

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物（生命科學）科

佳作

040717

草地上的馬蛛絲跡

—探討長疣馬蛛結網及捕食行為模式

學校名稱：國立花蓮高級中學

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 作者： 高一 聶邦庭 高一 連浩任 高一 唐振傑 | 指導老師： 吳復中 楊家慎 |
|-----------------------------------|---------------------|

關鍵詞：長疣馬蛛、漏斗網、捕食行為

摘要

本研究探討生活在草原的長疣馬蛛，觀察牠如何結網以及網型構造，並探討網的功能。在觀察及實驗後得到以下結論：長疣馬蛛偏好在強光環境下結網，且對高溫有好的耐受性。長疣馬蛛視力差，但可以結出用來感應捕食的多層漏斗狀網，結網的方式相當特殊，可分為「探測期」、「底層網期」、「平面網期」、「皿狀網期」、「漏斗網期」五個階段，且不同層網的感應偵測上與敏感度與捕食成功率均不相同。我們也進一步探討了長疣馬蛛的捕食行為模式。長疣馬蛛的捕食行為可分為「被動感應模式」、「偵查模式」、「攻擊獵物模式」、「後續處理模式」、「返回」五個階段。其可以利用最頂層的平面網捕食獵物，且獵物的捕食受到獵物大小與置入的方式影響。

壹、研究動機

一個下雨天，發現道路旁的草地，有許多小區塊聚集了許多露水，靠近一看，發現是蜘蛛網。一般結網的蜘蛛，在下雨天會收網。我們好奇這種蜘蛛怎麼不會收網？

得知此種為長疣馬蛛，是狼蛛科中唯一會結網。但牠所結出的網較沒有黏性，網為漏斗狀，但並沒有記載漏斗狀網是如何被結出。

我們著手觀察其結網行為及網型構造，並試著找出環境因素對結網行為的影響，及如何利用這個網在草地上覓食？

貳、研究目的

- 一、觀察長疣馬蛛的結網行為
- 二、探討環境因子對長疣馬蛛結網之影響
- 三、探討長疣馬蛛網上感應行為模式及不同層網的感應效果
- 四、探討網上獵物大小與位置對長疣馬蛛捕食行為之影響
- 五、探討網上獵物數量對長疣馬蛛捕食行為之影響

參、研究設備及器材

- | | | |
|--------|-------|--------|
| 一、塑膠杯 | 六、電烙鐵 | 十一、瓦楞紙 |
| 二、塑膠罐 | 七、乙醚 | 十二、不織布 |
| 三、吸管 | 八、鑷子 | 十三、噴霧器 |
| 四、透明膠帶 | 九、燈泡 | 十四、溫度計 |
| 五、紙箱 | 十、西卡紙 | |

肆、研究方法

一、觀察長疣馬蛛的結網行爲

(一) 結網步驟的觀察

1. 裝置：見圖一。
2. 步驟
 - (1) 杯中放入一隻馬蛛。
 - (2) 持續觀察記錄馬蛛的結網方法及過程。

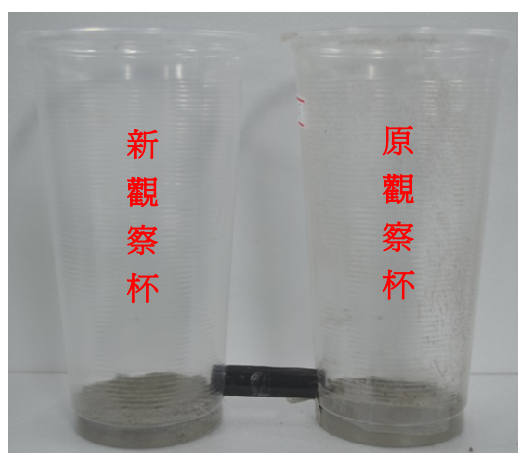
(二) 觀察棄網行爲

觀察沒有補網行爲的馬蛛結失敗網後的行爲。

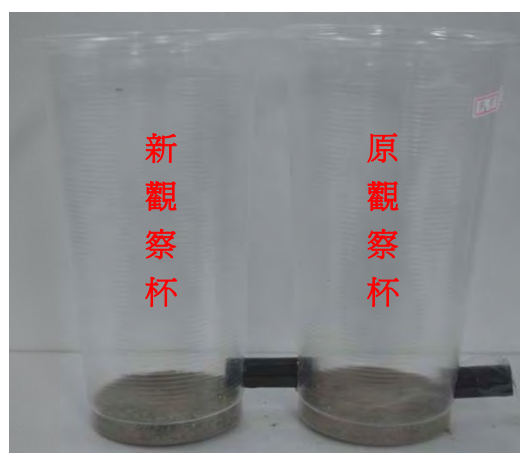
1. 裝置：見圖二、圖三。



圖一 觀察杯



圖二 原觀察杯吸管的後方接一個新觀察杯



圖三 原觀察杯吸管的對面接一個新觀察杯

2. 步驟

- (1) 把馬蛛放入觀察杯使其結網。
- (2) 待結網兩天後觀察網，若是離開底部形成一個平面網，稱之成功的網(見圖四)；若網平鋪在地，稱失敗的網(見圖五)。
- (3) 挑選結網失敗的杯，將這些杯分爲兩組，分別接上觀察杯(如圖二、三)。
- (4) 挑選結網成功的杯，後方接新觀察杯作為對照組。
- (5) 各重複十組裝置，觀察三天。



圖四 成功的網



圖五 失敗的網

二、探討環境因子對長疣馬蛛結網之影響

(一) 有無光照環境

1. 裝置

連接兩個觀察杯，用黑紙將其一包圍，使其內部成爲完全黑暗的環境。並將另一置於日光燈下。

2. 步驟

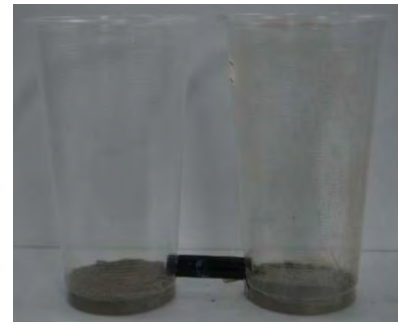
- (1) 把馬蛛放入吸管中，分別接上述兩杯(見圖六)，置於箱中(見圖七)，觀察結網偏好。
- (2) 對照組裝置如圖八、九，觀察結網偏好。
- (3) 重複十次。



圖六 實驗組



圖七 實驗放置區



圖八 對照組(兩側皆無包裹)



圖九 對照組(兩側皆有包裹)



圖十 實驗用觀察杯



圖十一 實驗裝置

(二) 光照強弱的差異

1. 裝置

將兩觀察杯以吸管連接，以白色珍珠板及黑紙分別套上(見圖十)，對照組則不用。將裝置等距圍繞在光源周圍，並隔絕外部光源(見圖十一)。

2. 步驟

- (1) 把馬蛛放入吸管中，接上觀察杯。
- (2) 每一組實驗組與對照組杯內的亮度如表一
- (3) 各重複 10 次，記錄其結網偏好。

| | 實驗組 | 對照組 |
|---|------------|-------------|
| 1 | 150 : 650 | 650 : 650 |
| 2 | 650 : 1200 | 1200 : 1200 |

(三) 光源位置的差異

1. 裝置

將一個觀察杯用高黑紙包裹周圍，留頂部讓光線進入，裝置定爲頂部光源組，另外一個則定爲全光照環境組。

2. 步驟

- (1) 把馬蛛放入吸管中，將吸管插入觀察杯上的洞後，讓馬蛛出來結網。
- (2) 待其結網三天後，分別記錄其網型發展。
- (3) 完成三天的觀察後，在將頂部光源環境組包裹的黑紙拆開，使其成為全光照環境，再放置三天。
- (4) 對照組為全光照環境組持續六天。各重複 10 次。

(四) 溫度高低的差異

1. 裝置

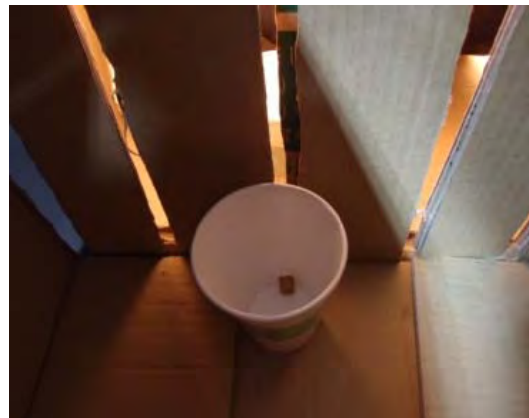
在兩紙箱(見圖十二)的一側割 4 直條，將兩端相連的觀察杯放入 (見圖十三)，在一側挖洞將燈泡插入，使其中一側溫度高於室溫。觀察杯與光源之間用黑色不織布隔離光源，並將觀察杯上部用黑色瓦楞板遮住 (見圖十四、見圖十五)。

2. 實驗步驟

- (1) 在吸管内放入一隻馬蛛，插入杯上後放入紙箱。
- (2) 持續加溫，使其中一個紙箱溫度在 38°C ~ 40°C 的高溫，使兩側溫差在 15°C 左右
- (3) 觀察結網偏好。
- (4) 對照組為兩側皆維持在室溫。
- (5) 重複 10 次。



