

作品名稱：小兵立大功—果蠅的遺傳、突變和學習行為研究

高小組 生物科 第三名

縣市：台中市

作者：黃守達、洪元茂

馮庭榕、張朋暉

校名：西區大同國民小學

指導教師：葉月嬌、林淑麗

關鍵詞：遺傳、突變、學習行為



小兵立大功

果蠅的遺傳、突變和學習行為研究

一、 研究動機

前陣子，報章雜誌常常提到果蠅的基因圖譜已經完全被解讀出來了，而且還說果蠅是科學家們在實驗室中最喜愛研究的對象。上自然課時，我們問老師相關的問題，老師還說果蠅可以被用來研究各種基因對細胞的影響等許多的遺傳學問題呢！這樣說來，小小的果蠅可真是了不起啊！於是我們幾個人便互相討論、上網蒐集與果蠅相關的資訊，果然發現果蠅真是"小兵立大功"，有好多的生物遺傳學家都曾利用它來發現奧妙的科學新知！哇—我們也不禁對它肅然起敬，更激發我們利用果蠅來探討各種遺傳、突變、學習行為等相關問題，於是開始展開一連串的實驗，一起進入果蠅的奇妙世界。

二、 研究目的

- (一) 研究溫度因子對果蠅生長及發育的影響。
- (二) 研究果蠅外表性狀的遺傳作用。
- (三) 研究各種不同致癌物對果蠅子代發育的影響。
- (四) 研究各種不同因子對果蠅選擇食物能力和行為的影響。
- (五) 研究果蠅的學習與記憶能力。

三、 研究設備器材

(一) 設備及器材：

放大鏡、立體解剖顯微鏡、光學顯微鏡、照相機、試管、棉花、紗布、各色的吸管、電腦、行動電話、雷射指示筆、微波爐、紫外光燈、電視機、糖果空瓶、熱熔膠、電路組、手電筒等。

(二) 藥品：

洋菜、玉米粉、蜂蜜、酵母粉、丙酸、乙醚、各種食物、各種化學物品等。

(三) 動物：果蠅

四、 研究過程

- (實驗一) 探討溫度對果蠅生長週期的影響
- (實驗二) 探討溫度對於果蠅的蛹生長及發育的影響
- (實驗三) 探討果蠅的外表性狀如何遺傳給下一代
- (實驗四) 探討物理性突變劑對果蠅子代生長及發育的影響
- (實驗五) 探討化學性突變劑對果蠅子代生長及發育的影響

- (實驗六) 探討果蠅最喜愛的食物種類
- (實驗七) 探討不同的食物位點對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗八) 探討不同的通道距離對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗九) 探討不同的通道顏色對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗十) 探討果蠅如何走迷宮
- (實驗十一) 探討果蠅的學習行為能力

五、 研究結果

(表一) 溫度對於果蠅生長週期的影響

條件 結果 天數	紅眼/直翅		紅眼/捲翅		紅眼/殘翅		白眼/直翅		白眼/捲翅		白眼/殘翅	
	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C
三	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵
五	卵	幼蟲	卵	幼蟲	卵	卵	卵	幼蟲	卵	幼蟲	卵	卵
七	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹1	幼蟲	幼蟲	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹1	幼蟲	幼蟲
八	蛹1	蛹2	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹1
九	蛹2	蛹3	蛹1	蛹3	蛹1	蛹2	蛹1	蛹3	蛹1	蛹3	蛹1	蛹2
十	蛹3	蛹4	蛹2	蛹4	蛹2	蛹3	蛹2	蛹4	蛹2	蛹4	蛹2	蛹3
十一	蛹4	成蟲	蛹3	成蟲	蛹3	蛹4	蛹3	成蟲	蛹3	成蟲	蛹3	蛹4
十二	成蟲		蛹4		蛹4	成蟲	蛹4		蛹4		蛹4	成蟲
十三			成蟲		成蟲		成蟲		成蟲		成蟲	

- 溫度對果蠅的生長造成很大的影響。在 25°C 下的產卵數約比 20°C 下高出 100%；另外第三齡幼蟲出現的時間約提早一天多一些，蛹階段也平均縮短一天多，所以整個生長週期在 25°C 下約為 11 天，比在 20°C 下約所短 2 至 3 天。
- 另外不同的果蠅生長速率也有差別，以紅眼/直翅、白眼/直翅的生長速度稍快、子代數也比較多；而紅眼/殘翅子代數少、生長也最慢，白眼/殘翅則其次。

(表二) 溫度對於果蠅蛹的生長和發育影響

條件 結果 天數	紅眼/直翅		紅眼/捲翅		紅眼/殘翅		白眼/直翅		白眼/捲翅		白眼/殘翅	
	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C
一	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1
二	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2	蛹1	蛹1	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2
三	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3	蛹2	蛹2	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3
四	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4	蛹3	蛹3	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4
五	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲	蛹4	蛹4	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲
六	成蟲		成蟲		成蟲	成蟲	成蟲		成蟲		成蟲	

- 在 25°C 下約第二天可以觀察到全身透明的頭部、翅膀及腳。第三天以後腹部漸漸變黃，可以看到腸道。第四天腹部的體節條紋出現，此時可以由外觀分辨性別和眼睛的形狀。第五天翅膀變黑、眼睛顏色也與成蟲相近，另外胸毛等外觀構造也都已發育完成。第六天果蠅以頭部將頂端的呼吸蓋衝破，慢慢

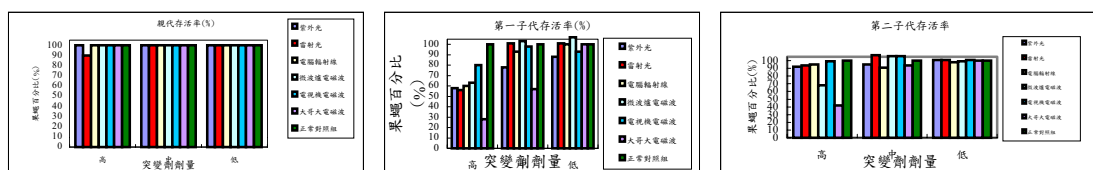
蠕動以推出身體，此時翅膀仍未張開，所以仍無法判斷出成蟲的翅膀外觀。另外，在 20°C 下，整個蛹階段發育時間約延長一天，又各種果蠅的發育速度有差異，其中以紅眼/殘翅的果蠅最慢。

