

# 2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 050010

參展科別 動物學

作品名稱 龜兔賽跑中的兔子：蚤蠅的高頻率間歇性運動  
之探討

得獎獎項

就讀學校 國立彰化高級中學

指導教師 紀凱容、王鴻翔

作者姓名 許禾臻

關鍵詞 蚤蠅、間歇性運動、生物力學

## 作者簡介



我是許禾臻，就讀彰化高中科學班二年級，這是我第一次參加國際科展。由於科學班在一年級下學期時，會至中興大學做專題研究，又因我對物理及生物皆有興趣，便進入了生物力學實驗室。在紀凱容教授、關貫之學長和王淨薇學姊，以及生物力學實驗室的各個學長姐協助和指導下，學習到了許多生物力學領域的知識，且完成了此份研究。

## 摘要

動物的移動過程並非連續，而是呈現經常性行走與停頓的「間歇性運動」，停頓頻率依物種而異。前人研究發現，間歇性運動可助動物恢復體力、增加對環境的感知、及減少被天敵的測知。蚤蠅是已知展現間歇性運動的動物中停頓頻率最高的類群之一，基於前人研究，我們推測蚤蠅可透過間歇停頓來達到更好的運動表現。為探討蚤蠅的高頻率間歇性運動，本研究運用高速攝影機，以每秒 960 幀的速率來拍攝腐肉蚤蠅、蟻客蚤蠅、及有翅蚤蠅的間歇性運動行為。數據分析結果顯示，所有蚤蠅的停頓時長與下一步的移動距離、移動時長、平均移動速率呈低度相關。藉由測量每次移動路徑方向的轉動角度，並進行種間比較，發現間歇性運動可透過增加轉角或頻率，來增加路徑的多變性。最後，當天敵存在時，蟻客蚤蠅的間歇性運動移動時長增加，頻率下降，或可減少被捕食的機會。

## Abstract

Animal movements are not continuous, but present “intermittent locomotion” with alternating go-and-stop. Previous studies suggest that intermittent locomotion could help the animals recover from fatigue, and enhance sensibility to the environment. The phorid flies are among animals with the highest intermittent moving frequency. Based on previous studies, we hypothesized that phorid flies can achieve better performance after each stop. To this end, we used high-speed camera to film their movements at 960 fps. Results show that the duration of each stop has no significant effects on the travel distance, moving duration, or mean velocity of the following step. The angles of body rotation between each steps show interspecific variation, suggesting intermittent locomotion can increase path variability by increasing body rotation or stop frequency. Lastly, we found that the phorid flies tend to decrease stop frequency but increase moving duration with the presence of the predators.

# 壹、 前言

## 一、文獻探討

在大部分的生理學或生態學研究中，多假設動物的運動處於穩態，也就是持續相同的運動模式，但事實上有很多動物在毫秒到分鐘時間尺度的運動過程中，會出現多組「移動—停下」且伴隨著速度、時長改變的「間歇性運動」(Kramer & McLaughlin, 2001)。具有間歇性運動的物種橫跨許多分類類群，且從水生、陸生、乃至飛行動物都有，而間歇性運動的頻率範圍也從每秒十幾次到每分鐘數次。蚤蠅是具有高頻率間歇性運動最發達的類群之一(Gleiss et al., 2011)，紀錄顯示其間歇性運動的頻率大約為 7.5Hz(Kramer & McLaughlin, 2001)。

前人在探討間歇性運動的可能目的時提出(Kramer & McLaughlin, 2001)，動物可在短暫的停頓中 (1) 恢復疲勞進而提高接下來的運動耐力與表現，(2) 增加偵測環境的機會而獲得感知利益，或 (3) 透過高頻率間歇性運動使捕食者難以預測其移動路徑，以降低自身被捕食的風險。

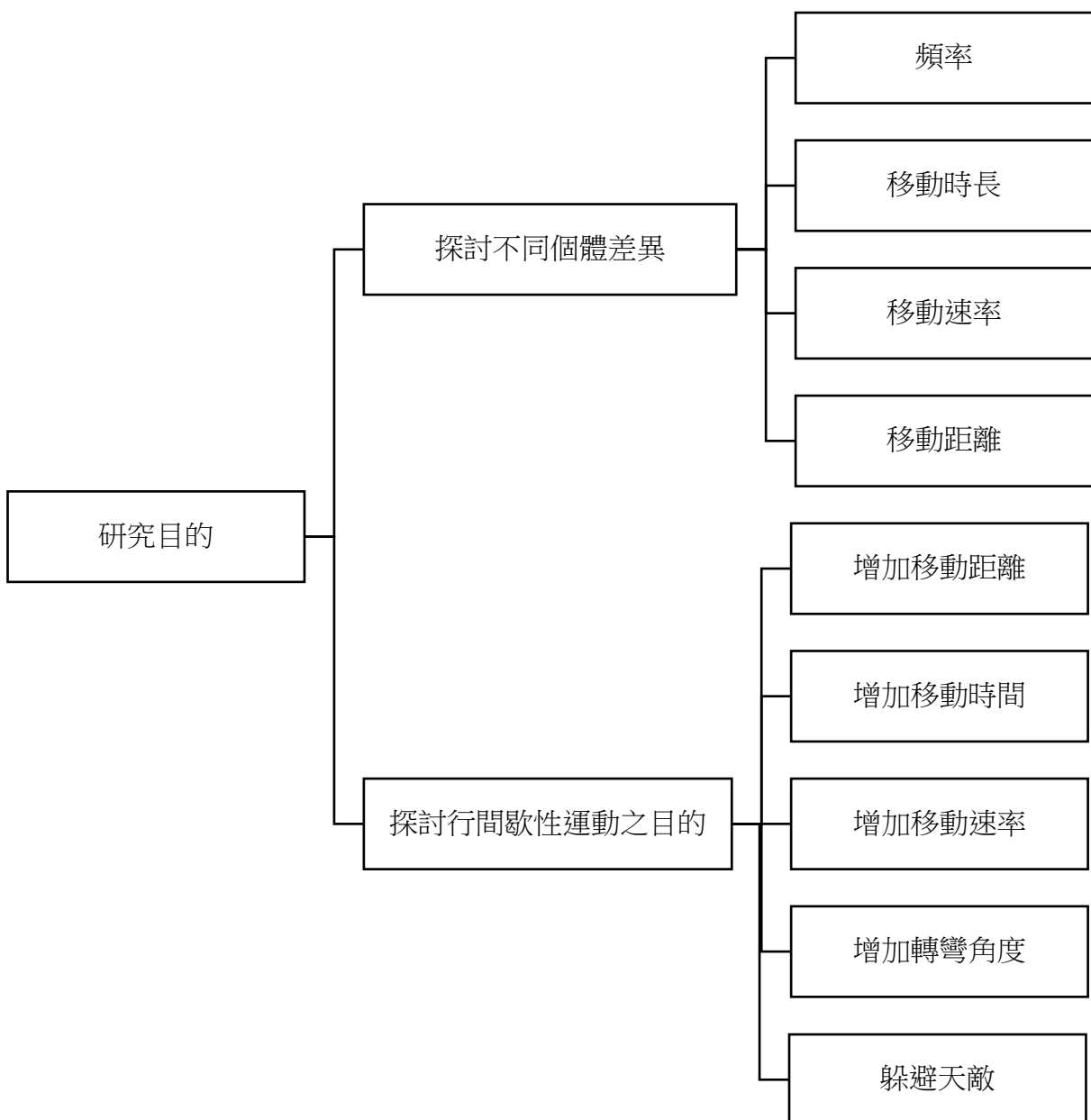
蚤蠅科 (Phoridae)包含大約 4000 個物種，具有約 230 個屬，幾乎適應所有的生態棲位，有大量的物種為寄生或食腐肉(Disney, 2012)。許多腐肉蚤蠅的雌蟲翅膀退化，如 *Laciniomyia* 屬與 *Tabelliphora* 屬的物種(Kung & Brown, 2005)。過去被發現具有高頻率間歇運動的蚤蠅便是腐肉蚤蠅(Miller, 1979)。另外也有寄居在螞蟻巢中的蚤蠅，同樣雌蟲翅膀也退化失去功能，如 *Rhynchomicropteron* 屬的物種。這類蚤蠅目前已知至少有 19 個物種分布在亞洲，雌蟲被發現可以依靠雄蟲的攜帶飛行，遷移到下一個蟻巢 (Lengyel, 2011)。

