

認識身旁的小傢伙(24)－溺水昏迷 引發蟑螂潛水反射與氣道閉鎖的探討

呂冠滙¹ 李宜蓁¹ 蔡任圃^{2*}

¹臺北市立中山女子高級中學

²臺北市立第一女子高級中學

壹、前言

人類在胚胎發育的期間身體皆浸泡於羊水中，但出生後卻可能因溺水而受傷甚至身亡，可說是一大矛盾(Anonymous, 1973)。在臺灣，每年因溺水而死亡的比例約為每十萬人中有 5.35 人，其中男性死亡率為女性的 3.1 倍，1 至 4 歲的兒童及 75 歲以上的老人為高危險族群(林等人，2010)。以往對於溺水的死亡原因，多歸因於缺氧造成腦部不可逆的損害，但事實上溺水後有可能引發冷休克、身體喪失行為能力、血壓降低、肌肉抽搐等生理反應(Bierens, *et al.*, 2016)。在歷經缺氧、血液循環受阻、心臟收縮功能不全、心律不整等情況下，大腦受嚴重的缺氧傷害，患者慢慢失去意識，終至死亡(陳，2009)。溺水後若搶救成功，亦可能出現頭痛或視覺障礙、劇烈咳嗽、胸痛、呼吸困難、咳粉紅色泡沫樣痰或寒顫發熱等症狀(張，2016)。

2017 年 6 月，美國德州發生一名男童戲水後，連續多日出現腹痛、上吐下瀉等症狀，一週後卻因呼吸停止而死亡，新聞

報導指出醫師推測其死於「乾溺水(dry drowning)」(嚴，2017)。大部分溺水患者因水進入肺部引發濕性溺水，但約有 10% 溺水者因氣管嚴重收縮，引發自發性呼吸窘迫症(Acute respiratory distress syndrome, ADRS)而窒息，其肺部沒有水浸入的現象，所以稱為乾溺水。乾溺水的報導引起許多父母驚慌，甚至還有謠言說喝水或其他原因也會引發乾溺水。雖然後來許多醫生認為該男童的病徵不符合乾溺水的定義，可能是因其他原因引發死亡，但也因此引發大眾對「乾溺水」的注意。乾溺水有時也稱為「二次溺水」，是指人體遭遇溺水，救起後相隔一段時間身體才出現症狀，包含：心跳減慢、肺部腫脹、血液氧氣含量下降，後者可能導致心臟停止(夏，2017)。由此可知，溺水不只是因短暫地缺氧所造成的直接傷害，也可能透過其他機制，擴大了缺氧的生理效應。

我們在操作不同的蟑螂昏迷方式(蔡，2006)與查閱前人資料(蔡等人，2004)時，發現以溺水昏迷方式與二氧化碳昏迷方式，皆可使蟑螂麻痺，但兩種昏迷方式的恢復過程差異很大。溺水昏迷的蟑螂，恢

*為本文通訊作者

復所需的時間明顯較長，且恢復後的行為反應較差，死亡率亦較高。Kölsch 等人(2002)以椴葉甲蟲 (alder leaf beetles, *Agelastica alni* L.)作為研究對象，也發現椴葉甲蟲在缺氧一分鐘時便會出現完全靜止的昏迷狀態，相較於溺水麻痺所需的時間較短。這讓我們想到：溺水的處理可能不只含有「缺氧」這個單一因子，可能還引發其它的生理效應。研究蟑螂溺水的生理反應對於研究「溺水對動物生理的效應」，也許是一個有效、方便且易操作的動物模式。我們期望建立一套適用於昆蟲溺水的研究模式，研究目的如下：

一、建立研究「溺水對昆蟲行為與生理的效應」的動物模式

二、探討蟑螂因氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理而昏迷對以下行為與生理指標的效應：

(一)、昏迷及甦醒所需時間

(二)、呼吸週期

(三)、代謝率與呼吸商

(四)、氣門閉鎖的程度

(五)、脂肪體觸酶活性

(六)、心跳率

貳、研究方法

一、實驗動物

美洲蟑螂 (*Periplaneta americana*) 成蟲，為本校自行飼養繁殖。飼養方式與實驗動物篩選參考自蔡等人(2004)。

二、缺氧與溺水處理的操作方式，與昏迷所需時間與甦醒所需時間的測量

(一)、缺氧造成昏迷

1. 在空瓶中灌滿二氧化碳或氮氣。
2. 放入蟑螂並蓋上玻璃蓋，定義為缺氧時間開始(圖一)。
3. 直到蟑螂六肢、觸角皆不再活動，定義為昏迷(麻醉)狀態。另有一組為延長缺氧時間，當蟑螂六肢及觸角皆不再活動(已達昏迷)後，再持續灌氣五分鐘才終止(此時間是參考溺水處理引發昏迷的實驗結果)。
4. 將蟑螂自玻璃瓶取出後置於玻璃培養皿，接觸空氣，定義為甦醒時間開始(圖二)。
5. 分別記錄自甦醒時間開始至任一觸角開始活動、任一隻腳開始活動、六隻腳皆活動所需時間。



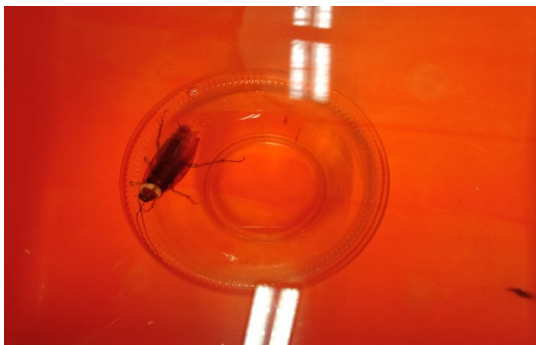
圖一：氣體昏迷的操作裝置圖



圖二：觀察蟑螂甦醒操作過程圖

(二)、溺水處理造成昏迷

1. 在水盆中加入可淹過玻璃瓶的水量，將玻璃瓶裝滿水後倒放至水盆內。
2. 將玻璃瓶稍微傾斜，確保玻璃瓶內維持滿水的狀態，把蟑螂置入瓶中(圖三)。
3. 以蟑螂整隻浸入水中定義為溺水處理開始。
4. 將蟑螂置於滿水的玻璃瓶中，並持續搖晃玻璃瓶促使蟑螂活動直到蟑螂六肢、觸角皆不再活動，定義為昏迷成功。
5. 將蟑螂自玻璃瓶取出後置於玻璃培養皿，接觸空氣，定義為甦醒時間開始。
6. 分別記錄自甦醒時間開始至任一觸角開始活動、任一隻腳開始活動、六隻腳皆活動所需時間。



圖三：溺水昏迷的操作圖

(三)、呼吸週期與代謝率測量

參考、改良蔡等人(2004)、高與胡(2015)、劉(2018)測量蟑螂代謝率的方法，測量呼吸週期、換氣期、非換氣期、耗氧速率、產二氧化碳速率與呼吸商，比較蟑螂在溺水、缺氧兩個狀態下對這些指標的效應。呼吸週期與代謝生理的各指標的測量方式如下(圖四)：