(表二) 果蠅外表性狀的遺傳作用

子代 親代	紅眼/直翅(母)		紅眼/捲翅(母)		紅眼/殘翅(母)		白眼/直翅(母)		白眼/捲翅(母)		白眼/殘翅(母)	
	紅眼/直翅(公)	F1	紅/直(1)	F1		F1		F1		F1		F1
	F2	紅/直(1)	F2		F2		F2		F2		F2	
紅眼/捲翅(公)	F1	紅/直(7/8) 紅/捲(1/8)	F1	紅/捲(1)	F1		F1		F1		F1	
	F2	紅/直(3/4) 紅/捲(1/4)	F2	紅/捲(1)	F2		F2		F2		F2	
紅眼/殘翅(公)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	紅/捲(1/4) 紅/殘(1/2) 紅/直(1/4) 紅/捲殘(1/4)	F1	紅/殘(1)	F1		F1		F1	
	F2	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F2	紅/直(2/5) 紅/捲(1/5) 紅/殘(1/5) 紅/捲殘(1/5)	F2	紅/殘(1)	F2		F2		F2	
白眼/直翅(公)	F1	紅/直(1)	F1	紅/直(1/2) 紅/捲(3/5) 白/直, 白/捲(少)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	白/直(1)	F1		F1	
	F2	紅/直(3/4) 白/直(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/捲(1/2) 白/直(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/殘(1/2) 白/直(1/4)	F2	白/直(1)	F2		F2	
白眼/捲翅(公)	F1	紅/直(1)	F1	紅/直(1/2) 紅/捲(1/2)	F1	多種	F1	白/直(1/2) 白/捲(1/2)	F1	白/捲(1)	F1	
	F2	紅/直(3/4) 白/捲(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/捲(1/2) 白/捲(1/4)	F2	多種	F2	白/直(3/4) 白/捲(1/4)	F2	白/捲(1)	F2	
白眼/殘翅(公)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	多種	F1	紅/直(2/6) 白/直(2/6) 紅/殘(1/6) 白/殘(1/6)	F1	白/直(1/2) 白/殘(1/2)	F1	白/殘(1/2) 白/捲(1/2)	F1	白/殘(1)
	F2	紅/直(1/2) 紅/殘(1/4) 白/殘(1/4)	F2	多種	F2	紅/殘(3/9) 白/殘(2/9) 紅/直(2/9) 白/直(2/9)	F2	白/直(1/2) 白/殘(1/4)	F2	白/捲(3/4) 白/殘(1/4)	F2	白/殘(1)

- 由互相交配結果得到：相同的果蠅交配可以得到與親代相同的子代。可是不同的親代果蠅互相交配後，由子代可以推論得到直翅的基因容易被表現，其次是捲翅基因，殘翅基因則不容易被表現出來。另外，紅眼基因比白眼基因容易被表現出來，但是帶有白眼基因的子代互相交配後，很容易被表現出來而出現白眼的果蠅於第二子代中；此點與孟德爾的遺傳定律符合。但是帶有紅眼及捲翅基因與帶有白眼與殘翅基因的果蠅互相交配之後產生的後代則很複雜。

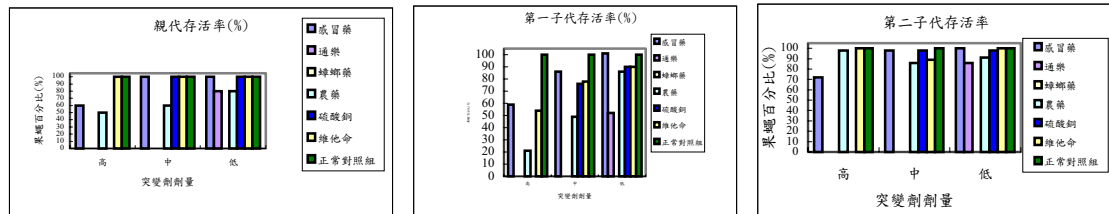
(圖一) 物理性突變劑對果蠅子代發育影響統計圖



- 依實驗結果我們發現照射不同時間的輻射線，對於親代存活率並沒有顯著的

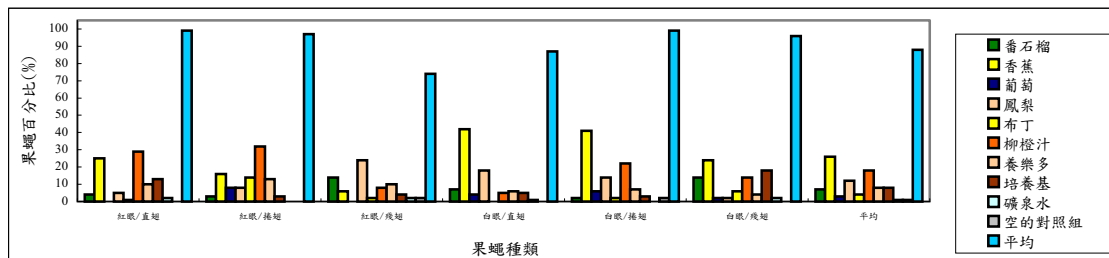
影響；可是對於第一子代則影響很大。高劑量處理的子代數明顯降低，尤其是大哥大電磁波處理組（28%）；而中劑量處理則以紫外光及大哥大電磁波的影響最大；另外低劑量處理則影響不大。對於處理後的第二子代數及公、母比例則沒有顯著不同。

(圖二) 化學性突變劑對果蠅子代發育影響統計圖



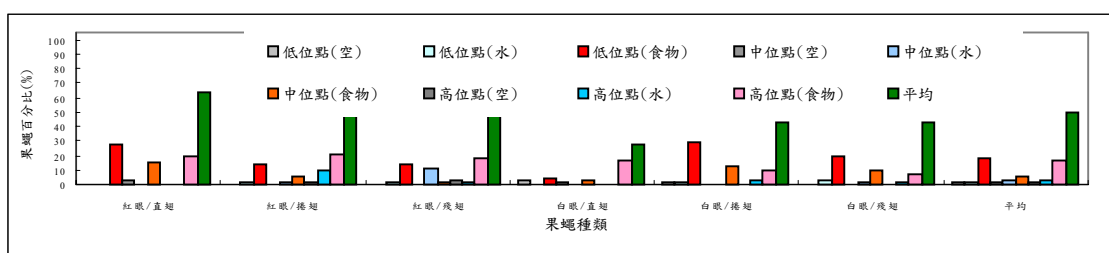
- 經過多次的試驗結果，我們發現食用不同劑量的蟑螂藥的親代都死掉了；而高、中劑量的通樂及高劑量的硫酸銅處理也是。其他的處理也使親代數降低許多，而且第一子代的數目也顯著下降，尤其是以高劑量的處理子代影響最大，低劑量則較不影響。另一方面，對於第二子代的影響則是以高劑量較有影響，而低劑量則影響較小。