## 二、研究動機

透過文獻可知，蚤蠅在短時間內走走停停數次的間歇性運動具有比其他動物還高的頻率；然而，相對於人類，在短時間內減速、加速是非常耗能的，需透過停頓休息才能提高下一階段的運動表現，不知俗話所說的「休息是為了走更長遠的路」能否也套用在與人類體型差異甚大的小尺度昆蟲如蚤蠅呢？因此，本研究將探討蚤蠅高頻率間歇性運動的模式，以及其進行間歇性運動的目的。我參考前人的看法，提出以下三個進行間歇性運動的假說：一、蚤蠅可藉由增加停頓時長來提升下一步之運動表現（移動距離、平均速率、移動時長）；二、蚤蠅可藉由高頻率停頓來改變下一步的前進方向，從而增加改變路徑之可能；三、蚤蠅可藉由高頻率運動，來躲避天敵以增加生存可能。

## 貳、 研究目的







- 一、探討蚤蠅的間歇性運動模式（包含頻率、移動時長、移動速率、移動距離），並進行類群間比較
  - 二、探討蚤蠅停頓時長能否增加下一步之運動表現，包含移動距離、平均速率、停頓時長等
  - 三、探討在停頓後，野生蚤蠅是否比蟻客蚤蠅更傾向改變身體前進方向（即身體轉彎角度）
  - 四、在有天敵的情況下，蟻客蚤蠅是否會改變間歇性運動的模式（如頻率、移動時長等）
- 下圖總結本研究的目的及所探討的運動學因子：



## 參、 研究對象與器材

### 一、 研究對象

本研究探討的物種如下表所示，是台灣的六種蚤蠅，其中五種為無翅蚤蠅，一種是有翅的居家常見蚤蠅 (*Megaselia, Me. sp.*)。無翅蚤蠅中有四種是吃腐肉的蚤蠅 (*Puliciphora, Pu. sp1~sp4*)，一種為喜蟻性蚤蠅 (*Rhynchomicropteron, Rh. sp*)，多棲息於螞蟻巢內，俗稱蟻客。照片、有無翅、棲位以及本研究中的簡稱如下：

					
<i>Rh. sp</i>	<i>Pu. sp1</i>	<i>Pu. sp2</i>	<i>Pu. sp3</i>	<i>Pu. sp4</i>	<i>Me. sp</i>
Wing-less					Wing
Ant-guest			Wild		

### 二、 研究器材

#### (一) 採集

1. 布丁盒附蓋子
2. 石膏
3. 狗飼料 (西沙)
4. 吸蟲管

#### (二) 飼養

1. 布丁杯
2. 死亡白蟻

#### (三) 拍攝

1. 解剖顯微鏡 (Leica EZ4)
2. 圓形培養皿 (直徑 3 cm)
3. 沾濕濾紙
4. 手機 (HUAWEI Mate30 Pro)
5. 手機固定架

## 肆、研究方法與過程

### 一、採集

喜蟻性蚤蠅採集自惠蓀林場湯公碑步道上的螞蟻巢中，以吸蟲管吸取。腐肉蚤蠅則採用誘集取得，首先將直徑 3 cm 的圓形透明塑膠容器加入石膏以增加高度，再將其放入狗飼料作為誘餌，並在透明塑膠蓋上做一十字作為洞口，最後將容器放置於中興大學黑森林草地上進行誘集。有翅蚤蠅採集自中興大學建築物室內環境。

### 二、飼養

自野外或室內採集之蚤蠅皆飼養於布丁杯中，並以死亡的白蟻作為飼料餵食。

### 三、運動行為拍攝

先將蚤蠅放入冰箱數秒使其昏倒，再將牠們放入直徑 3 cm 的培養皿作為觀察盛裝容器，並在培養皿內放入剪成圓形的沾濕濾紙避免蚤蠅在顯微鏡光照下乾掉。將手機（HUAWEI Mate30 Pro）架設於解剖顯微鏡（Leica EZ4）的目鏡上，攝影之影格率設定為 960 幀/秒，用以拍攝蚤蠅間歇性運動行為。

### 四、數據分析

所有影片皆運用影像分析軟體 Tracker 來進行標記點追蹤、量化、與運動學分析，計算與分析結果則由 Excel 與 PAST 分析軟體來進行數據分析、作圖、及統計分析。

