中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　生活與應用科學科(一)

032804

雙翅目昆蟲背部朝光反應(DLR，dorsal-light response)應用於捕蚊燈設計之研究

學校名稱： 彰化縣立彰安國民中學

作者：	指導老師：
國二 廖品涵	侯松男 陳清文

關鍵詞： 背部朝光反應、趨光性、捕蚊燈設計

雙翅目昆蟲背部朝光反應（DLR，dorsal-light response）應用於捕蚊燈設計之研究

摘要

本研究探討雙翅目昆蟲（蚊子）對光源的「背部朝光反應」（DLR, dorsal-light response）在捕蚊燈設計的應用。根據2024年Fabian等人研究，昆蟲依賴光源調整飛行姿態，若光源位於下方，昆蟲可能翻轉墜落。因此本研究嘗試調整光源與電網相對位置，藉以了解捕蚊效率差異。更製作同時具垂直與水平網的雙電網捕蚊燈與僅有垂直網的單電網捕蚊燈進行比較。

研究結果顯示，垂直網與水平網的捕捉數量比例為2.57：1。而加裝水平網的雙電網捕蚊燈平均收集量為0.338克，單電網捕蚊燈為0.115克，重量比為2.94：1。本研究僅透過優化光源與電網的排列方式，即可提高捕蚊效率，可直接應用於病媒蚊控制。

壹、前言

在2024年一月Fabian等人發表在自然期刊（Nature）上一篇關於昆蟲趨光性的論文吸引了我的注意，這篇論文解釋了昆蟲為何會繞著光源飛行，裡面提到了一個飛行中昆蟲出現的「背部朝光反應」（DLR，dorsal-light response）。這個行為是飛行時的昆蟲會把光源當成上方，因此昆蟲會圍繞在點光源周圍飛行而無法離開，這篇論文也解釋了飛蟲趨光性的原理。

論文中還提到一個十分有趣的現象，當光源在下方時，昆蟲會將下方的光源視為上方，進而在飛行中翻轉、失速而墜落。這個現象讓我思考也許可以把這個現象應用在捕捉蚊子上，更或許有機會讓捕蚊燈更有效率。

貳、研究目的與待答問題

本研究主要在於探討雙翅目昆蟲（蚊子）的背部朝光反應，是否能進一步應用在補捉蚊子上。茲將研究目的與問題分述如下。

一、研究目的

1. 探討將背側朝光反應應用於捕蚊燈設計的可行性。
2. 探討捕蚊燈水平電網與垂直電網的收集效率差異。

二、待答問題

1. 是否能將蚊子的背部朝光反應（DLR）應用於捕蚊燈的設計？
2. 水平電網與垂直電網哪一個能收集到較多的蚊子？

參、文獻回顧

一、昆蟲趨光性研究

Fabian等人（2024）使用高解析度運動捕捉技術收集夜晚昆蟲在人造光源下的三維飛行軌跡。他們發現不管是日行性還是夜行性昆蟲皆會以接近垂直90°的夾角讓背部朝向光源。研究中還改變人造光源的方向，以日行性的二種蜻蜓（Sympetrum striolatum、Aeshna mixta）與夜行性的三種蛾類（Noctua pronuba、Noctua fimbriata、Attacus lorquinii）作為主要觀察對象，發現昆蟲會有以下三種不同的飛行模式，三種飛行模式如圖1所示。

1. 圍繞光源飛行：
   經過光源周圍的昆蟲會將背部朝向燈泡，而以燈泡為圓心繞圈飛行。
2. 被光源吸引，向上飛行而失速：
   在垂吊的燈泡下（燈泡朝下）時，從燈泡下方飛過的昆蟲會向上爬升，進而失速。
3. 被光源吸引，背部朝下翻轉墜落：
   當燈泡朝向上方時，從燈泡上方飛過的昆蟲會翻轉、將背部朝下，進而墜落地面。

他們認為這種「背部朝光反應」（DLR，dorsal-light response）可以讓飛行中的昆蟲在自然光照下，將背部朝向最亮的上方，藉此保持正確的飛行姿態，而在Fabian等人調查中的十個類別（目）的昆蟲中也有雙翅目的昆蟲，同樣會在飛行過程表現翻轉墜落情形。

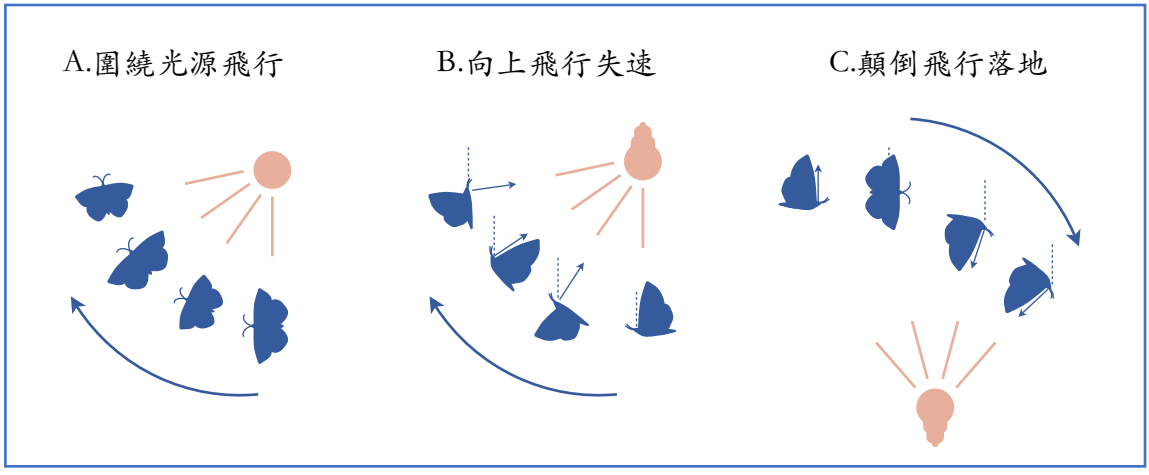


圖1 Fabian等人(2024) 提出的三種人造光源下昆蟲飛行模式(出處詳圖片來源2)

Fabian等人的研究報告最後提到一個有趣的現象，並不是所有的昆蟲對光線都會有一致的反應，研究對象中屬於鱗翅目的三隻夾竹桃天蛾（Daphnis nerii） 在 71 次紀錄中，都沒有表現趨光性，沒有顛倒也沒有繞著光線轉。而雙翅目中的果蠅（Drosophila spp.）也有相類似的狀況。他們認為這與人造光源的波長或是有些昆蟲不會強烈的依賴光來修正飛行姿態。

本研究認為雙翅目中的蚊子若是有強烈的趨光性，Fabian等人提到的第三種昆蟲飛行模式，就是光源在下方時，昆蟲出現「背部朝光反應」進而墜落的現象，極有機會應用在補蚊裝置的設計。為了探討雙翅目昆蟲（蚊子）的背部朝光反應是否能應用在捕捉蚊蟲上，而開始進行研究。

二、雙翅目昆蟲收集裝置

以下將彙整雙翅目昆蟲收集裝置的原理與相關文獻，主要指吸引蚊子，讓蚊子落入陷阱的收集裝置。

表1 捕蚊裝置相關研究

裝置名稱	原理	研究者
光波捕蚊機	1. 光波吸引原理： 利用紫外光（UV光）來吸引蚊子，特別是370-380nm。紅色可見光具有一定的捕蚊效果，而藍色雖能吸引蚊子，但效果較差。 2. 裝置顏色對捕蚊的效果： 黑色外觀捕蚊效果優於白色外觀，原因可勝因為蚊子喜歡陰暗處，所以黑色較有吸引力。 3. 氣味影響： 人體氣味（如穿過的襪子）能有效的吸引蚊子。	翁彬育，第64屆全國中小學科展作品
高效能捕蚊燈	1. 光波吸引蚊子： 使用波長 300-400nm 的燈光來吸引蚊子，包含紫外光（UV）與可見光。 2. 風扇吸入機制： 內建強力風扇，當蚊子接近光源後，風扇會產生氣流，將蚊子吸入集蟲網袋，防止其逃脫。 3. UV 燈的影響： 室內測試發現 有 UV 燈時，對雄蚊的捕捉效果較差，但對雌蚊影響不大。戶外測試則顯示 有無 UV 燈對捕蚊數量無顯著影響。	高雄市政府衛生局與國家蚊媒傳染病防治及研究中心

