

---

# 認識身旁的小傢伙(23)－觸酶在維持 昆蟲之氧化還原恆定的生理角色

黃瑜緹<sup>1</sup> 施雯文<sup>2</sup> 蔡任圃<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>上海外國語大學 國際經濟與貿易專業

<sup>2</sup>國防醫學院醫學系

<sup>3</sup>臺北市立第一女子高級中學

## 壹、前言

氧化還原電位 (Oxidation-Reduction Potential, ORP) 是評估物質之氧化還原狀態的指標，例如：可用氧化還原電位作為評估飼養池底土狀態(周與葉，2010；周與葉，2013)，底土依氧化還原電位可分為氧化態(400 至 700mV)、低還原態(100 至 400mV)、還原態(100 至 -100mV) 以及高還原態(-100 至 -300mV)。氧化還原電位越低，代表本身愈為還原態，愈容易使其他物質氧化(失去電子)；氧化還原電位越高，代表本身愈為氧化態，愈容易使其他物質還原(獲得電子)。我們猜想，除了測量環境物質外，生物的組織或器官之間是否也具有氧化態-還原態的差異？例如：進行氣體交換的呼吸器官，是否會因常接觸溶氧(高還原態，可作為氧化劑)而為了避免氧化還原反應發生，故維持在高還原態(氧化還原電位較低)的狀態。負責處理過氧化物的肝臟，常製造作為還原劑的觸酶(洪，2008)，因而含有高濃度還原劑物質(高氧化態)，是否

需要常常維持在高氧化態(氧化還原電位較高)的狀態？

觸酶廣泛存在於各類生物細胞，負責處理細胞代謝過程所產生的過氧化物，並將過氧化物轉換為毒害較低或無害的物質(趙，1997；肖與陳，2007)。這些細胞代謝出的過氧化物可產生自由基，過多或過少都會造成細胞傷害，而適量的自由基卻能幫助我們清除細菌或受感染細胞(長庚生物科技股份有限公司網站。檢索日期：2017.05.23)。氧化壓力是氧化自由基的生成和還原劑防禦二者失衡的結果(郭與李，2007；王等人，2007)，許多疾病都是因氧化壓力而起(Kodrik, et al., 2015；郭與李，2007；邱，2009；王等人，2007)。不只是疾病，甚至連老化，都與氧化壓力大有關聯。生物課程中，我們也曾探討豬肝與馬鈴薯的觸酶在不同環境下的活性(高三上第一章 生物體的基本構造與功能)。

生物體會用還原劑來降低氧化壓力，以植物為例，可產生如維生素 C、茶多酚、花青素、葉黃素等來減少自由基的傷害，這些還原劑也已應用在許多保健食品與保

---

\*為本文通訊作者

養品上。人體觸酶活性最高之器官為肝臟 (Deisseroth and Dounce, 1970)，因為肝臟是進行新陳代謝最主要的器官，常代謝出較多的過氧化物，需要較高的觸酶活性來降低這些過氧化物所產生的氧化壓力。

我們假設：負責處理过氧化物的肝臟，常製造出還原劑物質(洪，2008)而含有高濃度還原劑物質(高氧化態)，它是否需要常常維持在高氧化態(氧化還原電位較高)的狀態，以避免被還原劑物質還原？另一方面，進行氣體交換的呼吸器官，是否會因常接觸溶氧(高還原態，可作為氧化劑)而為了避免氧化還原反應發生，故將自身維持在高還原態(氧化還原電位較低)的狀態？我們的假說是：生物體的器官會避免與環境物質發生氧化還原反應而造成氧化傷害，故其氧化還原電位會與所接觸的環境物質相近。

本研究擬先瞭解呼吸器官與代謝器官的氧化還原電位是否具有差異，並透過氧化劑與還原劑的使用，改變實驗動物體內的氧化還原狀態，探討體內環境的氧化壓力對生物體呼吸器官與肝臟之觸酶活性的效應。本研究以文蛤與蟑螂作為實驗動物，因其體腔較大，較易取得組織進行實驗。蟑螂脂肪體的生理角色近似人體的肝臟(蔡，2006)。若於文蛤的體外環境或與蟑螂體腔內形成不同程度的氧化或還原壓力，透過觀察文蛤肝胰腺、蟑螂脂肪體與其他組織的觸酶活性之變化，藉此推知氧化劑和還原劑對觸酶活性的效應。也可透過測

量其觸酶活性的生理誘發濃度或生理抑制濃度，探討文蛤與蟑螂面對氧化壓力變化時，肝胰腺與脂肪體之觸酶所扮演的生理角色。

我們也以酒精作為探討的因子之一。組織細胞因代謝過程產生過氧化物 (Freeman and Crapo, 1982; 李等人，2008)，當過氧化物太高或太低時，會造成氧化壓力，而氧化壓力則促使觸酶增加活性來因應這個氧化狀態。前述實驗設計針對的因子為「氧化壓力」或「氧化還原狀態」，則酒精則可透過影響「代謝」，也就是比氧化壓力更為源頭因子(代謝過程可產生氧化壓力)，探討酒精代謝對觸酶活性的效應。

基於上述的研究動機，本研究的目的如下：

- (一) 比較文蛤與蟑螂之呼吸器官與肝臟(脂肪體)的氧化還原電位。
- (二)、發展適合於中學推廣之動物組織觸酶活性的量化方法。
- (三) 以文蛤作為實驗動物，透過浸泡氧化劑或還原劑改變實驗動物體外的氧化還原狀態，探討當鰓的氧化還原狀態改變時，對呼吸器官與肝臟觸酶活性的效應。
- (四) 以蟑螂作為實驗動物，透過注射氧化劑或還原劑改變實驗動物體內的氧化還原狀態，探討當脂肪體的氧化還原狀態改變時，對呼吸器官與脂肪體觸酶活性的效應。

## 貳、研究方法

### 一、研究器材與設備(表一)

表一、實驗裝置與器材

編號	名稱	廠牌與規格	備註
1	60mL 針筒	綠十字	
2	1mL 微量吸量管	TF Laboratory	
3	橡皮軟管		
4	磁鐵		
5	雙氧水	Choneye Pure Chemicals	濃度為 35%
6	100%維生素 C 粉	城乙化工原料公司	L-Ascorbic Acid
7	棉花棒		
8	蓋玻片盒		空的
9	皮下注射針	TERUMO	1ml
10	蟑螂生理食鹽水		0.8%(精鹽調製)
11	碼錶		
12	解剖器材	ViBRA	解剖刀(小剪)、鋸子
13	電子秤		可測量至 0.001 公克
14	鐵針		
15	藍色水溶性墨水		
16	蟑螂屋貼紙與膠帶	上黏蟑螂屋	
17	二氧化碳鋼瓶		
18	文蛤養殖水		15ppt(精鹽調製)
19	分光光度計	SP830 Simpo-Metertech	
20	研鉢		
21	離心機		