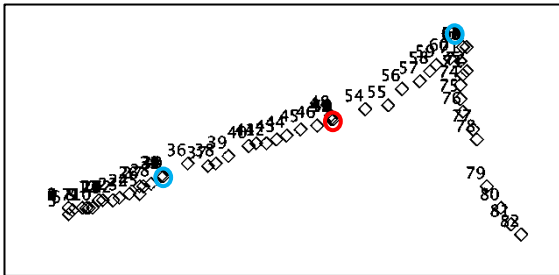


Figure 1 行走路徑圖

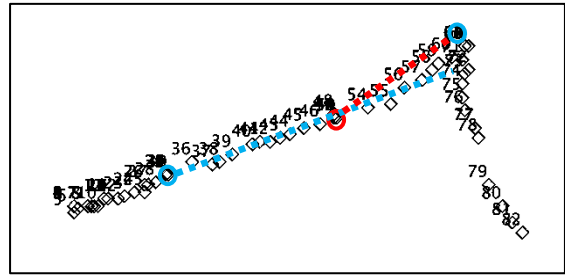


Figure 2 轉動角度測量示意圖

每一步的週期以 Figure 1 為例來說明，黑色菱形為行走軌跡，紅色與藍色圓圈分別代表不同停頓位置，我們將一週期定義為一次移動加上一次停頓，也就是說，一個週期即為一個紅色圓圈開始到一個藍色圓圈開始的間隔時長。身體轉彎角度則為前後兩段路徑之夾角，以 Figure 2 為例，即為藍線與紅線之夾角。移動中的平均速率為黑色菱形路徑長除以每步時長（即一個紅色圓圈結束到一個藍色圓圈開始的間隔時長）：

$$\text{移動中平均速率} = \frac{\text{單次週期內移動距離}}{\text{移動時長}}$$

## 伍、 研究結果

### 一、 不同蚤蠅類群の間歇性運動模式是否相同？

#### 1. 頻率

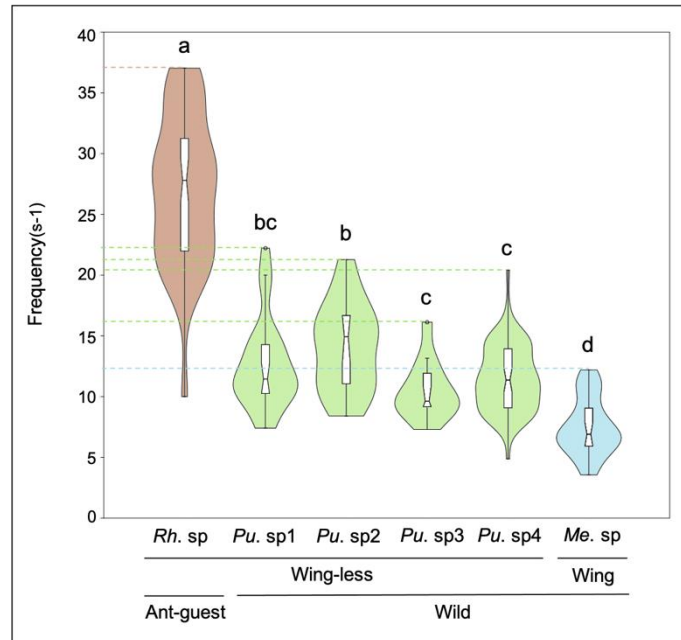


Figure 3 不同個體的頻率盒狀圖

Figure 3 顯示，蟻客蚤蠅 (*Rh. sp*) の間歇性運動頻率顯著高於其他物種，頻率範圍為 10Hz 到 37Hz，平均頻率高達 27Hz，約為其他物種的 2 倍。而腐肉蚤蠅 (*Pu. sp1*、*Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4*) の間歇性運動頻率相較於 *Rh. sp* 變化範圍較小，平均頻率落在 7~12Hz。



## 2. 移動時長

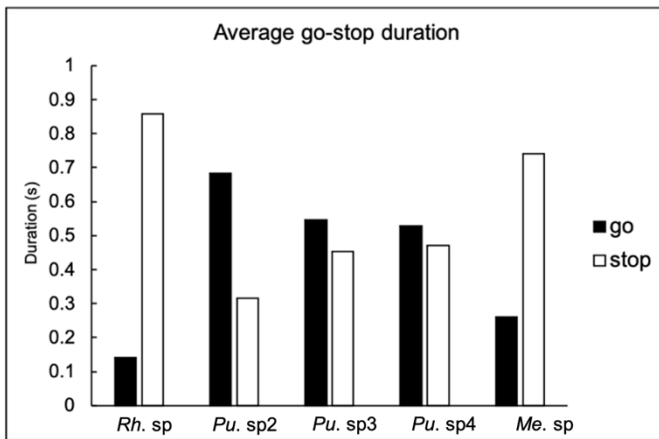


Figure 4 不同個體的平均移動-停頓時長長條圖

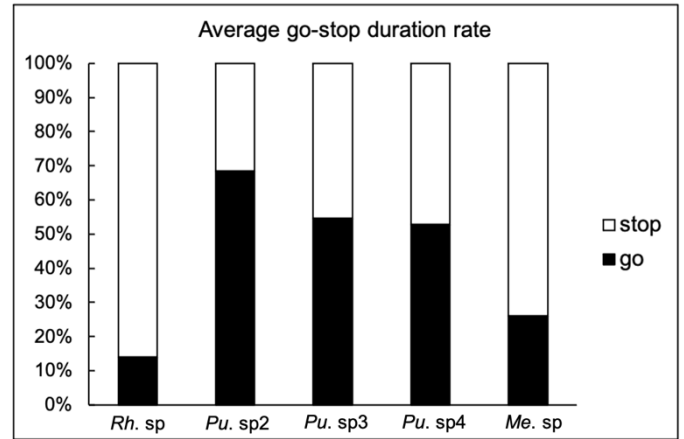


Figure 5 不同個體的移動-停頓時長比例長條圖

Figure 4 顯示，在間歇性運動的平均移動時長和停頓時長上，腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的移動時長皆大於停頓時長，其中 *Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的移動時長與停頓時長較為接近；蟻客蚤蠅 *Rh. sp* 和有翅蚤蠅 *Me. sp* 則相反，皆是停頓時長顯著大於移動時長。Figure 5 顯示，在平均移動與停頓的時間比例上，腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的相對移動時長佔比皆大於停頓時長，其中 *Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的相對移動時長約等於停頓時長。而蟻客蚤蠅 *Rh. sp* 和有翅蚤蠅 *Me. sp* 的相對停頓時長佔比顯著大於移動時長，*Rh. sp* 的停頓時長約為移動時長的 5 倍，*Me. sp* 的停頓時長則約為移動時長的 4 倍。

