

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生物(生命科學)科

第三名

040717

背著房子走天涯-蝸牛對光、電、環境刺激的反應

學校名稱：國立屏東高級中學

作者： 高二 林暉烈 高二 劉皓鳴 高二 張育粥 高二 姚靖軒	指導老師： 林淑君
---	--------------

關鍵詞：蝸牛 基模 制約學習

壹、摘要

本實驗旨在觀察蝸牛之本能、適應、記憶及學習等行爲。首先我們建立蝸牛的**實驗基模**，觀察到蝸牛具有**短期記憶**，並測出蝸牛簡單的**記憶保留量與遺忘曲線**。實驗基模建立後第二天，再以光、電及振盪等環境刺激來干擾蝸牛並記錄其行爲的改變。我們觀察到蝸牛具有學習行爲的歷程特徵：即是行爲的獲得、消弱和自發性恢復的現象，並具有**古典制約學習行爲(classical conditioning learning)**。充份顯示出蝸牛具有較高級的記憶與學習行爲，應非簡單的軟體動物。此外，蝸牛對環境振盪與電壓刺激有**適應性**，先前得到的短期記憶雖受到短暫的干擾，但多次振盪實驗後即可恢復；且電壓大小與蝸牛記憶的干擾度成正向關係。

貳、研究動機

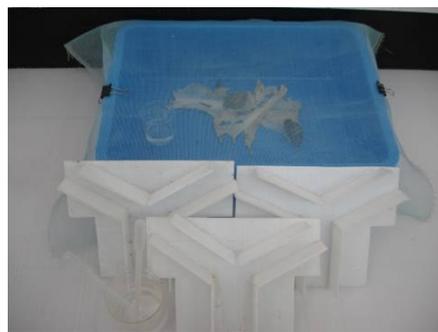
緩慢、遲鈍一直以來是我們對蝸牛的種種刻板印象，一提到蝸牛多數的人馬上想到非洲大蝸牛，牠有巨大濃褐色斑的外殼和美味的腹足，屬軟體動物門。根據先前所閱讀的資料中，有提到海兔這種軟體動物所擁有的記憶能力(註一)；以及高中生物學下冊書中所介紹的狗之條件制約與老鼠之操作制約等學習行爲(註二)。我們便假想蝸牛是否也具有記憶與學習的行爲。進而開始了我們對這群小動物們的觀察。

參、研究目的

- 一、觀察蝸牛的覓食與趨性等本能行爲，並建立實驗基模
 - …探討蝸牛的記憶與遺忘曲線
- 二、探討環境變因：光對蝸牛學習行爲與記憶的影響
 - …1.探討蝸牛學習歷程的特徵：行爲的獲得、消弱和自發性恢復
 - …2.探討蝸牛的古典制約之學習行爲
- 三、探討環境變因：電對蝸牛學習行爲與記憶的影響
- 四、探討環境變因：震盪對蝸牛學習行爲與記憶的影響

肆、研究設備及器材

- 一、 非洲大蝸牛
- 二、 食物（空心菜或高麗菜）
- 三、 滴管、抹布（清潔用）
- 四、 檯燈
- 五、 震盪器
- 六、 養殖槽（塑膠盆+紗網）
- 七、 「Y 型裝置」
- 八、 漆包線
- 九、 鱷魚夾電線
- 十、 電阻器
- 十一、 電流供應器
- 十二、 砂紙
- 十三、 數種大小的燒杯



照片一、實驗所需之器材

伍、研究過程及方法

實驗一、建立基模

……延伸探討蝸牛的記憶~~~遺忘曲線

一、初步觀察在不同的飢餓情況下，蝸牛覓食行爲的狀況。

- 1.到郊外田間拾取約 50 隻的蝸牛，餵食一段時間（約 20 天）。
- 2.將之分成三組不同餵食的方式：
(組別 1)：天天餵養。 (組別 2)：相隔一天餵養。 (組別 3)：相隔兩天餵養。
- 3.將上述各組之蝸牛，依續進行下列實驗：
 - A. 在「Y 型裝置」上，不放置食物。
 - B. 在「Y 型裝置」上，左側放置食物。
- 4.檢測蝸牛在「Y 型裝置」上的覓食行爲，並加以觀察記錄。

二、依據上述的結論，將蝸牛進行試誤學習，並建立實驗基模。

- 1.取飼養中爬行狀況較好的蝸牛 25 隻，分成 ABCDE 五組，每組五隻，飢餓一天。
- 2.將「Y 型裝置」的左側放置食物。
- 3.將 25 隻飢餓中的蝸牛，分別放入此裝置之底部，只進行一次試誤學習訓練。一次的訓練為…建立蝸牛其向左覓食達十次之行爲模式。
- 4.定義「飢餓中之蝸牛進行試誤學習」的當天為第一天，其後依次為第二天、第三天和第四天。每日每組定時分別進行測試。
- 5.將「Y 型裝置」的左側食物取走，分別將上述試誤學習過的蝸牛放入，並將每組每隻各進行五次測試，觀察並記錄。



照片二、在「Y 型裝置」的左側放置食物，蝸牛吸上此裝置底部後，向左側覓食爬行情形

三、延伸探討蝸牛的記憶~~遺忘曲線

- 1.取飼養中爬行狀況較好的蝸牛 20 隻，分成 ABCD 四組，每組 5 隻，飢餓一天。
- 2.將「Y 型裝置」的左側放置食物。
- 3.將五組飢餓中的蝸牛，分別放入此裝置之底部，進行下列不同次數訓練之試誤學習：每次的訓練為…每隻蝸牛於「Y 型裝置」，進行連續十次的試誤學習。

組 別	1.訓練	休息	2.訓練	休息	3.訓練	休息	4.訓練	休息
A 組	10 次	10 分						
B 組	10 次	10 分	10 次	10 分				
C 組	10 次	10 分	10 次	10 分	10 次	10 分		
D 組	10 次	10 分						

- 4.將「Y 型裝置」的左側食物取走，分別將上述試誤學習過的每組每隻蝸牛放入，並於訓練後第二天、第三天和第四天，每天分別定時將每組每隻蝸牛進行十次測試。觀察並記錄其學習後記憶遺忘的情形。

實驗二、環境的明亮對蝸牛行為的影響

…探討蝸牛的學習歷程之特徵與古典制約之學習行為

※將蝸牛分為五組，一組五隻，共 25 隻

1. 建立基模

2. 將「Y 型裝置」置入黑暗的櫃子中，進行下述(1)~(7)之實驗

3. 每次實驗時，待蝸牛吸上「Y 型裝置」底部，即關閉櫃子使環境成為完全黑暗

4. 分別進行下列七個步驟的實驗，每一步驟連續 10 次測試，並加以觀察紀錄

5. 探討蝸牛於暗室的本能行為實驗

(1) 黑暗之中，將食物擺放在「Y 型裝置」左方

(2) 黑暗之中，在「Y 型裝置」左方打光，不擺放食物

6. 探討學習歷程的特徵：學習的獲得-消弱-自發性恢復的行為實驗

(3) 接續(1)，黑暗之中不擺食物

(4) 接續(1)，在「Y 型裝置」左方食物處打光

(5) 接續步驟(4)，但是將「Y 型裝置」左方的食物拿走，左方仍打光

(6) 古典制約學習行為實驗

① 接續步驟(4)，將食物拿走，並將燈光移至「Y 型裝置」右方

(7) 學習行為之自發性恢復的實驗

① 重覆實驗步驟(1)(4)(6)後，建立蝸牛古典制約學習行為後，當日將之餵飽

② 第二天，將蝸牛再進行步驟(6)之測試：將食物拿走，並將燈光移至右方

③ 第二天測試完後將蝸牛餵飽，並進行第三、四天連續兩日之少量餵食。

③ 第四天將上述蝸牛進行步驟(5)之測試：將左方的食物拿走，左方仍打光



照片三、暗室中的裝置

實驗三、在震盪的環境下，蝸牛行為的改變

- 1.取飼養中爬行狀況較好的五隻蝸牛來建立實驗基模
- 2.將「Y型裝置」置於震盪機上
- 2.將蝸牛放置在「Y型裝置」之底部，待其吸附即可開始實驗
- 3.啓動震盪機，將五隻蝸牛依次進行下列六個步驟，且每一步驟重複十次測試，並觀察記錄每一步驟之每次實驗的結果

