

第十六屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA16-514

作品名稱：蚊失足成萬人福

姓名：楊昕珮

關鍵字：蚊子、附著

摘要

本研究主要為探討蚊子的附著能力，進而延伸了解蚊子的附著構造及附著與產卵行為的關係。

首先，**蚊子對玻璃表面的附著力測試**目的為比較白腹叢蚊、埃及斑蚊及熱帶家蚊雌雄蚊在五種玻璃表面(銀霞、明鏡、十字、透明、磨砂)的附著能力。本測試利用不同角度的滑落率來比較其附著能力。結果顯示：除了熱帶家蚊雌蚊外，其他蚊子在磨砂玻璃上的滑落率明顯為最低，且在另外四種玻璃上 60 度前的滑落率皆會超過 50%。而熱帶家蚊雌蚊在磨砂玻璃上的表現與在其他玻璃上的表現相似，且沒有在任何角度有大幅滑落的現象，反而是隨著角度增加而有小部分的蚊子滑落。透過雌雄比較、雄蚊比較以及雌蚊比較可以發現：同種的雌蚊與雄蚊的附著能力有所差異，而雄蚊之間與雌蚊之間的附著能力亦可發現差別。因此可以得知：**同一種蚊子在不同的表面上展現出的附著能力有所差異，而不同性別及種類的蚊子附著能力也會不同，且其附著能力並沒有一定的好或壞，要視表面而定。**

接著，使用掃描式電子顯微鏡**觀察這三種蚊子的足部附著構造**。可以發現**蚊子的主要附著構造是爪**，而白腹叢蚊有端齒、埃及斑蚊有爪間體、熱帶家蚊雌蚊有褥墊，此皆為幫助附著的構造。而**構造上的差異，為導致附著能力不同的原因**。

接下來進行**雌蚊對居家常見表面的附著力測試**，目的為了解雌蚊在家中的附著情況。由於雌蚊會吸血，而雄蚊不會，因此測試中只使用較容易在家中出現的雌蚊。本測試比較雌蚊在六種木材、兩種鐵捲門及擦拭前後的玻璃窗在垂直時的滑落率。結果顯示：**熱帶家蚊較容易在居家常見表面上附著，而埃及斑蚊在木頭上的滑落率較白腹叢蚊低，但在其他表面上，兩者的表現相同**。另外，在測試中也可發現擦拭後的玻璃窗滑落率較擦拭前高。因此，**玻璃窗是否清潔會影響蚊子在其上的附著情形**。

由於埃及斑蚊的產卵習性是將卵產在積水容器內壁的水線上方，我們進一步想了解表面容易停靠與否與產卵數的關係，因此進行**容器表面對埃及斑蚊的產卵影響測試**。本測試分別使用明鏡玻璃(難停靠)及磨砂玻璃(易停靠)作為積水容器的內壁，讓埃及斑蚊產卵。結果顯示：在磨砂玻璃上的卵數明顯多於明鏡玻璃。然而，我們也觀察到有一定數量的卵產在水面上，但多數資料並沒有提及有此現象。而透過此測試可以得知：**表面是否容易附著會影響埃及斑蚊雌蚊的產卵數**。

蚊子的行為與附著有很大的關係，在了解更多關於蚊子的附著能力後，期望可以透過試驗結果設計出有用的物理忌避，以減少蚊子對人們造成的困擾。

壹、研究動機

某天學校下課時間，我們看到有一隻蚊子停在窗戶上。出於好奇，便仔細觀察了一會兒，腦中就突然閃過了一個問題：蚊子到底是怎麼停在玻璃上的呢？而是否存在某種表面是蚊子沒辦法停住的？急於得知答案的我們便上網查詢相關資料，但由於相關的網路資料並不多，於是我們進一步設計了相關的試驗，想藉以找出蚊子無法停留的表面，進而希望能應用在日常生活中。

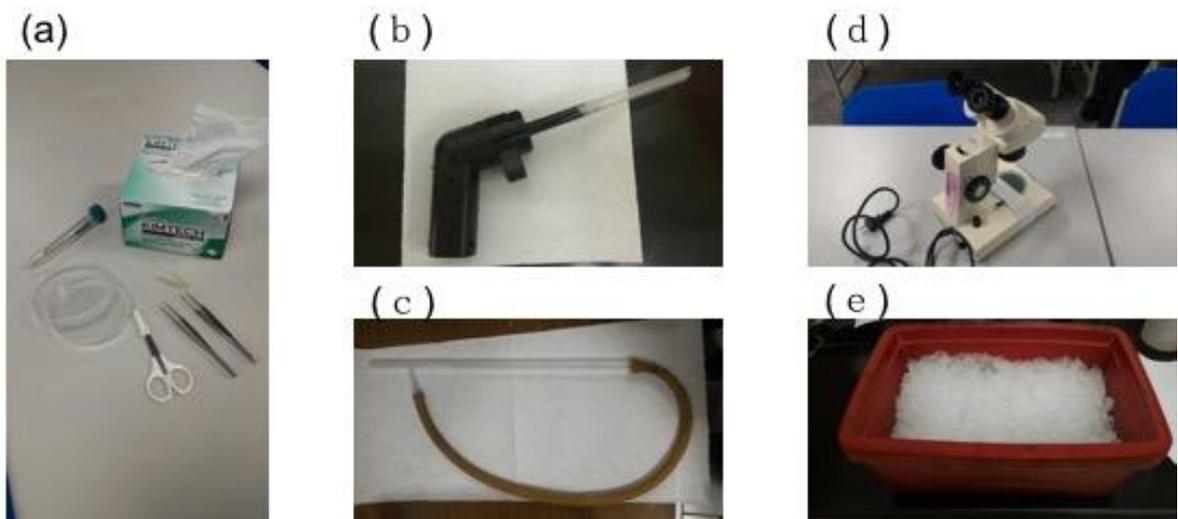
貳、研究目的

本研究的目的為探討蚊子的附著能力，進而延伸了解蚊子的附著構造及附著與產卵行為的關係。

參、研究器材

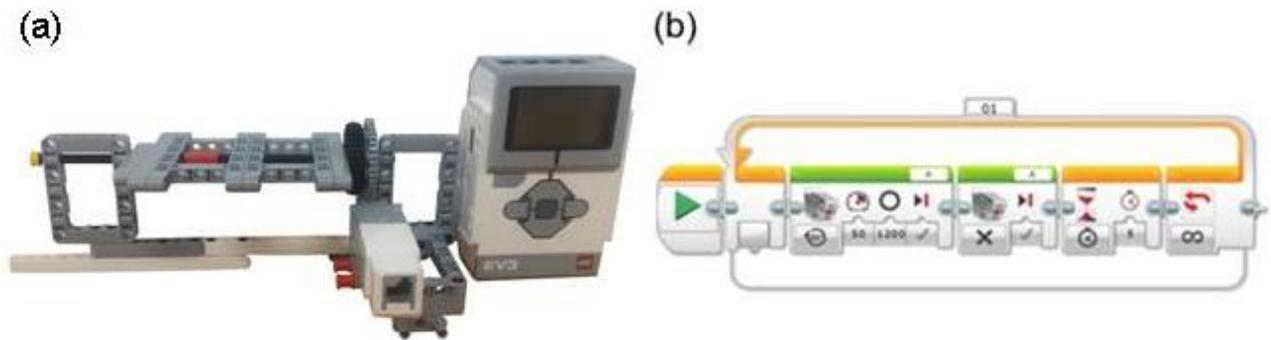
一、試驗蚊子：由 OOO 實驗室提供三種平地常見蚊種，分別為白腹叢蚊 (*Armigeres subalbatus*)、埃及斑蚊 (*Aedes aegypti*)、熱帶家蚊 (*Culex quinquefasciatus*)。