### 3. 移動中的平均速率

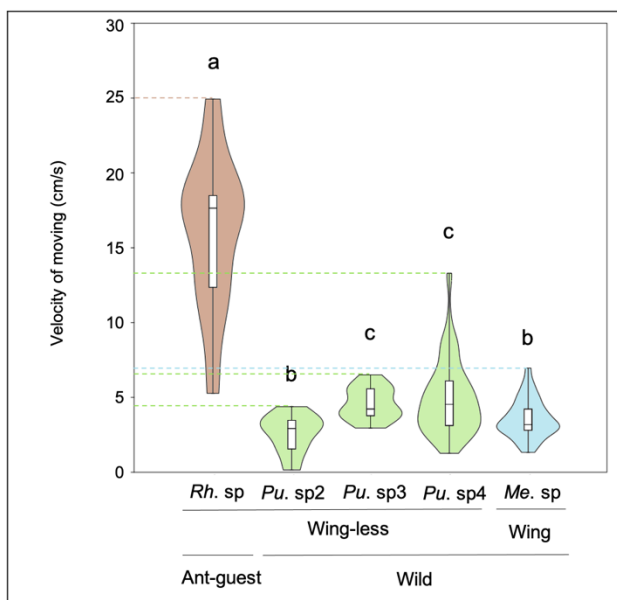


Figure 6 不同個體的移動中的平均速率盒狀圖

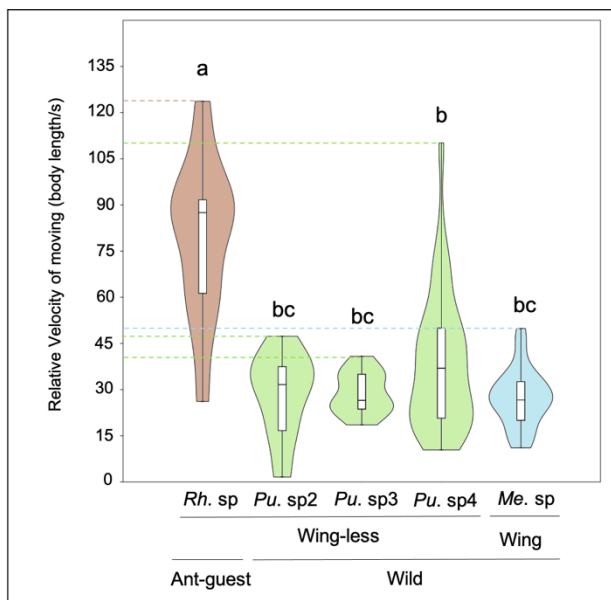


Figure 7 不同個體的移動裝相對體長平均速率盒狀圖

Figure 6 顯示，蟻客蚤蠅在移動中的平均速率顯著高於其他物種，移動中的平均速率高達每秒 17 公分，大約為其他物種的 3~4 倍，且在所有測試物種中的速率變異最廣。而腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的平均速率則落在每秒 3~5 公分，變異較蟻客蚤蠅小，有翅蚤蠅 *Me. sp* 的分布情形與 *Pu. sp2* 相似。Figure 7 顯示，若以相對體長來量化移動中的平均速率，蟻客蚤蠅最快可在每秒中移動 125 倍自身體長的距離，平均速率也高達每秒鐘移動近 90 倍的體長。而腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的平均速率則大約落在每秒移動 20~35 倍體長。而有翅蚤蠅 *Me. sp* 最高移動速率也可達每秒 50 倍體長。

#### 4. 移動距離

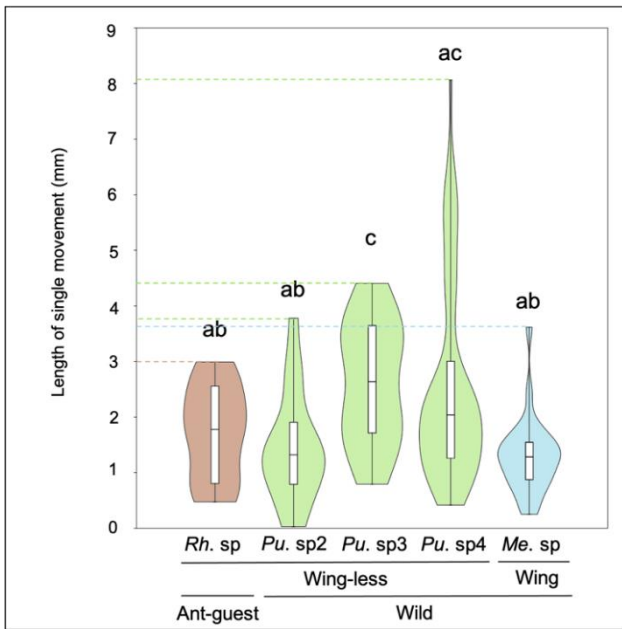


Figure 5 不同個體的移動距離盒狀圖

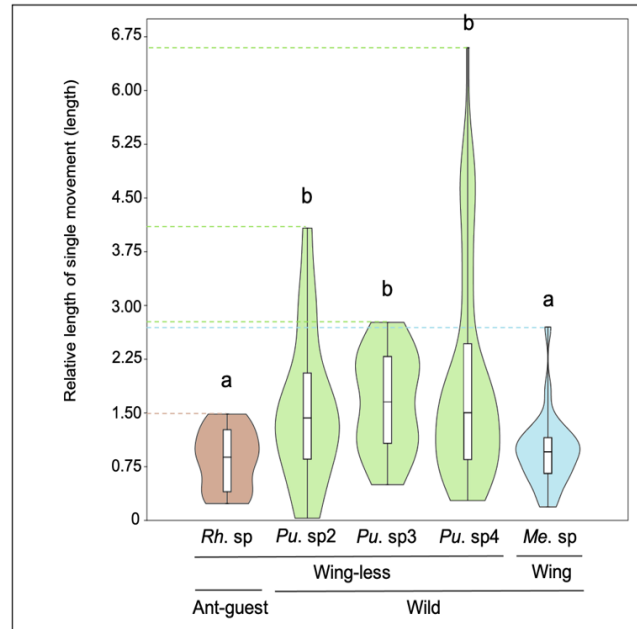


Figure 9 不同個體的相對體長移動距離和狀圖

在 Figure 8 一次移動距離上，整體範圍介於 0~8 mm 之間，個體間差異較小，平均值皆落在 1~2.5 mm 之間。腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 平均移動距離落在 1.2~2.5 mm，其中 *Pu. sp4* 分佈範圍最廣，最高可達 8.1 mm。而有翅蚤蠅 *Me. sp* 範圍分布最集中，平均為 1.3mm。在 Figure 9 相對體長的一次移動距離上，蟻客蚤蠅 *Rh. sp* 可走 0.2~1.5 倍體長，分布範圍最小。腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp3*、*Pu. sp4* 的平均移動距離落在 1.5 倍體長上下。其中 *Pu. sp4* 可移動之相對距離範圍最大，最高一次可走 6.5 倍體長。而 *Pu. sp2* 次之，最高可達大約 4 倍體長。有翅蚤蠅 *Me. sp* 範圍分布最集中，平均為 1 倍體長。

