中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　生物科

030311

麻麻迷呀!把酒話蟑麻

－美洲蜚蠊麻醉行為反應研究

學校名稱：臺北市立蘭雅國民中學

作者：	指導老師：
國三 陳映如	徐健倫
國三 林怡均	邱明成

關鍵詞：麻醉、美洲蜚蠊

摘要

此實驗在研究美洲蜚蠊不同麻醉方式下行為反應之差異，並藉此找出對美洲蜚蠊最不具傷害性的麻醉方式。主要分成兩部分的實驗——主動式反應的迷宮和被動式反應的電擊，以測試美洲蜚蠊麻醉前後的反應。同時我們將兩大部分的實驗各分為三種等級：迷宮實驗——易、中、難；電擊實驗——電壓 3V、9V、15V。實驗後可以得知：短暫的使用低溫麻醉及適當的使用二氧化碳麻醉，暫時讓美洲蜚蠊進入昏睡狀態並不影響其體內系統；但是我們平常用來麻醉各種生物的乙醚對其有較大的影響。

壹、　研究動機

近年來，研究顯示美洲蜚蠊的中樞神經系統所產生的一種自然抗生素，能殺死一些致命的細菌。蜚蠊的腦部組織已成為許多科學家積極研究的對象，國內也有愈來愈多專家學者投入這方面的研究。然而目前大部分的麻醉方式仍以對生物體具刺激性的乙醚為主，如此一來，是否會增加實驗的誤差，進而影響實驗數據的可信度?後來我們又在網路上看到新型冷凍殺蟑噴劑，對此十分好奇：「急速冷凍真的對蟑螂具有麻痺，甚至死亡的效果嗎？」因此，我們希望能同時藉此比較低溫、二氧化碳、乾冰以及乙醚等方式，找出對美洲蜚蠊較不具傷害性的麻醉方法。利用國中生物第二冊，生物:神經系統與內分泌系統的原理，還想到可以利用迷宮來做為主動式反應的測試。另外，在閱讀北一女中林佩瑩同學我不笨，我有話要說----美洲蜚蠊在光熱刺激下的學習行為這篇報告後，進而想到還可以利用電擊作為被動式反應的測試。

貳、　研究目的

一、探討乙醚對美洲蜚蠊之影響與生理行為反應。
二、探討低溫對美洲蜚蠊之影響與生理行為反應。
三、探討二氧化碳氣體對美洲蜚蠊之影響與生理行為反應。
四、探討乾冰對美洲蜚蠊之影響與生理行為反應。
五、找出對美洲蜚蠊較不具傷害性的麻醉方式。
六、找出較為實用的麻醉方式。

參、 研究設備及器材

- 美洲蜚蠊（*Periplaneta americana*）
- 自製電擊板（圖一）
- 自製迷宮
- 探針溫度計（圖二）
- 保麗龍箱（圖三）
  （26.5×20.5×13.5(cm)）
- 自製固定板（圖四）
- 巧克力夾心餅乾(內餡)
- 0.5 號魚鉤
- 乙醚
- 乾冰
- 燒杯 100,250,500,1000(mL)
- 數位三用電表
- 錶玻璃
- 酒精溫度計
- 鋼瓶（裝氣態 CO_2）（圖五）
- 脫脂棉花
- 試管
- 橡皮塞
- 塑膠板
- 碼表
- 保鮮膜
- 鋁箔紙
- 塑膠盒
- 吸量管（圖六）
- Tracker 4.85（電擊分析追蹤程式）
- 相機（BENQ DC C1050）
- PowerDirecter v8（裁剪影片程式）

圖一

圖四

圖二

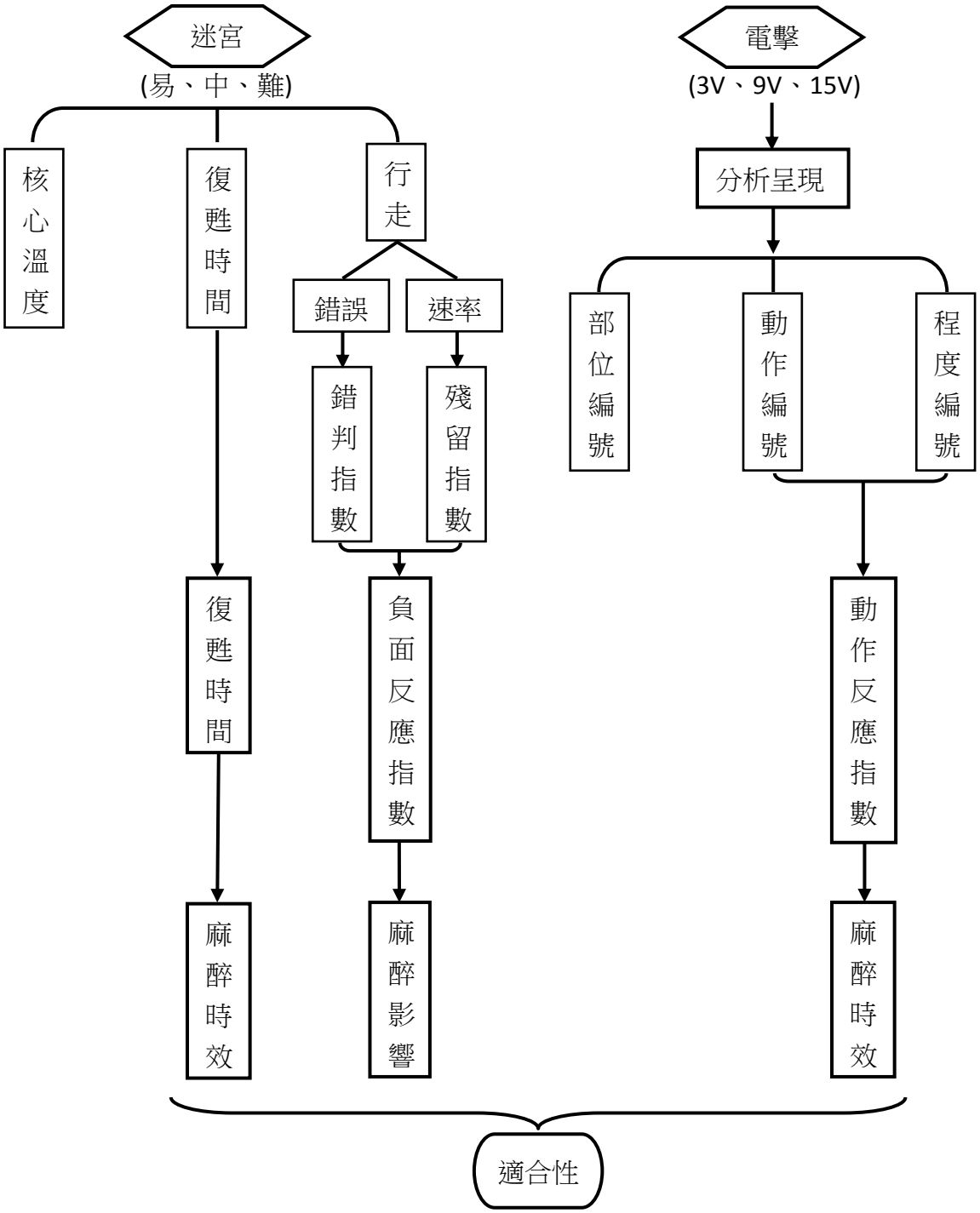
圖五

圖三

圖六

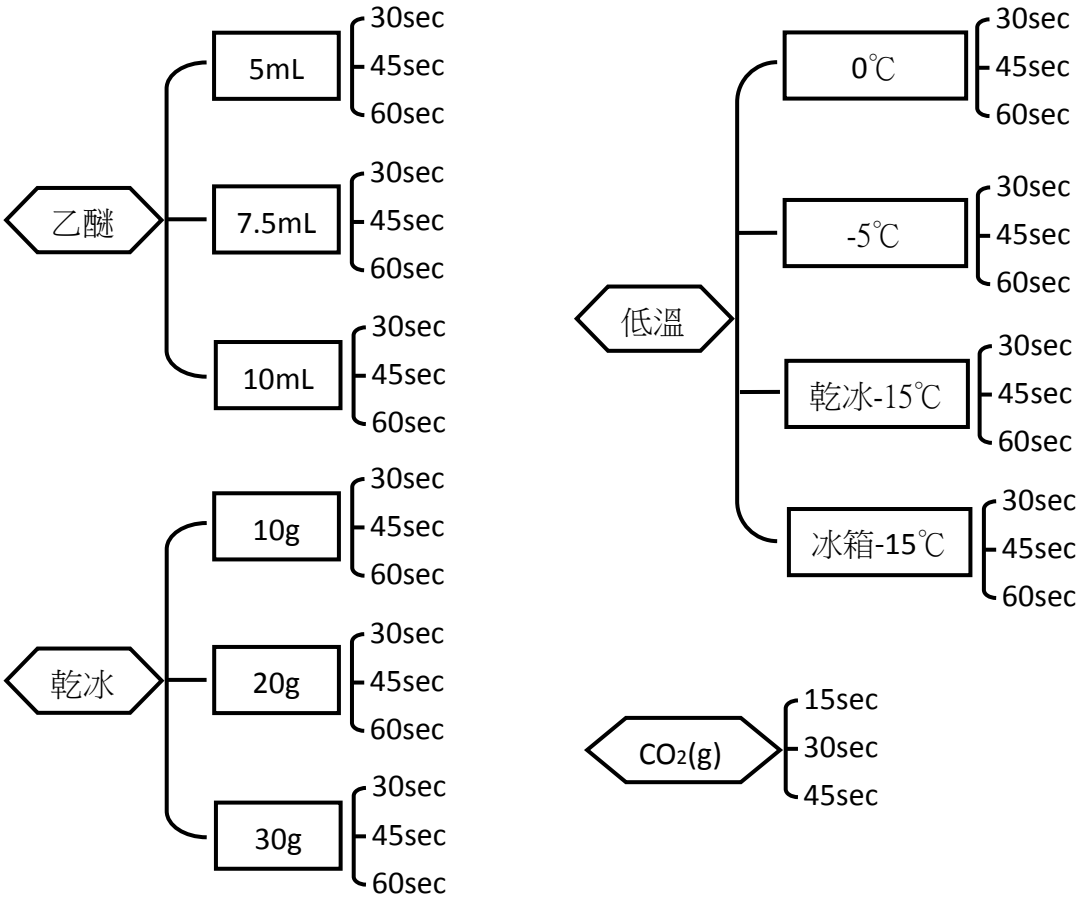
肆、　研究過程或方法

一、研究流程圖



圖七、研究流程圖

二、麻醉方式類別圖



圖八、麻醉方式類別圖

三、前置作業：

(一) 找出美洲蜚蠊的食物誘因。

(二) 設計並改良難易等級不同的迷宮。

(三) 設計並檢測電擊板。

(四) 設計、測試並改良各種麻醉方式。

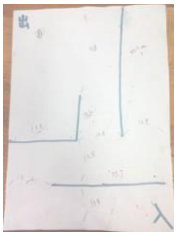
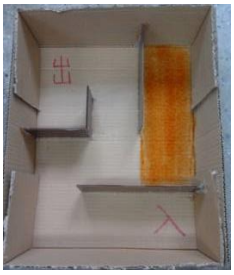
(五) 固定美洲蜚蠊的生活環境、食物、飲水。