二、去除蚊子翅膀之器材：(a)拭鏡紙、剪刀、鑷子、培養皿、管子、(b)電動吸蟲器、(c)吸蟲器、(d)解剖顯微鏡、(e)冰塊



圖一、去除蚊子翅膀之器材

三、表面測試裝置：樂高機器人(EV3)，(a)裝置本體，左側為放置待測表面平台，右側為主機、(b)EV3-G 程式。



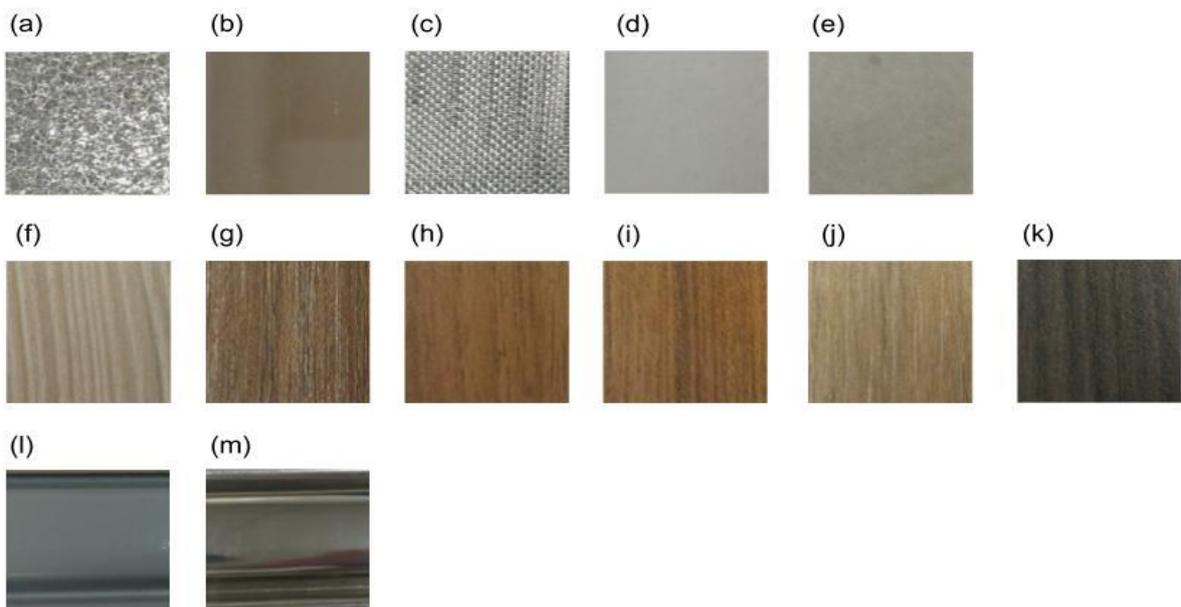
圖二、表面測試裝置及控制程式

四、測試表面

(一) 玻璃樣式：(a-e)玻璃、(a)銀霞玻璃、(b)明鏡玻璃、(c)十字玻璃、(d)透明玻璃、
(e)磨砂玻璃

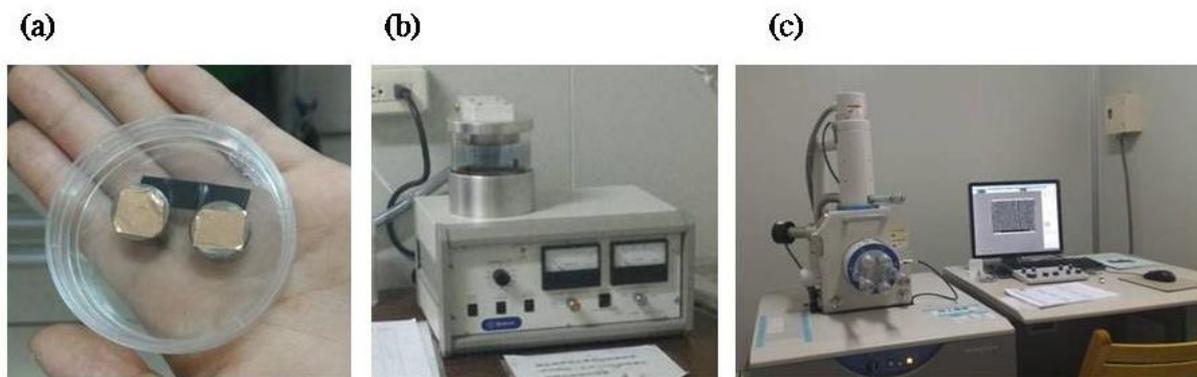
(二) 居家表面材質：

1. 木頭表面：(f-k)木材、(f)鐵杉、(g)北歐櫻桃、(h)經典胡桃、(i)金柚木、
(j)南歐橡、(k)非洲檀木
2. 鐵捲門：(l-m)鐵捲門、(l)有烤漆、(m)無烤漆
3. 髒玻璃窗、擦過的玻璃窗



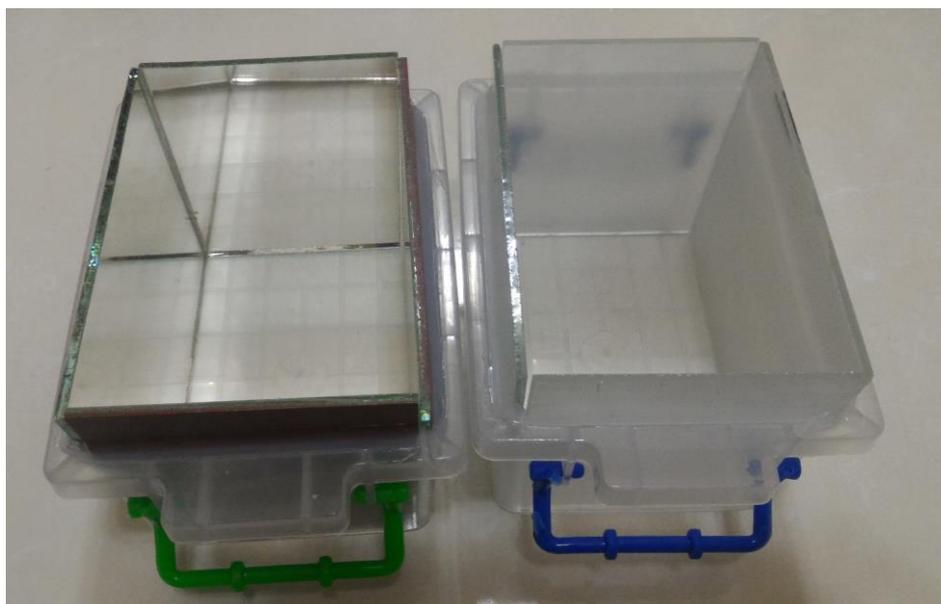
圖三、測試表面材質

五、觀察足部附著構造之用具：(a)載體(乾燥後的足部黏貼於銅雙面膠上) (b)離子濺鍍機 (Hitachi E-1010) (c)掃描式電子顯微鏡(Hitachi 3400-N)



圖四、觀察足部附著構造之用具

六、產卵容器：將兩個 10 x 13 x 7.5 公分的塑膠容器內壁四面分別鋪上明鏡玻璃與磨砂玻璃，再加入 400 毫升的逆滲透水，提供蚊子產卵。左側為內壁鋪上明鏡玻璃的產卵容器，右側為內壁鋪上磨砂玻璃的產卵容器。