## 二、 蚤蠅停頓時長能否增加下一步之運動表現？

### 1. 移動距離

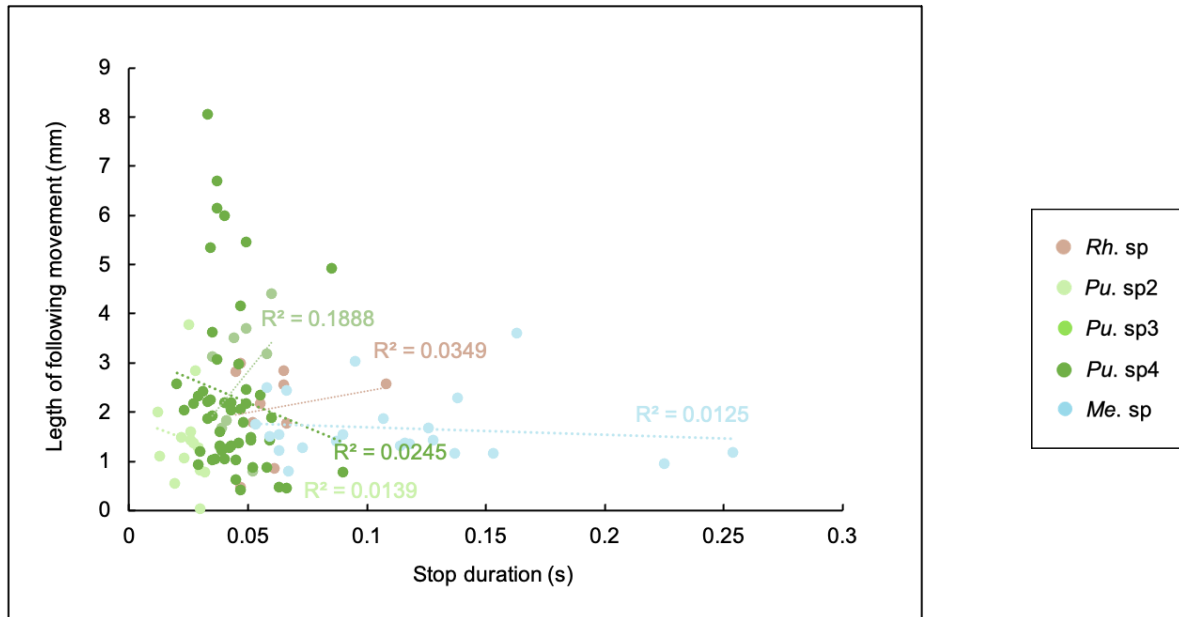


Figure 10 停頓時長與下一步移動距離關係圖

Figure 10 顯示，停頓時長對於下一步的移動距離在蟻客蚤蠅 *Rh. sp*、腐肉蚤蠅 *Pu. sp3* 呈現正相關，但相關程度很低；而在腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp4*、以及有翅蚤蠅 *Me. sp* 中則呈現負相關，相關程度也很低。

## 2. 移動時長

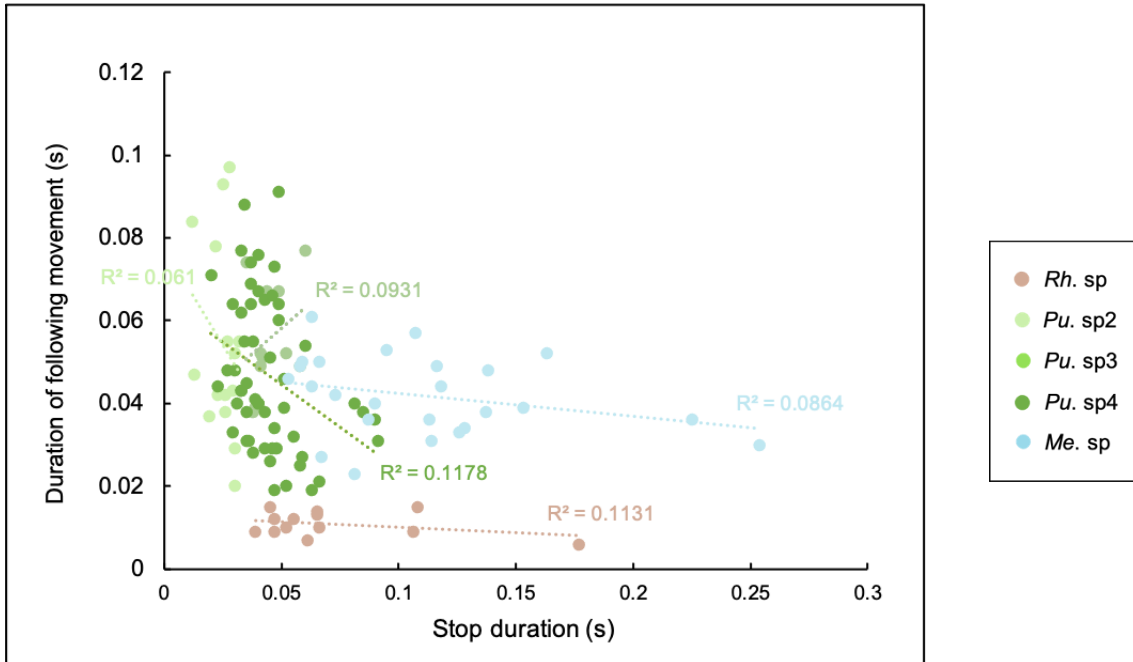


Figure 11 停頓時長與下一步移動時長關係圖

Figure 11 顯示，停頓時長對於下一步的移動時長在腐肉蚤蠅 *Pu. sp3* 中呈現正相關，但相關係數很低；而在蟻客蚤蠅 *Rh. sp*、腐肉蚤蠅 *Pu. sp2*、*Pu. sp4*、以及有翅蚤蠅 *Me. sp* 中則呈現負相關，相關係數也很低。

