

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 060003

參展科別 植物學

作品名稱 兩種酵母菌對毛氈苔消化行為之影響

得獎獎項 四等獎

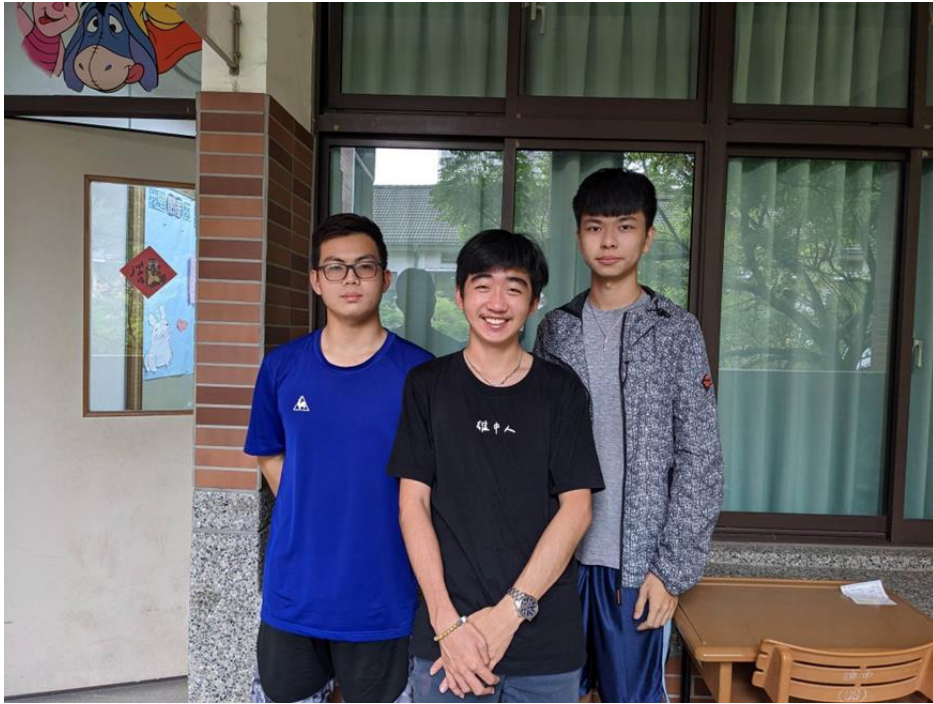
就讀學校 高雄市立高雄高級中學

指導教師 顏瑞宏

作者姓名 柯睿原、彭煥宇、張維中

關鍵詞 毛氈苔、捕蟲運動、酵母菌

作者簡介



我們是由彭煥宇、柯睿原、張維中組成的毛氈苔組。就讀雄中科學班的我們在求學階段便培養了對於環境觀察的敏銳度以及探討背後原因的好奇心及行動力。因此藉由一段偶然的觀察經驗開啟了此次毛氈苔的相關研究。我們很高興同時很感激能站上這次科展的舞台，同時也感謝顏瑞宏老師、謝宜和老師的協助。我們希望在研究中不只收穫研究成果，而是在進行探討過程中的成長以及發現。

摘要

從實驗中得知毛氈苔可以消化分解酵母菌。同時酵母菌依據能忍受不同糖濃度的環境，又可細分為高糖酵母與低糖酵母。而高糖酵母與低糖酵母於細胞壁有結構上的差異^[1]，因此毛氈苔在消化高糖與低糖酵母菌時出現不同的捕蟲行為。

Abstract

It is known from the former experiment that *Drosera spatulata* can digest and decompose yeast. According to their tolerance in different sugar concentrations environment, yeast can be subdivided into high-sugar yeast and low-sugar yeast. Moreover, high-sugar yeast and low-sugar yeast have structural differences in the cell wall, and therefore *Drosera spatulata* will have different insect-catching behaviors when digesting high-sugar and low-sugar yeast.

壹、前言

一、研究動機

在植物觀察中偶然發現毛氈苔上會殘留未消化完的昆蟲外殼。但在我們所學的知識中只提到，毛氈苔會利用昆蟲獲取必要的營養。並未提到為何葉片上會殘留下未消化完的軀殼。在國中課本中得知，昆蟲的外殼為幾丁質組成。由於同一隻昆蟲外殼的組成成分皆相同，因此我們猜測是幾丁質的排列結構造成毛氈苔不易消化，而將殘留的軀殼留在葉片上。於此我們想透過簡易的方式驗證幾丁質的排列方式會影響毛氈苔的消化與吸收。

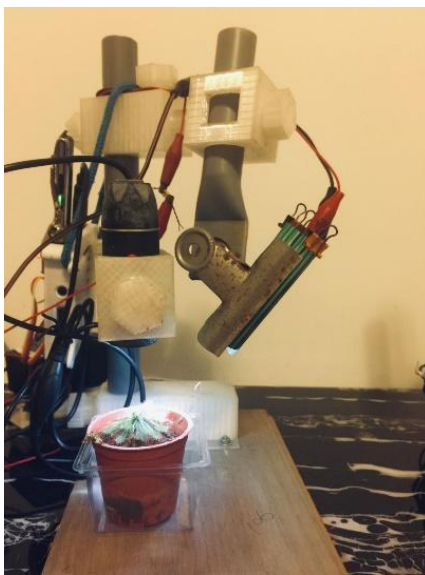
二、研究目的

- (一) 如何量化毛氈苔對不同種類酵母菌的消化速率
- (二) 探討毛氈苔內外腺毛彎曲軌跡與消化速率的關係?
- (三) 探討高/低糖酵母菌對毛氈苔腺毛彎曲軌跡與吸收速率的關係?

貳、研究設備及儀器

一、「1600 倍 USB 數位顯微鏡」（圖一）及其執行畫面（圖二）：

將市售 USB 數位顯微鏡頭、手電筒、3D 列印的材料、水管支架與木板的組裝，藉由樹莓派 Raspberry Pi 存取資料。



圖一、1600 倍 USB 數位顯微鏡



圖二、執行畫面

二、研究器材與藥品：

（一）酵母菌來源及藥品：

法國金燕子高糖即發乾酵母（釀酒酵母）、法國金燕子低糖即發乾酵母（釀酒酵母）、抗壞血酸（維生素 C）、葡萄糖

（二）器材：

自製數位顯微鏡、3D 列印機、複式顯微鏡、載玻片、蓋玻片、小毛氈苔、50 毫升針筒、塞子

參、研究過程與方法

一、文獻探討：

(一) 小毛氈苔在植物學的分類地位與特性如下表：

1.名稱：中文名：小毛氈苔、匙葉茅膏菜，學名：*Drosera spatulata*

2.分類地位：植物界/被子植物門/真雙子葉植物綱/石竹目/茅膏菜科/茅膏菜屬/*D.spatulata*

3.外貌特徵：小毛氈苔植株綠色無莖，葉子聚生呈蓮座型，而單片葉子成寬匙形，長約9-12毫米，寬約2.5-3.5毫米，葉柄短，葉上有緻密的腺毛。花多呈白色或粉紅色，有5枚雄蕊，3枚花柱。

4.圖片：



(二) 釀酒酵母：*S.cerevisiae*

釀酒酵母又稱麵包酵母、啤酒酵母或出芽酵母。不僅是數量最多、最常見的，也是和人類關係最密切的酵母菌種。釀酒酵母是首個完成基因組測序的真核生物，是研究真核細胞遺傳學和生理學的重要工具

(三) 市售高糖、低糖酵母菌的成分差異：

1.酵母的成分：酵母菌是一種真核微生物，屬真菌類，多數為單細胞。酵母菌富含蛋白質、維生素、礦物質、微量元素和酵素，具有細胞壁、細胞膜、粒線體、核糖體、液泡等細胞器。

2.高糖、低糖酵母菌的差異：若將能在8%以上糖濃度中生存良好的酵母篩選出來，即是高糖酵母。高糖酵母能比低糖酵母更耐高

滲透壓環境。本次實驗購買的市售酵母中，高糖酵母另外添加了抗壞血酸，因此在前導實驗中，我們會先探討抗壞血酸對於後續的實驗的影響。

3.高滲透壓環境對酵母菌繁殖的影響：酵母菌發育、繁殖的速度快慢和所在的環境有極大的關係。若酵母菌處在高滲透壓的環下，酵母菌細胞成分之一的硫醇類物質會氧化，並造成細胞整體抗氧化能力的下降，因此酵母繁殖速度會變得緩慢甚至停止。若酵母菌處於厭氧條件，或是由外界提供抗壞血酸，則能夠改善這種生長抑制。(SABINA KOZIOL¹、MAREK ZAGULSKI²、TOMASZ BILINSKI¹、GRZEGORZ BARTOSZ，2004)