圖五、產卵容器

肆、研究過程

本研究過程包含下列七部分：

一、蚊子飼育

本試驗使用的白腹叢蚊、埃及斑蚊與熱帶家蚊取自 OOO 實驗室的蚊子飼育室，該飼育室內環境維持室溫攝氏 25 度、濕度為 60%至 70%，以 30 立方公分的昆蟲飼育箱飼養成蟲，並以 10%糖水餵養蚊子，待後續實驗。

二、表面測試裝置組裝

本研究藉由樂高機器人 (EV3) 組裝**表面測試裝置**，將待測試的表面裝置於平台上，使用 40 齒的齒輪連接馬達，透過 EV3-G 程式設定馬力為 50、一次轉動 1200 單位（30 度）、每 5 秒轉動一次，以控制測試表面的傾斜角度（如圖六）。



圖六、表面測試裝置傾斜示意圖

三、取得剪去翅膀的蚊子

使用電動吸蟲器將蚊子從昆蟲飼育箱吸出後放入管子內，再將管子放入冰塊中使蚊子昏迷。於解剖顯微鏡下使用剪刀及鑷子將其翅膀剪去後，分別區分出雌、雄蚊並放入培養皿中，於室溫下等待其甦醒後便可進行測試。

四、蚊子對玻璃表面的附著力測試

用拭鏡紙將玻璃擦拭後，接著放至**表面測試裝置**上。再把上述三種已剪去翅膀的蚊子放在玻璃上，利用**表面測試裝置**將表面從 0 度開始，每次傾斜 30 度，傾斜至 180 度停止。並記錄蚊子在 30°、60°、90°、120°、150°及 180°的滑落個數，接著更換不同玻璃表面重複進行試驗。

五、以掃描式電子顯微鏡觀察蚊子足部附著構造

將三種蚊子的足部經乾燥後取下，黏貼於銅雙面膠上，以離子濺鍍機(Hitachi E-1010)進行 3 分鐘鍍金後，再放入掃描式電子顯微鏡(Hitachi 3400-N)，以 15kV 進行足部觀察。

六、雌蚊對居家常見表面的附著力測試

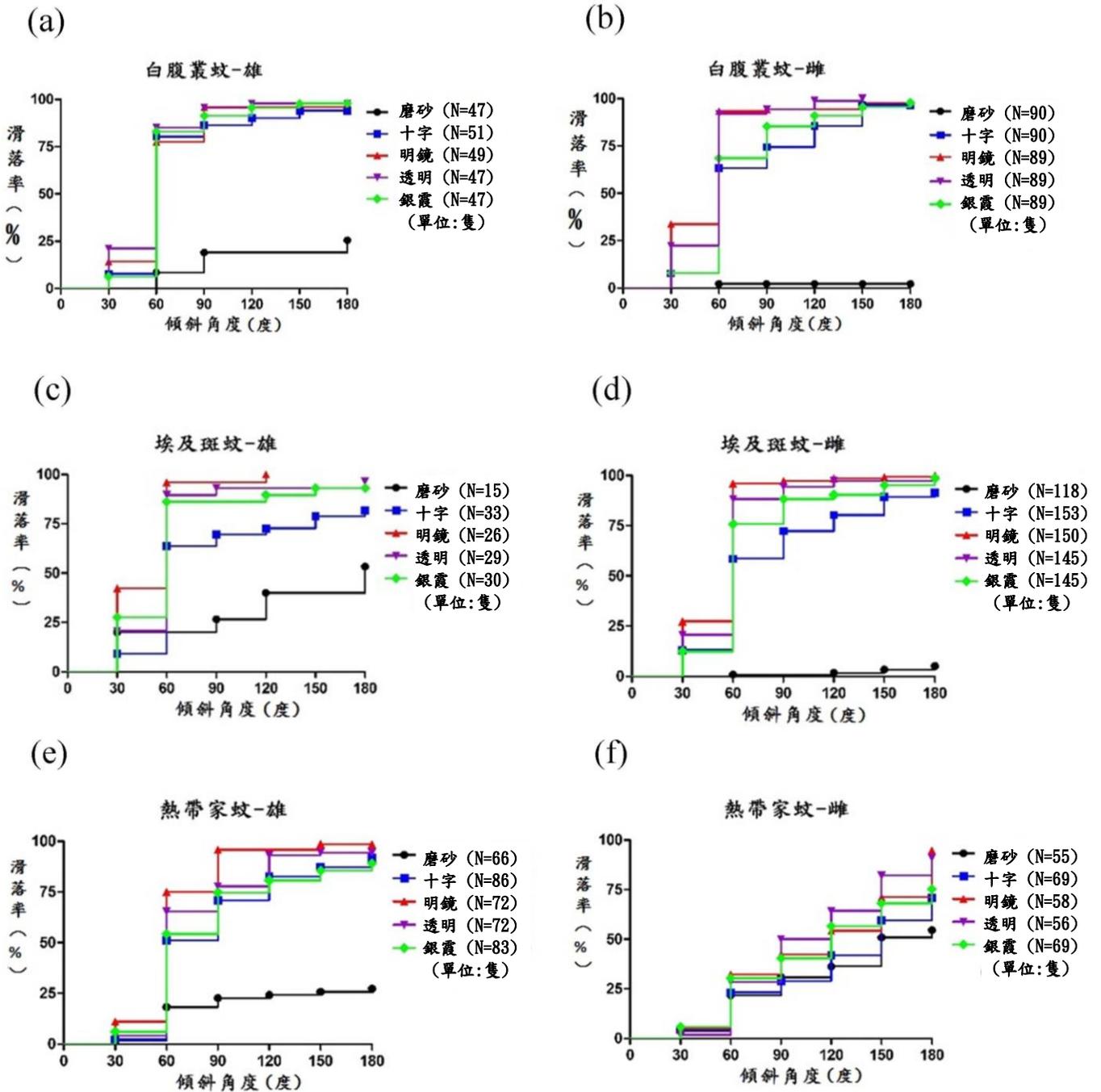
本測試目的為了解蚊子在日常生活中不同材質表面的附著情況。由於雌蚊會吸血，而雄蚊不會，因此測試中使用較常在家中出現的雌蚊。而家中常出現的表面通常都垂直於地面，所以本測試只記錄雌蚊在垂直表面時的滑落個數。將上述三種已剪去翅膀的雌蚊，分別放置在六種木頭、有無烤漆的鐵捲門及擦拭前後的玻璃窗上，再將表面慢慢抬升至 90 度，並記錄其滑落個數。

七、容器表面對埃及斑蚊的產卵影響測試

由於埃及斑蚊(雌)為登革熱的傳染媒介，且會將卵產在積水容器的內壁，並沿著水線產卵，因此我們想了解表面容易停靠與否對產卵數的影響。本項測試先以小白鼠餵食埃及斑蚊(雌)血液 30 分鐘，待 3 天後雌蚊體內的卵發育成熟。再將雌蚊放入邊長為 30 公分的立方昆蟲飼育箱中，並將鋪上磨砂玻璃與明鏡玻璃的產卵容器放入其內，提供 20 隻懷卵埃及斑蚊(雌)產卵場所產卵 4 天，並重複試驗兩次。

伍、研究結果

一、蚊子對玻璃表面的附著力測試



圖七、白腹叢蚊、埃及斑蚊、熱帶家蚊-雄雌分別對各式玻璃表面附著測試結果。

說明：(a) 白腹叢蚊-雄、(b) 白腹叢蚊-雌、(c) 埃及斑蚊-雄、(d) 埃及斑蚊-雌、(e) 熱帶家蚊-雄、(f) 熱帶家蚊-雌。

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	0.0%	8.5%	19.2%	19.2%	19.2%	25.5%
十字	7.8%	80.4%	86.3%	90.2%	94.1%	94.1%
明鏡	14.3%	77.6%	95.9%	95.9%	95.9%	98.0%
透明	21.3%	85.1%	95.7%	97.9%	97.9%	97.9%
銀霞	6.4%	83.0%	91.5%	95.7%	97.9%	97.9%