### 3. 移動中平均速率

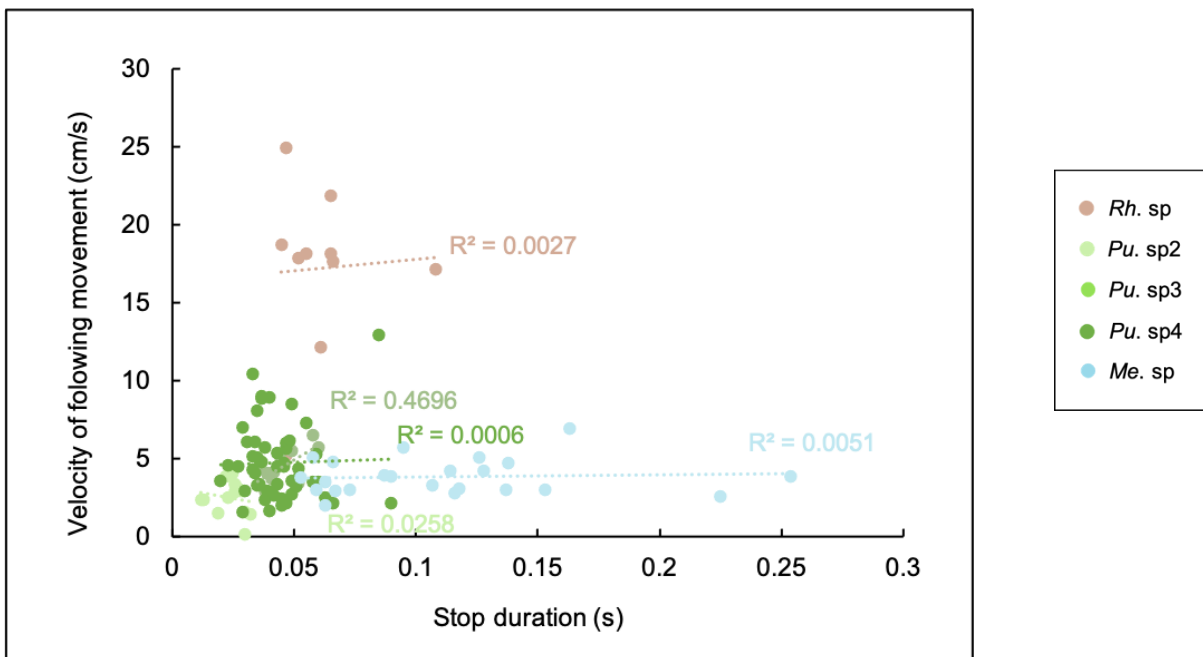


Figure 62 停頓時長與下一步移動中平均速率關係圖

Figure 12 顯示，停頓時長對於下一步的移動速率在蟻客蚤蠅 *Rh. sp*、腐肉蚤蠅 *Pu. sp3*、*Pu. sp4*、以及有翅蚤蠅 *Me. sp* 中呈現正相關，但相關係數很低；而在腐肉蚤蠅 *Pu. sp2* 中呈現負相關，相關係數也很低。

三、 野生蚤蠅是否比蟻客蚤蠅更傾向改變身體前進方向？

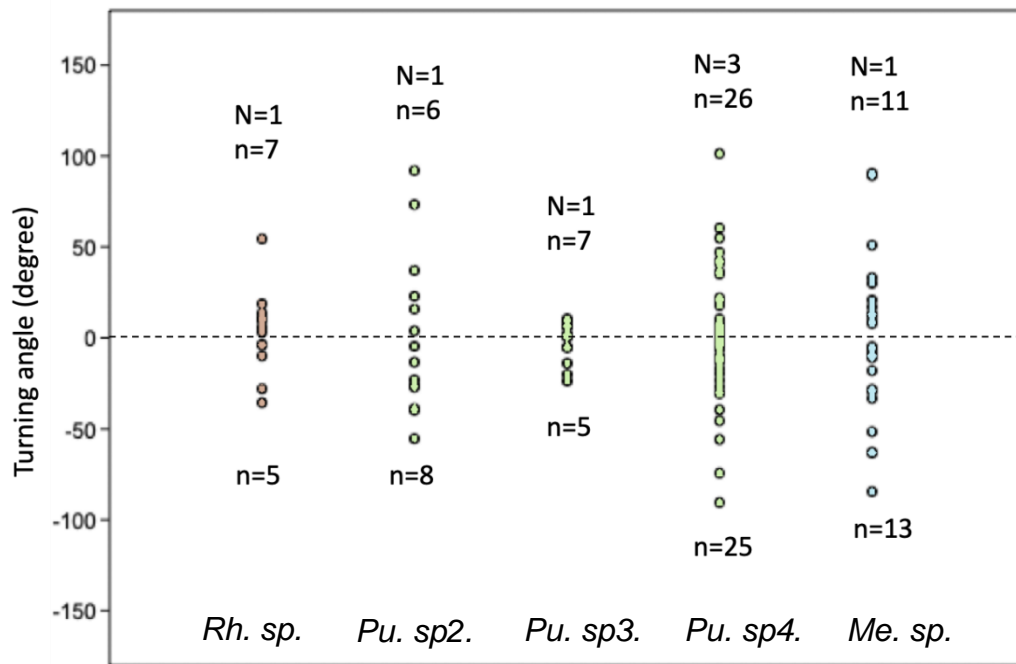


Figure 13 不同個體的路徑轉動角度分佈圖

Figure 13 顯示，野生蚤蠅類群（腐肉蚤蠅 *Pu. sp2.*、*Pu. sp4.*、及有翅蚤蠅 *Me. sp.*）在停頓後身體轉動角度的變異範圍較大，最高轉動角度皆在 90 度以上，但平均多落在 5~30 度。而蟻客蚤蠅（*Rh. sp.*）的最高身體轉角大約為 50 度，平均落在 10 度，顯著低於其他類群。