(四) 抗壞血酸：

1.抗壞血酸（抗氧化劑）：抗壞血酸又稱維生素 C，是一種抗氧化劑、輔酶與自由基清除劑，許多食物也會用抗壞血酸當作防腐劑。

2.抗壞血酸（抗氧化劑）對酵母菌細胞壁成分的影響：抗壞血酸能夠幫助修復酵母菌細胞的氧化反應，尤其是對於高滲透壓環境下，造成細胞的破壞。(SABINA KOZIOL¹、MAREK ZAGULSKI²、TOMASZ BILINSKI¹、GRZEGORZ BARTOSZ，2004)

(五) 腺毛與黏珠：

1.腺毛：指在植物表皮系統的結構中，其呈毛狀者稱為腺毛，有單細胞腺毛（分泌細胞）和多細胞腺毛（分泌組織）。腺毛依長度分為內（短）、外（長）腺毛。

2.黏珠：在活躍的腺毛細胞中含有豐富的原生質和分泌物，有葉面和葉齒的毛以及花的蜜腺毛、食蟲植物分泌消化液的毛等。這類分泌物，以揮發性油、樹脂、黏液質、樹膠質等最多，但也有包含分解酵素，也有只含有水分的。這些物質蓄積於角質層和細胞壁之間或細胞間隙中，在腺毛末端的便稱為黏珠。

(六) 毛氈苔腺毛黏液的消化與腺毛彎曲：

1.毛氈苔腺毛黏液的消化：許多食蟲動物除了根部從土壤中吸收養分及水分外，也會從捕捉到的小昆蟲中獲取氮元素，而毛氈苔腺毛末端的黏珠內含有能夠分解幾丁質、醣類等營養物質的酵素。

2.腺毛彎曲：毛氈苔的捕蟲運動中，當昆蟲觸碰到腺毛時，腺毛會向內捲曲以消化之，而這是因特定細胞的水分變化而造成的膨壓運動。

(七) 論文探討：

1.高滲透壓的環境會導致酵母細胞中產生超氧化物和其他活性物質，更會導致硫醇的氧化及降低酵母細胞提取物的抗氧化能力，使得酵母細胞在生長時受到限制，而抗壞血酸（維他命 C）可以抵抗這種抑制。抗壞血酸的保護能力和其與超氧化物反應的速率無關，而是為了修復低氧化還原電位，防止在高滲壓環境下引起的氧化反應。並且只有在單電子氧化還原反應中具有低氧化還原電位的抗氧化劑才能防止酵母細胞在高滲透壓的環境下增加超氧化物的產生。（SABINA KOZIOL¹、MAREK ZAGULSKI²、TOMASZ BILINSKI¹、GRZEGORZ BARTOSZ，2004）

2. 酵母的細胞壁具有相互連接的 β -葡聚醣和幾丁質的內部基質，被認為可提供對抗壓力的張力。酵母細胞會隨著時間修復其細胞壁以面對環境變化，這一個過程由進化保守的壓力和細胞完整性信號通路控制。

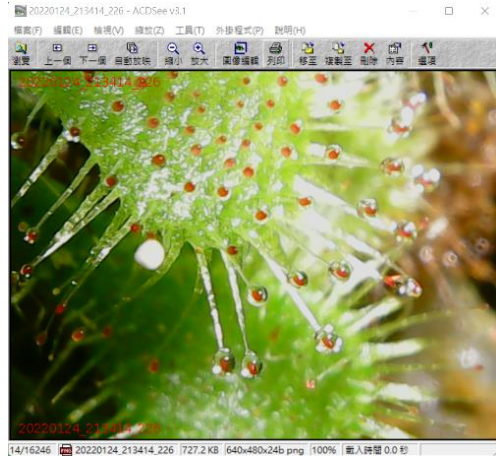
（Iuliana V.Ene、Louise A.Walker、Marion Schiavone、Keunsook K.Lee、Hélène Martin-Yken，2015）

二、研究方法：

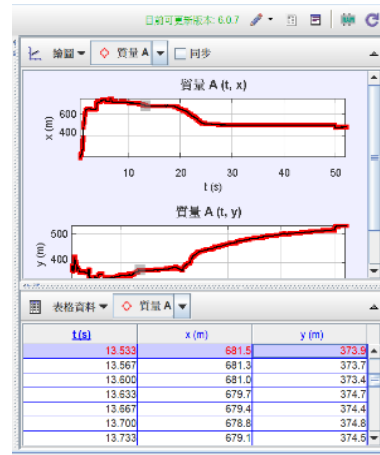
(一) 毛氈苔腺毛運動軌跡照片取得方式：

1.將毛氈苔放於縮時攝影機下，透過鏡頭調整酵母菌粉放置位置，並選擇所觀測毛氈苔腺毛。架設完成後，啟動縮時攝影程式並定時每一分鐘拍一張照片。

2.將實驗獲得的照片經由 ACDSsee 軟體（圖三）快速播放來觀察，接著再將照片製成影片，輸入 Tracker6.06 軟體（圖四），分析後可得到毛氈苔腺毛運動軌跡資料，最後製成圖表觀察。



