

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

031707

無線寬頻 WiMAX 對果蠅本能行爲的影響

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學

作者：  國二 陳妍蓉  國二 郭芳妤	指導老師：  張慎  黃慶隆
---------------------------------	----------------------------

關鍵詞： WiMAX、果蠅本能行爲、神經內分泌

## 摘要

果蠅成蟲經 WiMAX 3.5GHz 電磁波照射後，對其神經系統控制的行爲：趨上性、趨光性或是嗅覺反應，均有抑制效果。我們推論：WiMAX 電磁波可能會抑制神經訊息傳導的速度。實驗組子代果蠅雌性比例偏高，16 小時組雌雄比例爲最高，雌雄比例達 2.1 倍。可以得知 WiMAX 確實會影響由內分泌所控制的生理本能。實驗組 SOD 活性都比對照組低，也可看出氧化壓力的傷害有累積效果，顯示 WiMAX 確實會降低體內抗氧化酵素—SOD—的活性，對正在發育中的卵產生氧化壓力。

發育中胚胎受到的氧化傷害，經蛹期變態後，對成蠅的本能行爲不會有影響。但對個體的生命週期有延遲的現象。16小時實驗組需時最久（11.83天），可以得知氧化壓力具有傷害累積的效果，但不是線性倍增的關係。

## 壹、研究動機

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, 全球微波存取互通性) 是一種新的無線上網技術，我國去年開放六家業者領有營業執照，經過半年來的努力，今下半年即將開通此項服務。其最大的好處是它的訊號範圍更廣、傳遞速度更快，我們不再受限於幾個特定地點才能享有無線上網的便利性。相關應用如：遠距照護、即時居家安全監控、行動辦公室等等，將使我們的生活型態有所改變。然而，這也意味著我們將無時不刻都將暴露在此頻率的電磁波環境中！從前因為暴露長短時間無法有效定義，而一直有爭議的電磁波對人體健康的相關研究，如今，實有必要重新討論其可能性。

課程相關：

自然與生活科技（一）第二章第三節 遺傳變異

自然與生活科技（三）第二章、波動與聲音 第三章、光

## 貳、研究目的

- 一、WiMAX 的頻率為何？是否會對人體造成輻射性的傷害？
- 二、探討WiMAX的電磁波對果蠅的本能反應是否造成改變。
- 三、探討親代果蠅經照射WiMAX電磁波對子代果蠅的影響。
- 四、探討 WiMAX 的電磁波是否會對果蠅產生氧化壓力。
- 五、發育中胚胎受到的早期氧化壓力，經過蛹期變態後，是否仍會存在影響。

## 參、研究設備及器材

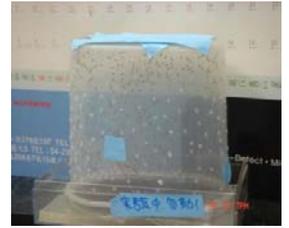
一、器材

- （一）放大鏡、立體解剖顯微鏡
- （二）直式管瓶、棉花、林氏培養基
- （三）紗布、自製果蠅行為測試器

自製第二代果蠅行為測試器



## 自製產卵器



(四) 量筒、電子天秤、秤量紙、果汁培養基

(五) 自製產卵器、昏迷器、積屍瓶

## 二、果蠅

從長庚大學發育生物學實驗室取得純種果蠅 *Drosophila melanogaster*

## 三、設備

長庚大學天線實驗室無反射室

## 肆、研究過程

### 實驗一、WiMAX的頻率為何？是否與紫外光一樣會對人體造成輻射性的傷害？

結果討論：WiMAX 的頻率從 2~6 GHz 不等，我國目前採用的頻率為 3.5GHz。雖較現有手機頻率為高，但在電磁波頻譜中仍然屬於微波的範圍，未達到紫外光的頻率，依現有的醫學知識來說，不對人體產生跟紫外光一樣的輻射性的傷害。

### 實驗二、探討WiMAX的電磁波對果蠅的本能反應之正趨上性是否有所影響。

#### (一) 實驗過程

- 1.將羽化1天的同齡果蠅，從果蠅培養瓶隨機選取100隻，放入新培養瓶，編號為對照組。
- 2.同步驟1，另選30隻，每100隻為一組，依序編號為實驗組1、實驗組2、實驗組3。
- 3.將實驗組1的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續4小時後取出。
4. 實驗組2的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續8小時後取出。實驗組3的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續16小時後取出。
- 5.將上述每組以二氧化碳麻昏後，每次將10隻果蠅以水彩筆移入我們自行設計的「趨上性行為測試器」中，俟其適應2分鐘後，開始紀錄一半果蠅向上爬至上部試管所需的時間。每次10隻皆進行三重複。