#### 四、 在有天敵的情況下，蟻客蚤蠅是否會改變間歇性運動的模式？

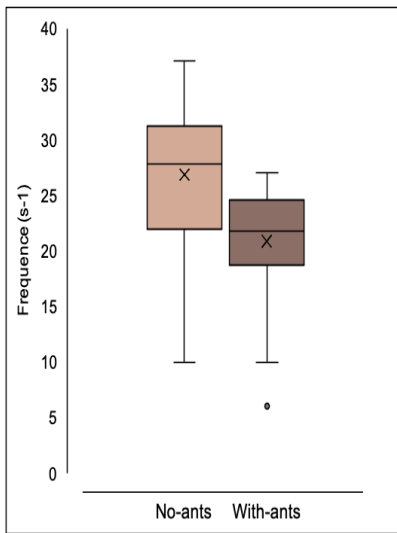


Figure 14 有無螞蟻的頻率盒狀圖

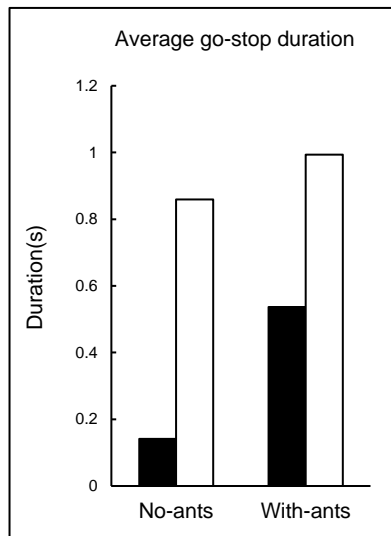


Figure 15 有無螞蟻的平均移動-停頓時長長條圖

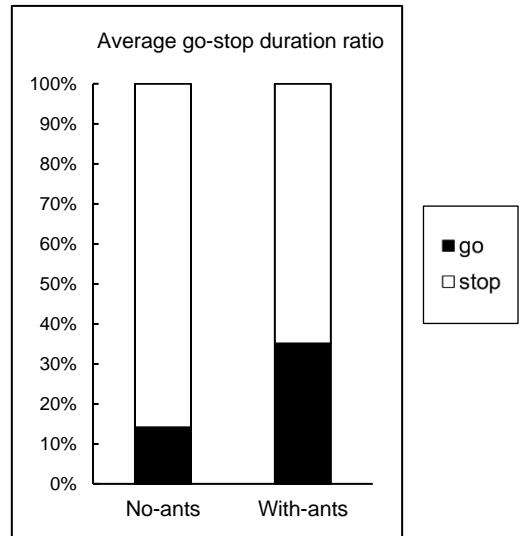


Figure 16 有無螞蟻的平均移動-停頓比例長條圖

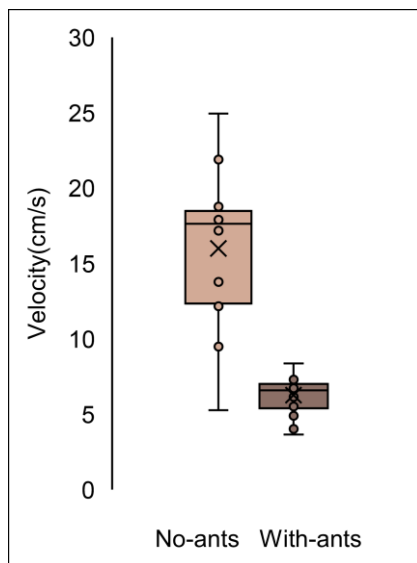


Figure 17 有無螞蟻的速率盒狀圖

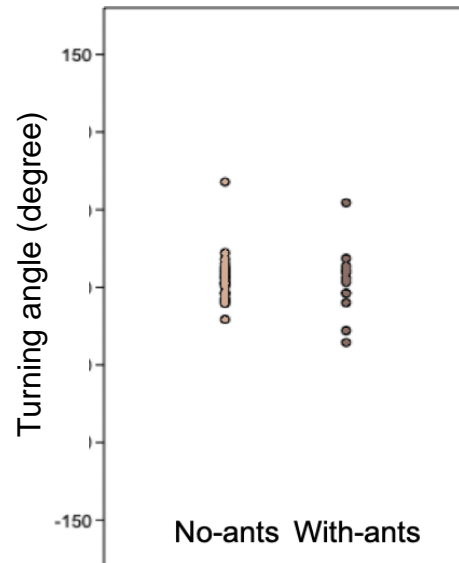


Figure 18 有無螞蟻的轉動角度分佈圖

Figure 14 顯示，在有螞蟻的情況下，蟻客蚤蠅的間歇性運動頻率下降，且分佈範圍較集中。造成間歇性運動頻率下降源自每一步的時間增長，對照 Figure 15 可發現，每步時間增長的原因是停頓時長與移動時長皆增加，而移動時長的增加比例 (281%) 顯著高於停頓時間增加比例 (16%)。Figure 16 顯示在有螞蟻的情況下，相對移動時間顯著增加。Figure 17 顯示在有螞蟻的情況下，移動中平均速率下降，且分布範圍較集中。Figure 18 顯示在有螞蟻情況下，轉動角度範圍變化不明顯。



## 陸、 討論

在本研究中，我探討並比較不同類群蚤蠅的間歇性運動模式，在比較間歇性運動的頻率與移動時長中可發現，有翅蚤蠅 *Me. sp* 的平均頻率為最低(Figures 3)，且移動時長小於停頓時長 (Figures 4, 5)，我猜測可能與其肌肉分佈相關：由於蚤蠅下肢與翅膀皆連接於胸節，翅膀肌肉可能會排擠下肢肌肉，讓下肢肌肉無法像無翅蚤蠅般發達，因此一次移動時長無法持久，但翅膀肌肉分佈是否會影響下肢肌肉分佈尚待探討。而在寄居於螞蟻巢的蟻客蚤蠅 *Rh. sp* 中，我發現其間歇性運動的頻率及移動速率都顯著高於野生物種 (Figures 3, 6)；但在移動距離方面，蟻客蚤蠅並未高於野生物種 (Figures 8)。我推測蟻客蚤蠅需要比其他野生物種擁有更高頻率的間歇性運動以達到某些生存適應目的。

對於蚤蠅進行間歇性運動的目的，我們提出了三個假說：一、藉由增加停頓時長來提升下一步之運動表現（增加移動距離、平均速率、移動時長等）；二、藉由高頻率停頓來改變下一步的前進方向，從而增加改變路徑之可能；三、藉由高頻率運動，來躲避天敵以增加生存可能。

在前人的研究中(Hancock & Gleeson, 2005; Paoletti & Mahadevan, 2014)，動物可以透過間歇性運動節省能量增加耐力。因此我預測蚤蠅也會有相同的結果。但實驗結果顯示，無論在哪個蚤蠅類群，間歇性運動中的停頓時長與下一步的移動距離並未呈現正相關，甚至出現負相關，且相關程度皆很低 (Figure 10)。因此，可能蚤蠅這類體型小的動物中，休息時長無法使其恢復體力或其實平時的移動並不會造成疲憊，所以停頓時間並非影響下一步的移動距離之因素。

上述結果顯示，進行高頻率間歇性運動的目的並非在空間尺度上獲得更長的移動距離，我接下來將思考方向轉到時間尺度上：停頓時長增加是否能讓下一步移動時間更長？結果顯示，停頓時長與下一步移動時長呈現正或負相關，但相關程度也很低 (Figure 11)。最後，我從速度方面討論：停頓時長增加是否能讓下一步獲得更快的移動速率？結果顯示，停頓時長與下一步移動中的平均速率呈現低度相關 (Figure 12)。以上結果未能支持假說一，亦即對於蚤蠅而言，停頓之目的並非為了提升下一步之運動表現。