## 二、實驗動物

### 1. 文蛤(*Meretrix lusoria*)

於實驗操作的前一天購買同一品種之文蛤，皆為來自雲林台西的養殖文蛤，選用大小相似的活個體。浸泡於實驗溶劑內，冷藏在約攝氏 4~8 度的冰箱中保存，隔日進行實驗。

### 2. 美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)

飼養方式與實驗動物篩選參考自高與蔡(2014)。在實驗操作前一天，以二氧化碳使其暫時麻痺，以利注入藥劑。將 0.02 毫升之溶液透過蟑螂第五和第六片背板骨片之縫隙薄膜注入體腔中，並放置在空氣流通且空間足夠的飼養箱內放置一天，使其可以自由活動。實驗當日再將其黏貼固定於蟑螂屋貼紙上，進行實驗。

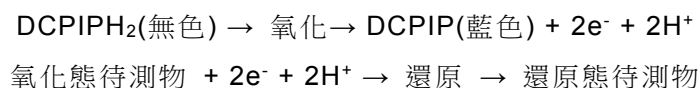
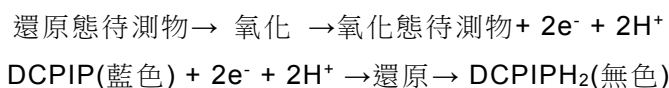
## 三、比較生物組織的氧化還原電位之方法

二氯酚靛酚 (2,6-dichlorophenol Indophenol, DCPIP) 為一種氧化還原指示劑，當其與待測物共存時，其顏色變化的反應如下(圖一)，可由 DCPIP 的顏色變化，

推知待測物質的氧化還原趨勢。換句話說，當 DCPIP 顏色變淡時，代表待測物具容易失去電子(高氧化態，而可作為還原劑)的性質；若 DCPIP 顏色變深時，代表待測物具容易接受電子(高還原態，而可作為氧化劑)的性質。

我們先測量不同光波長下，未發生反應之 0.00125%DCPIP 溶液的透光率，發現 DCPIP 最大吸收高峰約為 600 nm(圖二)，故測量 DCPIP 溶液的透光率時，則選取光波長 600 nm 作為光源，測量其透光率。

本實驗先將擬測量的組織秤重之後，用研鉢磨碎再倒入 150 毫升、0.00125%的 DCPIP 中，以玻棒攪拌後靜置，並於 5 分鐘與 60 分鐘分別吸取 1 毫升之實驗溶液，進行離心使溶液中的懸浮固體不影響透光率的測量(3000 轉/分鐘，進行 5 分鐘)，再取出各實驗溶液，利用分光光度計測量其於光波長為 600 nm 光源下的透光率，以推測各組織的氧化還原情形。我們發現此實驗在組織與 DCPIP 反應 5 分鐘或 60 分鐘後，兩時間所測得之透光率一致。以下本實驗的結果是以兩段時間的數據經平均、統計而成。



圖一、DCPIP 作為氧化還原指示劑之相關反應示意圖

本實驗所測量的組織來自文蛤與蟑螂兩種實驗動物。文蛤的組織包含鰓、斧足、肝(收集自 20 隻個體)，各組織重量皆於 2.14 至 2.19 克之間。蟑螂的組織包含胸部大氣管、步足肌肉與脂肪體(收集自 8 隻個體)，各組織重量皆為 0.14 克。

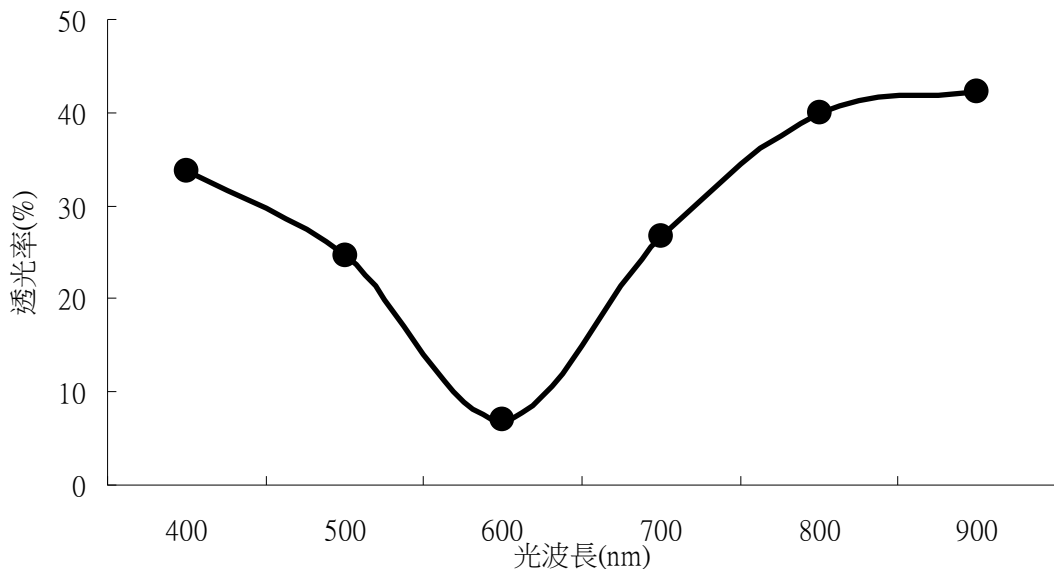
#### 四、不同濃度之氧化劑與還原劑的配製

本研究以過氧化氫溶液與維生素 C 溶液分別作為氧化劑與還原劑。

在探討體外給予氧化壓力(以文蛤作為實驗動物)的實驗中，文蛤養殖最適宜的海水濃度是 10~45 psu (practical salinity unit, 即千分之一)(農委會水產試驗所全球期:2017.02.14)。我們將對照組以 15 psu 食鹽水做為浸泡液；氧化劑處理組則是以對

照組浸泡液配製不同濃度的過氧化氫浸泡液，分別有：0.5%、0.05%、0.005%過氧化氫溶液；還原劑處理組則以同樣方法配製不同濃度的維生素 C 溶液，分別有：2.58%、0.258%、0.0258%維生素 C 溶液。此實驗將文蛤浸泡於不同的浸泡液中，以控制體外環境的氧化還原狀態。

在探討體內環境氧化壓力的效應(以蟑螂作為實驗動物)實驗中，對照組為注射蟑螂 0.8 %生理食鹽水(Cohen, et al., 2002)0.02 毫升；氧化劑處理組則是以生理食鹽水配製不同濃度的過氧化氫溶液，分別有：0.5%、0.05%、0.005%過氧化氫溶液；還原劑處理組則以生理食鹽水配製不同濃度的維生素 C 溶液，分別有：2.58%、0.258%、0.0258%維生素 C 溶液。其中 0.5%



圖二、不同光波長下，DCPIP 溶液的透光率

過氧化氫溶液的體積莫耳濃度約等於 2.58% 維生素 C 溶液(0.0284 M)，其他濃度以此類推。

## 五、攝入酒精之方法

### 1. 文蛤攝入酒精之方法

在實驗前一天將文蛤浸泡在 3 % 的酒精溶液中，探討攝入酒精對其各組織生理作用的影響。另外，我們以浸泡在生理食鹽水作為對照組。

### 2. 蟑螂攝入酒精之方法

本研究將蟑螂置入密閉容器中，內置沾附 95 % 的酒精，酒精揮發後可藉由蟑螂呼吸運動攝入酒精。以攝入酒精的時間長短作為劑量控制的方法，並依此將其分別稱為「攝入酒精十分鐘組」、「攝入酒精 20 分鐘組」及「攝入酒精 30 分鐘組」。另以未經處理蟲體作為對照組。