裝置名稱	原理	研究者
直接甲醇燃料電池與其產物應用於類生物捕蚊系統	1. 誘蚊機制： 利用甲醇在燃料電池內部氣化產生之二氧化碳，模擬人類呼吸，吸引蚊子接近。燃料電池發電時產生微亮的熱能，模仿人體溫度，吸引蚊子。甲醇燃燒時會產生熱對流，模擬人體皮膚表面的氣流變化。 2. 捕蚊機制： 當蚊子被二氧化碳、熱能與氣流吸引，內部風扇會產生吸力，將蚊子吸入捕蚊裝置。蚊子被吸入後，因為困在內部空間，最終缺乏水分與食物而死亡。 3. 電源供應與系統架構： 直接甲醇燃料電池(DMFC)供電，DMFC具備長時間穩定供電能力，為風扇、捕蚊裝置與輔助系統提供電力。 4. 安全性分析： 計算二氧化碳釋放量，確認濃度在八小時運轉不會對人體造成傷害。	解主恩，2008，國立高雄應用科技大學 模具工程系碩士班 碩士論文
具備蚊蟲誘捕能力之LED紫外光電蚊拍的設計與研究	1.誘蚊機制： 使用395nm波長的LED紫外光，使電蚊拍如同捕蚊燈般吸引蚊蟲。 2. 捕蚊機制： 以3000v高壓電之電網上擊斃。	李育瑋，2020，國立高學科技大學 電機工程系 碩士論文

使用電擊捕捉的捕蚊裝置，大多是使用昆蟲趨光性來誘蚊，電網或蚊蟲入口大多是垂直設計。有鑒於此，有必要瞭解水平設計的電網收集之具體效益。針對相關論文與市售捕蚊裝置的運作原理，彙整如表2。

表2 捕蚊裝置誘蚊與捕蚊機制彙整表

名稱	誘蚊原理	捕捉原理	入口位置	來源
光誘蚊捕蚊拍	LED 395nm，趨光性	電擊	垂直放置	論文、市售
捕蚊燈	LED 365nm，趨光性	電擊	電網為垂直網	市售
吸入式捕蚊燈	LED 365nm，趨光性	風扇吸入(陷阱)＋電擊	電網為垂直網	市售
高效能捕蚊燈	LED 365nm，趨光性	風扇吸入(陷阱)	吸入口在上方	論文、科展
類生物捕蚊系統	二氧化碳、溫度誘蚊	風扇吸入(陷阱)	上方皆有	論文
二氧化碳觸媒吸入式捕蚊燈	二氧化碳、UV燈管 365nm	風扇吸入(陷阱)	開口在側面	市售
黏紙式捕蟲器	UV燈管 365nm	黏蟲紙(需更換)	開口在側面	市售

肆、研究方法

一、研究設備設計與製作

在Fabian等人的論文中提到當光源在下方時，蛾類、蜻蜓等昆蟲會因為背部朝光反應，而翻轉下墜，本研究認為如果同屬雙翅目昆蟲的蚊子也有這個行為，應該可以利用這個原理來進行捕捉。

為了比較水平電網與垂直電網的捕捉效率，遂參考捕蚊燈的結構重新設計有水平與垂直兩種方向的電網來收集昆蟲。如果蚊子等雙翅目昆蟲有明顯的背側朝光反應，應該會出現翻轉下墜情形，則水平電網應該也可以捕捉到蚊子。這個裝置的基本結構如圖2所示：

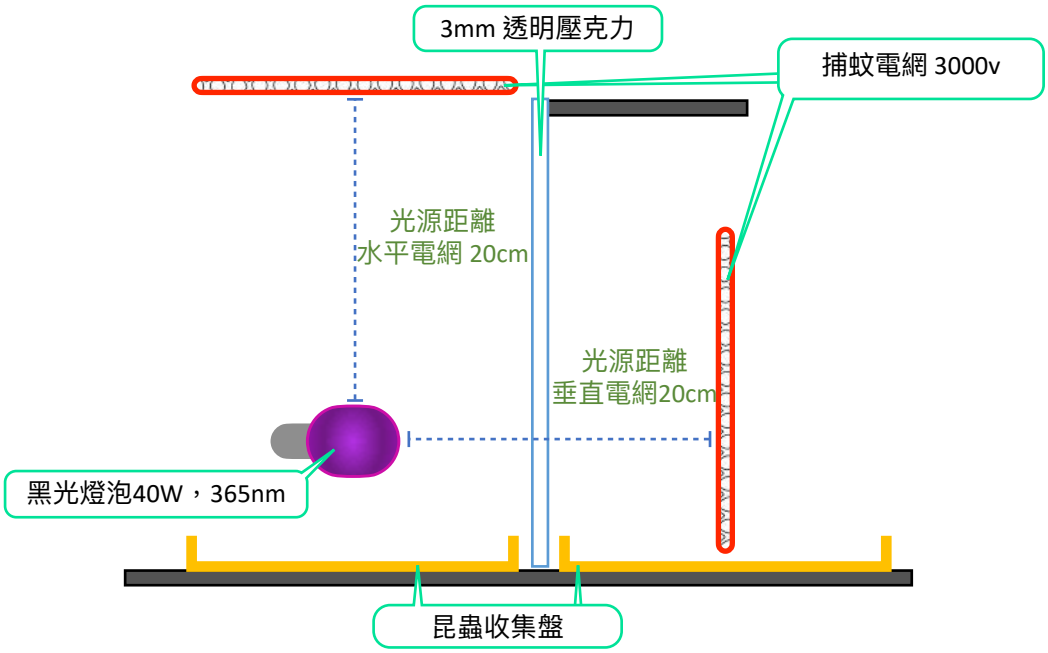




圖2 雙翅目昆蟲捕捉設備（垂直電網 vs. 水平電網）(出處詳圖片來源1)