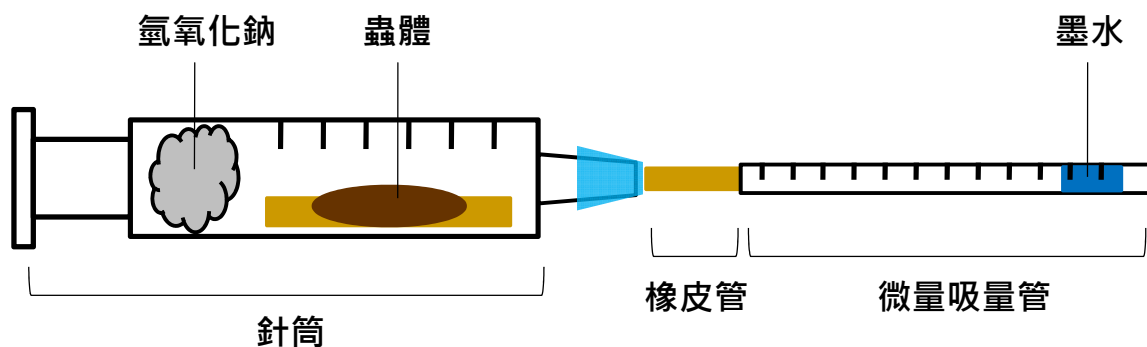
1. 將 50 毫升的針筒與微量吸量管(最小刻度為 0.01 毫升)以橡皮管連接，將實驗動物與滴一小滴水的氫氧化鈉(包裹於紗布中)放入針筒中。
2. 於微量吸量管內吸入墨水，使此自製呼吸週期檢測系統橫放靜置於桌面上。
3. 當蟑螂吸收氧氣而排出二氧化碳，二氧化碳可經氫氧化鈉吸收而造成針筒內氣體體積減少，可透過微量吸量管內之墨水的移動情形，測量針筒內氣體體積於 15 分鐘內所發生的變化，進而計算蟑螂的耗氧速率，單位為「毫升/分鐘」。
4. 觀察墨水柱的移動情形，紀錄液柱每一次移動與停止的時間與刻度，即可推算換氣期與非換氣期的時間長短，一次換氣期與一次非換氣期之和，即為呼吸週期(一次呼吸週期 = 一次換氣期 + 一次非換氣期)。換氣期、非換氣期與呼吸週期的單位為「秒」。
 - (1).換氣期：液柱一次移動所需的時間
 - (2).非換氣期：液柱在兩次換氣期間停滯不動的時間
 - (3).呼吸週期：一次換氣期 + 一次非換氣

期

5. 當針筒內無放置氫氧化鈉，測量針筒內氣體體積於 15 分鐘內所發生的變化。此時蟑螂呼吸時消耗的氧氣與產生的二氧化碳氣體，可將吸量管內的墨水帶動，並測量其移動速度，此時的氣體體積變化速度
= 產二氧化碳速度 - 耗氧速度，單位為「毫升/分鐘」。
6. 將步驟 3 與 5 兩項氣體體積變化速率，

經計算可得產二氧化碳速率，單位為「毫升/分鐘」。

7. 將產二氧化碳速率除以耗氧速率所得數值即為呼吸商(respiratory quotient, RQ)，呼吸商的大小可推論動物正在代謝的主要物質。當呼吸商接近於 1 時，代表以醣類為主要代謝物；當呼吸商的接近於 0.7 時，代表以脂質為主要代謝物；若介於 0.7 至 1 之間，則可能同時代謝醣類與脂質(蔡等人，2004；劉，2018)。



圖四：呼吸週期與代謝率的測量裝置。上圖為裝置示意圖，下圖為實際照片

(三)、蟑螂氣道閉鎖程度的比較

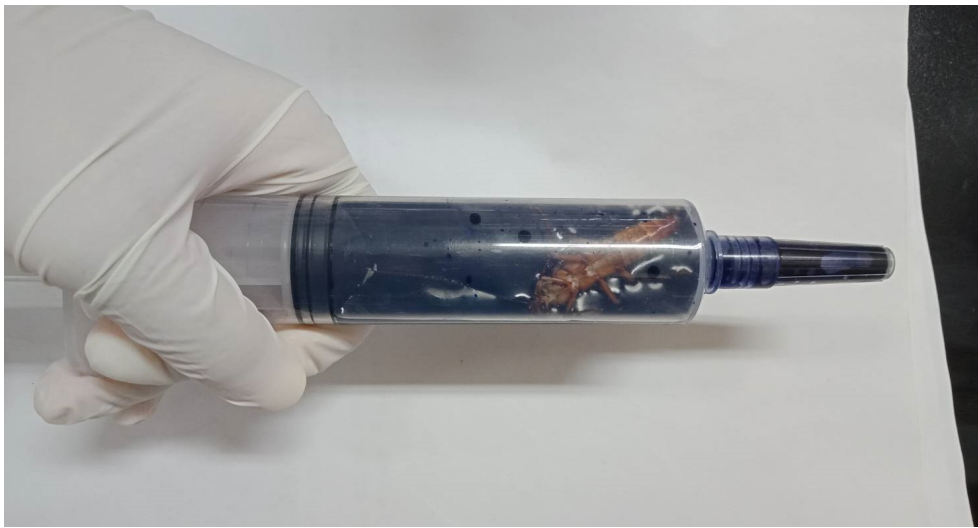
1. 蟑螂處理方式分為長期氮缺氧(直到蟑

螂六肢、觸角皆不再運動後，再持續灌入氮氣 5 分鐘)與溺水處理兩種。

- 2.將蟑螂、亞甲藍液置入 60 毫升針筒中，排出針筒內多餘的氣體並蓋上蓋子(圖五)。
- 3.反覆拉動活塞造成針筒內形成負壓，使亞甲藍液可滲入蟑螂的氣管系統內。
- 4.將蟑螂取出後以清水洗去體表上殘餘的亞甲藍液，並以衛生紙吸乾蟑螂體表的

水分。

- 5.蟑螂放置於培養皿上，觀察蟑螂胸部與步足氣管內亞甲藍液的滲入情形。亦將前胸背板分離，觀察前胸背側組織與氣管中，亞甲藍液的滲入程度。另也透過秤重的方式，比較蟑螂體重的增加程度，作為亞甲藍液滲入程度的指標。

