

認識身旁的小傢伙(26)－探討社會孤立對美洲蟑螂之行為與生理的效應

詹佳穎 蔡任圃*

臺北市立第一女子高級中學

壹、前言

2020年新冠肺炎在全球爆發，因隔離使人與人之間失去互動，而引發心理疾病。美國在新冠肺炎爆發的一年內，因隔離而少了互動，罹患憂鬱與焦慮的人口增加了31% (Abbott, 2021)。疫情爆發而引發的憂鬱症等心理疾病，成為公共衛生的重要議題。

社會隔離對人類生活產生許多重大的影響，甚至對生存造成危害。事實上，隔離對許多脊椎動物的發展也產生了巨大的影響，引發一系列行為障礙(Lihoreau, *et al.*, 2009)。除人類外，其他的哺乳動物也因孤立而出現分離焦慮的症狀。以家犬為例，當獨自在家時，有時會無故吠叫、逃跑離家、來回踱步、咀嚼及破壞傢俱等焦慮症狀，嚴重者還有吞食排泄物的行為(Sherman, 2008)。

不過，目前科學家對無脊椎動物的社會孤立，所引發行為與生理的研究較少(Scharf, *et al.*, 2021)，但許多學者仍認為隔離症候群(isolation syndrome)是動物界普遍存在的病徵(Lihoreau, *et al.*, 2009)。在社會性昆蟲的研究中，發現孤立使螞蟻

(*Camponotus fellah*)的壽命縮短(Boulay, *et al.*, 1999、Koto, *et al.*, 2015)，減少社會梳理行為(allogrooming)，與增加交哺(trophallaxis)的程度(Boulay, *et al.*, 1999)。也會將食物留在嗉囊(crop)而不消化吸收，改變個體能量收入和支出的平衡(Koto, *et al.*, 2015)。孤立會減少螞蟻(*Temnothorax nylanderii*)與其他同伴的互動行為，減少自身梳理行為(grooming)，增加對於後代的照護。透過大腦轉錄組分析(brain transcriptome analysis)顯示，只有少數與行為相關的基因因隔離而改變，但許多與免疫功能 and 壓力反應相關的基因活性會下降，這可能使孤立的個體對壓力源更敏感(Scharf, *et al.*, 2021)。其他研究也發現社會互動的刺激，對成熟工蟻的巢穴識別行為十分重要(Boulay and Lenoir, 2001)。另一方面，非社會性昆蟲的研究中，也發現了隔離對昆蟲的許多效應。例如：長期(5或7天)的社會隔離可改變黑腹果蠅(*Drosophila melanogaster*)代謝基因的表現，減少睡眠時間，誘導飢餓信號使食量增加(Li, *et al.*, 2020)；地中海田野蟋蟀(Mediterranean field cricket, *Gryllus*

*為本文通訊作者

bimaculatus)經隔離後，會增加打鬥的攻擊性(Stevenson and Rillich, 2013)。屬於群居性的非社會性昆蟲-德國蟑螂(*Blattella germanica*)，在隔離後增加探索-迴避(exploration-avoidance)行為，但覓食活動(foraging activity)與社交互動意願(willingness to interact socially)減少，甚至評估交配伴侶質量(assess mating partner quality)的能力下降(Lihoreau, et al., 2009)。

前述實驗大多從行為學的觀點探討孤立對昆蟲的效應，有關生理作用的探討較少。尤其針對非社會性昆蟲的研究又更少，故本研究探討孤立對非社會性昆蟲-美洲蟑螂在行為與生理的效應。近年來由於疫情導致實驗動物(如靈長類等哺乳動物)的缺乏，使科學研究面臨衝擊，期待未來可用昆蟲的研究結果作為研究焦慮、憂鬱等行為與生理的動物模式。

曾有研究指出，視訊電話、電子郵件、社群網站及即時通訊四種常見的通訊媒介中，使用視頻聊天而不使用其他通信方式的老年人，患抑鬱症的風險較低(Teo, et al., 2019)。這表示社會互動不只聲音的溝通，也包含肢體表情等溝通媒介；昆蟲個體間常用的溝通媒介為費洛蒙(pheromone)。本研究針對費洛蒙溝通作為社會互動的媒介，探討孤立對美洲蟑螂行為與生理的效應。本研究實驗架構如下圖一。

本研究的研究目的如下：

- 一、建立美洲蟑螂缺乏費洛蒙交流之社會孤立的動物模式
- 二、探討社會孤立對蟑螂行為的影響

- (一)、對探索行為、運動狀態的影響
 - (二)、對攝取資源行為的影響
- 三、探討社會孤立對蟑螂生理的影響
- (一)、對心搏週期的影響
 - (二)、對代謝率的影響
 - (三)、對脂肪體觸酶活性的影響
 - (四)、對免疫反應的影響



圖一：本研究的實驗架構圖。

貳、研究過程或方法

一、實驗動物

本實驗以美洲蟑螂 (*Periplaneta americana*) 雄性成蟲為實驗動物，為本校自行飼養繁殖。研究過程中選用健康且身體無損之個體。

二、研究過程或方法

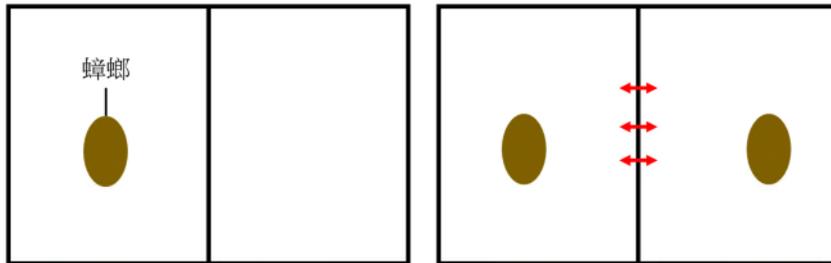
- (一) 建立美洲蟑螂缺乏費洛蒙交流的社會孤立動物模式

透明壓克力盒內放珍珠板，將盒內區分兩個空間，蟑螂麻醉後，移入隔離盒中。實驗過程分為全隔離與半隔離組(圖二)：全隔離組在其中一個空間內放入蟑螂一隻，

而另一邊則無；半隔離組以有打洞的珍珠板區隔盒子空間，兩邊皆放入蟑螂一隻。全隔離與半隔離組的蟑螂擁有同樣的活動空間，差別僅在半隔離組能接收到其他個體的費洛蒙。隔離為期七天，並將隔離盒