另外，為了進一步比較增加水平電網的捕蚊燈，能增加多少捕捉效率。本研究進一步製作以下雙電網與單電網的捕蚊燈進行比較。（圖3）

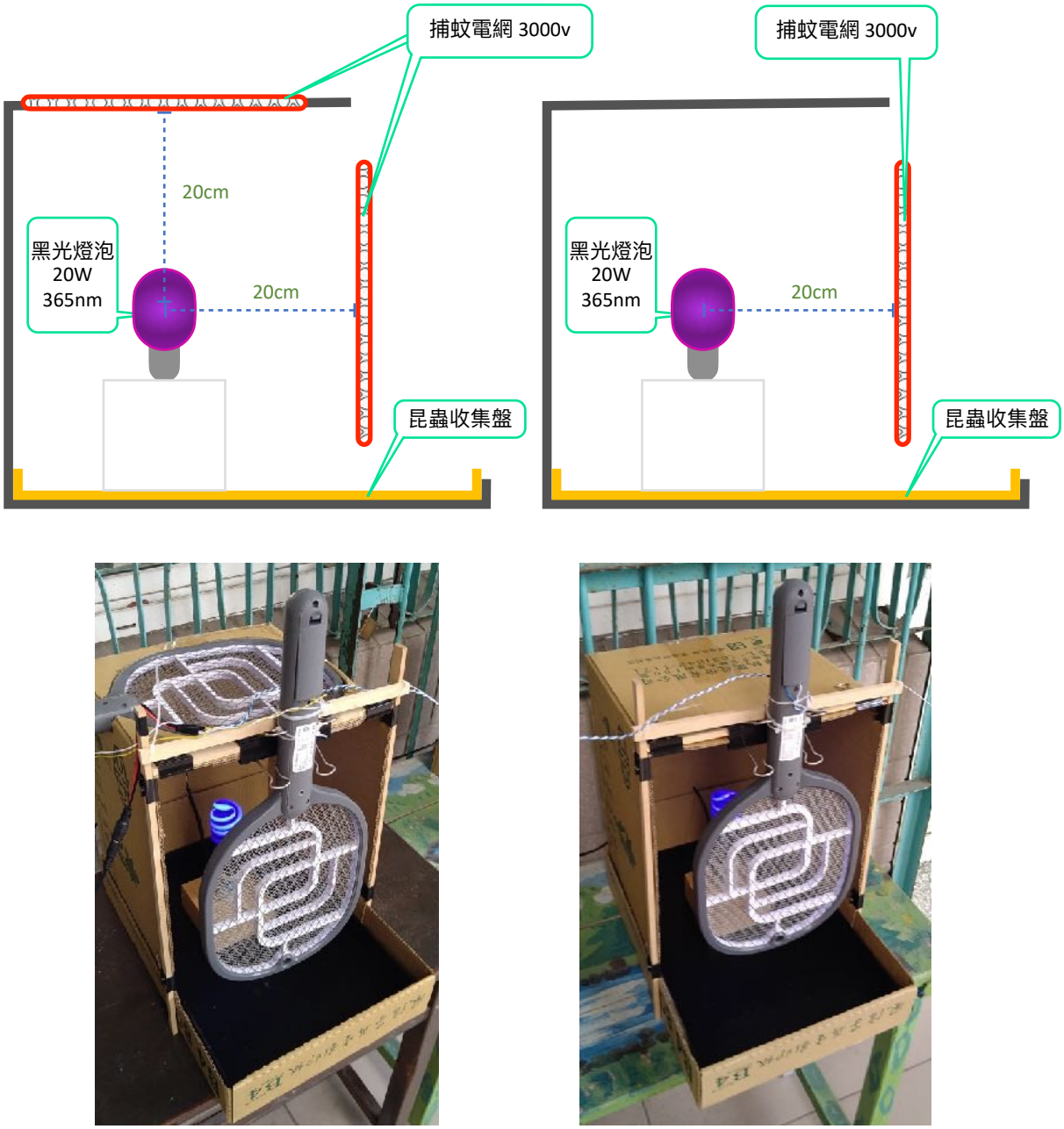


圖3 雙翅目昆蟲捕捉設備（雙電網 vs. 單電網）（出處詳圖片來源1）

二、研究工具

表3 研究工具與研究用途

名稱	廠牌/型號/規格	用途
解剖顯微鏡	Olympus YD-B043	鑑種昆蟲
黑光燈	E27 365nm	吸引昆蟲
電蚊拍	KINYO CM-2310，3000v	擊斃昆蟲
昆蟲收集盤	自製 250mmx300mmx30mm	收集電網擊斃之昆蟲
透明壓克力板	厚 3mm	隔絕垂直與水平電網收集區
鑷子	尖頭15cm	分類夾取昆蟲
杯子	透明（以秤量紙當作蓋子）	昆蟲樣品保存
刷子	15 cm	清潔樣品
空壓機	1/5 HP	清潔昆蟲收集盤

三、資料收集與彙整

以夜晚為主要收集時段，實驗地點設置於校園中較無陽光、蚊蟲較多，且有遮蔽的位置。本研究以有水溝人孔蓋的腳踏車車棚（A）、同樣有水溝與樹叢的體育器材室前（B），啟動設備時間為 17：00～7：00共14小時。

收集數據時，將昆蟲收集盤中的昆蟲進行分類並用解剖顯微鏡觀察，鑑識種類，計算數量以利後續分析，昆蟲分析過程圖4所示。



圖4 昆蟲樣本分類計算（出處詳圖片來源1）

伍、研究結果與討論

一、垂直電網與水平電網的捕捉效率比較

本研究在冬季收集到的昆蟲有雙翅目、鱗翅目、鞘翅目、膜翅目等昆蟲，雙翅目昆蟲中，以台灣銨蠓最多（49.7%），其次為熱帶家蚊（24.4%），觀察物種資料如表4所示，另外垂直電網與水平電網收集的數據彙整於表5、表6，總數比較彙整於圖5。

表4 電網收集到的昆蟲種類（體育器材室、腳踏車棚，冬季 1/20~2/17)

種類/學名		成蟲特徵	對人的危害	照片（顯微攝影）
雙翅目	蛾蚋 Psychodidae sp.	體長2.5-4.5mm，淡褐色，佈滿褐毛，停棲時翅膀為屋脊狀。	蛾蚋以腐爛的有機物，例如：食物殘渣、肥皂殘留物為食 。會引起過敏或攜帶病菌。	
	台灣銨蠓（俗稱小黑蚊）Forcipomyia taiwana	體長約1.4mm，頭部黑色，胸部、腹部黑褐色。	低飛，多叮小腿、手等部位；叮咬後奇癢、紅腫，嚴重者產生過敏反應。	
	熱帶家蚊 Culex quinquefasciatus	體長約4mm，身體褐色，口器與觸角約等長，翅膀暗褐色。	熱帶家蚊可能傳播血絲蟲病。	
	搖蚊 Chironomidae sp.	體長9-12mm，但翅膀無鱗片，雄蟲觸角為羽毛狀，口器為短吻狀。 本種體色為淡黃色，前腳及後腳細長。	不會叮咬人類，對人類的危害不大，但個別人士在接觸搖蚊後可能會出現過敏反應	
	地下家蚊 Culex pipiens molestus	體色為淡褐色，體長3-5 mm，在腹背板的白色鱗片分佈為帶狀。	地下家蚊的叮咬不僅引起皮膚瘙癢，嚴重時可能導致過敏或細菌感染。	

種類/學名		成蟲特徵	對人的危害	照片（顯微攝影）
鱗翅目	草螟蛾 Nomophila noctuella	體型狹長，翅面灰黃褐色，前翅中外線各有2-3枚模糊狀的橢圓形斑塊排列呈橫帶，上列的各斑分離。	無	
	瘤野螟 Cnaphalocrocis medinalis	翼展通常約為16mm	為臺灣水稻栽培區的偶發性害蟲	
	優苔螟屬 Eudonia sp.	成蟲體長9～12mm。頭部、前胸背板銅褐色具金屬光澤；翅鞘白褐色；翅鞘肩角至接縫末端有1條黑色斜紋，其後外側另有1條較短分叉斜紋。	無	
	待查	無	無	
	待查	無	無	

種類/學名		成蟲特徵	對人的危害	照片（顯微攝影）
	待查	無	無	
膜翅目	雄蟻 Camponotus sp.	頭小、眼大、口器因退化而細小、觸角細長，上顎不發達、胸大、腹部長、腹部末端較尖	部分人對螞蟻釋放物質過敏，會出現呼吸困難、喉嚨痛、流鼻涕等症狀。	
鞘翅目	隱翅蟲 Staphylinidae sp.	體長6-8mm，形狀極似白蟻，身體有黑黃兩色之五環節（即頭黑、頸胸黃、胸黑、腹黃、腹尾黑）	隱翅蟲在皮膚上爬行時，分泌體液引起線狀病灶；被打死或捻碎時，毒液大量濺出導致糜爛，手指沾毒液會擴散病灶。	

註：昆蟲顯微照片出處詳圖片來源1

表5 垂直電網收集到的昆蟲種類與數量

地點	日期	昆蟲種類及數量								合計
		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	
		地下家蚊	熱帶家蚊	搖蚊	台灣鋏螓	蛾蚋				
A*	1/20 - 1/21	4	26	1	39	2			1	73
A*	1/21 - 1/22	2	28		49	7			1	87
A*	1/22 - 1/23		8		11	3				22
A*	1/23 - 1/24		10		27					37
B**	2/4 - 2/5	3	9	1	6	1	1		1	22
B**	2/5 - 2/6	1	11	4	37	18	2		4	77
B**	2/6 - 2/7		2		15	5	2			24
B**	2/16 - 2/17		16	6	9	3		2		36
總數量		10	110	12	193	39	5	2	7	378
比例		2.6%	29.1%	3.2%	51.1%	10.3%	1.3%	0.5%	1.9%	100.0%
各目比例		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	合計
		96.3%					1.3%	0.5%	1.9%	100.0%

