

花蓮縣 第 62 屆 國民中小學科學展覽會作品說明書

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：杜比亞蟑螂腸道菌對其攝食行為之影響

關鍵詞：杜比亞蟑螂、腸道菌、纖維素

編號：

摘要

本研究自杜比亞蟑螂(*Blattella germanica*)腸道中分離出了 22 株微生物(C1~C22)，利用剛果紅法及 DNS 法檢測後發現其中有 3 株細菌具有纖維素分解能力(C15、C20、C21)，每毫升約可製造出 0.32~0.39 mg 還原糖。進一步研究發現，在餵食蟑螂紅黴素及四環黴素減少體內腸道菌後，觀察到了當腸道中微生物較少時，含有纖維素分解菌的液體會對蟑螂具有高吸引力；而在蟑螂攝取較多纖維素分解菌後，亦會增加蟑螂對纖維質食物的攝取，因此推論，蟑螂體內腸道菌的種類與數量會對蟑螂的取食行為造成影響。此外，本研究利用紙錠擴散法觀察蟑螂腸道菌之間的關係，發現腸道中的 C1、C6、C18 對部分微生物具有抑制功能，推測蟑螂腸道菌種間彼此競爭抑制功能巧妙地維持著腸道菌相動態平衡與蟲體健康。

壹、前言

一、研究動機

有一次我們在實驗室觀察杜比亞蟑螂時，發現了飼養箱中的衛生紙及紙蛋盒有許多被蟑螂啃食的痕跡(圖 1)，我們感到很疑惑，為什麼蟑螂不吃放了很久的飼料，而選擇吃衛生紙及紙蛋盒呢？蟑螂要如何分解纖維素呢？腸道是否存在可以分解纖維素的微生物呢？蟑螂的腸道菌在體內還扮演了什麼重要角色呢？於是我們便決定以蟑螂腸道菌為主題進行相關研究。

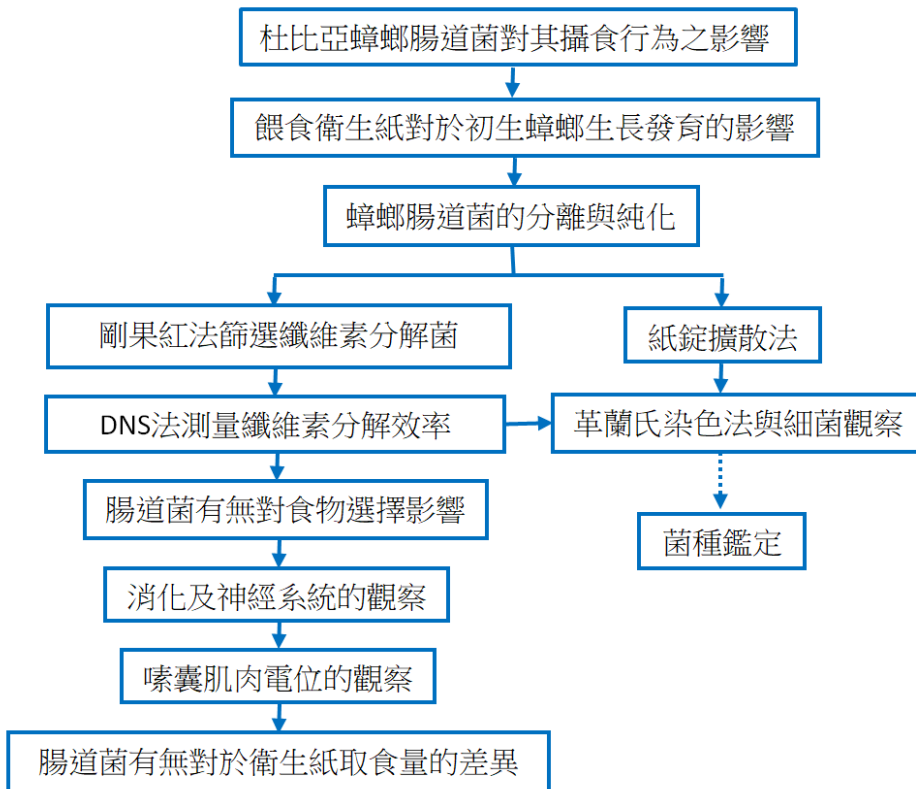


圖 1 杜比亞啃食紙蛋盒及衛生紙

二、研究目的

- (一)觀察纖維素對於杜比亞蟑螂生長的影響
- (二)分離杜比亞蟑螂腸道菌，檢測是否具備纖維素分解能力
- (三)觀察杜比亞蟑螂腸道菌對於食物選擇的影響
- (四)探討杜比亞蟑螂腸道菌之間的關係

三、研究流程



四、文獻回顧

(一)杜比亞蟑螂

杜比亞蟑螂(*Blattella dubia*)在分類上屬於節肢動物門昆蟲綱蜚蠊目。原產於南美洲，是森林底棲型蟑螂，沒有攀爬光滑面的能力，棲息地的食物有種子、落果及嫩芽。杜比亞蟑螂從幼體到成體約需 4~6 個月，成體到產卵約 2~3 個月(圖 2)。雄性成體具有完整的翅膀，雌性成體只有翅芽，約四齡以後可以從翅芽與腹部尾端的生殖板進行辨識。雌性成體繁殖時會將卵鞘粘附於腹部後端(圖 3)，雄性個體將精子排入受精後，雌性個體會將卵鞘收回腹部，在體內發育，約 20 天左右直接生出小蟑螂，如果卵鞘沒有及時受精，則會被雌性拋棄於體外，無法孵出小蟑螂。雌性成體單次產量約 20~35 隻，生殖次數約 1~6 次。在台灣，杜比亞原作寵物用途，因繁殖力強而變成肉食爬蟲與昆蟲飼料。



圖 2 杜比亞蟑螂成長過程



圖 3 雌性成體與卵鞘

(二)昆蟲腸道微生物

昆蟲擁有豐富的微生物資源，有些共生微生物可以幫助宿主分解食物、降解來自環境中的化合物、合成一些必需營養物質或抵抗病菌。例如：黑水虻的幼蟲可透過腸道菌將有機廢棄物轉化為更多營養物質或更容易吸收的養分，使其體重及蛹長增加；黑斑土椿象在冬眠期間會透過腸道菌進行尿酸回收利用，作為合成胺基酸的原料，並幫助宿主抗氧化和避免 DNA 損傷；蚊子體內有許多 *Asaia* 屬的細菌共生，影響蚊子免疫及營養相關基因的表達，延長蚊子各生活史之存活率、壽命和幼蟲之化蛹成功率；中華瘧蚊腸道中的黏質沙雷氏菌(*Serratia marcescens*)可以透過調控中腸基因增強免疫反應，幫助宿主抵抗瘧原蟲感染(陳欣妤，2021)；白蟻腸道中除了有原生生物能將纖維素分解，還有共生細菌協助利用空氣中的氮(Moriya Ohkuma，2015)，蟑螂與白蟻是近親，同屬蜚蠊目，因此我們推測蟑螂體內應該也有可分解纖維素的微生物。

(三)纖維素與纖維素酶

纖維素是纖維狀、堅韌、不溶於水的物質，主要由約 10,000~15,000 個葡萄糖單元構成，分子間以 β -1,4-糖苷鍵連結成長鏈狀的聚合物(圖 4)，而長鏈與長鏈之間再以氫鍵結合成網狀結構，纖維素排列緊密，結構穩定，不易被一般動物消化分解。

纖維素酶至少包含三種酶群：內切纖維素酶、外切纖維素酶、 β 葡萄糖苷酶，分別作用於纖維素分子內部之非結晶區、結晶區及短鏈纖維寡糖(圖 5)。纖維素分解後形成葡萄糖或雙糖可以提供生物本身養分，近年來亦是製造生質酒精的熱門材料(謝志誠，2007)。

纖維素酶存在於許多植物、動物、微生物體內，在歷屆科展作品中也有對衣魚、锹形蟲的體內的纖維素分解菌進行相關研究，目前對於蟑螂的纖維素分解菌研究較少，因此我們便以此為主題，並希望進一步探討纖維素對於蟑螂攝食行為的研究。

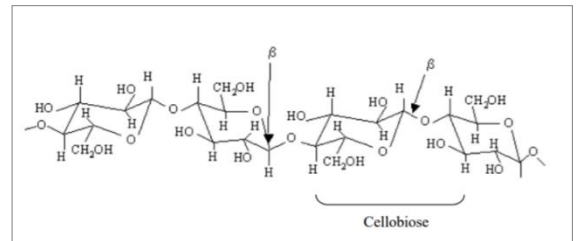


圖 4 纖維素的化學結構(謝志誠，2007)

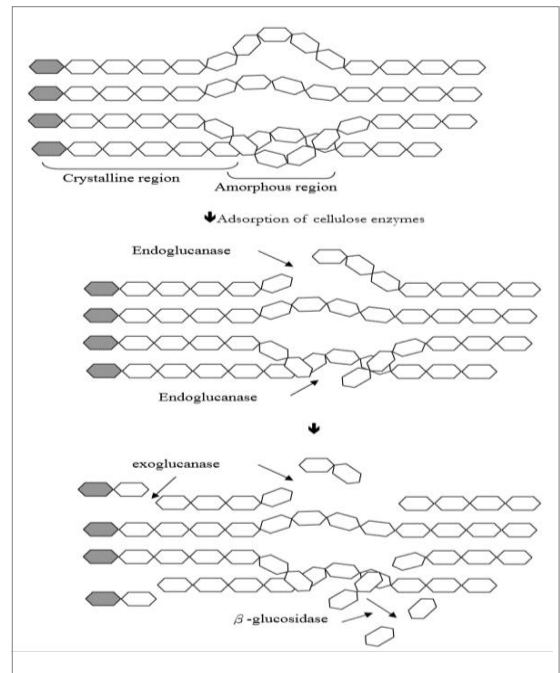
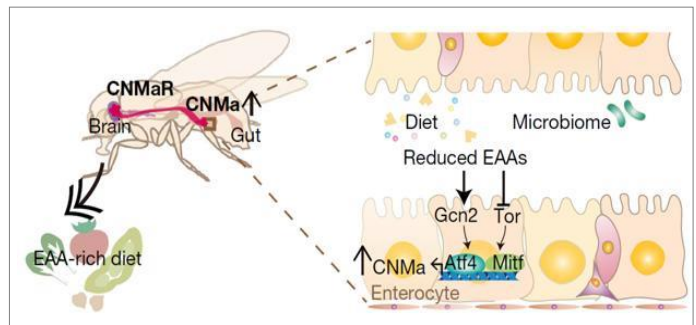


圖 5 纖維素酶作用機制(謝志誠，2007)

(四)腸－腦軸(gut－brain axis)

許多微生物與宿主會演化出互利、片利等共生關係來達到生存或傳播目的，例如：偏側蛇蟲草菌(*Ophiocordyceps unilateralis*)在感染螞蟻後，會在孢子形成前引導宿主到特定高度，把下顎骨固定在葉脈上直到死亡；狂犬病毒透過影響中樞神經的發炎機制，增加宿主的侵略性(咬傷)，達到傳播的能力。此外，許多研究更證實了腸道與大腦之間的密切關聯，腸道微生物透過迷走神經、內分泌及免疫等系統影響了動物的行為，例如：若將自閉症患者糞便移植到小鼠腸道中，小鼠也會出現自閉症症狀；腸道中的乳酸桿菌屬(*Lactobacillus*)和雙歧桿菌屬(*Bifidobacterium*)能產生 GABA(一種中樞神經抑制性神經傳遞物質)，調節小鼠的內臟疼痛反應，改善小鼠低落焦慮情緒(高維真，2019)。另一份研究則發現在自閉症小鼠及兒童腸道菌代謝物 4EPS 在血液中有較高含量，且會抑制寡樹突細胞成熟，減少大腦髓鞘形成，因此產生負面情緒與焦慮行為，若使用 AB-2004 藥物抑制 4EPS 含量，則可改善易怒與焦慮行為(Brittany D. Needham et al.,2022)。韓國科學技術研究員以果蠅進行研究，發現當食物中過度缺乏蛋白質時會導致一種神經肽(CNMamide)的腸道激素從腸細胞釋出，透過血液影響腸道與大腦的神經細胞，讓果蠅產生想要吃胺基酸食物的慾望，而腸道中醋酸桿菌則會產生胺基酸，彌補蛋白質缺乏現象，改變