四、【實驗一】迷宮—利用自製迷宮（分易、中、難三級，見表一），測試美洲蜚蠊在不同麻醉方式前後的行為反應。

(註 1：固定室溫 25℃。　註 2：若靜止不動 20 秒，以夾子輕推屁股刺激乙次。

註 3：「入」—放入美洲蜚蠊處；「出」—終點，放置巧克力夾心餅乾餡料做為誘因。)

表一、自行設計及製作之迷宮

	易	中	難
設計圖			
迷宮 (橘色區塊為錯誤路徑)			
正確路徑長	48 cm	54 cm	86 cm

(一) 無麻醉（易、中、難三級皆重複以下動作）

1. 先用探針溫度計測量、記錄核心溫度。

(固定美洲蜚蠊於自製固定板，再將探針溫度計插入腹部骨板，如圖九)

2. 於入口處放入美洲蜚蠊，並計時。
3. 觀察記錄美洲蜚蠊的路徑和行為，美洲蜚蠊抵達終點時夾出。

圖九

(二) 乙醚（易、中、難三級皆重複以下動作）

1. 器材設置：
   (1) 試管：將棉花塞入試管 4.5cm，以吸量管滴入乙醚（圖十），塞上另一橡皮塞 B 靜置 3 分鐘（圖十一）。
   (2) 橡皮塞 A：將塑膠板固定於橡皮塞上，並把泡棉膠黏貼上塑膠板。（圖十二）
2. 將美洲蜚蠊背部黏在泡棉膠上，並把橡皮塞 A 塞住試管，開始計時。（圖十三）

圖十

＋

圖十一

＋

圖十二

→

圖十三

3. 時間到後取出，開始記錄其復甦時間，並用探針溫度計測量、記錄核心溫度。
4. 將美洲蜚蠊移至迷宮入口。復甦後，觀察記錄美洲蜚蠊的路徑和行為，並重新計時。
5. 美洲蜚蠊抵達終點後停止計時，自迷宮中夾出。

(三) 低溫（易、中、難三級皆重複以下動作）

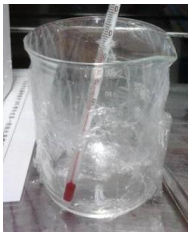
1. 器材設置：

(1) 0℃、-5℃、乾冰-15℃

- 大燒杯:0℃—冰水共存；-5℃—用冰塊、水、鹽調製冷劑，且控溫(圖十四)；
  -15℃－調整乾冰質量以控制溫度(圖十七)。
- 小燒杯:0℃、-5℃—以保鮮膜覆蓋杯口，戳數小孔使空氣流通(圖十五)；
  -15℃—同前，杯壁用鋁箔紙圍繞保持溫度，阻隔二氧化碳(圖十八)。

各放一支溫度計在燒杯中，將小燒杯放入大燒杯(圖十六、圖十九)，二燒杯達熱平衡後，放入美洲蜚蠊開始計時。

圖十四



圖十五

圖十六

圖十七

圖十八

圖十九

(2) 冰箱-15℃：先將培養皿放入冰箱-15℃冷凍室，達熱平衡後再放入美洲蜚蠊。

2. 時間到後取出，開始記錄其復甦時間，並用探針溫度計測量、記錄核心溫度。
3. 將美洲蜚蠊移至迷宮入口。復甦後，觀察記錄美洲蜚蠊的路徑和行為，並重新計時。
4. 美洲蜚蠊抵達終點後停止計時，自迷宮中夾出。

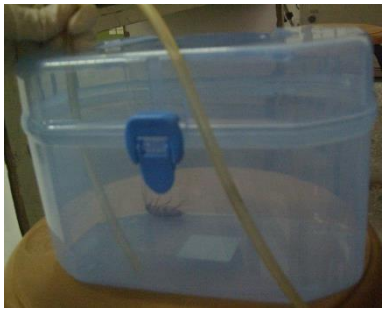
(四) 二氧化碳氣體(易、中、難三級皆重複以下動作)

(註：因麻醉 60 秒極容易導致死亡，所以麻醉秒數調整為 15 秒、30 秒、45 秒)

1. 將美洲蜚蠊放入盒中，從塑膠管灌入二氧化碳氣體，開始計時。(圖二十、二十一)

圖二十

塑膠盒放大圖



圖二十一

2. 時間到後取出，開始記錄其復甦時間，並用探針溫度計測量、記錄核心溫度。
3. 把美洲蜚蠊移至迷宮入口。
4. 復甦後，觀察和記錄美洲蜚蠊路徑和行為，並重新計時。
5. 美洲蜚蠊抵達終點後停止計時，並自迷宮中夾出。

(五) 乾冰（溫度約為-5℃）（易、中、難三級皆重複以下動作）

1. 將乾冰放入保麗龍箱中靜置至全部昇華（時間依乾冰質量不同改變）。
2. 把美洲蜚蠊放入箱子底部中央，蓋緊蓋子。
3. 時間到後取出，開始記錄其復甦時間，並用探針溫度計測量、記錄核心溫度。
4. 把美洲蜚蠊移至迷宮入口。
5. 復甦後，觀察和記錄美洲蜚蠊路徑和行為，並重新計時。
6. 美洲蜚蠊抵達終點後停止計時，並自迷宮中夾出。

五、【實驗二】電擊—利用自製電擊板（電壓分為 3V、9V、15V）測試美洲蜚蠊以不同方式麻醉之前後行為反應。

(一) 無麻醉

1. 固定其於自製固定板上，將魚鉤連接正極電線，穿過腹部。(圖二十二)
2. 電路連通電壓 3 伏特約 30 秒後休息 10 秒。
3. 電壓 9 伏特、15 伏特皆重複步驟 2 到 4。
4. 觀察和記錄（拍攝）美洲蜚蠊的動作反應。

圖二十二

(二) 乙醚

1. 將魚鉤連接正極電線，穿過其腹部。麻醉方式同【實驗一】乙醚步驟 1~2。
2. 麻醉時間到後取出。重複無麻醉部分步驟 2 到 4。

(三) 低溫

1. 將魚鉤連接正極電線，穿過其腹部。麻醉方式同【實驗一】低溫步驟 1。
2. 麻醉時間到後取出。重複無麻醉部分步驟 2 到 4。

(四) 二氧化碳氣體（易、中、難三級皆重複以下動作）

1. 將魚鉤連接正極電線，穿過其腹部。麻醉方式同【實驗一】二氧化碳氣體步驟 1。
2. 麻醉時間到後取出。重複無麻醉部分步驟 2 到 4。

(五) 乾冰（溫度約為-5℃）

1. 將魚鉤連接正極電線，穿過其腹部。麻醉方式同【實驗一】乾冰步驟 1~2。
2. 麻醉時間到後取出。重複無麻醉部分步驟 2 到 4。

伍、 研究結果

一、核心溫度(室溫定溫)25℃:(註：低溫-5℃及乾冰-15℃實驗過程中，皆有因體內結冰死亡。)

(一) 無麻醉：24.8℃～25.5℃

(二) 乙 醚 ：23.7℃～24.3℃

(三) $CO_2(g)$：24.2℃～24.8℃

(四) 低溫

a. 0℃ ：1℃～7℃
b. -5℃ ：-2℃～4℃
c.乾冰-15℃ ：-4℃～1℃
d.冰箱-15℃ ：1℃～3℃

(五) 乾冰

a. 30 秒：4℃～8℃
b. 45 秒：1℃～7℃
c. 60 秒：0℃～6℃
d. 10 克：6℃～8℃
e. 20 克：2℃～6℃
f. 30 克：0℃～4℃

二、【實驗一】迷宮—利用迷宮(易、中、難三級)測試美洲蜚蠊在不同麻醉前後的行為反應。

(註 1：取六隻實驗，將平均值取小數點後第一位。

註 2：復甦時間→麻醉結束至開始行走時間；行走時間→開始行走至抵達終點時間。)

(一) 美洲蜚蠊抵達迷宮出口所需時間比較

1. 無麻醉時抵達迷宮出口所需時間（單位：秒）（表二）

表二、無麻醉時抵達迷宮出口所需時間

無麻醉	易	中	難
行走	00:03	00:10	00:19

2. 乙醚麻醉後抵達迷宮出口所需時間（單位：秒）（表三～表五）

表三、乙醚 5mL 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乙醚 5mL		30sec	45sec	60sec
易	復甦	00:38	01:34	00:44
	行走	02:08	03:05	02:11
中	復甦	00:39	00:51	00:57
	行走	02:38	01:59	01:39
難	復甦	00:45	01:10	01:29
	行走	01:12	01:32	04:05

表四、乙醚 7.5mL 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乙醚 7.5mL		30sec	45sec	60sec
易	復甦	00:53	02:14	01:02
	行走	02:34	02:51	02:07
中	復甦	00:10	00:17	01:23
	行走	01:40	01:04	02:03
難	復甦	01:53	02:32	02:21
	行走	01:23	07:09	07:16

表五、乙醚 10mL 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乙醚 10mL		30sec	45sec	60sec
易	復甦	01:26	02:19	02:35
	行走	00:26	04:06	02:09
中	復甦	01:00	00:51	05:52
	行走	01:45	01:19	02:49
難	復甦	03:07	00:48	04:22
	行走	05:23	04:17	04:30