(圖三) 果蠅最喜愛的食物種類統計圖



- 經過長時間的觀察結果，我們發現能散發出香香、甜甜味道的水果最能吸引果蠅的喜愛。另外，柳橙汁的味道也是果蠅的喜愛之一，只不過吃完後都付出了淹死的代價。而就不同的果蠅而言，大多數的果蠅都具有選擇食物的能力，但是以紅眼/殘翅的果蠅選擇食物能力最差，白眼/直翅為其次。

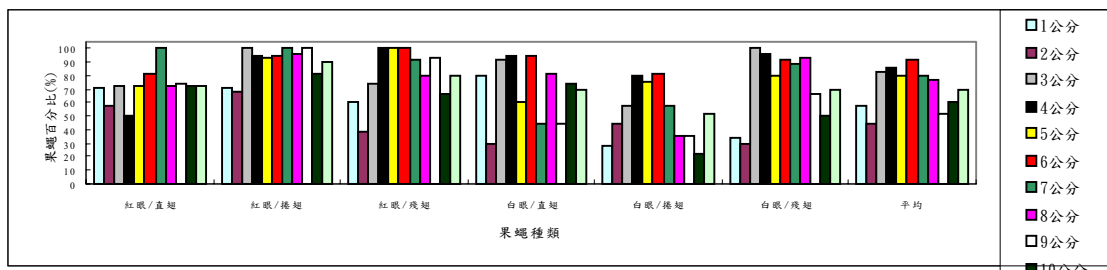
(圖四) 不同食物位點對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 經由我們反覆實驗結果得知裝有食物的高位點及低位點位置是果蠅的最愛，

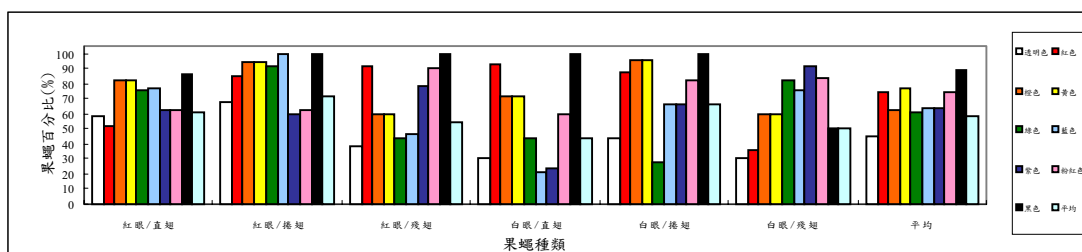
而中位點則次之。另外除了紅眼殘翅外，空的管子中不管高、中、低位點都只有少數果蠅飛入。有趣的是果蠅也會喝水，尤其是紅眼/捲翅的果蠅比例最高，但是喝完水後都淹死在水裡。除此外，果蠅對於不同位點食物的選擇能力，普遍比低位點的選擇食物能力差，大多在 50 % 左右，其中以紅眼/直翅的 64 % 較高，而白眼/直翅則較差只有 27 % 而已。

(圖五) 不同通道距離對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 由實驗結果我們發現一個有趣的現象，一般來說以 4、5、6 公分距離是果蠅的最佳攝食距離，當距離縮短或增長時，果蠅的嗅覺能力也變差；尤其以 1、2 公分及 9、10 公分為較差。我們也發現，大多數的果蠅在面對通道時最容易出現停滯、徘徊不前的現象，不過以紅眼的果蠅選擇食物能力較高，而又以捲翅的果蠅活動力最強。另外則是以白眼/捲翅的果蠅選擇食物能力最差。

(圖六) 不同通道顏色對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 不同顏色的通道對果蠅選擇食物能力的影響，以黑色為最佳，而以透明色最差，這個結果符合了果蠅在昏暗下活動力較佳的說法。另外黃色及粉紅色的通道也是不錯的選擇；而果蠅對於顏色的選擇能力普遍較差 (50 %)，其中以紅眼/捲翅果蠅稍好。

(表三) 果蠅如何走迷宮

	紅眼/直翅				紅眼/捲翅				紅眼/殘翅				白眼/直翅				白眼/捲翅				白眼/殘翅			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
前十名果蠅到達各通道隻數	3	2	0	5	1	0	1	8	2	1	2	5	2	0	8	0	3	1	1	5	6	3	0	1
24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	29	19	9	10	7	15	10	17	20	4	7	22	8	6	26	0	16	8	5	30	15	13	15	33
果蠅數最多的通道再次實驗結果 (%)	55	10	5	15	0	0	10	70	23	50	0	50	23	15	46	15	13	20	23	17	8	0	8	31

- 經過觀察結果發現果蠅在最初進入迷宮中時，以選擇 4 號通道為最多，而 24 小時後到達 4 號通道的果蠅也依然最多。將果蠅數最多的通道中果蠅再次倒入迷宮中試驗結果發現，果蠅仍然還是會再回到原來的通道的比例約為 50% 以上，其中又以紅眼/捲翅最多；而白眼捲翅則最差。由觀察結果可知果蠅確實具有記憶能力，能重覆所走過的路線，這點是相當有趣的。另外我們也發現 4 號通道總長度約為 5 至 6 公分，這點與果蠅的最佳嗅覺距離的實驗相符合；還有我們也發現果蠅對於過於複雜的路徑是比較不感興趣的。