CNMamide 釋放，降低果蠅對蛋白質的渴望(圖 6)(生物通，2021)。愈來愈多研究證實腸道菌與生物行為間的關聯性，有助於我們瞭解生物間的關係或是運用於飲食控制、疾病治療上，深具研究與應用價值。

圖 6 微生物－腸－腦軸概述(生物通，2021)

貳、研究設備及器材

杜比亞蟑螂(實驗室自行養殖)、飼養箱、滅菌釜、無菌操作台、恆溫震盪培養箱、烘箱、分光光度計、離心機、水浴槽、電子天平、解剖顯微鏡、複式顯微鏡、微量滴管(pipetman)、電磁爐、鑷子、酒精燈、玻璃比色管、離心管、血清瓶、鍋子、燒杯、載玻片、蓋玻片、培養皿、稱量紙、拭鏡紙、鋁箔紙、滅菌膠帶、接種環(loop)、牙籤、三角玻棒、解剖針、瓦楞板、濾紙、打洞機、D1 mini、AD8232、LB 培養基、洋菜粉、二次過濾水、剛果紅(congo red)、氯化鈉(NaCl)、酒精(C_2H_5OH)、酵母萃取物(yeast extract)、羧甲基纖維素(CMC, carboxymethyl cellulose)、磷酸二氫鈉(NaH_2PO_4)、磷酸氫二鈉(Na_2HPO_4)、磷酸二氫鉀(KH_2PO_4)、磷酸氫二

鉀(K_2HPO_4)、3,5-二硝基水楊酸(DNS, 3,5-Dinitro-2-hydroxybenzoic acid)、酚(C_6H_5OH)、亞硫酸鈉(Na_2SO_3)、氫氧化鈉($NaOH$)、氫氧化鉀(KOH)、硫酸鎂($MgSO_4$)、硝酸銨(NH_4NO_3)、氯化鐵六水化合物($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)、氯化鈣($CaCl_2$)、紅黴素(Erythromycin)、四環黴素(Doxymycin)、米糠粉、結晶紫染液、革蘭氏碘液、番紅花染液、油鏡油



圖 7 實驗器材

參、研究過程與結果

一、餵食衛生紙對於初生蟑螂生長發育的影響

(一)目的：我們將母蟑螂剛剛孵出的小蟑螂隨機分成兩組(圖 8)，觀察餵食衛生紙的小蟑螂是否能順利長大。

(二)方法：











- 1.剛孵出的小蟑螂體呈白色，末端深棕色，長約 0.8 公分，數小時後逐漸變黑，尚無法區分性別，因此隨機分成兩組，每組各 15 隻，總重量為 0.40 克，一組僅餵食衛生紙及水，另一組加入米糠粉，每週測量體長及體重。
- 2.米糠粉購自昆蟲飼料賣場，平均成分約含水 10~13.5 %，蛋白質 11.5~14.5 %，脂肪 10~15 %，粗纖維 6~9 %，粗灰分 10.5~14.5 %，鈣 0.05~0.15 %，磷 1.0~1.8 % (茂群峪畜牧網，2022)。衛生紙的廠牌為舒潔，產品標示為 100 % 原生紙漿，無添加香料，螢光劑。

(三)結果：兩組小蟑螂來自同一個親代之卵鞘，基因相似度高。餵食衛生紙一個月後，小蟑螂體重較餵食米糠粉組輕，生長緩慢，但無死亡個案(表 1)，表示小蟑螂應該可自衛生紙獲得一部分養分，但可能會有營養不良現象。



圖 8 剛孵出的小螞蟻，共有 32 隻

表 1 餵食衛生紙對於初生螞蟻生長的影响

	第 0 天	第一週	第二週	第三週	第四週
米糠粉 + 衛生 紙和水	 體長 0.8 公分， 總重量 0.40 克	 體長 0.8 公分， 總重量 0.43 克	 體長 0.8 – 0.9 公分，總重量 0.47 克	 體長 0.9 公分， 總重量 0.55 克	 體長 0.9 公分， 總重量 0.56 克
衛生紙 和水	 體長 0.8 公分， 總重量 0.40 克	 體長 0.8 公分， 總重量 0.41 克	 體長 0.8 公分， 總重量 0.44 克	 體長 0.8 – 0.9 公分，總重量 0.45 克	 體長 0.8-0.9 公 分，總重量 0.47 克

二、杜比亞腸道菌分離與純化

(一)目的：每種微生物的營養需求不同，需使用不同培養基分離培養，本研究使用實驗室常用的 LB 培養基來分離純化杜比亞螞蟻腸道中的微生物。

(二)方法：

1.LB 培養基製作

(1)取一個 500 ml 燒杯，加入 5 g LB(含 tryptone、yeast extract、NaCl、維生素、微量元素、礦物質)，3 g agar，加過濾水至 200 ml，攪拌均勻後蓋上鋁箔紙，放入滅菌鍋滅菌(121 °C，1.2 atm，15 min)

(2)待 LB 培養液略為冷卻後，倒入無菌培養皿中，每個培養皿約倒入 15 ml 培養液。待培養基凝固後，無雜菌污染即可使用。

2.杜比亞螞蟻腸道菌分離

(1)取一般飼養環境(米糠粉)的杜比亞螞蟻一公一母，放入冷凍庫中，待其昏迷後，放入酒精中 1 分鐘，清除體表微生物。

(2)將蟑螂放在無菌培養皿中，以滅菌過的剪刀及鑷子從腹部剪開，清除周圍組織後取出腸道(圖 9)。

(3)將腸道放入 1.5 ml 無菌離心管中，以滅菌過的剪刀將腸道剪碎。

(4)將培養皿分成四區，利用接種環(loop)直接沾取腸道液體，劃在培養皿中。

(5)將培養皿倒放於 30 °C 恆溫培養箱中，培養 2 天。

3.腸道菌純化

(1)利用解剖顯微鏡挑選不同形狀，大小，顏色，質地的菌落，再以 loop 沾取菌落劃入 LB 培養基中。

(2)將培養皿倒放於 30 °C 恆溫培養箱中，培養 2 天。

(三)結果：

1.腸道菌分離結果如圖 10。

2.共純化出 22 種微生物，命名為 C1~C22，如圖 11。



圖 9 蟑螂解剖

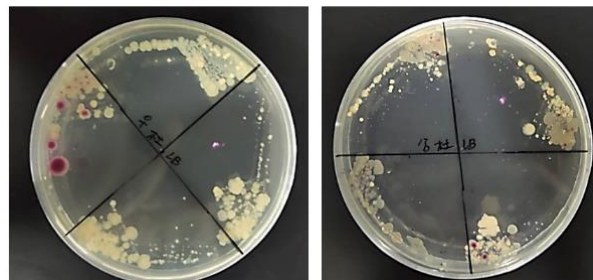


圖 10 腸道菌分離

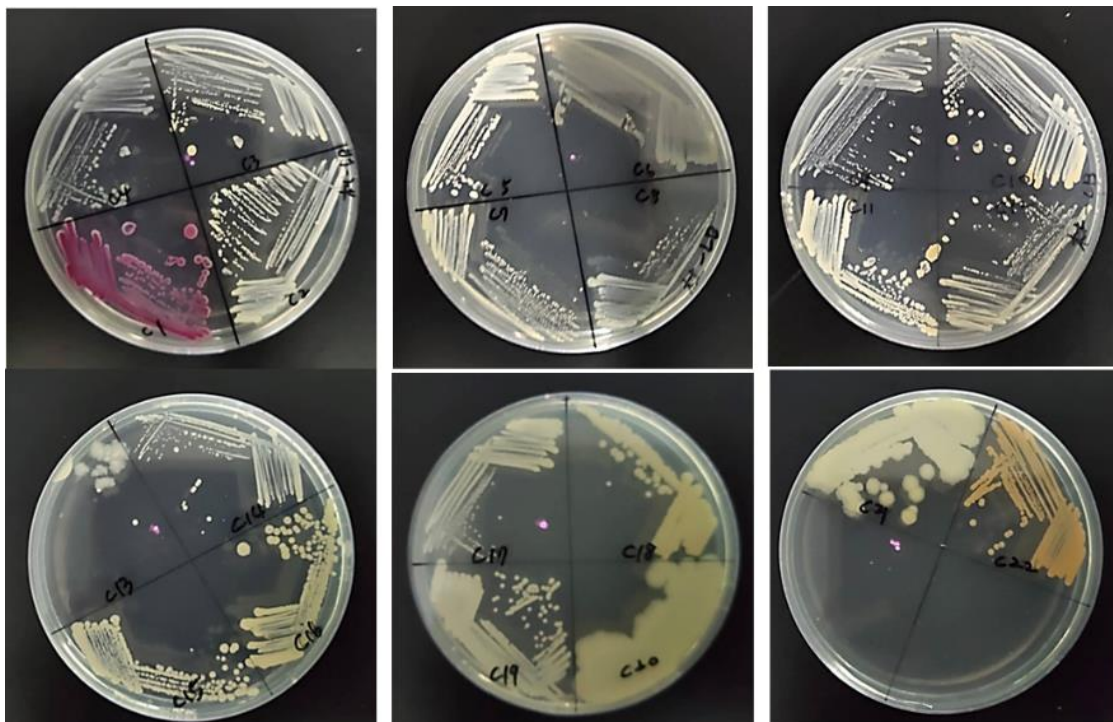


圖 11 腸道菌純化

三、利用剛果紅法篩選纖維素分解菌

(一)目的：纖維素是一種結構複雜的多醣，培養基中若含纖維素(CMC)則可與剛果紅結合而呈現紅色，但若培養基上的細菌具有酵素可分解纖維素，則會產生較短的醣類，與剛果紅結合能力較弱，呈現顏色較淡的酵素圈，因此我們使用剛果紅法初步篩選可分解纖維素的微生物。

(二)方法：

1.CMC-LB 培養基製作

(1)取一個 500 ml 燒杯，加入 1 g CMC，2.5 g LB，1.5 g agar，0.1 g 剛果紅，加過濾水至 100 ml，攪拌均勻後蓋上鋁箔紙，放入滅菌鍋滅菌。

(2)待培養液略為冷卻後，倒入無菌培養皿中，每個培養皿約倒入 15 ml。待培養基凝固後，無雜菌污染即可使用。

2.微生物接種:

(1)以無菌牙籤沾取菌落後刺入培養基中。

(2)將培養皿倒放於 30 °C 恆溫培養箱中 1 週，觀察是否有透明區域呈現。

(三)結果：在許多菌落區域外圍出現淡淡的不甚明顯的酵素圈，其中較清楚的是 C11、13、15、16、18、20、21 (圖 12)。

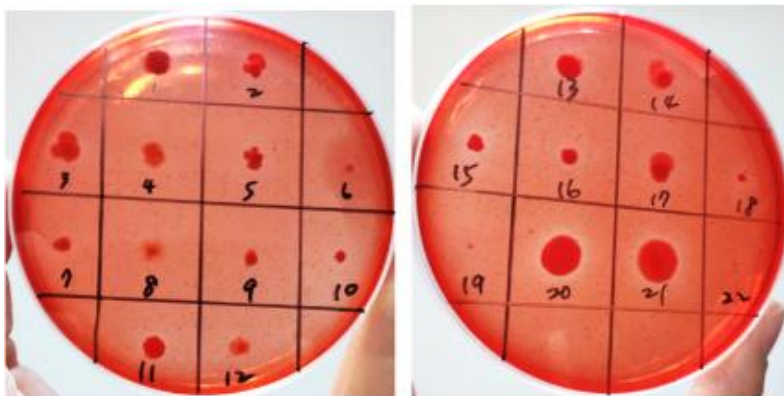


圖 12 剛果紅法篩選纖維素分解菌

四、利用 DNS 法測量纖維素分解情形

(一)目的：DNS (3,5-dinitrosalicylic acid) 法是利用 DNS 具還原力之特性，若碳水化合物具有游離或游離趨勢之醛或酮基(例如：葡萄糖、果糖、乳糖、麥芽糖等)，即能在鹼性溶液下被還原而進行反應(圖 13)，溶液由黃色變成紅棕色，在一定範圍內，濃度越高顏色越深。