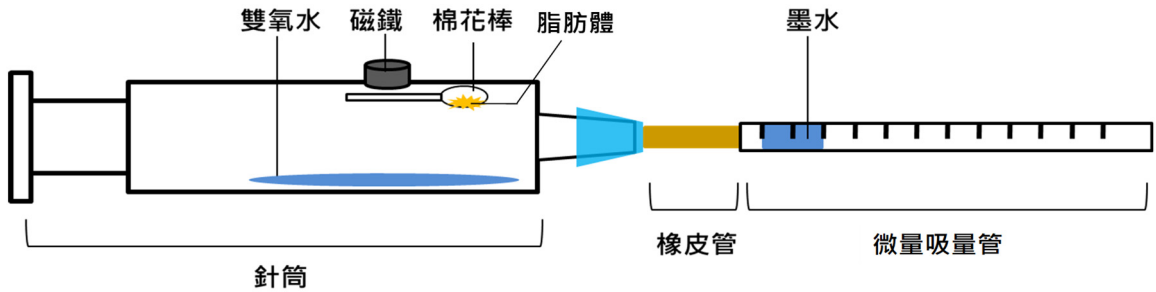


圖五：利用負壓環境中蟑螂氣管系統攝入亞甲藍液的程度,比較氣道閉鎖程度的裝置照片

(四)、脂肪體觸酶活性測量

- 1.將 50 毫升的針筒與微量吸量管(最小刻度為 0.01 毫升)用橡皮管連接(圖六)。
- 2.將乾淨棉花棒插入鐵針後秤重並記錄其數值。
- 3.解剖待測蟑螂並用棉花棒沾取蟑螂脂肪體後再次測量棉花棒的重量，求得脂肪體組織的質量。

- 4.將沾取脂肪體的棉花棒放入針筒內，以磁鐵吸住鐵針，並以推桿塞入針筒使針筒內形成密閉空間，將墨水吸入至微量吸量管內，將此裝置平放靜置於桌面上。
- 5.架設網路攝影機後，拿掉磁鐵開始進行、紀錄脂肪體與雙氧水的反應，以墨水在微量吸量管內的移動情形，計算出氣體(氧)的產生速率。

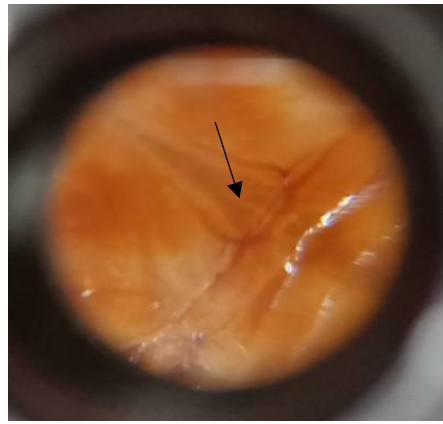
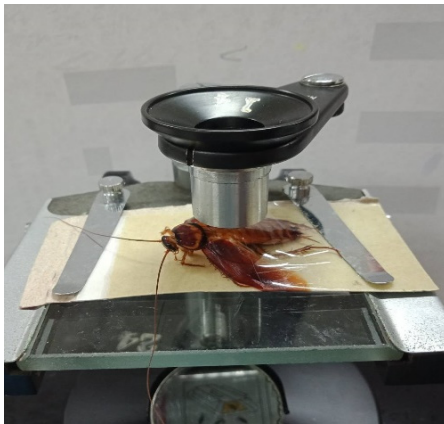


圖六：測量脂肪體觸酶活性裝置圖

(五)、心跳率的測量

1.將待測蟑螂翅膀分開後以膠帶固定於蟑

螂屋貼紙上，以解剖顯微鏡觀察並記錄心跳率(圖七)。



圖七：心跳率的測量。左圖：觀察蟑螂心跳的裝置，右圖：所觀察的蟑螂心臟(箭頭)照片

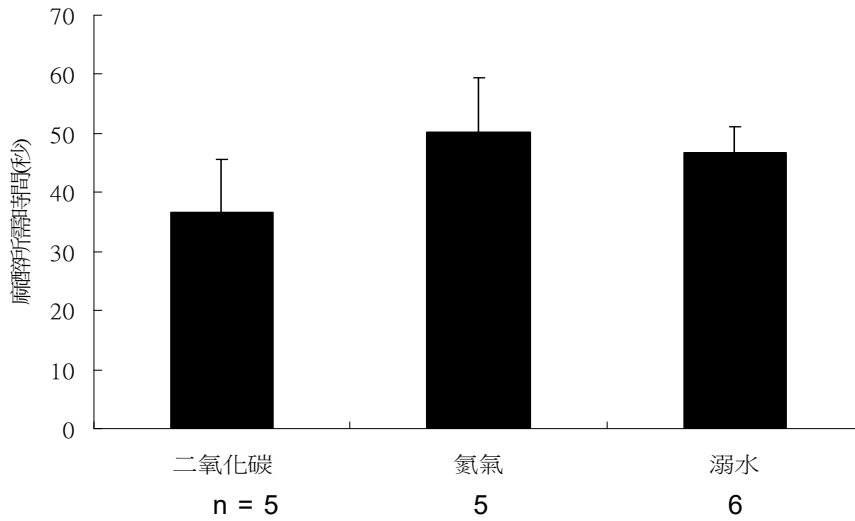
參、研究結果

一、肢體僵直程度的觀察

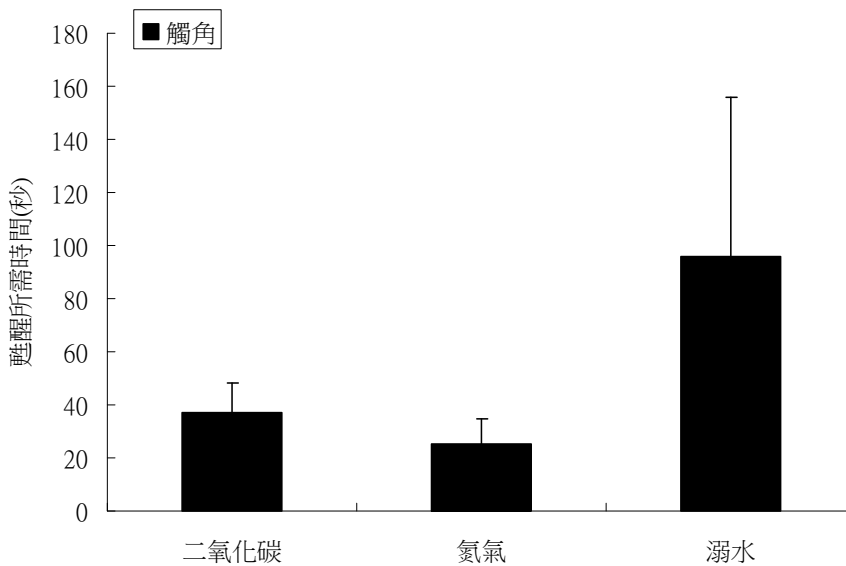
在各種缺氧處理的過程中，發現溺水而昏迷的蟑螂，肢體較為柔軟，而二氧化碳與氮缺氧而昏迷的蟑螂，肢體則較為僵直。