(表四) 通電及強光對於果蠅學習行為的影響

		紅眼/直翅			紅眼/捲翅			紅眼/殘翅			白眼/直翅			白眼/捲翅			白眼/殘翅		
		水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管
通電處理	24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	40	60	×	14	86	×	98	2	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×
	水果試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	20	0	80	0	0	100	16	14	70	70	7	23	70	4	26	96	0	4
	留在原試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	90	0	10	74	8	18	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
強光處理	24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	100	2	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×
	水果試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	100	0	0	97	0	3	89	11	0	100	0	0	89	11	0	100	0	0
	留在原試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- 實驗結果證明果蠅確實具有記憶能力，尤其是以紅眼/直、捲翅的果蠅最佳；而紅眼、白眼/殘翅則最差。我們也發現白眼的果蠅記憶能力遠低於紅眼果蠅，可能是眼睛顏色與智力發展有間接的關係？另外將沒有通過電處理的果蠅再次試驗結果可發現大多數的果蠅選擇水果的試管，這點與通電果蠅的選擇有差異。另外在照強光的實驗裡，我們發現強光對於果蠅學習行為是不會有多大影響的。經過強光照射的果蠅還是選擇在暗處的試管覓食，可見果蠅還是喜歡在暗處尋找食物。

六、 討論

- (一) 觀察溫度對果蠅生長及發育的影響需將果蠅培養在恆溫培養箱中，每天在固定時間觀察才能準確紀錄結果。另外實驗後的果蠅必須以高溫滅菌，防止污染生態環境。另外，培養基的配置是依照一般培養果蠅所需要的營養物質所調配後倒入試管中而成的。
- (二) 互相交配果蠅的結果所產生的子代，觀察方式除了以乙醚麻醉或二氧化碳迷昏後觀察外，也可將欲觀察的成蟲泡在 70 % 的酒精中，等成蟲死後再以放大鏡或解剖顯微鏡慢慢觀察紀錄。

- (三) 化學性的物品容易使果蠅親代死亡，所以處理時間盡量不宜過長，而且所有實驗在處理果蠅之前必須先經過飢餓處理 3 小時，以增加果蠅食用化學物品的機會。另外處理後的公果蠅需先清理乾淨再與母的果蠅交配，以避免將化學物品帶給母的而造成母的突變或死亡。此外，本實驗結果除了發現突變劑對於子代數及性別差異有影響但未發現其它的畸形子代，這點值得後續實驗繼續探討。
- (四) 選擇不同食物及位點的實驗裝置空間過大，導致需要較長的時間才能觀察到明顯的差異結果，所以不同的通道距離及顏色則選擇較小的試管實驗，可以觀察到比較快又正確的結果。
- (五) 迷宮的裝置概念來自老鼠走迷宮實驗，但是以吸管來裝置路線比較不容易設計出完善的圖形，未來可以再思考改進的方法及實驗證明。另外通電處理實驗裝置，我們以燈泡發亮來證明確定為通路，以及試管的棉花要塞緊等防止果蠅飛走等小問題都是實驗準確與否的關鍵。

七、結論

- (一) 溫度低時，果蠅的生長及發育果然比較慢！一般說來，整個生活週期由卵至蛹到成蟲在 25°C 下約需 11 天，但是在 20°C 下卵及蛹階段發育都慢了 1 天多，所以整個週期約慢了 2 至 3 天，不同的果蠅之間生長速度也有差別，其中以紅眼/直翅最快，而白眼/殘翅則最慢。另外，我們發現蛹的發育非常有趣，整個階段由頭部開始出現，然後是腳及翅膀，隨著器官的發育身體的外觀也漸漸成形，25°C 下約在第四天即可正確判斷出性別及眼睛顏色了。
- (二) 果蠅的外表性狀遺傳自親代，其中以紅眼基因最容易表現出來，而白眼基因則不容易表現，屬於隱性基因。另外直翅基因的表現稍強於捲翅基因，而殘翅基因則最不容易被表現出來，我們發現殘翅的子代數少，可能是有容易使果蠅致死的基因存在？經過我們重覆的交配結果，告訴我們遺傳因子的遺傳並非簡單的事，真是一門相當複雜的課題呢！難怪從孟德爾到摩根以及現代的許許多多遺傳生物學家這麼努力的致力研究它！果蠅果然是"小兵立大功"呢！！
- (三) 日常生活中所接觸的各種物理性的輻射光波及化學性的物品，大家果然是要盡量避免接觸才是！尤其是食用高劑量的化學物品更是容易造成死亡，子代數也明顯減少，就連食用高劑量的維他命也變成一種毒藥了。除此之外第二子代的子代數比較不容易受到影響，但是對於隱藏的突變基因何時發作則不得而知了。
- (四) 果蠅果然喜愛吃水果，尤其是爛水果香最容易吸引果蠅前來食用，甚至不

顧被淹死的危險！不同的食物位點，低和高位點容易吸引果蠅，而通道距離則是以 5 至 6 公分左右最佳；顏色則是以黑色最能討好果蠅。

(五) 老鼠具有重覆走迷宮的能力，實驗證明果蠅也有！有趣的是，多次實驗結果發現果蠅喜愛選擇簡單的路線到達通道，真是聰明啊！尤其是紅眼/捲翅的能力最強，而白眼殘翅果蠅則最差。

(六) 果蠅具有抑制及促進性的記憶能力嗎？答案是有的！反覆試驗結果得到通電的作用讓果蠅害怕，而不再選擇喜愛的食物味道，轉而選擇厭惡的味道，而且記憶力維持約 24 小時。但是強光的作用在 1 小時內證明果蠅具有短期記憶能力，但是過了 3 小時後則轉向喜愛的味道一端了。對於通電處理是否也會影響果蠅對顏色、食物位置或食物的選擇能力則需後續實驗繼續探討。

八、參考文獻及其他

- (一) 小牛頓・69 期：60-61 頁・牛頓出版社・
- (二) 小牛頓・38 期：13 頁・牛頓出版社・
- (三) 小牛頓・173 期：16-17 頁・牛頓出版社・
- (四) 百科全書及牛頓雜誌
- (五) 利用網路蒐集的資料。

小兵立大功

果蠅的遺傳、突變和學習行為研究

一、 研究動機

前陣子，報章雜誌常常提到果蠅的基因圖譜已經完全被解讀出來了，而且還說果蠅是科學家們在實驗室中最喜愛研究的對象。上自然課時，我們問老師相關的問題，老師還說果蠅可以被用來研究各種基因對細胞的影響等許多的遺傳學問題呢！這樣說來，小小的果蠅可真是了不起啊！於是我們幾個人便互相討論、上網蒐集與果蠅相關的資訊，果然發現果蠅真是"小兵立大功"，有好多的生物遺傳學家都曾利用它來發現奧妙的科學新知！哇—我們也不禁對它肅然起敬，更激發我們利用果蠅來探討各種遺傳、突變、學習行為等相關問題，於是開始展開一連串的實驗，一起進入果蠅的奇妙世界。