使用二氧化碳麻醉果蠅



進入無反射室



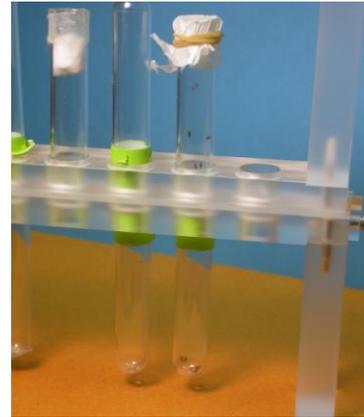
架設天線



15 2:30PM

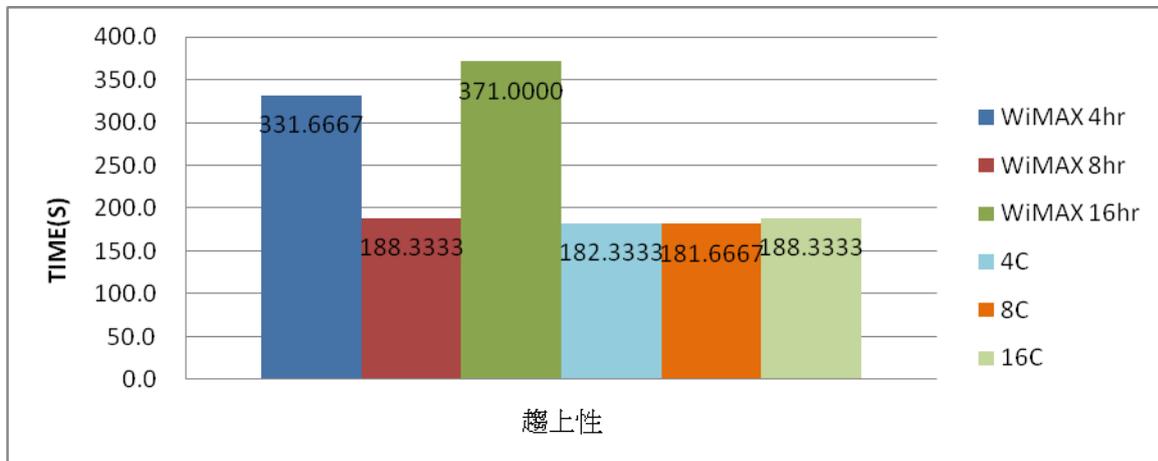


第一代的向上性行爲測試法



自製第二代行爲測試器進行向上性測驗

## (二) 結果分析



### 討論：

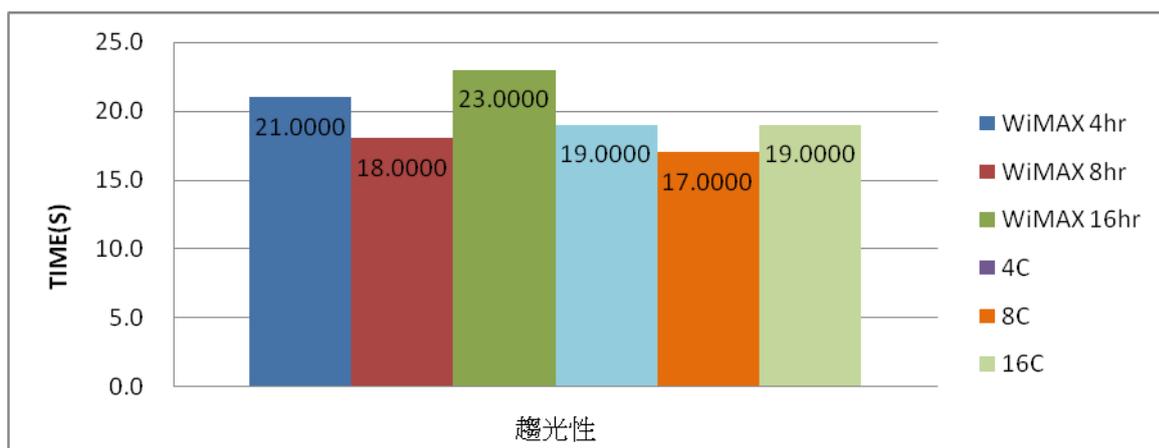
WiMAX 4hr、WiMAX 16hr 兩組，比對照組需要更多時間才能表現出一樣的趨上性，可能是 WiMAX 電磁波對其產生了干擾。且 16hr 比 4hr 花費更多時間，可以得知照射時間對此行爲足以產生累積效果。但是 WiMAX 8 hr 組所需的時間卻又與對照組相同，這是令我們十分不解的數據。

### 實驗三、探討WiMAX的電磁波對果蠅的本能反應之正趨光性是否有所影響。

#### (一) 實驗過程

- 1.將羽化1天的同齡果蠅，從果蠅培養瓶隨機選取100隻，放入新培養瓶，編號為對照組。
- 2.同步驟1，另選30隻，每100隻為一組，依序編號為實驗組1、實驗組2、實驗組3。
- 3.將實驗組1的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續4小時後取出。
4. 實驗組2的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續8小時後取出。實驗組3的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續16小時後取出。
- 5.將上述每組以二氧化碳麻昏後，每次將10隻果蠅以水彩筆移入我們自行設計的「趨光性行為測試器」中，俟其適應2分鐘後，並打開光源，開始紀錄一半果蠅向上爬至上部試管所需的時間。每次10隻皆進行三重複。
- 6.將實驗二各組所需時間，減去實驗三各組的數據，即為果蠅表現趨光性所需的時間

#### (二) 結果分析



討論：

因為各組所需時間都很短，所以各組差距並不大。WiMAX 4hr、WiMAX 16hr 兩組，比對照組需要更多時間才能表現出一樣的趨光性，可能是 WiMAX 電磁波對其產生了干擾。且 16hr 比 4hr 花費多了 2 倍時間，可以得知照射時間對此行為足以產生累積效果。但是 WiMAX 8 hr 組所需的時間再度與對照組相似。