放置於陰暗處，隔離期間不供給水或食物，以免進食變因的影響。部分實驗另設置無隔離組，是直接從飼養箱裡成群(grouped)的蟑螂中，取出健康個體(未經隔離當對照組作比較)。

(A)



(B)



圖二：蟑螂的社會孤立模型(攝影機由上俯視拍攝)。

(A) 裝置示意圖。左圖：全隔離；右圖：半隔離(紅色箭頭處代表孔洞，空氣可流通)。

(B) 實際照片。

(二) 死亡率的計算

隔離七天後，記錄對照組、全隔離組與半隔離組的死亡數量，統計個體死亡率。

(三) 全隔離與半隔離昆蟲的行為表現

隔離七天後，用錄影機連續錄下蟑螂的行為與運動狀態，每隻錄 20 分鐘。使用軟體 Tracker 分析每隔 10 秒，以蟑螂頭部

作為測量座標的定位點，測量座標變化。最後分析在這些時段裡的移動距離、進行運動的時間等參數。

1. 測量蟑螂的移動總距離

測量每單位時間(10 秒鐘)每隻蟑螂移動的距離，再累加成移動總距離。計算對照組、全隔離組與半隔離組的平均，進行比較。

2. 測量蟑螂的移動時間

每段時距內蟑螂有移動或停在原地不移動的情形。測量各組每隻蟑螂移動行為的時間長度，計算總移動時間占觀察期間的比例，並分別將兩組計算平均值進行比較。

3. 測量移動過程中的最大速度

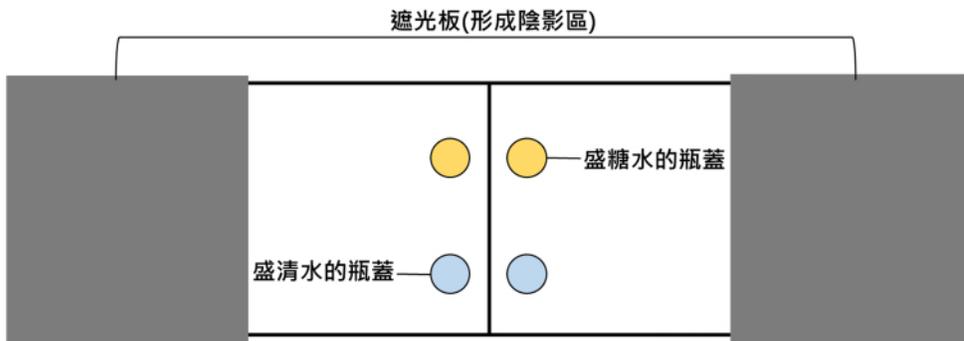
選擇在單位時間內最大的移動距離作為最大速度(單位：公分/10 秒)，比較全隔

離與半隔離組的差異。

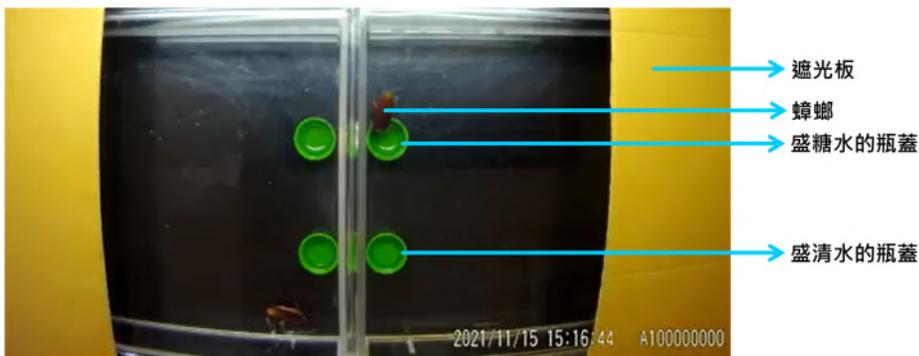
4. 資源攝取行為

在透光的透明壓克力箱(37.5 x 25.5 x 5.5 公分)上方兩側一半以厚紙板蓋住(面積約為透明壓克力箱的一半)，並於沒有遮光的光區中放入裝有糖水與清水的瓶蓋(圖三)，觀察 15 分鐘內蟑螂待在光區的時間、躲在陰影區的時間、攝取糖水或清水的時間，紀錄資源的選擇與攝取。

(A)



(B)