- (1)時間 60 秒，震盪機轉速為 100rpm
- (2)時間 60 秒，震盪機轉速為 150rpm
- (3)時間 60 秒，震盪機轉速為 200rpm
- (4)轉速 150 rpm，時間為 30 秒
- (5)轉速 150 rpm，時間為 60 秒
- (6)轉速 150 rpm，時間為 90 秒



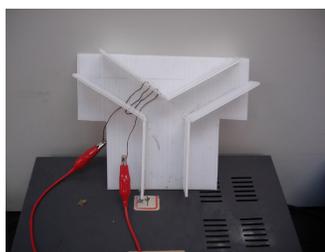
照片四、震盪裝置



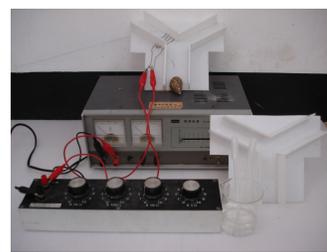
照片五、震盪裝置上的蝸牛

實驗四、不同的電擊情形對蝸牛行為的改變

- 1.取飼養中爬行狀況較好的五隻蝸牛來建立實驗基模
 - 2.將除去外漆之漆包線纏繞在「Y型裝置」左側
 - 3.外接電源供應器以形成通路，產生電擊效果
 - 4.將蝸牛放置在「Y型裝置」之底部，待其吸附即可開始實驗
 - 5.將五隻蝸牛依次進行下列四個步驟，且每一步驟重複十次測試，並觀察記錄每一步驟之每次實驗的結果
- (1) 3 伏特，前五次電擊
 - (2) 3 伏特，全程電擊
 - (3) 4.5 伏特，前五次電擊
 - (4) 4.5 伏特，全程電擊



照片六、電擊裝置



照片七、電擊裝置中的蝸牛

陸、研究結果

實驗一、建立基模……延伸探討蝸牛的記憶~~~遺忘曲線

一、 蝸牛在不同的飢餓情況下，於「Y型裝置」上覓食行為的觀察，如下表：

(組別 1)：天天餵養。 (組別 2)：相隔一天餵養。 (組別 3)：相隔兩天餵養。

A 組：在「Y型裝置」上，不放置食物。

次數 組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
1	X	○	X	○	X	X	X	○	X	○
2	X	X	○	○	X	○	X	X	○	○
3	○	X	○	○	○	○	X	○	X	X

○：表向左側覓食

X：表向右側覓食

※結論：蝸牛於「Y型裝置」上，向左或向右的覓食行為是隨機行為，顯示「Y型裝置」的可用性，且無任何線索導致其向左覓食。

B 組：在「Y型裝置」上，左側放置食物。

次數 組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
1	X	○	X	○	○	○	X	○	○	○
2	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○
3	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○

○：表向左側覓食(靠近食物處)

X：表向右側覓食(偏離食物處)

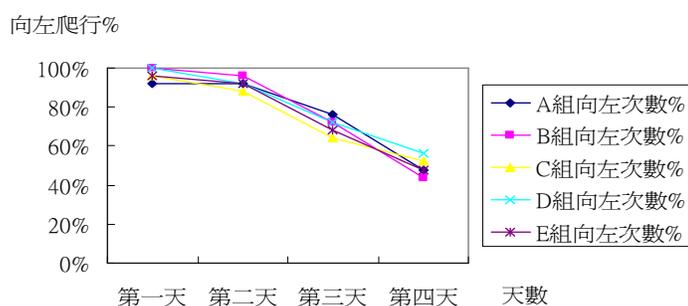
※結論：蝸牛具有試誤學習的能力，其學習的結果：餓一天的組別 2 和餓兩天的組別 3 是一樣的效果，但是餓兩天的蝸牛行動略顯緩慢且較快出現疲累狀況。據此我們建立實驗基模之初步的準備工作：即為將蝸牛第一天不餵食→第二天飢餓狀況下進行試誤學習。

二、建立實驗基模：

- 1.將五組蝸牛，分別進行相同次數的試誤學習訓練，連續四天測試其學習行爲，記錄其向左覓食次數的百分比(*註解)之結果：

相隔天數 組別(向左覓食的%)	第一天	第二天	第三天	第四天
A 組	92	92	76	48
B 組	100	96	72	44
C 組	96	88	64	52
D 組	100	92	72	56
E 組	96	92	68	48

表一、將飢餓一天之 ABCDE 五組蝸牛，分別進行相同之試誤學習訓練，且學習之當天為第一天，其後依次為第二天、第三天和第四天。蝸牛向左覓食的次數百分比。



圖一、蝸牛的記憶隨時間消退的情形。

※結論：據此我們建立以下實驗二~四，所需之實驗基模：

即為將蝸牛第一天不餵食→第二天飢餓狀況下進行試誤學習
→第三天設計環境變因來進行實驗。

***註解：**所有實驗中，蝸牛試誤學習得到的行爲，即為蝸牛向左覓食行爲，並且應該會產生記憶。故將其向左覓食行爲的次數換成百分比，其中所代表之意義如下：

$$\text{向左覓食次數百分比} = \frac{\text{蝸牛向左爬行次數}}{\text{總測試的次數}} \times 100\%$$

★向左覓食次數百分比：

- ①0%……代表蝸牛向右覓食的行爲。
- ②50%……代表蝸牛向左或向右覓食行爲均等。
- ③100%……代表蝸牛向左覓食的行爲。

三、延伸探討蝸牛的記憶~~遺忘曲線：

1.將 ABCD 四組蝸牛，分別進行不同次數的試誤學習訓練下，

連續四天記錄其向左覓食次數的百分比結果：

相隔天數 組別(向左覓食的%)	第一天	第二天	第三天	第四天
A 組	96	84	78	64
B 組	95	86	84	70
C 組	95	84	84	70
D 組	97	88	80	76