圖三、ACDSee 軟體

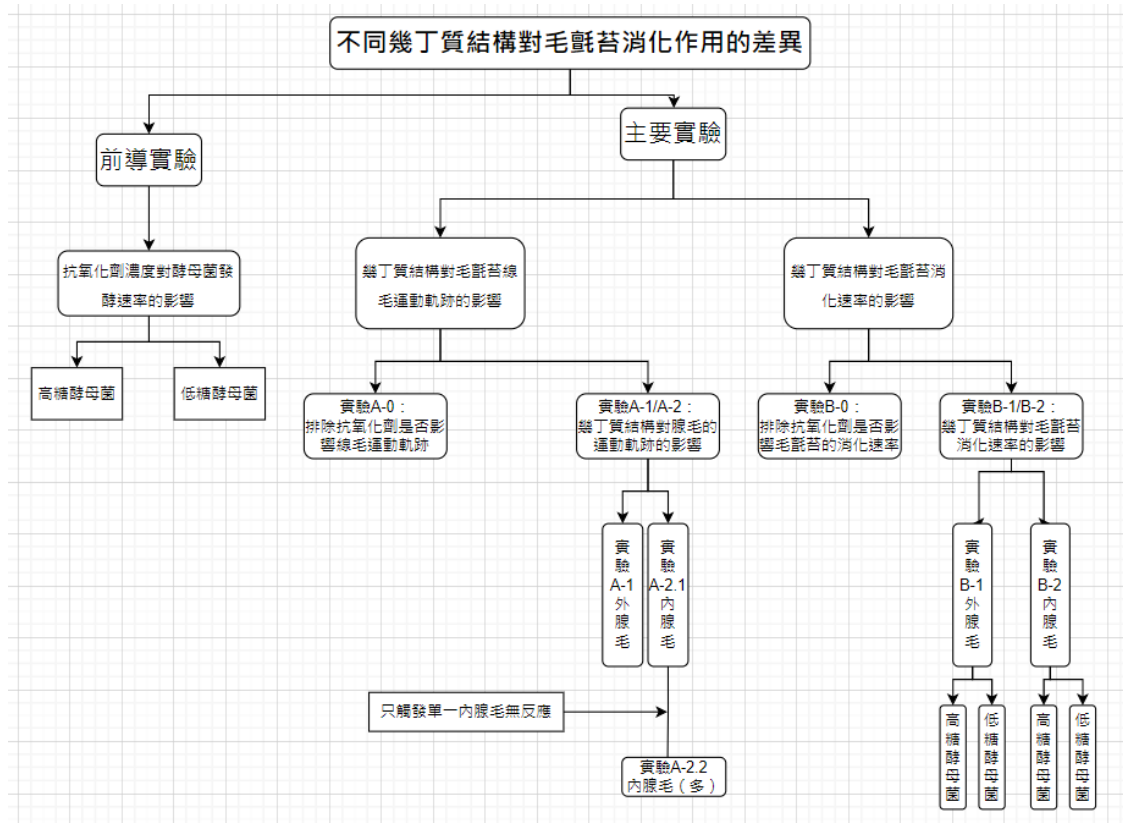


圖四、Tracker6.06 軟體

(二) 酵母菌粉取得方式：

由於市售酵母菌為粒狀，與我們實驗所要添加之抗壞血酸粉狀固體無法均勻混和，因此我們先行用研鉢研磨後再將兩者混合，再進行實驗。

三、實驗流程及步驟：



肆、研究結果

前導實驗：比較不同抗壞血酸濃度，是否會影響高糖酵母菌或低糖酵母菌的發酵速率？

說明：

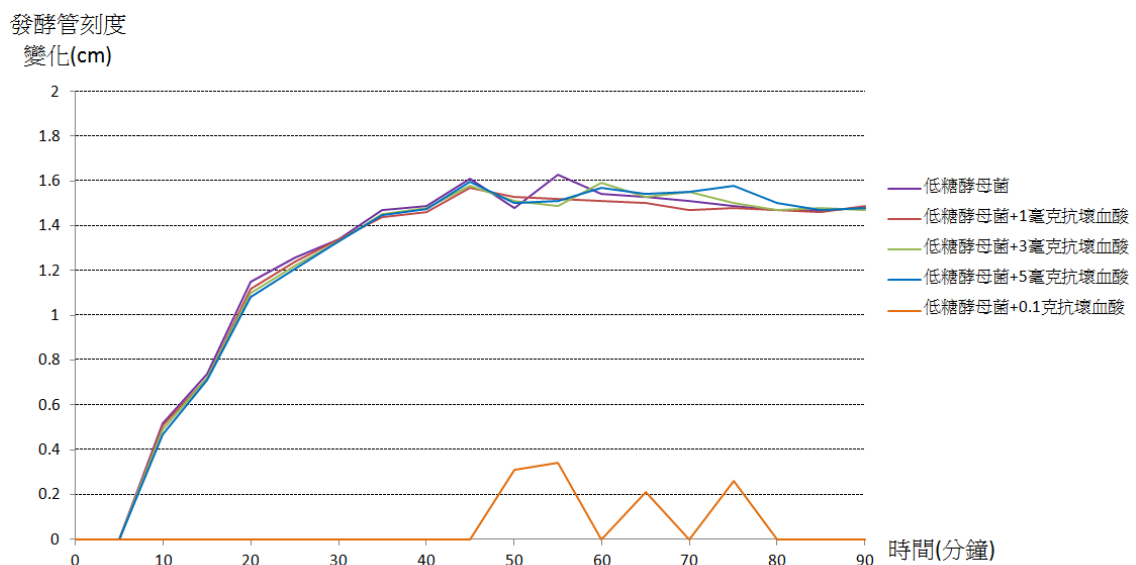
我們發現在市售高糖酵母菌的成分表中，有添加抗壞血酸作為抗氧化劑，而在市售低糖酵母菌成分表中並沒有。因此在做後續發酵管實驗之前，我們先設計實驗排除高糖酵母菌中，外加抗壞血酸的影響。因此我們藉由酵母菌進行酒精發酵時將葡萄糖分解產生二氧化碳，進而設計實驗探討高、低糖酵母菌對葡萄糖的發酵速率。

步驟：

- 1.將 0.5 克低糖酵母菌粉，分別加入抗壞血酸粉末 0 毫克、1 毫克、3 毫克、5 毫克與 0.1 克，並與 10.0 毫升 8%葡萄糖溶液混合
- 2.將混合溶液置於自製測量裝置，並將酵母菌發酵過程錄製成影片
- 3.利用 Tracker6.06 軟體分析空氣柱所在刻度，記錄下來並繪製成圖表
- 4.將低糖酵母菌粉替換成高糖酵母菌粉，並重複步驟一、二、三

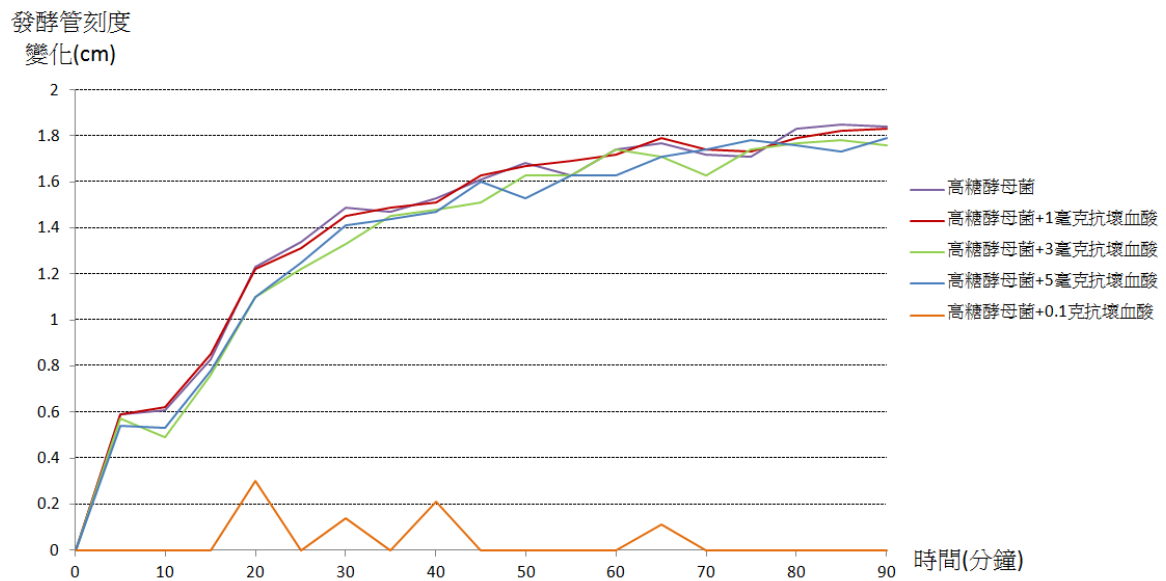
實驗結果：

外加抗壞血酸量對低糖酵母菌的發酵速率影響

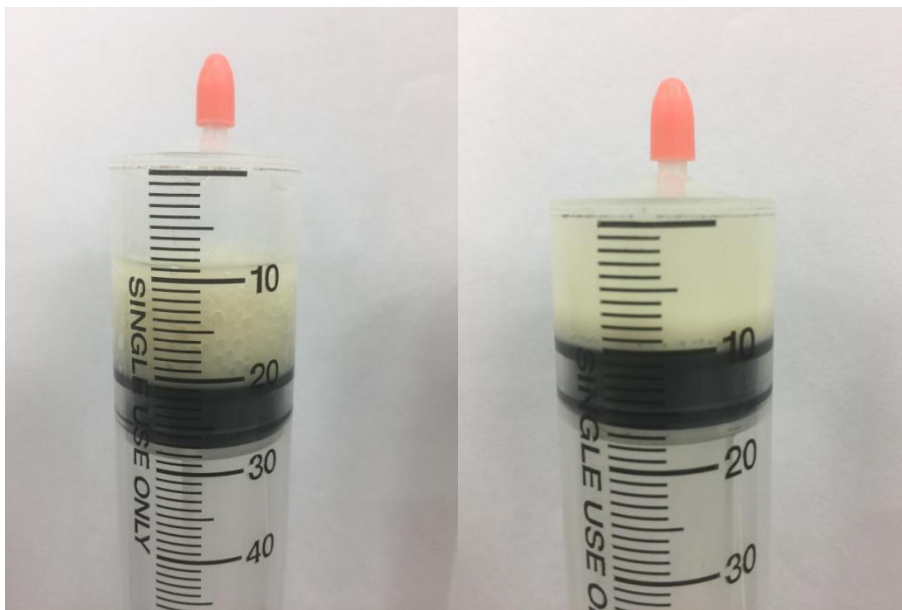


表一、外加抗壞血酸量對低糖酵母菌的發酵速率影響

外加抗壞血酸量對高糖酵母菌的發酵速率影響



表二、外加抗壞血酸量對高糖酵母菌的發酵速率影響



圖五、發酵管實驗裝置圖（左圖為低糖酵母菌、右圖為高糖酵母菌）

討論：

1. 分別比較高糖酵母菌粉及低糖酵母菌粉，加入抗壞血酸粉末 0 毫克、1 毫克、3 毫克與 5 毫克，可以發現在外加抗壞血酸量較多時，無論兩種酵母菌是否外加抗壞血酸，都對低糖酵母菌的發酵作用並無影響，且抗壞血酸量對於低糖酵母菌的發酵作用並無影