3. 低溫麻醉後抵達迷宮出口所需時間（單位：秒）（表六～表九）

表六、低溫 0℃麻醉後抵達迷宮出口所需時間

0℃		30sec	45sec	60sec
易	復甦	02:20	02:24	03:02
	行走	00:14	00:10	00:07
中	復甦	02:48	02:21	02:52
	行走	00:21	00:38	01:14
難	復甦	03:59	03:50	04:13
	行走	01:01	01:50	02:39

表七、低溫-5℃麻醉後抵達迷宮出口所需時間

-5℃		30sec	45sec	60sec
易	復甦	05:39	06:04	11:26
	行走	00:54	01:09	02:11
中	復甦	07:21	10:25	10:11
	行走	00:43	01:27	01:43
難	復甦	08:05	10:47	12:02
	行走	02:56	04:01	03:57

表八、低溫（乾冰）-15℃麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乾冰-15℃		30sec	45sec	60sec
易	復甦	08:21	09:29	12:29
	行走	03:34	04:54	03:39
中	復甦	09:49	07:31	04:28
	行走	02:13	05:01	05:09
難	復甦	09:49	11:52	13:01
	行走	03:48	05:04	06:47

表九、低溫（冰箱）-15℃麻醉後抵達迷宮出口所需時間

冰箱-15℃		30sec	45sec	60sec
易	復甦	07:27	10:43	12:52
	行走	00:48	01:39	01:23
中	復甦	07:30	09:24	11:41
	行走	01:23	01:48	01:54
難	復甦	08:29	11:02	13:13
	行走	02:02	01:37	03:08

4. 二氧化碳氣體麻醉後抵達迷宮出口所需時間（單位：秒）（表十）

表十、二氧化碳氣體麻醉後抵達迷宮出口所需時間

CO_2 氣體		15sec	30sec	45sec
易	復甦	03:40	04:19	05:31
	行走	00:09	00:13	00:07
中	復甦	04:27	04:29	04:50
	行走	00:13	00:06	00:10
難	復甦	06:15	05:10	05:16
	行走	00:28	00:13	00:21

5. 乾冰麻醉後抵達迷宮出口所需時間（單位：秒）（表十一～表十三）

表十一、乾冰 10g 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乾冰 10g		30sec	45sec	60sec
易	復甦	01:28	03:45	02:32
	行走	00:10	00:27	01:05
中	復甦	02:01	03:08	03:23
	行走	00:26	00:44	01:17
難	復甦	04:32	01:08	03:21
	行走	00:44	00:49	03:54

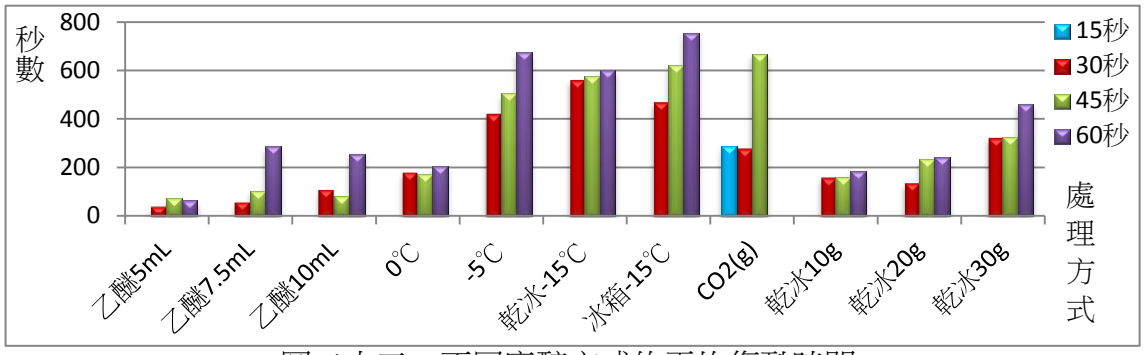
表十二、乾冰 20g 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乾冰 20g		30sec	45sec	60sec
易	復甦	02:11	03:14	03:35
	行走	00:07	00:08	00:06
中	復甦	02:59	03:02	04:08
	行走	00:26	00:31	00:31
難	復甦	01:42	05:21	04:18
	行走	00:34	00:47	01:00

表十三、乾冰 30g 麻醉後抵達迷宮出口所需時間

乾冰 30g		30sec	45sec	60sec
易	復甦	07:00	04:13	06:11
	行走	00:06	00:08	00:07
中	復甦	05:46	05:28	07:56
	行走	01:51	02:05	02:04
難	復甦	03:23	06:35	08:49
	行走	02:00	04:22	03:58

6. 復甦時間比較



圖二十三、不同麻醉方式的平均復甦時間

(二) 美洲蜚蠊迷宮行走速率比較

1. 無麻醉時行走速率（單位 cm/s）（表十四）

表十四、無麻醉時行走速率

無麻醉	易	中	難	平均
行走速率	16.0	5.4	4.5	8.6

2. 乙醚麻醉時行走速率（單位 cm/s）（表十五～表十七）

表十五、乙醚 5mL 麻醉時行走速率

乙醚 5mL		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	0.4	0.3	0.4	0.4
中	行走速率	0.3	0.5	0.5	0.4
難	行走速率	1.2	0.9	0.4	0.8
平均		0.6	0.6	0.4	

表十六、乙醚 7.5mL 麻醉時行走速率

乙醚 7.5mL		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	0.3	0.3	0.4	0.3
中	行走速率	0.5	0.8	0.4	0.6
難	行走速率	1.0	0.2	0.2	0.5
平均		0.6	0.4	0.3	

表十七、乙醚 10mL 麻醉時行走速率

乙醚 10mL		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	1.8	0.2	0.4	0.8
中	行走速率	0.5	0.7	0.3	0.5
難	行走速率	0.3	0.3	0.3	0.3
平均		0.9	0.4	0.3	

3. 低溫麻醉時行走速率（單位 cm/s）（表十八～表二十一）

表十八、低溫 0℃麻醉時行走速率

0℃		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	3.4	4.8	6.9	5.0
中	行走速率	2.6	1.4	1.2	1.7
難	行走速率	1.4	0.8	0.1	0.8
平均		2.5	2.3	2.7	

表十九、低溫-5℃麻醉時行走速率

-5℃		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	0.9	0.7	0.4	0.6
中	行走速率	1.3	0.6	0.8	0.9
難	行走速率	0.5	0.4	0.4	0.6
平均		0.9	0.6	0.5	

表二十、低溫（乾冰）-15℃麻醉時行走速率

乾冰-15℃		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	0.2	0.2	0.2	0.2
中	行走速率	0.4	0.2	0.2	0.3
難	行走速率	0.5	0.3	0.2	0.3
平均		0.4	0.2	0.2	

表二十一、低溫（冰箱）-15℃麻醉時行走速率

冰箱-15℃		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	1.0	0.7	0.4	0.7
中	行走速率	0.7	0.6	0.5	0.6
難	行走速率	0.7	0.5	0.5	0.6
平均		0.8	0.6	0.5	

4. 二氧化碳氣體麻醉時行走速率（單位 cm/s）（表二十二）

表二十二、CO_2 氣體麻醉時行走速率

CO_2 氣體		15sec	30sec	45sec	平均
易	行走速率	5.3	3.7	6.9	5.3
中	行走速率	4.2	9.0	5.4	6.2
難	行走速率	3.1	6.6	4.1	4.6
平均		4.2	6.4	5.5	

5. 乾冰麻醉時行走速率（單位 cm/s）（表二十三～表二十五）

表二十三、乾冰 10g 麻醉時行走速率

乾冰 10g		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	4.8	1.8	0.7	2.4
中	行走速率	2.1	1.2	0.7	1.0
難	行走速率	2.0	1.8	0.4	1.4
平均		3.0	1.6	3.4	

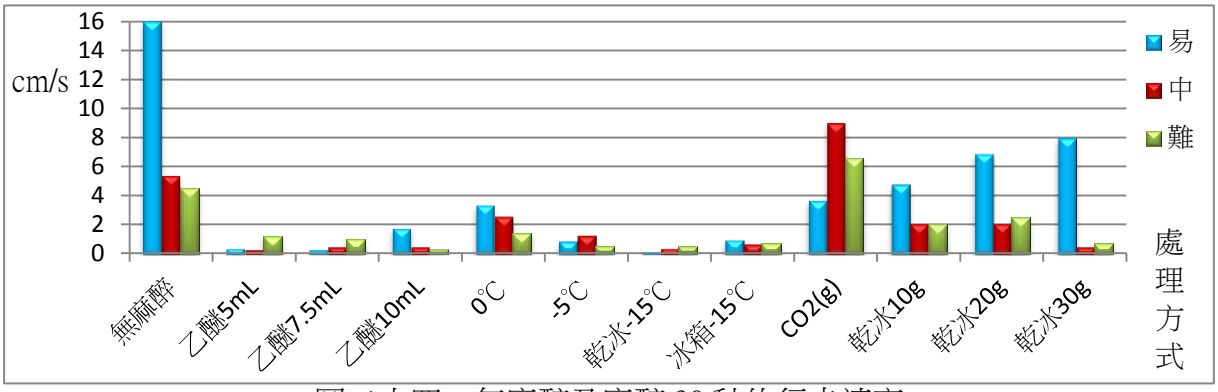
表二十四、乾冰 20g 麻醉時行走速率

乾冰 20g		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	6.9	6.0	8.0	7.0
中	行走速率	2.1	1.7	1.7	1.8
難	行走速率	2.5	1.8	1.4	1.6
平均		3.8	3.2	3.7	