表二、將飢餓一天之 ABCD 四組蝸牛，分別進行不同次數的試誤學習訓練，且學習之當天為第一天，其後依次為第二天、第三天和第四天。蝸牛向左覓食的次數百分比。

2.蝸牛記憶保留量之計算與遺忘曲線：我們將此次實驗中表二所得之向左覓食行為次數百分比數據，換算成記憶保留量百分比，公式如下，並得到表二(1)數據：

$$\text{記憶保留量百分比} = \frac{\text{蝸牛向左爬行次數}\% - 50\%}{50\%} \times 100\%$$

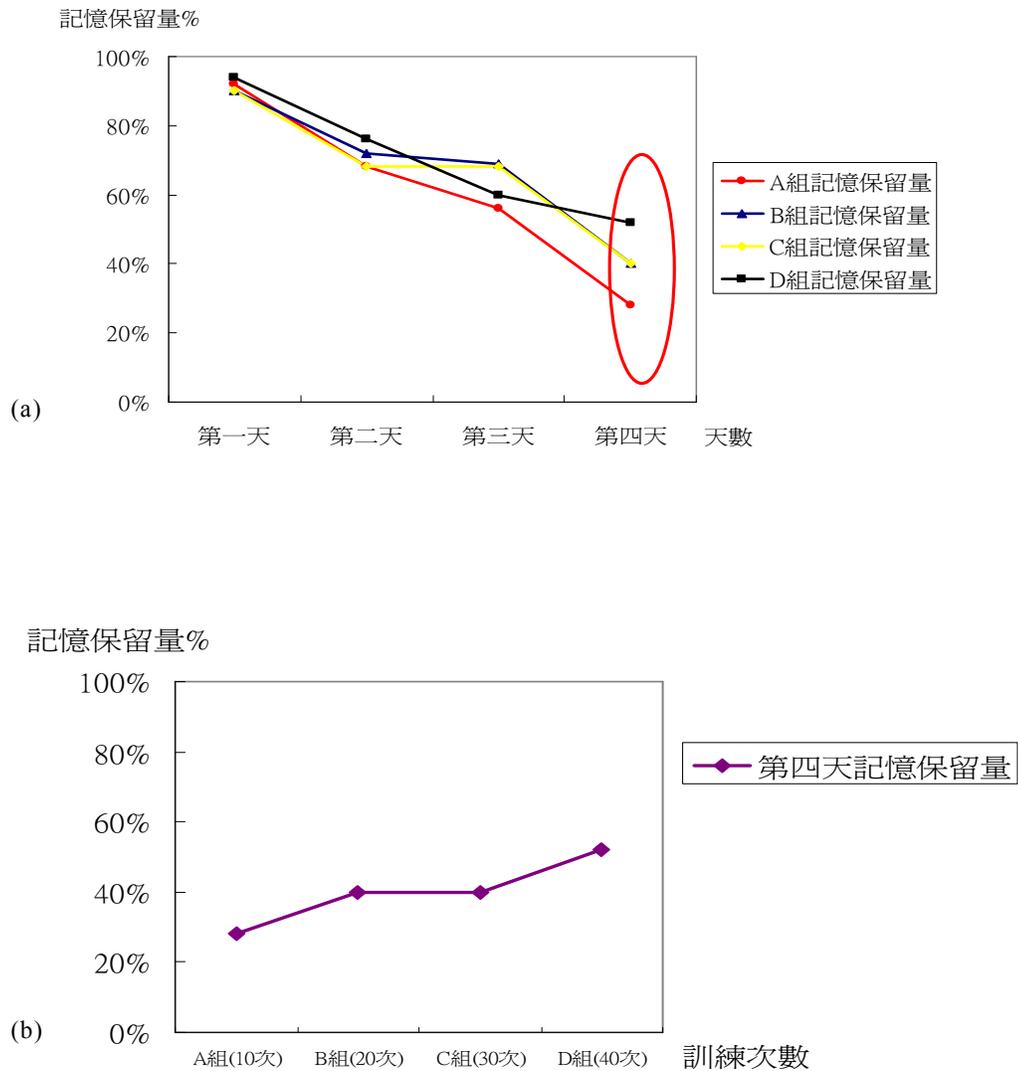
★記憶保留量百分比

①0%……即向左覓食的學習行為之記憶完全消失。

②100%……即向左覓食的學習行為之記憶保留最大。

相隔天數 組別(記憶保留量%)	第一天	第二天	第三天	第四天
A 組	92	68	56	28
B 組	90	72	69	40
C 組	90	68	68	40
D 組	94	76	60	52

表二(1)、根據表二所做成之蝸牛的記憶保留量百分比。



圖二、根據表二數據，換算成表二(1)記憶保留量百分比，將之製作成蝸牛之遺忘曲線圖。

(a)不同次數的試誤學習訓練之 ABCD 組蝸牛，訓練當日及後續三天測試每天每組蝸牛記憶保留量百分比的情形。

(b) ABCD 組試誤學習後，第四天蝸牛學習的記憶保留量百分比，做成一個線性關係的情形。

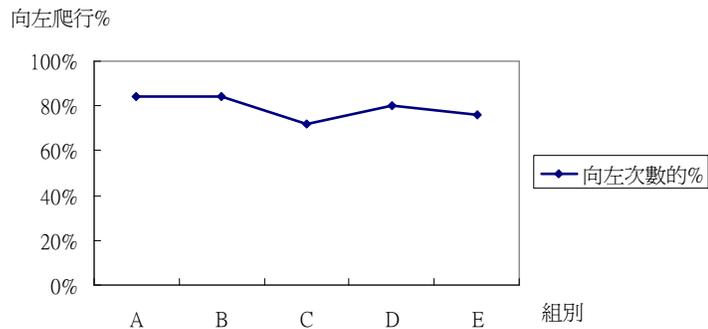
實驗二、環境的明亮對蝸牛行為的影響

…探討蝸牛的學習歷程之特徵與古典制約之學習行為

(1) 黑暗之中，將食物擺放在「Y型裝置」左方

組別	A	B	C	D	E	平均值
向左覓食的%	84	84	72	80	76	80%

表三、在黑暗中，食物在「Y型裝置」左方，蝸牛仍向左覓食的次數百分比。

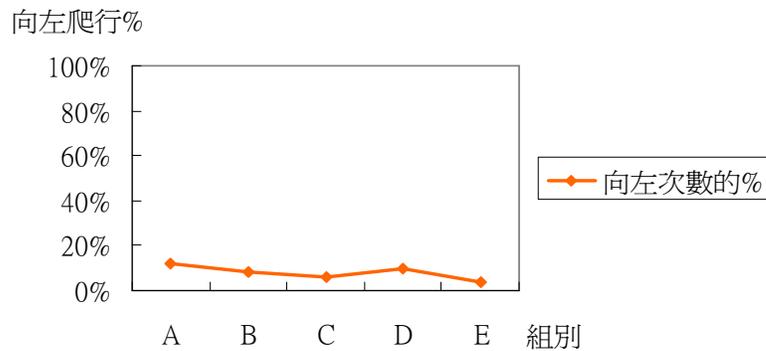


圖三、黑暗中，食物在「Y型裝置」左方，蝸牛仍向左覓食的行為。

(2) 黑暗之中，在「Y型裝置」左方打光，不擺放食物

組別	A	B	C	D	E	平均值
向左覓食的%	12	8	6	10	4	9%

表四、在「Y型裝置」左方有光源但無食物的情形下，蝸牛的向左覓食的次數百分比。

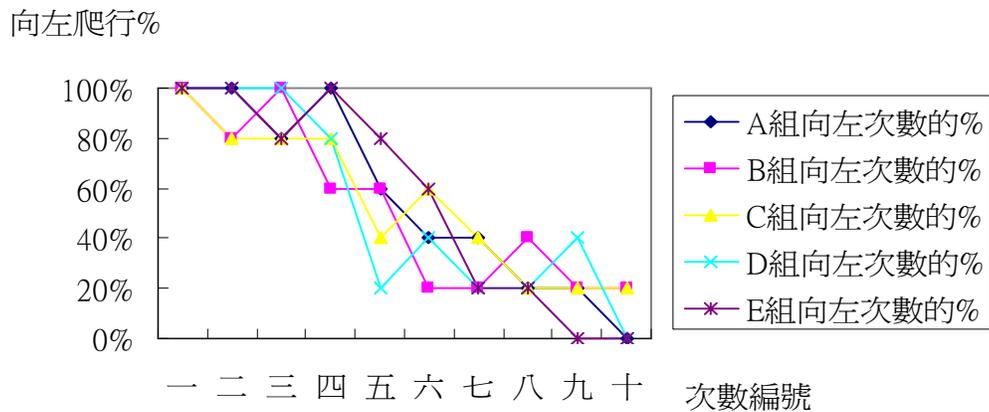


圖四、在暗室中且在「Y型裝置」左方打光，蝸牛的負趨光性行為。

(3)接續(1)後，黑暗中不擺食物

組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
A 組	100	100	80	100	60	40	40	20	20	0
B 組	100	80	100	60	60	20	20	40	20	20
C 組	100	80	80	80	40	60	40	20	20	20
D 組	100	100	100	80	20	40	20	20	40	0
E 組	100	100	80	100	80	60	20	20	0	0
平均值	100	92	88	80	52	44	28	24	20	8