二、 研究目的

- (一) 研究溫度因子對果蠅生長及發育的影響。
- (二) 研究果蠅外表性狀的遺傳作用。
- (三) 研究各種不同致癌物對果蠅子代發育的影響。
- (四) 研究各種不同因子對果蠅選擇食物能力和行為的影響。
- (五) 研究果蠅的學習與記憶能力。

三、 研究設備器材

(一) 設備及器材：

放大鏡、立體解剖顯微鏡、光學顯微鏡、照相機、試管、棉花、紗布、各色的吸管、電腦、行動電話、雷射指示筆、微波爐、紫外光燈、電視機、糖果空瓶、熱熔膠、電路組、手電筒等。

(二) 藥品：

洋菜、玉米粉、蜂蜜、酵母粉、丙酸、乙醚、各種食物、各種化學物品等。

(三) 動物：果蠅

四、 研究過程

- (實驗一) 探討溫度對果蠅生長週期的影響
- (實驗二) 探討溫度對於果蠅的蛹生長及發育的影響
- (實驗三) 探討果蠅的外表性狀如何遺傳給下一代
- (實驗四) 探討物理性突變劑對果蠅子代生長及發育的影響
- (實驗五) 探討化學性突變劑對果蠅子代生長及發育的影響

- (實驗六) 探討果蠅最喜愛的食物種類
- (實驗七) 探討不同的食物位點對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗八) 探討不同的通道距離對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗九) 探討不同的通道顏色對果蠅選擇食物能力的影響
- (實驗十) 探討果蠅如何走迷宮
- (實驗十一) 探討果蠅的學習行為能力

五、 研究結果

(表一) 溫度對於果蠅生長週期的影響

條件 結果 天數	紅眼/直翅		紅眼/捲翅		紅眼/殘翅		白眼/直翅		白眼/捲翅		白眼/殘翅	
	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C
三	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵	卵
五	卵	幼蟲	卵	幼蟲	卵	卵	卵	幼蟲	卵	幼蟲	卵	卵
七	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹1	幼蟲	幼蟲	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹1	幼蟲	幼蟲
八	蛹1	蛹2	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹1	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹2	幼蟲	蛹1
九	蛹2	蛹3	蛹1	蛹3	蛹1	蛹2	蛹1	蛹3	蛹1	蛹3	蛹1	蛹2
十	蛹3	蛹4	蛹2	蛹4	蛹2	蛹3	蛹2	蛹4	蛹2	蛹4	蛹2	蛹3
十一	蛹4	成蟲	蛹3	成蟲	蛹3	蛹4	蛹3	成蟲	蛹3	成蟲	蛹3	蛹4
十二	成蟲		蛹4		蛹4	成蟲	蛹4		蛹4		蛹4	成蟲
十三			成蟲		成蟲		成蟲		成蟲		成蟲	

- 溫度對果蠅的生長造成很大的影響。在 25°C 下的產卵數約比 20°C 下高出 100%；另外第三齡幼蟲出現的時間約提早一天多一些，蛹階段也平均縮短一天多，所以整個生長週期在 25°C 下約為 11 天，比在 20°C 下約所短 2 至 3 天。
- 另外不同的果蠅生長速率也有差別，以紅眼/直翅、白眼/直翅的生長速度稍快、子代數也比較多；而紅眼/殘翅子代數少、生長也最慢，白眼/殘翅則其次。

(表二) 溫度對於果蠅蛹的生長和發育影響

條件 結果 天數	紅眼/直翅		紅眼/捲翅		紅眼/殘翅		白眼/直翅		白眼/捲翅		白眼/殘翅	
	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C
一	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1	蛹1
二	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2	蛹1	蛹1	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2	蛹1	蛹2
三	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3	蛹2	蛹2	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3	蛹2	蛹3
四	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4	蛹3	蛹3	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4	蛹3	蛹4
五	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲	蛹4	蛹4	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲	蛹4	成蟲
六	成蟲		成蟲		成蟲	成蟲	成蟲		成蟲		成蟲	

- 在 25°C 下約第二天可以觀察到全身透明的頭部、翅膀及腳。第三天以後腹部漸漸變黃，可以看到腸道。第四天腹部的體節條紋出現，此時可以由外觀分辨性別和眼睛的形狀。第五天翅膀變黑、眼睛顏色也與成蟲相近，另外胸毛等外觀構造也都已發育完成。第六天果蠅以頭部將頂端的呼吸蓋衝破，慢慢

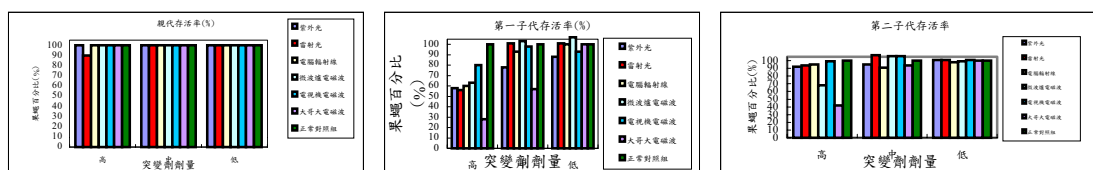
蠕動以推出身體，此時翅膀仍未張開，所以仍無法判斷出成蟲的翅膀外觀。另外，在 20°C 下，整個蛹階段發育時間約延長一天，又各種果蠅的發育速度有差異，其中以紅眼/殘翅的果蠅最慢。