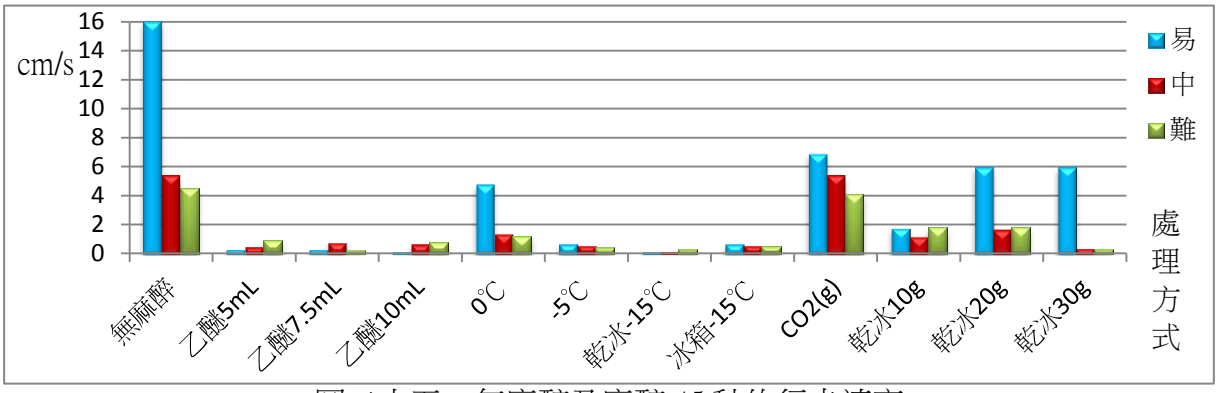
表二十五、乾冰 30g 麻醉時行走速率

乾冰 30g		30sec	45sec	60sec	平均
易	行走速率	8.0	6.0	6.9	7.0
中	行走速率	0.5	0.4	0.4	0.4
難	行走速率	0.7	0.3	0.4	0.5
平均		3.1	2.2	2.6	

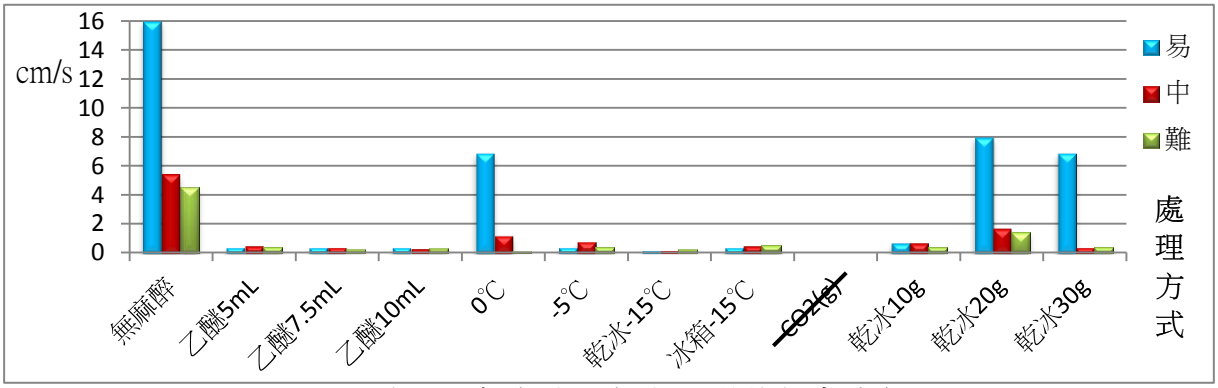
6. 不同秒數的行走速率比較（圖二十四～圖二十七）



圖二十四、無麻醉及麻醉 30 秒的行走速率



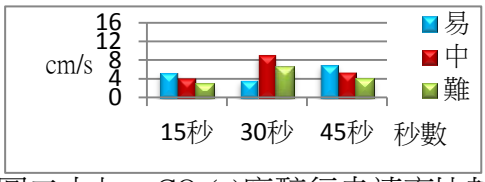
圖二十五、無麻醉及麻醉 45 秒的行走速率



圖二十六、無麻醉及麻醉 60 秒的行走速率

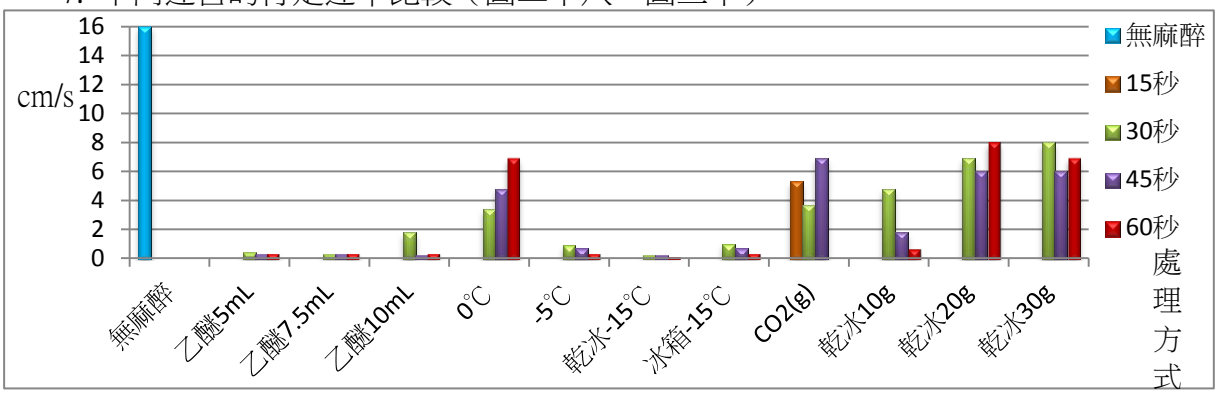
※二氧化碳氣體比較：

為了與其他不同種類的麻醉方式比較二氧化碳氣體 15 秒、30 秒、45 秒，製作右圖作為三者之間的比較參考。

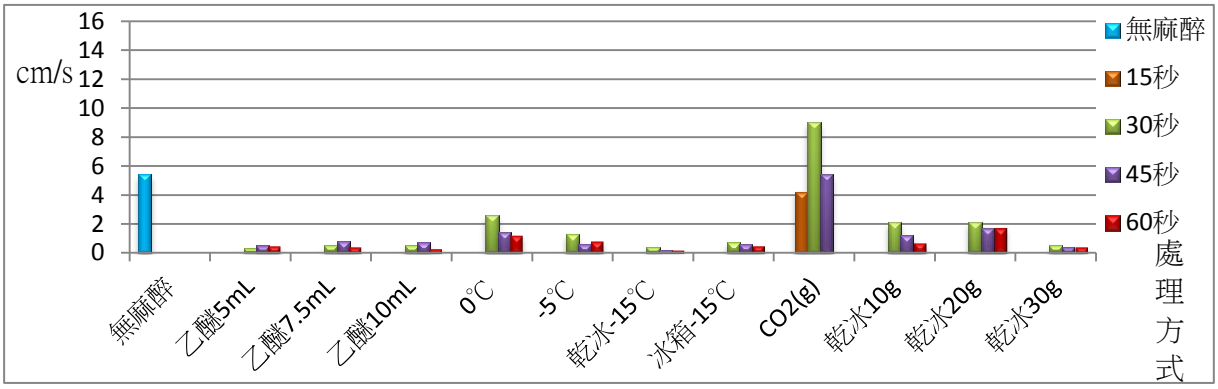


圖二十七、CO_2(g)麻醉行走速率比較

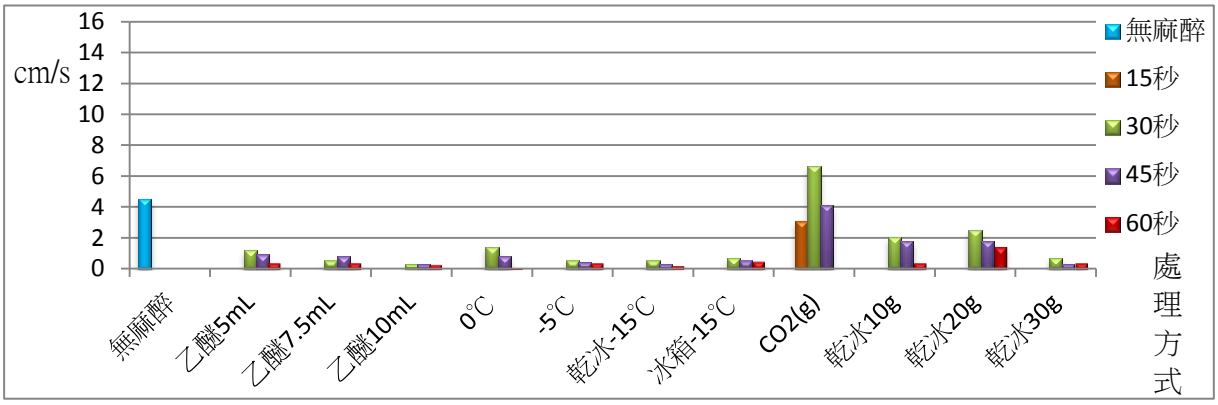
7. 不同迷宮的行走速率比較（圖二十八～圖三十）



圖二十八、易級迷宮行走速率



圖二十九、中級迷宮行走速率



圖三十、難級迷宮行走速率

(三) 速率差:復甦後的行走速率應與無麻醉時相等，但由於麻醉效應未完全退去，故行走速率仍有差異。對此，我們以無麻醉時的行走速率減去麻醉後的行走速率，使之定義為「速率差」。（表二十六～表二十九）

表二十六、乙醚麻醉速率差(cm/s)

乙醚	易			中			難		
	5mL	7.5mL	10mL	5mL	7.5mL	10mL	5mL	7.5mL	10mL
30sec	15.6	15.7	14.2	5.1	4.9	4.9	3.3	4.0	4.2
45sec	15.7	15.7	15.8	4.9	4.6	4.7	3.6	4.3	4.2
60sec	15.6	15.6	15.6	3.6	5.0	5.1	4.1	4.3	4.2

表二十七、低溫麻醉速率差(cm/s)

低溫	易				中				難			
	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃
30sec	12.6	15.1	15.8	15.0	2.8	4.1	5.0	4.7	3.1	4.0	4.0	3.8
45sec	11.2	15.3	15.8	15.3	4.0	15.3	5.2	4.8	3.7	4.1	4.2	4.0
60sec	9.1	15.6	15.8	15.6	4.2	15.6	5.2	4.9	4.4	4.1	4.3	4.0

表二十八、二氧化碳氣體麻醉速率差(cm/s)

CO_2(g)	易	中	難
15sec	10.7	1.2	1.4
30sec	12.3	-3.6	-2.1
45sec	9.1	0.0	0.4

表二十九、乾冰麻醉速率差(cm/s)