圖三：資源攝取行為的觀察裝置(攝影機由上俯視拍攝)。

(A)裝置示意圖。(B)實際照片。

(四) 全隔離與半隔離昆蟲的生理表現

1. 代謝率

參考劉等人(2016)測量昆蟲代謝率的方法，本實驗進行的代謝率測量，包括測量消耗氧氣與產生二氧化碳的速率。將蟑螂放置於塑膠針筒(容積為 60 毫升)中(圖四)，針筒的開口接上橡皮管與吸量管(最小刻度為 0.01 毫升)，並抽取微量的水，觀察 10 分鐘內水柱的移動變化；此裝置的操作，分為塑膠針筒內放置氫氧化鈉與不放置氫氧化鈉兩種。在大塑膠針筒內放氫氧化鈉時，計算水柱的每一次的移動時間，可推得呼吸周期；另透過計算裝置內的氣體體積變化速率，可推算耗氧速率。若大塑膠針筒內沒有氫氧化鈉時，所計算的氣體體積變化速率，可計算產二氧化碳的速率。

計算耗氧速率與產二氧化碳速率的方式如下：

- (1). 有氫氧化鈉時所求得的代謝率(V 為氣體變化速率)，即為耗氧速率：

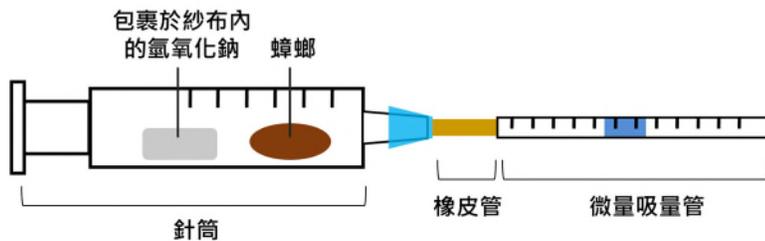
$$\frac{\Delta \text{水柱刻度(毫升)}}{\Delta \text{經過時間(秒)}} = V_{\text{耗氧}}$$

- (2). 無氫氧化鈉時所求得的氣體體積變化速率(V 為氣體變化速率)，即為耗氧速率－產二氧化碳速率：

$$\frac{\Delta \text{水柱刻度(毫升)}}{\Delta \text{經過時間(秒)}} = V_{\text{耗氧}} - V_{\text{產二氧化碳}}$$

- (3). 將 1 的數值減去 2 的數值，即可得產二氧化碳速率。

(A)



(B)

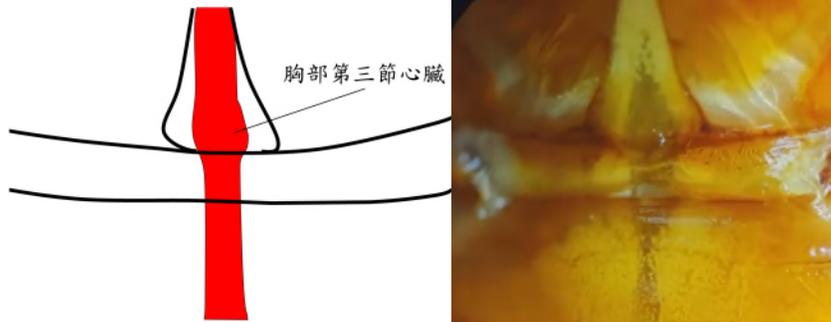


圖四：測量代謝率與呼吸週期的裝置示意圖(A)與照片(B)。

2. 全隔離與半隔離心跳率的差異

將蟑螂黏在貼紙上，置於顯微鏡下錄影觀察蟑螂心臟的收縮與舒張(圖五)，使用 Tracker 分析蟑螂的心臟收縮與舒張時

臟壁的寬度，紀錄收縮時間、舒張時間、心搏週期、收縮移動的距離及舒張移動的距離。

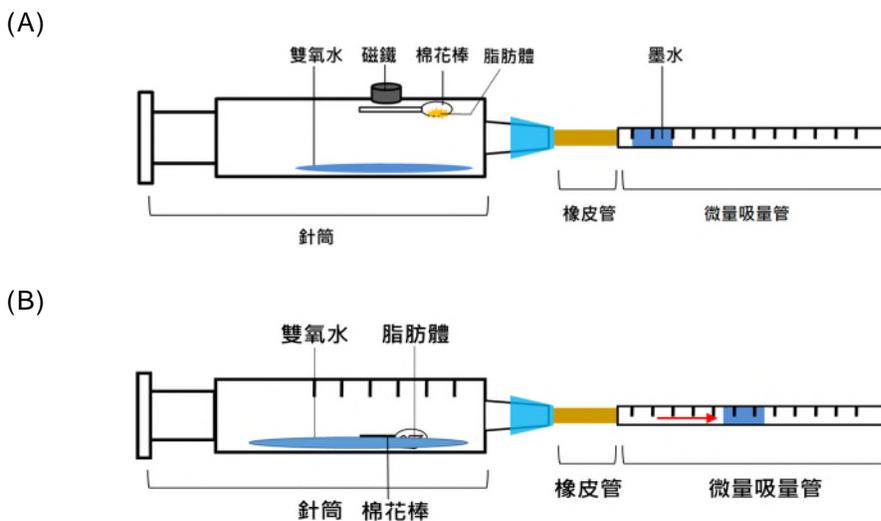


圖五：顯微鏡下蟑螂胸部第三節心臟的示意圖(左)；照片(右)。

3. 脂肪體觸酶活性

參考黃等人(2019)量化蟑螂脂肪體之觸酶活性的實驗設計。取出蟑螂脂肪體抹在棉花棒上，測量脂肪體質量；在棉花棒中植入大頭針，以磁鐵吸附在塑膠針筒上。

針筒內倒入 3% 雙氧水 2 毫升，在開口處接上橡皮管與吸量管(最小刻度為 0.01 毫升)，並吸取微量墨水(圖六 A)。從放開磁鐵開始，錄影脂肪體與雙氧水反應產生氣體，使水柱流出的過程(圖六 B)。