圖十二 實驗裝置紙箱



圖十三 實驗裝置



圖十四 實驗裝置



圖十五 實驗裝置

三、 探討長疣馬蛛網上感應行爲模式及不同層網的感應效果

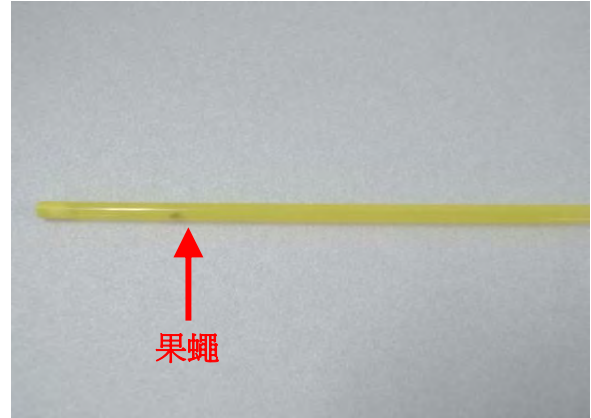
(一) 馬蛛的感應行爲

觀察捕食過程中馬蛛於漏斗底部、漏斗網口部、平面網部的獵物感應及捕食行爲。

1. 裝置：見圖十六。



圖十六 攝影裝置



圖十七 放入果蠅用吸管，箭頭指處爲果蠅。

2. 步驟

- (1) 選擇飢餓一天的馬蛛，待其位於漏斗底部時進行實驗。
- (2) 將一隻活果蠅(除翅)置入果蠅用吸管中(如圖十八)。
- (3) 將果蠅投入不同位置。
- (4) 重覆 10 次。

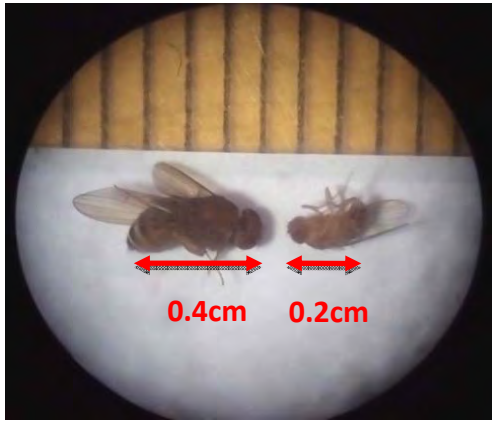
(二) 馬蛛對於掉落在不同層獵物的感應行爲

1. 裝置

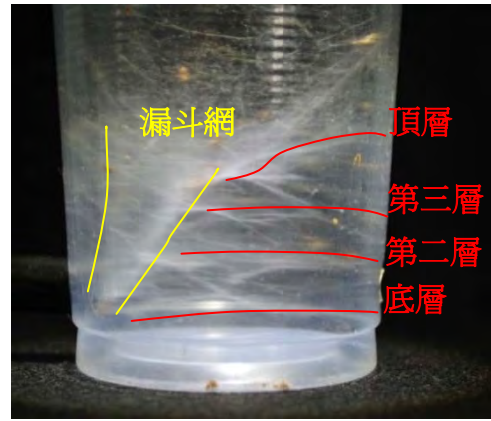
取結出四層網的觀察杯(見圖十九)，將網分爲頂層、中間層(第二、三層)、底層，在不同層網的杯壁以烙鐵棒烙出圓孔(見圖十九、圖二十)，用以置入果蠅，使可以落在不同層(見圖二十一)。

2. 實驗步驟

- (1) 將體長 0.2cm 的果蠅除翅，置入吸管。
- (2) 實驗組將果蠅輕輕吹入各層(不同層平面網)上。
- (3) 各重覆 15 次。
- (4) 對照組重覆步驟 1~4，改在頂層平面網放置。



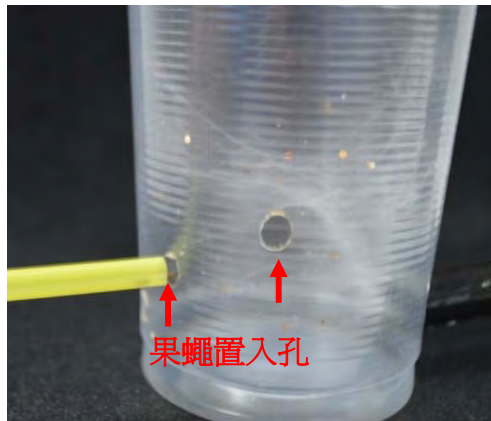
圖十八 不同大小果蠅



圖十九 四層網之觀察杯



圖二十 以電烙鐵溶出洞孔



圖二十一 放入果蠅的圓孔。

四、探討網上獵物大小與位置對長疣馬蛛捕食行為之影響

(一) 網上獵物大小對馬蛛捕食行為之影響

此實驗是以不同大小的果蠅作為變因，了解馬蛛是否能分辨獵物的大小，並觀察捕獲不同大小獵物的行為。

1. 實驗步驟

- (1) 將不同體長的果蠅(圖十六)放在頂層平面網。
- (2) 重複 15 次，觀察並記錄捕食行為。
- (3) 重複步驟 1~4，依據表二改變組合。

表二 果蠅體長組合(單位：cm)

| | 分別接上 果蠅體長 | 實驗設計 |
|-------|--------------|-------------|
| 實驗組 | 0.2 : 0.4 | 不同大小之震動來源 |
| 對照組 1 | 0.2 : 0.2 | 相同大小之較小震動來源 |
| 對照組 2 | 0.4 : 0.4 | 相同大小之較大震動來源 |

(二) 網上獵物位置對馬蛛捕食行為之影響

在實驗過程中，發現到有「連殺」(連續捕捉兩隻果蠅才回巢)以及「纏繞」(利用絲將兩隻果蠅纏繞在一起)的行為，想進一步探討這兩種特殊行為。

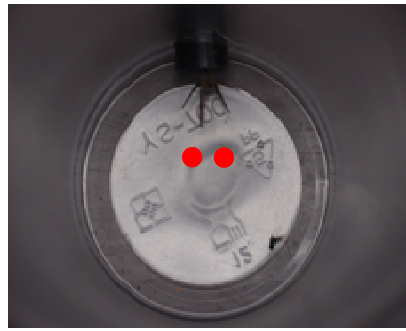
1. 連殺行爲

分別以左右距離 3cm、0.5cm 及前後距離 3cm 的兩隻果蠅來進行實驗(如圖二十四~二十六)。

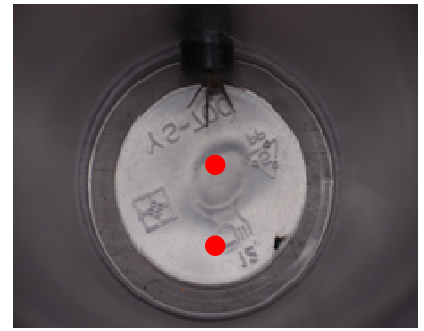
- (1) 取兩隻活果蠅，同時置入頂層平面網上，離網口固定 2cm，獵物左右間距(3cm 及 0.5cm)。
- (2) 各重複 10 次。
- (3) 將獵物之改為前後距離為 3cm，重覆步驟 1~2。



圖二十四 間距 3cm



圖二十五 間距 0.5cm



圖二十六 前後距 3cm

2. 纏繞行爲

在同時投入兩隻大果蠅的實驗中，我們發現到馬蛛偶而會出現特殊的「纏繞」行爲，因此以兩隻獵物的大小做為變因進行實驗。

- (1) 利用吸管將兩隻不同大小果蠅(圖十六)放在頂層平面網上，並依表三改變組合。
- (2) 觀察並記錄馬蛛是否出現「纏繞」行爲。
- (3) 各重複 10 次。

| | 果蠅體長 |
|-----|-----------|
| 實驗組 | 0.4 : 0.4 |
| 對照組 | 0.2 : 0.2 |

五、探討網上獵物多寡對長疣馬蛛捕食行爲之影響

藉不同數量及不同置入方式的獵物作為變因，了解馬蛛的捕食行爲及獵物處理模式。因此以同時及間隔的方式將 1、2、3、4 隻體長為 0.2cm 的果蠅投入馬蛛的網上觀察。

1. 將不同隻數(1、2、3、4 隻)的除翅果蠅放入吸管。
2. 將吸管內的果蠅同時放入平面網上，並錄影記錄，各重複 15 次。
3. 重複步驟 1~2，將步驟 2 的放入方式改為每隔 10 秒再投入一隻。
4. 觀看並記錄分析。