表五、上表格為在黑暗中，將原先在「Y 型裝置」左方的食物移開，蝸牛向左方覓食的百分比。

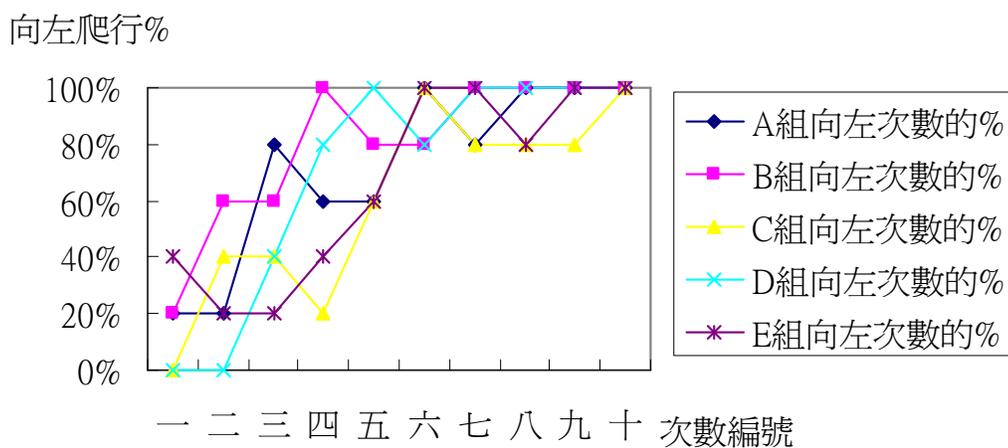


圖五、接續圖三的實驗，將「Y 型裝置」左方的食物拿走，蝸牛覓食行為改變的情形。

(4)接續(1)後，在「Y型裝置」左方食物處打光

組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
A組	20	20	80	60	60	100	80	100	100	100
B組	20	60	60	100	80	80	100	100	100	100
C組	0	40	40	20	60	100	80	80	80	100
D組	0	0	40	80	100	80	100	100	100	100
E組	40	20	20	40	60	100	100	80	100	100
平均值	16	28	48	60	72	92	92	92	96	100

表六、上表格，表示在「Y型裝置」左方打光及擺放食物，蝸牛向左方覓食的百分比。

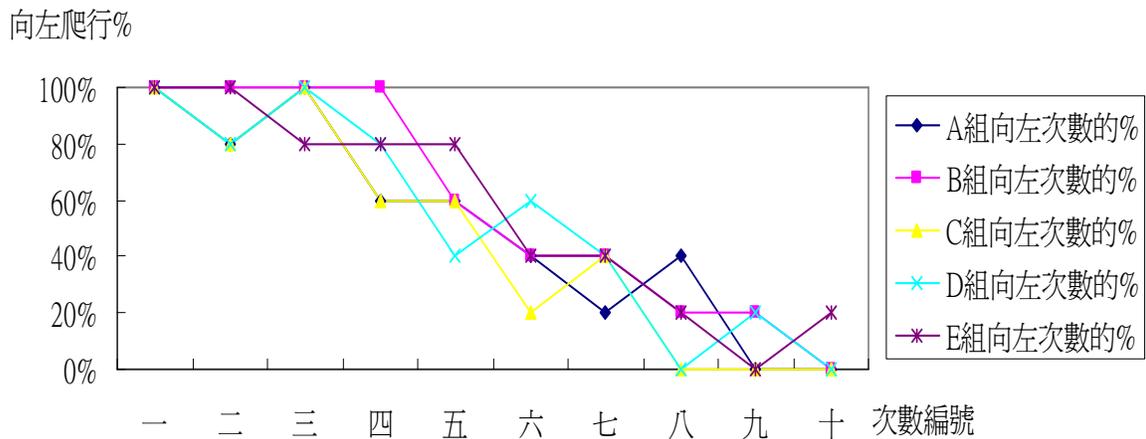


六、根據圖三的實驗，將「Y型裝置」左方食物區打上光源，蝸牛覓食行為改變的情形。

(5) 接續步驟(4)後，但是將「Y型裝置」左方的食物拿走，仍在左方打光

組別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
A 組	100	80	100	60	60	40	20	40	0	0
B 組	100	100	100	100	60	40	40	20	20	0
C 組	100	80	100	60	60	20	40	0	0	0
D 組	100	80	100	80	40	60	40	0	20	0
E 組	100	100	80	80	80	40	40	20	0	20
平均值	100	88	96	76	60	40	36	16	8	4

表七、此表格為進行完左方有光+食物的學習後，再將食物移開，蝸牛向左方覓食的百分比。

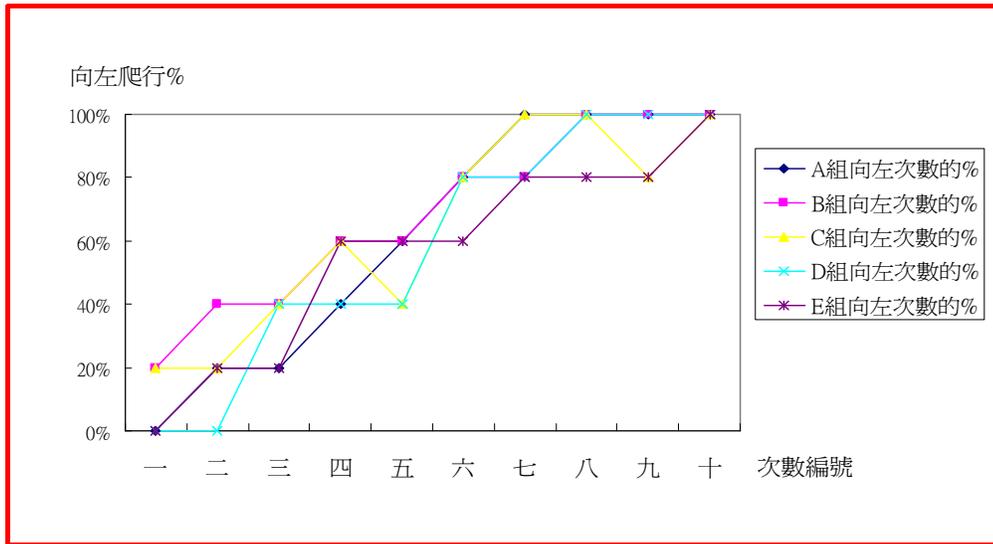


圖七、接續圖六的實驗，但移開食物，「Y型裝置」左方仍有光源，蝸牛行為改變的情形。

(6) 接續步驟(4)，將食物拿走，並且將燈光移至右方

次別 編號	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
A 組	0	20	20	40	60	80	100	100	100	100
B 組	20	40	40	60	60	80	80	100	100	100
C 組	20	20	40	60	40	80	100	100	80	100
D 組	0	0	40	40	40	80	80	100	100	100
E 組	0	20	20	60	60	60	80	80	80	100
平均值	8	20	32	52	52	76	88	96	92	100