圖六：脂肪體觸酶活性測量系統的示意圖。

(A)脂肪體與雙氧水反應前。(B)脂肪體與雙氧水反應期間。

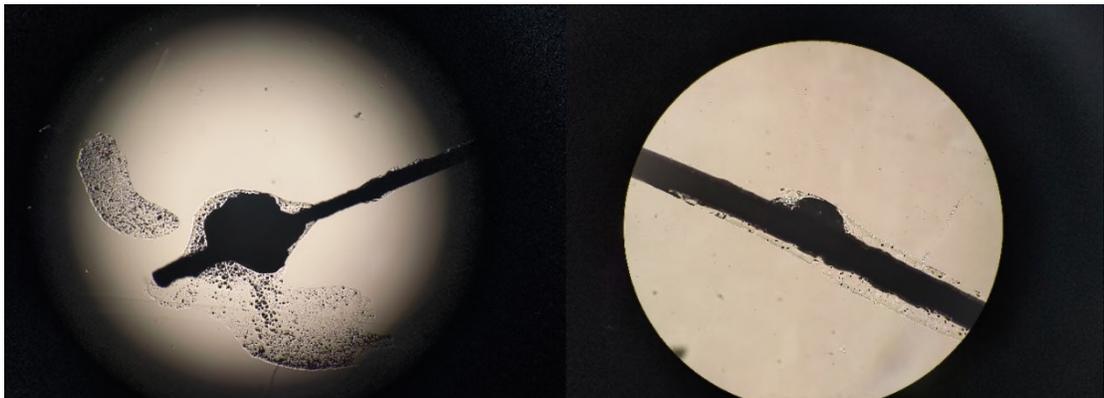
4. 免疫作用－包囊作用

參考蔡(2014)、吳與蔡(2017)與趙等人(2019)量化蟑螂免疫反應的實驗設計，觀察蟑螂的包囊作用作為免疫反應的指標。將銅線

(直徑 150 微米)由腹部背側插入體內(圖七)，15 分鐘後將銅線抽出，置於顯微鏡下測量包囊的最大直徑(圖八)。



圖七：插入銅線靜置 15 分鐘等待包囊反應的蟑螂。



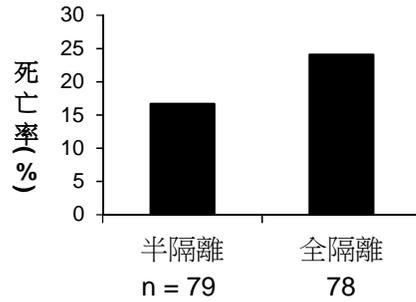
圖八：顯微鏡下銅線經包囊作用後的照片。

參、研究結果

一、不同隔離程度的蟑螂死亡率

在本實驗所有進行隔離的蟑螂中，全隔離蟑螂共有 79 隻，而半隔離蟑螂共有 78 隻。在隔離期間死去的蟑螂：全隔離組共

有 19 隻，而半隔離只有 13 隻。全隔離組的死亡率(24.1%)高於半隔離組(16.7%)，兩組之死亡率相差了 7.4%(圖九)。無隔離(對照組)的死亡率為 0。



圖九：全隔離組與半隔離組的死亡率比較(n = 取樣數)。

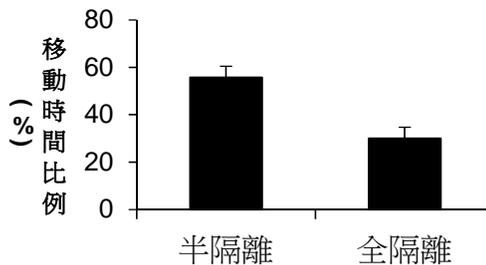
二、不同隔離程度對蟑螂行為的效應

(一) 蟑螂的移動總和距離

在相同的觀察時間內(20 分鐘)，半隔離組的平均移動總距離比全隔離組來得多，但未具顯著性差異。

(二) 蟑螂的移動時間

半隔離組的蟑螂會進行移動的時間較全隔離組更長，運動時間更持久(兩組相差 25.77%)且達統計上的顯著差異(圖十)。



圖十：隔離組(n = 20)與半隔離組(n = 18)個體的移動時間比率(%，平均 ± 標準誤)。兩組相比： $p = 0.001$ (單尾 t 檢定)。

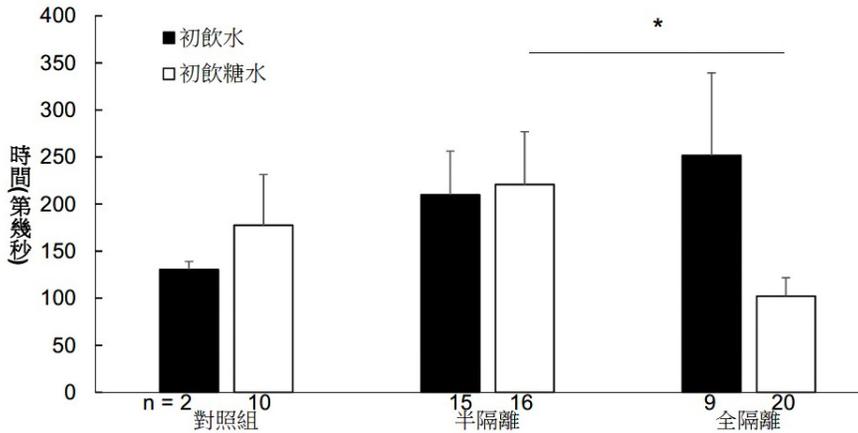
(三) 蟑螂的最大速度

半隔離組移動的最大速度與全隔離組幾乎沒有差異，未達統計顯著標準。

(四) 不同隔離程度的蟑螂對不同資源的攝取選擇的急迫性

以初飲水或飲糖水的時刻早晚，代表對於飲水或飲糖水需求的急迫性。飲水的

急迫性在全隔離組與半隔離組間、全隔離組與對照組間、半隔離組與對照組間皆無明顯的差異，但隨著隔離程度增加而減少(圖十一)。而對於飲用糖水需求急迫性以全隔離組為最高，全隔離組與對照組間和半隔離組與對照組間並無明顯的差異，但全隔離組與半隔離組間相差甚多(圖十一)。