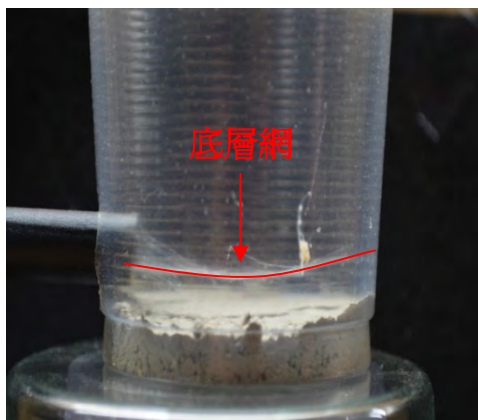
圖二十三 果蠅置入器

伍、研究結果

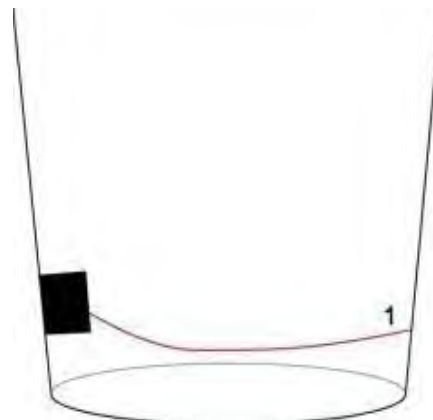
一、觀察長疣馬蛛的結網行爲

(一) 結網步驟的觀察

1. 探測期：馬蛛放入觀察杯後，會不停地沿著觀察杯底部邊緣繞圈探測環境。
2. 第一層網(底層網)(圖二十七、圖二十八)：馬蛛在探測環境後，以吸管口為基點來回杯壁間結網，形成從吸管口延伸出的扇形狀網。並在扇形網上來回織網使之緻密。



圖二十七底層網



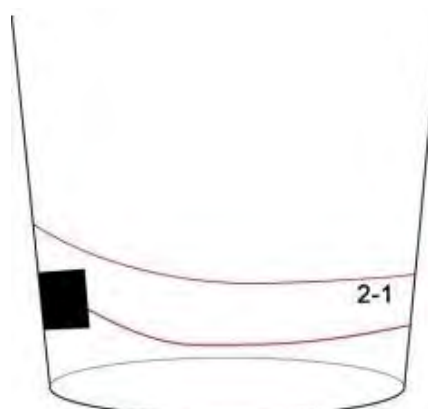
圖二十八底層網示意圖

3. 第二層網：(圖二十九~三十四)

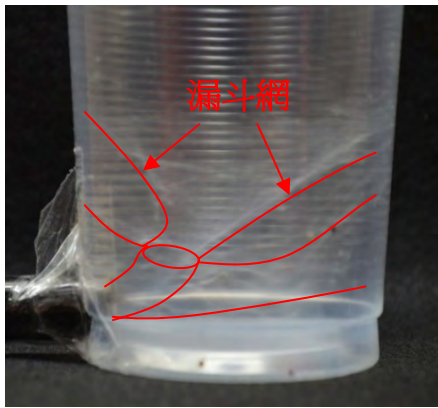
- (1) 平面網期：馬蛛利用底層網，在其上方將蛛絲從吸管口的上方延伸到另一端的杯壁，在底層網上方形成稀疏的網狀構造，再爬上網狀結構繼續結網使之緻密。
- (2) 漏斗網前期：以蛛絲連接底層、平面網(第二層)，將平面網向下拉，形成皿狀網。
- (3) 漏斗網後期：以第一、二對步足將第二層網挖開一個洞，從洞口下到底層網並在吸管口和第二層網之間來回結網，使底層網和第二層網間出現管狀網，並在平面網上方向上發展出漏斗狀網。



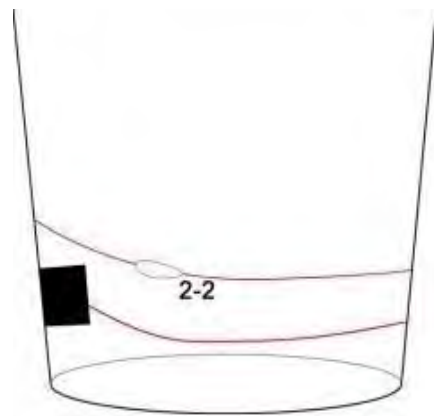
圖二十九 平面網



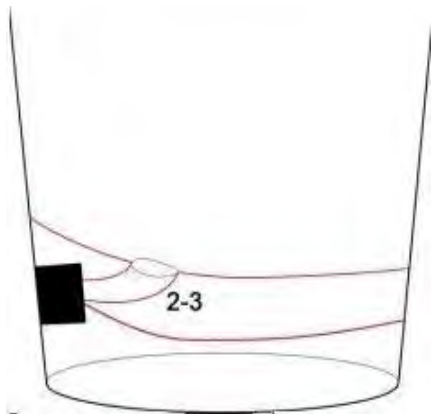
圖三十 平面網示意圖



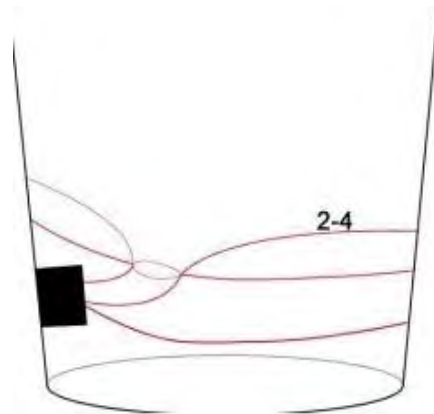
圖三十一 漏斗網



圖三十二 被挖洞的平面網示意圖

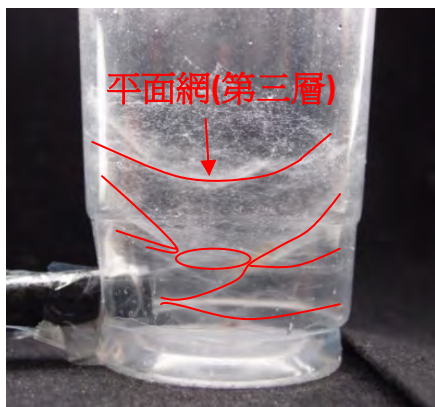


圖三十三 管狀網示意圖

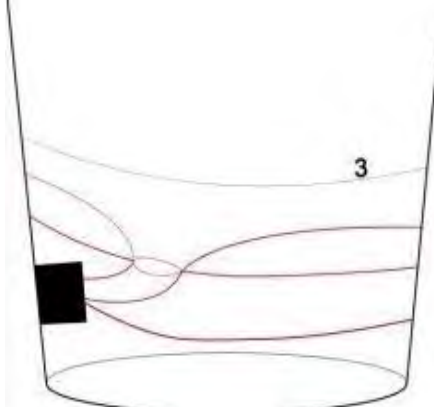


圖三十四 漏斗網示意圖

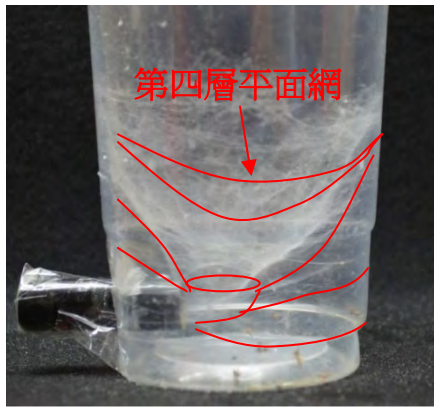
4. 第三~四層網(圖三十五~三十八)：從漏斗網邊緣上方結出第三層平面網，將第三層網向下拉，成爲皿狀網，完成後馬蛛利用空隙上到第三層網，有時會接續形成漏斗網，或是不形成皿狀網，繼續向上發展出第四層，形成連續平面網。



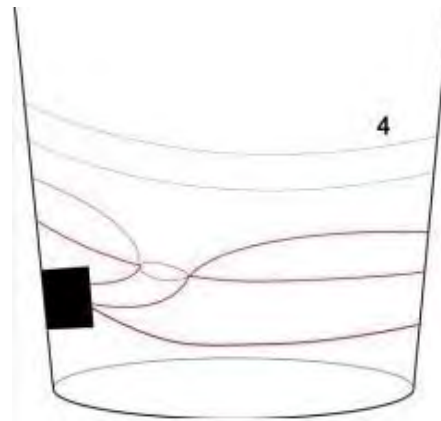
圖三十五第三層網



圖三十六第三層網示意圖



圖三十七第四層網



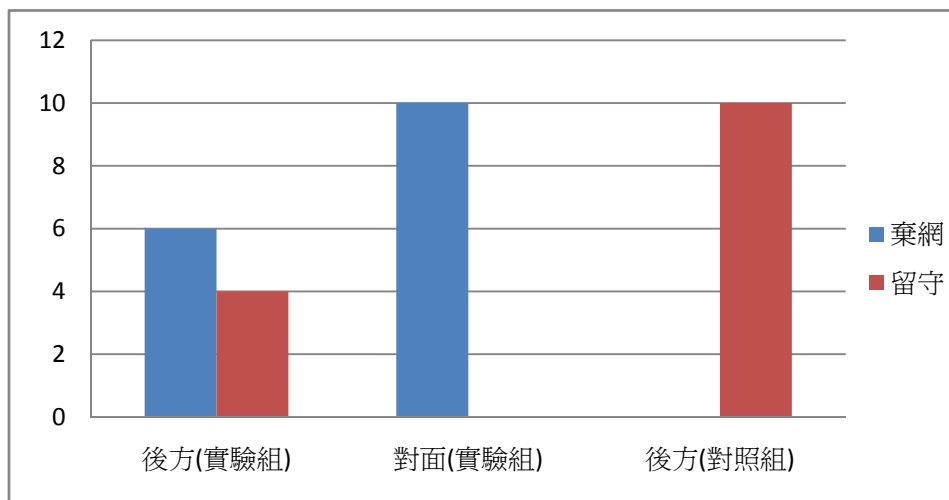
圖三十八第四層網示意圖

(二) 觀察馬蛛的「棄網」行爲

若到新觀察杯結網，或捨棄原網另結新網的行爲，稱之棄網行爲；若無論是否結網，仍停留在原網上，稱之爲留守行爲。

1. 後面接：10 組當中 6 組棄網、4 組留守。
2. 對面接：10 組全數棄網，在原位置上方，捨棄舊網，用新環境因子(吸管)結新網。
3. 後面接(對照組)：10 組全數留守。