二、造成昏迷及甦醒所需時間

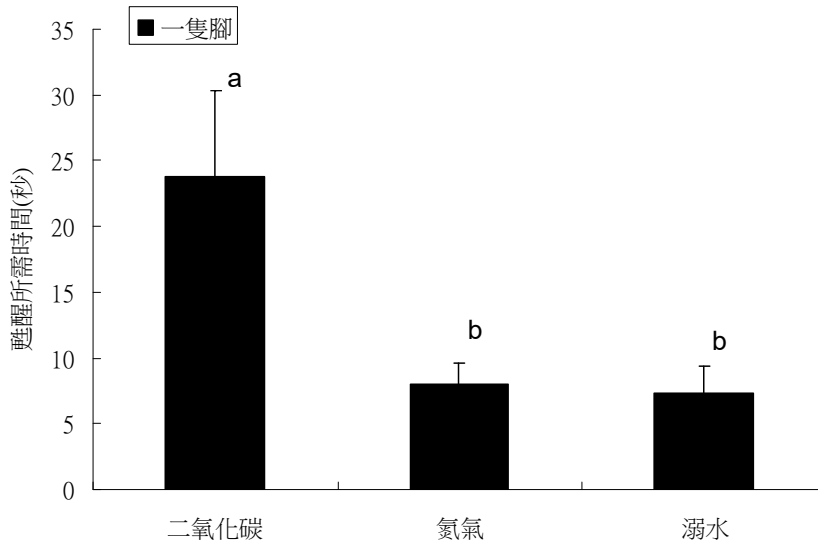
無論是氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理，造成昏迷(麻醉)所需的時間並無統計上的顯著差異(圖八)。若以觸角開始活動作為甦醒指標，各種缺氧方式之間亦無差異(圖九)。若以單一步足開始活動作為甦醒指標，二氧化碳缺氧所需時間較其他兩組長(圖十)。若以六隻步足皆運動作為甦醒指標，溺水處理組所需時間較其他兩組長(圖十一)。



圖八：氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理，造成昏迷(麻醉)所需的時間 (平均 ± 標準誤，n = 取樣數)。
各組之間未達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p > 0.05$)

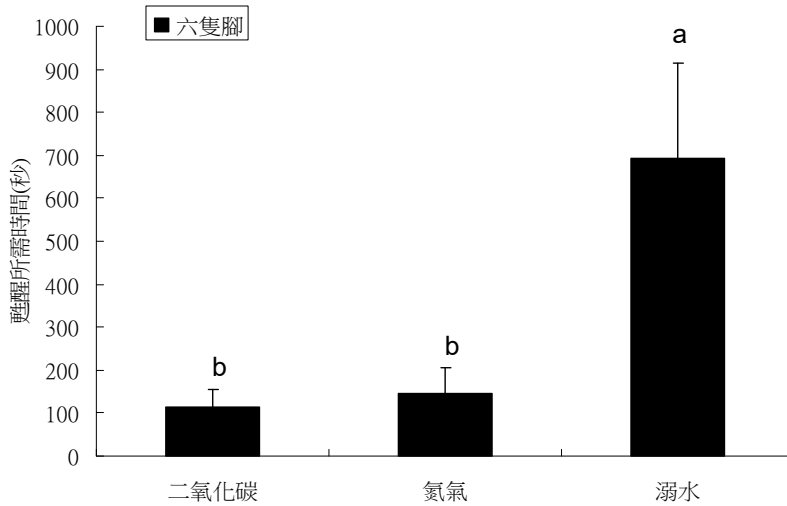


圖九：不同缺氧方式造成昏迷後，甦醒過程中觸角開始活動所需時間 (平均 ± 標準誤，取樣數如同圖八)。
各組之間未達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p > 0.05$)



圖十：不同缺氧方式造成昏迷後，甦醒過程中任一隻腳開始活動所需時間(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖八)。

a 與 b 達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)



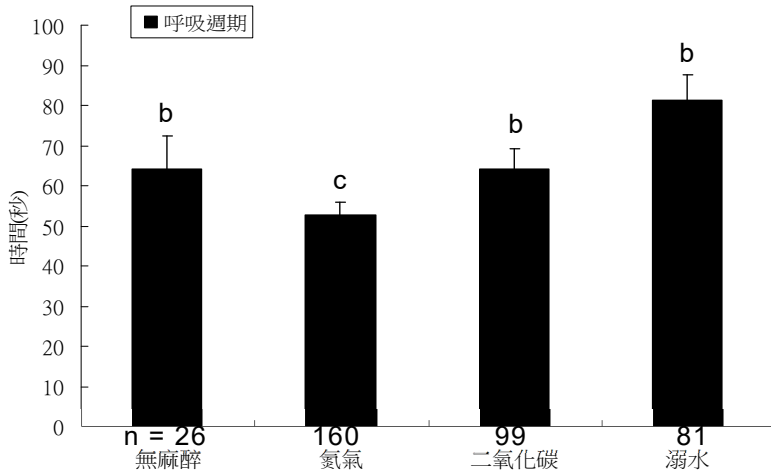
圖十一：不同缺氧方式造成昏迷後，甦醒過程中六隻腳皆活動所需時間(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖八)。

a 與 b 達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)

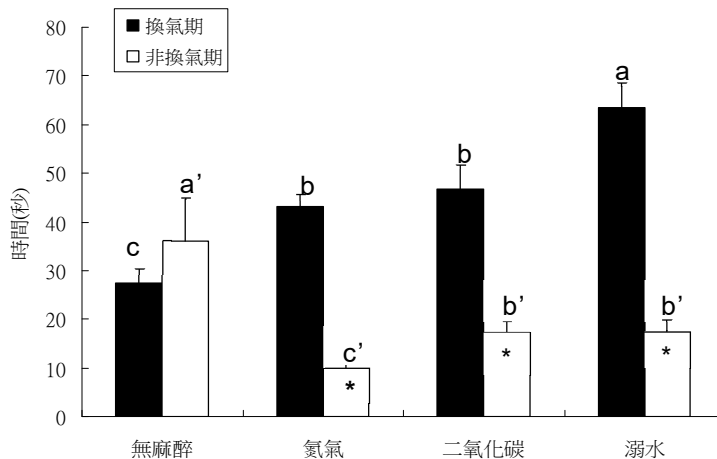
三、對呼吸週期的效應

比較氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理對呼吸週期長短的效應，發現氮缺氧後可縮短呼吸週期，溺水處理後可增加呼吸週期，而二氧化碳缺氧後對呼吸週期的長度不具效應(圖十二)。分別比較換氣期與

非換氣期的長度，氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理後皆增加換氣期長度，其中溺水處理後增加的幅度最大(圖十三)；氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理後皆降低非換氣期長度，其中氮缺氧後減少的幅度最大(圖十三)。



圖十二：氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理造成昏迷後，對「呼吸週期」的效應。(平均 ± 標準誤，n = 取樣數，分別來自 4、12、9、11 隻個體)。
a、b 與 c 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)



圖十三：氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理造成昏迷後，對「換氣期」與「非換氣期」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十二)。

*：與「換氣期」相比達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

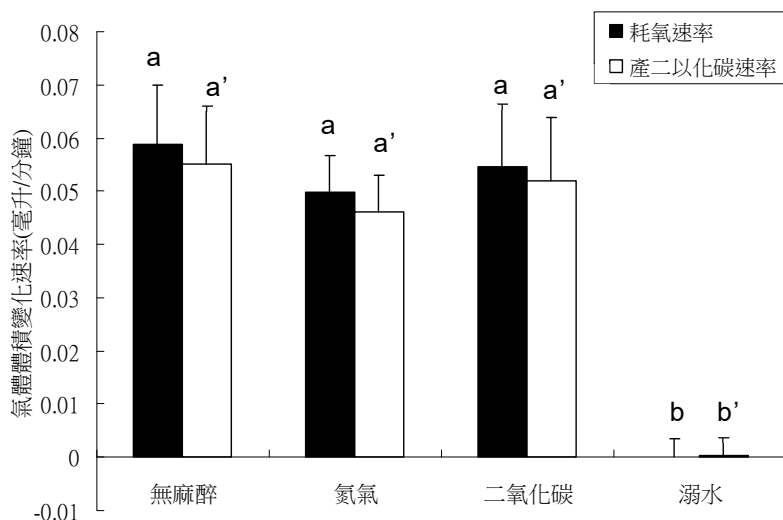
a、b 與 c 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

a'、b' 與 c' 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

四、對代謝率的效應

比較氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理造成昏迷後，對耗氧速率與產二氧化碳速率的效應，發現溺水處理後，代謝率大