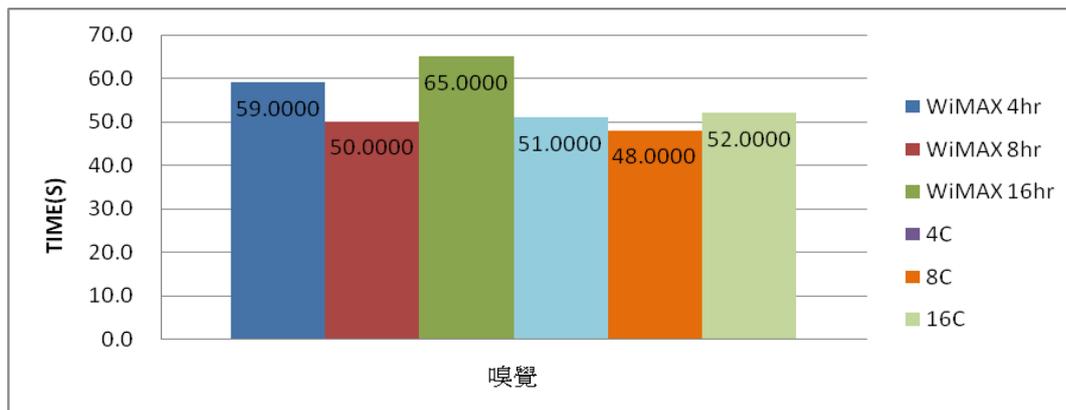
## (一) 實驗過程

- 1.將羽化1天的同齡果蠅，從果蠅培養瓶隨機選取100隻，放入新培養瓶，編號為對照組。
- 2.同步驟1，另選30隻，每100隻為一組，依序編號為實驗組1、實驗組2、實驗組3。
- 3.將實驗組1的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續4小時後取出。
4. 實驗組2的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續8小時後取出。實驗組3的果蠅放入電磁無反射室中，接受頻率 3.5 GHz，功率1W，的定量電磁波照射，持續16小時後取出。
- 5.將上述每組以二氧化碳麻昏後，每次將10隻果蠅以水彩筆移入我們自行設計的「嗅覺行為測試器」中，並滴入醋酸與葡萄汁混合液，俟其適應1分鐘後，開始紀錄一半果蠅向上爬至上部試管所需的時間。每次10隻皆進行三重複。
- 6.將實驗二各組所需時間，減去實驗四各組的數據，即為果蠅表現嗅覺所需的時間



自製第二代行為測試器進行嗅覺測驗

## (二) 結果分析



### 討論：

WiMAX 4hr、WiMAX 16hr 兩組，比對照組需要更多時間才能表現出一樣的趨光性，可能是 WiMAX 電磁波對其產生了干擾。且 16hr 比 4hr 花費多了 1.6 倍時間，可以得知照射時間對嗅覺足以產生累積效果。WiMAX 8 hr 組所需的時間與對照組相似。

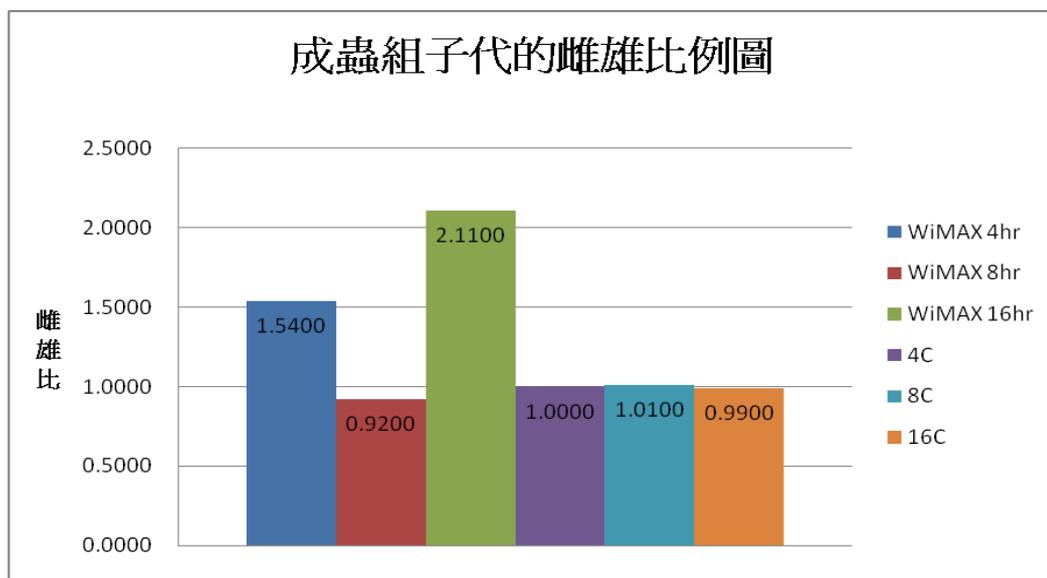
## 實驗五、探討親代果蠅經照射WiMAX電磁波對子代果蠅的影響。

### (一) 實驗過程

1.將實驗二中的對照組與實驗組1、實驗組2、實驗組3，作為親代繼續飼養，觀察其子代的變化。

### (二) 結果分析

子代	數量			雌/雄
	雄性	雌性	總數	
WiMAX 4hr	812.0000	1253.0000	2065.0000	1.5400
WiMAX 8hr	985.0000	915.0000	1900.0000	0.9200
WiMAX 16hr	710.0000	1498.0000	2208.0000	2.1100
4C	935.0000	940.0000	1875.0000	1.0000
8C	931.0000	939.0000	1870.0000	1.0100
16C	936.0000	930.0000	1866.0000	0.9900