圖表一-1 棄網行爲



二、 探討環境因子對長疣馬蛛結網之影響

(一) 有無光環境

1. 一側有光、另一側無光的 10 組實驗組中，皆偏好在有光環境。
2. 兩側皆有光的 10 組，左、右側各 5 隻結網。
3. 兩側皆無光的 10 組，6 隻在左側、4 隻在右側結網。

(二) 光照強弱的差異

1. 光照強度：150lux vs. 650lux

從「網的大小」及「網的疏密」來定義偏好位置，均偏好於光線較強處結出較大較密的網；對照組的 10 隻中，7 隻所結的網在兩側皆一樣大沒有偏好。

2. 光照強度：650lux vs. 1200lux

實驗組 10 隻均偏好於光線較強處結網；對照組 10 隻中，9 隻所結的網在兩側皆一樣大沒有偏好。

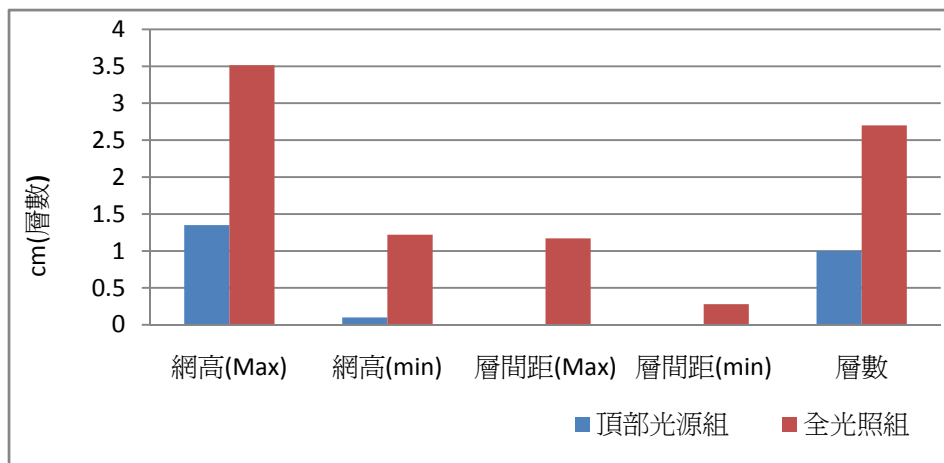
(三) 不同溫度高低對馬蛛結網的影響

實驗組 10 隻當中，7 隻所偏好在溫度高側結較密的網；對照組中結出的網，10 隻中，紙箱的左側 4 隻、右側 6 隻的網大小較另一側大沒有偏好。

(四) 不同光源位置的差異

1. 最高網高平均值：頂部光源組為 1.35 cm，全光照環境組為 3.52 cm；最低網高平均值：頂部光源組為 0.1 cm，全光照環境組為 1.22cm。
2. 層與層的距離平均值：全光照環境組最大值為 1.17 cm，最小值為 0.28 cm；頂部光源組則沒有多層網。
3. 層數平均值：頂部光源組為 1 層，全光照環境組為 2.7 層。

圖表二-1 光照後兩天的網型



三、探討長疣馬蛛網上感應行爲模式及不同層網的感應效果

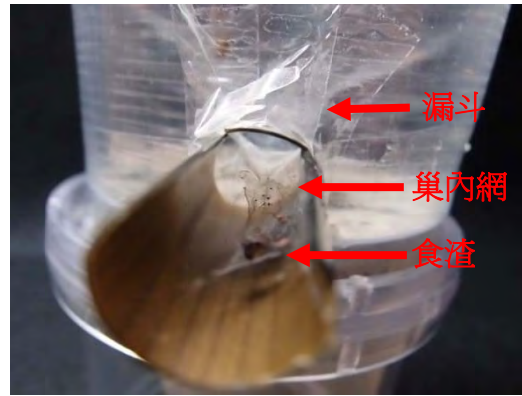
(一) 在漏斗部及頂層平面網的感應及捕食行爲

1. 被動感應模式(無獵物掉落於網上時)

- (1) 巢裡感應行爲：位於巢底部時，會以第一、二對步足輕觸漏斗管壁，三、四對步足弓起呈起跑姿勢，頭胸部與腹部懸空。
- (2) 漏斗網口感應行爲：位於漏斗網口時，會以一、二對步足的第一分節平貼於平面網上，第三對步足輕觸於漏斗管開口外緣，第四對步足弓起處於管內部，頭胸、腹部懸空，此時對獵物的敏感度較高。



圖四十 巢裡感應行爲



圖四十一 巢裡示意圖



圖四十二 漏斗網口感應行爲



圖四十三 平面網偵查行爲

2. 動態偵查模式(有獵物掉落於網上時)

- (1) 被動之平面網偵查行爲：當獵物掉落於頂層網上時，會衝到頂層網上進行此行爲，四對步足皆輕觸於頂層平面網上，頭胸、腹部懸空，用以偵查獵物位置。
- (2) 主動之拍網偵查行爲：當獵物震動不明顯，感應不到獵物時，會以第一、二對步足拍打網面，在網上產生起伏性震動。
- (3) 主動之彈跳偵查行爲：當獵物所在位置不同層時，感應不到獵物位置時，會以四對步足同時按壓網面，利用身體上下晃動，在網上產生更強烈的起伏性震動。



圖四十四 拍網偵查行爲



圖四十五 彈跳偵查行爲

3. 攻擊獵物模式

- (1) 動態獵物鎖定行爲：會將第一對步足指向會震動的獵物方向。
- (2) 撲擊行爲：當鎖定的獵物時，會以第 4 對步足向後蹬，以跳躍的方式攻擊獵物，此爲游獵蛛的捕食特色。
- (3) 捕捉行爲：會分別以前二對步足與觸肢、或以前三對步足與觸足抓起獵物幫助上顎咬住獵物。



圖四十六 動態獵物鎖定行爲



圖四十七 撲擊



圖四十八 大果蠅捕捉行爲



圖四十九 小果蠅捕捉行爲

4. 後續處理模式

- (1) 攜回行爲：此行爲也是游獵蛛的捕食特色，在捕捉到獵物後，再以觸肢扶著獵物以倒退走或正面走的方式將獵物帶回。
- (2) 巢內囤積：面對數量不多或體積小的獵物時，會將獵物攜回漏斗管內囤積食用。
- (3) 漏斗網口囤積：面對體型較大或數量較多的獵物時，會將獵物囤積於漏斗網口處，再從漏斗網口處抓一兩隻獵物回巢實用。



圖五十 攜回行爲



圖五十一 巢內囤積食用



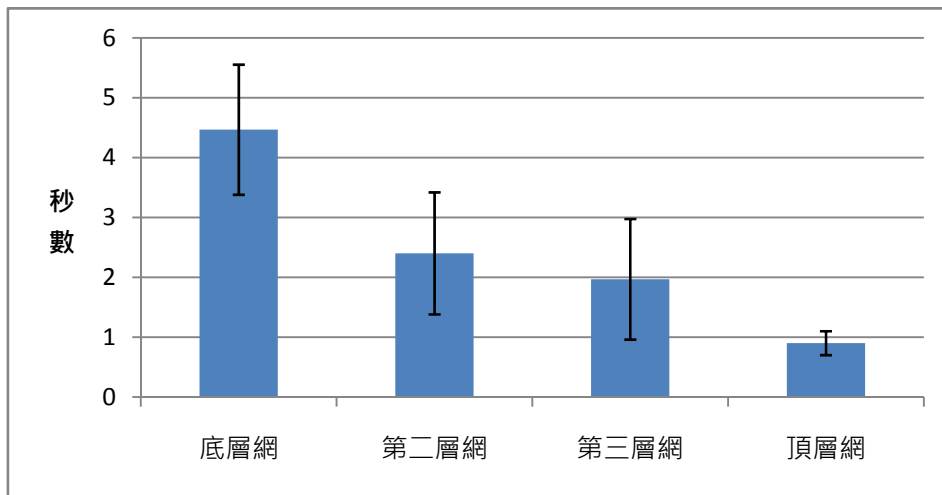
圖五十二 漏斗網口囤積食用

(二) 觀察馬蛛對於掉落在不同層獵物的捕食行爲

1. 不同層網在置入獵物時，馬蛛所需要的感應時間(圖表三-1)

在不同網層置入果蠅後，從巢底部到各層平面網進行平面網偵查行爲，記錄這段巢裡感應行爲的時間，實驗結果如下：底層網：平均 4.47 秒；第二層網：平均 2.40 秒；第三層網：平均 2.00 秒；頂層網：平均 0.90 秒。