(表二) 果蠅外表性狀的遺傳作用

子代 親代	紅眼/直翅(母)		紅眼/捲翅(母)		紅眼/殘翅(母)		白眼/直翅(母)		白眼/捲翅(母)		白眼/殘翅(母)	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
紅眼/直翅(公)	F1	紅/直(1)	F1		F1		F1		F1		F1	
	F2	紅/直(1)	F2		F2		F2		F2		F2	
紅眼/捲翅(公)	F1	紅/直(7/8) 紅/捲(1/8)	F1	紅/捲(1)	F1		F1		F1		F1	
	F2	紅/直(3/4) 紅/捲(1/4)	F2	紅/捲(1)	F2		F2		F2		F2	
紅眼/殘翅(公)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	紅/捲(1/4) 紅/殘(1/2) 紅/直(1/4) 紅/捲殘(1/4)	F1	紅/殘(1)	F1		F1		F1	
	F2	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F2	紅/直(2/5) 紅/捲(1/5) 紅/殘(1/5) 紅/捲殘(1/5)	F2	紅/殘(1)	F2		F2		F2	
白眼/直翅(公)	F1	紅/直(1)	F1	紅/直(1/2) 紅/捲(3/5) 白/直, 白/捲(少)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	白/直(1)	F1		F1	
	F2	紅/直(3/4) 白/直(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/捲(1/2) 白/直(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/殘(1/2) 白/直(1/4)	F2	白/直(1)	F2		F2	
白眼/捲翅(公)	F1	紅/直(1)	F1	紅/直(1/2) 紅/捲(1/2)	F1	多種	F1	白/直(1/2) 白/捲(1/2)	F1	白/捲(1)	F1	
	F2	紅/直(3/4) 白/捲(1/4)	F2	紅/直(1/4) 紅/捲(1/2) 白/捲(1/4)	F2	多種	F2	白/直(3/4) 白/捲(1/4)	F2	白/捲(1)	F2	
白眼/殘翅(公)	F1	紅/直(1/2) 紅/殘(1/2)	F1	多種	F1	紅/直(2/6) 白/直(2/6) 紅/殘(1/6) 白/殘(1/6)	F1	白/直(1/2) 白/殘(1/2)	F1	白/殘(1/2) 白/捲(1/2)	F1	白/殘(1)
	F2	紅/直(1/2) 紅/殘(1/4) 白/殘(1/4)	F2	多種	F2	紅/殘(3/9) 白/殘(2/9) 紅/直(2/9) 白/直(2/9)	F2	白/直(1/2) 白/殘(1/4)	F2	白/捲(3/4) 白/殘(1/4)	F2	白/殘(1)

- 由互相交配結果得到：相同的果蠅交配可以得到與親代相同的子代。可是不同的親代果蠅互相交配後，由子代可以推論得到直翅的基因容易被表現，其次是捲翅基因，殘翅基因則不容易被表現出來。另外，紅眼基因比白眼基因容易被表現出來，但是帶有白眼基因的子代互相交配後，很容易被表現出來而出現白眼的果蠅於第二子代中；此點與孟德爾的遺傳定律符合。但是帶有紅眼及捲翅基因與帶有白眼與殘翅基因的果蠅互相交配之後產生的後代則很複雜。

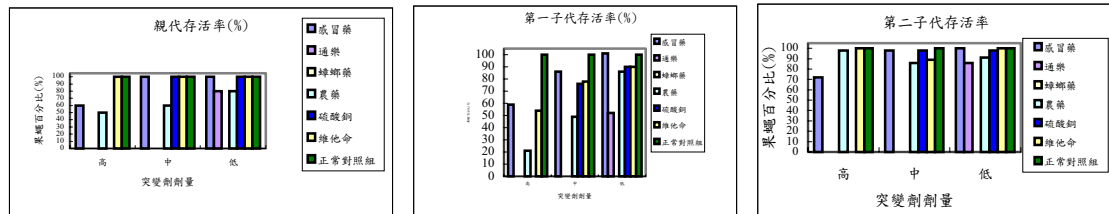
(圖一) 物理性突變劑對果蠅子代發育影響統計圖



- 依實驗結果我們發現照射不同時間的輻射線，對於親代存活率並沒有顯著的

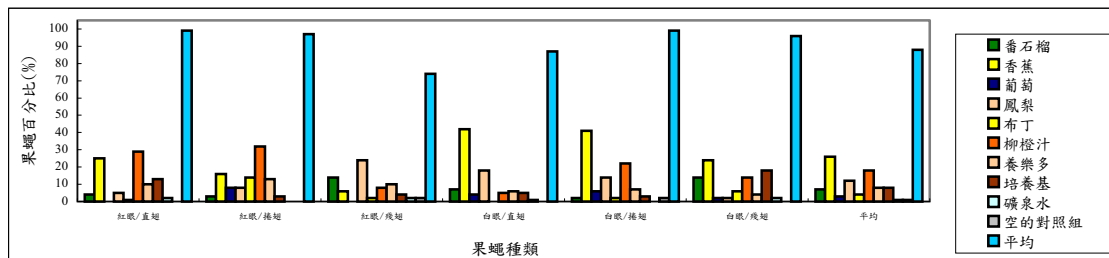
影響；可是對於第一子代則影響很大。高劑量處理的子代數明顯降低，尤其是大哥大電磁波處理組（28%）；而中劑量處理則以紫外光及大哥大電磁波的影響最大；另外低劑量處理則影響不大。對於處理後的第二子代數及公、母比例則沒有顯著不同。

(圖二) 化學性突變劑對果蠅子代發育影響統計圖



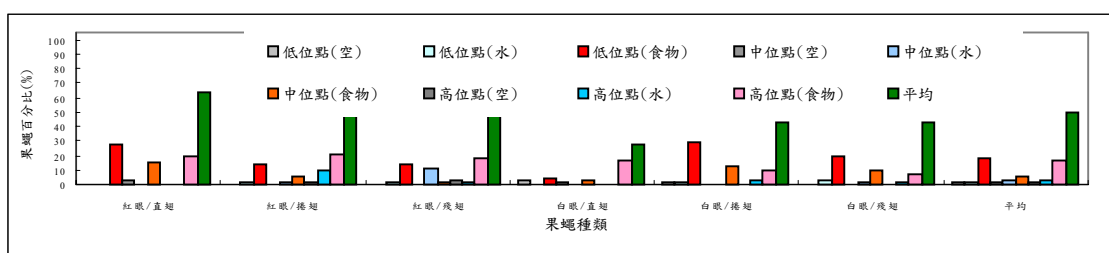
- 經過多次的試驗結果，我們發現食用不同劑量的蟑螂藥的親代都死掉了；而高、中劑量的通樂及高劑量的硫酸銅處理也是。其他的處理也使親代數降低許多，而且第一子代的數目也顯著下降，尤其是以高劑量的處理子代影響最大，低劑量則較不影響。另一方面，對於第二子代的影響則是以高劑量較有影響，而低劑量則影響較小。