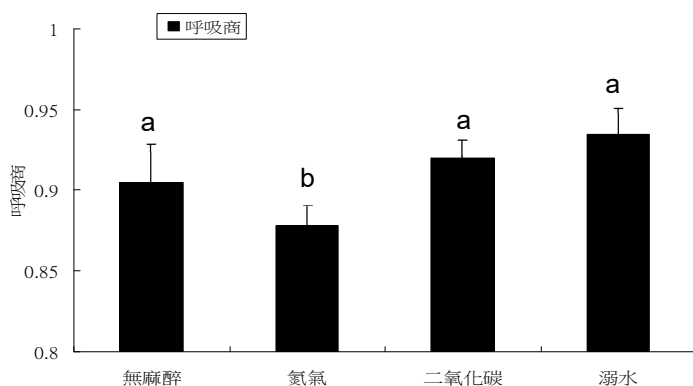
幅減少至幾乎測量不到，而氮缺氧與二氧化碳缺氧則與對照組一致(圖十四)。各種缺氧處理方式中，只有氮缺氧使呼吸商下降(圖十五)。



圖十四：氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理造成昏迷後，對「耗氧速率」與「產二氧化碳速率」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十二)。

a 與 b 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)。

a' 與 b' 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)。



圖十五：氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理造成昏迷後，對「呼吸商」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十二)。

a 與 b 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)

五、對呼吸週期與代謝率的效應

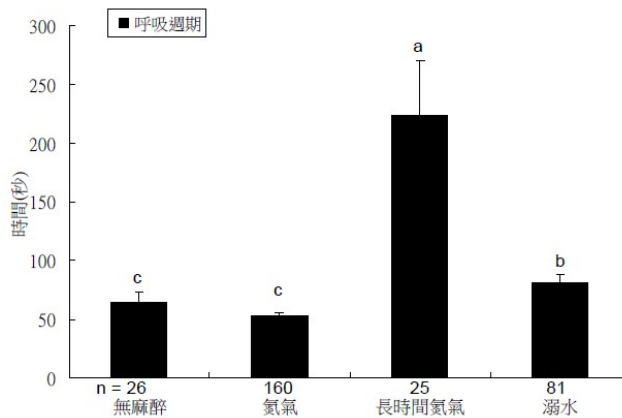
我們已發現氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理，造成昏迷所需的時間是一致的

(圖八)，但我們懷疑溺水處理的蟑螂，在離開水面後可能依然處於缺氧狀態。為了探討溺水處理是否可造成缺氧時間較久，故

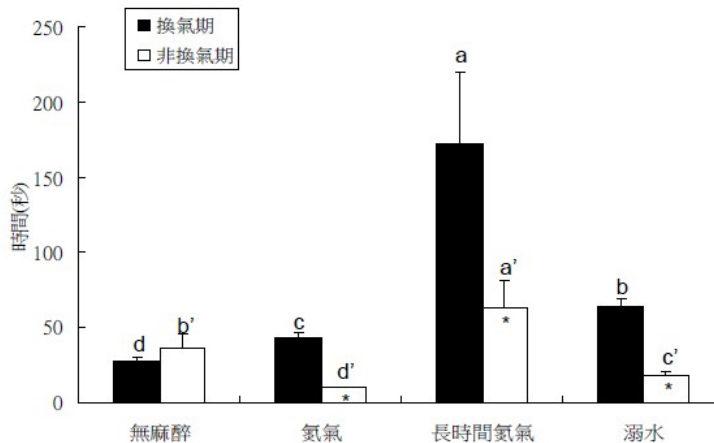
產生與其它缺氧昏迷方式不同的生理效應，我們透過氮缺氧處理時，透過增加蟑螂暴露於氮氣的時間(超過 5 分鐘)，增加缺氧時間。我們發現長期氮缺氧所引發的昏迷，可大幅增加呼吸週期(圖十六)，與溺水處理後引發呼吸週期增加的趨勢類似。其中，長期氮缺氧的換氣期與非換氣期皆較對照

組長，但溺水處理組的換氣期增加而非換氣期減少(圖十七)。

長期氮缺氧對耗氧速率與產二氧化碳速率，與對照組與短期氮缺氧具同樣的效果(圖十八)，但長期氮缺氧卻會大幅增加呼吸商(圖十九)，與溺水處理可增加呼吸商的趨勢相似。



圖十六：短期氮缺氧、長期氮缺氧與溺水處理對「呼吸週期」的效應(平均 ± 標準誤，n = 取樣數，分別來自 4、12、10、11 隻個體)。a 與 b 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)

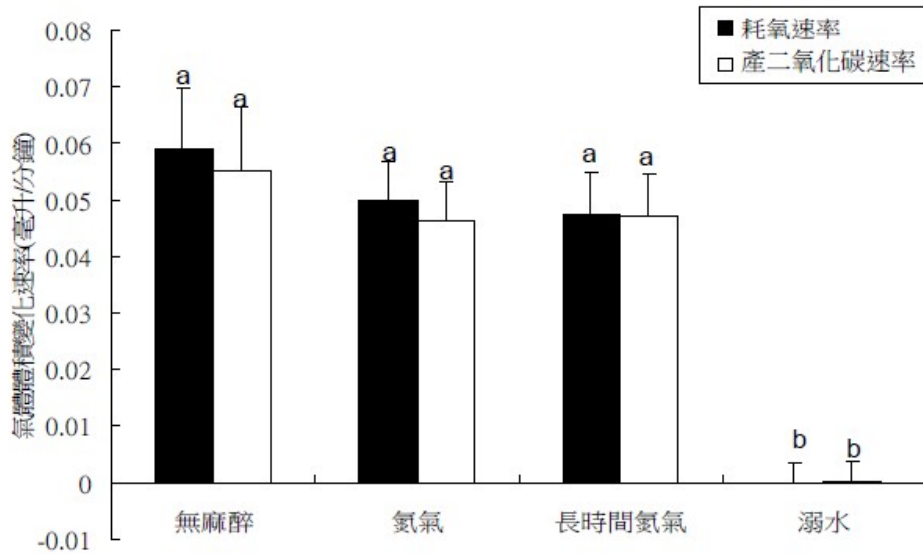


圖十七：短期氮缺氧、長期氮缺氧與溺水處理對「換氣期」與「非換氣期」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十六)。