響。

2.根據衛生福利部食品藥物管理署食品藥物消費者專區的資料，食品中抗壞血酸用量在 1.3g/kg 以下，所以本次實驗抗壞血酸的比例非常高。

3.在圖表「外加抗壞血酸量對低糖酵母菌的發酵速率影響」以及「外加抗壞血酸量對高糖酵母菌的發酵速率影響」中，比較加入抗壞血酸粉末 0 毫克、1 毫克與 10 毫克，可以發現外加抗壞血酸量較多時，抗壞血酸量對於高、低糖酵母菌的發酵作用有抑制的效果。

實驗 A-0：排除抗氧化劑影響

說明：

讓毛氈苔外腺毛分別消化有加抗氧化劑的低糖酵母菌及沒加抗氧化劑的低糖酵母菌，將過程製成影片，再由 tracker6.06 軟體分析運動軌跡。

步驟：

- 1.取兩份低糖酵母菌粉 1 克並在其中一份加入抗氧化劑（維他命 C），配置成 25 毫升酵母菌液
- 2.各滴一滴酵母菌液在毛氈苔外腺毛上，將其置於 USB 數位顯微鏡下
- 3.每隔一分鐘拍攝一次，持續 4 小時
- 4.將照片編輯成影片後輸入 tracker 軟體分析並製成圖表
- 5.觀察結果並討論其差異

實驗結果：

分析兩者路徑，結果發現兩者運動軌跡相似，因此在後續實驗中，可合理排除抗氧化劑對實驗結果產生的影響。

實驗 A-1：毛氈苔外腺毛消化高、低糖酵母菌時運動軌跡的差異：

說明：

讓毛氈苔外腺毛消化高低糖酵母菌，將過程製成影片，再由

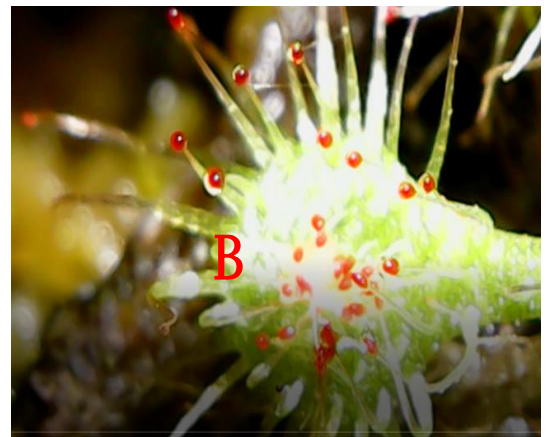
tracker6.06 軟體分析運動軌跡。

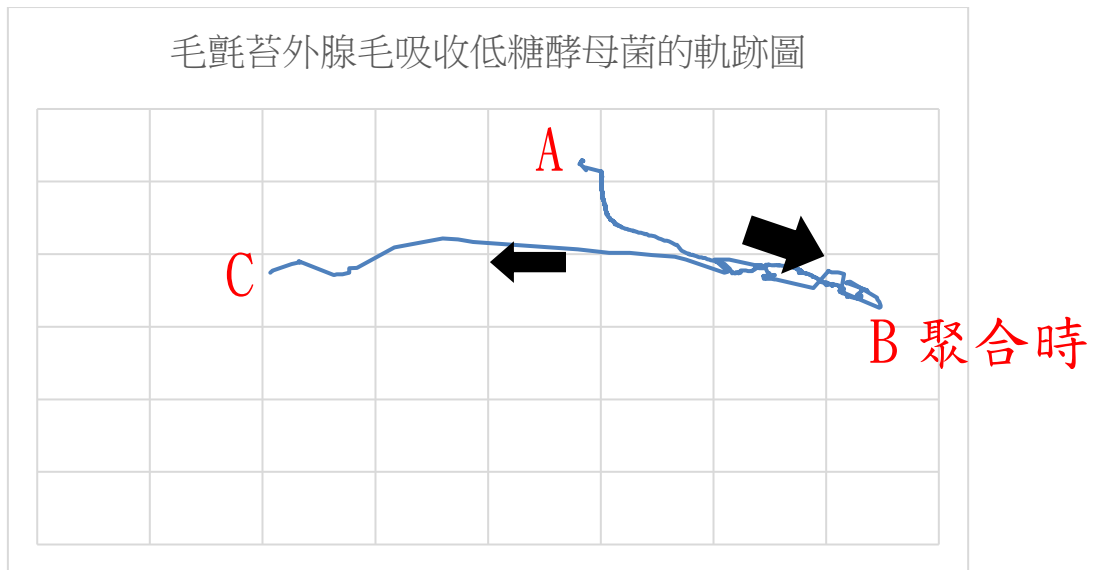
步驟：

- 1.取高、低糖酵母菌粉各 1 克，分別配置成 25 毫升酵母菌液
- 2.滴一滴酵母菌液在毛氈苔外腺毛上，將其置於 USB 數位顯微鏡下
- 3.每隔一分鐘拍攝一次，持續 2 天
- 4.將照片編輯成影片後輸入 tracker 軟體分析並製成圖表
- 5.觀察結果並討論其差異

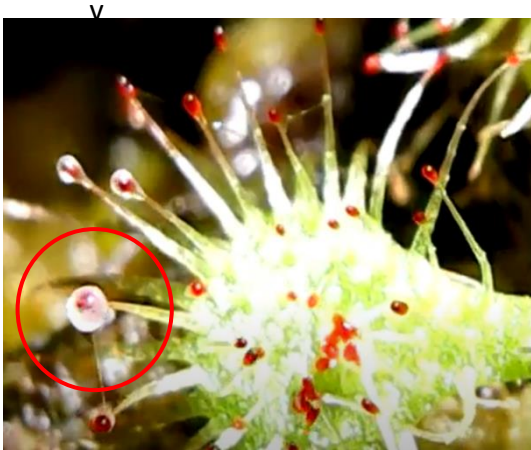
實驗結果：

(1) 低糖（順序為由 A 開始）





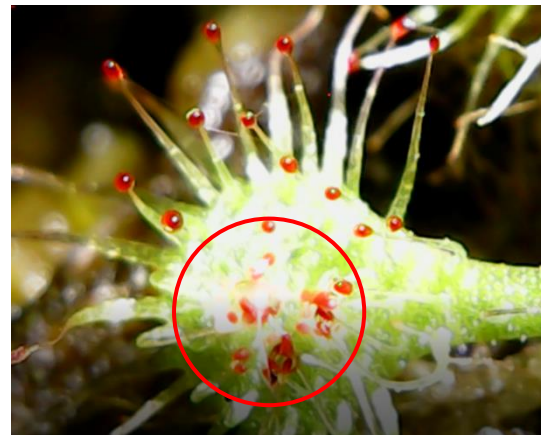
- 1.在 0h~1hr20min，沾有酵母菌的外腺毛並未開始移動，反倒是周圍的未沾到酵母菌的外腺毛先向內縮，如圖六。
- 2.在 1hr20min~2hr10min，沾有酵母菌的外腺毛向腺毛聚集中心靠近，並且沾有酵母菌的黏珠開始變紅，如圖七。
- 3.在 2hr10min，沾有酵母菌的外腺毛停止移動。
- 4.在 2hr10min~4hr，更多周圍未沾到酵母菌的外腺毛向中心移動，並聚集在同一處，形成一顆較大的黏珠，如圖八。
- 5.在 4hr~9hr20min，毛氈苔所有腺毛並未有更多移動情形。
- 6.在 9hr20min，沾有酵母菌的外腺毛開始向中心移動，並且沾有酵母菌的黏珠與所形成較大的黏珠融合，如圖九。
- 7.在 9hr20min~24hr30min，毛氈苔腺毛並未有更多移動情形。
- 8.在 24hr30min~48hr10min，沾有酵母菌的外腺毛開始向外移動，並且沾有酵母菌的黏珠開始與其他黏珠分離，如圖十。
- 9.在 48hr10min，毛氈苔恢復原本未捕食時狀態。