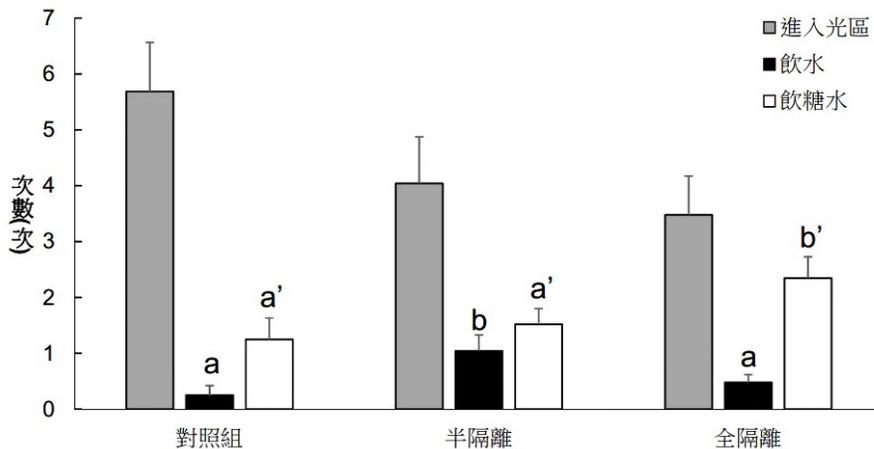


圖十一：半隔離組與隔全離組(n=23)初次飲水或飲糖水時間(秒，平均 ± 標準誤)。
 初飲水的各組相比：皆未達統計顯著差異(單尾 t 檢定， $p > 0.05$)。
 初飲糖水的各組相比：*： $p < 0.05$ 。

(五) 不同隔離程度的蟑螂在進入光區後的行為

在蟑螂進入光區以後，全隔離組與對照組的飲水次數沒有顯著差異，飲糖水次數也沒有顯著差異(圖十二)。半隔離組的飲水次數大於對照組與全隔離組，而全隔離組的飲糖水次數大於對照組與半隔離組

(圖十二)。此外，進入光區的次數隨著隔離程度的增加而減少，飲糖水的次數則隨著隔離程度的增加而上升。飲水次數則以半隔離組為最多(圖十二)。

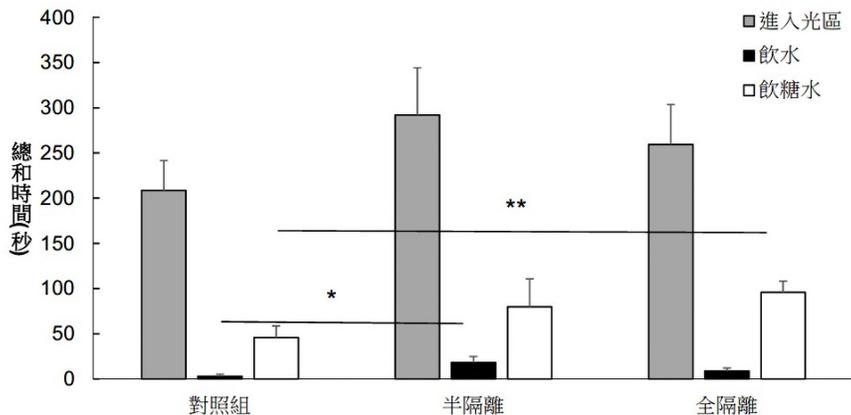


圖十二：對照組(n =16)、半隔離組(n =23)與隔全離組(n=23)個體進入光區、飲水與飲糖水次數(次，平均 ± 標準誤)。
 各組相比：a 與 b 之間、a' 與 b' 之間達統計顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

(六) 不同隔離程度的蟑螂在光區內攝取清水或糖水的總時間

比較各組在光區內進行攝取清水或糖水的總時間，在飲水的總時間指標中發現半隔離組多於對照組，而與全隔離組的飲

水時間相差較小；對於飲糖水的總時間，全隔離組多於對照組，而與半隔離組相差較小(圖十三)。



圖十三：對照組(n =16)、半隔離組(n =23)與全隔離組(n=23)個體進入光區、飲水與飲糖水總時間(秒，平均 ± 標準誤)。
各組相比(單尾 t 檢定)：*：p <0.05、**：p <0.01。

三、不同隔離程度對蟑螂生理的效應

(一) 心臟搏動的時間週期

全隔離與半隔離組蟑螂的心臟搏動在收縮指標與舒張指標皆沒有明顯的差別，而兩組的心臟舒張時間雖長於收縮的時間，但未達統計顯著標準(單尾 t 檢定，p > 0.05)。