表一、白腹叢蚊-雄對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、a)

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	0.0%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%
十字	7.8%	63.3%	74.4%	85.6%	96.7%	96.7%
明鏡	33.7%	93.3%	94.4%	94.4%	97.8%	97.8%
透明	22.5%	92.1%	94.4%	98.9%	100%	100%
銀霞	7.9%	68.5%	85.4%	91.0%	95.5%	97.8%

表二、白腹叢蚊-雌對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、b)

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	20.2%	20.0%	26.7%	40.0%	40.0%	53.3%
十字	9.1%	63.6%	69.7%	72.7%	78.8%	81.8%
明鏡	42.3%	96.2%	96.2%	100.0%	100.0%	100.0%
透明	20.7%	89.7%	93.1%	93.1%	93.1%	96.6%
銀霞	26.7%	83.3%	83.3%	90.0%	93.3%	93.3%

表三、埃及斑蚊-雄對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、c)

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	0.0%	0.9%	0.9%	1.7%	3.4%	5.1%
十字	13.1%	58.2%	72.6%	80.4%	89.5%	91.5%
明鏡	27.3%	96.0%	97.3%	98.7%	99.3%	100.0%
透明	20.7%	88.3%	94.5%	97.2%	97.2%	97.9%
銀霞	12.4%	75.9%	88.3%	90.3%	95.2%	98.6%

表四、埃及斑蚊-雌對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、d)

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	1.5%	18.2%	22.7%	24.2%	25.8%	27.3%
十字	2.3%	51.2%	70.9%	82.6%	87.2%	91.9%
明鏡	11.1%	75.0%	95.8%	95.8%	98.6%	98.6%
透明	4.2%	65.3%	77.8%	93.1%	94.4%	94.4%
銀霞	6.0%	54.2%	74.7%	80.7%	85.5%	89.2%

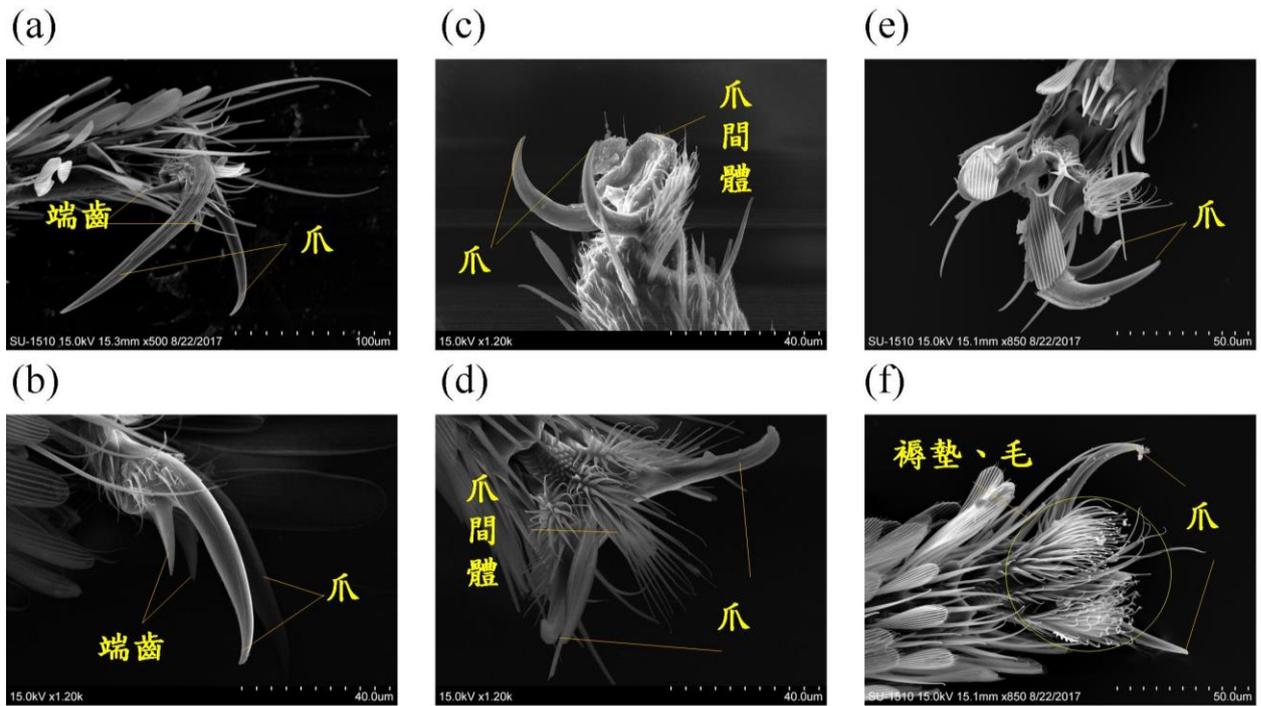
表五、熱帶家蚊-雄對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、e)

角度 表面	30°	60°	90°	120°	150°	180°
磨砂	3.6%	21.8%	30.9%	36.4%	50.9%	54.6%
十字	4.4%	23.2%	29.0%	42.0%	59.4%	71.0%
明鏡	5.2%	32.8%	43.1%	55.2%	72.4%	94.8%
透明	1.8%	28.6%	50.0%	64.3%	82.1%	91.1%
銀霞	5.8%	30.4%	40.6%	56.5%	68.1%	75.4%

表六、熱帶家蚊-雌對各式玻璃表面在不同角度之滑落率。(如圖七、f)