(圖三) 果蠅最喜愛的食物種類統計圖



- 經過長時間的觀察結果，我們發現能散發出香香、甜甜味道的水果最能吸引果蠅的喜愛。另外，柳橙汁的味道也是果蠅的喜愛之一，只不過吃完後都付出了淹死的代價。而就不同的果蠅而言，大多數的果蠅都具有選擇食物的能力，但是以紅眼/殘翅的果蠅選擇食物能力最差，白眼/直翅為其次。

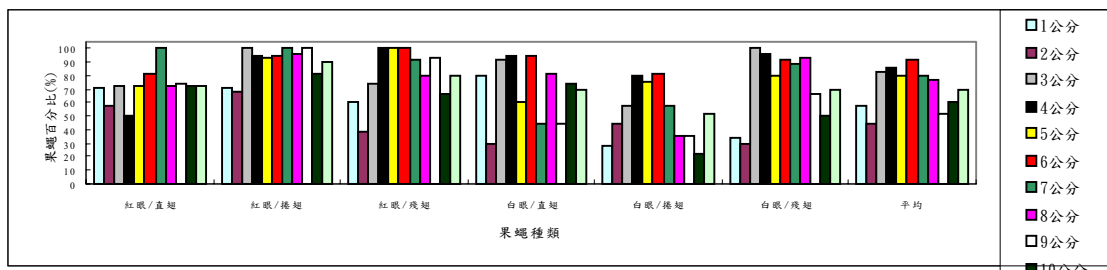
(圖四) 不同食物位點對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 經由我們反覆實驗結果得知裝有食物的高位點及低位點位置是果蠅的最愛，

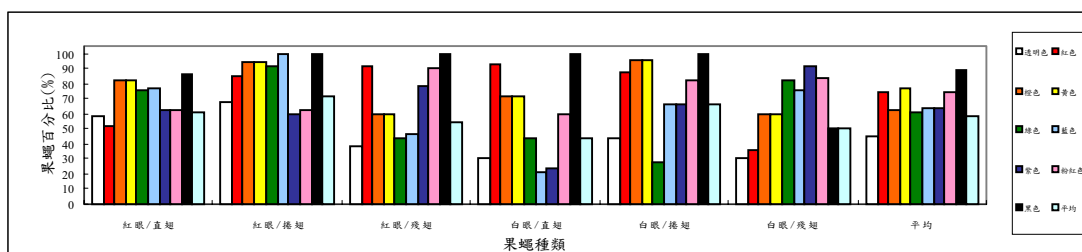
而中位點則次之。另外除了紅眼殘翅外，空的管子中不管高、中、低位點都只有少數果蠅飛入。有趣的是果蠅也會喝水，尤其是紅眼/捲翅的果蠅比例最高，但是喝完水後都淹死在水裡。除此外，果蠅對於不同位點食物的選擇能力，普遍比低位點的選擇食物能力差，大多在 50 % 左右，其中以紅眼/直翅的 64 % 較高，而白眼/直翅則較差只有 27 % 而已。

(圖五) 不同通道距離對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 由實驗結果我們發現一個有趣的現象，一般來說以 4、5、6 公分距離是果蠅的最佳攝食距離，當距離縮短或增長時，果蠅的嗅覺能力也變差；尤其以 1、2 公分及 9、10 公分為較差。我們也發現，大多數的果蠅在面對通道時最容易出現停滯、徘徊不前的現象，不過以紅眼的果蠅選擇食物能力較高，而又以捲翅的果蠅活動力最強。另外則是以白眼/捲翅的果蠅選擇食物能力最差。

(圖六) 不同通道顏色對果蠅選擇食物能力影響統計圖



- 不同顏色的通道對果蠅選擇食物能力的影響，以黑色為最佳，而以透明色最差，這個結果符合了果蠅在昏暗下活動力較佳的說法。另外黃色及粉紅色的通道也是不錯的選擇；而果蠅對於顏色的選擇能力普遍較差 (50 %)，其中以紅眼/捲翅果蠅稍好。

(表三) 果蠅如何走迷宮

	紅眼/直翅				紅眼/捲翅				紅眼/殘翅				白眼/直翅				白眼/捲翅				白眼/殘翅			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
前十名果蠅到達各通道隻數	3	2	0	5	1	0	1	8	2	1	2	5	2	0	8	0	3	1	1	5	6	3	0	1
24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	29	19	9	10	7	15	10	17	20	4	7	22	8	6	26	0	16	8	5	30	15	13	15	33
果蠅數最多的通道再次實驗結果 (%)	55	10	5	15	0	0	10	70	23	50	0	50	23	15	46	15	13	20	23	17	8	0	8	31

- 經過觀察結果發現果蠅在最初進入迷宮中時，以選擇 4 號通道為最多，而 24 小時後到達 4 號通道的果蠅也依然最多。將果蠅數最多的通道中果蠅再次倒入迷宮中試驗結果發現，果蠅仍然還是會再回到原來的通道的比例約為 50% 以上，其中又以紅眼/捲翅最多；而白眼捲翅則最差。由觀察結果可知果蠅確實具有記憶能力，能重覆所走過的路線，這點是相當有趣的。另外我們也發現 4 號通道總長度約為 5 至 6 公分，這點與果蠅的最佳嗅覺距離的實驗相符合；還有我們也發現果蠅對於過於複雜的路徑是比較不感興趣的。

(表四) 通電及強光對於果蠅學習行為的影響

		紅眼/直翅			紅眼/捲翅			紅眼/殘翅			白眼/直翅			白眼/捲翅			白眼/殘翅		
		水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管	水果 試管	原地	樟腦 油管
通電處理	24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	40	60	×	14	86	×	98	2	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×
	水果試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	20	0	80	0	0	100	16	14	70	70	7	23	70	4	26	96	0	4
	留在原試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	90	0	10	74	8	18	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
強光處理	24 小時後到達各通道的果蠅 (%)	100	2	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×	100	0	×
	水果試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	100	0	0	97	0	3	89	11	0	100	0	0	89	11	0	100	0	0
	留在原試管果蠅再次試驗 24 小時結果 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- 實驗結果證明果蠅確實具有記憶能力，尤其是以紅眼/直、捲翅的果蠅最佳；而紅眼、白眼/殘翅則最差。我們也發現白眼的果蠅記憶能力遠低於紅眼果蠅，可能是眼睛顏色與智力發展有間接的關係？另外將沒有通過電處理的果蠅再次試驗結果可發現大多數的果蠅選擇水果的試管，這點與通電果蠅的選擇有差異。另外在照強光的實驗裡，我們發現強光對於果蠅學習行為是不會有多大影響的。經過強光照射的果蠅還是選擇在暗處的試管覓食，可見果蠅還是喜歡在暗處尋找食物。