乾冰	易			中			難		
	10g	20g	30g	10g	20g	30g	10g	20g	30g
30sec	11.2	9.1	8.0	3.3	3.3	4.9	2.5	2.0	3.8
45sec	14.2	10.0	10.0	4.2	3.7	5.0	2.7	2.7	4.2
60sec	15.3	8.0	9.1	4.7	3.7	5.0	4.1	3.1	4.1

(四) 麻醉殘留指數：將速率差依下表（表三十）轉成麻醉殘留指數。另外易級部分全部數據皆先減 9 再轉成指數（表三十一）。

表三十、速率差代換麻醉殘留指數

速率差(cm/s)	1.0以下	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.6	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~4.5	4.6~5.0	5.0以上
殘留指數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

表三十一、麻醉殘留指數比較

	30sec	45sec	60sec
乙醚 5ml	9	9	9
乙醚 7.5ml	9	9	9
乙醚 10ml	9	9	9
低溫 0℃	6	6	6
低溫-5℃	8	9	9
乾冰-15℃	9	9	9
冰箱-15℃	9	6	6
二氧化碳氣體	2	3	1
乾冰 10g	5	8	9
乾冰 20g	3	4	5
乾冰 30g	6	6	6

(四) 錯誤性判斷指數:錯誤路徑的指數記為 2，重複路徑的指數記為 1。
(表三十二～表三十六)

表三十二、無麻醉錯誤性判斷指數比較

無麻醉	易	中	難	平均
	0.0	2.0	0.0	0.7

表三十三、乙醚錯誤性判斷指數比較

乙醚	易			中			難			平均
	5mL	7.5mL	10mL	5mL	7.5mL	10mL	5mL	7.5mL	10mL	
30sec	2.0	2.0	0.0	4.0	4.0	0.0	5.0	4.0	0.0	2.3
45sec	3.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	4.0	1.0	0.0	2.2
60sec	1.0	0.0	0.0	3.0	2.0	2.0	1.0	4.0	0.0	1.4
平均	0.2	1.3	0.7	0.3	0.3	1.3	3.3	0.3	0.0	

表三十四、低溫錯誤性判斷指數比較

低溫	易				中				難				平均
	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃	0℃	-5℃	乾冰-15℃	冰箱-15℃	
30sec	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.7
45sec	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	3.0	4.0	2.0	0.0	1.0	3.0	0.0	1.3
60sec	0.0	0.0	3.0	1.0	3.0	2.0	3.0	1.0	1.0	0.0	2.0	2.0	1.5
平均	0.0	0.0	3.0	0.3	1.0	1.7	2.7	1.3	0.3	0.3	2.3	0.6	

表三十五、二氧化碳氣體錯誤性判斷指數比較

CO_2(g)	易	中	難	平均
15sec	0.0	1.0	2.0	0.1
30sec	0.0	1.0	0.5	0.2
45sec	0.0	1.5	0.0	0.5
平均	0.0	1.2	0.8	

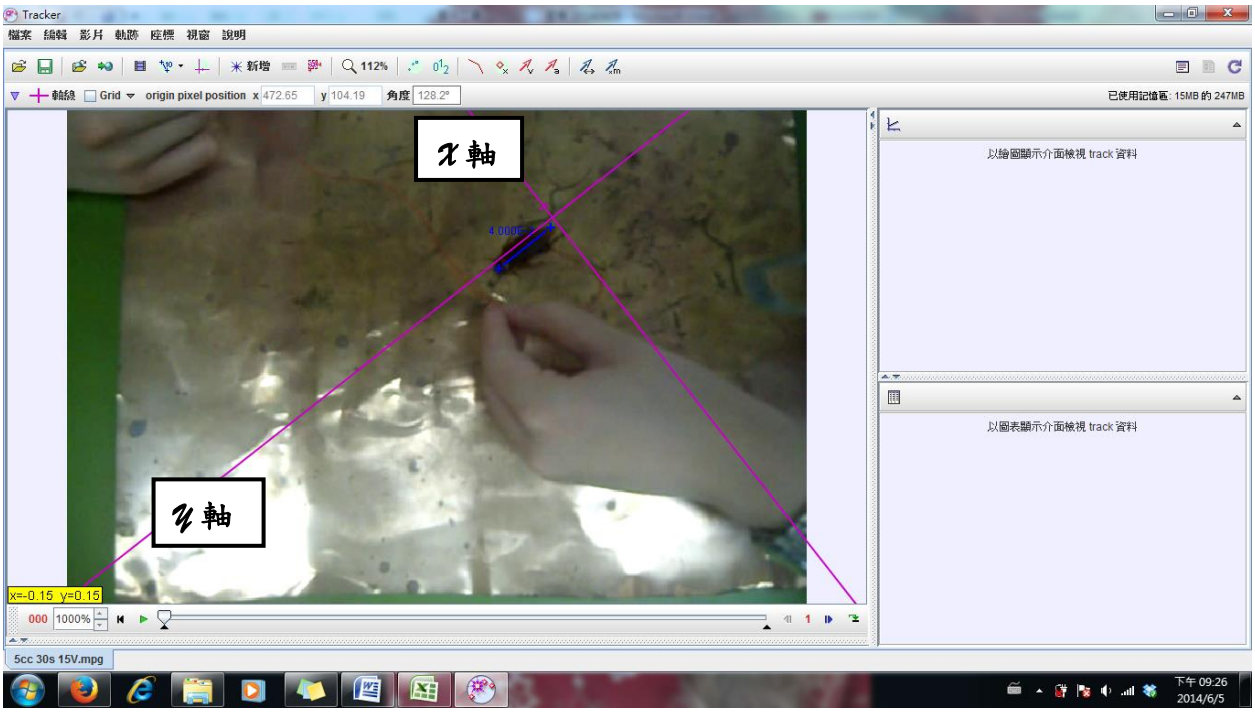
表三十六、乾冰錯誤性判斷指數比較

乾冰	易			中			難			平均
	10g	20g	30g	10g	20g	30g	10g	20g	30g	
30sec	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45sec	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
60sec	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.6
平均	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	

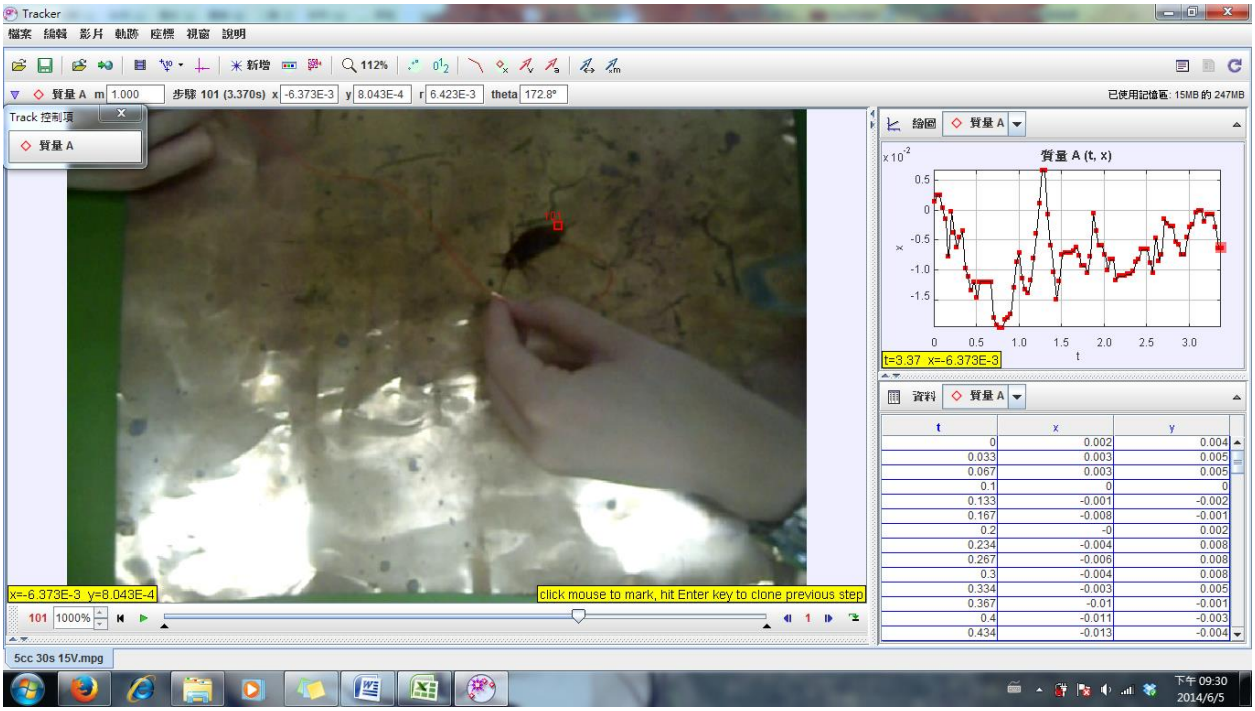
三、【實驗二】電擊—利用自製電擊板（電壓分為 3 伏特、9 伏特、15 伏特）測試美洲蜚蠊以不同方式麻醉之前後行為反應。