## 六、建立量化觸酶活性之方法

### 1. 量化文蛤鰓和肝臟觸酶活性之方法

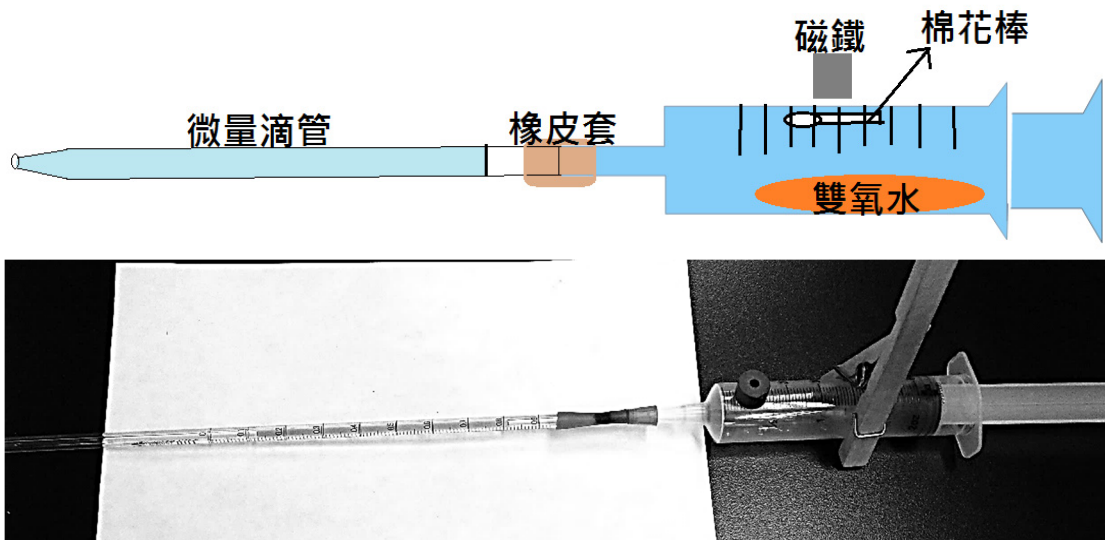
先將文蛤浸泡在不同濃度的實驗藥劑(對照組、氧化劑或還原劑)，以造成文蛤的體外環境具不同的氧化壓力。放置一天後，進行文蛤解剖：將剪刀伸入文蛤的兩側，剪開閉殼肌使兩殼易張開，用鑷子分別取出適量右半側的兩片鰓與肝臟，沾抹在裝有鐵針的棉花棒上，以電子秤測量此組織

之淨重。用滴管吸取 1 毫升的 35 % 過氧化氫溶液至針筒內，將棉花棒緩慢沿著針筒上壁放入，並以磁鐵在針筒外吸引此棉花棒，避免棉花棒接觸到雙氧水。將活塞放回，在針筒前端接上微量吸量管，內含稀釋墨水(圖三)。在確保針筒為密閉空間後，將磁鐵拿開，棉花棒會瞬間落下而接觸過氧化氫溶液產生反應。此時開始計時，每 5 秒觀察一次微量吸量管中墨水移動之刻度變化。以此記錄所產生的氣體體積變化(單位為毫升)，再計算成每公克組織的氣體產生速率(單位為毫升/克.秒)，作為觸酶活性的指標。

### 2. 量化蟑螂脂肪體觸酶活性之方法

美洲蟑螂的腹部背板骨片共有 8 片。本研究利用皮下注射針，於腹部背側第 5 片與第 6 片骨板之間的薄膜，注射不同濃度的實驗藥劑(對照組、氧化劑或還原劑)。每組皆注射 0.02 毫升實驗藥劑進入體腔內，以控制蟑螂體內環境的氧化壓力狀態。

已施打實驗藥劑之實驗動物，放在可自由活動的飼養箱內，待注入藥劑在美洲蟑螂體內循環並充分反應。放置一天後，利用二氧化碳麻醉，再將蟑螂腹面朝下貼到蟑螂屋貼紙上固定。從背部第 5、6 片骨板間剪開右側之骨板，以鑷子取出適量脂肪體，沾抹在裝有鐵針的棉花棒上。其餘測量觸酶活性的步驟如同文蛤組的操作。



圖三、組織樣本之觸酶活性測量的實驗裝置示意圖(上)與照片(下)。

### 3. 比較美洲蟑螂和文蛤的觸酶活性反應

利用過氧化氫溶液作為氧化劑造成氧化壓力，不同濃度的過氧化氫溶液代表不同程度的氧化壓力，而維生素 C 溶液則作為還原劑。我們將過氧化氫溶液的體積莫耳濃度和維生素 C 溶液的體積莫耳濃度調配成相同的(例如：0.5 % 雙氧水的莫耳濃度=2.58 % 維生素 C 溶液的莫耳濃度)，方便比較其效應。