圖表三-1 各層網放入果蠅到離開漏斗網口感應行爲所需的時間

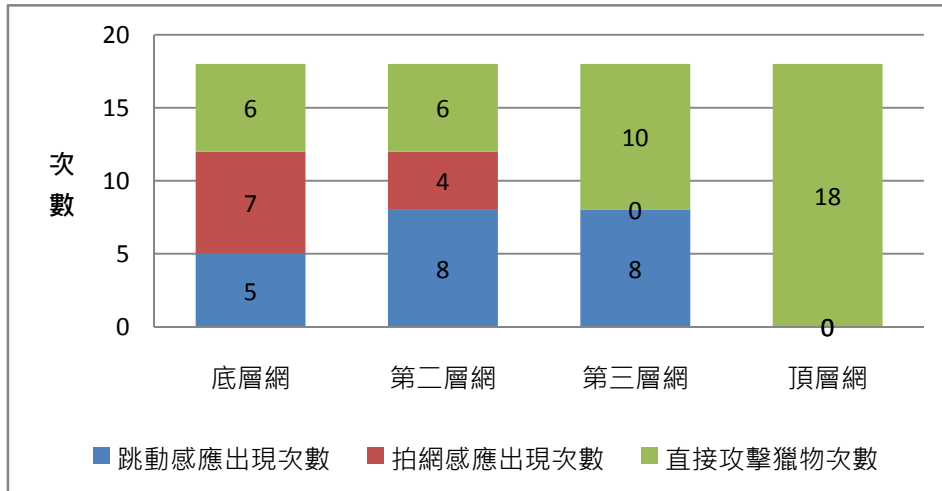


2. 在不同層網置入獵物時，馬蛛發生偵查行爲的差異(圖表三-2)

平面網偵查後，會有不繼續偵查直接攻擊獵物，或主動探測性偵查後攻擊獵物的行爲。本實驗記錄這兩種行爲的發生次數：

- (1) 底層網：彈跳偵查行爲 5 次、拍網偵查行爲 7 次、直接攻擊獵物行爲 6 次。
- (2) 第二層網：彈跳偵查行爲 8 次、拍網偵查行爲 4 次、直接攻擊獵物行爲 6 次。
- (3) 第三層網：彈跳偵查行爲 8 次、拍網偵查行爲 0 次、直接攻擊獵物行爲 10 次。
- (4) 頂層網：18 次皆直接攻擊。

圖表三-2 各層網不同感應獵物行為出現次數



四、探討網上獵物大小與位置對馬蛛捕食行為之影響

(一) 網上獵物大小對馬蛛捕食行為之影響

1. 同時放大小不同的兩隻果蠅

- (1) 捕食一隻的情況(15次中有8次)：8次中7次捕捉大果蠅、1次捕捉小果蠅，且無論捕捉大或小果蠅皆是回管狀巢底部。
- (2) 捕食兩隻的情況(15次中有7次)：7次中6次先捕捉大果蠅再捕捉小果蠅、1次先捕捉小果蠅再捕捉大果蠅，且捕捉兩隻果蠅的馬蛛皆會停在漏斗網口。

2. 同時放入兩隻相同大小的小果蠅

- (1) 15次中，有12次捕捉一隻果蠅；另有3次將兩隻果蠅捕捉。
- (2) 15次均將獵物帶回管狀巢底部食用。

3. 同時放入兩隻相同大小的大果蠅

- (1) 15次中，均一次捕捉一隻，最後兩隻大果蠅均會被捕捉。
- (2) 15次均在捕捉大果蠅後，分別把兩隻大果蠅放置到漏斗網口。

(二) 網上獵物位置對馬蛛捕食行為之影響

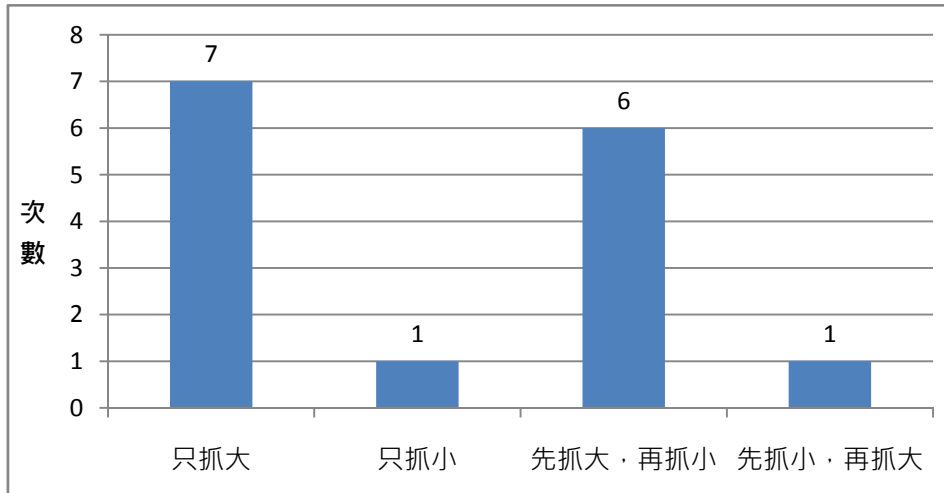
1. 連殺行為

- (1) 果蠅左右距離 0.5cm 時，大多只抓 1 隻果蠅(80%)。
- (2) 果蠅左右距離 3cm 時，大多分別捕捉 2 隻(90%)。
- (3) 前後距離 3cm 時，大多分別捕捉 2 隻(70%)。
- (4) 前後放置出現連殺的頻率高於相距 0.5cm 的 10%、3cm 的 0%，增加為 30%。

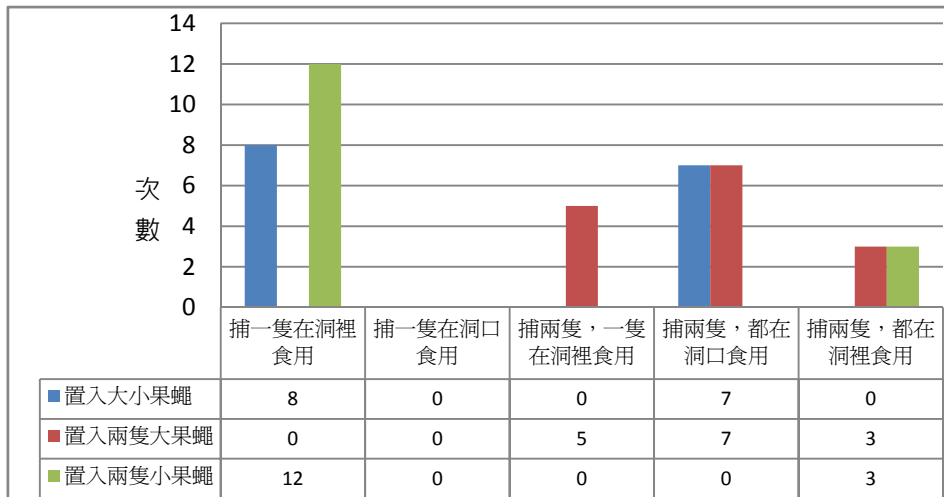
2. 纏繞行為

- (1) 同時放了 2 隻小果蠅，且馬蛛捕食到 2 隻小果蠅時，皆無出現纏繞行為。
- (2) 同時置入 2 隻大果蠅，且馬蛛捕食到 2 隻大果蠅時出現了 3 次纏繞行為。