圖六、25min



圖七、1hr20min



圖八、9hr20min



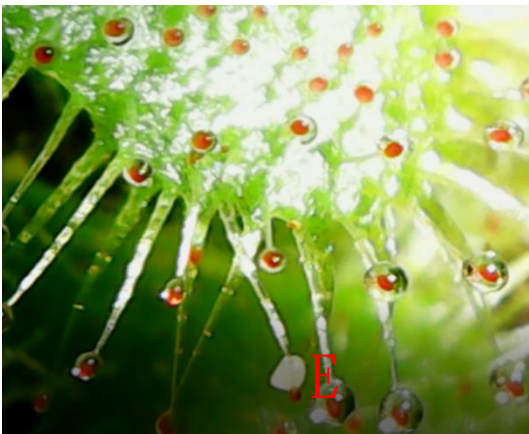
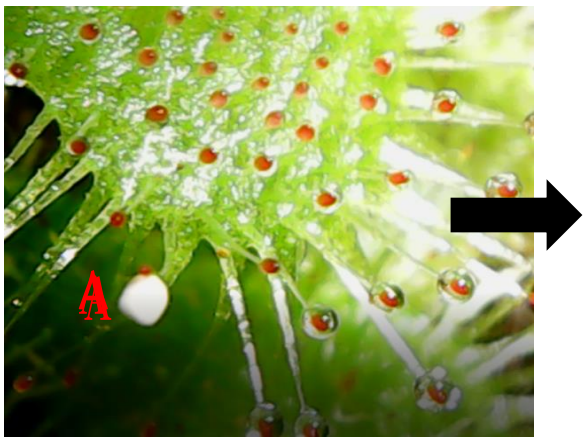
圖九、24hr~48hr



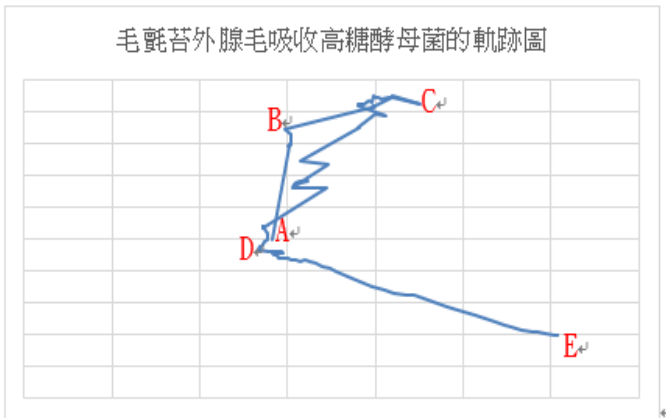
圖十、48hr10min

圖六、25min
 周圍的未沾到酵母菌的外腺毛先向內縮
 圖七、1hr20min
 沾有酵母菌的紅色黏珠向中心靠近
 圖八、9hr20min
 許多腺毛（包含有酵母菌液的）聚集形成一顆較大的黏珠
 圖九、24hr~48hr
 沾有酵母菌的外腺毛與其他黏珠分離，並開始向外移動
 圖十、48hr10min
 毛氈苔恢復原本未捕食時狀態

(2) 高糖 (順序為由 A 開始)



毛氈苔外腺毛吸收高糖酵母菌的軌跡圖



表五、毛氈苔外腺毛吸收高糖酵母菌的軌跡圖

- 1.在 0h~1hr40min，沾有酵母菌的外腺毛直接開始向中心移動。
- 2.在 1hr40min~6hr30min，沾有酵母菌的外腺毛移動至中心並停止移動。
- 3.在 6hr30min~15hr30min，外腺毛再次移動，更加靠近中心同時有更多內腺毛聚集成更大的黏珠，但並未與沾有酵母菌的黏珠合成更大的黏珠，如圖十一。
- 4.在 15hr30min~38hr，多個腺毛所形成的更大的黏珠開始分開成多個小黏珠，並且沾有酵母菌的黏珠持續離開中心，如圖十二。



圖十一、許多內腺毛的黏珠合併，但並未和沾有酵母菌的接觸



圖十二、沾有酵母菌的黏珠慢慢遠離

實驗 A-2.1：毛氈苔內腺毛（單個）消化高、低糖酵母菌時運動軌跡的差異：

說明：

讓毛氈苔內腺毛消化高低糖酵母菌，將過程製成影片，再由 tracker6.06 軟體分析運動軌跡。

步驟：

- 1.取低糖酵母菌粉各 1 克，分別配置成 25 毫升酵母菌液
- 2.滴一滴酵母菌液在毛氈苔其中一個內腺毛的黏珠上，並將其置於 USB 數位顯微鏡下。
- 3.每隔一分鐘拍攝一次，持續約兩天時間。
- 4.將照片編輯成影片後輸入 tracker 軟體分析。
- 5.將低糖酵母菌粉替換成高糖酵母菌粉，並重複步驟 1~4。
- 6.觀察結果並討論其差異。

實驗結果：

不論是滴加低糖酵母菌，或是高糖酵母菌，皆未有任何變化。毛氈苔不論是內腺毛或是外腺毛，皆無聚集或是靠近的現象，我們猜測可能是因為刺激不夠大，導致毛氈苔並未做出捕食運動的反應。因此我們再做一次實驗，而這次稍微修正了實驗設計，並重新進行實驗。

實驗 A-2.2：毛氈苔內腺毛（三個）消化高、低糖酵母菌時運動軌跡的差異：

說明：

讓毛氈苔內腺毛消化高低糖酵母菌，將過程製成影片，再由 tracker6.06 軟體分析運動軌跡。

步驟：

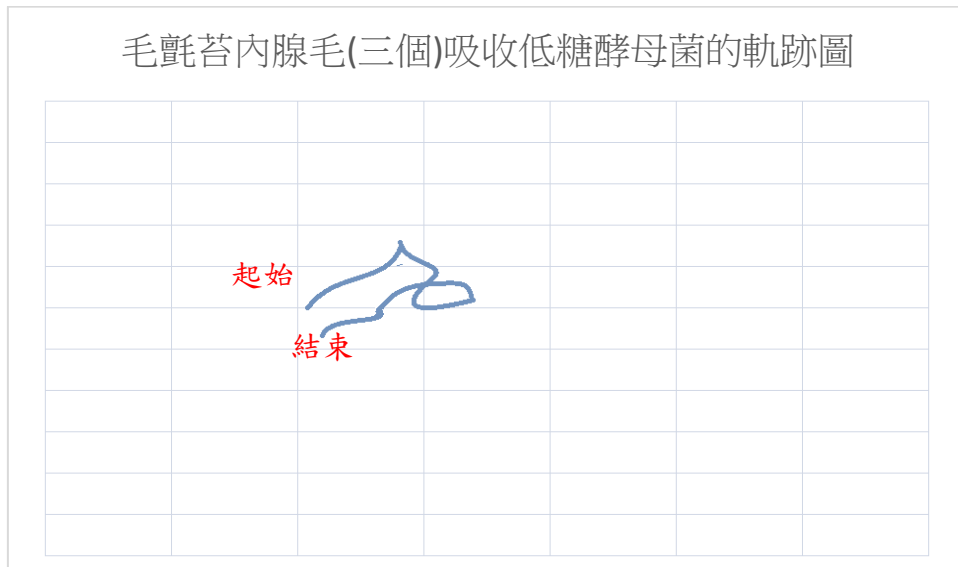
- 1.取高、低糖酵母菌粉各 1 克，分別配置成 25 毫升酵母菌液。
- 2.滴一滴酵母菌液在毛氈苔其中三個內腺毛的黏珠上，並將其置於 USB 數位顯微鏡下。
- 3.每隔一分鐘拍攝一次，持續約兩天時間。
- 4.將照片編輯成影片後輸入 tracker 軟體分析
- 5.將低糖酵母菌粉替換成高糖酵母菌粉，並重複步驟 1~4。