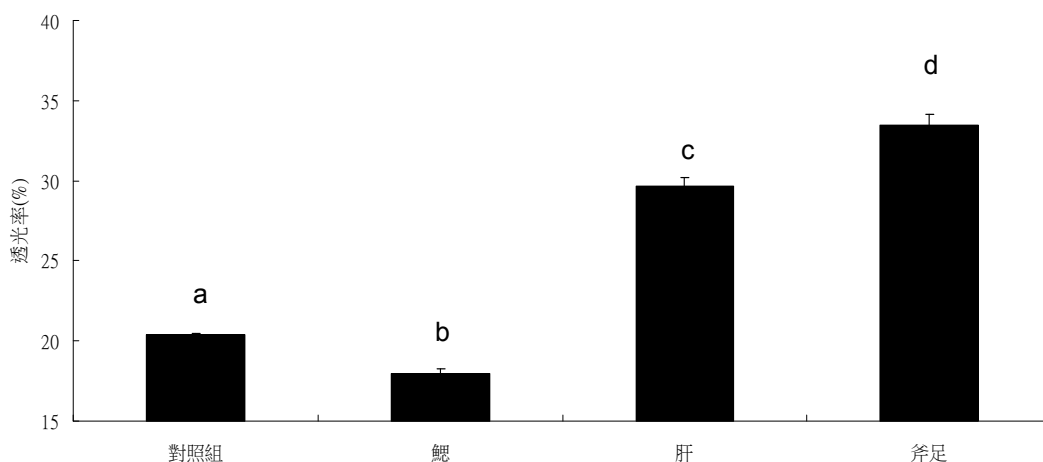
## 參、研究結果

### 一、各器官氧化還原電位比較

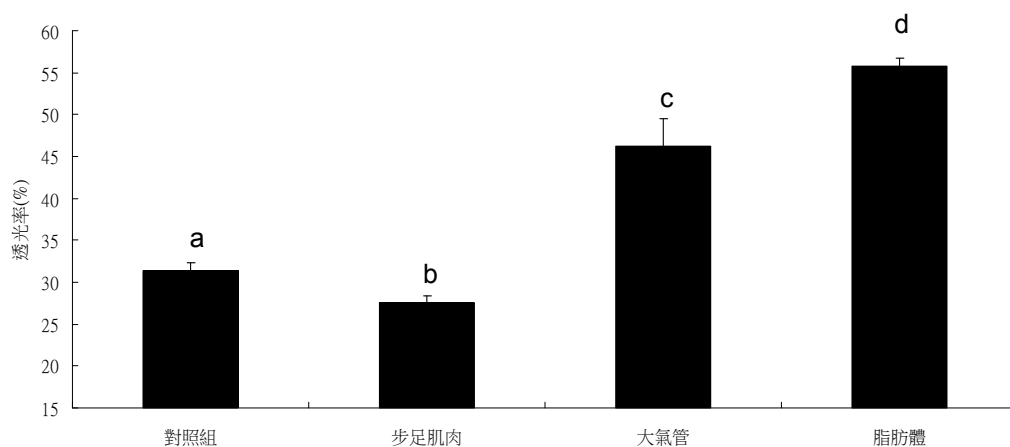
文蛤的各組織中，浸泡過鰓組織的 DCPIP 溶液，其透光率較對照組低，代表鰓組織具高還原態(氧化還原電位較低)。

也就是說，鰓組織較容易獲得電子，使 DCPIP 被氧化(圖四)；而肝與斧足肌肉組織透光率較對照組高，代表肝與斧足肌肉組織具高氧化態(氧化還原電位較高)。也就是說，肝與斧足肌肉組織較容易獲得電子，使 DCPIP 被還原(圖四)。

蟑螂的各組織中，浸泡過步足肌肉組織的 DCPIP 溶液，其透光率較對照組低，代表步足肌肉組織具高還原態(氧化還原電位較低)。也就是說，步足肌肉組織較容易獲得電子，使 DCPIP 被氧化(圖五)；而大氣管與脂肪體組織透光率較對照組高，代表大氣管與脂肪體組織具高氧化態(氧化還原電位較高)。也就是說，大氣管與脂肪體組織較容易獲得電子，使 DCPIP 被還原。



圖四、文蛤各組織浸泡於 DCPIP 溶液，對 DCPIP 溶液透光率的效應(n = 8)。  
a、b、c、d：代表之間具統計顯著差異(單尾 t 檢定， $\alpha = 0.05$ )。



圖五、蟑螂各組織浸泡於 DCPIP 溶液，對 DCPIP 溶液透光率的效應(n = 6)。  
a、b、c、d：代表之間具統計顯著差異(單尾 t 檢定， $\alpha = 0.05$ )。

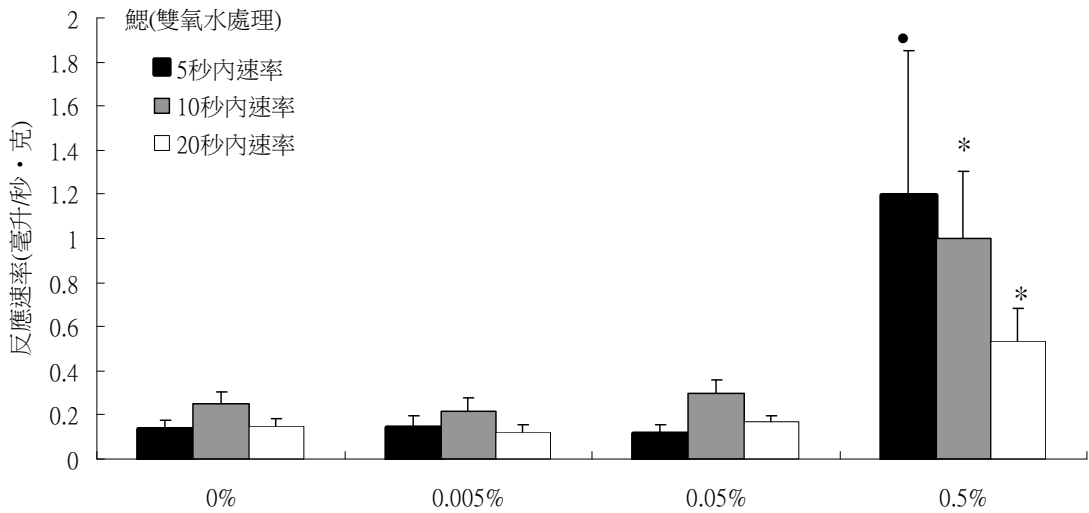
## 二、探討體外暴露氧化壓力對文蛤觸酶活性的效應

文蛤浸泡在氧化劑一日後，在濃度為 0.5% 時，鰓組織的觸酶活性明顯較對照組增加(圖六)，但較低濃度的氧化劑浸泡處理則沒有明顯影響；肝臟組織的觸酶活性在高濃度氧化劑浸泡液(0.5%)時增加。但

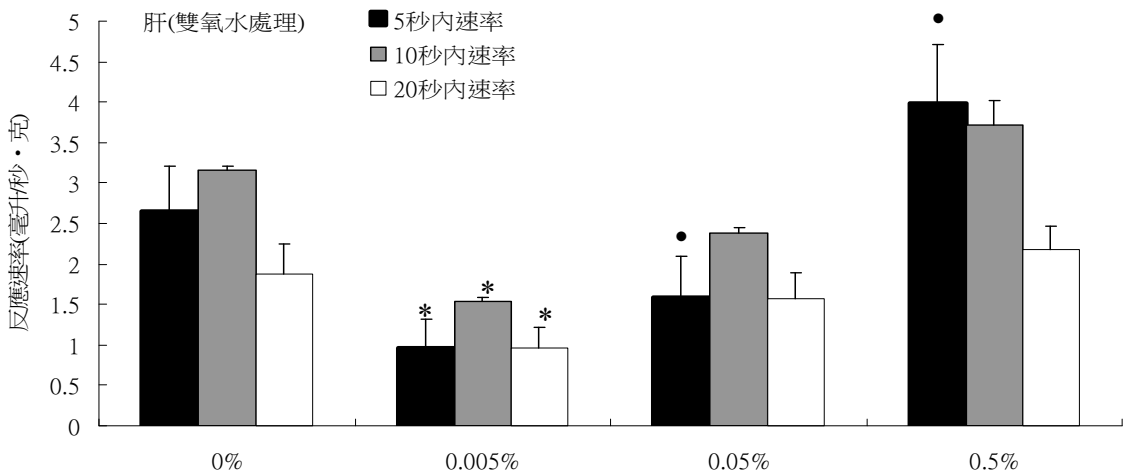
若以低濃度氧化劑浸泡(0.005%)處理時，則被抑制(圖七)。

文蛤浸泡在還原劑一日後，於濃度為 0.026 % 和 0.26 % 時，鰓組織的觸酶活性皆增加(圖八)，其中以 0.026 % 組較為明顯；肝臟組織的觸酶活性則在濃度 0.26 % 還原劑浸泡處理後下降(圖九)。