*：地點A為警衛室旁車棚

**：地點B為體育器材室前走廊

表6 水平電網收集到的昆蟲種類與數量

地點	日期	昆蟲種類及數量								
		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	合計
		地下家蚊	熱帶家蚊	搖蚊	台灣銨蠓	蛾蚋				
A*	1/20 - 1/21		8		6		2			16
A*	1/21 - 1/22	1			18	3	2	1		25
A*	1/22 - 1/23	3	4		11					18
A*	1/23 - 1/24		5		5	4				14
B**	2/4 - 2/5	1	1	1	7	1	1			12
B**	2/5 - 2/6	1	9	1	4	9				24
B**	2/6 - 2/7		2		5	2	2		4	15
B**	2/16 - 2/17				15	4		4		23
總數量		6	29	2	71	23	7	5	4	147
比例		4.1%	19.7%	1.4%	48.3%	15.6%	4.8%	3.4%	2.7%	100.0%
各目比例		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	合計
		89.1%					4.8%	3.4%	2.7%	100.0%

*：地點A為警衛室旁車棚

**：地點B為體育器材室前走廊

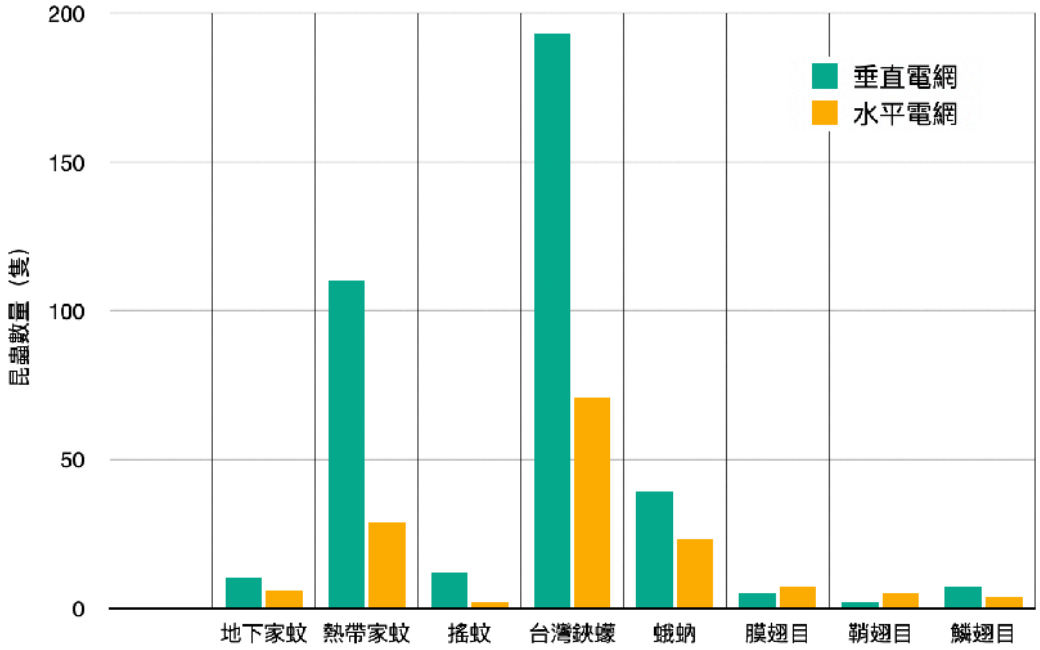


圖5 垂直電網與水平電網捕捉到的昆蟲數量分析(出處詳圖片來源1)

研究結果如下：

1.本研究捕捉地點在校園內，垂直電網收集到的昆蟲總數量大於水平電網，總數比例為 378：147 ≈ 2.57：1。

2.就捕捉總數而言其中雙翅目比例較高，垂直電網捕捉的昆蟲中有96.3%屬於雙翅目，水平電網捉到的雙翅目昆蟲有89.1%。

3.抓到的雙翅目昆蟲中以台灣鋏螯（小黑蚊）的數量最多，垂直電網捉到的昆蟲中有51.1%是台灣鋏螯，水平電網則是48.3%。研究結果證明我們自製的捕蚊裝置，可以抓到台灣鋏螯。

表7為本研究結果與Fabian等人調查昆蟲種類與圍繞、失速、翻轉三種趨光模式比例進行比較。本研究捕蚊裝置的垂直電網與水平電網的捕捉比例約為2.57：1，而Fabian等人調查資料中雙翅目圍繞與翻轉的比例約為2.25：1，兩者數據相近。本研究與Fabian等人研究之數據比較如下。

由冬季收集到的昆蟲數量計算，水平電網佔了捕捉總數的三成(28%)，這個近三成的捕捉量是不容忽視的。

表7 本研究結果與Fabian等人調查結果之比較

本研究			Fabian等人研究				
種類	垂直電網	水平電網	種類	圍繞	失速	翻轉	趨光行為影片數量
			蜚蠊目	1	0	0	1
鞘翅目	2	5	鞘翅目	7	4	2	8
雙翅目	364	131	雙翅目	9	4	4	13
			蜉蝣目	1	0	0	1
			半翅目	3	2	3	4
膜翅目	5	7	膜翅目	9	9	7	11
鱗翅目	7	4	鱗翅目	158	172	222	387
			螳螂目	0	2	1	2
			脈翅目	1	1	0	1
			毛翅目	3	4	2	4
			其他	9	9	7	16

二、單電網捕蚊燈與雙電網捕蚊燈的捕捉效率比較

本研究在蚊蟲較多的春季使用雙電網與單電網捕蚊燈進行實驗，地點在體育器材室前。這項實驗收集到的昆蟲數量極多，且不少昆蟲因電擊而破碎，難以計算數量。因此改為秤量收集盤內收集到的昆蟲總重量進行比較。下圖為雙電網與單電網捕蚊燈收集到的昆蟲數量比較。(圖6)

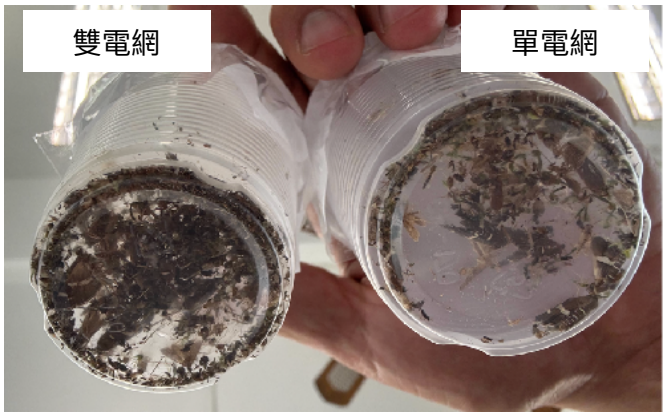


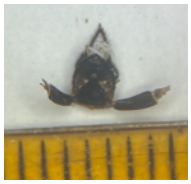
圖6 雙電網(左)與單電網(右)捕蚊燈收集到的昆蟲數量比較(出處詳圖片來源1)

收集到的昆蟲以雙翅目、鱗翅目、鞘翅目、半翅目、膜翅目等昆蟲為主，觀察物種資料如表8所示。另外，垂直電網與水平電網收集的數據彙整於表9，總數比較彙整於圖7。

表8 電網收集到的昆蟲種類（體育器材室前，春季 4/24~5/17)

雙翅目				
白線斑蚊 Aedes albopictus	台灣鈇螋 Forcipomyia taiwana	熱帶家蚊 Culex quinquefasciatus	搖蚊 Chironomidae sp.	地下家蚊 Culex pipiens molestus
				
大蚊屬 Tipuloidea sp.	蛾蚋屬 Psychodidae sp.	蠅 (待鑑定)	蠅 (待鑑定)	蠅 (待鑑定)
				

蠅(待鑑定)				
				
鱗翅目				
草螟蛾 Nomophila noctuella	稻縱捲葉野螟蛾 Cnaphalocrocis medinalis	優苔螟屬 Eudonia sp.	長肩噛葉野螟蛾 Omiodes noctescens	梯紋穀蛾 Monopis monachella
				
蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)
				
蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)	蛾(待鑑定)	小灰蝶(待鑑定)	
				
鞘翅目				
隱翅蟲(待鑑定)	甲蟲(待鑑定)	甲蟲(待鑑定)	甲蟲(待鑑定)	甲蟲(待鑑定)
				

半翅目				
椿象(待鑑定)	椿象(待鑑定)	葉蟬(待鑑定)	葉蟬(待鑑定)	
				
膜翅目				
雄蟻(待鑑定)				
				
其他(待鑑定)				
				

註：昆蟲顯微照片出處詳圖片來源1

表9 雙電網與單電網捕蚊燈昆蟲捕捉效率比較

收集日期		收集量（g）		重量比
		雙電網	單電網	雙電網/單電網
1	4/24~4/25	0.56	0.17	3.29
2	5/6~5/7	0.225	0.06	3.75
3	5/8~5/9	0.40	0.17	2.35
4	5/9~5/10	0.23	0.085	2.71
5	5/16~5/17	0.275	0.09	3.06
平均值		0.338	0.115	2.94

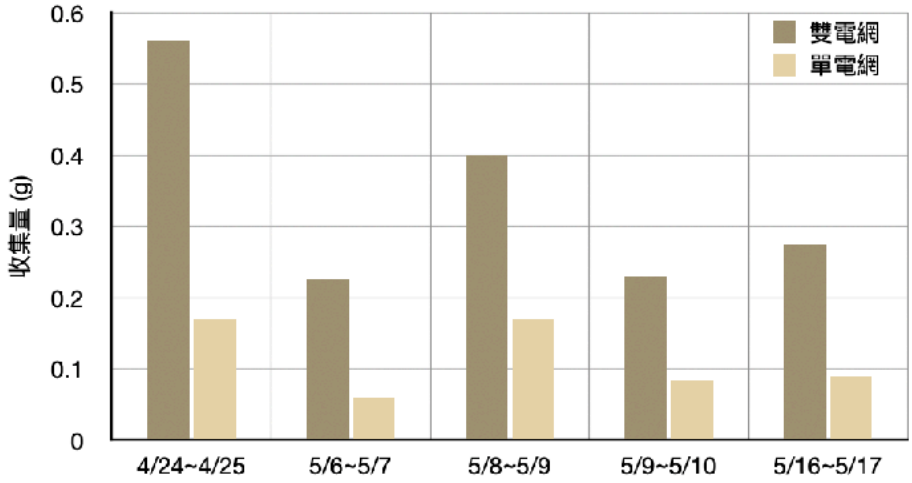


圖7 雙電網與單電網捕蚊燈昆蟲收集量比較(出處詳圖片來源1)

研究結果顯示，增加水平電網的雙電網捕蚊燈在昆蟲收集量上多於單電網捕蚊燈。雙電網捕蚊燈的每日平均收集量為0.338克，單電網捕蚊燈的每日平均收集量為0.115克，重量比為 2.94：1。

因此，本研究建議捕蚊燈應該同時具備垂直電網與水平電網的設計，可以捕捉到更多的病媒蚊。

陸、結論與建議

一、結論

以下為本研究之結論：

1. 本研究結果證明，Fabian等人提出昆蟲的背部朝光反應(DLR)，可應用在捕蚊燈的設計。
2. 本研究設計之捕蚊裝置，垂直電網與水平電網收集效率不同，垂直電網收集昆蟲數量多於水平電網，其數量比例為2.57：1。這個比例與Fabian等人調查雙翅目趨光行為中的圍繞光源、翻轉墜落兩種行為的比例2.25：1相近。（垂直電網主要收集圍繞光源飛行的昆蟲，水平電網主要收集翻轉墜落的昆蟲。）
3. 本研究製作之捕蚊燈在冬季的校園捕捉到的昆蟲種類繁多，其中以雙翅目昆蟲為最多，雙翅目中又以台灣銼蠓（小黑蚊）為最大宗，不管是水平電網或是垂直電網都有五成左右的比例。
4. 本研究自製的雙電網捕蚊裝置證明了不能忽視加裝水平電網的功效，雙電網與單電網捕捉昆蟲之平均重量比為 2.94：1。相較於只有垂直電網的捕蚊燈，加裝水平電網的捕蚊燈有接近三倍的捕捉量(重量)，這個研究結果可以應用在改良捕蚊燈的設計。

二、建議

以下為本研究之建議：

1. 本研究設計之捕蚊裝置，已驗證其原理與效益，未來可望應用於實際產品開發。
2. 本研究僅以電網方向進行實驗，建議未來可針對捕蚊燈擺放高度、光源特性、電網網目大小、電網尺寸、電網與光源的距離，探討以上變因對捕蚊效果之影響。
3. 本研究僅以校園為研究地點，建議未來可擴大研究範圍，增加研究地點，以提升研究結果之代表性。
4. 本研究收集之昆蟲種類繁多，但有些對人類並無明顯危害，建議未來可針對特定昆蟲（如蚊子）進行更深入研究，以提升捕蚊裝置之專一性。
5. 圖8 為本研究建議的雙網捕蚊燈設計原型，關鍵設計參數係參考本研究之捕蚊裝置，除了圍繞在光源的圓柱體垂直電網外，上方增加圓形水平電網，使用燈泡式的點光源，光源可以使用波長365nm的黑光燈泡，光源下方更可輔助反光板設計，引誘昆蟲掉落。另外建議可以參考捕蚊拍的孔隙來製作電網，增加收集效率。電網與光源距離也可以參考本研究的設計，間距為20cm。

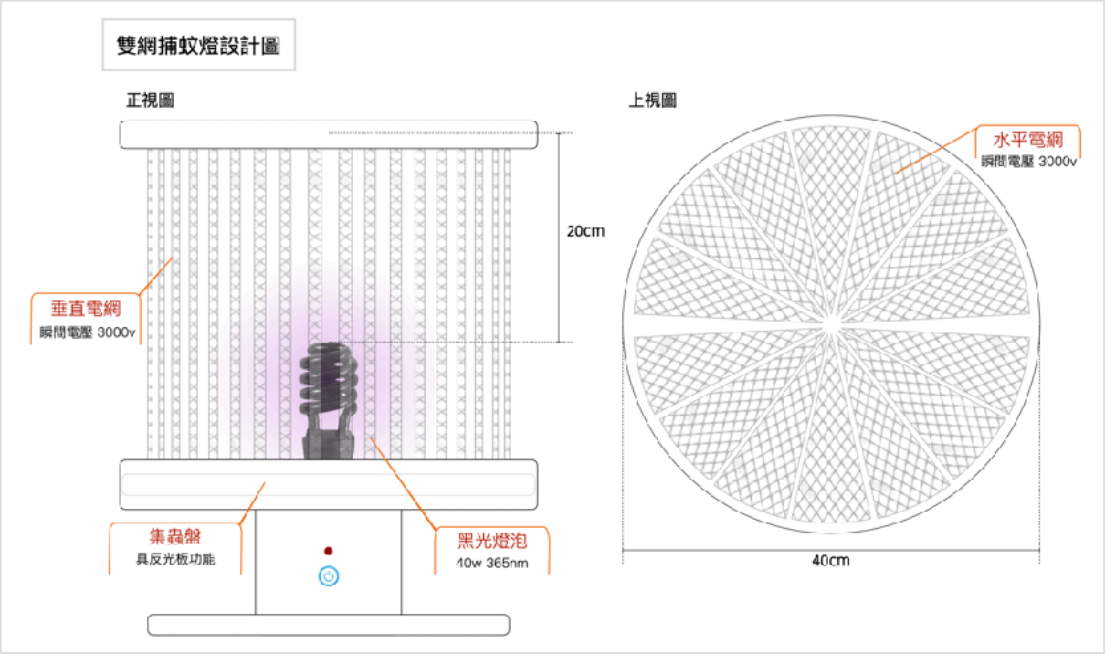


圖8 本研究建議的新型「雙網捕蚊燈」設計圖 (出處詳圖片來源2)