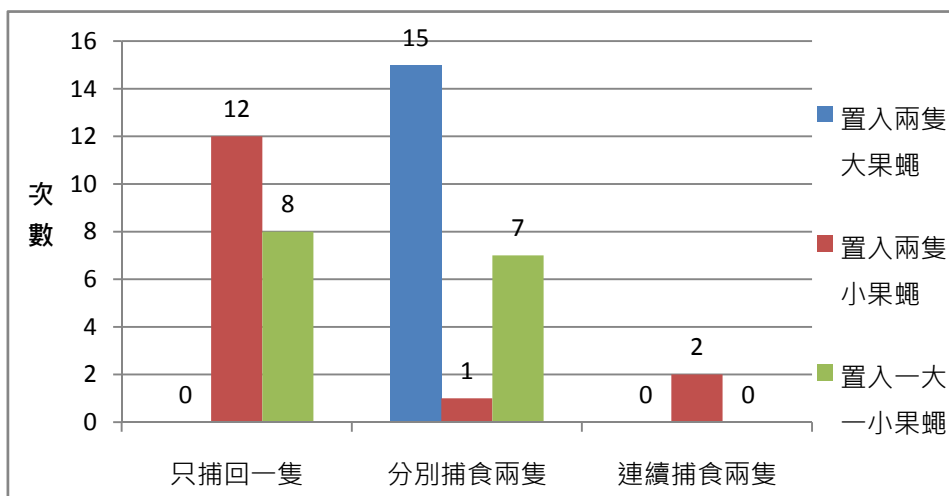
圖表四-1 馬蛛面對不同大小果蠅的捕食行為差異



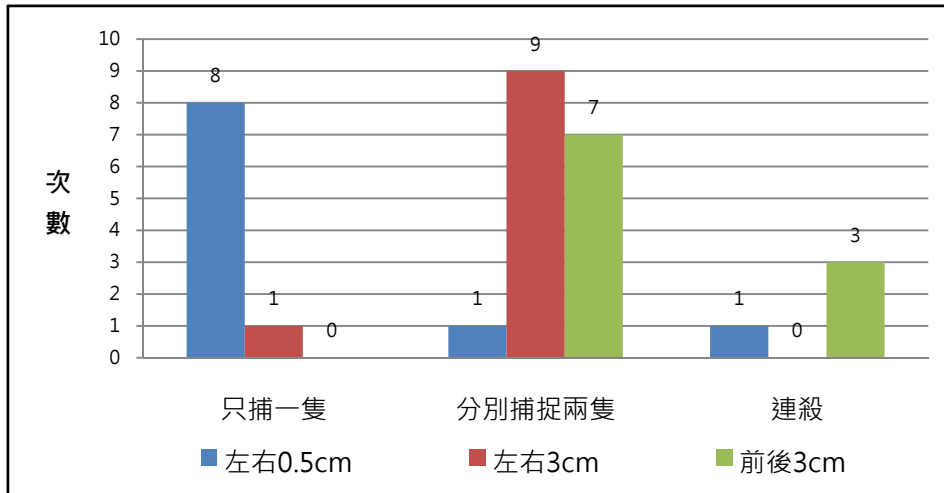
圖表四-2 捕捉隻數與食用位置的關係



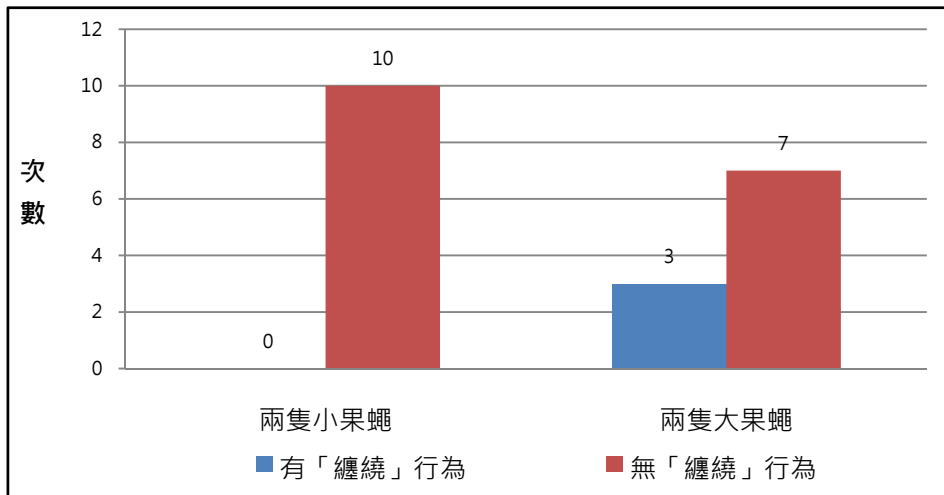
圖表四-3 捕食隻數



圖表四-4 「連殺」行為捕食方式



圖表四-5 「纏繞」行為捕食方式



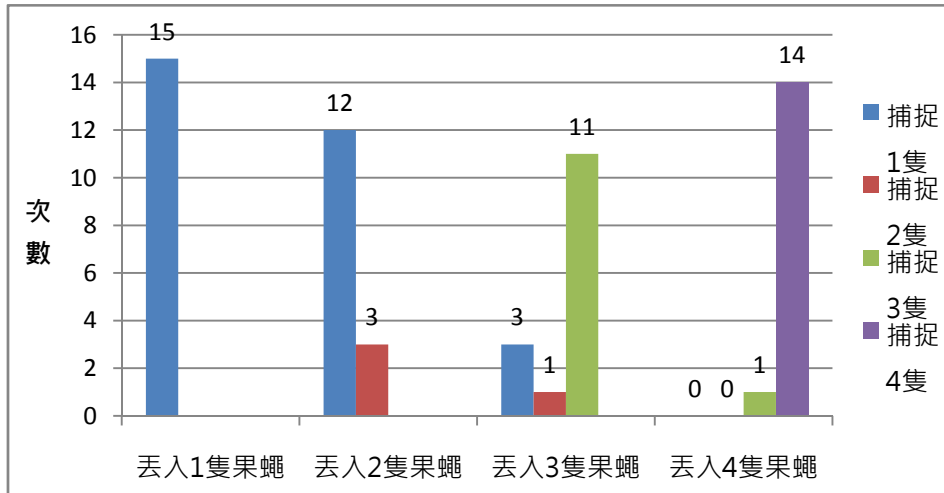
五、探討獵物多寡對長疣馬蛛捕食行為之影響

(一) 同時置入果蠅

1. 馬蛛捕捉果蠅數量(各 15 次)

- (1) 投入 1 隻果蠅 :15 次捕捉 1 隻。
- (2) 同時投入 2 隻果蠅 :12 次捕捉 1 隻、3 次捕捉 2 隻。
- (3) 同時投入 3 隻果蠅 :3 次捕捉 1 隻、1 次捕捉 2 隻、11 次捕捉 3 隻。
- (4) 同時投入 4 隻果蠅 :1 次捕捉 3 隻、14 次捕捉 4 隻。

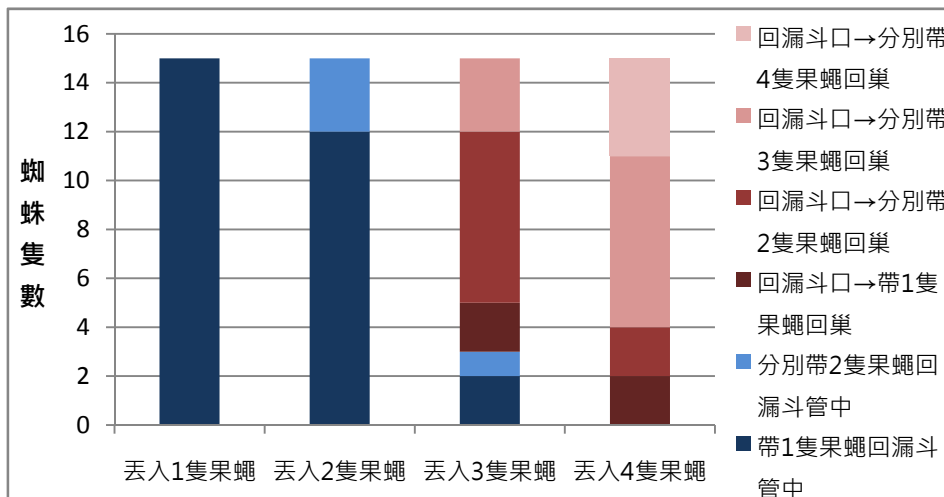
圖表五-1 馬蛛捕捉果蠅隻數



2. 馬蛛獵物囤積與食用位置(各 15 次)

- (1) 投入 1 隻果蠅 :均直接帶回漏斗底部。
- (2) 同時投入 2 隻果蠅 :均直接帶回漏斗底部。
- (3) 同時投入 3 隻果蠅 : 3 次直接帶回漏斗底部、12 次堆放在漏斗網口處後再帶回漏斗底部。
- (4) 同時投入 4 隻果蠅 :15 次堆放在漏斗網口處後再帶回漏斗底部。

圖表五-2 馬蛛獵物囤積與食用位置

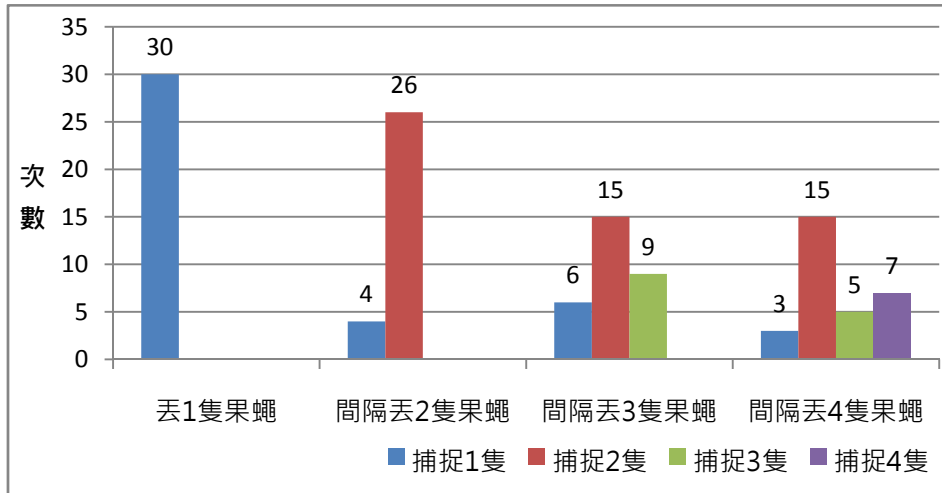


(二) 間隔時間置入果蠅

1. 馬蛛捕捉果蠅數量(各 30 次)

- (1) 投入 1 隻 :均捕捉 1 隻。
- (2) 間隔投入 2 隻 :26 次捕捉 2 隻、4 次捕捉 1 隻。
- (3) 間隔投入 3 隻 : 9 次捕捉 3 隻、15 次捕捉 2 隻、9 次捕捉 1 隻。
- (4) 間隔投入 4 隻 : 次捕捉 4 隻、5 次捕捉 3 隻、15 次捕捉 2 隻、3 次捕捉 1 隻。