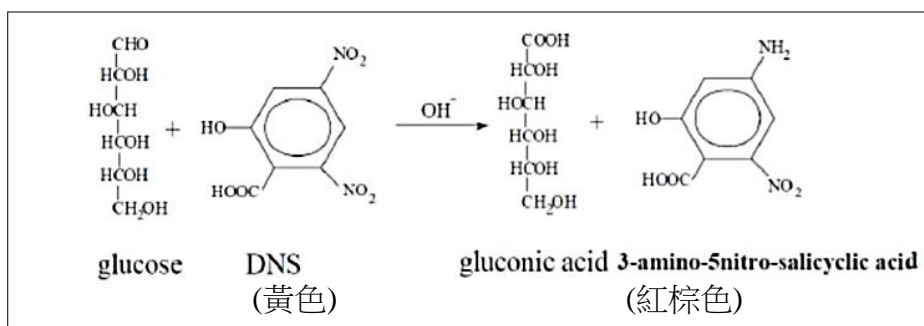


圖 13 DNS 與還原糖的反應

(二)方法：

1.粗酵素液萃取

- (1)分別將 C11、13、15、16、18、20、21 的菌落接種至 10 ml LB 培養液中，恆溫震盪培養(30 °C，120 rpm)1 天。
- (2)將 0.5 ml 菌液接種至 50 ml CMC 液體培養基中，以刺激纖維素酶的產生，恆溫震盪培養(30 °C，120 rpm)2 天。
- (3)LB 培養液：2.5 % LB。
- (4)CMC 液態培養基：1 % CMC，0.1 % K_2HPO_4 ，0.1 % KH_2PO_4 ，0.01 % MgSO_4 ，0.1 % NH_4NO_3 ，0.005 % $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，0.002 % CaCl_2 ，0.5 % yeast extract
- (5)每個菌液重複 3 次，各取 1 ml 菌液，以 10000 rpm 離心 10 min，取 0.5 ml 上清液作纖維素分解測定。

2.纖維素酶分解測定

- (1)取 0.5 ml 上清液，加入 0.5 ml 反應溶液(1 % CMC 溶於 0.1 M，pH 7 之 Na_2HPO_4 — NaH_2PO_4 磷酸緩衝溶液)，以 50 °C 水浴 1 hr。
- (2)取 1 ml DNS 試劑加入 1 ml 待測樣品混合均勻，沸水水浴 100 °C，10 min，冷卻後以分光光度計測量波長 540 nm 的吸收值(OD_{540})，帶入檢量線換算還原糖濃度。
- (3)DNS 試劑：1 % dinitrosalicylic acid，0.2 % Phenol，0.05 % sodium sulfite，1 % sodium hydroxide
- (4)葡萄糖檢量線：取 1 ml 不同濃度葡萄糖液(0，0.25，0.5，1，1.5，2 mg/ml)，各加入 1 ml DNS 試劑，沸水水浴 10 min，冷卻後以分光光度計測量波長 540 nm 下的吸收值，以 excel 軟體製作標準葡萄糖濃度檢量線，求出線性函數。

(三)結果：

- 1.標準葡萄糖檢量線如圖 14，輸入 excel 後可得線性函數 $y = 1.0406x - 0.0774$ 。將各次實驗測得 OD_{540} 值帶入函數後即可得知還原糖濃度。

2.本實驗利用 CMC 培養液培養 2 天進行實驗，養分較 LB 培養液少，CMC 含量較高，其中自 C11、13、16、18 得到的粗酵素萃取液對纖維素分解能力較差，C15、20、21 較佳，測得還原醣濃度分別為每毫升 0.32、0.39、0.35 mg(表 2、圖 15)。

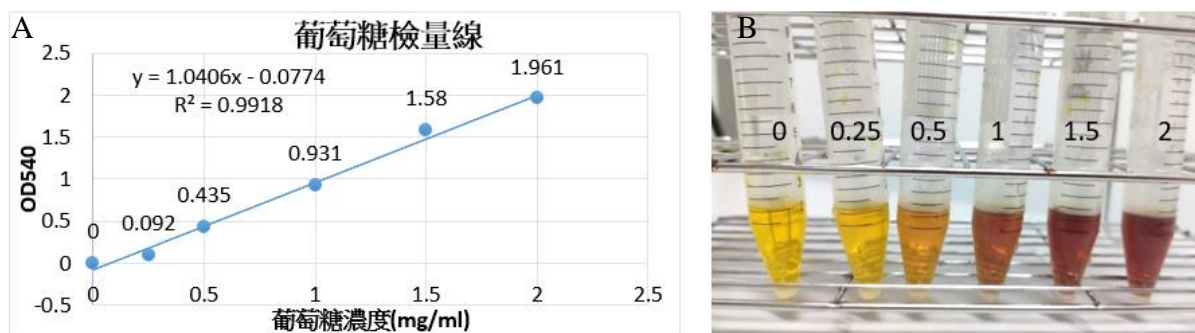


圖 14 A.標準葡萄糖檢量線 B.不同濃度葡萄糖液的 DNS 反應

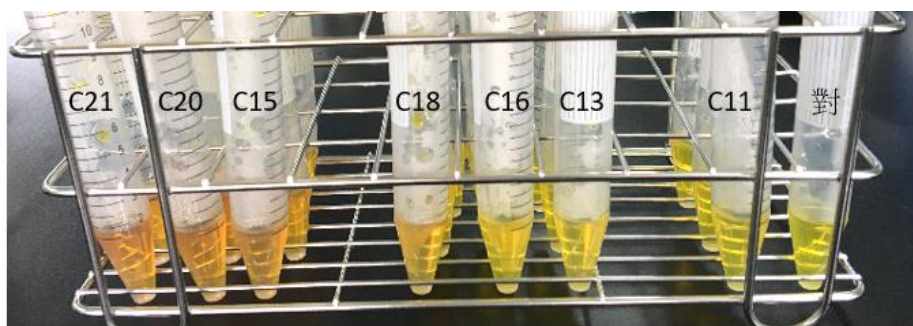


圖 15 纖維素酶活性測定

表 2 DNS 法測定纖維素活性

	第 1 管	第 2 管	第 3 管	平均 OD ₅₄₀	葡萄糖濃度(mg/ml)
C11	0.128	0.143	0.145	0.139	0.07
C13	0.214	0.208	0.195	0.206	0.14
C15	0.378	0.394	0.38	0.384	0.32
C16	0.232	0.241	0.226	0.233	0.17
C18	0.29	0.305	0.314	0.303	0.24
C20	0.457	0.461	0.425	0.448	0.39
C21	0.423	0.414	0.403	0.413	0.35

五、細菌觀察

(一)目的：利用革蘭氏染色法觀察 C15、20、21 並分辨其特徵。革蘭氏陽性菌的肽聚糖細胞壁較厚，染色後呈紫色。革蘭氏陰性菌的肽聚糖細胞壁較薄，另外還含脂多醣等，染色後呈紅色(圖 16)。

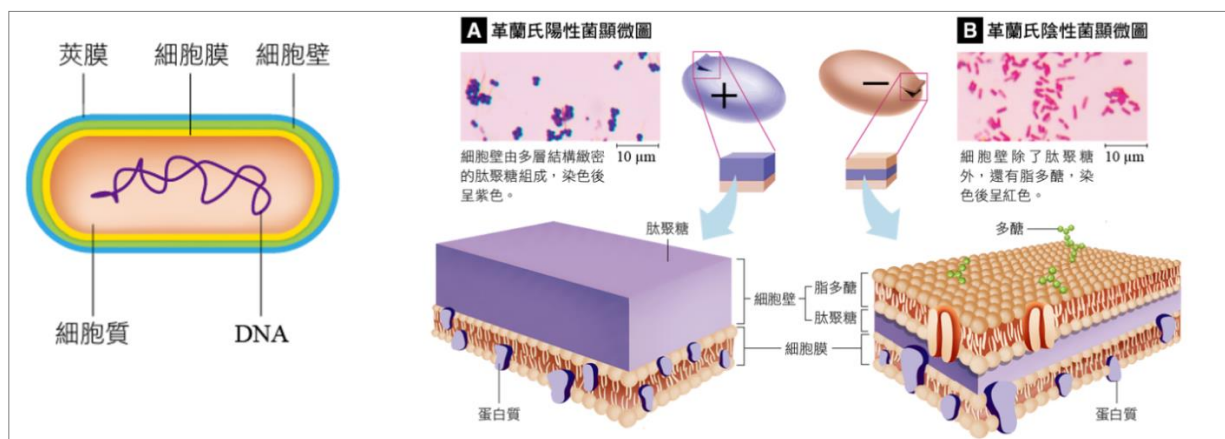


圖 16 細菌結構與革蘭氏染色(陳俊宏，2021)

(二)方法：

- 1.利用接種環取出培養 2 天的菌落均勻塗抹於乾淨載玻片中央。風乾後，快速在酒精燈上加熱 2~3 次，將菌體固定在玻片上。
- 2.將載玻片平放，先以結晶紫染液作用 1 分鐘，再以過濾水將剩餘染料沖洗去除。
- 3.加入革蘭氏碘液作用 1 分鐘，用過濾水沖洗。
- 4.再以 95%酒精進行脫色作用。將玻片斜置，由上往下滴入酒精溶液，直到流出的酒精變成無色後，再用水沖洗。
- 5.加入番紅花染液繼續作用 1 分鐘後用水沖掉多餘之染料，再以濾紙吸去玻片上之水份。
- 6.於複式顯微鏡下以 100 倍油鏡觀察細菌之外形與顏色，利用目鏡測微器計算細菌大小，再以手機拍照記錄。

(三)結果：

- 1.C15 呈長桿狀，兩端鈍圓，寬約 1.2~1.5 μm ，長約 3~6 μm ，在革蘭氏染色呈現紫色，細胞壁中含有較大量的肽聚糖，屬於革蘭式陽性菌。
- 2.C20 和 C21 極為相似，呈短桿狀，寬約 1~1.2 μm ，長約 2~5 μm ，格蘭氏染色亦呈紫色，屬於革蘭式陽性菌(圖 17)。

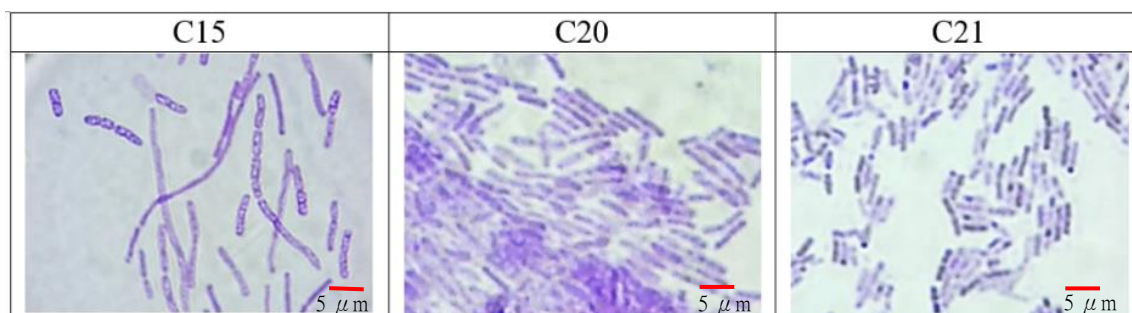


圖 17 革蘭氏染色與細菌觀察(1000X)