6.觀察結果並討論其差異。

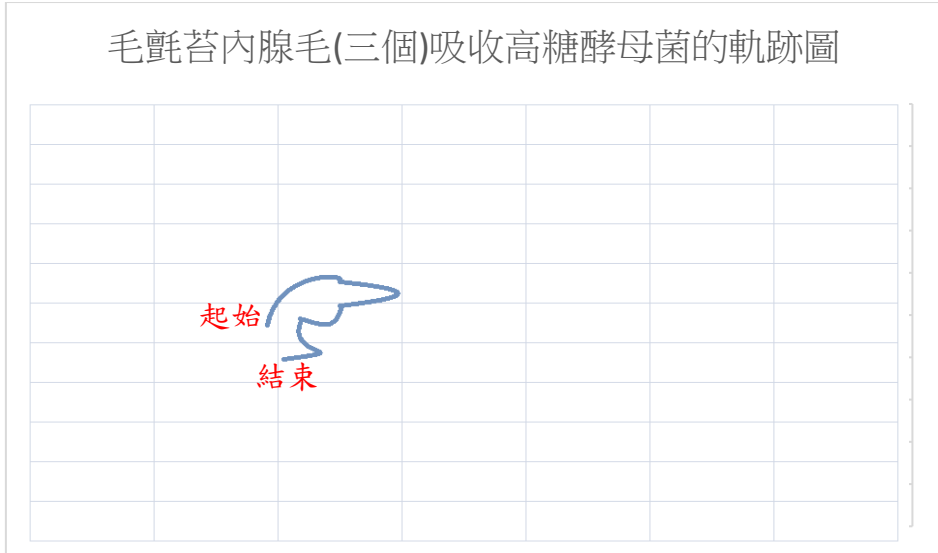
實驗結果：



圖十三、酵母菌液同時滴加在一株毛氈苔的三個內腺毛黏珠上，
可以發現毛氈苔腺毛產生聚集現象



表七、毛氈苔內腺毛（三個）吸收低糖酵母菌的軌跡圖



表八、毛氈苔內腺毛（三個）吸收高糖酵母菌的軌跡圖

- 1.若酵母菌液滴加在多個內腺毛，則當沾有酵母菌液的內腺毛個數越多，毛氈苔產生捕蟲運動所需的時間越短，且毛氈苔腺毛聚集現象越明顯。
- 2.相較於外腺毛，內腺毛幾乎不會主動進行運動，主要移動路徑是受到外腺毛移動影響。

實驗 B-0：排除抗氧化劑影響

說明：

讓毛氈苔外腺毛分別消化有加抗氧化劑的低糖酵母菌及沒加抗氧化劑的低糖酵母菌，並測量其消化速率。

步驟：

1. 取兩份低糖酵母菌粉 1 克並在其中一份加入抗氧化劑（維他命 C），配置成 25 毫升酵母菌液
2. 滴一滴酵母菌液在毛氈苔外腺毛上，並將其置於 USB 數位顯微鏡下
3. 每隔一小時紀錄一次，持續 24 小時
4. 觀察結果並討論其差異

實驗結果：

分析兩者細胞壁完整的酵母菌個數及細胞壁破損的酵母菌個數比例，結果發現兩者消化速率相似，因此在後續實驗中，可合理排除抗氧化劑對實驗結果產生的影響。

實驗 B-1：觀察毛氈苔外腺毛的消化速率

說明：

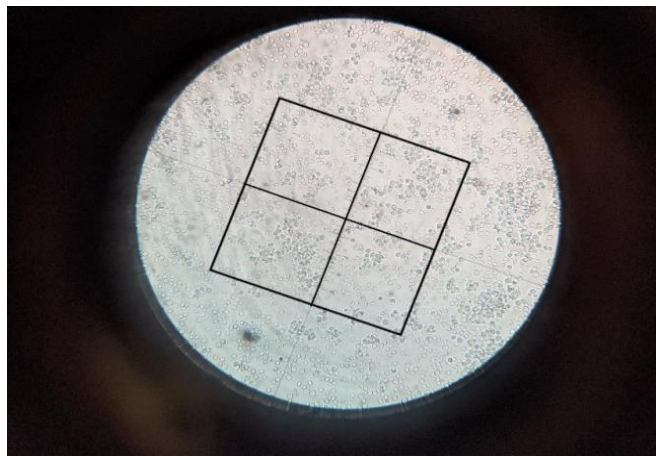
將低/高糖酵母菌液和外腺毛上的黏珠混和，一段時間後觀察細胞壁完整的酵母菌個數及細胞壁破損的酵母菌個數

步驟：

1. 取低糖酵母菌粉 1 克，配置成 25 毫升酵母菌液
2. 滴一滴酵母菌液在毛氈苔其中一個外腺毛的黏珠上。
3. 每隔一小時，利用針尖沾取黏珠裡的酵母菌液。
4. 在載玻片上滴一滴水後，將針尖浸於水滴中，並輕微搖晃，使的針尖上酵母菌能夠與水滴混合，並用顯微鏡（400 倍）觀察。
5. 拍照估算每單位面積中，分別有多少細胞壁完整的酵母菌個數，以及細胞壁破損的酵母菌個數。
6. 選擇不同視野，並重複步驟 5，重複五次並分別求出細胞壁完整的酵母菌平均個數，以及細胞壁破損的酵母菌平均個數。
7. 將低糖酵母菌替換成高糖酵母菌，並重複步驟 1~6。

估算方式：使用樣區法，以視野下顯微鏡目鏡測微器的十大格長度為一單位，畫一平方單位的正方形，分四等份，隨機取其中一區，並分別計算有多少細胞壁完整的酵母菌個數，以及細胞壁破損的酵母菌個數（一區面積大小）。

*一區酵母菌面積大小計算公式：每一個正方形面積為 $625\mu\text{m}^2$



圖十四、樣區法切割示意圖

結果：觀察紀錄如下表：

(1) 低糖

時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例	時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例
開始時	233	0	0	16hr後	246	89	0.361
1hr後	214	1	0.004	17hr後	245	84	0.342
2hr後	215	3	0.013	18hr後	220	98	0.445
3hr後	204	2	0.009	19hr後	213	116	0.544
4hr後	287	4	0.013	20hr後	226	121	0.535
5hr後	276	5	0.018	21hr後	247	134	0.542
6hr後	224	3	0.013	22hr後	207	142	0.685
7hr後	286	4	0.013	23hr後	192	158	0.822
8hr後	298	12	0.040	24hr後	198	179	0.904
9hr後	225	28	0.124	25hr後	167	158	0.946
10hr後	281	38	0.135	26hr後	154	127	0.824
11hr後	260	49	0.188	27hr後	138	114	0.826
12hr後	236	60	0.254	28hr後	126	105	0.833
13hr後	246	68	0.276	29hr後	134	97	0.723
14hr後	257	70	0.272	30hr後	121	83	0.685
15hr後	249	90	0.361				

顏色說明：

1. 黃色：沾有酵母菌液的黏珠變紅
2. 綠色：許多黏珠因腺毛往內縮而聚集成大球
3. 藍色：沾有酵母菌液的黏珠和大球混合在一起
4. 紅色：沾有酵母菌液的黏珠和大球分離。

(2) 高糖

時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例	時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例
開始時	188	0	0	13hr後	227	20	0.088
1hr後	194	1	0.005	14hr後	190	16	0.084
2hr後	182	3	0.016	15hr後	203	17	0.083
3hr後	230	2	0.008	16hr後	233	8	0.034
4hr後	201	2	0.009	17hr後	244	15	0.061
5hr後	221	1	0.004	18hr後	220	5	0.022
6hr後	227	5	0.022	19hr後	197	14	0.071
7hr後	242	10	0.041	20hr後	216	1	0.004
8hr後	247	19	0.076	21hr後	226	7	0.030
9hr後	217	12	0.055	22hr後	201	5	0.024
10hr後	220	13	0.059	23hr後	249	3	0.012
11hr後	183	10	0.054	24hr後	241	3	0.012
12hr後	247	15	0.060				

顏色說明：

1. 黃色：沾有酵母菌液的黏珠變紅
2. 綠色：許多黏珠因腺毛往內縮而聚集成大球
3. 藍色：沾有酵母菌液的黏珠和大球混合在一起
4. 紅色：沾有酵母菌液的黏珠和大球分離。

實驗 B-2：觀察毛氈苔內腺毛的消化速率

說明：

將低/高糖酵母菌液和內腺毛上的黏珠混和，一段時間後觀察細胞壁完整的酵母菌個數及細胞壁破損的酵母菌個數

步驟：

1. 取低糖酵母菌粉 1 克，配置成 25 毫升酵母菌液

2. 滴一滴酵母菌液在毛氈苔其中一個內腺毛的黏珠上。
3. 每隔一小時，利用針尖沾取黏珠裡的酵母菌液。
4. 在載玻片上滴一滴水後，將針尖浸於水滴中，並輕微搖晃，使的針尖上酵母菌能夠與水滴混合，並用顯微鏡（400 倍）觀察。
5. 拍照估算每單位面積中，分別有多少細胞壁完整的酵母菌個數，以及細胞壁破損的酵母菌個數。
6. 選擇不同視野，並重複步驟 5，重複五次並分別求出細胞壁完整的酵母菌平均個數，以及細胞壁破損的酵母菌平均個數。
7. 將低糖酵母菌替換成高糖酵母菌，並重複步驟 1~6。