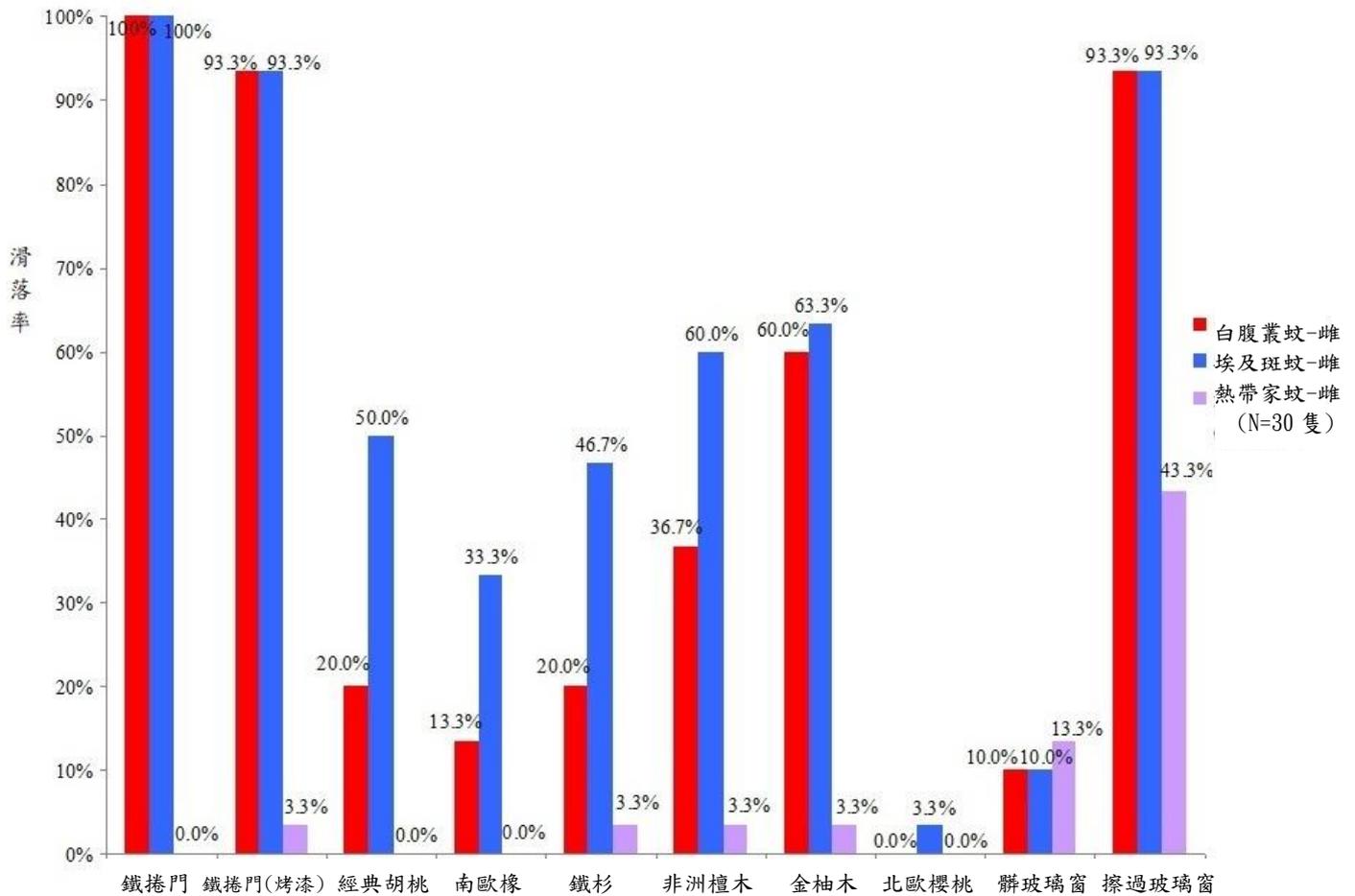
二、蚊子足部附著構造觀察

透過掃描式電子顯微鏡觀察三種蚊子的足部附著構造可發現：雌、雄蚊的足部具有不同的形態，各蚊種間的附著構造也有所差異（如圖八）。照片中可看見蚊子的主要附著構造是爪，並且有其他構造來幫助附著。白腹叢蚊雌雄都具有**端齒**（如圖八 a、b）；埃及斑蚊雌雄蚊則能夠觀察到小片的**爪間體**（如圖八 c、d）；熱帶家蚊雌蚊在跗節處具有膨大**褥墊**構造，上面還具有末端膨大的毛（如圖八 f）。



圖八、以掃描式電子顯微鏡觀察蚊子足部附著構造。(a)白腹叢蚊雄蚊、(b)白腹叢蚊雌蚊、(c)埃及斑蚊雄蚊、(d)埃及斑蚊雌蚊、(e)熱帶家蚊雄蚊、(f)熱帶家蚊雌蚊。

三、雌蚊對居家常見表面的附著力測試



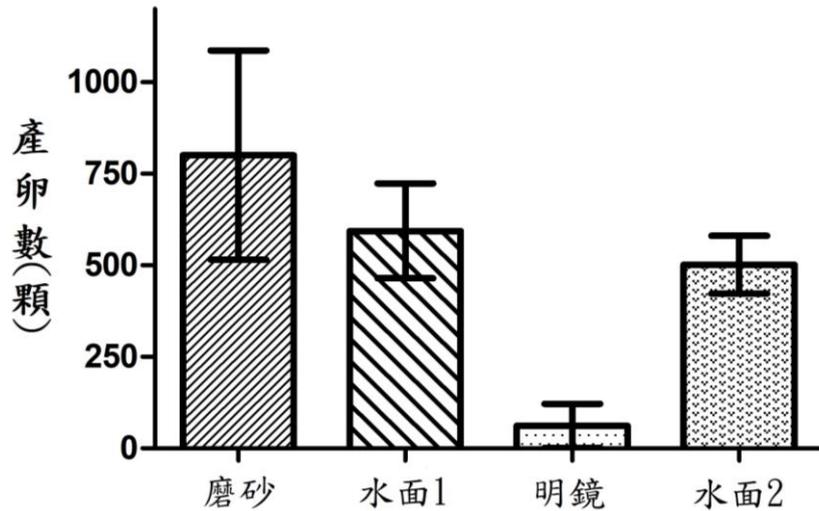
圖九、白腹叢蚊雌蚊、埃及斑蚊雌蚊、熱帶家蚊雌蚊對居家常見表面之附著力測試結果。

表面 \ 蚊種	白腹叢蚊-雌	埃及斑蚊-雌	熱帶家蚊-雌
鐵捲門	100.0%	100.0%	0.0%
鐵捲門(烤漆)	93.0%	93.0%	3.3%
經典胡桃	20.0%	50.0%	0.0%
南歐橡木	13.3%	33.3%	0.0%
鐵杉	20.0%	46.7%	3.3%
非洲檀木	36.7%	60.0%	3.3%
金柚木	60.0%	63.3%	3.3%
北歐櫻桃	0.0%	3.3%	0.0%
髒玻璃窗	10.0%	10.0%	13.3%
擦過玻璃窗	93.3%	93.3%	43.3%

表七、白腹叢蚊雌蚊、埃及斑蚊雌蚊、熱帶家蚊雌蚊對居家常見表面在垂直時之滑落率。(如圖九)

四、容器表面對埃及斑蚊的產卵影響測試

兩次試驗中在磨砂玻璃內壁產卵數平均為 800.5 顆，在磨砂玻璃容器的水面(水面 1)產卵數平均為 593.5 顆；另外在明鏡玻璃內壁產卵數平均為 61 顆，在明鏡玻璃容器的水面(水面 2)產卵數平均為 501 顆。



