原本 $22.13 \pm 0.19^\circ\text{C}$ 下降 $12.28 \pm 1.28^\circ\text{C}$ 至平均體溫 $9.85 \pm 0.52^\circ\text{C}$ 。

(圖 69)大刀螳螂 5°C 低溫時仍高於環境溫度 $3.83 \pm 0.71^\circ\text{C}$ 。



(圖 70)在 $0 \sim 1^\circ\text{C}$ 環境下雌、雄平均體溫 $5.12 \pm 0.38^\circ\text{C}$ 、 $3.77 \pm 0.41^\circ\text{C}$

(圖 71)體溫高於環境 $4.12 \pm 0.38^\circ\text{C}$ 、 $2.77 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 兩者間體溫 p 值 $*** < 0.001$ 顯示低溫環境下，雌雄螳平均留住 $3.44 \pm 0.78^\circ\text{C}$ 於體內

(圖 72)大刀螳螂在 0°C 環境下平均花費 $126 \pm 6\text{s}$ 回復至原體溫。

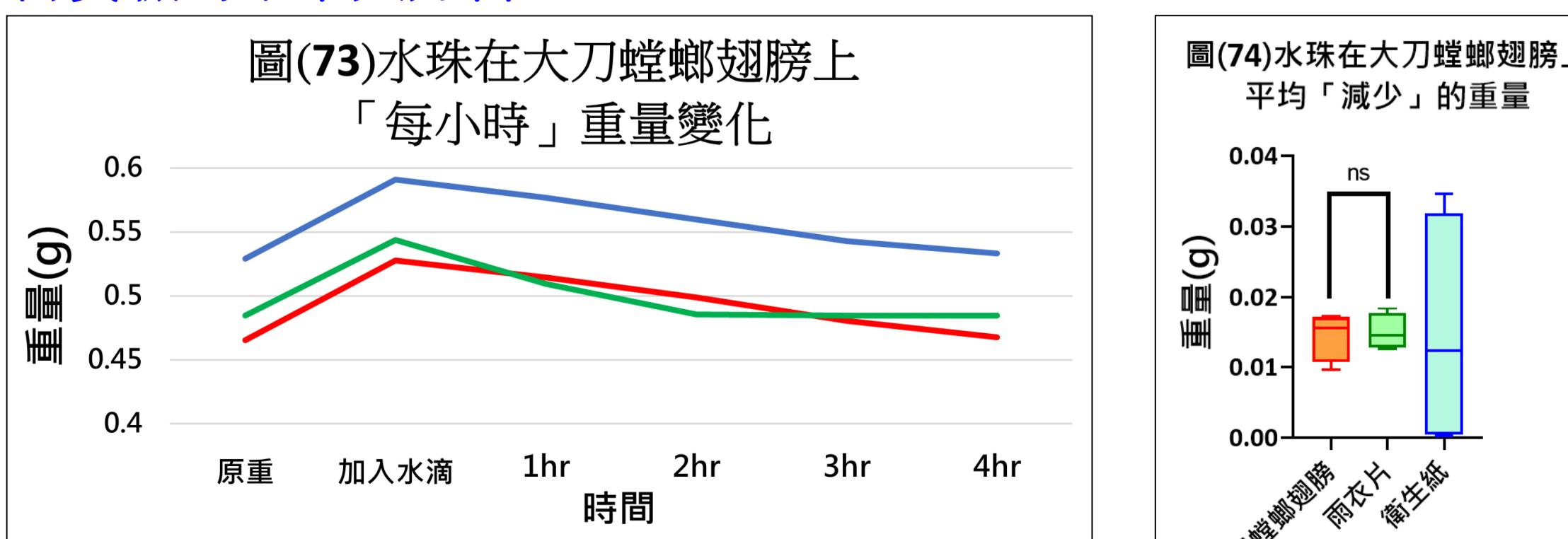
實驗過後的疑問與想法？

做完實驗後，我們心裡產生了疑問，當溫度驟降時常伴隨雨或雪，此時的螳螂是否具有可防禦的構造？經過討論，我們推測大刀螳螂的翅膀能夠抵禦雨水或禦寒？

重新提出新假設：

大刀螳螂的翅膀具防水功能，避免身體接觸水導致失溫。

再實驗的結果與分析：



(圖 73)水珠在翅膀與雨衣片上經過 4hr 重量減少 1.11% 、 1.31% 。
(圖 74)翅膀與雨衣片分別減少 $0.0077 \pm 0.0616\text{g}$ 、 $0.0065 \pm 0.003\text{g}$ ，兩者間無顯著性差異，顯示螳螂翅膀具有類似雨衣片防水功能。

伍、討論

一、關於研究一『 O_2 、 CO_2 濃度變化』對大刀螳螂生存之影響的討論

低 O_2 對昆蟲是否有影響？由前人研究得出有些昆蟲具無氧呼吸的能力，例如紅樹蟻、果蠅等等，我們所研究的大刀螳螂體型大了多，我們實驗雖因器材限制，但仍得出了大刀螳螂在 $8.20 \pm 0.47\%$ 的低 O_2 環境時，可存活 0.51 ± 0.02 ~ $0.52 \pm 0.02\text{hr}$ 。

高 CO_2 對昆蟲是否有影響？當 CO_2 由氣孔進入時， CO_2 在血淋巴中與水結合形成了碳酸，導致酸中毒。在我們研究中高 CO_2 飼養箱中總平均達 $6496.15 \pm 0.3\text{ppm}$ 濃度時，平均經過 $6.47 \pm 0.26\text{hr}$ ，螳螂呈昏迷狀態，推測其進入酸中毒狀態而移出經 $0.48 \pm 0.06\text{hr}$ 甦醒。

二、關於研究二『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響的討論