討論：

WiMAX 4hr、WiMAX 16hr 兩組，子代雌性果蠅的比例較雄性為高。WiMAX 4hr 是 1.54 倍，WiMAX 16hr 甚至高達 2.11 倍，其他組雌雄比約為 1：1。

## 實驗六、探討WiMAX的電磁波是否會對果蠅產生氧化壓力。

### (一) 實驗過程

#### 1. 抗氧化能力分析

##### 超氧化物歧化酵素 (Superoxide dismutase, SOD) 活性測定

原理：

以pyrogallol氧化受抑制原理來定量SOD活性。Pyrogallol在pH小於7的環境很穩定，但若在大於7的環境中則會有自身氧化的情況，且會產生超氧陰離子，同時以一定速度生成橙色的紅桔酚，若此時有SOD的存在則會將超氧陰離子歧化，因而抑制pyrogallol自身氧化的速率，可由此原理換算SOD之活性。一單位SOD酵素活性定義為抑制50 % pyrogallol自身氧化速率的酵素量。

步驟：

方法參考Marklund等人(1974)方法，取100  $\mu$  l 稀釋後組織均質液，加入800  $\mu$  l 50 mM Tris-HCl buffer，另取100  $\mu$  l 50 mM phosphate buffer當作空白組，加入 100  $\mu$  l 10 mM pyrogallol，以紫外光－可見光分光光度計(UV-Vis spectrophotometer) 於420 nm測一分鐘內每10秒吸光值變化，一單位酵素活性(unit, U)定義為每分鐘可使 pyrogallol自氧化速率減少50%所需的酵素量。

#### 2. 過氧化氫酵素 (Catalase, CAT) 活性測定

原理：

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在CAT作用下會分解水和氧氣，在波長240 nm時H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>有最大吸光值，H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>在CAT存在下逐漸減少其吸光值。以單位時間內吸光值之變化量，可測得CAT活性，一單位CAT定義為每分鐘H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>所消耗的量。

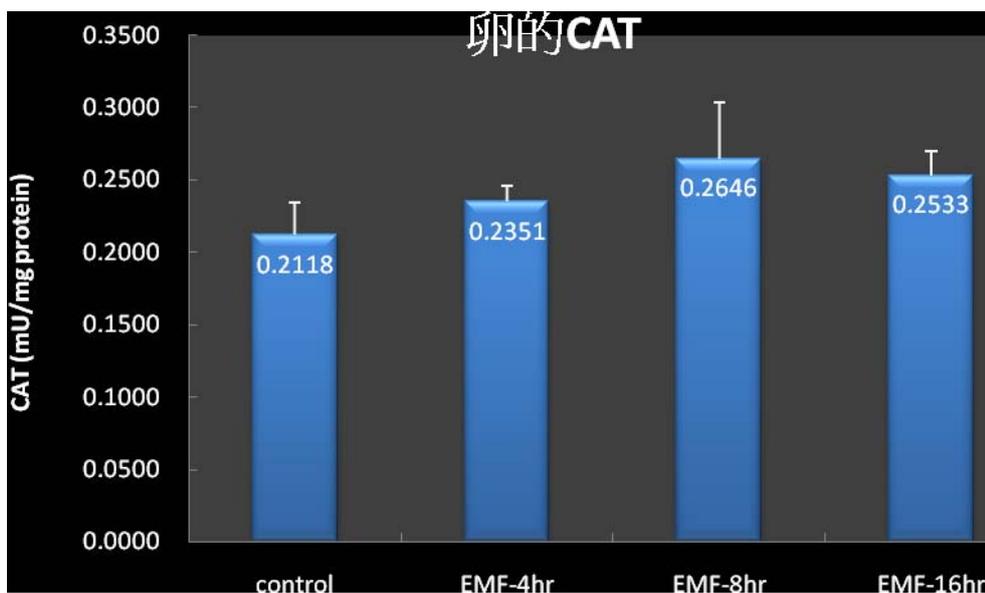
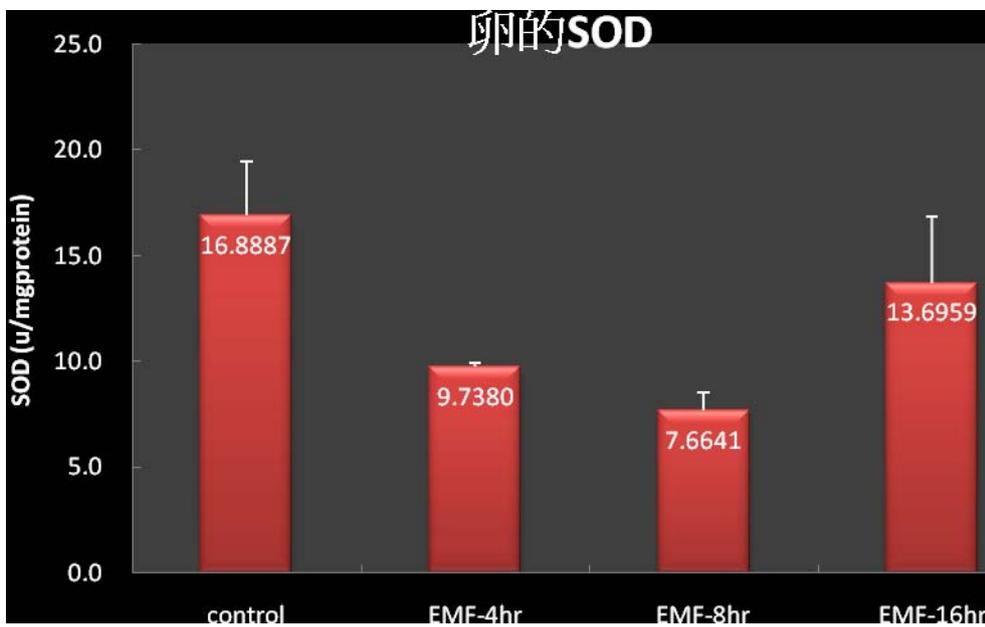
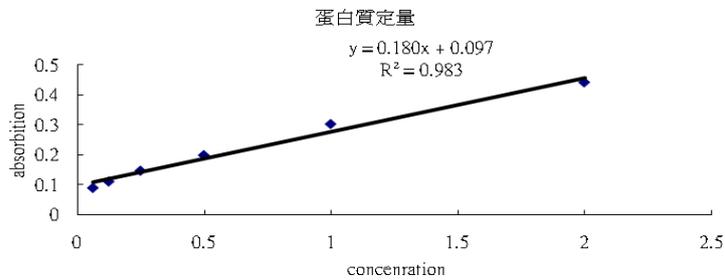
步驟：