表八、先進行「Y 型裝置」左方有光及食物的刺激學習後，再將食物移開，並將光源移至「Y 型裝置」右方，蝸牛向左覓食次數的百分比。

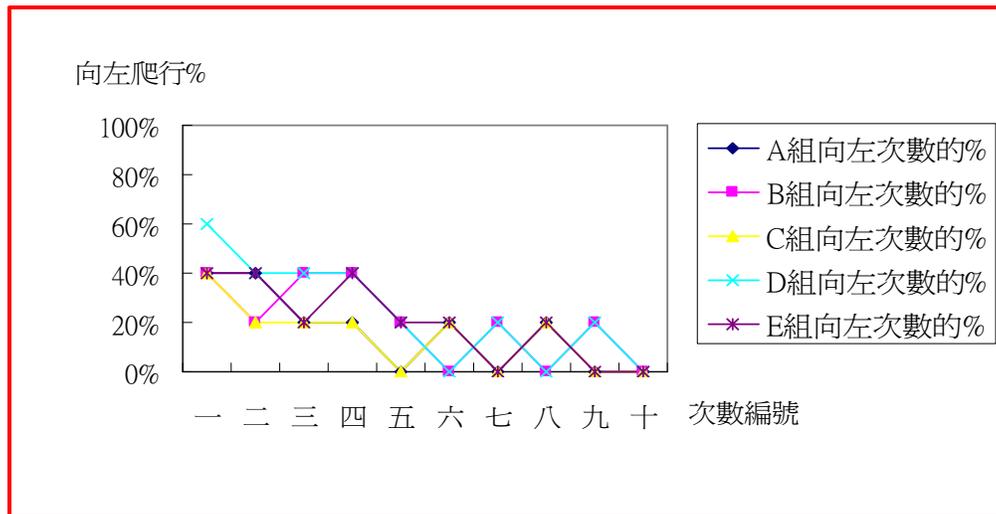


圖八、接續圖六的實驗：先進行「Y 型裝置」左方有光及食物的刺激學習後，再將食物移開，並將光源移至「Y 型裝置」右方，蝸牛覓食行為改變的情形。

(7) 探討學習歷程的特徵……學習行為的自發性恢復實驗

次別 編號	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
A 組	40	40	20	20	0	20	0	20	0	0
B 組	40	20	40	40	20	0	20	0	20	0
C 組	40	20	20	20	0	20	0	20	0	0
D 組	60	40	40	40	20	0	20	0	20	0
E 組	40	40	20	40	20	20	0	20	0	0
平均值	44	32	28	32	12	12	8	12	8	0

表九、蝸牛建立古典制約學習行為後，隔二日，在暗室中將食物拿走，且在「Y 型裝置」左方打光下，蝸牛向左覓食次數的百分比。



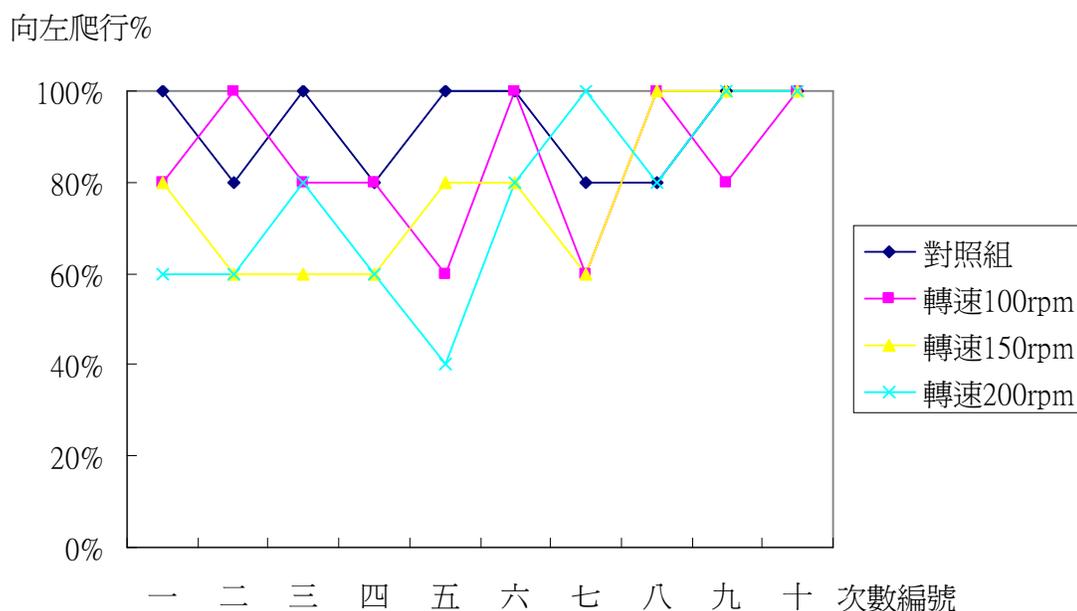
圖九、蝸牛建立古典制約學習行為後，隔二日，在暗室中將食物拿走，且在「Y 型裝置」左方打光下，蝸牛覓食行為改變的情形。

實驗三、在震盪的環境下，蝸牛行為的改變

一、震盪時間固定，在受不同的震盪轉速下，蝸牛的覓食行為

(1)對照組										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	100	80	100	80	100	100	80	80	100	100
(2)時間 60 秒，震盪機轉速 100rpm										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	100	80	80	60	100	60	100	80	100
(3)時間 60 秒，震盪機轉速 150rpm										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	60	60	60	80	80	60	100	100	100
(4)時間 60 秒，震盪機轉速 200rpm										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	60	60	80	60	40	80	100	80	100	100

表十、以上四個表格為不同的震盪轉速下，蝸牛的向左覓食次數的百分比。

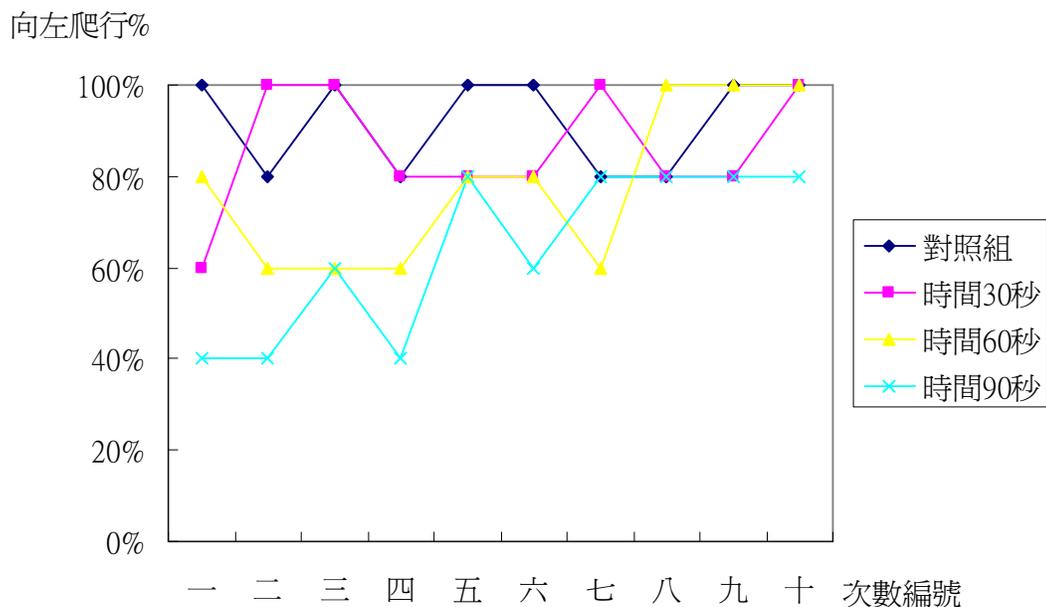


圖十、震盪時間固定，在受不同的震盪轉速下，蝸牛行為改變的情形。

二、震盪轉速固定為 150rpm，在受不同的震盪時間下，蝸牛的覓食行為

(1)對照組										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	100	80	100	80	100	100	80	80	100	100
(2)轉速 150 rpm，時間為 30 秒										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	60	100	100	80	80	80	100	80	80	100
(3)轉速 150 rpm，時間為 60 秒										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	60	60	60	80	80	60	100	100	100
(4)轉速 150 rpm，時間為 90 秒										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	40	40	60	40	80	60	80	80	80	80