在前人研究中韓國的亞州螳螂因應環境溫度上升，其向各地擴散，但我們推測大刀螳螂會有所不同，在 8 種環境與行為中，高於環境 $2.79 \pm 0.72^\circ\text{C}$ ，在台灣夏季平地環境溫度逼近 38°C ，而大刀螳螂 40°C 就已死亡，因此會逐漸朝高海拔移動，避免高溫造成傷亡。

研究總結：我們與前人研究報告的差異結論之比較

探討的主題	前人的研究	我們的發現
一、探討大刀螳螂『野生棲息地的 O_2 濃度變化』與『對 O_2 的需求生存範圍』	無研究	<p>1.新發現：野生、全罩式最低 O_2 為 $19.79 \pm 0.86\%$、$19.77 \pm 0.25\%$</p> <p>2.新發現：車經過時 O_2 下降至 $19.41 \pm 0.47\%$，O_2 出現變化。</p> <p>3.新發現：低 O_2、對照組、野生組具非常顯著差異，耐受度高。</p>
二、探討大刀螳螂『野生棲息地的 CO_2 濃度變化』與『承受 CO_2 的範圍』	無研究	<p>1.新發現：野生、全罩式最高 CO_2 為 $438.57 \pm 50.48\text{ppm}$、$780.15 \pm 297.39\text{ppm}$，具顯著性差異。</p> <p>2.新發現：晚上、雨天 CO_2 具非常顯著性差異，顯示不同天氣會影響 CO_2 的濃度。</p> <p>3.新發現：近 CO_2 6496ppm 飽和濃度下，平均約經 6.47hr 昏迷。</p>
三、探討大刀螳螂的『體溫』與『環境溫度』間的關係	無研究	<p>1.新發現：8 種環境與行為體溫總平均高於環境 $2.79 \pm 0.72^\circ\text{C}$。</p> <p>2.新發現：環境 $0 \sim 1^\circ\text{C}$ 時體溫平均高於環境 $3.44 \pm 0.67^\circ\text{C}$。</p> <p>3.新發現：環境 40°C 時體溫平均高於環境 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$，$40^\circ\text{C}$ 為螳螂能生存的溫度範圍。</p>
四、探討 O_2 、 CO_2 、溫度對大刀螳螂『生存的影響』	無研究	<p>1.新發現：全罩式環境約活 43 天。</p> <p>2.新發現：缺氧後雌、雄螳最快呼吸次數達 62.67 ± 1.12、81.97 ± 2.23 次/min，呼吸速率增加 159%~397%。</p> <p>3.新發現：高 CO_2 近飽和 $6496.15 \pm 0.30\text{ppm}$ 環境進入昏迷平均 0.48hr 甦醒，表示 CO_2 耐受度高。</p> <p>4.新發現：低溫又下雨經 4hr 翅膀、雨衣片減少百分比間無顯著差異，翅膀具類似雨衣片功能。</p> <p>5.新發現：環境溫度 40°C 時，平均經 $3.57 \pm 0.37\text{min}$ 倒下死亡。</p>