(一) 分析方式

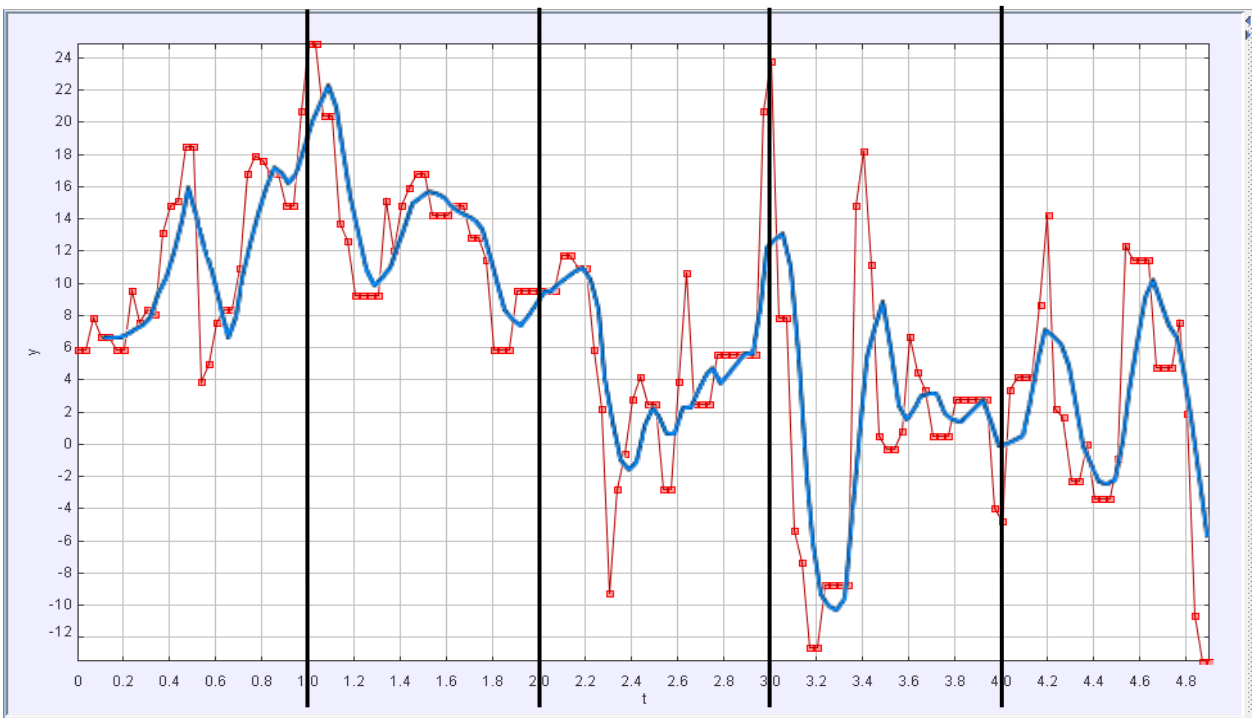
1. 先利用 PowerDirecter v8 將影片裁剪分段(3V、9V、15V 各一段，每段 5 秒)。
2. 撥放影片觀察美洲蜚蠊執行的動作和部位，分別記下部位編號及動作編號。
3. 利用追蹤程式 Tracker 4.85 分析該部位移動路徑和頻率。(圖三十一～圖三十三)
4. 根據結果代換出程度編號。(代換方式詳見呈現方式的程度編號部分)



圖三十一、設定座標軸及比例尺



圖三十二、Tracker 4.85 追蹤過程



圖三十三、分析結果(y-t 圖)(藍線為電腦分析曲線，2 黑線間隔為 1 秒)

(二) 呈現方式（表三十七）：部位－動作－程度

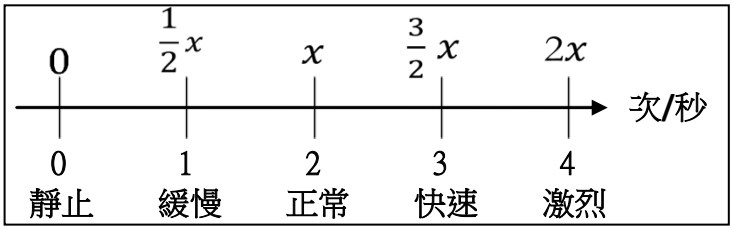
（註：動作編號和程度編號皆依照反應程度由小到大排列）

1.部位編號：全身→0，觸鬚→1，身體→2，腳→3，翅膀→4

2.動作編號:無反應→0，晃動→1，抽搐→2，蜷縮→3，跑動→4，跳動→5，振翅→6

3.程度編號：靜止→0，緩慢→1，正常（無麻醉時情形）→2，快速→3，激烈→4

（註：設無麻醉時某部位每秒動作 X 次，若依麻醉方式所得結果為每秒 2X 次，則記為 4←激烈）



圖三十四、程度編號代換數線

表三十七、電擊分析

狀態＼電壓			3 伏特	9 伏特	15 伏特
無麻醉			3－1－2	0－4－2（想逃離）	0－5－2
乙醚	5mL	30sec	3－2－2	3－2－1	3－2－2
		45sec	3－1－1	3－2－2	3－2－1
		60sec	3－2－1	3－2－2	3－2－1
	7.5mL	30sec	3－2－3	3－4－1	3－4－3
		45sec	3－4－1	3－2－3	3－4－1
		60sec	3－1－1	3－1－1	3－2－1
	10mL	30sec	3－1－1	3－2－1	3－2－1
		45sec	3－1－2	3－1－1	3－1－1
		60sec	3－2－1	3－2－2	3－4－1
低溫	0℃	30sec	2－2－2	2－2－2，3－1－2	0－3－2
		45sec	3－1－2	0－4－2（想逃離）	0－2－4
		60sec	3－1－3	3－2－2	3－2－2，0－3－2
	-5℃	30sec	3－1－2	0－4－3	3－2－2
		45sec	3－1－3	0－3－2	3－2－2，0－3－2
		60sec	3－1－1	0－4－3，4－6－1（想逃離）	3－2－2，0－3－2
	乾冰 -15℃	30sec	0—0—0	3—2—1	3—2—2
		45sec	0—0—0	3—1—1	3—2—1
		60sec	0—0—0	0—0—0	0—0—0
	冰箱 -15℃	30sec	3—2—1	3—2—2	3—4—2
		45sec	0－0－0	3—2—1	0—3—2
		60sec	3－1－1	3—2—2	3－4－2
二氧化碳氣體		15sec	0－0－0	3－2－1	0－2－2
		30sec	0－0－0	0－1－1	0－2－3
		45sec	0－0－0	0－0－0	0－2－3
乾冰	10g	30sec	3－2－2	3－2－2（想逃離）	3－2－4（想逃離）
		45sec	3－1－1	3－2－4	3－2－4，4－6－1
		60sec	0－4－1	3－2－2	3－2－4（想逃離）
	20g	30sec	3－1－2	3－2－2	0－4－3
		45sec	3－1－2	0－4－2	0－4－3，0－3－2
		60sec	0－0－0	3－1－1	0－4－2
	30g	30sec	2－2－2	0－2－1	3－2－3
		45sec	0－0－0	3－2－1	3－2－3
		60sec	0－0－0	3－2－1	3－2－4

(二) 動作反應指數：動作編號與程度編號相加，即為指數值。若美洲蜚蠊出現「想逃離」的反應，則再加 2。（如有兩組動作，則將兩組指數相加。）（表三十八）

表三十八、動作反應指數

狀態＼電壓			3 伏特	9 伏特	15 伏特	平均
無麻醉			3.0	8.0	7.0	6.0
乙醚	5mL	30sec	4.0	3.0	4.0	3.7
		45sec	2.0	4.0	3.0	0.3
		60sec	3.0	4.0	3.0	0.3
	7.5mL	30sec	5.0	5.0	7.0	5.7
		45sec	5.0	5.0	5.0	5.0
		60sec	2.0	2.0	3.0	2.3
	10mL	30sec	2.0	3.0	3.0	2.7
		45sec	3.0	2.0	2.0	2.3
		60sec	3.0	4.0	5.0	4.0
低溫	0℃	30sec	4.0	7.0	5.0	5.3
		45sec	3.0	8.0	6.0	5.7
		60sec	4.0	4.0	9.0	5.7
	-5℃	30sec	3.0	7.0	4.0	5.0
		45sec	4.0	5.0	9.0	6.0
		60sec	2.0	16.0	9.0	9.0
	乾冰 -15℃	30sec	0.0	3.0	4.0	2.3
		45sec	0.0	2.0	3.0	1.7
		60sec	0.0	0.0	0.0	0.0
	冰箱 -15℃	30sec	3.0	4.0	6.0	4.3
		45sec	0.0	3.0	5.0	2.7
		60sec	2.0	4.0	6.0	4.0
二氧化碳		15sec	0.0	3.0	4.0	2.3
		30sec	0.0	2.0	5.0	2.3
		45sec	0.0	0.0	5.0	1.7
乾冰	10g	30sec	4.0	5.0	8.0	5.7
		45sec	2.0	6.0	13.0	7.0
		60sec	5.0	4.0	8.0	5.7
	20g	30sec	3.0	4.0	7.0	4.7
		45sec	3.0	6.0	12.0	7.0
		60sec	0.0	2.0	6.0	2.7
	30g	30sec	4.0	3.0	5.0	4.0
		45sec	0.0	3.0	5.0	2.7
		60sec	0.0	3.0	6.0	3.0
平均			2.7	5.0	6.4	

四、美洲蜚蠊麻醉方式的適合性（表三十九～表四十、圖三十五～圖四十五）

(一) 麻醉指數：依照類別分成 10 個級距，由 1～10 表示。

1. 復甦時間→麻醉時效（若＜180 秒則記為零）

表三十九、復甦時間代換麻醉指數

秒數	180~240	241~300	301~360	361~420	421~480	481~540	541~600	601~660	661~720	721以上
麻醉指數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. 負面反應指數→麻醉影響（四捨五入後，即為麻醉指數。）

負面反應指數：錯判轉換指數與麻醉殘留指數相加除以二

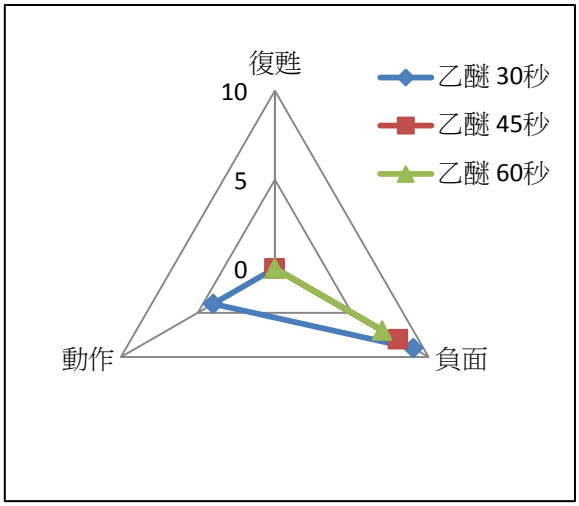
◎錯判轉換指數：先將三級迷宮錯誤性判斷指數平均後，再代入下表。

表四十、錯誤性判斷指數代換錯判轉換指數

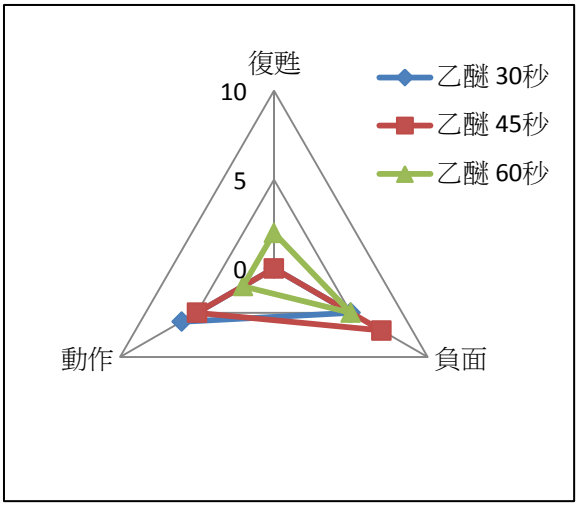
錯判指數	0.0~0.5	0.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~4.5	4.6以上
錯判轉換	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3. 動作反應指數→麻醉程度（將平均動作反應指數四捨五入後，即為麻醉指數。）