表十一、以上四個表格為不同的受震盪時間下，蝸牛向左覓食次數的百分比。

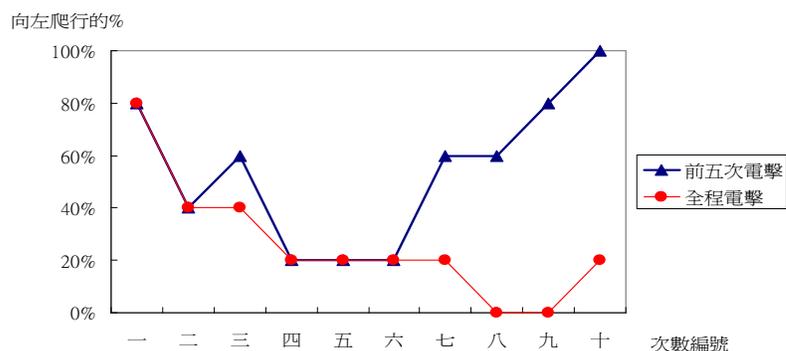


圖十一、震盪轉速固定為 150rpm，在受不同的震盪時間下，蝸牛行為改變的情形。

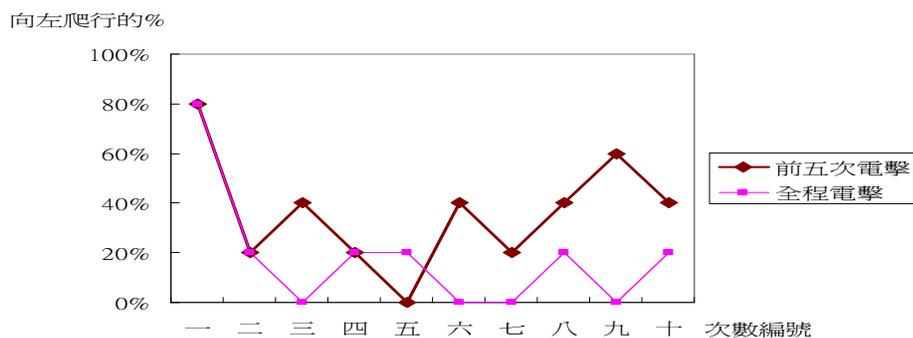
實驗四、不同的電擊情形對蝸牛行為的影響

(1)3 伏特，前五次電擊										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	40	60	20	20	20	60	60	80	100
(2) 3 伏特，全程電擊										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	40	40	20	20	20	20	0	0	20
(3)4.5 伏特，前五次電擊										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	20	40	20	0	40	20	40	60	40
(4)4.5 伏特，全程電擊										
次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
百分比	80	20	0	20	20	0	0	20	0	20

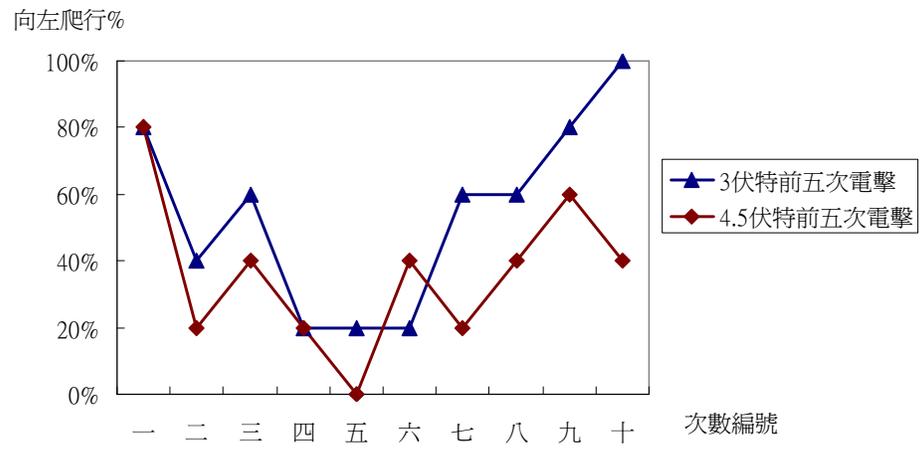
表十二、以上四個表格為不同的電擊情形或時間下，蝸牛向左覓食次數的百分比。



圖十二、在 3 伏特電擊下，分別給蝸牛前五次或全程電極之測試，比較蝸牛行為改變的情形。



圖十三、在 4.5 伏特電擊下，分別給蝸牛前五次或全程電極之測試，比較蝸牛行為改變的情形。



圖十四、在不同的電流強度之下，分別給蝸牛前五次電極之測試，比較蝸牛行為改變的情形。

柒、結 論

實驗一、建立基模

……延伸探討蝸牛的記憶~~~遺忘曲線

一、實驗基模的建立

在「Y 型裝置」上，不放置食物下，蝸牛向左或向右的覓食行爲是隨機行爲，顯示「Y 型裝置」的可用性。接著，在「Y 型裝置」上，左側放置食物，使其試誤學習的結果顯示：飢餓一天的蝸牛接受試誤學習後之第一天與第二天，其向左覓食行爲之百分率仍達到 90%以上；而試誤學習後第四天測試時，蝸牛向左覓食行爲之百分率減爲約 49.6%，意即向左與向右覓食行爲之機率相當，顯示已遺忘。我們推論：經由食物試誤學習得到的記憶爲一短期記憶(圖一) (註四)。並據此實驗，我們建立了本次科展研究的實驗基模：即爲將蝸牛第一天不餵食→第二天飢餓狀況下進行試誤學習→第三天設計環境變因來進行實驗。

二、延伸探討蝸牛的記憶~~~遺忘曲線

由表二(1)中，結果顯示：，飢餓一天的 A 組蝸牛，只接受一次的試誤學習訓練(共學習十次)，其在第二天的記憶保留量爲 68%，明顯較其他三組爲低，到第四天則爲 28%，亦即學習行爲之遺忘達七成。然而，飢餓一天的 D 組蝸牛，接受四次的試誤學習訓練(共學習四十次)，其在第二天的記憶保留量爲 76%，且在第四天的記憶保留量尙有 52%，比 ABC 組明顯較多。我們結論：此實驗更證明蝸牛確實有學習理論中的學習行爲歷程…①學習獲得之行爲會隨著時間而漸漸遺忘(圖二(a))。②並且建立學習行爲時，所獲得的記憶與訓練的次數呈正向線性關係，其學習行爲訓練的次數愈多，則愈慢遺忘此行爲模式(圖二(b))。

實驗二、環境的明亮對蝸牛行爲的影響

…探討蝸牛的學習歷程之特徵與古典制約之學習行爲

在實驗二之暗室中，結果顯示：蝸牛仍有試誤學習的能力，並建立向左覓食的行爲能力(圖三)。接著，將「Y 型裝置」左側食物拿走後，測試其行爲，觀察到蝸牛先向左覓食，但在多次覓不到食物時，則向右去覓食(圖五)。再者，原本具有負趨光性的蝸牛(圖四)，因覓食本能而改變其原有之負趨光性行爲(圖六)，其後將食物拿開蝸牛仍爬向光源處表現出趨光性的行爲(圖七)。但在幾次向「Y 型裝置」左側爬行無法吃到食物之後，便漸漸恢復原有之負趨光性(圖六) (表十三)。我們推論：蝸牛具有記憶能力，且爲了適應環境的變化而改變原有的趨性，進而將光源與食物聯想在一起，似乎具有關聯學習的能力(註五)。並產生了趨光性的行爲，這違反了天生的負趨光性之本能行爲，是生物爲適應環境而改變行爲的一大佐證。