圖六、文蛤接觸不同濃度氧化劑 1 日後，鰓組織的觸酶反應速率比較(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。與對照組(0%)相比(單尾 t 檢定)：·： $p < 0.06$ ；\*： $p < 0.05$ 。



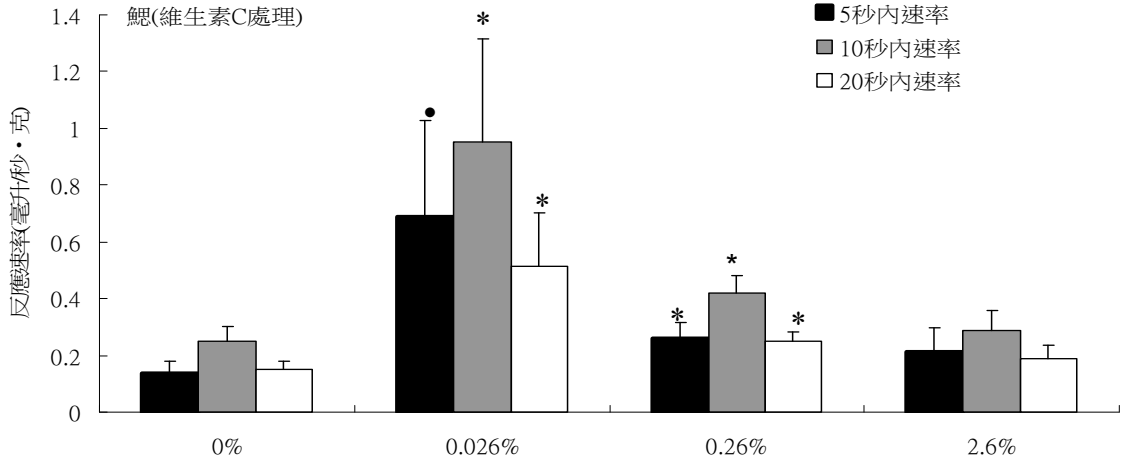
圖七、文蛤接觸不同濃度氧化劑 1 日後，肝臟組織的觸酶反應速率比較(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。與對照組(0%)相比(單尾 t 檢定)：·： $p < 0.06$ ；\*： $p < 0.05$ 。

我們發現增加體外環境的氧化壓力，可增加文蛤鰓的觸酶活性，但若體外出現微弱的氧化壓力，則肝臟的觸酶活性反而下降。若降低體外環境的氧化壓力則可使鰓與肝臟的觸酶活性下降，但若體外氧化壓力只是輕微下降時，鰓的觸酶活性反而

增加。

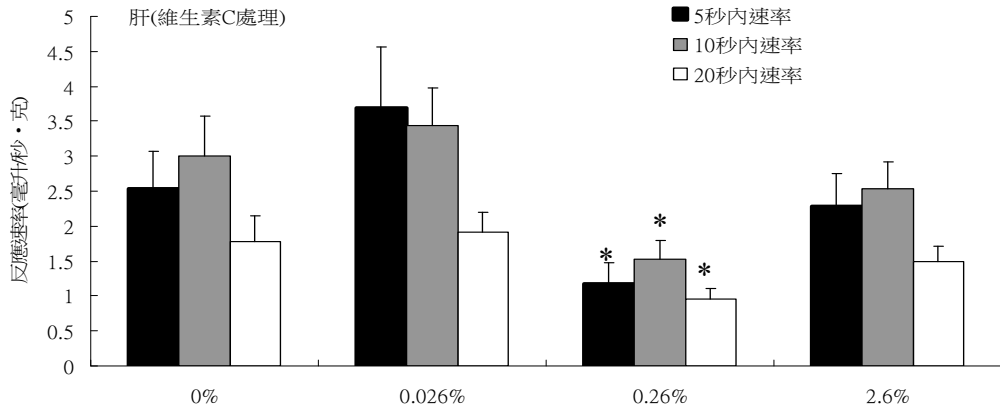
文蛤暴露於 3%酒精中一日後，鰓和肝組織的觸酶活性明顯增加，和對照組達統計上差異(圖十、圖十一)。

體外暴露氧化壓力對文蛤觸酶活性的影響之實驗結果，統整成表二。



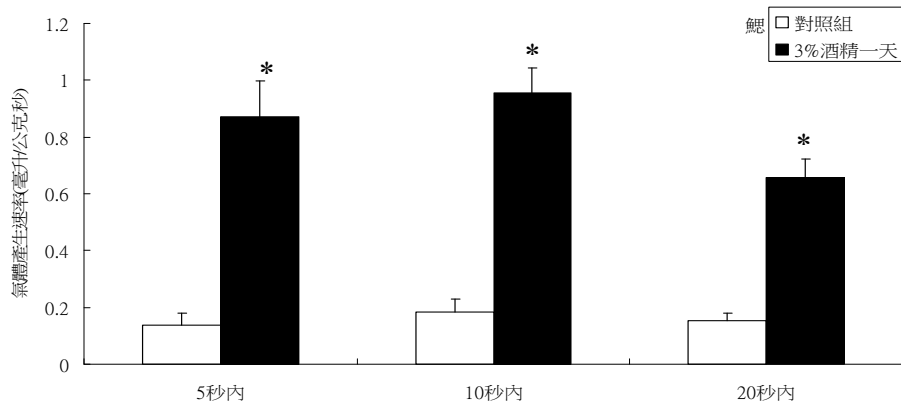
圖八、文蛤接觸不同濃度還原劑 1 日後，鰓組織的觸酶反應速率比較(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。

與對照組(0%)相比(單尾 t 檢定)：·：p < 0.06；\*：p < 0.05。



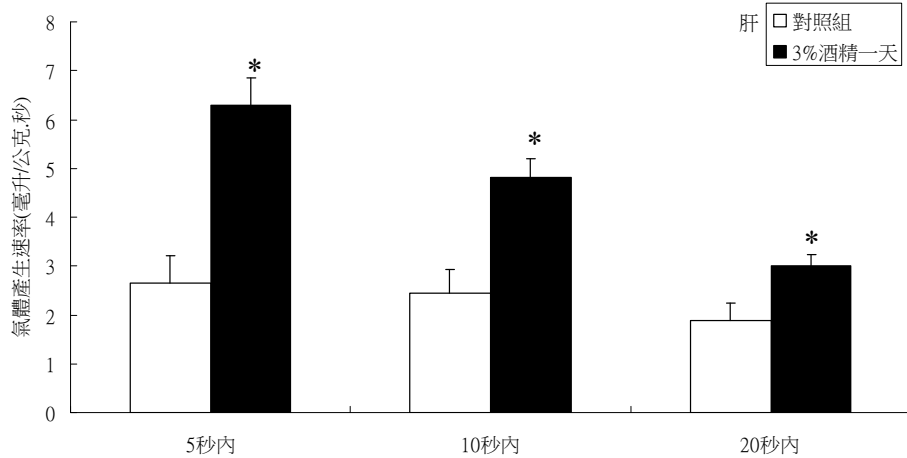
圖九、文蛤接觸不同濃度還原劑 1 日後，各濃度肝臟組織的觸酶反應速率比較

(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。與對照組(0%)相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。



