

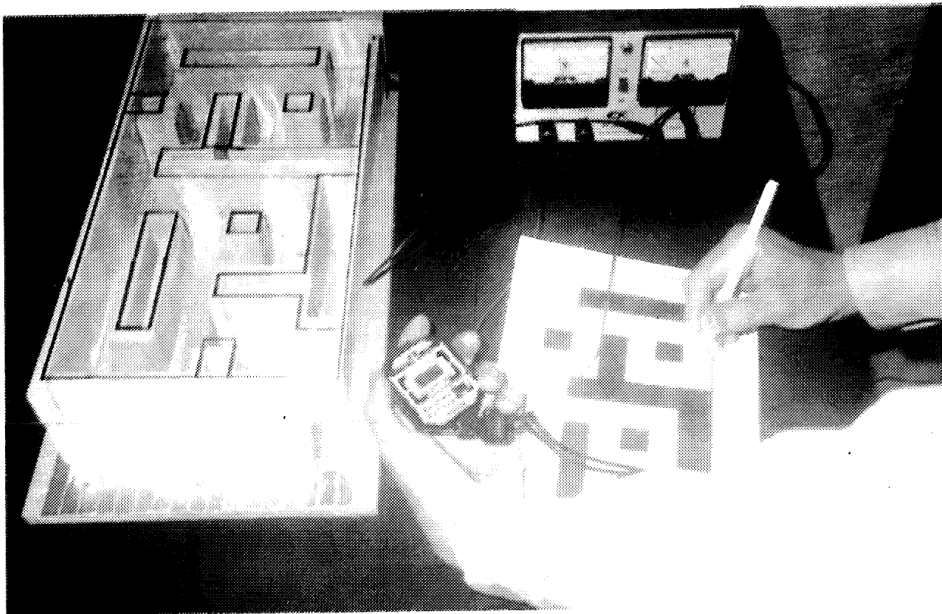
# 萬物的長者，飛越虛幻的國度 探究光、電、磁誘使蟑螂行為改變的真相

高中組生物科第一名

臺北市立建國高級中學

作者：林恩源、林子超  
陳宜壕、謝祥川

指導教師：李訓帆



## 一、研究動機

那一種昆蟲是惡作劇的最佳材料呢？無疑地就是蟑螂——存活達三億年之久的活化石——；億萬載來，環境的變遷不可不謂之巨大，而這些指頭般大的生物，竟能在物競天擇下生存，引發我們許多的遐想；就在好奇心的驅使下，展開了一連串別開生面的實驗研究。

## 二、研究目的

- (一)藉由光、電、磁各項基本性質的控制，來觀察蟑螂學習速率並探討其相互關係。
- (二)探討蟑螂在不同形式的迷津中，對光、電、磁之反應及學習速率的關係。
- (三)探討蟑螂的學習能力 ( Learning capacity ) 和光、電、磁的相互關係。

### 三、研究設備器材

- (一)迷宮板(自製統一規格)共數式多個
- (二)光度計一個
- (三)螺線管(1200匝、480匝)各八個
- (四)電源供應器(500 $\gamma$ 、150 $\gamma$ )各八個
- (五)自製光度學習箱多個
- (六)自製磁場學習箱多個
- (七)凡士林一罐
- (八)德國、灰色、美洲蟑螂各數十隻(約羽化後兩星期)
- (九)保溫箱一個

### 四、研究過程與方法

#### (一)光線對蟑螂行走迷宮的影響

##### 1. 蟑螂在不同光度下的行走情形

- (1)將光源置於迷宮正上方約50 cm，期使迷宮皆在照射範圍內。
- (2)在迷宮板上依序(2° → 2<sup>1</sup> → 2<sup>2</sup> → 2<sup>3</sup> → 2<sup>4</sup>張)增貼塑膠薄膜，並測出迷宮板內之光度。
- (3)觀察蟑螂在不同光度下的行走情形，並測其行進速率、完成時間，實驗進行24日。

##### 2. 差別光度(不同光度下蟑螂的選擇情形)

- (1)在迷宮隘口處，以塑膠薄膜的張數差(厚度)造成光度差(2° — 2<sup>1</sup>，2° — 2<sup>2</sup>，2° — 2<sup>3</sup>，2° — 2<sup>4</sup>之比較)，並以光度計測量且矯正之。
- (2)觀察蟑螂在隘口的選擇情形(以機率表示)並進行24日。

##### 3. 光照顏色(不同光照顏色的選擇情形)

- (1)截剪不同顏色之玻璃紙(寬與迷宮走道同)。
- (2)根據設計之路徑，將玻璃紙貼在軟墊上。
- (3)觀察蟑螂在隘口的選擇情形：進行20天。

#### (二)電壓對蟑螂行走迷宮的影響

- 1. 在迷宮走道上黏貼錫箔紙，並於其上裁出數條0.1 cm 寬之長條。
- 2. 供電後，使迷宮形成斷路(蟑螂碰觸後形成通路)並改變電壓大小(依15 v、30 v、45 v、60 v、75 v、90 v、105 v之序)。
- 3. 觀察蟑螂在不同電壓強度下的行走情形，測其行進速率、完成時間，進行