六、有無腸道菌對於蟑螂食物選擇的影響

(一)目的：參考文獻(Ryan B, 2014)所述，利用紅黴素及四環黴菌(圖 18)清除蟑螂腸道菌，觀察腸道菌是否會對蟑螂食物選擇行為造成差異。



圖 18 紅黴素與四環黴素

(二)方法：

1.挑選一般飼養環境中(餵食米糠粉)90 隻大小相似的杜比亞蟑螂，其中含 45 隻公蟑螂，45 隻母蟑螂，禁食飢餓 2 天後進行以下實驗。



圖 19 食物選擇實驗裝置

2.食物選擇實驗：利用塑膠隔板製作 L 型跑道(圖 19)，在不同路徑底端處放置兩種不同食物，每次實驗前以酒精擦拭避免氣味殘留，一開始在中央隔間放入 5 公，5 母，共 10 隻蟑螂，靜置

1 分鐘後打開隔板，觀察 5 min 內蟑螂對食物選擇行為，每個實驗均重複 3 次。

(1)實驗一：2 g 米糠粉或 1 g 米糠粉混合 1 g 糞便的選擇

(2)實驗二：含 4.5 ml 過濾水之衛生紙或含 C15、20、21 菌液各 1.5 ml 濕衛生紙的選擇

(3)實驗三：實驗一與實驗二優選者的選擇

3.菌液製作：取 3 個 50 ml 無菌離心管，各加入 10 ml LB 培養液，分別以接種環挑選 C15、20、21 單一菌落接種至 LB 培養液中，將離心管放入恆溫震盪培養箱中以 30 °C，120 rpm 培養 1 天。

4.利用同一批蟑螂，連續 10 天，在米糠粉飼料及飲用水中添加 1%紅黴素及四環黴素，10 天後禁食 1 天，收集糞便分析細菌含量，確認腸道菌清除情形。接著再飢餓 1 天進行上述方法 2 的食物選擇實驗。

5.將統計資料輸入 excel，進行 t-test 統計分析。

6.細菌含量分析

(1)取 0.1 g 糞便以無菌水序列稀釋 10^{-1} ~ 10^{-6} 倍。

(2)以微量滴管(pipetman)吸取 10^{-6} 倍稀釋液 100 μ l，滴入 LB 培養基中，再以三角玻棒塗抹均勻，每組重複 2 次。

(3)將培養皿倒放於 30 °C 恆溫培養箱中，培養 2 天後觀察菌落數。

(三)結果：

1.細菌含量分析結果如圖 20，餵食紅黴素及四環黴菌後的蟑螂，糞便含菌量大幅降低。

2. 無論蟑螂有無腸道菌，米糠粉對蟑螂的吸引力均較加糞米糠好，有趣的是無腸道菌組的母蟑螂一開始有往加糞米糠移動的傾向，但隨後便離開前往無糞米糠區，在 5 分鐘內僅觀察到公蟑螂食用米糠，沒有觀察到母蟑螂食用米糠粉，推測可能是與身體結構有關，或許是母蟑螂脂肪體較公蟑螂多，養分儲存較多(表 3、圖 21、24)。
3. 在水及含菌水的食物選擇中發現，不論蟑螂是否有腸道菌，蟑螂對含菌水皆較有興趣，無腸道菌組又較有腸道菌組對含菌水偏好更明顯，不僅如此，蟑螂更會以大顎咬下衛生紙咀嚼並吞食之(表 3、圖 22、23、25)。
4. 在含菌水及米糠粉的選擇實驗中，我們發現不論是否有腸道菌，蟑螂對於含菌水的喜好皆高於米糠粉。無腸道菌組對含菌水偏好較腸道菌組明顯，即便強制驅離，蟑螂仍然很快就往含菌水移動，結果顯示水對於飢餓 2 天的蟑螂可能比米糠重要，而且腸道菌的組成會對蟑螂食物選擇行為造成影響(表 3、圖 22、26)。

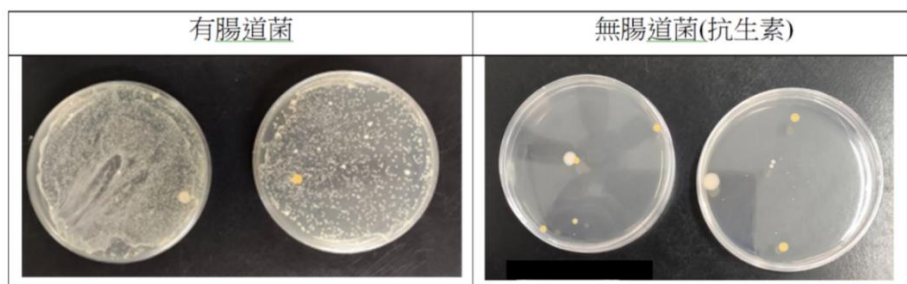


圖 20 糞便含菌量分析(10^6)

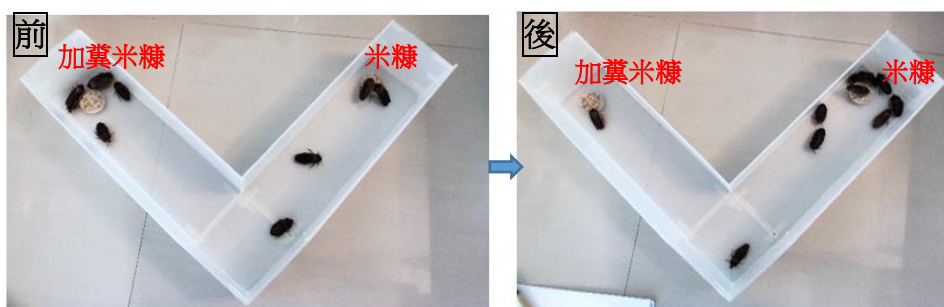


圖 21 無腸道菌組對米糠及加糞米糠的選擇。母蟑螂一開始被加糞便米糠吸引，後來又轉身離開

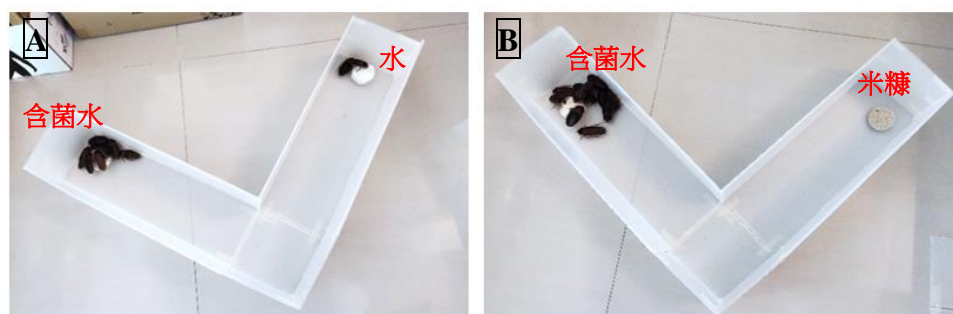


圖 22 A.無腸道菌組對含菌水及水的選擇實驗。B.無腸道菌組對含菌水及米糠的選擇實驗。含菌水相當受到蟑螂青睞。



圖 23 含菌水衛生紙很明顯的被啃食咀嚼

表 3 腸道菌的有無對於蟑螂食物選擇的差異

		有腸道菌			
		第一次	第二次	第三次	平均(5 分鐘)
實驗一	米糠粉	公 3 母 4, 1 公 蟑螂有進食, 母 蟑螂僅聚集無 進食	公 4 母 4, 1 公 蟑螂有進食, 母 蟑螂僅聚集無 進食	公 3 母 4, 2 公 蟑螂有進食, 母 蟑螂僅聚集無 進食	7.3(公 3.3 母 4)
	加糞米糠	公 2 母 1, 無進 食	公 1 母 1, 無進 食	公 2 母 1, 無進 食	2.7(公 1.7 母 1)
實驗二	水	公 2 母 2, 1 公 1 母吸水	公 2 母 2, 1 母 吸水	公 2 母 2, 1 公 1 母吸水	4(公 2 母 2)
	含菌水	公 3 母 2, 1 公 2 母吸食, 啃咬 衛生紙	公 3 母 3, 2 公 3 母吸食, 啃咬 衛生紙	公 3 母 2, 1 公 2 母吸食, 啃咬 衛生紙	5.3(公 3 母 2.3)
實驗三	米糠粉	公 3 母 2, 1 母 進食	公 2 母 2, 1 公 進食	公 2 母 1, 無進 食	4(公 2.3 母 1.7)
	含菌水	公 2 母 3, 2 母 喝水, 啃咬衛生 紙	公 3 母 3, 2 公 2 母喝水, 啃咬 衛生紙	公 3 母 4, 1 公 2 母喝水, 啃咬 衛生紙	6(公 2.7 母 3.3)
		無腸道菌(抗生素)			
		第一次	第二次	第三次	平均(5 分鐘)
實驗一	米糠粉	一開始公 4, 母 1, 5 分鐘後公 3, 母 5, 1 公 蟑螂有進食	一開始公 1, 母 1, 5 分鐘後公 4, 母 4, 1 公 1 母蟑螂有進食	一開始公 2, 母 1, 5 分鐘後公 3, 母 4, 1 公 蟑螂有進食	7.7(公 3.3, 母 4.3)
	加糞米糠	一開始公 1, 母 4, 5 分鐘後公 2, 母 0, 2 公 蟑螂有進食	一開始公 1, 母 4, 5 分鐘後母 1, 公 0, 無進 食	一開始公 1, 母 4, 5 分鐘後公 1, 母 1, 1 公 蟑螂有進食	1.7(公 1, 母 0.7)
實驗二	水	公 1, 母 1, 均 有吸食	公 1, 母 0, 有 吸食	公 1, 母 1, 均 有吸食	1.7(公 1, 母 0.7)
	含菌水	公 4, 母 4, 均 有吸食, 有啃咬 衛生紙現象	公 4, 母 5, 均 有吸食, 有啃咬 衛生紙現象	公 4, 母 4, 均 有吸食, 有啃咬 衛生紙現象	8.3(公 4, 母 4.3)
實驗三	米糠粉	0	0	0	0

	含菌水	公 5，母 5，有 啃咬衛生紙現象	公 5，母 5，有 啃咬衛生紙現象	公 5，母 5，有 啃咬衛生紙現象	10(公 5，母 5)
--	-----	----------------------	----------------------	----------------------	-------------

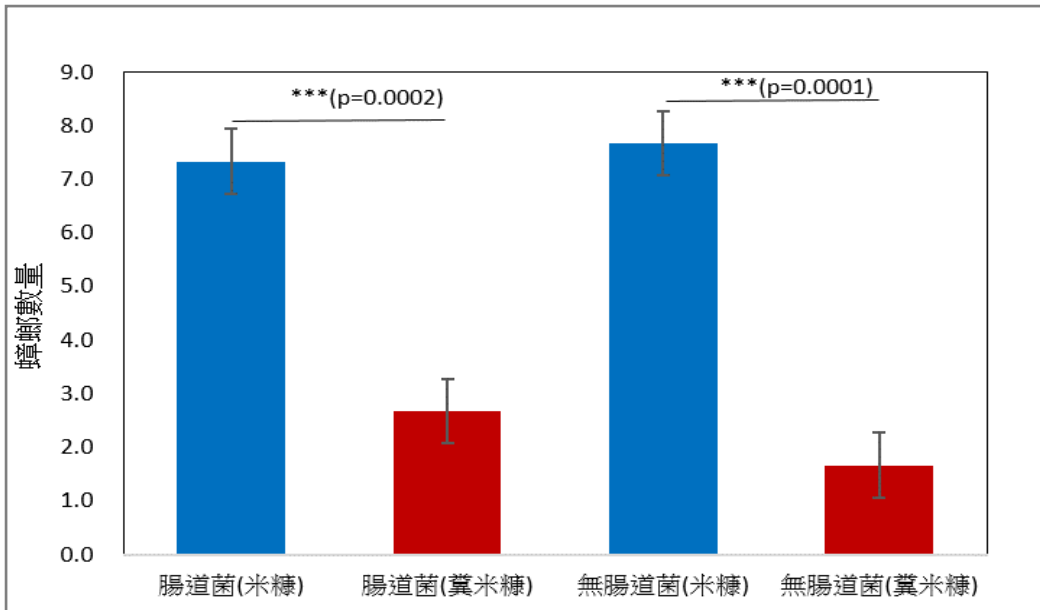


圖 24 米糠及加糞米糠的選擇。平均±標準差，n=3。
***：p < 0.005(單尾 t 檢定)