*：與「換氣期」相比達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

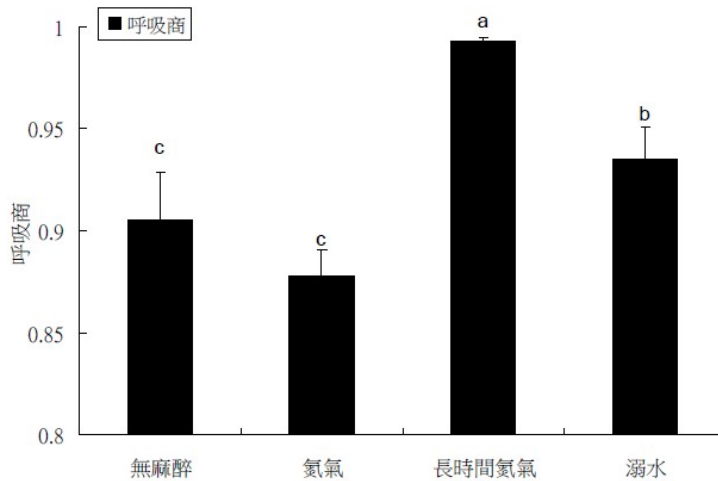
a、b、c 與 d 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

a'、b'、c' 與 d' 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。



圖十八：短期氮缺氧、長期氮缺氧與溺水處理對「耗氧速率」與「產二氧化碳速率」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十六)。

a 與 b 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)。
a' 與 b' 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)。



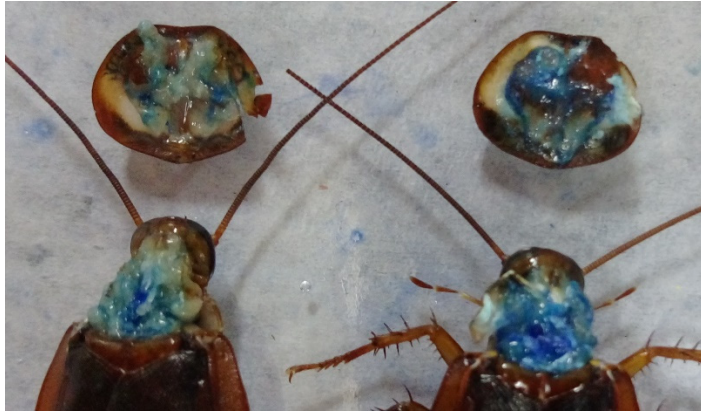
圖十九：短期氮缺氧、長期氮缺氧與溺水處理對「呼吸商」的效應(平均 ± 標準誤，取樣數如同圖十六)。

a、b 與 c 之間達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)。

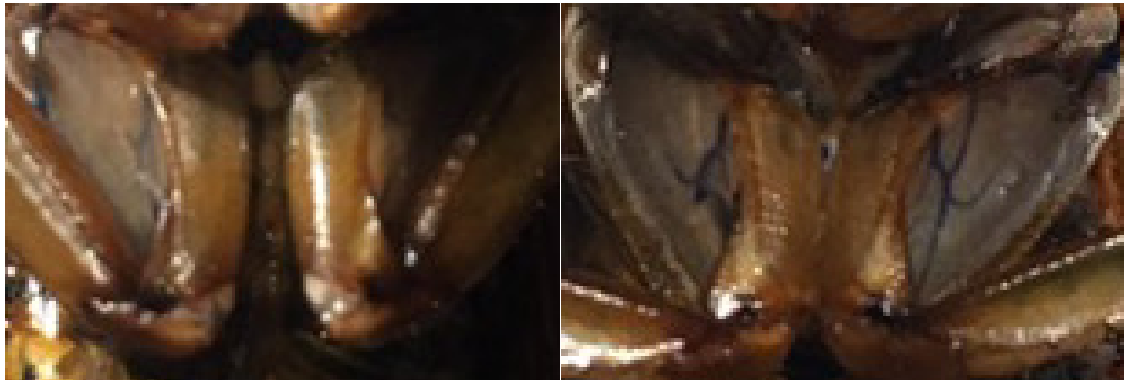
六、對氣門閉鎖程度的效應

透過「氣管系統攝入亞甲藍液」之器材的操作，比較溺水與長期氮缺氧兩種處理方式，前胸背板下組織與氣管系統的亞甲藍液滲入情形，以比較氣道閉鎖的程度。我們發現溺水處理後，亞甲藍液經氣管系統滲入身體的程度，較長期氮缺氧組小(圖二十、圖二十一)，體重增加的幅度也較小

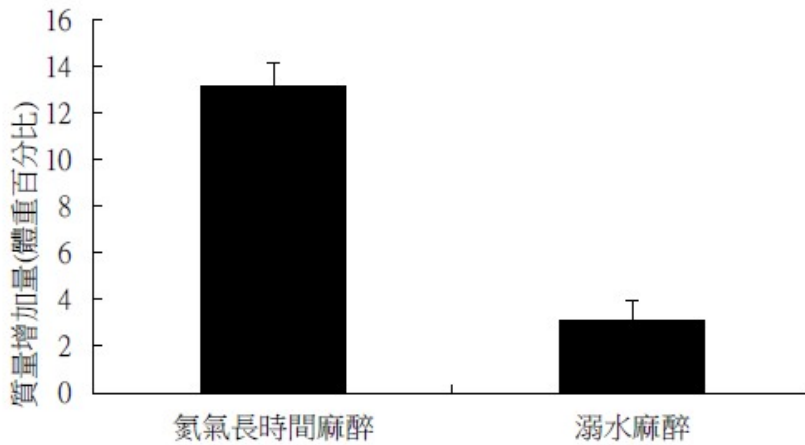
(圖二十二)，代表溺水處理可引發較大程度的氣道閉鎖。另外，為了確認蟑螂體重的增加並非亞甲藍液滲入消化道所造成，我們也解剖觀察實驗動物的消化道，結果發現蟑螂的消化管內皆無亞甲藍液(圖二十三)，代表蟑螂體重的增加不是因亞甲藍液滲入消化道所致。



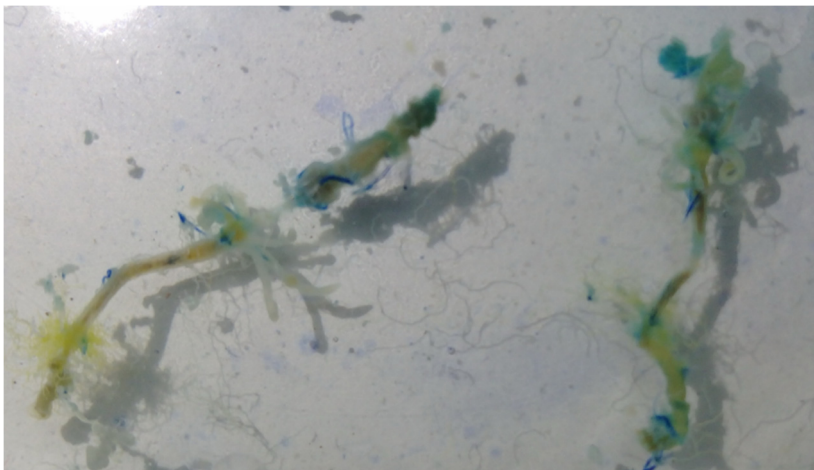
圖二十：溺水(左)與長期氮缺氧(右)處理，比較氣管系統攝入亞甲藍液程度的照片。照片中為掀開前胸背板後，觀察肌肉組織與氣管系統攝入亞甲藍液的情形比較(左圖箭頭所指處為白色未被亞甲藍液滲入的氣管；右圖幾乎全被滲入)。