柒、參考文獻

1. Fabian, S. T., Fiedler, K., Engber, L. M., & Warrant, E. J. (2024). A common neural mechanism underlies attraction to light in insects. Nature Communications, 15(1), 1-12.
2. 李育瑋 (2020)。具備蚊蟲誘捕能力之LED紫外光電蚊拍的設計與研究（碩士論文）。國立高雄科技大學。
3. 高雄市登革熱研究中心。（2018）。高效能捕蚊燈效益測試報告。高雄市政府衛生局 & 國家蚊媒傳染病防治及研究中心。
4. 翁彬育 (2024)。自製光波捕蚊機。第64屆全國科展。
5. 解主恩 (2008)。以直接甲醇燃料電池與其產物應用於類生物捕蚊系統之設計與分析（碩士論文）。國立高雄科技大學。

捌、圖片來源

1. 本圖片由作者拍攝或製作。
2. 本圖片由指導老師拍攝或製作。

【評語】032804

1. 本研究探討雙翅.昆蟲(蚊.)對光源的「背部朝光反應」(DLR, dorsal-light response）在捕蚊燈設計的應用，題目新穎且有趣。

2. 研究具原型潛力，建議思考成本、能耗與安全性優化，並評估商業化策略、專利申請或創客孵化可能性。

3. 雖有平均與比例比較，仍可補上標準差、顯著性分析等基本統計方法（如 t-test）以提升說服力。

4. 對於變因討論應多注意，例如水平電網照光的範圍是半球，但垂直電網只有 1/4 球。宜單獨做水平電網和垂直電網之比較。

作品海報

雙翅目昆蟲背部朝光反應
（DLR，dorsal-light response）
應用於捕蚊燈設計之研究

摘要

本研究探討雙翅目昆蟲（蚊子）對光源的「背部朝光反應」（DLR, dorsal-light response）在捕蚊燈設計的應用。根據2024年Fabian等人研究，昆蟲依賴光源調整飛行姿態，若光源位於下方，昆蟲可能翻轉墜落。因此本研究嘗試調整光源與電網相對位置，藉以了解捕蚊效率差異。更製作同時具垂直與水平網的雙電網捕蚊燈與僅有垂直網的單電網捕蚊燈進行比較。

研究結果顯示，垂直網與水平網的捕捉數量比例為2.57：1。而加裝水平網的雙電網捕蚊燈平均收集量為0.338克，單電網捕蚊燈為0.115克，重量比為 2.94：1。本研究僅透過優化光源與電網的排列方式，即可提高捕蚊效率，可直接應用於病媒蚊控制。

壹 前言

在2024年一月Fabian等人發表在自然期刊（Nature）上一篇關於昆蟲趨光性的論文吸引了我的注意，這篇論文解釋了昆蟲為何會繞著光源飛行，裡面提到了一個飛行中昆蟲出現的「背部朝光反應」（DLR，dorsal-light response）。這個行為是飛行時的昆蟲會把光源當成上方，因此昆蟲會圍繞在點光源周圍飛行而無法離開，這篇論文也解釋了飛蟲趨光性的原理。

論文中還提到一個十分有趣的現象，當光源在下方時，昆蟲會將下方的光源視為上方，進而在飛行中翻轉、失速而墜落。這個現象讓我思考可以把這個現象應用在捕捉蚊子上，有機會讓捕蚊燈更有效率。

貳 研究目的與待答問題

本研究主要在於探討雙翅目昆蟲（蚊子）的背部朝光反應，是否能進一步應用在補捉蚊子上。茲將研究目的與問題分述如下。

一、研究目的

1. 探討將背側朝光反應應用於捕蚊燈設計的可行性。
2. 探討捕蚊燈水平電網與垂直電網的收集效率差異。

二、待答問題

1. 是否能將蚊子的背部朝光反應（DLR）應用於捕蚊燈的設計？
2. 水平電網與垂直電網哪一個能收集到較多的蚊子？

參 昆蟲趨光性研究

Fabian等人（2024）使用高解析度運動捕捉技術收集夜晚昆蟲在人造光源下的三維飛行軌跡。發現不管是日行性還是夜行性昆蟲皆會以接近垂直90°的夾角讓背部朝向光源。研究中還改變人造光源的方向，發現昆蟲會有三種不同的飛行模式。（圖1）

1. 圍繞光源飛行：
經過光源周圍的昆蟲會將背部朝向燈泡，而以燈泡為圓心繞圈飛行。

2. 被光源吸引，向上飛行而失速：
在燈泡朝下時，從燈泡下方飛過的昆蟲會向上爬升，進而失速。

3. 被光源吸引，背部朝下翻轉墜落：
當燈泡朝上時，從燈泡上方飛過的昆蟲會翻轉、將背部朝下，進而墜落地面。

他們認為這種「背部朝光反應」（DLR，dorsal-light response）可以讓飛行中的昆蟲在自然光照下，將背部朝向最亮的上方，藉此保持正確的飛行姿態。在Fabian等人調查中的十個類別（目）的昆蟲中也有雙翅目的昆蟲，同樣會在飛行過程表現翻轉墜落情形。

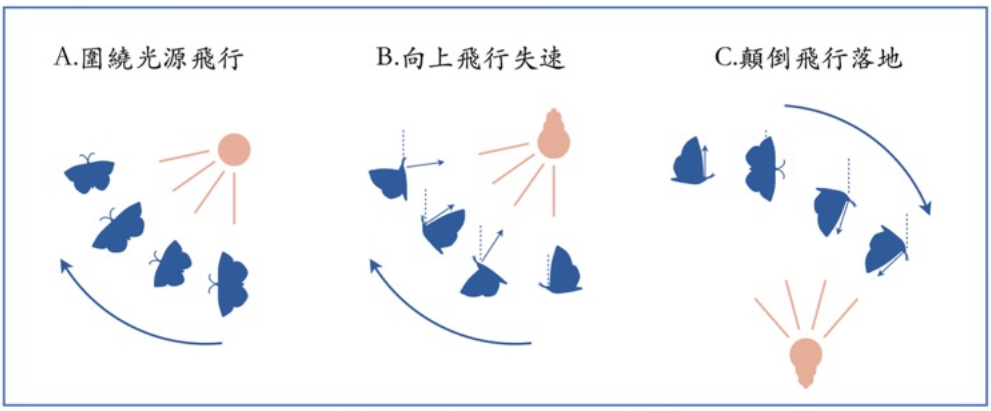


圖1 Fabian等人(2024)提出的三種人造光源下昆蟲飛行模式

本研究認為雙翅目中的蚊子若是有強烈的趨光性，Fabian等人提到的第三種昆蟲飛行模式，就是光源在下方時，昆蟲出現「背部朝光反應」進而墜落的現象，極有機會應用在補蚊裝置的設計。為了探討雙翅目昆蟲（蚊子）的背部朝光反應是否能應用在捕捉蚊蟲上，而開始進行研究。

肆 研究方法

一、研究設備設計與製作

在Fabian等人的論文中提到當光源在下方時，昆蟲會因為背部朝光反應，而翻轉下墜。本研究認為可以利用這個原理來捕捉蚊蟲。圖2為比較水平電網與垂直電網捕捉效率的實驗裝置。