24 日。

(三)磁場對蟑螂行走迷宮的影響

- 1.將螺線管狀磁場依設計之位置佈滿迷宮。
- 2.改變磁場大小(依磁偏角 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 之序)。
- 3.觀察蟑螂在不同強度磁場下的行走情形(時間)，進行24日。

(四)不同形式迷宮對蟑螂行走的影響

- 1.在無外界因子影響下
  - (1)比較蟑螂在不同形式中的行走速率及完成時間，進行24日。
- 2.行進間避光電
  - (1)在各式迷宮上，附設(一)項實驗裝置，於其副板附設(二)項實驗裝置。
  - (2)比較蟑螂行走速率及完成時間，進行24日。

(五)電流刺激對蟑螂趨光性的影響

- 1.將錫箔紙依(二)項實驗方法黏妥後，依設計規劃出四個暗區(錯誤區域)。
- 2.將蟑螂放入「光度學習箱」內，連續迫其接受強光30日。
- 3.於30日內，每日都把蟑螂放入迷宮中，觀察其學習狀況(以Failure-Time及Failure choice portient表示)，完成後，再放回學習箱內，進行30日。

(六)電流刺激對蟑螂趨磁性的影響

- 1.複製(五)項實驗迷宮之裝置，但將暗區改為磁區。
- 2.將蟑螂放入「磁場學習箱」內，連續迫其接受強磁30日。
- 3.於30日內，每日都把蟑螂放入迷宮中，觀察其學習狀況(以Failure-Time及Failure choice portient表示)，完成後，再放回學習箱內，進行30日。

## 五、實驗結果

- (一) 1.(1)參照圖(1)，可知蟑螂完成速率(分/個)與迷宮環境光度( $L_x$ )成反比，即 $V_c \propto 1/L_x$ 。(  $V_c$  為蟑螂完成速率 )
- (2)承 1. 蟑螂中  $V_c(\delta)$  較  $V_c(\varphi)$  慢，但其差異範圍約在  $11'' \sim 45''$  之間。
- (3)參照圖(2)，蟑螂對迷宮環境光度( $L_x$ )適應性之優劣順序為  $Ge \rightarrow A \rightarrow G$ 。
- (4)應用電腦程式導出公式為：

$$x = R \cos^3 \theta ; y = R \sin^3 \theta \quad ( R \text{ 為 } x、y \text{ 的直線距離 } )$$

2.(1)當光度差別 ( $L_x$ ) 值由  $0 \rightarrow 1600$  時,  $\text{choice portient} \propto L_x$ , 即  $\text{choice portient}$  由  $1/2 \rightarrow 1$ 。

(2)承(1), Ge 及 A 中, 雄蟻的  $\text{choice portient}$  較雌蟻多出了約 1.5%; 但在 G 中, 雌蟻的  $\text{choice portient}$  較雄蟻多出了約 2.1%。

(3)蟻在迷宮內之差別光度的  $\text{choice portient}$  並不受迷宮形式的影響, 其誤差值範圍約在  $1/2700 \sim 471/2700$  之間。

3.(1)蟻在各光照顏色下的  $\text{choice portient}$  最高的為紅光、紫光, 再者為藍光、綠光、橙光, 最低的為黃光; 且各種蟻的  $\text{choice portient}$  之誤差範圍約在 1.2%~2.7% 之間。

(2)蟻的  $\text{complete time}$  在各光照顏色裏由少至多的順序為紫光→紅光→藍光→綠光→橙光→黃光; 其各種蟻在紫光、紅光內的  $\text{complete time}$  與正常情況下的誤差值約在 7%~8.1% 之間。

(二) 1. 蟻的  $\text{complete time}$  在各電壓範圍大小值由少至多的順序為  $60\text{ v} \rightarrow 45\text{ v} \rightarrow 15\text{ v} \rightarrow 30\text{ v} \rightarrow 75\text{ v} \rightarrow 90\text{ v} \rightarrow 105\text{ v}$ , 且  $\text{complete time} \propto 1/\text{Volt}$  ( $30\text{ v} - 60\text{ v}$ ),  $\text{complete time} \propto \text{Volt}$  ( $0 - 30\text{ v}$  及  $60\text{ v} - 105\text{ v}$ ), 其最低極限範圍約略落在  $30\text{ v} - 60\text{ v}$  之間。

2. 承 1. G 及 A 中, 雌蟻的  $\text{complete time}$  較雄蟻多出了約  $21'' \sim 37''$ , 但在 Ge 中, 雄蟻的  $\text{complete time}$  較雌蟻多出約  $36'' \sim 1'01''$ 。