方法參考自Aebi (1983)之方法。取125  $\mu$  l組織均質液，加入875  $\mu$  l 50 mM phosphate buffer，並取125  $\mu$  l 50 mM phosphate buffer當作空白組，加入500  $\mu$  l 2 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>，以紫外光－可見光分光光度計(UV-Vis spectrophotometer) 於 240 nm測一分鐘內每10秒吸光

值變化，一單位酵素活性(unit, U)定義為在25 °C下每分鐘可消耗1 mmol H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的酵素量。

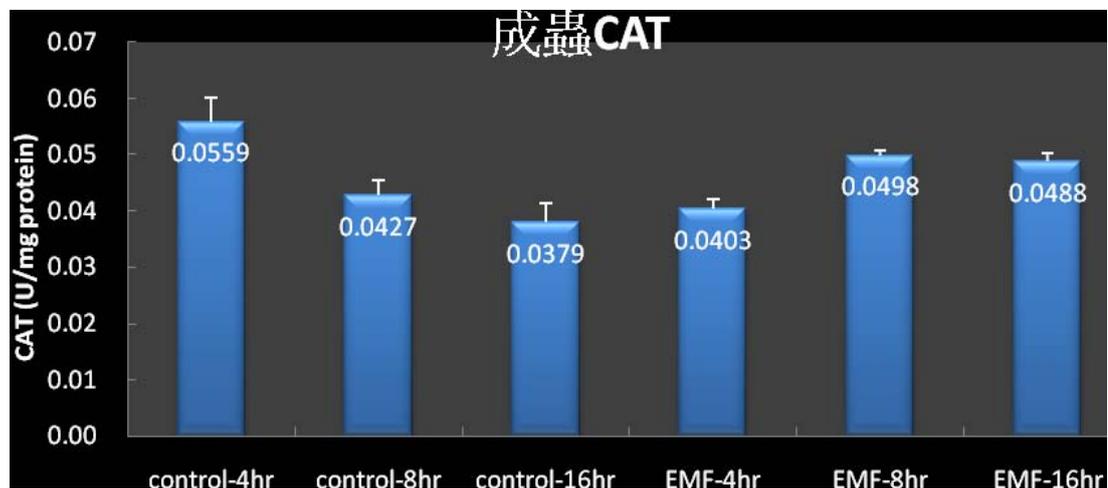
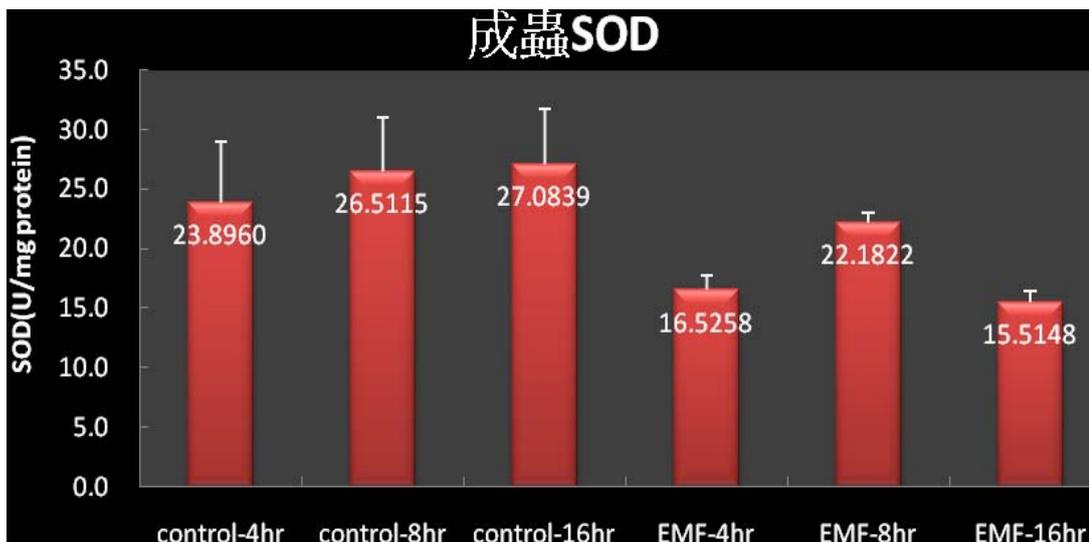
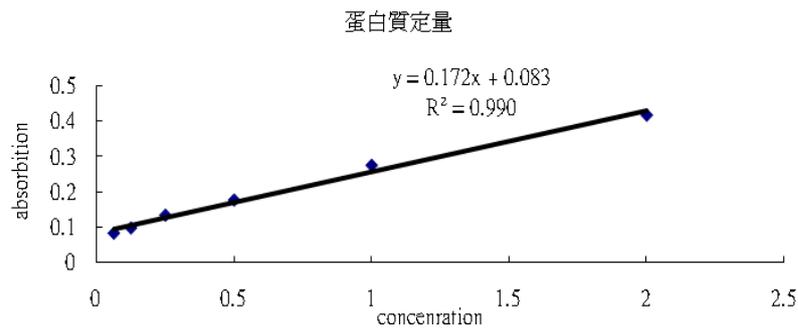
## (二) 結果分析