六、 討論

- (一) 觀察溫度對果蠅生長及發育的影響需將果蠅培養在恆溫培養箱中，每天在固定時間觀察才能準確紀錄結果。另外實驗後的果蠅必須以高溫滅菌，防止污染生態環境。另外，培養基的配置是依照一般培養果蠅所需要的營養物質所調配後倒入試管中而成的。
- (二) 互相交配果蠅的結果所產生的子代，觀察方式除了以乙醚麻醉或二氧化碳迷昏後觀察外，也可將欲觀察的成蟲泡在 70 % 的酒精中，等成蟲死後再以放大鏡或解剖顯微鏡慢慢觀察紀錄。

- (三) 化學性的物品容易使果蠅親代死亡，所以處理時間盡量不宜過長，而且所有實驗在處理果蠅之前必須先經過飢餓處理 3 小時，以增加果蠅食用化學物品的機會。另外處理後的公果蠅需先清理乾淨再與母的果蠅交配，以避免將化學物品帶給母的而造成母的突變或死亡。此外，本實驗結果除了發現突變劑對於子代數及性別差異有影響但未發現其它的畸形子代，這點值得後續實驗繼續探討。
- (四) 選擇不同食物及位點的實驗裝置空間過大，導致需要較長的時間才能觀察到明顯的差異結果，所以不同的通道距離及顏色則選擇較小的試管實驗，可以觀察到比較快又正確的結果。
- (五) 迷宮的裝置概念來自老鼠走迷宮實驗，但是以吸管來裝置路線比較不容易設計出完善的圖形，未來可以再思考改進的方法及實驗證明。另外通電處理實驗裝置，我們以燈泡發亮來證明確定為通路，以及試管的棉花要塞緊等防止果蠅飛走等小問題都是實驗準確與否的關鍵。

七、結論

- (一) 溫度低時，果蠅的生長及發育果然比較慢！一般說來，整個生活週期由卵至蛹到成蟲在 25°C 下約需 11 天，但是在 20°C 下卵及蛹階段發育都慢了 1 天多，所以整個週期約慢了 2 至 3 天，不同的果蠅之間生長速度也有差別，其中以紅眼/直翅最快，而白眼/殘翅則最慢。另外，我們發現蛹的發育非常有趣，整個階段由頭部開始出現，然後是腳及翅膀，隨著器官的發育身體的外觀也漸漸成形，25°C 下約在第四天即可正確判斷出性別及眼睛顏色了。
- (二) 果蠅的外表性狀遺傳自親代，其中以紅眼基因最容易表現出來，而白眼基因則不容易表現，屬於隱性基因。另外直翅基因的表現稍強於捲翅基因，而殘翅基因則最不容易被表現出來，我們發現殘翅的子代數少，可能是有容易使果蠅致死的基因存在？經過我們重覆的交配結果，告訴我們遺傳因子的遺傳並非簡單的事，真是一門相當複雜的課題呢！難怪從孟德爾到摩根以及現代的許許多多遺傳生物學家這麼努力的致力研究它！果蠅果然是"小兵立大功"呢！！
- (三) 日常生活中所接觸的各種物理性的輻射光波及化學性的物品，大家果然是要盡量避免接觸才是！尤其是食用高劑量的化學物品更是容易造成死亡，子代數也明顯減少，就連食用高劑量的維他命也變成一種毒藥了。除此之外第二子代的子代數比較不容易受到影響，但是對於隱藏的突變基因何時發作則不得而知了。
- (四) 果蠅果然喜愛吃水果，尤其是爛水果香最容易吸引果蠅前來食用，甚至不

顧被淹死的危險！不同的食物位點，低和高位點容易吸引果蠅，而通道距離則是以 5 至 6 公分左右最佳；顏色則是以黑色最能討好果蠅。

(五) 老鼠具有重覆走迷宮的能力，實驗證明果蠅也有！有趣的是，多次實驗結果發現果蠅喜愛選擇簡單的路線到達通道，真是聰明啊！尤其是紅眼/捲翅的能力最強，而白眼殘翅果蠅則最差。

(六) 果蠅具有抑制及促進性的記憶能力嗎？答案是有的！反覆試驗結果得到通電的作用讓果蠅害怕，而不再選擇喜愛的食物味道，轉而選擇厭惡的味道，而且記憶力維持約 24 小時。但是強光的作用在 1 小時內證明果蠅具有短期記憶能力，但是過了 3 小時後則轉向喜愛的味道一端了。對於通電處理是否也會影響果蠅對顏色、食物位置或食物的選擇能力則需後續實驗繼續探討。

八、參考文獻及其他

- (一) 小牛頓・69 期：60-61 頁・牛頓出版社・
- (二) 小牛頓・38 期：13 頁・牛頓出版社・
- (三) 小牛頓・173 期：16-17 頁・牛頓出版社・
- (四) 百科全書及牛頓雜誌
- (五) 利用網路蒐集的資料。

評語：

本研究部份實驗——迷宮設計，果蠅的學習研究創意甚高，自行設計實驗器材，符合鼓勵實驗操作的科學教育宗旨，同時實驗資料豐富，甚值得鼓勵。

作者簡介

黃守達

雖然「阿達」是我的綽號，可是我卻一點也不秀逗喔！

自然是我最喜歡的科目，因為有太多太多的為什麼可以讓我去探究。

這次科展是我小學六年生涯裡最棒的經驗，我希望也能從事自然科學的研究！

洪元茂

小小的果蠅卻與人類基因組合有 85% 的相似度，真是不可思議！自然界真是無比奇妙啊，人要能與自然和平共處，更要以大自然為師才是！

謝謝科展其間與我同甘共苦的伙伴，也謝謝學校師長的指導。

張朋暉

老實說一開始我對果蠅的感覺是——好可怕，好噁心喔！但是經過一段時間的相知相惜，我要大聲的說果蠅——你是我的最愛。

原本內向又木訥的我，經過這次科展的歷練，讓我的人生由黑白變成彩色的。

馮庭榕

能與各縣市喜愛自然科學的同好分享自己對生物的喜愛，將是我一輩子不會忘記的回憶。我也期許將來繼續能研究大自然的萬事萬物，揭開其中的奧秘！