一、探討蝸牛的古典制約之學習行為

再進一步設計實驗二(6)，**結果顯示**：第一次測試時，蝸牛立即向左方爬行覓食次數為 0 %，而在前四次測試，蝸牛立即向左方爬行覓食次數平均約為 10%，亦即蝸牛向右方光源處爬行覓食(圖八)。**我們結論**：蝸牛具有**關聯學習(conditioning learning)** 的行為(註五)。學習到將食物與光聯想在一起，而能在「Y 型裝置」左方無食物的刺激下，向右方光源處爬行覓食，且此行為在幾次向右爬行無法吃到食物之後，亦有行為消弱現象(註十四)。

二、探討學習歷程的特徵：學習行為的獲得-消弱-自發性恢復

在實驗二(7)中，**結果顯示**：第二天蝸牛已建立古典制約學習行為。於第四天再次測試，發現蝸牛稍微恢復先前之古典制約行為(圖九)。**我們結論**：蝸牛具有**學習行為的歷程之特徵…學習行為的獲得-消弱-自發性恢復**。

實驗三、在震盪的環境下，蝸牛行為的改變

在實驗三中，**結果顯示**：當震盪頻率越高和時間越長時，對蝸牛的覓食行為影響也越大，意即向左與向右機率相近(圖十)；此外，對蝸牛覓食行為的影響也越長，但大多在短時間內(約 10 次中的 3 到 6 次之後)即恢復原有之覓食行為(圖十一)。**我們推論**：震盪會干擾蝸牛的短期記憶(註四)，而導致無法達到向左覓食的準確行為，但是在一段時間後，因蝸牛的適應行為而恢復。

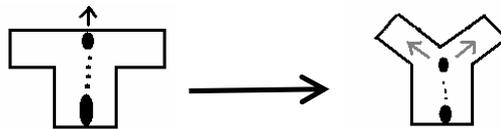
實驗四、不同的電擊情形對蝸牛行為的改變

在實驗四中，**結果顯示**：受到一、兩次電擊後，蝸牛為躲避電擊而改變其原有的覓食行為(註三)，且行為改變明顯較快；但在電擊刺激消失後，蝸牛卻很快恢復其原有的覓食行為(圖十二)(圖十三)。而電擊的電壓越強對蝸牛的刺激也越大，即是躲避電擊的行為越明顯，且持續此行為的時間也越久(圖十四)。**我們推論**：**電擊為一強烈但效果短暫的刺激，其所改變的行為來的快，消失也快。**

捌、討 論

一、關於「Y 型裝置」的由來

首先，我們觀察蝸牛各種行爲，發現蝸牛具有負趨光性、負趨地性及覓食等本能行爲。據此觀察，我們設計一個 Y 型裝置，此裝置原先的構想，是來自於研究動物心理學中所使用的「T 字迷津」(註十三)，加上考慮到蝸牛的負趨地性，我們將其調高 60 度角斜放在桌面上，以利實驗進行。但爲了避免在轉彎的部份產生無法控制的混淆變項，如：左右轉動本身可能就是線索或轉彎處左右邊的外在線索的差異等(註十三)，均可能影響實驗。因此，我們將「T 字迷津」稍加修改爲我們所謂的「Y 型裝置」(圖十五)。經由實驗一測試的結果顯示，蝸牛於「Y 型裝置」上，向左或向右的覓食行爲是隨機行爲，代表「Y 型裝置」的可用性，且無任何線索導致其向左覓食。



蝸牛常由裝置上方爬出

較適合蝸牛爬行

圖十五、設計「Y 型裝置」的由來

二、實驗基模的建立

我們藉由蝸牛對食物的需求，來做爲建立基模的依據。我們仿造 Cheng 所做的「渴驅力」實驗(註十七)，將其水分變因改爲食物變因，利用對食物的渴求，來控制蝸牛，在牠內部的「餓驅力」下，使蝸牛依照我們先前設定好的方向去爬行，建立本實驗之實驗基模。再依據 Campbell 書中所提到生物的適應行爲：即生物會爲了生存來適應環境，進而改變行爲(註四)。因此，我們營造出環境中各種生存的壓力：光、電和震盪等，在蝸牛的「餓驅力」下，來促使蝸牛產生適應、記憶與學習行爲。經過多次反覆的實驗後，我們成功的建立了蝸牛的短期記憶，同時也達成了我們往後實驗中的一個重要基準——實驗基模。

三、探討蝸牛的記憶…**遺忘曲線**

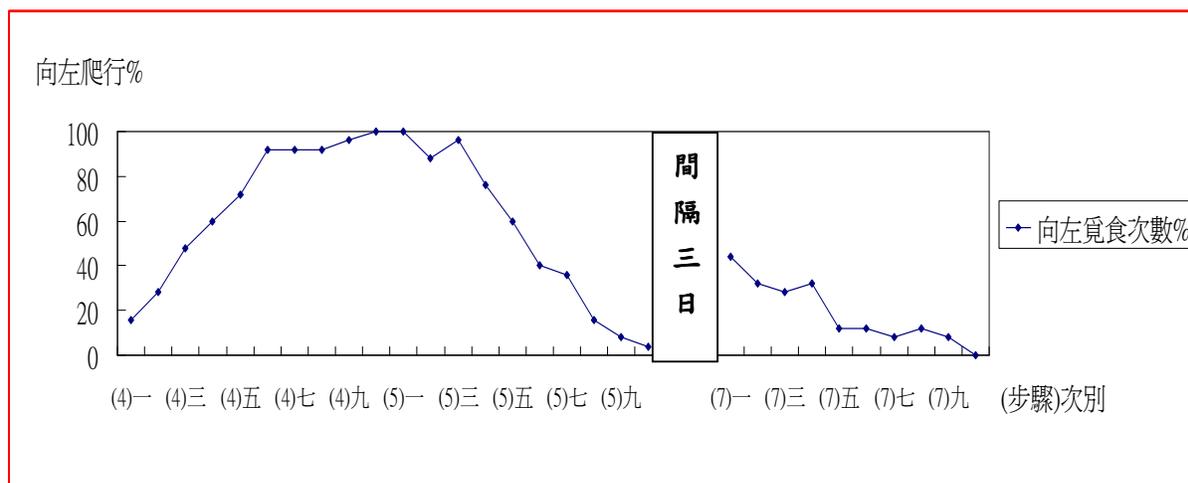
記憶的實驗研究，無法直接觀察或拍照測量，如同其他的心理活動現象(例如：智力和情緒)，動物個體能否產生記憶，也只能從實驗結果，以間接的方式觀察測量來推論，故記憶屬於一種理論建構(hypothetical construct)(註十五)。最早做記憶研究的先驅是 Hermann Ebbinghaus，以自我記憶做研究，並建立所謂的遺忘曲線，得到結論：(1) 記憶的保留量會隨著時間遞減，甚至數日後完全遺忘(圖二(a))；(2) 學習行爲的訓練次數與學習的記憶保留量，成一個正向的線性關係(圖二(b))。在實驗一中蝸牛的記憶研究，我們亦得到此一建構理論，並建立一個簡易的蝸牛遺忘曲線。