3. 在電壓影響下, 其  $\text{complete time}$  與正常情況下的誤差值順序高低為 A :  $5'01'' \rightarrow$  Ge :  $4'32'' \rightarrow$  G :  $4'30''$ , 因誤差值越大, 表示該種蟻所受電壓影響越大, 因此可知蟻對電壓的穩定性其優劣順序為  $G \rightarrow \text{Ge} \rightarrow \text{A}$ 。

4. 應用電腦導出公式為:

(1)  $y = k \times 1/Z$  ( $k \in N$ ), 且  $N$  為 60 進位。Z 為常數。

(2)  $y = x^2 - 3x + 4$  ( $x > 3$ ) 且  $4 < x < 6$  時成立。

(3)  $y = ax + b$  ( $a, b \in Z$ )。

(三) 1. 蟻在隘口處附設磁場的  $\text{choice portient}$  其高低順序為  $60^\circ \rightarrow 45^\circ \rightarrow 30^\circ \rightarrow 15^\circ \rightarrow 0^\circ \rightarrow 75^\circ \rightarrow 90^\circ$ 。

2. 承 1. Ge . G . A 中, 由  $\text{choice portient}$  可看出雄蟻比雌蟻對電壓有稍高的選擇傾向, 差值約在 6%~9.1% 之間。

3. 蟻的  $\text{complete time}$  在各磁場大小範圍內由少→多的順序為  $60^\circ \rightarrow 45^\circ \rightarrow 0^\circ \rightarrow 15^\circ \rightarrow 30^\circ \rightarrow 75^\circ \rightarrow 90^\circ$ 。

4. 磁場對各種蟑螂有影響，其差值高低順序為 Ge ( 1107 / 2592 ) → G ( 1011 / 2592 ) → A ( 980 / 2592 ) 所以可知蟑螂對磁場的穩定性為 A → G → Ge。

5. 我們以供給電流的大小來決定磁偏角，而磁場強度則由磁場的環場積定理 ( The circulation theorem for magnetic field ) 換算而成， $B = 2\pi knI / L$  ( 其中 B 為磁場強度，導線匝數 n，常數 k 值為  $2.00 \times 10^{-7} \text{ nt / Amp}^2$  )

磁偏角 (°)	15	30	45	60	75	90
供給電流 (A)	4	7	10	13	16	20

磁偏角 (°)	B ( nt / Amp <sup>2</sup> )
∪ 0 ~ 20	0 - $1.408 \times 10^{-3}$
∩ 24 ~ 55	$6.144 \times 10^{-3}$ - $1.408 \times 10^{-2}$
∏ 65 ~ 90	$1.664 \times 10^{-2}$ - $2.304 \times 10^{-2}$

6. 應用電腦導出公式為：

(1)  $y = k' \times 1 / r$  (  $k' \in N$  )，但 N 為六十進位。

(2)  $y = \frac{3}{4}x^2 - 7x + \frac{28}{63}$  (  $x > 2$  ) 且  $3 < x < 5$  時成立。

(3)  $y = ax + b$  (  $a, b \in Z$  )      $y = f(\theta) = \theta \times p^2$  (  $p = 2.713$  )

$y = f(\theta) = \frac{3}{4}\theta^2 - 7\theta + \frac{28}{63}$       $y = f(\theta) = a\theta + b$ 。

(四) 1. 不論在 A、B 或 C 式迷宮中，Ge 均只耗費較少的完成時間，其次為 A，再其次為 G；同時由停留時間也可看出其行動速率優先順序為 Ge → A → G。

2. G、Ge、A 均在 A 式迷宮中行進時間最少，比較中可得知蟑螂對迷宮式樣的適應特性為：

蟑螂種類	Ge	A > B > C	迷宮形式
	G	A > B = C	
	A	A > C > B	

(五) 1. 蟑螂的 Failure choice portient  $\propto 1$  / 天。

2. 承 1.，各種蟑螂學習曲線趨勢不盡相同，其差值高低順序為 Ge ( 1231 /

5400 ) → A ( 1076 / 5400 ) → G ( 897 / 5400 ) 。

3. Ge 耗費的 Finish-time 較少，其次為 A，再其次為 G；由 Failure-time 也可以看出，所以綜觀其學習優劣順序為 Ge → A → G 。

(六) 1. 蟑螂的 Failure choice portient  $\alpha$  1 / 天。

2. 承 1，各種蟑螂學習曲線趨勢不盡相同，其差值高低順序為 Ge ( 1331 / 5400 ) → A ( 1016 / 5400 ) → G ( 887 / 5400 ) 。