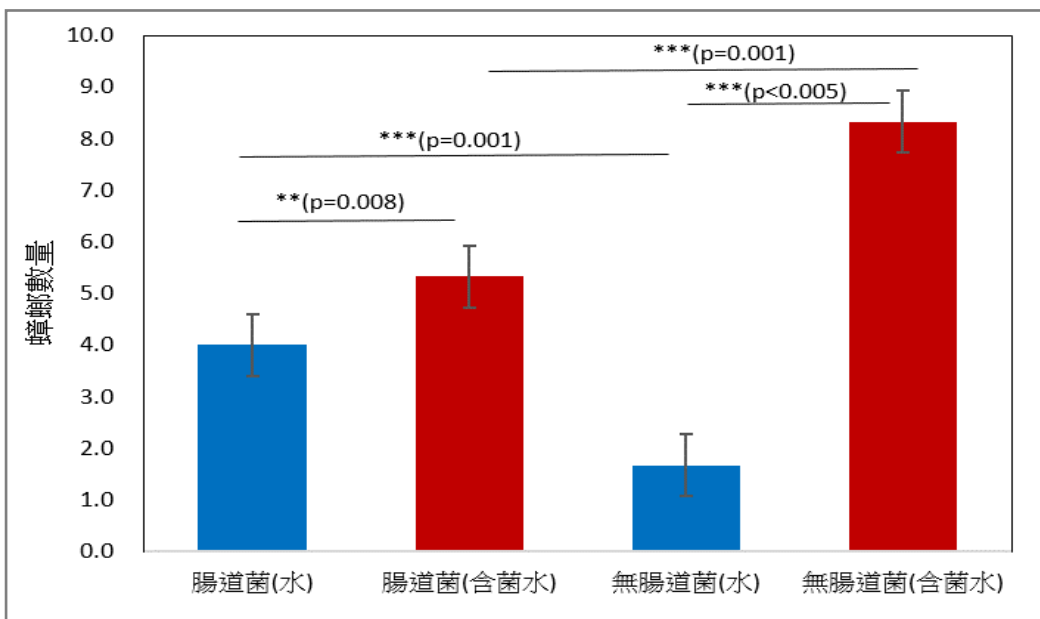


圖 25 水及含菌水的選擇。平均±標準差，n=3。
*：p < 0.05；**：p < 0.01；***：p < 0.005(單尾 t 檢定)

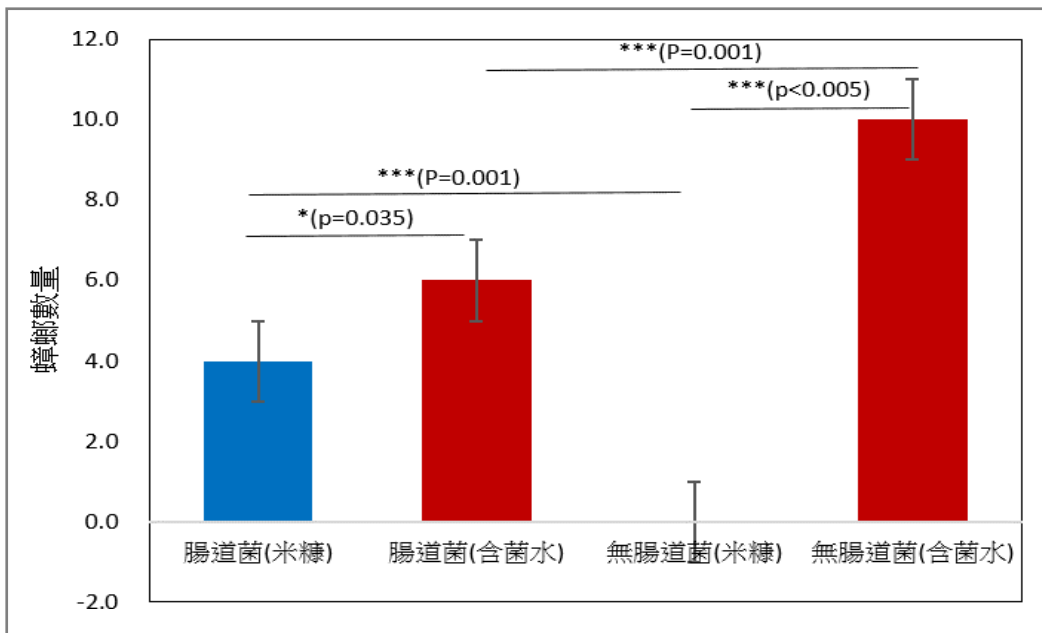


圖 26 含菌水及米糠粉的選擇。平均±標準差，n=3。
* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.005$ (單尾 t 檢定)

七、神經系統及消化系統的觀察

(一)目的：觀察蟑螂神經系統與消化系統

(二)方法：取一隻蟑螂置於冰水中使其昏迷，再放入培養皿中以鑷子及剪刀解剖出神經與消化系統。利用解剖顯微鏡觀察，並以手機拍照記錄。

(三)結果(圖 28)：

1. 蟑螂的中樞神經由腦及腹神經索組成。腦是昆蟲接受外界訊息並發出行為指令中心，同時產生大量神經激素調控昆蟲生長、發育和代謝。昆蟲的腦主要由前腦、中腦和後腦組成，前腦主要包含蕈狀體和視葉等構造，行為複雜的昆蟲，通常蕈狀體體積也較大，視葉則是視覺處理中心，與複眼及單眼相連。中腦是昆蟲嗅覺、觸角運動和機械感覺中心。後腦發出運動神經

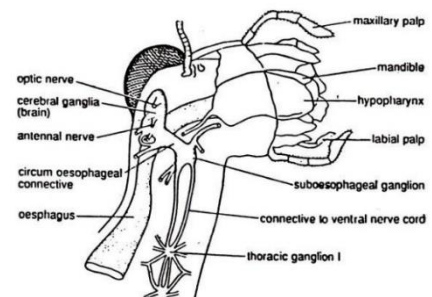


圖 27 蟑螂神經系統(Shriya S, 2022)

控制上顎與咽部肌肉，另有逆走神經和食道神經與口道神經系統相連，口道神經包含額神經節、腦下神經節和嚙囊神經節，具交感神經功能。腹神經索位於消化道腹面，咽下神經節是腹神經索的第一個複合神經節，其發出的神經主要通至上顎、下顎、下唇、舌、唾管及頸部肌肉，是口器中心；體神經節則包含胸神經及腹神經，分別有感覺及運動神經纖維，控制體節附肢及肌肉活動。(Shriya S, 2022)。

2. 蟑螂的消化系統可分為前、中、後腸。前腸包含口、咽、食道、嗉囊、砂囊，主要功能為攝入、儲存與磨碎食物。中腸包含胃盲囊、圍食膜等，是主要消化和吸收養分的地方。後腸包含迴腸、結腸、直腸等，主要為吸收水分、鹽類等分子的地方。馬氏管則為蟑螂的排泄器官，可自血淋巴腔移除含氮廢物(圖 28)。
3. 昆蟲對食物的選擇主要依賴對食物化學訊息的識別及本身感覺機制，化學訊息例如醣類、胺基酸、膽固醇、酚類、單寧、生物鹼等都對昆蟲有誘食的能力，對昆蟲產生嗅覺、味覺及視覺刺激，引發攝食動作。

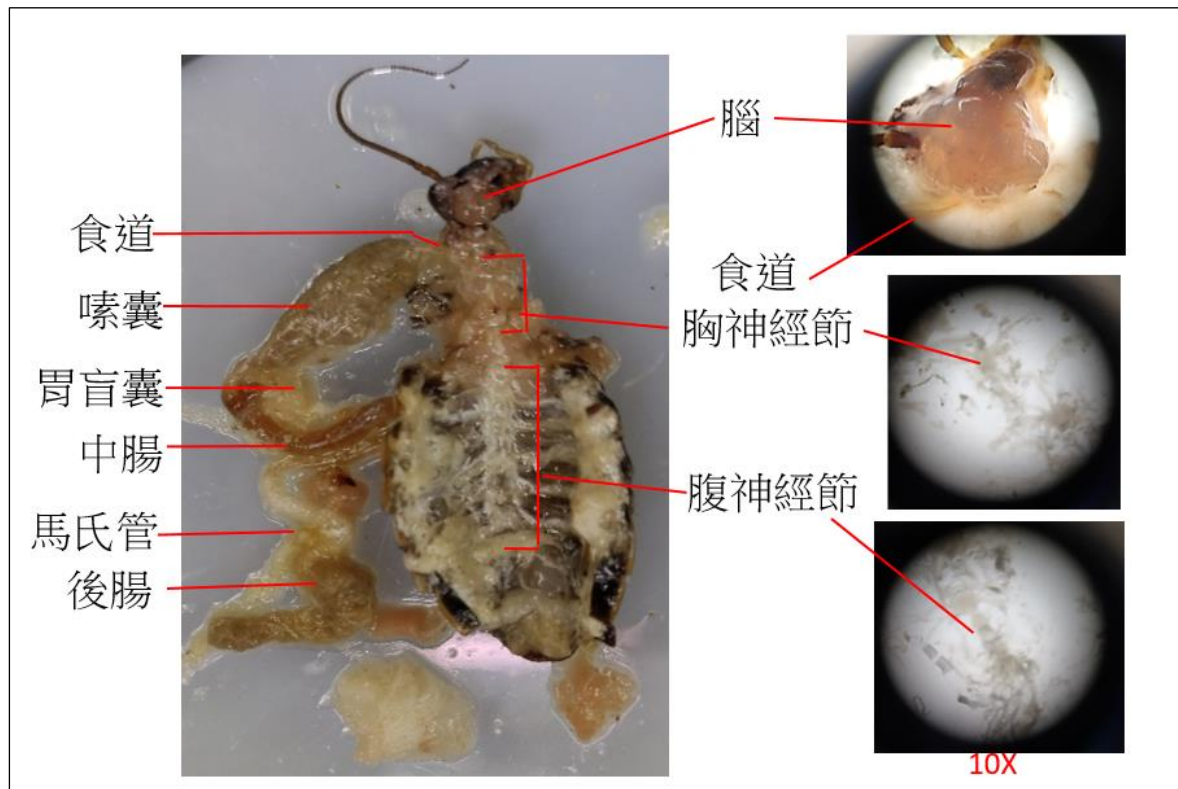


圖 28 杜比亞蟑螂消化與神經系統觀察

八、餵食纖維素分解菌對嗉囊肌肉電位的影響

(一)目的：觀察蟑螂對於水及含菌水攝食反應，並以 Arduino 監測嗉囊肌肉電位變化。當生物體的神經細胞興奮時，會改變細胞內外鈉、鉀離子的分佈，造成膜電位變化，引起神經訊息傳導，形成生物電信號。AD8232 則是一種用於提取生物電信號的傳感器，可測量肌肉收縮或舒張時生物的電位變化，其具備濾波器功能，可消除環境雜訊，再將訊息傳入作業系統。D1 Mini 是一種具有 WiFi 功能的 Arduino 開發板，透過電腦程式將輸入訊號進行演算與轉換(圖 29)(施威銘，2018)。