圖十、容器表面對埃及斑蚊-雌產卵之影響結果。

陸、討論

一、蚊子對玻璃表面的附著力測試

(一) 觀察各蚊種的滑落率，可將蚊子的滑落狀況分成熱帶家蚊-雌與其他蚊子。

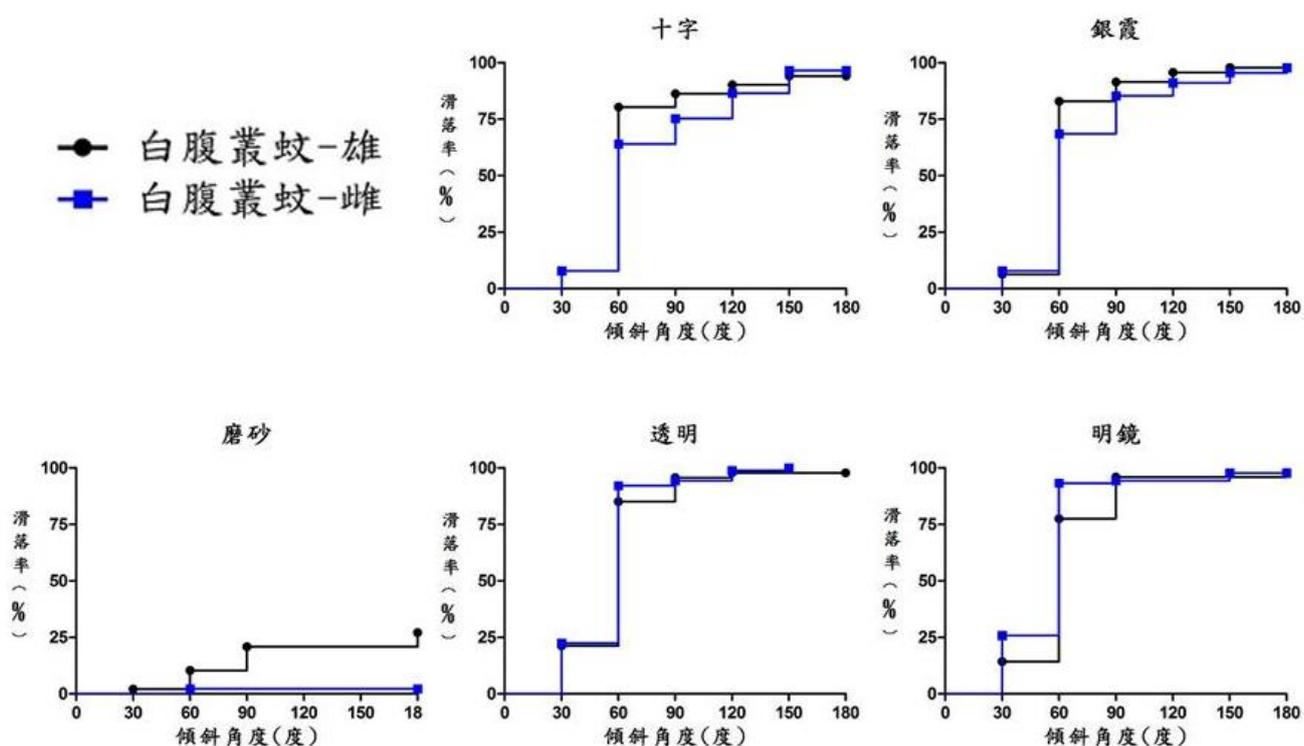
1. 其他蚊子

在磨砂玻璃上的滑落率明顯較低，且在其他玻璃上傾斜 60 度前皆會滑落超過 50%。另外四種玻璃中，蚊子在十字玻璃和銀霞玻璃上多數的角度滑落率是最低或次低的，而在明鏡玻璃和透明玻璃上的滑落率幾乎都是最高或次高的。

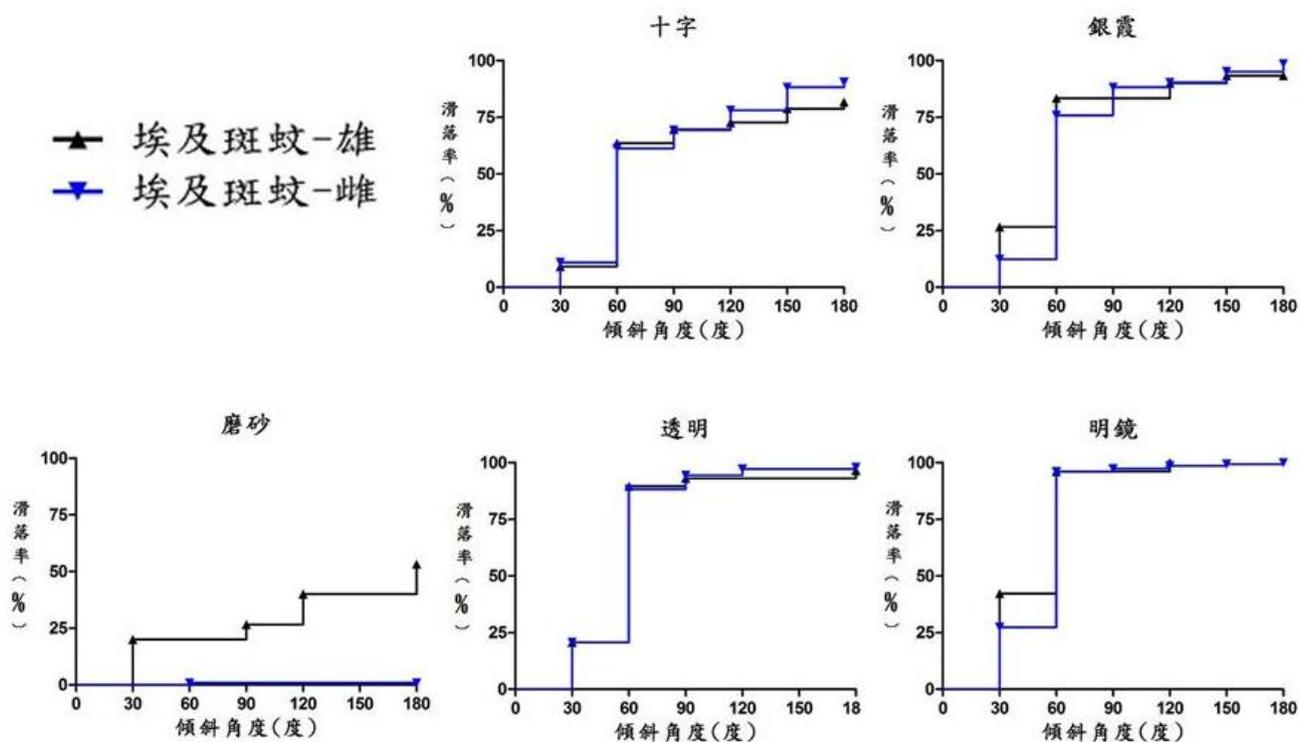
2. 熱帶家蚊-雌

在磨砂玻璃上的滑落率不像其他蚊子明顯較低，且在每種玻璃的每個角度都只有小幅度滑落，不像其他蚊子在 60 度前都會有大幅滑落的現象。另外，五種玻璃中，在磨砂玻璃和十字玻璃上的滑落率為最低或次低，而在明鏡玻璃上的滑落率是最高的。