(二) 呼吸週期中換氣與非換氣期的時間

觀察各組間換氣期與非換氣期的時間，除全隔離組外，對照組與半隔離組的換氣期皆長於非換氣期；全隔離組的換氣期比對照組短；半隔離組的非換氣期長於對照

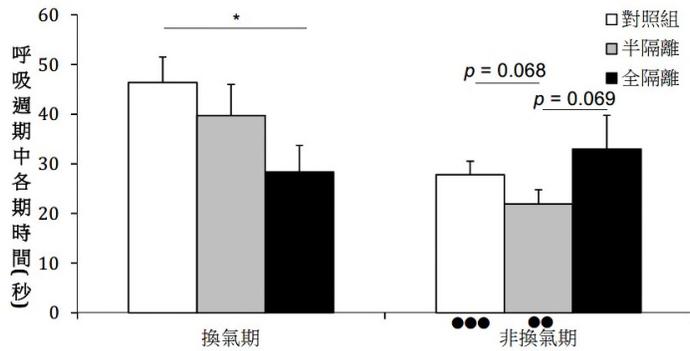
組(圖十四)。隨著隔離程度的增加，換氣期有逐漸下降的趨勢，而非換氣期在全隔離組達最長。

(三) 呼吸週期長度

計算各組的呼吸周期，發現無論全隔離組與半隔離組間、全隔離組與對照組間、半隔離組與對照組間，皆沒有顯著性的差異。

(四) 不同隔離程度的代謝率

無論是耗氧速率，或者是產二氧化碳速率，在各組間皆沒有達到統計上的顯著差異。



圖十四：對照組(n = 8)、半隔離組(n = 8)與全隔離組(n = 8)呼吸週期中換氣期與非換氣期的時間(秒，平均 ± 標準誤)。

各組間相比：*：p < 0.05 (單尾 t 檢定)。

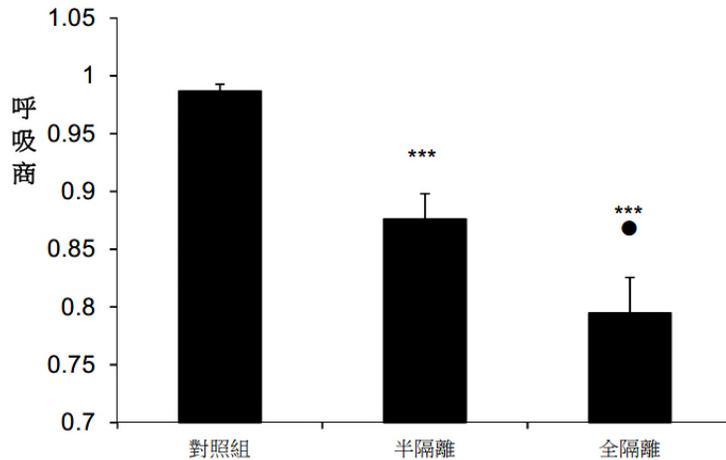
與換氣期相比：●●：p < 0.01、●●●：p < 0.005 (單尾配對 t 檢定)。

(五) 不同隔離程度的呼吸商

各組的呼吸商比較，半隔離組與對照組、全隔離組與對照組間皆達到統計上的顯著差異(圖十五)，並且隨著隔離程度的增加，呼吸商逐漸下降。

(六) 不同隔離程度的脂肪體觸酶活性

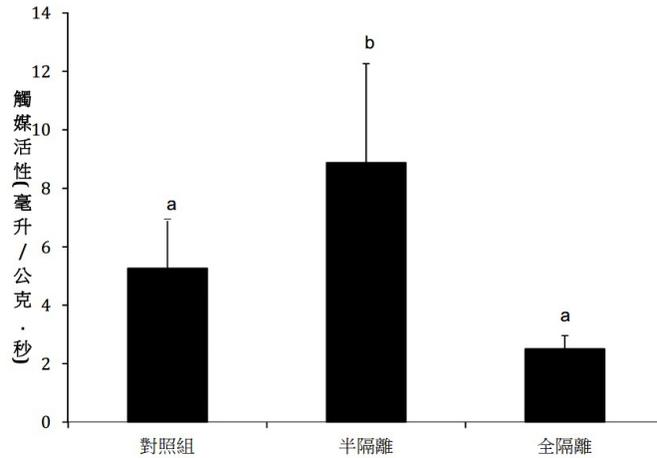
比較脂肪體觸酶活性，全隔離組與對照組相差較少，未達統計上的顯著差異。半隔離組的脂肪體觸酶活性大於全隔離組與對照組(圖十六)。



圖十五：對照組(n = 8)、半隔離組(n = 8)與全隔離組(n = 8)的呼吸商比較(平均 ± 標準誤)。

與對照組相比：***：p < 0.005 (單尾 t 檢定)。

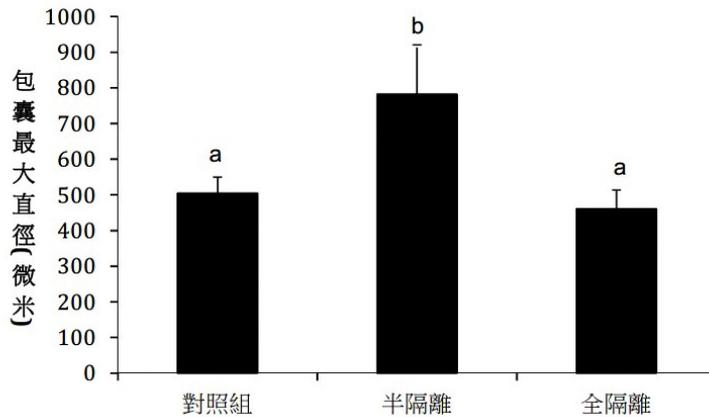
與半隔離組相比：●：p < 0.05 (單尾 t 檢定)。



圖十六：空白對照組(n = 13)、全隔離組(n = 13)與半隔離組(n = 10)蟑螂脂肪體的脂肪體觸酶活性比較(平均 ± 標準誤)。各組相比：a 與 b 之間達統計顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