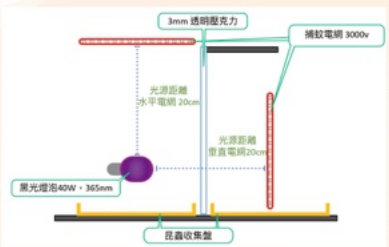




圖2 雙翅目昆蟲捕捉設備（垂直電網 vs. 水平電網）

另外，為了比較增加水平電網的捕蚊燈，能增加多少捕捉效率。本研究進一步製作以下雙電網與單電網的捕蚊燈進行比較。（圖3）

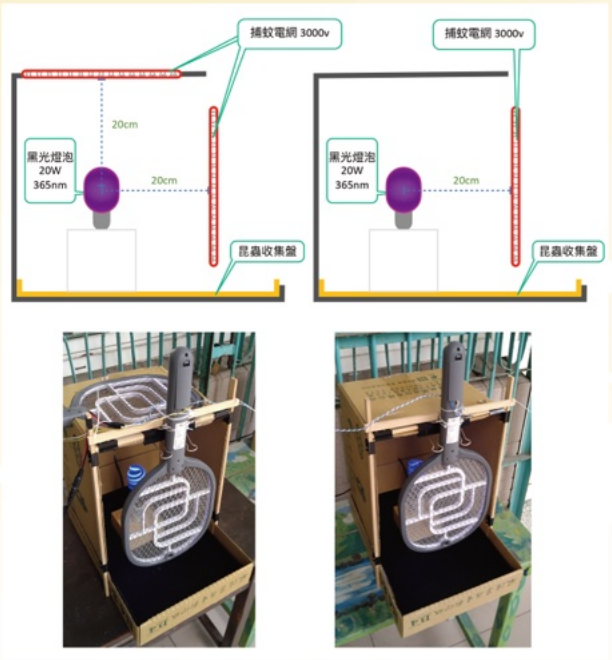


圖3 雙翅目昆蟲捕捉設備（雙電網 vs. 單電網）

二、資料收集與彙整

收集時段為夜晚，實驗地點設置於校園中較陰暗、蚊蟲較多的位置。本研究以有水溝人孔蓋的腳踏車車棚（A）、同樣有水溝與樹叢的體育器材室前（B），啟動設備時間為 17：00 ~ 7：00共14小時。

收集數據時，將昆蟲收集盤中的昆蟲進行分類並用解剖顯微鏡觀察，鑑識種類，計算數量以利後續分析，昆蟲分析過程圖4所示。



圖4 昆蟲樣本分類計算

伍 研究結果與討論

一、垂直電網與水平電網的捕捉效率比較

本研究在冬季收集到的昆蟲有雙翅目、鱗翅目、鞘翅目、膜翅目等昆蟲，雙翅目昆蟲中，以台灣鋏蠓最多（49.7%），其次為熱帶家蚊（24.4%），觀察物種資料如表1所示，另外垂直電網與水平電網收集的數據彙整於表2、表3，總數比較彙整於圖5。

表1 電網收集到的昆蟲種類（體育器材室、腳踏車棚，冬季 1/20~2/17）

種類/學名	成蟲特徵	對人的危害	照片（點放圖形）
雙翅目			
蛾納 Psychoidae sp.	體長2.5-4.5mm，淺褐色，佈滿褐毛，停棲時翅膀為屋脊狀。	蛾納以腐爛的有機物，例如：食物殘渣、肥皂殘留物為食，會引起過敏或攜帶病菌。	
台灣鋏蠓（俗稱小黑蚊）Forcipomyia taiwana	體長約1.4mm，頭部黑色，胸部、腹部黃褐色。	低夜，多叮小腿、手等部位；叮咬後奇癢、紅腫，嚴重者產生過敏反應。	
熱帶家蚊 Culex quinquefasciatus	體長約4mm，身體褐色，口器與觸角的等長，翅膀褐色。	熱帶家蚊可能傳播絲蟲病。	
搖蚊 Chironomidae sp.	體長9.12mm，似蚊蚋無觸角，搖觸角為羽毛狀，口器為短咀狀，本種體色為淡黃色，前腳及後腳細長。	不會叮咬人類，對人類的危害不大，但個別人士在接觸搖蚊後可能會出現過敏反應	
地下家蚊 Culex pipiens molestus	體色為淺褐色，體長3-5 mm，在腹背板的白色鱗片合併為帶狀。	地下家蚊的叮咬不僅引起皮膚腫痛，嚴重時可能導致過敏或細菌感染。	
鱗翅目			
草螟蛾 Nomophila noctuella	體型狹長，褐而灰黃褐色，前翅中外緣各有2-3條褐斑紋的橢圓形斑塊排列呈條帶，上列的各斑分離。	無	
稻苞蟲 Cnaphalocrocis medinalis	翅展通常約為16mm	為重要水稻栽培害的偶發性害蟲	

種類/學名	成蟲特徵	對人的危害	照片（點放圖形）
鞘翅目			
隆背瓢蟲 Exadonia sp.	成蟲體長9~12mm，頭部、前胸背板褐色具金屬光澤；翅鞘白褐色。	無	
待查	無	無	
待查	無	無	
待查	無	無	
膜翅目			
蜂蠅 Camponotus sp.	頭小、眼大，口器咀嚼式為細小，觸角細長，上顎不發達，胸大，腹部長，腹部末端刺尖。	部分人對蜂蠅釋放物質過敏，會出現呼吸困難、發燒、頭暈等症狀。	
膜翅目			
隱翅蟲 Staphylinidae sp.	體長6-8mm，都紋褐白橫，身體有黑黃兩色之五環節（胸腹黑、腹黃、腹尾黑）	隱翅蟲在皮膚上爬行時，分泌體液引起腫紋病症；被打死或捏碎時，毒液大量流出等抵禦獵，手指沾毒液會腫脹疼痛。	

表2 垂直電網收集到的昆蟲種類與數量

地點	日期	昆蟲種類及數量								合計
		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	
		地下家蚊	熱帶家蚊	搖蚊	台灣鋏蠓	蛾納				
警衛室旁車棚	1/20 - 1/21	4	26	1	39	2			1	73
	1/21 - 1/22	2	28		49	7			1	87
	1/22 - 1/23		8		11	3				22
	1/23 - 1/24		10		27					37
體育器材室前走廊	2/4 - 2/5	3	9	1	6	1	1		1	22
	2/5 - 2/6	1	11	4	37	18	2		4	77
	2/6 - 2/7		2		15	5	2			24
	2/16 - 2/17		16	6	9	3		2		36
總數量		10	110	12	193	39	5	2	7	378
比例		2.6%	29.1%	3.2%	51.1%	10.3%	1.3%	0.5%	1.9%	100.0%
各目比例		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	合計
		96.3%					1.3%	0.5%	1.9%	100.0%

表3 水平電網收集到的昆蟲種類與數量

地點	日期	昆蟲種類及數量								合計
		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	
		地下家蚊	熱帶家蚊	搖蚊	台灣鋏蠓	蛾納				
警衛室旁車棚	1/20 - 1/21		8		6		2			16
	1/21 - 1/22	1			18	3	2	1		25
	1/22 - 1/23	3	4		11					18
	1/23 - 1/24		5		5	4				14
體育器材室前走廊	2/4 - 2/5	1	1	1	7	1	1			12
	2/5 - 2/6	1	9	1	4	9				24
	2/6 - 2/7		2		5	2	2		4	15
	2/16 - 2/17				15	4		4		23
總數量		6	29	2	71	23	7	5	4	147
比例		4.1%	19.7%	1.4%	48.3%	15.6%	4.8%	3.4%	2.7%	100.0%
各目比例		雙翅目					膜翅目	鞘翅目	鱗翅目	合計
		89.1%					4.8%	3.4%	2.7%	100.0%

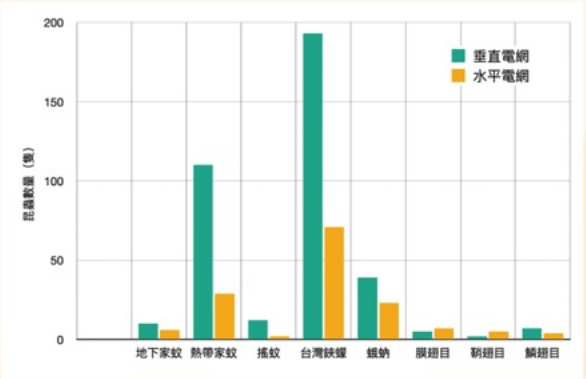


圖5 垂直電網與水平電網捕捉到的昆蟲數量分析

研究結果如下：

1. 本研究地點在校園內，垂直電網收集到的昆蟲總數量大於水平電網，總數比例為 378：147（2.57：1）。
2. 就捕捉總數而言，雙翅目比例較高，垂直電網捕捉的昆蟲中有96.3%屬於雙翅目，水平電網捕捉到的雙翅目昆蟲有89.1%。
3. 抓到的雙翅目昆蟲中以台灣鋏蠓（小黑蚊）的數量最多，垂直電網捕捉到的昆蟲中有51.1%是台灣鋏蠓，水平電網則是48.3%。證明我們自製的捕蚊裝置，可以抓到台灣鋏蠓。