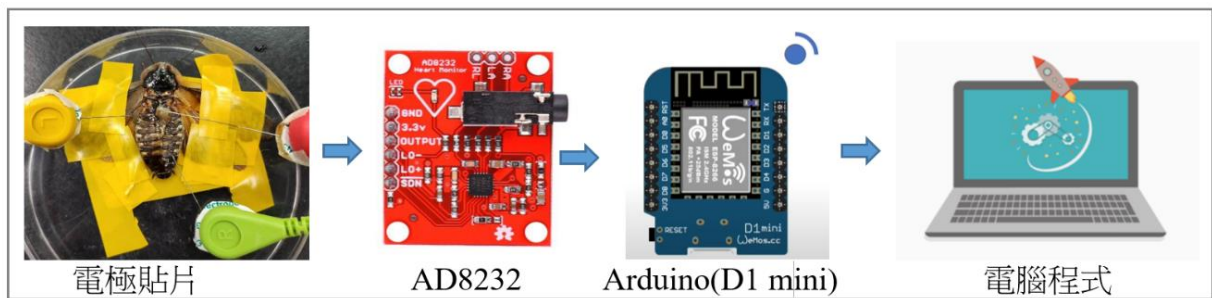


圖 29 生物電位監測實驗裝置

(二)方法：

- 1.取 3 隻公蟑螂及 3 隻母蟑螂，先禁食 3 天。
- 2.利用膠帶將蟑螂固定在培養皿上，以剪刀剪開蟑螂背側外骨骼。利用蟲針連接電極貼片，將電極兩端蟲針插入蟑螂嗉囊前後兩端，參考電極蟲針插入腹部(圖 29)。
- 3.分別在蟑螂頭部前端放 200 μ l 水或含菌水，觀察攝食反應及嗉囊肌肉收縮情形。
- 4.將設計好的 Arduino 程式(圖 30)上傳至開發板，開啟序列繪圖視窗監測電位變化。

```
#include <NNforduino.h>

int _E5_8E_9F_E5_A7_8B_E5_80_BC;
double _E6_BF_BE_E6_B3_A2ECG;
NNforduino _E7_A5_9E_E7_B6_933;

// setup() 會先被執行且只會執行一次
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT);

  _E7_A5_9E_E7_B6_933.RNN(0.6);
}

// loop() 裡面的程式會不斷重複執行
void loop() {
  _E5_8E_9F_E5_A7_8B_E5_80_BC = analogRead(A0);
  _E6_BF_BE_E6_B3_A2ECG =
  _E7_A5_9E_E7_B6_933.OutRNN(_E5_8E_9F_E5_A7_8B_E5_80_BC);
  Serial.println((String(_E5_8E_9F_E5_A7_8B_E5_80_BC + 500) + String(u8",") +
  String(_E6_BF_BE_E6_B3_A2ECG)));
}
}
```

圖 30 Arduino 程式碼

(三)結果：

- 1.在蟑螂頭部前方放置過濾水時，並未引起蟑螂攝食反應。在蟑螂頭部前方放置含菌水時，蟑螂會受到吸引，喝入含菌水，此時我們可觀察到嗉囊逐漸膨脹(圖 31)。
- 2.蟑螂在吸食含菌水前電訊號約為 100~300 單位，吸食含菌水 3~5 分鐘後，振幅增強為 800~1000 單位，顯示肌肉產生強烈收縮(圖 32)。不論公或母蟑螂均產生相同反應，沒有顯著差異。因此我們的實驗證實了蟑螂確實會吸食含菌水，喜好程度明顯大於過濾水。



圖 31 蟑螂吸食含菌水後，嗉囊漸漸膨大

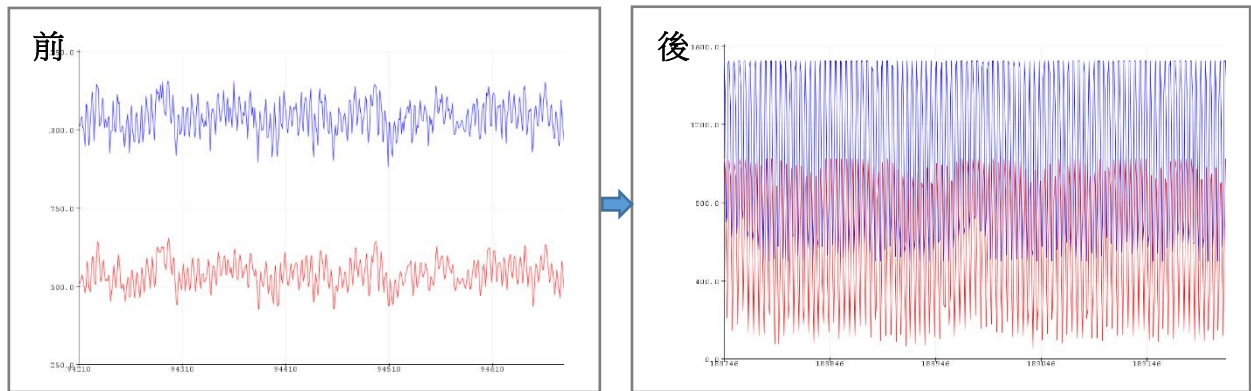


圖 32 蟑螂吸食含菌水前後嚙囊肌肉電位變化。紅色訊號為未經濾波處理訊號，藍色為過濾雜訊後的訊號。

九、杜比亞蟑螂腸道微生物對於衛生紙取食量的差異

(一)目的：由前述實驗可知，腸道菌會影響蟑螂對食物的選擇，腸道菌較少的蟑螂對於含菌水衛生紙喜好較有正常腸道菌的蟑螂更為強烈。因此我們想知道在不同腸道微生物條件下，蟑螂對於衛生紙取食量的差異，進一步了解當腸道存在較多纖維素分解菌(C15, 20, 21)時，是否也會攝取較多的衛生紙。

(二)方法：

1. 蟑螂飼養與觀察

(1)挑選未經前述實驗，大小相同的杜比亞蟑螂公母各 60 隻，共 120 隻，體表以 75% 酒精擦拭後隨機分成 4 組，每組各 15 隻公蟑螂及 15 隻母蟑螂。

(2)在 4 個相同大小的飼養箱中各放入小培養皿當飼料盒，以 75% 酒精擦拭後完成如表 4 的實驗設置，每天觀察並補充 1 ml 過濾水。

表 4 腸道菌對於衛生紙攝取的差異

組別 時間	對照組(正常腸道菌群)	實驗組 1(以抗生素去除腸道菌)	實驗組 2(餵食糞便建立腸道菌)	實驗組 3(餵食纖維素分解菌)
1 ~ 10 天	1 個培養皿放入 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。1 個培養皿放 2 g 米糠粉。	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 含 1% 紅黴素與四環黴素的過濾水。1 個培養皿放 2 g 含 1% 紅黴素與四環黴素的米糠粉。		
11 天	斷食，糞便含菌量分析			
12 ~ 21 天	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。1 個培養皿放 0.5 g 衛生紙片	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。1 個培養皿放 0.5 g 衛生紙片	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。另 1 個培養皿放 0.5 g 含 1% 對照組糞便的米糠粉	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 混合菌液

22'天	斷食，糞便含菌量分析			
23 ~ 32 天	—	—	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。1 個培養皿放 0.5 g 衛生紙片	1 個培養皿放 1 張衛生紙加 6 ml 的過濾水。1 個培養皿放 0.5 g 衛生紙片
33'天	—	—	斷食，糞便含菌量分析	斷食，糞便含菌量分析

(3)在第 5 天及第 10 天時收集糞便，記錄糞便重量及米糠粉攝取量，以 75%酒精擦拭飼養箱，更換新的水、衛生紙及飼料。

(4)第 11 天時，斷食 1 天，以用酒精噴灑過鑷子收集糞便冷藏保存，進行糞便含菌量分析。

(5)第 12 天時，將對照組與實驗組 1 的飼料換成剪成小片狀的衛生紙，每 5 天紀錄一次糞便量及衛生紙取食量，清潔環境，更換食物，10 天後再次收集糞便，進行含菌量分析。觀察中發現蟑螂會不僅會啃食乾燥衛生紙，也會吃潮溼衛生紙，因此將濕衛生紙烘乾秤重，一併算入衛生紙減少量(圖 33)。

(6)實驗組 2 在第 12 天後餵食混入對照組 1~10 天排出糞便的米糠粉，實驗組 3 則換成含有菌液的濕衛生紙，每 5 天紀錄一次取食量及糞便量，清潔環境，更換食物，10 天後進行糞便含菌量分析，再次進行衛生紙取食量分析。

2.菌液製作：取 3 個 50 ml 無菌離心管，各加入 10 ml LB，分別以接種環挑選 C15、20、21 單一菌落接種至 LB 中，將離心管放入恆溫震盪培養箱中以 30 °C，120 rpm 培養 1 天。

3.細菌含量分析

(1)取 0.1 g 糞便以無菌水序列稀釋 10^{-1} ~ 10^{-6} 倍。

(2)以微量滴管吸取 10^{-6} 倍稀釋液 100 μ l，滴入 LB 培養基中，再以三角玻棒塗抹均勻，每組重複 2 次。

(3)將培養皿倒放於 30 °C 恆溫培養箱中，培養 2 天後計算菌落數。

(三)結果：

1.對照組在 12 天後僅提供衛生紙及水，前 5 天衛生紙攝取量較少，後 5 天增加，攝取衛生紙時的糞便外觀較攝食米糠粉時顏色較黑而小，糞便含菌量差異不大(表 5、圖 34、35)。

2.實驗組 1 在經過抗生素處理後糞變成暗褐色，糞便含菌量明顯減少，在第 12 天餵食衛生紙及水時，攝取衛生紙的量較對照組少，部份糞便恢復為淡褐色或米色。

3.實驗組 2 對於加糞米糠的接受度較米糠粉低，攝取量較少，糞便量也較少，糞便含菌

量較餵食抗生素後多。16 天後餵食衛生紙，衛生紙取食量略少於對照組及實驗組，略多於實驗組 1。

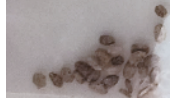

4. 實驗組 3 在衛生紙中加入 C15、20、21 菌液，可發現許多蟑螂被吸引而前往吸食，糞便微生物增加，衛生紙取食量及糞便量略高於對照組。將糞便微生物接種於剛果紅培養基中亦可看到透明酵素圈，顯微鏡觀察細菌型態如圖 36，與 C20 或 21 相似。



圖 33 蟑螂啃咬乾燥及潮溼衛生紙

表 5 蟑螂的食物攝取量及糞便量紀錄表(單位:g)

組別 時間	對照組(正常腸道菌 群)	實驗組 1(以抗生素 去除腸道菌)	實驗組 2(餵食糞便 建立腸道菌)	實驗組 3(餵食纖維 素分解菌)				
5' 天	米糠攝取量	1.71	抗+米糠攝 取量	1.03	抗+米糠攝 取量	1.12	抗+米糠攝 取量	1.05
	糞便量	0.84	糞便量	0.58	糞便量	0.62	糞便量	0.52
10' 天	米糠攝取量	1.51	抗+米糠攝 取量	0.64	抗+米糠攝 取量	0.70	抗+米糠攝 取量	0.65
	糞便量	0.62	糞便量	0.43	糞便量	0.45	糞便量	0.44
11' 天	糞便量 	0.22	糞便量 	0.07	糞便量 	0.06	糞便量 	0.07
16' 天	衛生紙攝取 量	0.28	衛生紙攝取 量	0.19	糞+米糠攝 取量	0.65	含菌衛生紙 攝取量	0.64
	糞便量	0.34	糞便量	0.14	糞便量	0.34	糞便量	0.32
21' 天	衛生紙攝取 量	0.45	衛生紙攝取 量	0.24	糞+米糠攝 取量	0.69	含菌衛生紙 攝取量	0.63
	糞便量	0.37	糞便量	0.19	糞便量	0.53	糞便量	0.50
22' 天	糞便量 	0.18	糞便量 	0.07	糞便量 	0.17	糞便量 	0.16
27' 天	—	—	—	—	衛生紙攝取 量	0.28	衛生紙攝取 量	0.41
	—	—	—	—	糞便量	0.21	糞便量	0.33
32' 天	—	—	—	—	衛生紙攝取 量	0.37	衛生紙攝取 量	0.57
	—	—	—	—	糞便量	0.29	糞便量	0.43