3. Ge 耗費的 Finish-time 較少，其次為 A，再其次為 G；由 Failure-time 也可以看出，所以綜觀其學習優劣順序為 Ge → A → G 。

## 六、討論

- (一) 蟑螂在特定電壓強度範圍內，其活動量與行為表現超乎一般狀況的好，顯示特定電壓能刺激蟑螂，使其處於一種較亢奮的活躍狀態，而縮短行走時間。
- (二) 磁場可能先影響蟑螂之進食量，再間接影響其行為表現；也有可能先影響其行為表現，再影響其進食量。
- (三) 蟑螂對某一特定磁場強度有趨向性，但在此範圍前後的反應態勢中，却呈現出兩種截然不同的行為表現。
- (四) 地球本身就是一個大磁場，各種生物也無時無刻地受其影響；目前磁場對人體的影響眾說紛云，昆蟲學界對於磁場對昆蟲或蟑螂的影響亦無定論；但究竟為何磁場可吸引蟑螂，及促其生理改變等，則是我們今後努力的目標。
- (五) 蟑螂因無法適應「電」的刺激，所以隨著時間變遷而發展出另一套的行為模式，即負趨光性 → 正趨光性；同樣地，在趨磁性的實驗中，也產生即正趨磁性 → 負趨磁性。
- (六) 不一樣的路徑排列（如顛倒迷宮方向），即能使蟑螂無法將路徑及方向連合在一起而轉變其反應。
- (七) 書上說，蟑螂的腦容量甚小，且無思考力及判斷力，由於此因素，一方面使得蟑螂在迷宮隘口處的選擇情形，一開始憑「逢機選擇」，後來憑其「感官」，而非思考力等；另一方面，我們也可知，所謂「學習」對蟑螂而言，只可說是「感官刺激」的累積，而非人類思考力等的學習。
- (八) 昆蟲的生命很短，其行為皆有賴本能行之，然而在外界強有力的刺激下，蟑螂却可改變其本能；這種行為的彈性使得蟑螂能更具有適應不同環境變遷之能力，這也可解釋為何蟑螂可存活於地球上已達三億年之久，由此我們亦可知，所謂「學習能力」在蟑螂生活行為中，有多麼地重要！

## 七、結論

研究蟑螂定向作用，尤其特別對其個體行為控制之環境刺激的適應力，雖為一研究課題，但極富趣味性與挑戰性，我們的研究主題著重於刺激來源和蟑螂反應兩方面，結論如下：

- (一)光度 ( $L_x$ ) 值越大，相對地蟑螂的行進時間轉趨減少。
- (二)學習並不是連續活動，而是學習時所發生之電活動“製造一路徑”來，使下一次事情發生時之衝動，沿此路徑而更容易傳導。
- (三)隘口處的光度差別值 $\rightarrow\infty$ 時，蟑螂在隘口處的選擇機率由  $1/2 \rightarrow 1$ ，其「極限值」範圍約在  $630 \sim 710 (L_x)$  之間。
- (四)蟑螂對短波光具較高的感應趨勢，顯示其對短波光較長波光更具反應性，但紅光例外。
- (五)蟑螂對某一特性電壓 ( $30v \sim 50v$ ) 有非排斥性，但綜合看來，電壓使其產生趨避行為。
- (六)蟑螂對某一特定磁場強度範圍 ( $9.17 \times 10^{-3} \sim 2.514 \times 10^{-2} \text{ nt/Amp}^2$ ) 有趨向性，但在此範圍前後的反應態勢中却呈現出兩種截然不同的行為表現。
- (七)蟑螂的選擇，一開始是「逢機選擇」，「學習」對其而言，是「感官刺激」的累積；絕非思考力或判斷力等的形成。
- (八)不同的路徑排列，使蟑螂無法連合路徑及方向，而改變其反應。
- (九)蟑螂對環境因子的適應力，其優劣順序為磁 $\rightarrow$ 光 $\rightarrow$ 電。
- (十)利用各項實驗及其結果，可制訂出一套測定蟑螂各項行為表現模式的檢定測驗，並企盼能以此套測驗方式開啟昆蟲學界以各項不同的物理方法來測定昆蟲行為之首例，期使昆蟲行為能有更重大的突破與發現！

## 八、參考資料

- (一)李淳陽著，1981，昆蟲世界奇觀，白雲文化公司出版。
- (二)吳友仁著，1974，物理學，東華書局出版。
- (三)夏少非著，1978，電路學，三民書局出版。
- (四)陳錫桓著，1989，電磁學，中央圖書社出版。
- (五)關崇智著，1987，昆蟲生理學，南山堂出版社出版。

## 評語

利用各種物理因子，對蟑螂習性的研究有創見，發現德國蟑螂，灰色蟑螂與美洲蟑螂在不同的光照與磁場下，有學習的行爲，同時利用電腦及簡單的電路設計，將蟑螂的行爲以量化表示，得到重覆性很高圖表說明，值得鼓勵。