結果：觀察紀錄如下表：

(1) 低糖

時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例	時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例
開始時	188	0	0	16hr後	171	50	0.292
1hr後	210	3	0.014	17hr後	176	63	0.357
2hr後	227	4	0.017	18hr後	186	71	0.381
3hr後	255	3	0.011	19hr後	185	75	0.405
4hr後	290	5	0.017	20hr後	173	88	0.508
5hr後	298	7	0.023	21hr後	168	82	0.488
6hr後	280	12	0.042	22hr後	161	94	0.583
7hr後	297	17	0.057	23hr後	184	101	0.548
8hr後	230	21	0.091	24hr後	171	97	0.567
9hr後	216	25	0.115	25hr後	163	107	0.656
10hr後	197	20	0.101	26hr後	151	99	0.656
11hr後	182	19	0.104	27hr後	147	105	0.714
12hr後	173	21	0.121	28hr後	134	111	0.823
13hr後	180	22	0.122	29hr後	142	104	0.732
14hr後	199	49	0.246	30hr後	131	105	0.801

15hr後	179	54	0.301	
-------	-----	----	-------	--

顏色說明：

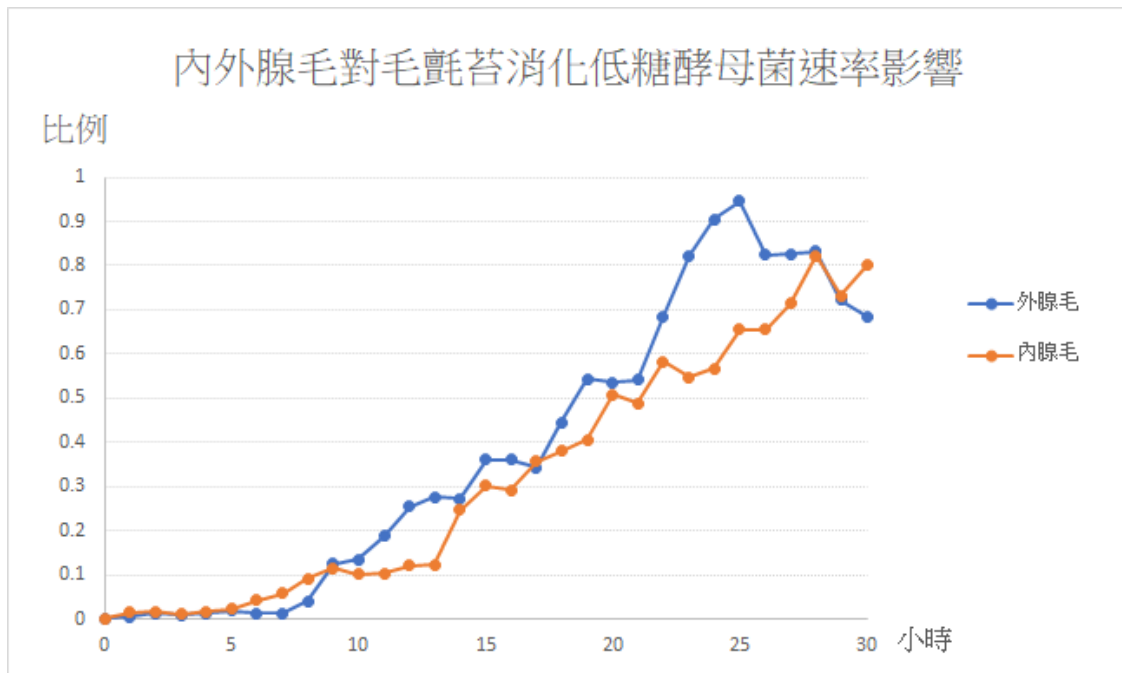
1. 黃色：沾有酵母菌液的黏珠變紅
2. 綠色：許多黏珠因腺毛往內縮而聚集成大球
3. 藍色：沾有酵母菌液的黏珠和大球混合在一起
4. 紅色：沾有酵母菌液的黏珠和大球分離。

(2) 高糖

時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例	時間	完整細胞數目	破損細胞數目	比例
開始時	194	0	0	13hr後	231	24	0.103
1hr後	244	18	0.073	14hr後	199	21	0.105
2hr後	220	24	0.109	15hr後	209	17	0.081
3hr後	232	14	0.060	16hr後	217	25	0.115
4hr後	196	25	0.127	17hr後	205	22	0.107
5hr後	218	11	0.050	18hr後	223	18	0.080
6hr後	182	22	0.120	19hr後	244	16	0.065
7hr後	226	20	0.088	20hr後	221	21	0.095
8hr後	200	16	0.08	21hr後	210	17	0.080
9hr後	195	12	0.061	22hr後	204	10	0.049
10hr後	183	13	0.071	23hr後	213	12	0.056
11hr後	224	10	0.044	24hr後	191	7	0.036
12hr後	197	19	0.096				

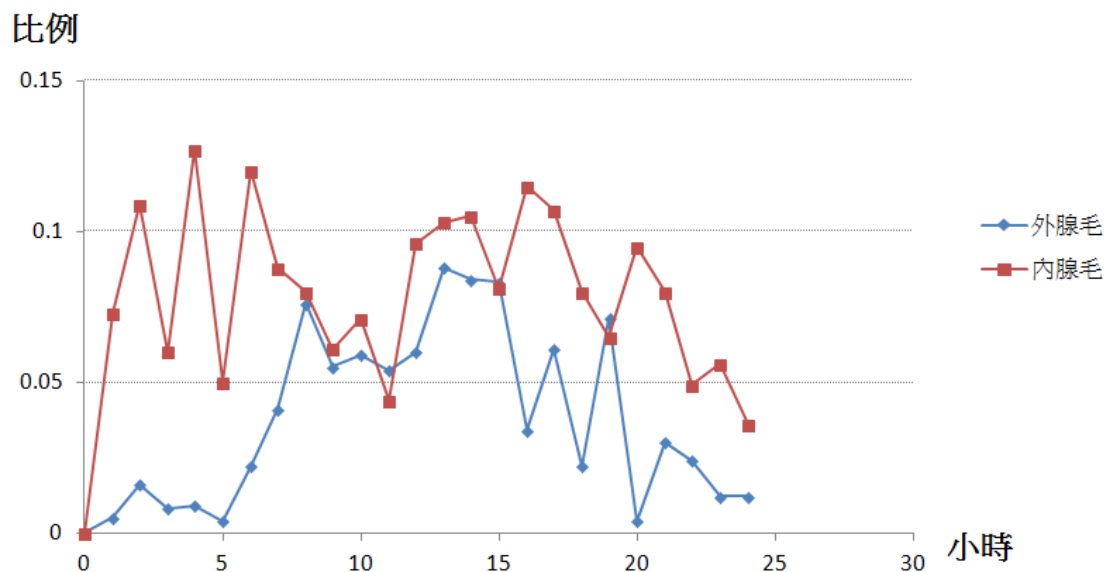
顏色說明：

1. 黃色：沾有酵母菌液的黏珠變紅
2. 綠色：許多黏珠因腺毛往內縮而聚集成大球
3. 藍色：沾有酵母菌液的黏珠和大球混合在一起
4. 紅色：沾有酵母菌液的黏珠和大球分離。



表九、內外腺毛對毛氈苔消化低糖酵母菌速率影響

內外腺毛對毛氈苔消化高糖酵母菌速率影響



表十、內外腺毛對毛氈苔消化高糖酵母菌速率影響

伍、結果討論

一、實驗 A：

實驗 A-1：毛氈苔外腺毛消化高、低糖酵母菌時運動軌跡的差異：
 根據縮時攝影記錄，我們比較毛氈苔分別消化高糖、低糖酵母菌時的腺毛運動軌跡差異，有以下觀察結果：

- 1.在加入低糖酵母菌的毛氈苔中，未沾有低糖酵母菌液的腺毛先向葉片中央彎曲。
- 2.在加入高糖酵母菌的毛氈苔中，沾有高糖酵母菌液的外腺毛最先發生運動（彎曲）；加入低糖酵母菌的組別則為未加入酵母菌液的腺毛先向葉片中央彎曲。
- 3.黏珠融合現象：在低糖酵母菌的組別中，沾有酵母菌液的黏珠與其他未沾有酵母菌的黏珠融合；加入高糖酵母菌的組別則未發生此現象。
- 4.推測黏珠融合現象產生原因，我們認為是在放入酵母菌液後兩組皆產生物理觸發，外腺毛受到刺激後，使得沾有酵母菌液的外腺毛開始向中心移動。
- 5.而酵母菌液需要先初步被黏珠消化後，釋出化學物質產生進一步的化學性觸發，以造成後續的捕蟲運動。