33' 天	—	—	—	—	糞便量 	0.14	糞便量 	0.20
----------	---	---	---	---	---	------	--	------

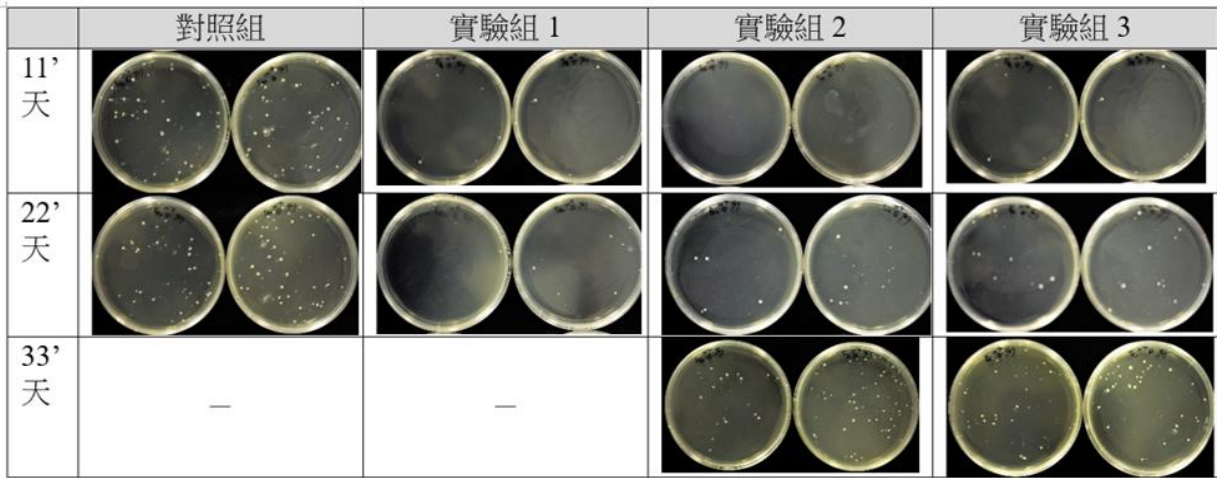


圖 34 糞便含菌量觀察

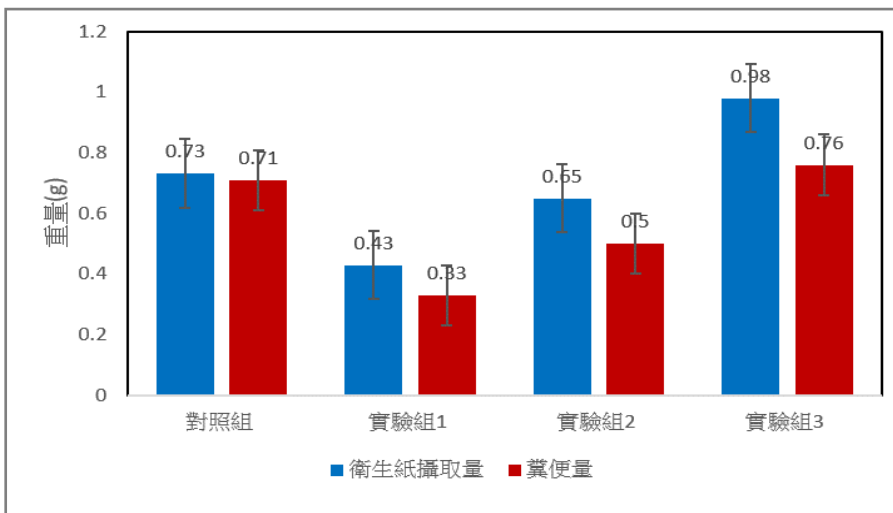


圖 35 腸道菌對衛生紙攝取量的差異(10 天總計，平均值±標準誤)

圖 36 糞便菌的剛果紅培養基觀察與顯微鏡觀察(1000X)

十、紙錠擴散法

(一)目的：在觀察蟑螂糞便菌時微生物時，我們發現細菌種類似乎較腸道內少，因此我們想進一步確認腸道菌之間的關係，觀察是否有互相抑制關係。

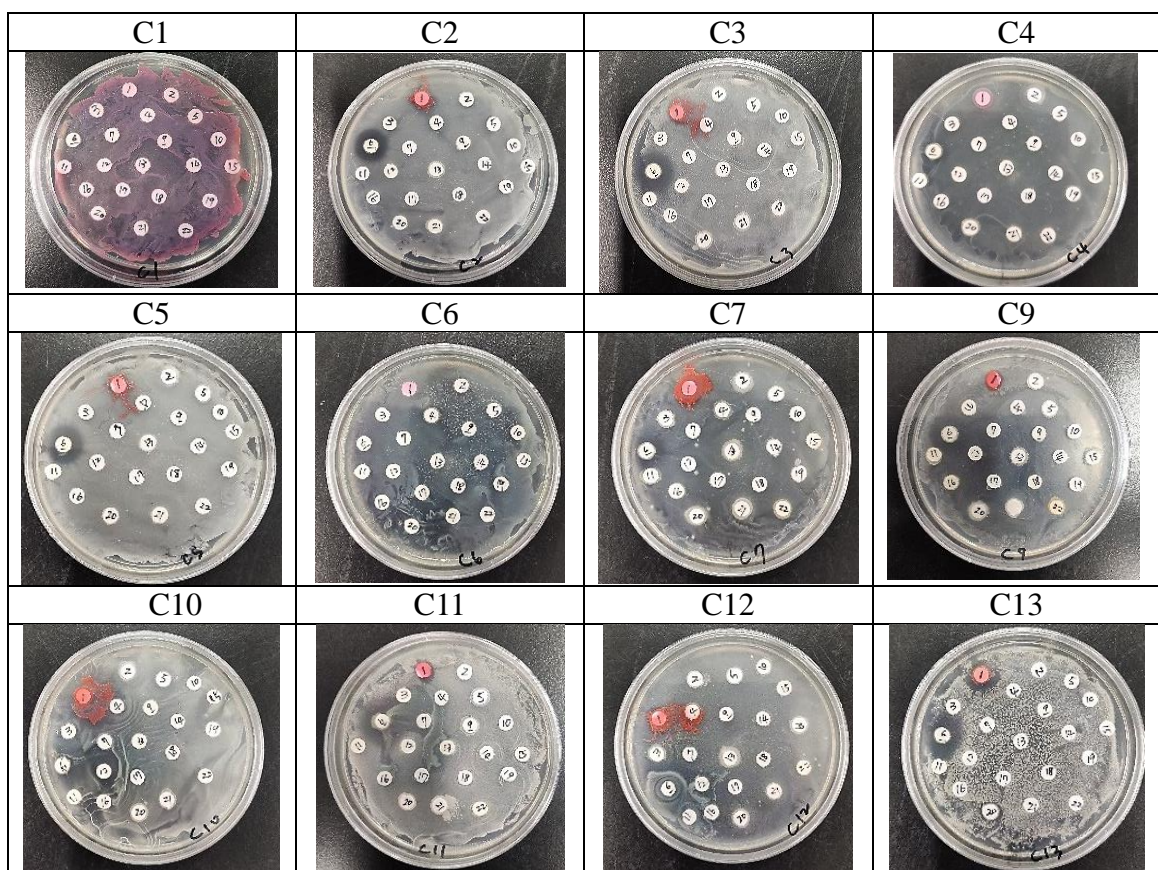
(二)方法：

- 1.以打洞機將濾紙製作成 7 mm 大小紙錠，在紙錠上以油性筆寫上數字 1~22 後分別裝入不同小玻璃瓶中，放入滅菌釜中滅菌。

- 2.挑選 C1~C22 菌落(C8 菌除外，可能因保存條件不合適，菌落已無法培養)接種於 5 ml LB 培養液中，恆溫震盪培養(30 °C，120 rpm)2 天。
- 3.以微量滴管分別吸取 100 μ l 菌液，滴入 LB 培養基中，再以三角玻棒塗抹均勻，等待約 15 分鐘，菌液被吸入培養基再進行下一個步驟。
- 4.每個紙錠滴上 10 μ l 待測菌液，以無菌鑷子將紙錠貼在已塗好菌液的 LB 培養基中，30 °C 恆溫培養 1 天，觀察是否有抑菌圈形成。

(三)結果：

- 1.C1 可抑制 C2、11、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22，C6 可抑制 C2、3、5、7、9、11、13、15、18、19、20、21、22，C18 可抑制 C15、16、22，C20 可抑制 C13、15 (圖 37)。
- 2.在三株可分解纖維素的微生物中發現，C15 會被 C1、6、18、20 抑制，C20 和 C21 均會被 C1、6 抑制。推測腸道間微生物間具有彼此競爭或抑制功能，維持菌種的動態平衡，這或許是我們未在糞便中觀察到大量纖維素分解菌的原因。
3. 利用革蘭氏染色法及顯微鏡觀察 C1、C6、C18(圖 38)，C1 和 C6 細菌很小，寬約 1 μ m，長約 2 μ m，為 G(-)；C18 寬約 1 μ m，長約 2~4 μ m，為 G(+)