圖十、文蛤暴露於 3%酒精 1 日後，鰓組織觸酶反應速率比較(平均±標準誤)

(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。與對照組相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。



圖十一、文蛤暴露於 3%酒精 1 日後，肝組織觸酶反應速率比較(平均±標準誤)  
(平均±標準誤，各組取樣數皆為 20)。與對照組相比(單尾 t 檢定)：\*： $p < 0.05$ 。

表二、體外浸泡氧化劑、還原劑與酒精，對文蛤鰓與肝臟觸酶活性的效應。

器官 \ 溶液	浸泡氧化劑			浸泡還原劑			浸泡酒精
	0.005%	0.05%	0.5%	0.0258%	0.258%	2.58%	
鰓(文蛤)	—	—	促進	促進	促進	—	促進
肝臟(文蛤)	抑制	抑制	促進	—	抑制	—	促進

### 三、探討蟑螂體內氧化壓力對觸酶活性的效應

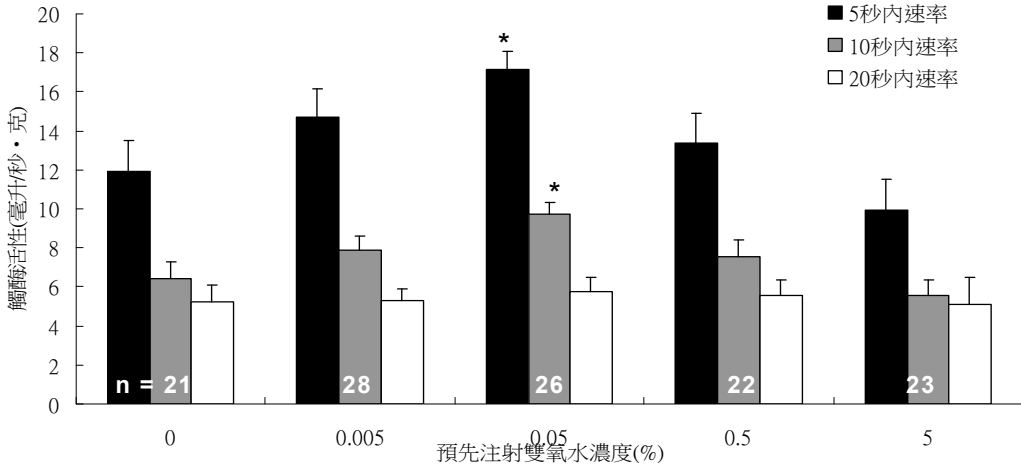
美洲蟑螂體內暴露氧化劑一日後，在濃度 0.05 %時，脂肪體和步足肌肉的觸酶活性皆被觸發而反應速率增快(圖十二)；預先接觸還原劑一日後，在各個濃度都能見到脂肪體的觸酶活性被抑制而反應速率減慢，其中以濃度 0.026 %最為明顯(圖十三)。

增加體內氧化壓力可增加美洲蟑螂的

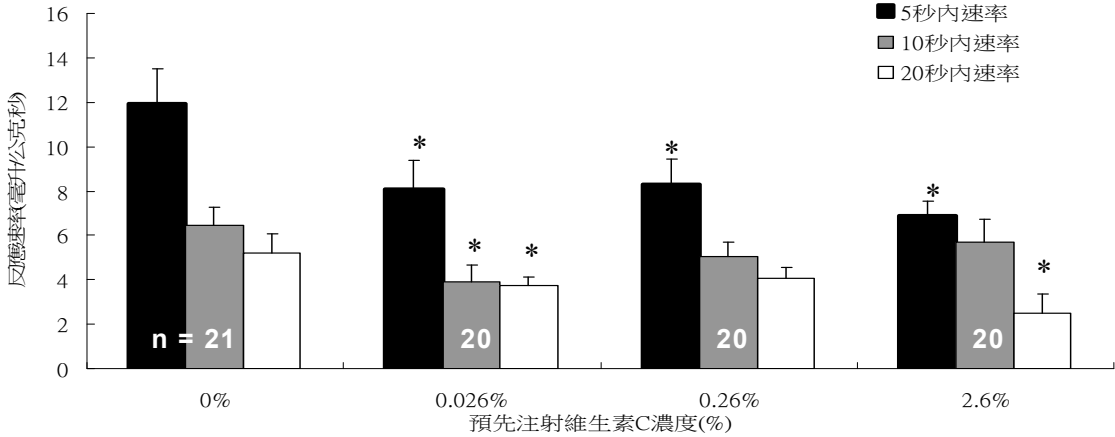
脂肪體與步足肌肉觸酶活性(圖十四)，而減少體內氧化壓力可降低美洲蟑螂的脂肪體觸酶活性。