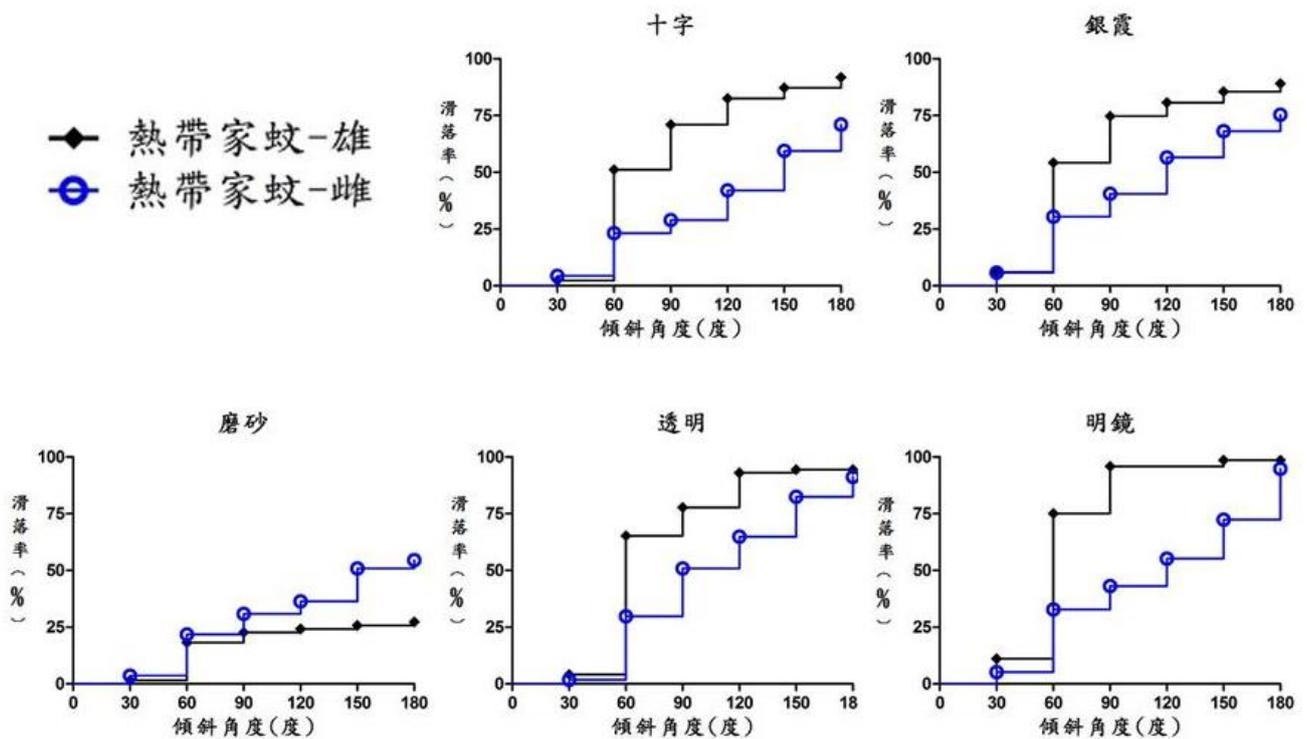
(二) 雌雄比較



圖九、白腹叢蚊雄蚊與雌蚊在各式玻璃表面上滑落率之比較。



圖十、埃及斑蚊雄蚊與雌蚊在各式玻璃表面上滑落率之比較。



圖十一、熱帶家蚊雄蚊與雌蚊在各式玻璃表面上滑落率之比較。

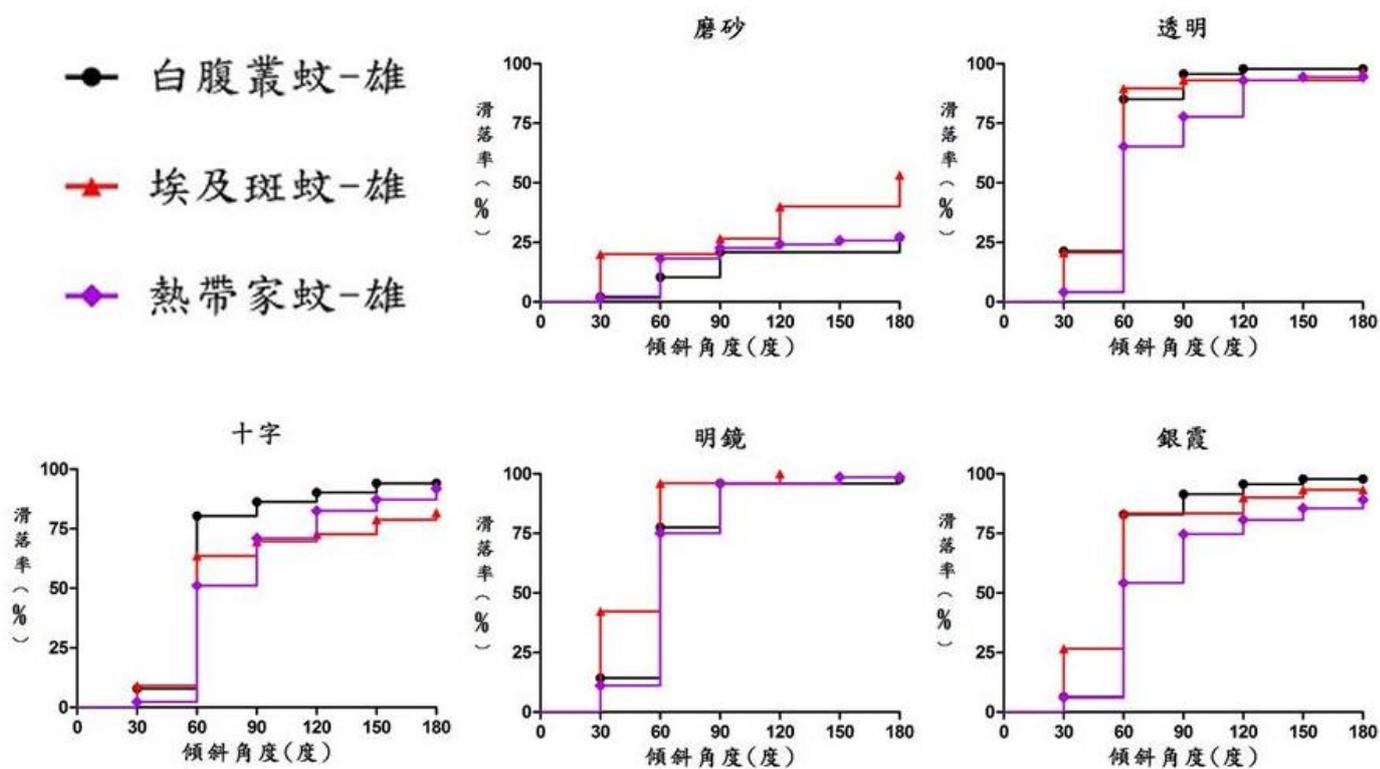
1. 白腹叢蚊、埃及斑蚊(如圖九、圖十)

白腹叢蚊、埃及斑蚊的雌雄蚊在磨砂玻璃上的滑落率有較明顯的差異，且都是雄蚊的滑落率較高。而在其他玻璃上的表現雖相似，但滑落率還是有所不同。

2. 熱帶家蚊(如圖十一)

熱帶家蚊雌蚊在磨砂玻璃上的滑落率較雄蚊高，而在其他玻璃上都是雄蚊的滑落率較雌蚊高。

(三) 雄蚊比較(如圖十二)