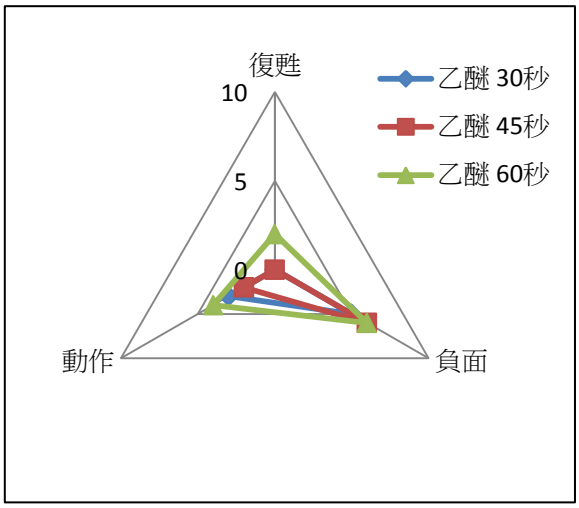
(二) 各項麻醉方式圖表比較



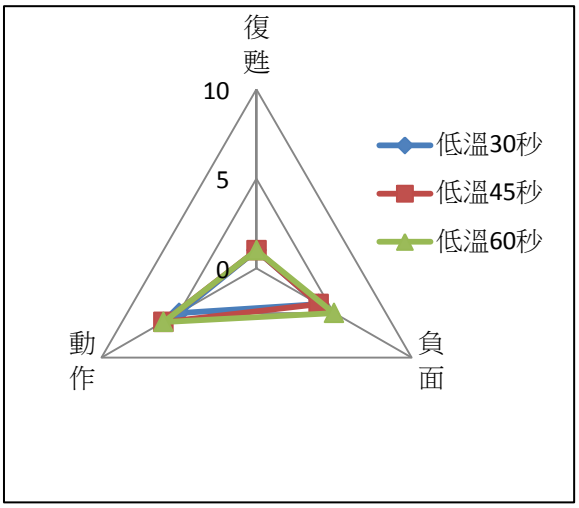
圖三十五、乙醚 5mL 麻醉



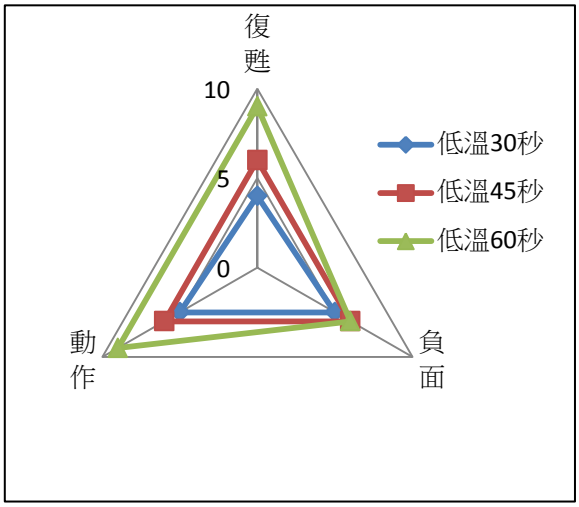
圖三十六、乙醚 7.5mL 麻醉



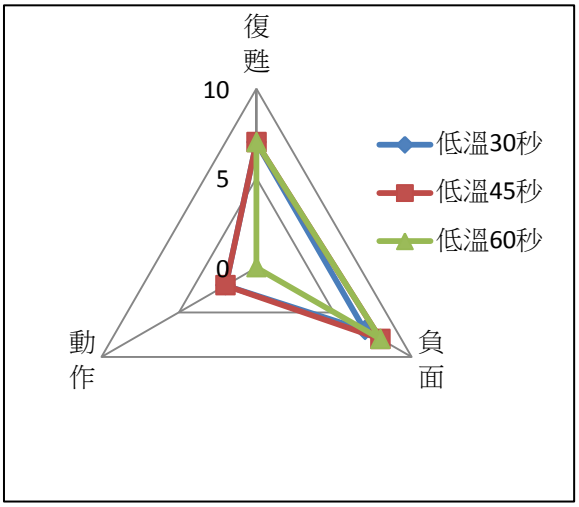
圖三十七、乙醚 10mL 麻醉



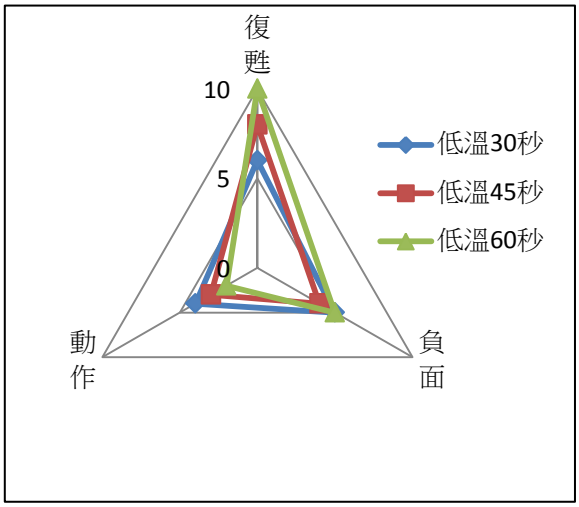
圖三十八、低溫 0℃麻醉



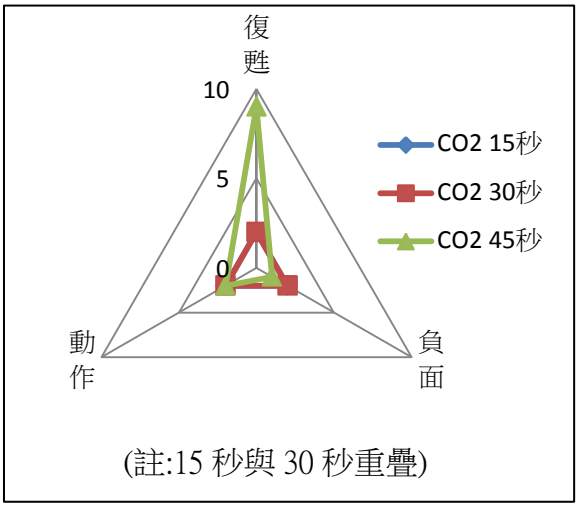
圖三十九、低溫-5℃麻醉



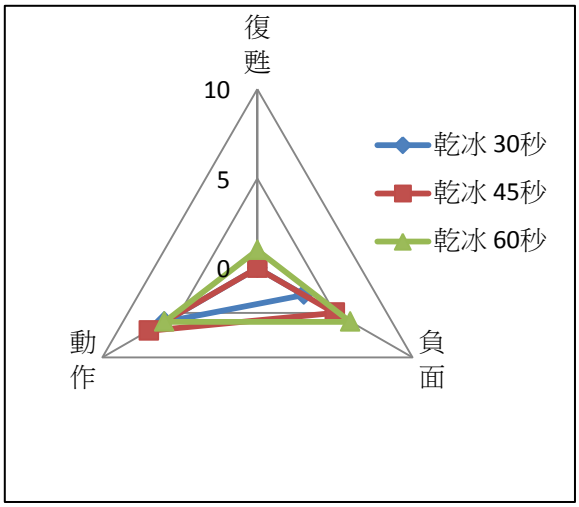
圖四十、低溫（乾冰）-15℃麻醉



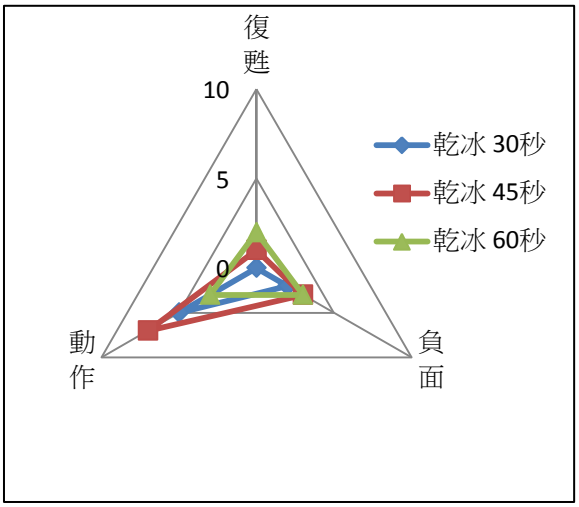
圖四十一、低溫（冰箱）-15℃麻醉



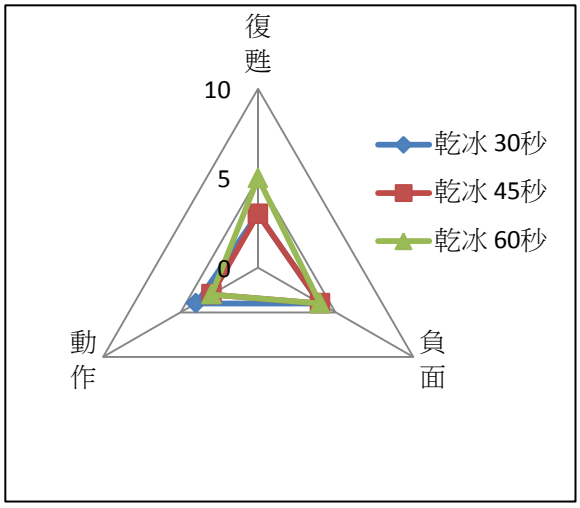
圖四十二、二氧化碳氣體麻醉



圖四十三、乾冰 10g 麻醉



圖四十四、乾冰 20g 麻醉



圖四十五、乾冰 30g 麻醉

陸、　討論

一、分項探討

(一) 美洲蜚蠊走迷宮之特性

1. 美洲蜚蠊喜歡躲於角落和陰暗處，且夾心餅乾的餡料和同伴費洛蒙對其有相當程度的吸引力。為因應這種趨性，我們設置走道等寬，並在每一次實驗後，以酒精擦拭整個迷宮。
2. 觀察後發現經過幾種麻醉效力殘留度較高的麻醉方式，美洲蜚蠊走迷宮時慣於貼著迷宮內壁緩緩前進，觸角擺動角度和擺動速率也較無麻醉時低，推測觸角功能因麻醉暫時喪失。