表4為本研究結果與Fabian等人調查昆蟲種類與圍繞、失速、翻轉三種趨光模式比例進行比較。本研究捕蚊裝置的垂直電網與水平電網的捕捉比例約為2.57：1，而Fabian等人調查資料中雙翅目圍繞與翻轉的比例約為2.25：1，兩者數據相近。本研究與Fabian等人研究之數據比較如下。

由冬季收集到的昆蟲數量計算，水平電網佔了捕捉總數的三成(28%)，這個近三成的捕捉量是不容忽視的。

表4 本研究結果與Fabian等人調查結果之比較

本研究			Fabian等人研究				
種類	垂直電網	水平電網	種類	圍繞	失速	翻轉	趨光行為影片數量
			螢蠅目	1	0	0	1
鞘翅目	2	5	鞘翅目	7	4	2	8
雙翅目	364	131	雙翅目	9	4	4	13
			蜉蝣目	1	0	0	1
			半翅目	3	2	3	4
膜翅目	5	7	膜翅目	9	9	7	11
鱗翅目	7	4	鱗翅目	158	172	222	387
			螳螂目	0	2	1	2
			脈翅目	1	1	0	1
			毛翅目	3	4	2	4
			其他	9	9	7	16

二、單電網捕蚊燈與雙電網捕蚊燈的捕捉效率比較

本研究在蚊蟲較多的春季使用雙電網與單電網捕蚊燈進行實驗，地點在體育器材室前。這項實驗收集到的昆蟲數量極多，且不少昆蟲因電擊而破碎，難以計算數量。因此改為秤量收集盤內收集到的昆蟲總重量進行比較。下圖為雙電網與單電網捕蚊燈收集到的昆蟲數量比較。(圖6)

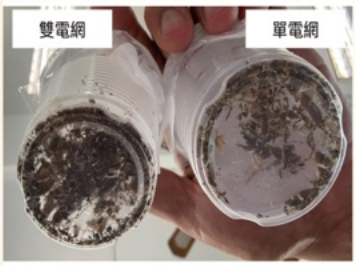


圖6 雙電網(左)與單電網(右)捕蚊燈收集到的昆蟲數量比較

收集到的昆蟲以雙翅目、鱗翅目、鞘翅目、半翅目、膜翅目等昆蟲為主。另外，垂直電網與水平電網收集的數據彙整於表5，總數比較彙整於圖7。

表5 雙電網與單電網捕蚊燈昆蟲捕捉效率比較

收集日期		收集量 (g)		重量比
		雙電網	單電網	雙電網/單電網
1	4/24~4/25	0.56	0.17	3.29
2	5/6~5/7	0.225	0.06	3.75
3	5/8~5/9	0.40	0.17	2.35
4	5/9~5/10	0.23	0.085	2.71
5	5/16~5/17	0.275	0.09	3.06
平均值		0.338	0.115	2.94

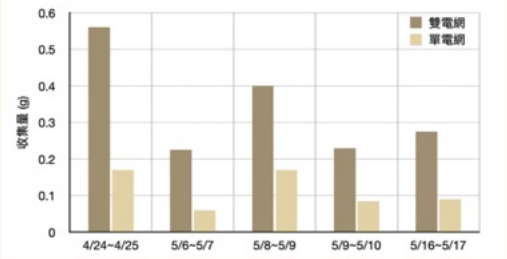


圖7 雙電網與單電網捕蚊燈昆蟲收集量比較

研究結果顯示，增加水平電網的雙電網捕蚊燈在昆蟲收集量上多於單電網捕蚊燈。雙電網捕蚊燈的每日平均收集量為0.338克，單電網捕蚊燈的每日平均收集量為0.115克，重量比為 2.94：1。因此，本研究建議捕蚊燈應該同時具備垂直與水平電網，如此可以捕捉到更多的病媒蚊。

陸 結論與建議

一、結論

以下為本研究之結論：

1.本研究結果證明，Fabian等人提出昆蟲的背部朝光反應(DLR)，可應用在捕蚊燈的設計。

2.本研究設計之捕蚊裝置，垂直電網與水平電網收集效率不同，垂直電網收集昆蟲數量多於水平電網，其數量比例為2.57：1。這個比例與Fabian等人調查雙翅目趨光行為中的圍繞光源、翻轉墜落兩種行為的比例2.25：1相近。（垂直電網主要收集圍繞光源飛行的昆蟲，水平電網主要收集翻轉墜落的昆蟲。）

3. 本研究製作之捕蚊燈在冬季的校園捕捉到的昆蟲種類繁多，其中以雙翅目昆蟲為最多，雙翅目中又以台灣鈎蠓（小黑蚊）為最大宗，不管是水平電網或是垂直電網都有五成左右的比例。

4. 本研究自製的雙電網捕蚊裝置證明了不能忽視加裝水平電網的功效，雙電網與單電網捕捉昆蟲之平均重量比為 2.94：1。相較於只有垂直電網的捕蚊燈，加裝水平電網的捕蚊燈有接近三倍的捕捉量(重量)，這個研究結果可以應用在改良捕蚊燈的設計。

二、建議

以下為本研究之建議：

1. 本研究設計之捕蚊裝置，已驗證其原理與效益，未來可望應用於實際產品開發。

2. 本研究僅以電網方向進行實驗，建議未來可針對捕蚊燈擺放高度、光源特性、電網網目大小、電網尺寸、電網與光源的距離，探討以上變因對捕蚊效果之影響。

3. 本研究僅以校園為研究地點，建議未來可擴大研究範圍，增加研究地點，以提升研究結果之代表性。

4. 本研究收集之昆蟲種類繁多，但有些對人類並無明顯危害，建議未來可針對特定昆蟲（如蚊子）進行更深入研究，以提升捕蚊裝置之專一性。

5. 圖8 為本研究建議的雙網捕蚊燈設計原型，關鍵參數皆參考本研究之捕蚊裝置，除圍繞在光源的圓柱體垂直電網外，上方增加圓形水平電網，使用燈泡式的點光源，光源使用波長365nm的黑光燈泡，光源下方更可輔助反光板設計，引誘昆蟲掉落。另外建議可以參考捕蚊拍的孔隙來製作電網，增加收集效率。電網與光源距離參考本研究操作參數，間距為20cm。

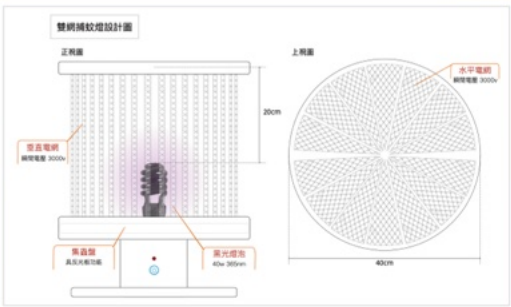


圖8 本研究建議的新型「雙網捕蚊燈」設計圖

柒 參考文獻

1. Fabian, S. T., Fiedler, K., Engber, L. M., & Warrant, E. J. (2024). A common neural mechanism underlies attraction to light in insects. Nature Communications, 15(1), 1-12.
2. 李育瑋 (2020)。具備蚊蟲誘捕能力之LED紫外光電蚊拍的設計與研究（碩士論文）。國立高雄科技大學。
3. 高雄市登革熱研究中心。（2018）。高效能捕蚊燈效益測試報告。高雄市政府衛生局 & 國家蚊媒傳染病防治及研究中心。
4. 翁彬育 (2024)。自製光波捕蚊機。第64屆全國科展。
5. 解主恩 (2008)。以直接甲醇燃料電池與其產物應用於類生物捕蚊系統之設計與分析（碩士論文）。國立高雄科技大學。