美洲蟑螂在酒精中暴露 20 分鐘並放置 5 分鐘後，觸酶活性明顯受到觸發，而在酒精中暴露 20 分鐘並放置一日後，觸酶活性被觸發的效果更為顯著(圖十五)。

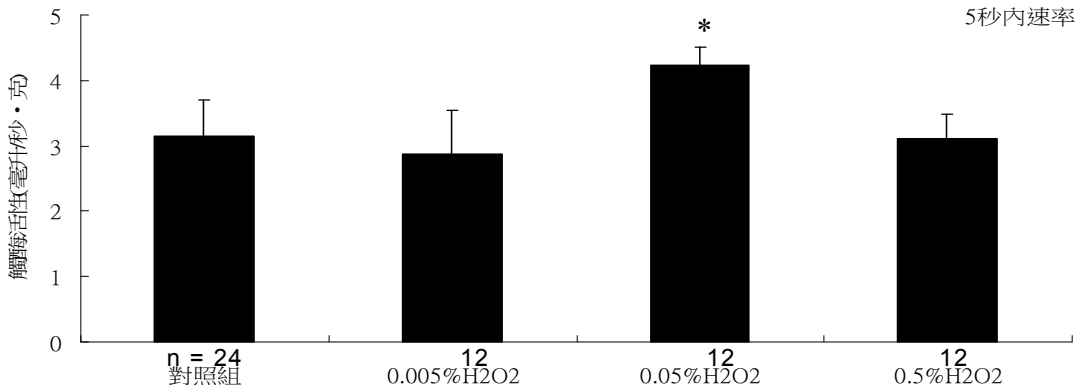
美洲蟑螂脂肪體的觸酶活性在氧化壓力下之變化，統整為下表(表三)。



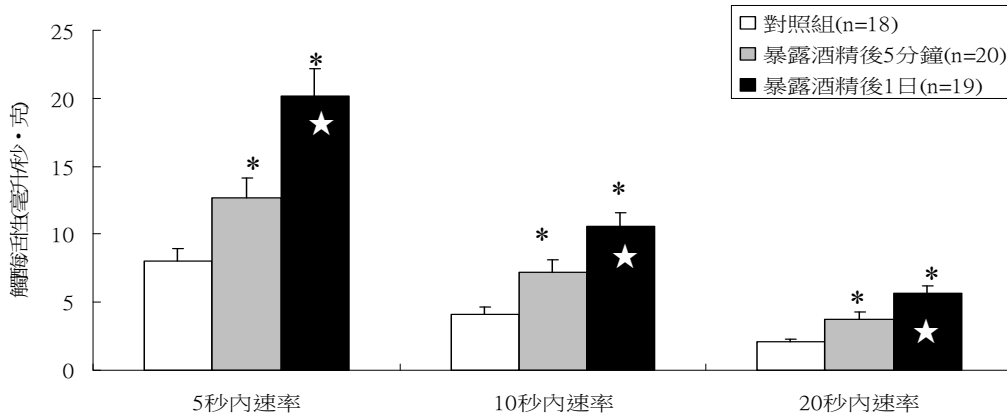
圖十二、蟑螂注射不同濃度氧化劑(0.02 毫升)1 日後，各組脂肪體的觸酶反應速率比較 (平均±標準誤，n = 取樣數)。與對照組(0%組)相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。



圖十三、蟑螂注射不同濃度還原劑(0.02 毫升)1 日後，各濃度脂肪體的觸酶反應速率比較 (平均±標準誤，n = 取樣數)。與對照組(0%組)相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。



圖十四、蟑螂注射不同濃度氧化劑(0.02 毫升)1 日後，對步足肌肉觸酶活性的效應。(平均±標準誤，n = 取樣數)。與對照組相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。



圖十五、蟑螂醃 95%酒精 20 分鐘後靜置 5 分鐘後，對蟑螂脂肪體觸酶活性的效應 (平均±標準誤，n = 取樣數)。與對照組相比(單尾 t 檢定)：\*：p < 0.05。與「暴露酒精後 5 分鐘」組相比(單尾 t 檢定)：★：p < 0.05。

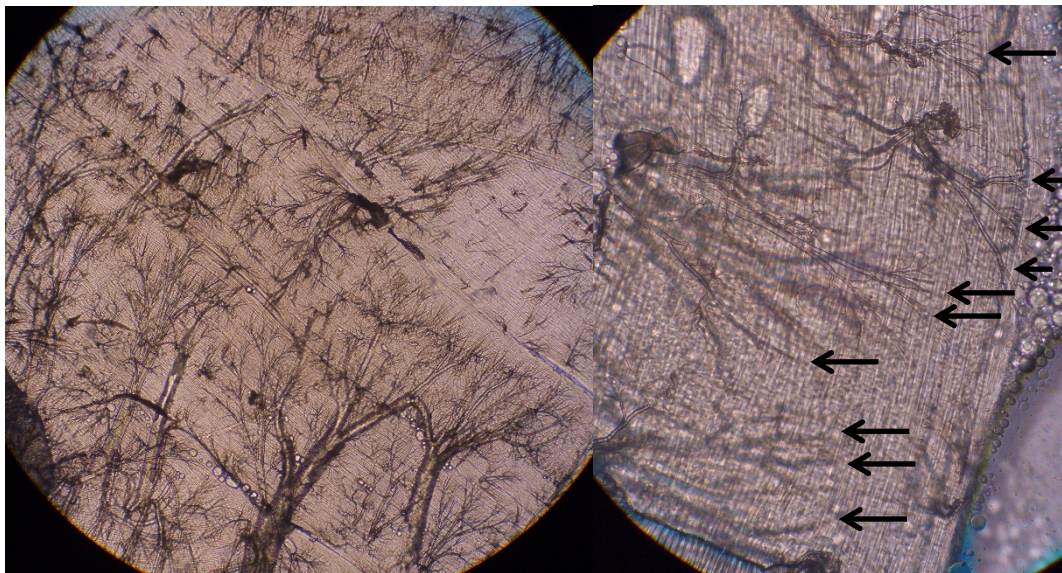
表三、體內注射氧化劑與還原劑，對蟑螂脂肪體觸酶活性的效應。

器官 \ 溶液	注射氧化劑			注射還原劑			攝入酒精
	0.005%	0.05%	0.5%	0.0258%	0.258%	2.58%	
脂肪體觸酶活性	—	促進	—	抑制	抑制	抑制	促進

### 肆、討論

本研究建立了一個比較生物組織間氧化還原電位的方法，並發現文蛤進行氣體交換的鰓，其氧化還原電位較低(高還原態)，肝與斧足肌肉組織的氧化還原電位則較高(高氧化態)。蟑螂步足肌肉組織的氧化還原電位較低(高還原態)，而大氣管與脂肪體組織的氧化還原電位較高(高氧化態)。我們認為蟑螂真正進行氣體交換的組織為氣管系統最末端的微氣管(tracheole)。我們知道，步足肌肉組織內富含氣管與微

氣管(圖十六)，因此蟑螂各組織中，步足組織的氧化還原電位最低。綜合上述結果，我們推論：負責氣體交換的呼吸器官，例如：文蛤的鰓與蟑螂的微氣管，因常接觸溶氧(高還原態)而為了避免氧化還原反應發生，故這些呼吸器官維持高還原態(氧化還原電位較低)狀態；負責處理過氧化物的肝臟，例如：文蛤的肝臟與蟑螂的脂肪體，常製造還原劑物質而含有高濃度還原劑物質，故維持高氧化態(氧化還原電位較高)。可見，昆蟲脂肪體的生理功能，就如同人體的肝臟與文蛤的肝臟(又稱為肝胰腺)。



圖十六、蟑螂步足肌肉組織內的氣管與微氣管照片，左圖為 100 倍倍率，右圖為 400 倍倍率。箭頭所指的構造即為微氣管。

本研究建立了量化生物組織中觸酶活性的方法，可用於探討各項因子對觸酶活性的影響。也證實了藉由氧化劑和還原劑改變美洲蟑螂體內的氧化壓力，可調節其脂肪體的觸酶活性。其中因氧化劑所產生的氧化壓力，可增加脂肪體的觸媒活性；還原劑降低氧化壓力，可減少脂肪體觸媒活性。高濃度的氧化劑處理，蟑螂的觸酶活性反而與對照組一致，可能是因為高濃度雙氧水已造成了脂肪體細胞的傷害，使得觸酶活性下降。

另一方面，文蛤的實驗結果較為複雜，並非像蟑螂脂肪體的實驗結果單純(接觸氧化劑可促進觸酶活性，而接觸還原劑則為抑制)，尤其是鰓組織。文蛤的相關實驗結果與我們的推論如下(表四)：由於文蛤的實驗是經由改變體外環境的氧化還原狀態，又由前項比較氧化還原電位的實驗中