四、探討蝸牛的學習歷程之特徵…**學習行為的獲得-消弱-自發性恢復**

先前的實驗二(5)結果推論：經由幾次將光與食物擺在一起後，蝸牛便將「食物」與「光」聯想在一起，此即為**增強(reinforcement)**刺激與反應之聯結(註十四)；並爲了覓食而改變原有之負趨光性，因而向原本食物擺放的左方且光源處爬行覓食；但在幾次向左爬行無法吃到食物之後，便漸漸恢復原有之負趨光性(圖三~圖六)，使得蝸牛所學習到的行為(向左方光源處爬行覓食)有**消弱的現象(extinction)**(註十四)；並經由三日之休息且少量餵食後，再進一步測試其先前試誤學習的行為，結果顯示：先前增強之覓食行為雖有消弱現象，但仍可再測得蝸牛向左覓食的自發性行為，此即是**自發性恢復(spontaneous recovery)**的學習行為特徵(表十三)(圖十五)。符合**學習行為的歷程之特徵…學習行為的獲得-消弱-自發性恢復**(註十四)。

實驗二之步驟		實驗結果(向左覓食次數百分比之平均值)									
本能	(1)將食物擺放在左方	80% (覓食本能)									
	(2)在左方打光，不擺放食物	9% (負趨光性本能)									
學習行為	次別	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
	(3)接續(1)後，將左方食物取走	100	92	88	80	52	44	28	24	20	8
	(4)接續(1)後，在左方食物處打光	16	28	48	60	72	92	92	92	96	100
	(5)接續(4)後，但是將左方的食物取走仍在左方打光	100	88	96	76	60	40	36	16	8	4
	(6)接續(4)後，但是將左方的食物取走仍在右方打光	8	20	32	52	52	76	88	96	92	100
(7)接續(4)後，但是將左方的食物取走仍在左方打光	44	32	28	32	12	12	8	12	8	0	

表十三、蝸牛在暗室中進行實驗二的(1)~(7)步驟之結果，將每步驟中 ABCDE 五組每次向左覓食次數百分比求一平均值，並列成此表格。



圖十五、將表十三中，實驗二步驟(4)(5)(7)之蝸牛向左覓食次數百分比平均值，做成連續之折線圖，顯示學習行為的歷程特徵…(4)獲得---(5)消弱---(7)自發性恢復。

五、探討蝸牛古典制約作用 (classical conditioning) 之學習行爲 (亦稱條件反射作用)

我們推論並再設計實驗二(6)延伸探討，實驗結果更進一步顯示：蝸牛也有類似「狗跟搖鈴」之條件反射的學習行爲(註五)，即是蝸牛學習到將非條件刺激(食物)與條件刺激(光)聯想在一起，並經過多次的增強作用後，而能在左方無食物的刺激下，向右方光源處爬行覓食，以為光的出現即有食物可覓。

所不同的是，我們觀察蝸牛在條件刺激(光)下的覓食本能行爲，而非「狗跟搖鈴」中，狗的唾腺分泌反射行爲(表十四)。因此，實驗二所做的實驗結果，符合行爲主義心理學派中古典制約作用(表十五)：即許多動物可學習將非條件刺激(UCS)與條件刺激(CS)關聯在一起，學習到刺激替代後的行爲反應，此亦稱為關聯學習(associative learning)(註八)。更證明了蝸牛具有記憶與學習的高級行爲，應非簡單的軟體動物而已。

實驗名稱	非條件刺激 (UCS)	條件刺激 (CS)	非條件反應 (UCR)
狗與搖鈴	食物	搖鈴	唾腺分泌反射行爲
蝸牛覓食與光	食物	光	爬行覓食本能行爲

表十四、行爲主義心理學派中古典制約作用之關聯學習(註八)

條件(制約)作用	實驗的步驟	本實驗中之現象
1.作用前	UCS → → UCR CS → → 無反應	食物 → → 覓食行爲 光 → → 無反應(無覓食行爲)
2.作用中：(增強聯結)	UCS → → UCR CS ↘ ↗	食物 → → 覓食行爲 光 ↘ ↗
3.作用後	CS → → CR	光 → → 覓食行爲

表十五、古典制約作用(classical conditioning)

六、未來展望與心得

在此科展實驗中，我們體認到，做實驗時所需要的並不是精密的儀器或者高深的技術，而是耐心、毅力、分析及敏銳的觀察力，尤其是在如此抽象的動物行爲研究上更甚。在蝸牛的生活中，仍有許許多多我們未觀察到的習性，我們期望在讀書考試之餘，能再進一步檢測其行爲的多樣面貌。

玖、參考文獻

- 註一：李家維等編譯，生物學，第三版，臺北，偉明圖書有限公司，p.1047~p.1049 第四十四章第五節海兔記憶，(2002)。
- 註二：李家維等編譯，生物學，第六版，臺北，偉明圖書有限公司，p.1389 第五十一章行為生物學，(2005)。
- 註三：李家維等編譯，生物學，第六版，臺北，偉明圖書有限公司，p.1385 第五十一章第五節學習，(2005)。
- 註四：李家維等編譯，生物學，第三版，臺北，偉明圖書有限公司，p.1059 第四十四章第七節短期記憶，(2002)。
- 註五：李家維等編譯，生物學，第三版，臺北，偉明圖書有限公司，p.1222 第五十章第五節古典制約作用，(2002)。
- 註六：張春興，張氏心理學辭典，第一版，臺北，東華書局有限公司，p.142-143，(1989)。
- 註七：張厚燾，行為主義心理學，第一版，臺北，東華書局有限公司，p.45-57 第二章華生的行為主義，(1997)。
- 註八：張厚燾，行為主義心理學，第一版，臺北，東華書局有限公司，p.11-15 第一章巴夫洛夫學說，(1997)。
- 註九：楊冠政，龍騰高中生物下冊，第三版，臺北，龍騰出版社，p.27 第九章條件反射，(2005)。
- 註十：楊冠政，龍騰高中生物下冊，第三版，臺北，龍騰出版社，p.27 第九章試誤學習，(2005)。
- 註十一：楊冠政，龍騰高中生物下冊，第三版，臺北，龍騰出版社，p.27 第九章行為的定義與類型，(2005)。
- 註十二：鄭伯燠等編譯，心理學，第一版，臺北，桂冠出版社，p.382 第八章記憶與遺忘，(2002)。
- 註十三：鄭發育(1961)，關於心理學的運作論爭的檢討，國立台灣大學理學院心理學系研究報告期 3，p.78-79。
- 註十四：鄭昭明校訂、陳億貞編譯，普通心理學，第一版，臺北，雙葉書廊有限公司，p.187 第五章學習，(2003)。
- 註十五：鄭昭明校訂、陳億貞編譯，普通心理學，第一版，臺北，雙葉書廊有限公司，p.201 第六章記憶，(2003)。
- 註十六：顏仁德，臺灣蝸牛圖鑑，第一版，臺北，行政院農業委員會林務局出版，p77-83，(2005)。
- 註十七：Cheng, F. Y. (1958b)， The effects of stomach distension on thirst: The value of using a variety of measures.(渴驅力)，*Acta Psychologica Taiwanica*， 1， 144-152。

【評語】 040717 背著房子走天涯-蝸牛對光、電、環境刺激的反
應

1. 富團隊精神，表達清晰。
2. 能控制變因，仔細觀察。
3. 數據分析應加強，參考文獻應增加。

【評語】 040717 背著房子走天涯-蝸牛對光、電、環境刺激的反
應

1. 富團隊精神，表達清晰。
2. 能控制變因，仔細觀察。
3. 數據分析應加強，參考文獻應增加。