(七)、不同隔離程度的包裹作用
免疫反應後包裹的直徑比較，全隔離組與

對照組相差較小。而半隔離組的直徑大於全隔離組與對照組(圖十七)。



圖十七：對照組(n = 27)、全隔離組(n = 20)與半隔離組(n = 12)的包裹作用比較(平均 ± 標準誤)。各組相比：a 與 b 之間達統計顯著差異(單尾 t 檢定， $p < 0.05$)。

肆、討論

本研究建立昆蟲的社會孤立動物模式，發現社會孤立對美洲蟑螂的死亡率、行為表現(表一)與生理表現(表二)皆具有影響，證明孤立對非社會性昆蟲亦會產生

效應。本研究也發現個體間的費洛蒙交流可減少孤立所帶來的效應，代表個體間的費洛蒙交流在昆蟲的社交互動中，扮演重要角色。

表一：全隔離與半隔離在與死亡率與行為指標的比較。

指標	死亡率	行為指標			
		移動距離	移動時間比例	飲水次數	飲糖水次數
全隔離的效應 (與半隔離比)	↑	↓	↓	↓	↑

表二：全隔離與半隔離在生理指標的比較。

指標	生理指標				
	換氣期	非換氣期	呼吸商	脂肪體的脂肪體觸酶活性	包囊作用
全隔離的效應 (與半隔離比)	↓	↑	↓	↓	↓

一、社會隔離使昆蟲的死亡率增加

社會孤立是死亡的危險因素(Holt-Lunstad, *et al.*, 2015)，本實驗亦發現即便是非社會性的昆蟲，孤立會增加死亡率。

二、社會隔離增加昆蟲對能量的消耗

完全隔離的蟑螂，比僅靠氣味與同伴溝通、交流的蟑螂，減少移動的距離，且移動的時距也比較短，可能為了減少能量

的耗損。但即使全隔離的蟑螂耗損能量較少，仍比半隔離的蟑螂有更高的糖水需求。並且經過全隔離的蟑螂會更有效率的取得資源，也會在最快的時間內取得糖水(表三)；而隨著隔離程度的增加，蟑螂會更善用在光區的時間，進行更多的有效資源的攝取行為(表三)，此結果顯示隔離壓力會提高蟑螂對能量的需求。

表三：全隔離、半隔離與對照組昆蟲在資源攝取行為的趨勢。

	對照組	半隔離	全隔離
進光區次數	↑	—	↓
飲糖水次數	↓	—	↑
飲糖水時間 進入光區時間	0.22	0.27	0.37

一般動物獲得的葡萄糖以支鏈多醣糖原或甘油三酯的形式儲存在體內，以滿足未來的能量需求。昆蟲會以脂肪細胞的糖

原和甘油三酯的形式作為主要能量儲備方式(Estela and Jose, 2011)。社會孤立會增加蟑螂的能量消耗，所以蟑螂會減少消耗能

量的活動，且增加能量的攝取。

由蟑螂的呼吸週期變化與探索行為之趨勢(表四)，我們推測，蟑螂只需要透過呼吸，就能夠感受到同伴的存在。但又因為阻擋而看不見同類的存在，故會增加換氣

時間，而縮短非換氣期的時間，且半隔離的蟑螂常增加探索試圖找到同類的行為；全隔離蟑螂在長期孤立的情況下，使身體處於長期的備戰模式，所以全隔離者需要儲存更多的能量，以度過社會孤立的逆境。

表四：全隔離與半隔離蟑螂在呼吸週期與探索行為變化的趨勢

	換氣期	非換氣期	移動時間量	移動距離
全隔離	↓	↑	↓	↓
半隔離	↑	↓	↑	↑

三、社會隔離使昆蟲不利於存活

由呼吸商變化顯示，此時全隔離的蟑螂所代謝的主要物質為脂質，而半隔離的則代謝葡萄糖與脂質。脂質對昆蟲而言是長期的代謝物質，產生的能量能夠長期提供，通常是在準備進行長久的飛行時才會代謝脂質以貯備能量，而代謝脂質對受到社會孤立的蟑螂而言，揭示昆蟲正面對長期壓力，故需要貯備能量以面對高強度的逆境。這證明社會孤立對昆蟲而言屬於逆境，會造成負面影響。且脂質轉變蛋白，當這些蛋白質轉變為逆境反應系統的一部分時，會導致抗病性降低(Adamo, 2017)。有科學家證明，社會隔離的刺激會使肝癌小鼠的免疫力下降，更快死亡(Hui and Zhun, 2005)。

本實驗發現全隔離組與半隔離組的脂肪體觸酶活性，與包囊作用的免疫反應，

具有相同的趨勢(表 5)。觸酶活性的強度代表體內氧化反應的強弱，而氧化是進行免疫反應時常見的化學反應。在無脊椎動物中，先天免疫系統的運動細胞使高能的活性氧產生，是一種對抗病原體的通用方法，此反應最常由巨噬細胞來運作(Chainy, et al., 2016)。活性氧也是由吞噬細胞針對膜擾動而產生的物質，例如：受體—配體相互作用和吞噬作用，吞噬細胞憑藉其抗菌特性保護這些細胞免受病原體的侵害。免疫系統會受到氧化應激能力的限制(Jacqueline, et al., 2015)，全隔離組的蟑螂氧化壓力之脂肪體觸酶活性相對半隔離組下降，而使象徵免疫反應的包囊作用相對半隔離組蟑螂下降，揭示受到社會隔離的蟑螂在未來面對疾病的威脅時，會更不利於戰勝病原體。