◎昆蟲觸角主要具備視覺、聽覺、以及觸覺等多種功能。不僅能聯絡同伴，亦能協助尋覓異性和尋找食物。美洲蜚蠊的觸角長度為身體的 1.5 倍左右，與其生理行為和活動有極大的關連性。

(二) 迷宮實驗

1. 復甦時間與核心溫度

◎美洲蜚蠊為變溫動物，核心溫度影響其生理行為頗大。

◎經過前測的實驗後發現，美洲蜚蠊在 15℃時的環境較 25℃時速率略低，另外核心溫度達 30℃以上時，蜚蠊會出現躁動不安的情形，並不斷張開翅膀以散失熱量。針對此結果，我們選擇以 25℃作為控制的室溫來進行實驗。(表四十一)

表四十一、不同溫度下的行走速率

室溫(核心溫度)	15℃			25℃			35℃		
迷宮難度	易	中	難	易	中	難	易	中	難
行走速率(cm/s)	7.1	5.0	4.2	16.0	5.4	4.5	9.6	6.8	4.4

(1) 體內核心溫度愈低者，麻醉後與室溫達熱平衡所需時間愈久，故復甦時間愈長。

(2) 乾冰昇華時大量吸走熱量，造成溫度下降，也會造成蜚蠊核心溫度降低，進而影響美洲蜚蠊的復甦時間。乾冰麻醉愈久者，因為待在保麗龍箱裡的時間長，其體內核心溫度愈低。

(3) 低溫-5℃及乾冰-15℃麻醉皆有因體內結冰而死亡，此兩種實驗對其具有殺傷力。

(4) 雖然同為低溫-15℃麻醉環境，但乾冰-15℃體內核心溫度較冰箱-15℃低許多。推測與麻醉方式有關。冰箱-15℃的實驗因為置入培養皿中，溫度下降速度較慢。

(5) 二氧化碳氣體 45 秒的復甦時間較 15 秒與 30 秒時長許多。推測是 15 秒與 30 秒效力較不足，而我們又著手進行 60 秒的實驗，發現美洲蜚蠊皆因二氧化碳濃度過高，導致窒息而死亡或造成神經系統永久傷害。故我們推論二氧化碳 45 秒為最合適的麻醉時間。

2. 行走速率與負面反應指數

(1) 在無麻醉的情況下，易級迷宮的行走速率較中級、難級快許多，推測是因為易級迷宮為一直線，美洲蜚蠊能快速定位並抵達終點，而另外兩級迷宮起點與終點間有塑膠板隔離，需要較長的時間來判斷行走方向。

(2) 易級迷宮的速率差較其他兩級大許多(幾乎都大於 15cm/s)，推測是因為麻醉後，觸角功能暫時喪失，導致無法像無麻醉情況下，快速靈敏地找到目標所在處。這其中我們推測帶有落差的概念。原先無麻醉時，易級的速率遠大於其他兩級迷宮，但經過麻醉殘留度較高的實驗後，三級間的行走速率約略相等，造成易級的速率差較大。經過評估後，決定將這種差距以易級速率差減九來克服。

(3) 低溫 0℃及二氧化碳氣體的行走速率與無麻醉較為接近。

(4) 低溫 0℃、二氧化碳氣體及乾冰麻醉後，行走速率差小。在二氧化碳氣體麻醉後，甚至有速率快於無麻醉的情形，推測應是麻醉殘留度低所致。

(5) 錯誤性判斷指數愈高，其速率差愈大。行走至錯誤路徑或亂轉時，皆會耗費時間。故可以發現影響美洲蜚蠊的行走速率的主因，是觸角功能暫時喪失所致。腳部雖然也有影響，但程度不大。(意即腳部尚未完全麻醉)

(6) 乙醚麻醉的錯誤性判斷指數較基準值(無麻醉)高許多，故可判斷乙醚麻醉有影響實驗結果之虞。

(三) 電擊實驗

1. 乾冰-15℃、二氧化碳氣體與乾冰 30g 麻醉後的動作反應指數較小，推測是麻醉程度較深。

2. 乙醚、乾冰-15℃麻醉電擊時，身體扭曲變形，推測是麻醉以及電流同時影響神經系統所致。

(四) 麻醉影響層面

◎電擊影響順序(動作反應指數由大而小)：1.腳 2.身體 3.翅膀 4.觸鬚

換言之，麻醉影響順序應為：1.觸鬚 2.翅膀 3.身體 4.腳

1. 此統整恰好可以印證前面迷宮實驗所得出來的結果。

二、綜合比較

(一) 麻醉方式的適合性

1. 復甦時間→麻醉時效（指數越高越適合）

2. 錯誤性判斷指數→麻醉影響（指數越低越適合）

3. 行走速率差→麻醉效力殘留度（變化率越小越適合）

4. 負面反應指數(將殘留指數與錯判轉換指數相加除以二)（指數越低越適合）

5. 動作反應指數→麻醉程度（指數越低越適合）
6. 綜合上述結果，若雷達圖的曲線越趨近正立兩腰較長的等腰三角形，就是越適合的麻醉方式。

(二) 整體評估

1. 就美洲蜚蠊而言，冰箱-15℃以及二氧化碳氣體麻醉 45 秒時效果最佳。
2. 乾冰 30g 麻醉時效雖較前兩項略短，但仍符實驗精神，故也是頗適合的麻醉方式。
3. 乙醚麻醉部分，不僅復甦時間短，動作反應指數以及負面反應指數高，是最不適合的麻醉方式。
4. 低溫 0℃與低溫-5℃麻醉後的效果不如預期，動作反應指數及負面反應指數偏高，顯示尚未完全麻醉神經系統，且也有影響實驗結果之虞。
5. 乾冰 10g、20g 麻醉後，美洲蜚蠊的動作反應指數偏高，且復甦時間較短，推測是麻醉程度淺，較適用於短時間麻醉應用(ex.標號)。
6. 綜合上述結果，我們得出當體內核心溫度在 2℃～3℃時，麻醉效果最佳。
7. 空間內的二氧化碳濃度也是影響美洲蜚蠊極重要的指標。如果以人體的角度解讀，醫學上稱由清醒狀態進入意識消失的狀態這段期間稱為誘導階段。如何掌控二氧化碳濃度，使美洲蜚蠊的誘導階段順利，但不至於傷害其生理系統，是我們接下來欲進行研究的部份。

三、各麻醉方式實用性

(一) 如果不考慮各種麻醉方式材料取得的難易度、麻醉步驟的複雜性，美洲蜚蠊以冰箱-15℃及二氧化碳氣體麻醉 45 秒的效果最佳。

(二) 但若考慮上述條件（實用性第一點），在實用性方面，因為冰箱的普遍性，以冰箱-15℃麻醉最佳。

柒、 結論

一、美洲蜚蠊麻醉效果最佳者為冰箱-15℃及二氧化碳氣體麻醉 45 秒。

二、乙醚麻醉有影響美洲蜚蠊實驗結果之虞，是最不合適的麻醉方式。

三、實用性最高的為冰箱-15℃麻醉。

四、麻醉後體內核心溫度 2℃～3℃的麻醉效果為最佳。

捌、　參考資料及其他

一、丹．比凱爾（2008）。**家庭百科圖書館-昆蟲大圖鑑**。臺北市：明天國際。

二、王明瑄、方思瑄（2013）。**惡「酩」昭「蟑」－美洲蜚蠊對於酒精的偏好及飲用後的影響**。

三、林佩瑩（2002）。我不笨，我有話要說----美洲蜚蠊在光熱刺激下的學習行為。**臺北市立第一女子高級中學數理資賦優異班學生專題研究專輯**，9，192-210。

四、張永文（1998）。**昆蟲圖鑑：台灣七百種常見昆蟲生態圖鑑**。臺北市：遠流。

五、戚啟禮（無日期）。**全身麻醉是怎麼回事**。取自 http://web.it.nctu.edu.tw/~hcsci/hospital/ins/abstain0.htm

六、蔡仁圃（2006）。認識身旁的小傢伙（一）美洲蟑螂生態與行為的初步觀察。**科學教育月刊**，289，30-35。

七、蔡仁圃（2006）。認識身旁的小傢伙（二）美洲蟑螂外部型態與內部器官的初步觀察。**科學教育月刊**，309，14-23。

八、蔡仁圃（2008）。認識身旁的小傢伙（五）探討蟑螂觸角擺動模式的量化方法。**科學教育月刊**，290，43-47。

九、鄭凱云（2013）。**全身麻醉**。取自 http://www.bh.cmu.edu.tw/cmubh/ch/index.php

十、韓運梅（2009）。**低溫對小鼠神經行為功能的影響及其機制的研究**。取自 http://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10422-2009247049.htm

十一、**二氧化碳麻醉**（無日期）。取自：http://baike.baidu.com/view/3903933.htm?fromTaglist

十二、**吸量管**（無日期）。取自：http://www.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/doc/12T12.pdf

十三、**來自蟑螂的抗生素**（2011 年 3 月 10 日）。取自 http://andy2010a.pixnet.net/blog/post/26747934-%E4%BE%86%E8%87%AA%E8%9F%91%E8%9E%82%E7%9A%84%E6%8A%97%E7%94%9F%E7%B4%A0s

【評語】030311

1. 實驗主題具實用性。

2. 學生表達能力佳，研究記錄詳細。

3. 麻醉殘留。動作反應指數的算法與比較的依據與適用性，宜進一步說明。

4. 建議增加測量樣本數，以提高實驗的準確性與結果再現性。