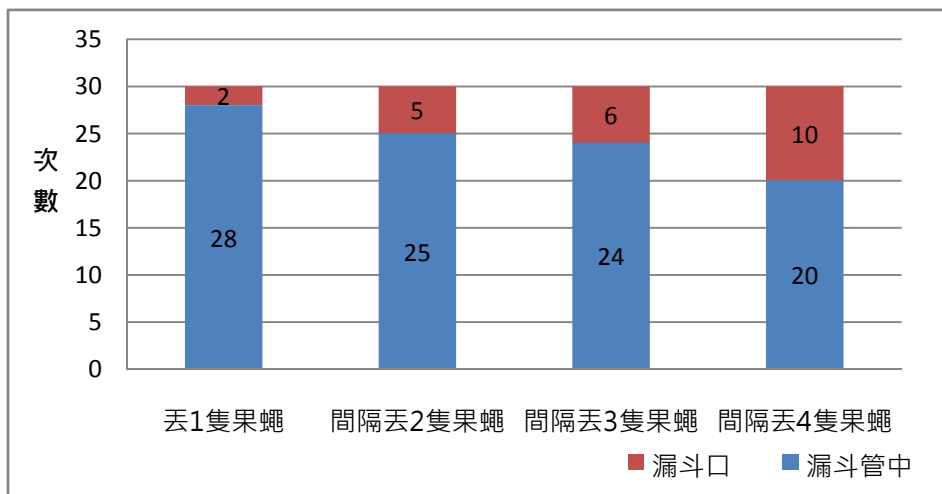
圖表五-3 馬蛛捕捉果蠅數量



2. 捕捉果蠅後馬蛛的食用位置(各 30 次)

- (1) 投入 1 隻：28 次捕捉後到巢底部食用、2 次捕捉後停留在漏斗網口處食用。
- (2) 間隔投入 2 隻：25 次捕捉後到巢底部食用、5 次捕捉後停留在漏斗網口處食用。
- (3) 間隔投入 3 隻：24 次捕捉後到巢底部食用、6 次捕捉後停留在漏斗網口處食用。
- (4) 間隔投入 4 隻：20 次捕捉後到巢底部食用、10 次捕捉後停留在漏斗網口處食用。

圖表五-4 食用位置



陸、研究討論

一、觀察長疣馬蛛的結網行爲

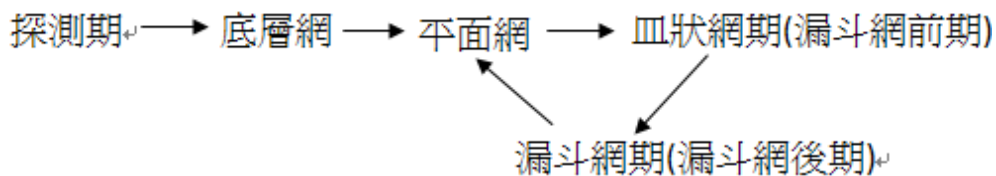
(一) 觀察馬蛛的結網過程

1. 結網流程：

在結網前會經過「探測期」，接下來「底層網期」，結完後進入「平面網期」，再進入「皿狀網期(漏斗網前期)」，馬蛛會在皿狀網底部挖洞，向下結管狀網，向上結漏斗網，此階段為「漏斗網期(漏斗網後期)」，完成後會再回到「平面網期」，成爲一個循環，稱爲漏斗網發展期，向上延伸出更多層的漏斗網。

馬蛛也常在第三層以上的「平面網期」後，尙未進入「漏斗網發展期」，再進入一次的「平面網期」，才會兩層一起進入「漏斗網發展期」，形成兩層距很接近的漏斗構造。

2. 結網流程圖：



(二) 觀察馬蛛的棄網行爲

1. 結出失敗的網(無法感應獵物)時，沒有補網及收網的行爲，傾向到新環境結網，沒有到新環境結網，沒有繼續結網的行爲出現。
2. 結出失敗的網時，若有新環境因子加入，均傾向在原本的位置上，放棄原本的舊網，結出新網。
3. 如果本來是成功的網，並不會放棄原有的網到新環境結網。

二、探討環境因子對長疣馬蛛結網之影響

- (一) 有無光環境：全數皆在有光環境下結網，且在無光環境中，沒有任何絲狀結構出現，故推測偏好在有光環境下結網。
- (二) 光照強弱：皆偏好在光照較強位置，結出網型較大且較密的網，且馬蛛可以分辨光度差異，在光照較強的環境結網。
- (三) 溫度高低：全數在溫度較高(38°C~40°C)的環境結出完整網，推測偏好在溫度高於室溫的環境結網。
- (四) 光源位置：全光照環境相對於頂部光源下發展出的網型，無論是網高(3.52cm > 1.35cm)、層數(2.7層 > 1.0層)、層間距(1.17cm > 0.28cm)，都比頂部光源環境下來的多與完整。推測偏好在光線量較多、遮蔽較少的環境下結網，因此在僅有頂部光照環境結網的行爲較差。