在大自然中，讓自己的移動路徑不容易被敵人預測在生存上具有相當大的優勢，海洋中的浮游生物(Buskey et al., 2012)、八齒鼠(Vásquez et al., 2002)皆被發現能透過間歇性運動規避捕食者。停頓也有助於方向的改變，沙漠蝗蟲被發現較長的停頓時間往往伴隨較大的移動路徑角度變化(Bazazi et al., 2012)。因此我們提出假說二，若蚤蠅可透過間歇性停頓來讓自己比持續移動時更容易改變行進的路徑方向，那麼，高頻率的間歇性運動則更可提供蚤蠅在短時間內，增加身體轉動的次數，以提高自身路徑的難以預測性。本研究顯示，相較於寄

居於螞蟻巢的蟻客蚤蠅，野生蚤蠅在停頓後身體轉動角度較大，且變異也較大 (Figure 13)，但在停頓頻率方面，野生蚤蠅則顯著低於蟻客蚤蠅 (Figure 3)。因此，雖然蟻客蚤蠅停頓後身體轉動角度與範圍皆顯著小於野生物種，但也可透過提高頻率來增加路徑的變異範圍，也就是說，雖無法一次改變很大角度，但可利用提高頻率，分次轉身，最終在路徑變異範圍上達到相似效果。本研究的結果支持假說二，而增加路徑變異不但能降低蚤蠅被天敵預測的機率，亦有助於探索空間中的食物來源，增加存適機會。

假說三預測對於寄居螞蟻巢的蟻客蚤蠅來說，在有螞蟻的情況下，應會增加其間歇性運動的頻率，以增加路徑變異範圍，讓敵人無法預測其位置。實驗結果顯示，在有螞蟻的情況下，間歇性運動的頻率降低 (Figure 14)，而造成頻率下降的原因為一次間歇性運動的時間增加，其中又以移動時長增加最多 (Figures 15, 16)，表示在有敵人的情況下，蟻客蚤蠅每步週期時長增加，而移動時長增加比例高於停頓時長，且移動速率降低 (Figure 17)，角度範圍變化不大 (Figure 18)。結果不符合假說三的預測。但由結果可推測，蟻客蚤蠅在面對近敵時，較不會利用提高間歇性運動頻率增加路徑變異，而是藉由增加移動時長，並減慢速度使其在移動中也能偵測敵人，增加存活機會。

## 柒、 參考文獻

- Bazazi, S., Bartumeus, F., Hale, J. J., & Couzin, I. D. (2012). Intermittent motion in desert locusts: behavioural complexity in simple environments. *PLoS computational biology*, 8(5), e1002498.
- Buskey, E. J., Lenz, P. H., & Hartline, D. K. (2012). Sensory perception, neurobiology, and behavioral adaptations for predator avoidance in planktonic copepods. *Adaptive Behavior*, 20(1), 57-66.
- Disney, H. (2012). *Scuttle flies: the Phoridae*. Springer Science & Business Media.
- Gleiss, A. C., Jorgensen, S. J., Liebsch, N., Sala, J. E., Norman, B., Hays, G. C., Quintana, F., Grundy, E., Campagna, C., & Trites, A. W. (2011). Convergent evolution in locomotory patterns of flying and swimming animals. *Nature Communications*, 2(1), 1-7.
- Hancock, T. V., & Gleeson, T. T. (2005). Intermittent locomotor activity that increases endurance also increases metabolic costs in the desert iguana (*Dipsosaurus dorsalis*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 78(2), 163-172.
- Kramer, D. L., & McLaughlin, R. L. (2001). The behavioral ecology of intermittent locomotion. *American Zoologist*, 41(2), 137-153.
- Kung, G.-A., & Brown, B. V. (2005). Three unusually divergent new genera of phorid flies (Diptera: Phoridae) from Costa Rica. *Zootaxa*, 1019(1), 43–52-43–52.
- Lengyel, G. D. (2011). The first Rhynchomicropteron Annandale, 1912(Diptera, Phoridae) species from the Palearctic region, with taxonomic and faunistic notes on the fauna of Israel. *Zootaxa*, 2885(1), 23–32-23–32.
- Miller, P. (1979). A possible sensory function for the stop—go patterns of running in phorid flies. *Physiological Entomology*, 4(4), 361-370.
- Paoletti, P., & Mahadevan, L. (2014). Intermittent locomotion as an optimal control strategy. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 470(2164), 20130535.
- Vásquez, R. A., Ebensperger, L. A., & Bozinovic, F. (2002). The influence of habitat on travel speed, intermittent locomotion, and vigilance in a diurnal rodent. *Behavioral Ecology*, 13(2), 182-187. <https://doi.org/10.1093/beheco/13.2.182>

## 【評語】 050010

1. 此研究以蚤蠅為模式生物，觀察與分析間歇性運動的方式與轉變，運用高速攝影機，以每秒 960 幀的速率來拍攝腐肉蚤蠅、蟻客蚤蠅、及有翅蚤蠅的間歇性運動行為。資料顯示每次移動路徑方向的轉動角度頻率，可以增加其路徑的多變性，推測可減少被捕食機會。研究議題設定具有動物行為學意義、實驗設計完整、數值獲得與相關性分析應可以活得所需資訊來推論假說合理性。
2. 研究主題明確且方法可行，試驗中未說明實驗每種蚤蠅的隻數及統計方法，影響蚤蠅運動模式的因素，例如成蟲日齡等，應討論。另有應說明題目引用龜兔賽跑的關聯性。
3. 蟻客蚤蠅需要比其他野生物種擁有更高頻率的間歇性運動以達到某些生存適應目的，應有相關探討以說明原因。
4. 在物種鑑定部分，依據材料方法部分，六物種分別屬於三屬，且未鑑定至種階層，此部分使用不同屬物種材料是否會因其物種行為造成誤判。
5. 研究的設定假說宜由討論移至前言最末段，而非出現於討論中。討論提出三假說，分別為「1、藉由增加停頓時長來提升

下一步之運動表現；2、藉由高頻率停頓來改變下一步的前進方向，從而增加改變路徑之可能；3、藉由高頻率運動，來躲避天敵以增加生存可能。」，討論認為支持假說二，圖 13 的數據資料，如何經由統計分析來評估不同物種間的差異是否具有顯著性。

6. 相關數據統計資料在顯著性分析部分缺，前後不一致，宜有顯著性分析資料。
7. 資料獲取部分，N 代表僅一樣本，n 代表次數，樣本數不足。