圖十二、白腹叢蚊、埃及斑蚊、熱帶家蚊雄蚊在各式玻璃表面上滑落率之比較。

1. 十字玻璃

白腹叢蚊-雄的滑落率最高，而其餘兩者中，60 度前埃及斑蚊-雄的滑落率較高，60 度後則是熱帶家蚊-雄的滑落率較高。

2. 磨砂、明鏡玻璃

埃及斑蚊-雄的滑落率最高，而其餘兩者表現相似。

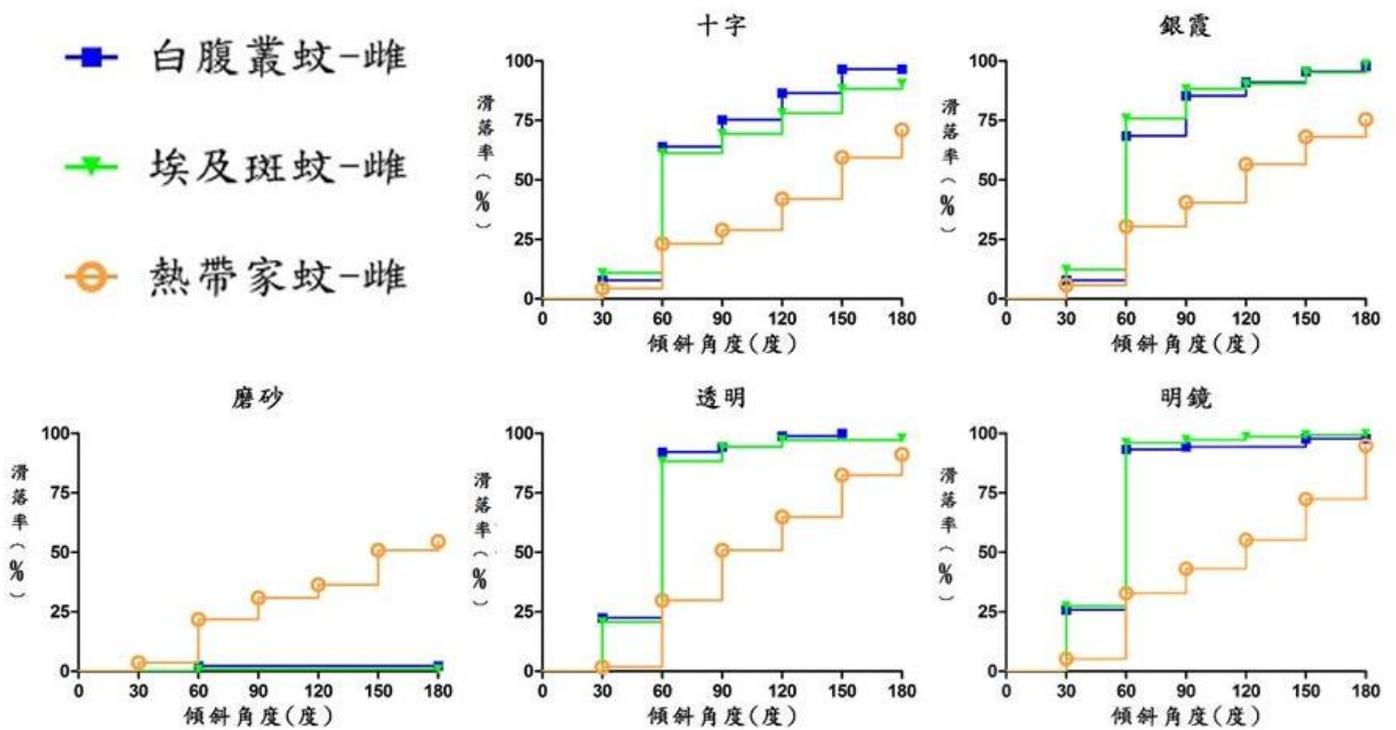
3. 透明玻璃

白腹叢蚊-雄、埃及斑蚊-雄表現相似，且滑落率較熱帶家蚊-雄高。

4. 銀霞玻璃

在 60 度前，埃及斑蚊-雄的滑落率最高，60 度後則是白腹叢蚊-雄的滑落率最高，熱帶家蚊-雄的滑落率明顯為最低。

(四) 雌蚊比較(如圖十三)



圖十三、白腹叢蚊、埃及斑蚊、熱帶家蚊雌蚊在各式玻璃表面上滑落率之比較。

1. 磨砂玻璃

熱帶家蚊-雌的滑落率最高，而白腹叢蚊-雌與埃及斑蚊-雌的表現相似。

2. 其他玻璃

白腹叢蚊-雌與埃及斑蚊-雌的表現相似，且較熱帶家蚊-雌的滑落率高。

由以上比較可得知，同一種蚊子在不同的表面展現出的附著能力會有所差異。而不同性別及種類蚊子的附著能力也會不同。且在某種表面附著力最佳的蚊子，在其他表面未必如此。因此，蚊子的附著能力並沒有一定好或壞，要視表面而定。

二、蚊子足部附著構造觀察

從電子顯微鏡照片中可看出爪是蚊子的主要附著構造，其構造在附著時會鉤住物體表面的顆粒，並且搭配其他構造(如:端齒、爪間體、褥墊、毛)幫助附著。

照片中可發現不同蚊種的附著構造不同，且同種間雌雄蚊的足部附著構造為雌雄二型性，而構造上的差異是造成牠們附著能力不同的原因。

另外，熱帶家蚊-雌的足部具有明顯的褥墊，並具有末端膨大的毛。依此觀察並配合實驗數據可發現，多了此構造讓熱帶家蚊-雌在上述測試中不像其他蚊子在 60 度前有大幅滑落的現象。

三、雌蚊對居家常見表面的附著力測試

藉由測試結果我們發現，每種蚊子對於各式表面皆展現出不同的附著能力。

(一) 鐵捲門、鐵捲門(烤漆)

白腹叢蚊-雌與埃及斑蚊-雌滑落率極高，而熱帶家蚊-雌滑落率極低，此顯示出熱帶家蚊-雌明顯較容易附著在此二種表面上。

(二) 六種木頭

滑落率皆為埃及斑蚊-雌 > 白腹叢蚊-雌 \geq 熱帶家蚊-雌。

(三) 髒玻璃窗、擦過玻璃窗

在髒玻璃窗上，三種雌蚊皆有很高的比例能附著，表示其上的灰塵使得窗戶表面較好停靠。將髒玻璃窗用拭鏡紙擦拭乾淨後，能停在上面的蚊子明顯減少，但熱帶家蚊-雌仍有超過半數能停在其上。

由測試可以發現白腹叢蚊-雌在木頭上的滑落率皆較埃及斑蚊-雌低，但在其他表面上則表現相同。而熱帶家蚊-雌在髒玻璃以外的表面中滑落率都是最低的，代表較容易在居家常見表面上附著。另外，從髒玻璃與擦過玻璃的比較中亦可發現玻璃清潔與否會影響蚊子附著。

四、容器表面對埃及斑蚊的產卵影響測試

藉由測試結果，我們可以看出埃及斑蚊-雌在磨砂玻璃上(較好停靠)的產卵數明顯多於明鏡玻璃上(較難停靠)的產卵數。然而，我們也觀察到有一定數量的卵產在水面上，但多數資料並沒有提及有此現象。而透過此測試可以得知：表面是否容易附著會影響埃及斑蚊-雌的產卵數。

柒、應用

若家中大門與門外附近的材質為蚊子難以停靠的表面，就可以避免蚊子附著其上，降低蚊子在門邊出現的機率，進而減少蚊子在開門時進入家中。也可以藉由擦拭窗戶來降低蚊子窗邊出現的機率，達到同樣的效果。

由測試可以得知積水容器的內壁是否容易停靠會影響埃及斑蚊的產卵數。若家中積水容器的內壁改為埃及斑蚊雌蚊難以停靠的表面，就能有效減少在內壁上的產卵數。至於產在水中的卵，網路上也有文章指出：在水中加入肥皂或洗衣粉可以使蚊卵無法孵化及殺死孑孓。如此一來家中的積水容器就能避免成為孳生源，進一步減少登革熱的發生。

未來若能開發噴霧，將其噴在表面上後讓表面覆蓋一層蚊子的爪鉤不住的顆粒，使蚊子無法附著其上。若將噴霧噴在家中牆壁，也許可以達到減少蚊子出現的效果。

捌、結論

- 一、蚊子在不同的材質表面會展現出不同的附著能力。
- 二、蚊子主要的附著構造是爪，並且有其他構造幫助附著。
- 三、不同性別及種類的蚊子附著構造有所差異，並且是造成附著能力不同的原因。
- 四、不是所有家中的表面蚊子都能附著。
- 五、可以透過清潔窗戶避免蚊子停靠。
- 六、不易停靠的表面能減少埃及斑蚊雌蚊在其上產卵的數量。
- 七、期望能透過試驗結果設計出有用的物理忌避，減少蚊子對人們造成的困擾。

玖、參考資料

- 一、 Gorb, S. (2001) Attachment devices of insect cuticle. 1st ed. p. 37-75.
- 二、 蔡餘慶，(2014)，樹型與地型螞蟻受表面形貌影響之附著生物力學，國立中興大學碩士論文。
- 三、 徐堉峰，(2004)，昆蟲學概論，P.33-36。
- 四、 周欽賢 等，(1999)，國立編譯館 醫學昆蟲學 增訂第二版，P.80-106，P.387-395。