圖二十一：溺水(左)與長期氮缺氧(右)處理，比較氣管系統攝入亞甲藍液程度的照片。照片中為足部氣管系統攝入亞甲藍液的情形比較(右圖箭頭所指處為被亞甲藍液滲入的氣管；左圖則無)。



圖二十二：比較長時間氮氣昏迷與溺水昏迷蟑螂對「攝入亞甲藍液質量」的比較(體重百分比, 平均 \pm 標準誤, 各組 $n = 8$)。達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定, $p < 0.05$)

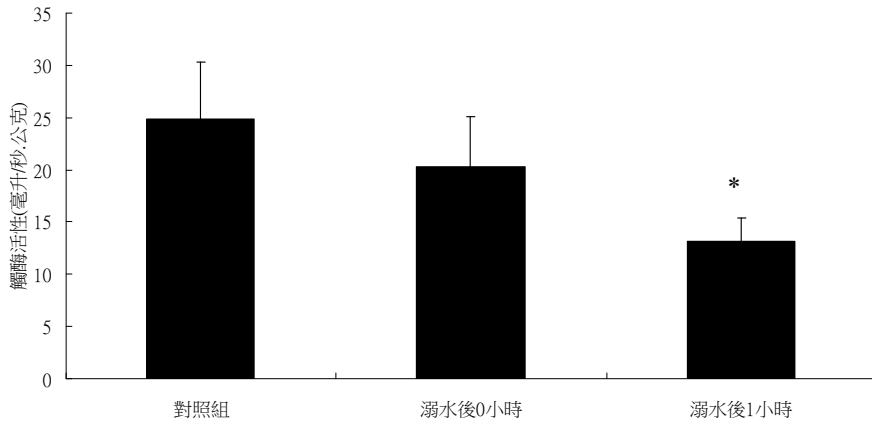


圖二十三：解剖溺水(左)與長期氮缺氧(右)處理實驗後的蟑螂，消化管內均並無亞甲藍液滲入

七、對脂肪體觸酶活性的效應

比較直接測量(對照組), 以及溺水後 0 小時、溺水後 1 小時的脂肪體觸酶活性

差異(圖二十四), 發現體內的脂肪體觸酶活性有逐漸下降的趨勢。顯示蟑螂在溺水後 1 小時內因體內處於缺氧狀態, 體內氧化壓力較小, 使得脂肪體觸酶活性較小。



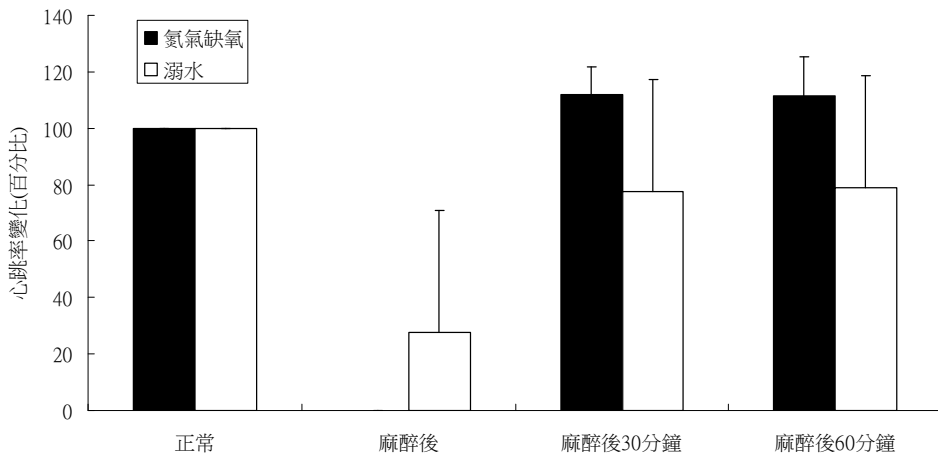
圖二十四：比較溺水後不同時間時的脂肪體觸酶活性

*：與對照組相比達統計上的顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)

八、對心跳率的效應

藉由比較昏迷後及昏迷後 30、60 分鐘的心跳數值(圖二十五)，可知蟑螂在溺

水情況下所需恢復時間不僅較長，在 30、60 後的心跳數值也較無昏迷對照組的低。



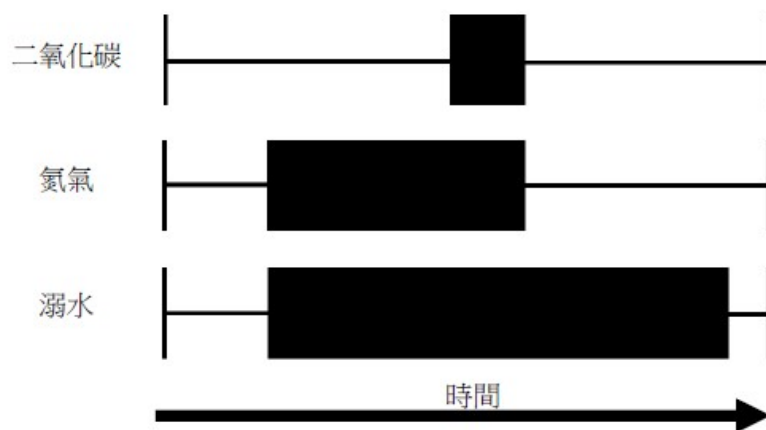
圖二十五：氮氣昏迷(n =5)與溺水昏迷(n =6)的蟑螂在昏迷前、後的心跳率變化比較

肆、討論

本研究建立「溺水對昆蟲行為與生理的效應」的動物模式，透過比較缺氧造成昏迷及甦醒所需時間，以及對呼吸與代謝生理的效應，與氣門閉鎖程度等指標，探討氮缺氧、二氧化碳缺氧與溺水處理等不同方式，以及不同氮缺氧時間的生理效應。我們發現溺水處理與其它缺氧昏迷的效應不相同，其中以耗氧速率與產二氧化碳速率的大幅下降(圖十四)，是對代謝生理的效應中，與其它缺氧昏迷的最大差異。

不同缺氧方式造成昏迷所需時間相同，但

甦醒所需時間不同，若以單一隻步足開始活動視為啟動甦醒過程，六隻步足皆可活動視為完全甦醒。我們可將蟑螂的甦醒過程彙整成圖二十六，其中二氧化碳缺氧昏迷後，較晚啟動甦醒過程，但可較早完全甦醒，也就是完全甦醒所需的恢復期較短。這可以解釋為何絕大部分的昆蟲實驗，皆以二氧化碳昏迷作為麻醉實驗動物的手段。溺水昏迷雖較早就已啟動甦醒程序，但較晚才完全甦醒，代表完全甦醒所需的恢復期較長。