三、探討長疣馬蛛網上感應行爲模式及不同層網的感應效果

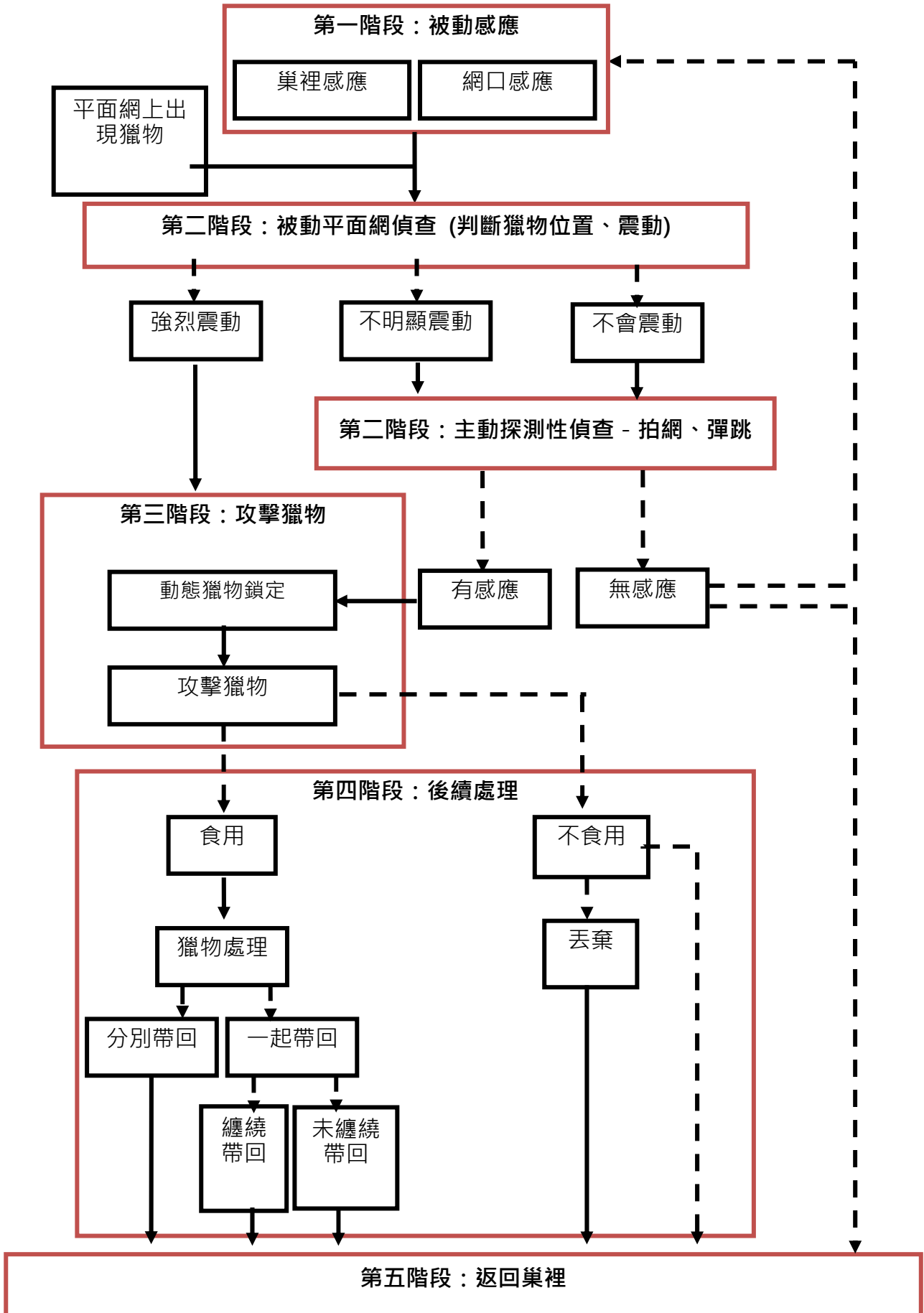
(一) 在漏斗部及頂層平面網的感應及捕食行爲

1. 被動感應模式：

- (1) 巢裡感應行爲：利用其第一、二對步足感應獵物，但巢裡的絲狀構造收斂且堆疊，導致其傳遞震動的效果大幅降低。

- (2) 網口感應行爲：利用較多的步足(一、二、三對)提高感應的效果，此位置敏感度較高，也是捕食時最主要的感應模式。
2. 偵查模式：
- (1) 被動偵查：推測其四對步足貼於平面網上，有助於其偵測從四周傳遞過來的獵物震動來源。
- (2) 主動偵查：
- a. 拍網偵查行爲：當馬蛛與缺乏活力獵物在同一層網，有很高的機率出現此行爲。推測利用拍打的方式，使平面網產生起伏性震動以刺激獵物產生更強烈的震動。
- b. 彈跳偵查行爲：當與獵物處於不同層網時，有很高的機率出現此行爲，推測其利用使整個漏斗網產生起伏性震動的方式，刺激獵物產生更強烈的震動。
3. 攻擊獵物模式：攻擊獵物前有動態獵物鎖定的行爲，再進行攻擊。
- (1) 動態獵物鎖定行爲：其會將第一對步足指向獵物並貼於網上，推測此行爲有助於其確認感應前方小範圍的震動。
- (2) 獵物攻擊行爲：在此階段則表現出游獵蛛的攻擊行爲。
4. 後續處理模式：
- (1) 一般行爲
- a. 帶回：將獵物以上顎咬住，以觸肢抱著帶回。
- b. 不帶回：當辨識爲尚可食用時(如剛死的果蠅)產生的行爲。
- c. 丟棄：當其辨識爲無法食用時(如乾硬的死果蠅)產生的行爲。
- (2) 特殊行爲：纏繞，其捕捉的較大獵物時，推測其可藉由此行爲固定獵物並帶回。
5. 返回：
- (1) 巢口：網面上同時存在多數的震動源或面對兩隻以上大型獵物時，其會將獵物囤積於漏斗網口，推測獵物大小與數量爲影響此行爲的重要因子。
- (2) 巢裡：網面上只存在 1、2 隻獵物時，會直接將獵物帶回巢底部食用。

捕食行為模式流程圖：可以分為五個階段。



(二) 馬蛛對於掉落在不同層獵物的感應行為與效果

1. 不同層網「巢裡感應」所需時間：馬蛛位於巢底時，對感應不同層獵物所需的時間為底層>第二、三層>頂層，推測巢底是由各層平面網向下收斂而成，頂層為最內層，其次為二、三層鋪在頂層下面，因此巢裡感應越下層越不敏感，費時越久。
2. 各層網不同偵查行為出現次數：(圖表三-2)
 - (1) 「拍網偵測」行為：發生次數隨著層數增加而遞減，底層(7次)、第二層(4次)，推測底層、第二層平面網較不敏感，須以拍網偵查。
 - (2) 「彈跳偵測」行為：當獵物在馬蛛下層網時，由於偵測不到獵物，無論獵物是在底層、第二、三層，均需主動發出振動刺激獵物，藉此來確定獵物位置。
 - (3) 不偵查直接攻擊：行為次數隨層數增加而提升，獵物於頂層時均採取此行為，推測發生頻率與平面網的敏感度有正相關。
3. 愈近底層網感應效能愈差(見圖表三-1)，頂層平面網較敏感，不需偵查行為便有高捕食成功率。預期愈近底層網，捕食成功率越低，但結果顯示，底層與第二層的捕食成功率無顯著差異，甚至高於第三層網，推測偵查行為的加入(見圖表三-2)，有助於提升捕食成功率。
4. 預測第三層捕食成功率應較第二層和底層高，但結果顯示，捕食成功率比底層和第二層低，推測與此層未發生拍網感應有關。

四、探討網上獵物大小與位置對長疣馬蛛捕食行為之影響

(一) 獵物大小對馬蛛捕食行為之影響

1. 同時放置 2 隻大果蠅的實驗中，均出現捕捉 2 隻獵物的行為；在同時放置 2 隻小果蠅時，出現較多捕捉 1 隻獵物的行為，據研究結果，推測網上出現較強烈振動時，回巢後，也能再次感應到振動而到網上捕食另 1 隻大果蠅；反之，2 隻小果蠅在網上時，馬蛛捕食 1 隻後，會忽略另 1 隻小果蠅的振動。
2. 在放置 1 大 1 小的果蠅實驗中，馬蛛捕食 1 隻或 2 隻果蠅的機率各半，推測是因小果蠅的振動可能被大果蠅產生的振動覆蓋，導致馬蛛判斷網上只有 1 隻果蠅，而只捕捉一隻。無論捕捉 1 隻或 2 隻，皆偏好捕捉大果蠅，推測具有判斷振動大小的能力且捕捉較大獵物。

(二) 獵物位置對馬蛛捕食行為之影響

1. 連殺行為
 - (5) 發現當兩隻果蠅左右距 0.5cm 時，大多只抓 1 隻果蠅，與研究目的四、五的結果相符；但當左右距 3cm 或是前後距 3cm 時，卻出現不一樣的偏好，捕捉 2 隻的機率提升，當獵物間距越大越偏好分別抓兩隻。推測馬蛛不會連續捕食同一地點的獵物，無論上一次捕食地點附近是否還有震動，皆會忽略震動不再捕獵，當震動源距離 3cm 時，馬蛛會因震動源的不同，再度捕獵。
 - (6) 將果蠅由左右放置改為前後放置。連殺的頻率增加。推測在捕捉後攜回時，會以正面走或倒退走的方式帶回，所以能捕捉其正前方或正後方的獵物，因此果蠅前後放置較易出現連殺。

2. 纏繞行爲

同時放 2 隻小果蠅不出現；但同時置入 2 隻大果蠅，且皆被捕食時，卻出現 3 次纏繞行爲。在捕食體型較大且較多時，會用絲固定獵物，使之更易攜帶且不易掙脫。

五、探討獵物多寡對長疣馬蛛捕食行爲之影響

(一) 同時置入果蠅

1. 同時投入 2 隻小果蠅時，傾向只帶 1 隻果蠅回巢中，常會忽略另一隻小果蠅，只感應到一隻小果蠅在震動而只捕食 1 隻果蠅，。
2. 同時有 3 個以上的振動源存在平面網上時，較傾向捕捉全部的獵物。推測多個震動源同時存在時，會較清楚感應到多數的獵物在網上，因此傾向採取全數捕殺的捕食行爲。
3. 研究中也發現，當馬蛛捕捉 3 個以上獵物時，會產生高頻率將獵物囤積於漏斗網口的行爲，待捕捉所有獵物後，再帶回到巢底部食用，推測此行爲出現於網上獵物到達一定數量時，為減少來回所需的時間而產生，此為遊獵蛛為適應網上的感應，發展出的行爲模式。
4. 當捕捉到的獵物數量大於 3 隻時，不傾向將全部的獵物帶回巢底，推測太多獵物在巢底會影響感應，故只攜帶部分獵物食用。

(二) 間隔時間置入果蠅

1. 在間隔投入 2 隻果蠅的實驗，捕食行爲與同時置入 2 隻果蠅的結果不同，雖都是置入 2 隻果蠅，但此實驗傾向攻擊 2 隻果蠅高於同時置入，推測間隔置入果蠅，可以在非連續振動的環境下，回復捕食感應的敏感度。
2. 隨著投入的果蠅數增加，仍傾向於捕捉 2 隻果蠅，推測間隔置入的方式，每次均會將捕捉的果蠅攜回漏斗內，在捕捉 2 隻果蠅後，因其巢底部囤積的食物影響其感應行爲，使其不再次捕捉獵物。

柒、研究結論

- 一、結網過程可分為「探測期」、「底層網期」、「平面網期」、「皿狀網期」、「漏斗網期」五個階段，其中後三個階段合稱為漏斗網發展期。
- 二、無補網或收網行爲，結網失敗時，會有「棄網行爲」。
- 三、偏好在「有光照」、「光線強烈」、「高溫(38°C~40°C)」的環境結網。
- 四、利用所結的網進行遊獵的行爲可分為「被動感應模式」、「偵查模式」、「攻擊獵物模式」、「後續處理模式」、「返回」五個階段。
- 五、蛛對越接近頂層的獵物感應越敏感，「直接攻擊」行爲發生次數越多，而「拍網行爲」與「彈跳偵測」有助於增加非頂層網的捕食成功率。
- 六、具有分辨獵物振動大小的能力且優先捕捉震動源較大的獵物，再捕捉震動源較弱的獵物。
- 七、「連殺」行爲較容易出現在獵物在捕食的同一直線軸上。
- 八、「纏繞」行爲使能攜帶獵物亦能包裹獵物，使之不容易掙扎逃脫，是像真正結網蛛的演化證據。
- 九、當網上同時出現的獵物越多時，傾向將全數的獵物捕捉，同時爲了降低來回捕食所需時間，並避免獵物佔滿漏斗網內，會先將獵物囤積在漏斗網口，持續捕食獵物，此爲遊獵蛛爲適應網的感應，產生新的行爲模式。
- 十、當網上間隔出現的獵物越多時，會持續來回並於巢底進行食用，但會因爲獵物過多，而影響到巢裡感應的敏感度，而使之出巢捕捉次數減少。

捌、參考資料

- 一、陳世煌：臺灣常見蜘蛛圖鑑，台北市，行政農業委員會。
- 二、朱耀沂：蜘蛛博物學，台北市，大樹文化。
- 三、洪若瑋：2010，夏綠蒂的母愛---探究溝渠豹蛛的產卵與護幼行爲，中華民國第 50 屆中小學科學展覽會。
- 四、劉維哲、朱玲萱、李珮瑜：2006，網路高手---長疣馬蛛，中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。

【評語】 040717

探討長疣馬蛛結網和捕食行為模式，僅限於捕食行為的探討，雖然有趣，但是若能有進一步之生化分析，如氣味...etc，會更好。