陸、結論

研究一、探討『 O_2 、 CO_2 濃度的變化』對大刀螳螂生存之影響結論：

- 野生、全罩式 O_2 平均分別為 $19.79 \pm 0.86\%$ 、 $19.77 \pm 0.25\%$
- 野生、全罩式 CO_2 平均分別為 438.57 ± 50.48 、 $780.15 \pm 297.39\text{ppm}$ 。
- 全罩式 O_2 下降、 CO_2 上升，螳螂平均存活 $34.5 \pm 4.03 \sim 43 \pm 3.16$ 天。
- 低 O_2 需求、高 CO_2 承受範圍：大刀螳螂的耐受性皆很高。
- 低 O_2 、高 CO_2 與呼吸關係：雌、雄螳呼吸速率增加 159%~397%。

研究二、探討『溫度的變化』對大刀螳螂生存之影響結論：

- 8 種不同環境與行為：大刀螳螂高於環境 $2.79 \pm 0.72^\circ\text{C}$ 。
- 40°C 高溫：大刀螳螂的體溫平均高於環境 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$ ，為臨界高溫。
- 0~5°C 低溫：大刀螳螂高於環境 3.83 ± 0.71 、 $3.44 \pm 0.78^\circ\text{C}$ 。
- 翅膀、雨衣片的防水性能：螳螂翅膀構造類似雨衣片的防水功能。

柒、總結

每一個人都會直接或間接的利用 O_2 、 CO_2 、溫度等因子，但是卻很少人關心、注意這些維繫我們生命安危的物質。所以我們希望藉由這一篇研究，能引起大家重視周遭環境被破壞的問題，以及防範未來可能造成的影響。

O_2 、 CO_2 、溫度等因子的變化對大刀螳螂生存之影響首度兩大發現：第一、低 O_2 持續 $8.20 \pm 0.47\%$ 或 $6496.15 \pm 0.30\text{ppm}$ 的高 CO_2 會短暫昏迷，如果此時離開高 CO_2 環境，還有存活的機會。

第二、8 種不同環境與行為螳螂平均高於環境 $2.79 \pm 0.72^\circ\text{C}$ ，但在第 9 種 40°C 螳螂高於環境 $6.97 \pm 0.06^\circ\text{C}$ 導致螳螂死亡。

本研究首次評估 O_2 、 CO_2 、溫度等因子對大刀螳螂生存的影響，從實驗的數據來看，如此極端 O_2 、 CO_2 目前不會出現，但持續破壞環境，當 CO_2 增加，導致溫度不斷上升時，會危及大刀螳螂的生命。

捌、參考文獻資料及其他

- 陳偉利 (1983) · 島山上的小狩獵者-螳螂生活習性和捕食行為的研究 · 中華民國第 23 屆中小學科學展覽會作品說明書
- M.G. Nielsen (2007) The mangrove ant, *Camponotus anderseni*, switches to anaerobic respiration in response to elevated CO_2 levels.
- Sookyoung Shin(2023) Climate warming induces the activity period prolongation and distribution range expansion of the Asian mantis *Hierodula patellifera* in South Korea.

以上研究測得數據、科學圖表繪製、實驗照片皆由作者製作與拍攝。