### 卵組



- 1.由上圖數據得知：WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr 三組，其體內抗氧化酵素 SOD 的活性均比對照組低，其中又以 WiMAX 8hr 為最低，足以顯示此電磁波的確足以對生物體構成顯著的氧化壓力。WiMAX 16 hr 的 SOD 雖然也低於對照組，但是較 WiMAX 4hr、WiMAX 8hr 兩組為高，這可能是一種誘發回饋的時間點。
- 2.WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr 三組，其體內抗氧化酵素 CAT 的活性有增加的趨勢。其中以 WiMAX 8 hr 最高。

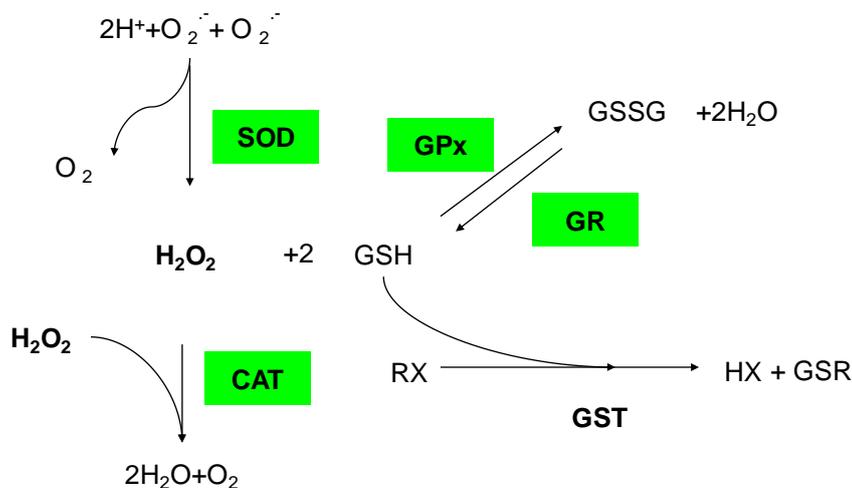
### 成蟲組



討論：

- 1.由上圖數據得知：WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr 三組，其體內抗氧化酵素 SOD 的活性均比對照組低，其中又以 WiMAX 16hr 為最低，足以顯示此電磁波的確足以對生物體構成顯著的氧化壓力。
- 2.WiMAX 8 hr 的 SOD 雖然也低於對照組，但是較 WiMAX 4hr、WiMAX 16hr 兩組為高，這或許可以解釋先前我們幾組實驗無法說明的部份。照射 8 小時的果蠅其本能行為均較 4 小時或 16 小時為佳，可能是其抗氧化酵素（超氧歧化酶；SOD）活性較另兩組為高，而產生對神經細胞的保護作用。
3. WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr三組，其體內抗氧化酵素CAT的活性有增加的趨勢，而對照組的CAT酵素活性卻是下降，表示兩者所用 到的解毒系統可能不相同。抗氧化酵素－過氧化氫酶；CAT－的活性並不隨SOD改變，我們推測此時生物體內主要是利用GPx來代謝過氧化氫（參見下圖），所以CAT的活性才會隨時間而越來越高。