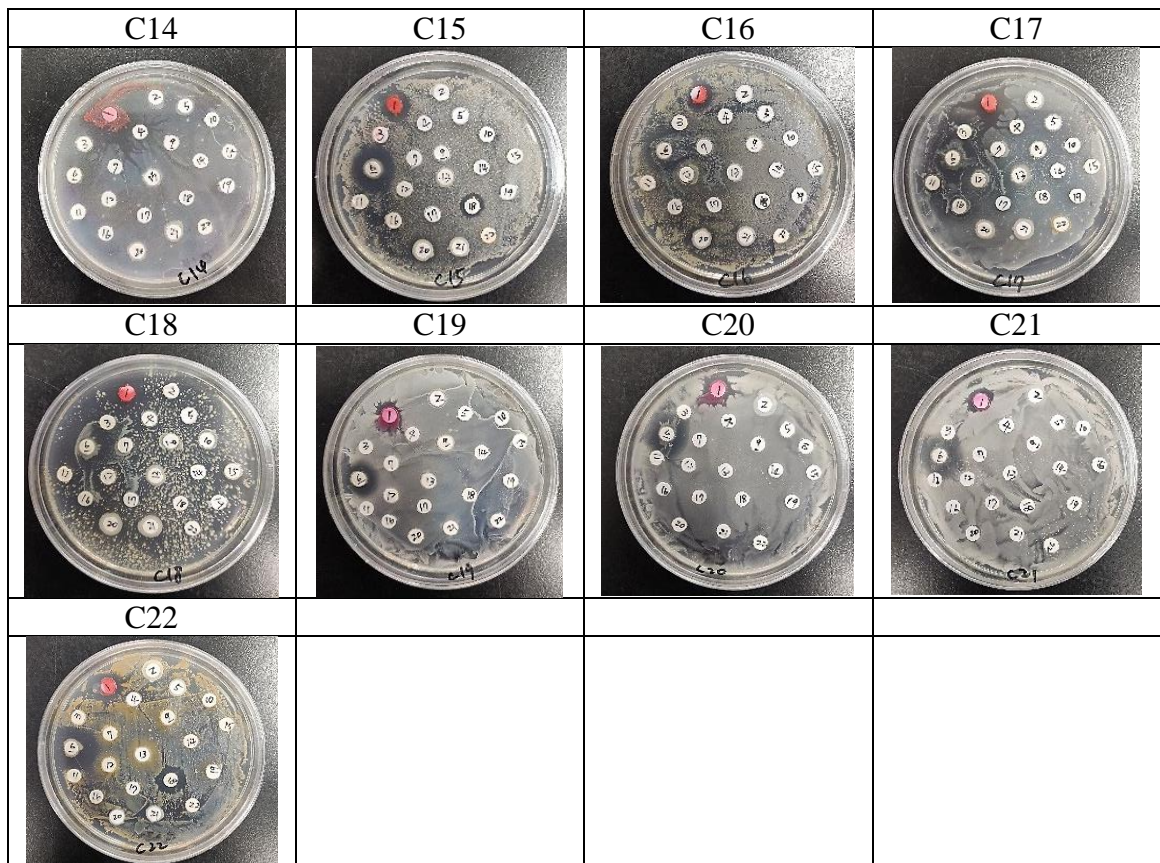


圖 37 紙錠擴散法

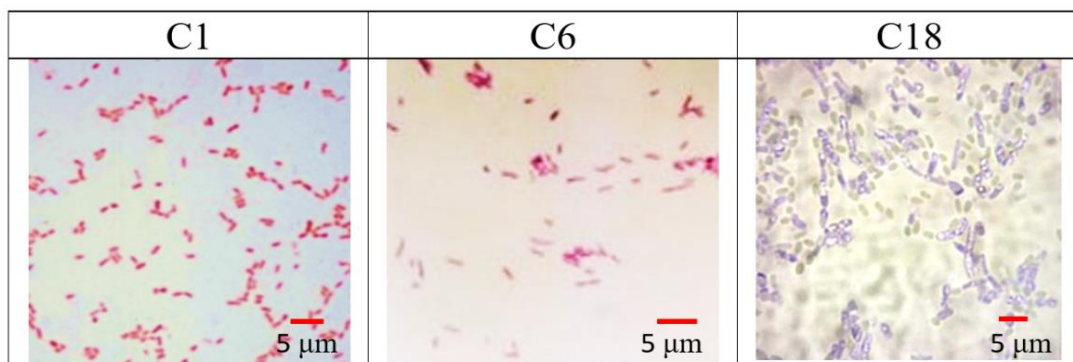


圖 38 C1、C6、C18 顯微鏡觀察

肆、討論

一、纖維素對於杜比亞蟑螂生長的影響

我們將來自同一親代，剛出生的小蟑螂隨機分成兩組，觀察小蟑螂是否可以藉由水和衛生紙生長，結果顯示一個月後僅餵食水和衛生紙的小蟑螂雖然長得比較慢，但是無死亡案例，推測小蟑螂應該可以從纖維素獲取生長所需的碳源。

二、杜比亞蟑螂腸道中是否有可分解纖維素的微生物

每種微生物營養需求不同，難以用同一種培養基培養出生物體內所有微生物，目前有許多研究利用次世代定序法(NGS)進行菌相分析，我們為了解決疑惑，仍然利用實驗室資源，以培養的方式分離出 22 個菌株(C1~C22)，雖然耗時費力，卻更方便進一步研究纖維素分解能力及微生物對杜比亞蟑螂攝食行為的影響。

藉由剛果紅法，我們初步篩選出了具有分解纖維素潛力的微生物，再利用 DNS 法確認纖維素酶的活性，其中三株分解纖維素能力較好的細菌(C15、C20、C21)每毫升約可製造出 0.32~0.39 mg 還原糖，因此推測此三株革蘭氏陽性菌不僅具有製造生質酒精的潛力，對於蟑螂攝取衛生紙或紙蛋盒的養分也有一定程度幫助。

三、杜比亞蟑螂腸道菌對於食物攝取的影響

有研究指出腸道菌會負責管控生物體從食物中吸收能量的多寡，如果把較纖瘦之人的腸道菌植入無菌鼠體內，老鼠的體重不會增加，但是如果把肥胖之人的腸道菌植入無菌鼠體內，則老鼠的體重就會增加，人體腸道菌中厚壁菌門(Firmicutes)與擬桿菌門(Bacteroidetes)就佔了 90%，纖瘦者腸道菌中厚壁菌門較少，擬桿菌門較多，而肥胖者腸道菌中則是厚壁菌門較多，擬桿菌門較少，厚壁菌門偏愛高油高糖飲食，會加快脂肪及糖的分解，細菌大量繁衍，提升吸收熱量效率，造成肥胖，而擬桿菌門則可透過膳食纖維發酵方式，製造更多短鏈脂肪酸，抑制大腸發炎作用，減少肥胖發生，因此不同的飲食條件會改變生物體的腸道菌相，對生物體健康產生影響(石黑成治，2021)。

蟑螂為雜食性昆蟲，腸道菌相亦會隨著不同食物而產生改變，若移除腸道菌，可能會影響蟑螂的生長、繁殖、存活率，甚至對群聚行為產生改變(葉綠舒，2016)。網路上飼養杜比亞蟑螂的專家也建議將小蟑螂和成體蟑螂混養，因為小蟑螂有食糞行為，成體蟑螂的糞便中的微生物對於小蟑螂的成長發育很有幫助，在我們實驗一的觀察中也發現單獨飼養的小蟑螂相較於平時混養一起的小蟑螂生長確實有較為緩慢的現象。

此外，本研究對成體蟑螂進行了食物選擇實驗，發現當有乾淨米糠粉存在，成體蟑螂並不會對糞便特別有興趣或者有食用行為，可能是糞便混雜各式各樣的細菌，不一定會產生蟑螂喜愛的氣味，但是若食物只剩混合著糞便的米糠粉，蟑螂仍然會酌量食用，以維持生存；當食物中有添加纖維素分解菌時，則會得到蟑螂特別的喜愛，蟑螂對纖維素分解菌水的喜好程度大於乾淨的水與米糠粉；並且腸道菌較少的蟑螂表現較有正常腸道菌者顯著。利用 Arduino 及生物電位分析，我們也觀察到蟑螂確實會利用口器將含纖維素分解菌的水吸入嚙囊

當中，產生了肌肉收縮及電位改變，證實了纖維素分解菌水確實會引起蟑螂的食慾，產生攝食行為。當蟑螂腸道內獲得較多纖維素分解菌後，對於衛生紙攝食利用率也會提高。因此我們的研究證明了腸道菌的數量與種類會對蟑螂飲食行為造成改變，然而纖維素分解菌在蟑螂腸道中藉由何種方式引起蟑螂食慾及攝食行為的改變，則有待未來進行研究。

四、蟑螂腸道菌之間的關係

本研究利用紙錠擴散法觀察蟑螂腸道菌之間的關係，發現 C1 可抑制 C2、11、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22，C6 可抑制 C2、3、5、7、9、11、13、15、18、19、20、21、22，C18 可抑制 C15、16、22，C20 可抑制 C13、15。三株可分解纖維素的微生物亦會分別被其他微生物抑制(C15 會被 C1、6、18、20 抑制，C20 和 C21 均會被 C1、6 抑制)。腸道菌間維持著巧妙的平衡，幫助著蟲體健康，未來我們也將尋求大學實驗室協助，研究這些細菌種類，並探討其究竟存在蟑螂腸道中的何處，及如何在蟲體內進行複雜的交互作用。

蟑螂的糞便自古便是一種稱為「油蟲珠」的中藥材，主治小兒脾胃脹氣(自然小菜一盤，2010)；而利用美洲蟑螂製成的「復康新液」可治療燙傷(溫亦婷，2018)；從蟑螂腸道分離出來的一種芽孢桿菌，可對抗多重抗藥性金黃色葡萄球菌(廖至騏，2012)；雖然大部分的人們都很害怕蟑螂，蟑螂也的確會傳播許多疾病，但是從蟑螂身上得到智慧法寶實在不容小覷，值得我們一再深入探討。

伍、結論

- 一、本研究自杜比亞蟑螂腸道中分離出三株可分解纖維素的革蘭氏陽性菌。
- 二、我們證實了杜比亞蟑螂腸道菌種類與數量會影響蟑螂對食物的選擇，當腸道中微生物較少時，含纖維素分解菌的水對蟑螂具有較高吸引力，當蟑螂攝取較多纖維素分解菌後，亦會增加蟑螂對纖維質食物攝取，利用其養分生長。
- 三、蟑螂腸道菌間具有競爭抑制功能，維持著菌相平衡與蟲體健康。

陸、參考文獻資料

- 陳欣妤(2021)。微生物於昆蟲飼養之研究進展。2021 昆蟲應用於動物飼料產業現況研討會，31-42。取自 <https://scholars.tari.gov.tw/handle/123456789/16218>
- 葉綠舒(2016)。德國蟑螂體有異香，用便便找朋友。取自泛科學網站 <https://pansci.asia/archives>

廖至騏(2012)。別再用拖鞋打小強了！MRSA 超級細菌的剋星在小強的腸道。2012 年台灣國際科學展覽會優勝作品專輯

謝志誠(2007)。纖維乙醇之技術與文獻探討。分享-跨越門檻與障礙(第 12 版)

陳俊宏(2021)。高中選修生物III動物體的構造與功能。新北市：龍騰文化事業股份有限公司

高維真(2019)。微生物與宿主行為間的交互關係。取自 <http://investigator.tw/9484>

溫亦婷(2018)。喝了蟑螂汁卻不自知?中國藥廠年產 60 億隻小強入藥，網民發現真相直接吐在螢幕上。風傳媒。取自 <https://www.storm.mg/article/427494?page=1>

自然小菜一盤(2010)。吃屎治百病-中藥與排遺。取自 http://orangevblog.blogspot.com/2010/09/blog-post_28.html

生物通(2021)。飲食中的蛋白質缺乏如何引發腸道和大腦的對話。取自 <https://m.ebiotrade.com/Newsf/2021-5/20210518004952702.htm>

施威銘研究室(2018)。Flag's 創客自造者工作坊 AI 生醫感測健康大應用。台北市：旗標出版社

石黑成治(2021)。吃不胖的免疫力飲食法:吃對食物 X 調整腸道 X168 斷食法，一定健康瘦下來。台北市：時報出版。

茂群峪畜牧網(2022)。米糠、麩皮和粉頭在餵豬上應注意之事項。取自 <http://www.miobuffer.com.tw/fnm/199107/03.htm>

Moriya Ohkuma,Satoko Noda, Satoshi Hattori,Toshiya Iida,Masahiro Yuki,David Starns,Ju. (2015).Acetogenesis from H₂ plus CO₂ and nitrogen fixation by an endosymbiotic spirochete of a termite-gut cellulolytic protest.PNAS,112 (33),10224-10230.

Ryan B. Schmid,R. Michael Lehman, Jonathan G. Lundgren.(2014).Sex-Specific Interactions of Microbial Symbioses on Cricket Dietary Selection. Enviromental Entomology,43(4),896-902.

Brittany D. Needham,Masanori Funabashi, Mart D Adame,Zhuo Wang,Joseph C Boktor,Jillian Haney ...,Sarkis K Mazmanian(2022).A gut-derived metabolite alters brain activity and anxiety behaviour in mice.Nature,602(7898)647-653.

Shriya S(2022). Essay on Cockroach: Digestive System and Respiratory System. 取自 <https://www.notesonzology.com/essay/cockroach/essay-on-cockroach-digestive-system-and-respiratory-system/6051>

柒、附錄一 實驗過程



蟑螂飼養觀察



蟑螂飼養觀察



食物選擇實驗



嚙囊肌電位觀察



配置培養基



蟑螂解剖



劃菌



挑菌



剛果紅培養基種菌



塗菌



紙錠抑菌測試



DNS 法測試