表五：全隔離與半隔離組昆蟲在脂肪體觸酶活性與免疫反應指標的趨勢。

	觸媒活性	免疫反應
全隔離	↓	↓
半隔離	↑	↑

四、昆蟲的社會隔離與哺乳動物之社會隔離比較

人類和其他社會性哺乳動物體驗到與群體隔離是一種壓力，對他們的總體福祉和身體健康產生負面影響。被孤立的人變得孤獨、抑鬱和焦慮，並遭受免疫系統的削弱和整體健康受損(Scharf, *et al.*, 2021)。而在本研究中表明，社會孤立也會使蟑螂的免疫能力下降、更容易受到病原體的侵害，這與對其他社會性動物的研究結果一致。換言之，社會隔離後免疫功能會減弱。

五、由隔離程度的行為與生理反應的差異，如何減緩社會孤立帶來的影響

根據本實驗的結果，在受到隔離壓力的情況下，半隔離組蟑螂的負面反應會較輕，代表即使個體間無法直接進行社會互動，但若有其他個體費洛蒙的刺激，可減緩社會孤立的逆境效應。以人類生活為例，在不能接觸朋友、家人的情況，給予氣味的輔助(如人的體香、嬰兒的奶香)能減緩隔離壓力的負面影響。可提供受社會隔離者、或者罹患分離焦慮症(Separation Anxiety Disorder, SAD)者能散發體香之擬真玩偶、機器人，以協助其面對社會孤立所造成的生理負擔。或是尋找其他人類社會互動的刺激物，以產生類似蟑螂間的費

洛蒙刺激，以減緩社會隔離逆境所造成的傷害。

伍、參考資料

- Abbott A. 2021. COVID's mental-health toll: how scientists are tracking a surge in depression. *Nature*. 590(7845): 194-195.
- Adamo S. A. 2017. Stress responses sculpt the insect immune system, optimizing defense in an ever-changing world. *Dev. Comp. Immunol.* 66: 24-32.
- Boulay, R, Quagebeur, M, Godzińska, E. and Lenoir, A. 1999. Social isolation in ants: evidence of its impact on survivorship and behavior of the ant *Camponotus fellah* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*. 33: 111-124.
- Boulay, R. and Lenoir, A. 2001. Social isolation of mature workers affects nestmate recognition in the ant *Camponotus fellah*. *Behav. Processes*. 55(2): 67-73.
- Chainy, G. B., Paital, B. and Dandapat, J. 2016. An Overview of Seasonal Changes in Oxidative Stress and Antioxidant Defence Parameters in Some Invertebrate and Vertebrate Species. *Scientifica*. 2016: 6126570.
- Estela, L. and Jose, L. 2011. Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annu. Rev. Entomol.* 55: 207-225.
- Holt-Lunstad, J., Smith, T. B., Baker, M., Harris, T. and Stephenson, D. 2015. Loneliness and social isolation as risk factors for mortality: a meta-analytic review. *Perspect. Psychol.Sci.* 2015;10(2):227-237.
- Hui, L. and Zhun, W. 2005. Effects of social isolation stress on immune response and survival time of mouse with liver

- cancer. *World J Gastroenterol.* 11(37): 5902-5904.
- Jaqueline, B., Leonardo, T., Fábio, M. and Elisabeth U. 2015. The immune system is limited by oxidative stress: Dietary selenium promotes optimal antioxidative status and greatest immune defense in pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Fish Shellfish Immunol.* 47(1):360-7.
- Koto A, Mersch D, Hollis B, Keller L. 2015. Social isolation causes mortality by disrupting energy homeostasis in ants. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **69**: 583-591.
- Li, Y., Wang, S., Liu, Y., Lu, Y., Zhou, M., Wang, S. and Wang, S. 2020. The Effect of Different Dietary Sugars on the Development and Fecundity of *Harmonia axyridis*. *Front. Physiol.* 11: 574851.
- Lihoreau, M., Brepson, L. and Rivault, C. 2009. The weight of the clan: even in insects, social isolation can induce a behavioural syndrome. *Behav. Processes.* 82(1): 81-84.
- Scharf, I., Stoldt, M., Libbrecht, R., Höpfner, A. L., Jongepier, E., Kever, M. and Foitzik, S. 2021. Social isolation causes downregulation of immune and stress response genes and behavioural changes in a social insect. *Mol. Ecol.* 30(10): 2378-2389.
- Sherman, B. L. 2008. Separation anxiety in dogs. *Compend Contin Educ Vet.* 30(1): 27-42.
- Stevenson, P. A. and Rillich, J. 2013. Isolation associated aggression--a consequence of recovery from defeat in a territorial animal. *PloS one.* 8(9): e74965.
- Teo, A. R., Markwardt, S. and Hinton, L. 2019. Using Skype to Beat the Blues: Longitudinal Data from a National Representative Sample. *Am. J. Geriatr. Psychiatry.* 27(3): 254-262.
- 吳季昀、蔡任圃，2017。認識身旁的小傢伙(19)探討昆蟲免疫系統之敵我辨識與記憶效應等性質的實驗方法。科學教育月刊，398，25-38。
- 黃瑜緹、施雯文、蔡任圃，2019。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，科學教育月刊，418，30-44
- 趙事柔、吳雨璇、蔡任圃，2019。認識身旁的小傢伙(22)－利用免疫抑制藥物探討昆蟲包囊作用的分子機制。科學教育月刊，416，29-45。
- 劉茲妤、陳郁婷、蔡任圃，2016。認識身旁的小傢伙(21)－酒精對蟑螂行為與生理之 Hormesis 與其他效應的探討。科學教育月刊，415，14-33。
- 蔡任圃，2014。認識身旁的小傢伙(14)－昆蟲包囊作用的觀察。科學教育月刊，371，41-47。