生物抗氧化機制



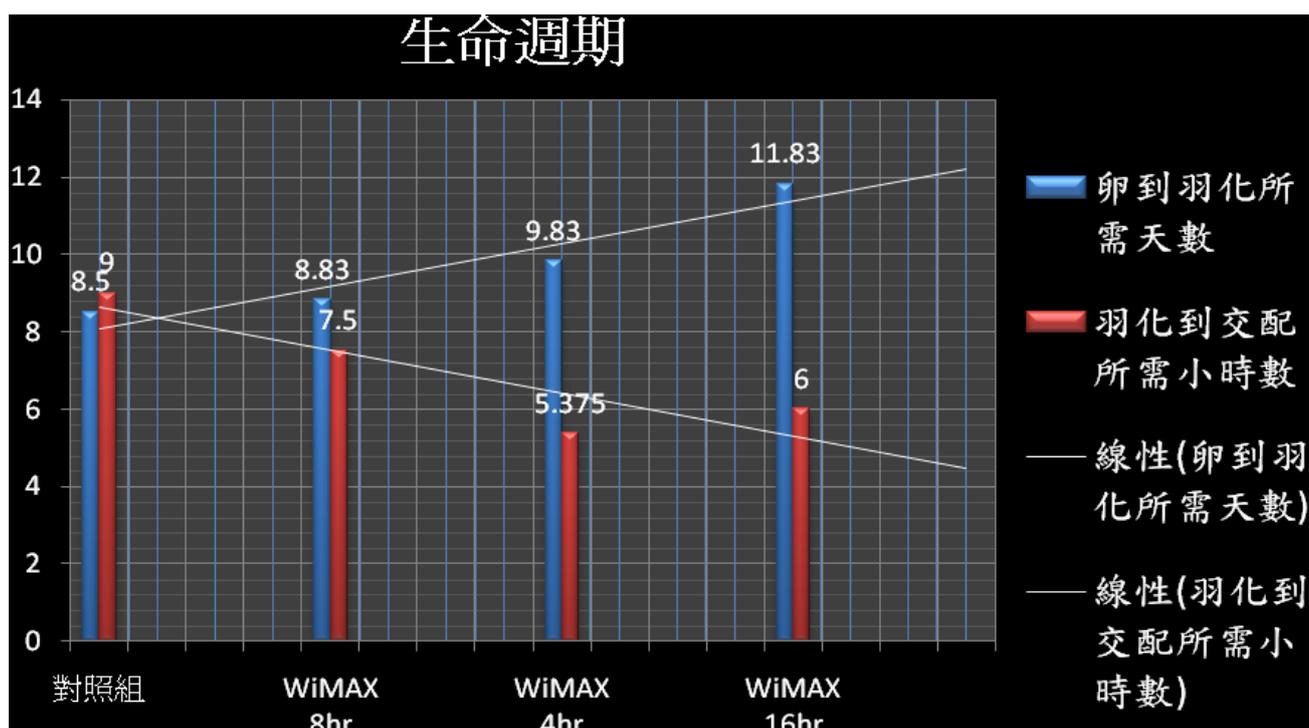
## 實驗七、發育中胚胎受到的氧化壓力，經過蛹期變態後，是否仍會存在影響。

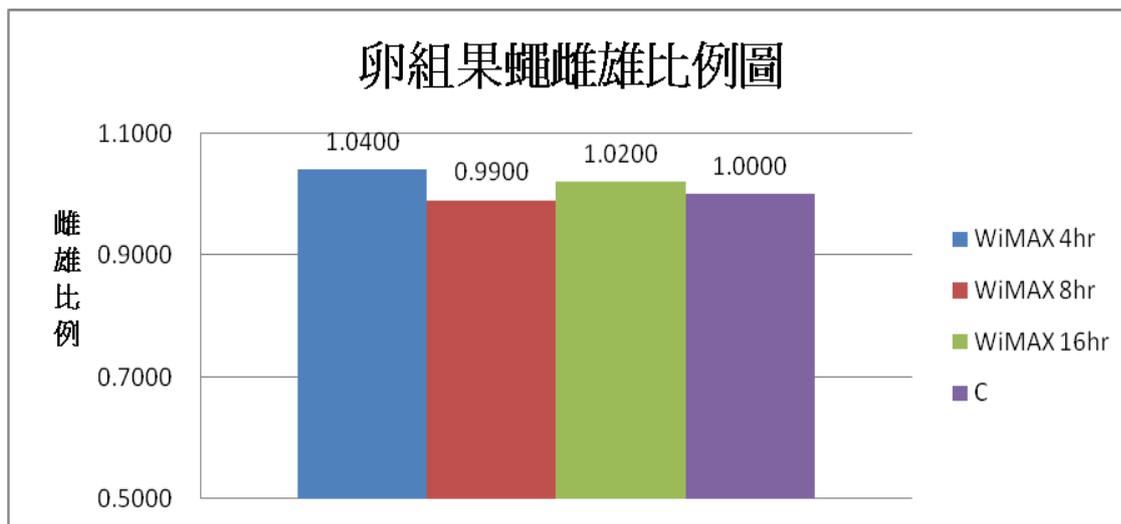
### （一）實驗過程

- 1.將以產卵器收集果蠅的卵，分批操作如同實驗二的暴露時間，取出後紀錄其發育所需時間，並且等其羽化後，操作同實驗二三四的本能行為測試，並且紀錄其雌雄比。

(二) 結果分析

項目 組別	卵 → 蛆 → 蛹 → 成蟲 → 交配				總天數	平均	
	天數	天數	天數	時數		天數	時數
對照組	1.33	2.67	4.33	9.5	8.33	8.5	9
	1.67	4	3.33	8.5	9		
	1.67	2.33	4.33	9	8		
	1.33	4	3.33	9	8.67		
WiMAX 4hr	1.33	3.33	4.67	7.5	9.33	8.83	7.5
	1	3.33	5	7	9.33		
	1.33	2.67	4.67	7.5	8.67		
	1.33	1.67	4.33	8	7.33		
WiMAX 8hr	1.33	3.33	5.33	5.5	10	9.83	5.375
	1.33	2.67	4.67	6	8.67		
	1.67	3.67	5.67	5	11		
	1.67	3	5	4	9.67		
WiMAX 16hr	2	3.67	6.33	6	12	11.83	6
	2.33	2.67	4.67	6	11.67		
	2.33	2.33	5.67	6	11.67		
	2.33	4	6	6	12.33		





討論：

1. WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr 三組，其變態過程中，生長發育所需的時間均較對照組所需時間久，其中又以 WiMAX 16hr 為最久，需費 11.83 天，足以顯示此電磁波的確足以對生物體構成顯著的氧化壓力。
2. 但是實驗組在交配時間所需的時間又較對照組短，表示 WiMAX 可能可以促進性成熟。實驗組中 WiMAX 84hr 的數據最接近對照組。
3. 實驗組雌雄果蠅的比例，均與對照組無顯著差異，表示 WiMAX 並無法改變卵中的性染色體。
4. 卵組不論在神經性本能行為測試（趨上性、趨光性、與嗅覺反應），均無發現與對照組無顯著差異。