圖二十六：比較不同處理方式，昏迷後至完全甦醒階段所需時間示意圖。黑色柱狀代表昏迷後開始甦醒至完全甦醒的期間

早在 1972 年，Gooden 即已提出人類溺水時會引起反射性的心血管反應，其效應與海洋哺乳動物潛水時相似，這個心血管反應即為潛水反射(diving reflex)。海洋哺乳動物在長時間潛水過程中，必須有一些機制防止水進入肺部，同時兩個重要區域(心臟和大腦)仍需持續供應氧氣。許多證據指出，非海洋哺乳類的人類，在身處

水下時，喉部具有阻擋水進入，對大腦和心臟的氧氣供應具有保護性反應(Gooden, 1972)，很類似海洋哺乳動物的潛水反射。

我們懷疑蟑螂溺水昏迷後，甦醒所需的恢復期較長，與代謝率大幅下降，可能與人類溺水過程中，出現的喉痙攣(Laryngospasm)與潛水反射相似。溺水生理學涉及兩個不同的事件：浸入

(immersion, 上呼吸道在水上)和淹沒(submersion, 上呼吸道在水下)。淹沒包含了潛水反射與上呼吸道反射, 其中上呼吸道反射最常見也最重要的是喉痙攣(Bierens, *et al.*, 2016)。喉痙攣是指是喉部受刺激後, 引發喉部杓狀褶皺, 假聲帶和真聲帶的閉合, 造成氣道閉鎖以防止水與其它異物進入氣道(Bierens, *et al.*, 2016; 陳, 2009; 張, 2016)。潛水反射是指爬蟲類、鳥類與哺乳類的面部受水刺激後, 引發呼吸運動終止、心跳率下降與代謝率下降的反射。潛水反射可以解釋部分溺水受害者, 在水下長時間仍可存活的部分原因(Bierens, *et al.*, 2016)。

若蟑螂溺水時引發氣道閉鎖與抑制呼吸運動, 可使蟑螂在離水後, 氣道仍處於閉鎖狀態, 且呼吸運動依然受抑制, 如此在離水後仍會處於無法交換氣體的狀態, 使缺氧情況仍然持續, 身體受損程度更大, 故甦醒所需的恢復期較長, 形成乾溺水的現象。我們的實驗結果中確實發現溺水後, 呼吸週期增加, 這代表了呼吸頻率下降, 證明蟑螂溺水後呼吸運動受到抑制, 而其它的缺氧性昏迷則無此現象。這個現象讓我們相信: 昆蟲也存在著類似如同爬蟲類、鳥類與哺乳類等脊椎動物的潛水反射。

為了驗證因呼吸運動受抑制, 使得在離水後仍無法進行氣體交換, 是否就是溺水昏迷與其它缺氧昏迷出現差異的原因, 我們以長期氮缺氧模擬長時間缺氧, 發現部分生理效應與溺水昏迷有類似的趨勢, 包含: 呼吸週期增加與呼吸商增加。

此外, 為了驗證溺水過程是否可引發氣道閉鎖, 我們以自製的「氣管系統攝入染劑」的器材, 比較溺水昏迷與長期氮缺氧昏迷後, 氣管系統攝入染劑的程度。我們發現溺水昏迷確實可引發氣道閉鎖, 使得染劑被氣管系統攝入的量較少, 組織與氣管中的染劑較少(圖二十、圖二十一)。

透過以上實驗, 發現蟑螂適合作為「溺水對動物行為與生理的效應」的模式動物。透過這個模式, 發現溺水昏迷與其它缺氧昏迷, 對呼吸生理與代謝生理具有不同效應。這些生理效應上的差異, 可能起因於氣道閉鎖與抑制呼吸運動, 所造成的持續性缺氧傷害。本文也證明, 昆蟲在溺水時, 會產生類似人體溺水時的喉痙攣與潛水反射等生理反應。在研究近乎淹溺(near drowning)的病理機制與治療預後等醫療策略, 提供了一項有力和方便的研究工具。

誠如加拿大醫學協會期刊(Canadian Medical Association Journal)於 1973 的一篇報導中指出: 潛水反射的相關研究提供了溺水救生的重要信息。例如: 溺水的患者即使肢體已出現紫紺症狀, 實際上仍保有對心臟和大腦的血液供應。此時不能以腕部的橈動脈搏動(常見的脈搏測量方法)作為生命跡象的判斷, 而應以頸動脈或瞳孔反射判斷中樞是否仍有血液循環(Anonymous, 1973)。藉由適當的診斷方法可以更精確的瞭解患者的生命狀況, 而本研究則提供了昆蟲的動物模式, 可應用於溺水對生理效應的研究, 與探討相關治療手段與預後情形的工具。

伍、參考資料及其他

- Anonymous.1973. Drowning and the diving reflex. *Can. Med. Assoc. J.* 108(10): 1209.
- Bierens, J. J., Lunetta, P., Tipton, M. and Warner, D.S. 2016. *Physiology Of Drowning: A Review. Physiology.* 31(2): 147-66.
- Gooden, B. A. 1972. Drowning and the diving reflex in man. *Med. J. Aust.* 2(11): 583-7.
- Kölsch, G., Jakobi, K., Wegener, G. and Braune, H. J. 2002. Energy metabolism and metabolic rate of the alder leaf beetle *Agelastica alni* (L.) (Coleoptera, Chrysomelidae) under aerobic and anaerobic conditions: a microcalorimetric study. *J. Insect Physiol.* 48(2): 143-151.
- 林佳欣、白璐、高森永、林金定、賴建丞、簡戊鑑，2010。臺灣 1982-2007 年溺水及梗塞窒息死亡趨勢分析。北市醫學雜誌，7(1)，41-52。
- 夏雨綜，2017。美 4 歲男孩「乾溺水」身亡 卻救了另一幼童。大紀元。
(<http://www.epochtimes.com/b5/17/6/15/n9271766.htm>，檢索日期：2019.03.03)
- 高榆婷、胡品嫻，2015。無頭殭屍大解密-失去頭部對蟑螂循環、呼吸與代謝生理功能的效應。第 48 屆臺北市中小學科展高中組生物科優等作品。
- 張茹梅，2016。近乎淹溺致急性呼吸窘迫綜合征的治療進展。天津醫科大學學報，22(4)，367-369。
- 陳明仁，2009。不容輕忽的溺水意外。恩主公醫訊，6 月號，13-16。
- 劉茲妤，2018。小強酒醉會嗨還是茫?-酒精對蟑螂行為與生理之 Hormesis 與其他效應的探討。2018 年臺灣國際科學展覽會動物學二等獎作品。
- 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。
- 蔡任圃、張凱淳、李彥翰、陳柏妮、陳暉瀚、林金盾，2004。缺氧對美洲蟑螂代謝的影響。師大生物學報，39(1)，41-48。
- 嚴云岑，2017。乾溺水潛伏期達 72 小時「嗆水」後出現這 2 症狀快就醫。ETtoday 新聞。
(<https://house.ettoday.net/news/942207>，檢索日期：2019.03.03)