得知，鰓的氧化還原電位較低。若氧化還原電位比原本的狀態更低或過高，則必須要回復到正常的氧化還原電位的恆定範圍，因此在低濃度的還原劑(0.026%)浸泡之下，可促使鰓組織產生過氧化物以維持恆定(表四中狀態編號 C)。但為保護部分胞器或局部組織免於氧化傷害，而提升觸酶活性。反之，因為鰓的氧化還原電位本來就比較低，所以低濃度的氧化劑所產生的氧化壓力不足以對鰓構成威脅，故鰓的觸酶活性不變(表四中狀態編號 B)，所以在低濃度氧化劑處理後，對鰓的觸酶活性不具效應。但在高濃度過氧化氫溶液(0.5%)卻明顯增加了鰓的觸酶活性(表四中狀態編號 A)，可能是因為氧化狀態已達造成氧化壓力的狀態。也就是說，可能引發細胞傷害的程度，故需增加觸酶活性以避免氧化傷害。

在文蛤肝臟的實驗結果中，以低濃度氧化劑處理時，肝臟觸酶活性下降。我們推測原因是：在文蛤體表接觸到氧化劑時，為了協助體表組織(如表皮、消化道等)應付氧化壓力，肝的觸酶轉移到體表組織(例如鰓)(表四中狀態編號 B)，故此時肝臟的觸酶活性下降；而在接觸高濃度氧化劑時，由於氧化壓力過高，觸酶除了由肝臟轉移到其他器官，肝臟本身也需產生或誘發更多的觸酶(表四中狀態編號 A)，以降低高氧化壓力，故此時肝臟的觸酶活性恢復成與對照組一致。由表四中也可比較發現，呼吸器官的氧化還原電位之生理恆定範圍確實較肝臟低。換句話說，呼吸器官的氧

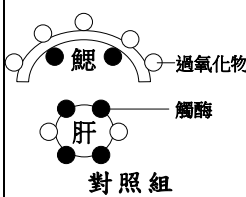
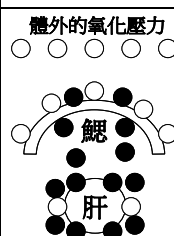
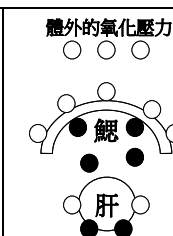
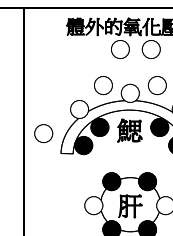
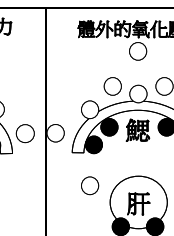
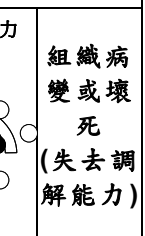
化還原電位較肝臟低，故其氧化還原電位之生理恆定範圍也較低，因而抑制與誘發觸酶活性的閾值亦較低。

近年來，生態環境污染成為全球十分關心的議題，本實驗對文蛤應付氧化壓力之酵素活性的量化方法，可以應用在環境汙染監測體系中。例如：已有學者利用偵測文蛤肝胰腺的觸酶，作為環境水質中氧化壓力或特定污染物的生物指標(王等人，2007)。

攝入酒精處理的實驗結果符合預期：暴露在酒精中，酒精會造成生物體的氧化性傷害(曾，2009)，而組織細胞為了代謝酒精，增加了觸酶活性。

表四、不同程度之體外氧化還原暴露對文蛤的鰓與肝臟觸酶活性的效應。

註：標註黃色底色範圍為該器官的氧化還原電位之生理恆定範圍。

器官		氧化劑處理			還原劑處理				
		高劑量	中劑量	低劑量	低劑量	中劑量	高劑量		
		(氧化逆境)氧化還原電位低			氧化還原電位高(還原逆境)				
									
狀態編號		A	B		C		D	E	
實驗結果	鰓	↑	—		—		↑	↑	—
	肝	↑	↓		↓		—	↓	—

## 參考文獻

- Cohen, R. W., Mahoney, D. A. and Can, H. D. 2002. Possible Regulation of Feeding Behavior in Cockroach Nymphs by the Neurotransmitter Octopamine. *J. Insect Behav.* 15(1), 37-50.
- De Luca-Abbott, S. B., Richardson, B. J., McClellan, K. E., Zheng, G. J., Martin, M. and Lam, P. K. 2005. Field validation of antioxidant enzyme biomarkers in mussels (*Perna viridis*) and clams (*Ruditapes philippinarum*) transplanted in Hong Kong coastal waters. *Mar. Pollut. Bull.* 51(8-12): 694-707.
- Deisseroth, A., Dounce, A. L. 1970. Catalase: Physical and chemical properties, mechanism of Freeman, B. A. and Crapo, J. D. 1982. Biology of disease: free radicals and tissue injury. *Laboratory Investigation; A Journal of Technical Methods and Pathology* 47(5): 412-426.
- Kodrik, D., Bednářová, A., Zemanová, M., and Krishnan, N. 2015. Hormonal Regulation of Response to Oxidative Stress in Insects—An Update. *Int. J. Mol. Sci.* 16(10): 25788–25816.
- 王麗平、鄭丙輝、孟傳，2007，環境污染物對水生生物產生氧化壓力的分子生物標誌物，*生態學報*，**27(1)**，380-388。
- 李勇、孔令青、高洪、嚴玉霖，2008，自由基與疾病研究進展，*動物醫學進展*，**29(4)**，85-88。
- 尚湘、陳賢裕，2007，文蛤活性蛋白的分離及體外抗氧化作用，*中國海洋藥物*，**26(6)**，24-27。
- 周昱翰、葉信利，2010，以氧化還原電位作為文蛤池底質的評估指標。*水試專訊*，**29**，44。
- 周昱翰、葉信利，2013，文蛤養殖池的底土管理。*水試專訊*，**43**，17-19。
- 邱仲峰，2009，氧化壓力之機轉，*血液淨化*，**9(3、4)**，12-15。
- 長庚生物科技股份有限公司網站。網站：<https://www.cgb.com.tw/j2j0/cus/cus1/hel/hel8/80001.jsp>(檢索日期：2017.05.23)
- 洪淑菁，2008，肝臟的藥物轉化功能。*肝病防治會刊*，**44**，49-53。
- 郭婕、李寧遠，2007，氧化壓力的因應之道，*科學發展*，**411**，40-45。
- 曾陽明，2009，酒精代謝酶基因多形性與過量酒精攝取對生物體氧化性傷害及抗氧化狀態之研究，高雄醫學大學醫學研究所博士論文(指導教授：蔡麗玉教授)。
- 農委會水產試驗所全球資訊網站，網站：<http://www.tfrin.gov.tw/ct.asp?xItem=159556&ctNode=1225&mp=1>(檢索日期:2017.02.14)
- 趙強，1997，對抗疾病與老化的新發現--自由基與抗氧化物質，*美食天下*，**64**，116。
- 高家敏、蔡任圃，2014。認識身旁的小傢伙(12)－利用心電圖與影像分析法探討昆蟲心臟因應體位變化的調節作用。*科學教育月刊*，**366**，29-41。
- 蔡任圃，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*，**290**，43-47。