## 伍、結論

一、WiMAX 的頻率從 2~6 GHz 不等，我國目前採用的頻率為 3.5GHz。雖較現有手機頻率為高，但在電磁波頻譜中仍然屬於微波的範圍，未達到紫外光的頻率，依現有的醫學知識來說，不對人體產生物理輻射性的傷害。

二、探討 WiMAX 的電磁波對果蠅的本能反應是否造成改變：

(一) 果蠅成蟲經過不同時間長短，電磁波照射後，即實驗組，無論是趨上性、趨光性或是對喜好味道的嗅覺，均有抑制的效果。而上述這些本能行為都是屬於神經系統控制的行為，我們因此推論：WiMAX 3.5GHz 的電磁波可能會抑制神經訊息傳導的速度。

三、探討親代果蠅經照射 WiMAX 電磁波對子代果蠅的影響：

- (一) 實驗組 4 小時與 16 小時兩組，其子代雌性果蠅比例偏高，其中以 4 小時組雌雄比例達 1.5 倍；16 小時組為最高，雌雄比例達 2.1 倍。我們可以得知：WiMAX 3.5GHz 的電磁波確實會影響由內分泌所控制的生理本能。
- (二) 我們推測：氧化壓力造成族群生存壓力，故產生較多雌性以擴大族群數量。

四、探討 WiMAX 的電磁波是否會對果蠅產生氧化壓力。

### 卵組

- (一) 實驗中發現，卵實驗組的 SOD 活性都比對照組低，其中又以 WiMAX 8hr 為最低，足以顯示 WiMAX 3.5GHz 的電磁波確實會降低體內抗氧化酵素—超氧歧化酶；SOD—的活性，對正在發育中的卵產生氧化壓力。
- (二) WiMAX 16 hr 的 SOD 雖然也低於對照組，但是較 WiMAX 4hr、WiMAX 8hr 兩組為高，這可能是一種誘發回饋的時間點。
- (三) WiMAX 4hr、WiMAX 8 hr、WiMAX 16hr 三組，其體內抗氧化酵素 CAT 的活性有增加的趨勢。其中以 WiMAX 8 hr 最高。

### 成蟲組

- (一) 實驗中發現，照射 8 小時的果蠅其本能行為均較 4 小時或 16 小時為佳，可能是其抗氧化酵素（超氧歧化酶；SOD）活性較另兩組為高，而產生對神經細胞的保護

作用。

- (二) 實驗中發現，實驗組的 SOD 活性都比對照組低，表示 WiMAX 3.5GHz 的電磁波確實會降低體內抗氧化酵素—超氧歧化酶；SOD 的活性，且 16 小時組為最低可以看出氧化壓力具有傷害累積的效果，進而造成生物體容易產生老化。
- (三) 抗氧化酵素—過氧化氫酶；CAT 的活性並不隨 SOD 改變，我們推測此時生物體內主要是利用 GPx 來代謝過氧化氫，所以 CAT 的活性才會隨時間而越來越高。

五、發育中胚胎受到的早期氧化壓力，經過蛹期變態後，是否仍會存在影響。

- (一) 本能行為測試，趨上性、趨光性、與嗅覺反應，均無發現與對照組無顯著差異。表示發育中胚胎受到的早期氧化壓力，經過蛹期變態後，早期傷害對成蠅的本能行為並不會造成影響。
- (二) 幼期遭受氧化壓力雖然於變態後看不出影響，但卻對個體的生命週期（從卵到性成熟所需的時間）產生了延遲的現象。實驗組的生命週期均比對照組長；16小時組需時最久，需費11.83天，可以得知氧化壓力具有傷害累積的效果，但兩者不是線性倍增的關係。
- (三) 實驗組在交配時間所需的時間又較對照組短，表示WiMAX可能可以促進性成熟。實驗組羽化後的性成熟速度，比對照組快，應該與繁衍族群有關。

## 六、參考文獻

- 1.Ran Zhao, Studying gene expression profile of rat neuron exposed to 1800MHz radiofrequency electromagnetic fields with cDNA microassay, *Toxicology* 235 (2007), 167-175.
- 2.Van Remmen H, Life-long reduction in MnSOD activity results in increased DNA damage and higher incidence of cancer but does not accelerate aging, *Physiol Genomics* (2003) Dec 16; 16(1): 29-37.
- 3.WYin, WCheng , WShen, L Shu, J Zhao, J Zhang and Z-C Hua. Impairment of Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-ATPase in CD95(APO-1)-induced human T-cell leukemia cell apoptosis mediated by glutathione depletion and generation of hydrogen peroxide. *Leukemia* (2007) **21**, 1669 - 1678 Ilhan et al., 2004 A. Ilhan, A. Gurel, F. Armutcu, S. Kamisli, M. Iraz, O. Akyol and S. Ozen, *Ginkgo biloba* prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain, *Clin. Chim. Acta* 340 (2004), pp. 153 - 162.

**【評語】** 031707

此研究以 WiMAX 3.5 Hz 電磁波照射果蠅，再觀察電磁波對果蠅行爲的影響，發現此電磁波不會影響果蠅的行爲。此研究另探討電磁波對抗氧化酵素 SOD 及 Catalase 的影響，但此結果對行爲改變之說明幫助不大，對生命週期的影響，亦需進一步驗證。此研究相當有趣，也有實用價值，應再繼續…努力。