實驗 A-2.2：毛氈苔內腺毛（多個）消化高、低糖酵母菌時運動軌跡：

- 1.將酵母菌液沾於單一內腺毛上，未產生任何反應，與實驗 A-1 的外腺毛，僅需單一外腺毛沾有酵母菌液即可觸發捕蟲運動，兩者現象不同。而若增加放入酵母菌液的腺毛數，則內腺毛開始產生向中心聚集的現象。
- 2.我們從毛氈苔行捕蟲運動的角度推測，依據我們在攝影機底下所觀察到的毛氈苔形狀大小，外腺毛所接觸空間範圍較內腺毛廣，故昆蟲較容易碰到外腺毛。因此，當單一外腺毛受到昆蟲（酵母菌液）物理觸發，會迅速進行黏珠融合，以利吸收養分。而由於內腺毛大部分方向向上並較短，因此飄落於內腺毛上的物質常為灰塵或是其他非營養物質，由於毛氈苔行捕蟲運動需要耗能，故毛氈苔為了節省能量，會等到有更多的內腺毛受到物裡觸發後，才進行捕蟲運動。
- 3.由縮時攝影可發現，腺毛向中心聚集的時間與沾到酵母菌液的內腺毛黏珠數目成負相關，即沾到酵母菌液的內腺毛黏珠數目越多，腺毛向中心聚集的時間越短。
- 4.在腺毛向中心聚集的現象中，我們觀察到不只內腺毛會融合，外腺毛也會移到中心，與內腺毛的黏珠融合。而內腺毛彎曲現象，不論加入高糖

或低糖酵母菌皆不明顯。由於內腺毛的移動情形主要是受到外腺毛影響，我們認為是因為內腺毛長度本來就較其他腺毛短，聚集難度較高，因此外腺毛會向中心聚集，輔助內腺毛聚集。

實驗 A 結論：

比較實驗 A-1 與實驗 A-2 的結果，可比較毛氈苔內外腺毛運動的差異。相較於內腺毛，外腺毛的運動較為明顯，且依據酵母菌的不同毛氈苔會產生不同的捕蟲運動行為。內腺毛則不論加入酵母菌為高糖或低糖，皆無產生較明顯的腺毛彎曲現象，主要是被外腺毛帶動。

二、實驗 B：

實驗討論 B-1：

- 1.在實驗 A 中，我們發現沾有高糖酵母菌液的黏珠，不會與其他未沾有酵母菌液的黏珠融合。根據實驗結果，我們推測是因為高糖酵母菌不易被黏珠消化，因此無法產生足夠的化學物質，觸發進一步的化學訊號。
- 2.此推測可進一步由此實驗結果確認。沾有高糖酵母菌液的黏珠，破碎酵母菌細胞和完整酵母菌細胞比例無太大起伏；而沾有低糖酵母菌液的黏珠，在 25 小時，視野下擁有最大比例的破碎細胞。
- 3.在 25 小時後，破碎細胞比例逐漸減少，且同時顯微鏡下剩餘酵母菌細胞數量下降，且若比較縮時攝影，可發現在第 25 小時時，沾有低糖酵母菌液的黏珠和其他黏珠分離。因此我們認為此時毛氈苔已經將大部分完整酵母菌分解成小單元，而造成完整酵母菌數量下降，使毛氈苔吸收破損酵母菌的速率大於分解完整酵母菌的速率，故黏珠不須融合來促進消化速率，因此融合的黏珠分離。

實驗討論 B-2（內腺毛）（高糖 vs.低糖）

- 1.綜合實驗 B-1 與實驗 B-2 的結果，可比較內外腺毛的消化速率差異。由實驗數據可知，實驗 B-2 結果大致與實驗 B-1 相同：低糖酵母菌組的消化速率較快，而高糖酵母菌組的消化速率較慢。

- 2.在實驗 A-2 中，發現若將酵母菌液放在單一內腺毛上，內腺毛不會產生反應，需要一次放在多個內腺毛上才會引起腺毛彎曲及後續的消化作用。因此在實驗 B-2 中，我們將酵母菌分在兩個相鄰的黏珠上，使內腺毛產生反應。為了比較具有實驗意義，我們實驗數據分析外腺毛兩黏珠融合的時間點為其始點，並分析比較內外腺毛的消化速率。
- 3.經由實驗可發現，不論加入高糖或低糖酵母菌，內腺毛皆具有更高的消化速率。但經過約 10 小時，由於外腺毛彎曲運動較明顯，沾有酵母菌的黏珠和其他內腺毛的黏珠融合，而造成消化速率上升。雖然內腺毛行消化作用時也出現內、外黏珠融合的現象，但因為內腺毛彎曲運動較不明顯、黏珠混合需依靠外腺毛彎曲帶動內腺毛的黏珠融合，因此此現象出現時間較晚，造成消化速率上升的時間點較晚。

實驗 B 結論：

比較毛氈苔消化高糖、低糖酵母菌的速率：

1. 外腺毛：由於細胞壁結構的不同，外腺毛對於低糖酵母菌有更高的消化速率。與實驗 A 之結果比較，可解釋低糖酵母菌被分解所產生的物質能有效觸發化學訊號，而高糖酵母菌的組別則因較低的消化速率，無法產生有效的化學訊號。
2. 內腺毛：實驗結果與外腺毛的組別相同：低糖酵母菌組有更高的消化速率。
- 3.比較內、外腺毛的消化速率：由實驗結果可知，不論加入酵母菌為高糖或低糖，內腺毛在消化同種酵母菌時有更高的消化速率。但外腺毛較早發生消化作用，而內腺毛則較晚才發生。
- 4.推測黏珠融合現象產生目的，是為了讓酵母菌液與更多的黏珠混合，使得消化速度加快。

陸、參考資料

1.Sabina Koziol,Marek Zagulski,Tomasz Bilinski,Grzegorz Bartosz (2005) .Antioxidants protect the yeast *Saccharomyces cerevisiae* against hypertonic stress

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16028362/>

2.Jean Marie Francois,Cécile Formosa,Marion Schiavone,Flavien Pillet,Hélène Martin-Yken,Etienne Dague (2013) Use of atomic force microscopy (AFM) to explore cell wall properties and response to stress in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24071902/>

3.R. Länger,I.Pein,B.Kopp (1995) Glandular hairs in the genus *Drosera* (*Droseraceae*)

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00982853>

4.Finbarr G,Clancy,Michael D. Coffey (1977) Acid phosphatase and protease release by the insectivorous plant *Drosera rotundifolia*

<https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/b77-058>

5.Ildikó Matušíková,Ján Salaj, Jana Moravčíková, Ludmila Mlynárová, Jan-Peter Nap & Jana Libantová (2005) Tentacles of in vitro-grown round-leaf sundew (*Drosera rotundifolia*L.) show induction of chitinase activity upon mimicking the presence of prey

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-005-0047-5>

6.以蜜露為致命誘餌的肉食植物—小毛氈苔 2016年9月08號

<https://www.natgeomedia.com/environment/article/content-4427.html>

7.*Drosera spatulata* var. *gympiensis* : the Formal Description of the “Hairy Sepal” Taxon from South-Eastern Queensland 2005年6月

https://legacy.carnivorousplants.org/cpn/Species/v34n2p56_60.html

8. Carnivorous Plant Digestion and Nutrient Assimilation from [https :
//www.carnivorousplants.org/cp/carnivory/digestion](https://www.carnivorousplants.org/cp/carnivory/digestion)

9. Gottlieb Haberlandt (1982) From sinnesorgane im pflanreich
[https :
//cpn.carnivorousplants.org/articles/CPNv11n3p66_73.pdf](https://cpn.carnivorousplants.org/articles/CPNv11n3p66_73.pdf)

10. 維生素 C

[https :
//kb.commonhealth.com.tw/library/408.html#data-44-collapse](https://kb.commonhealth.com.tw/library/408.html#data-44-collapse)

11. 【麵包必備原料】酵母好多種類 還有分高糖和低糖？用錯會失敗嗎？

[https :
//www.heybaker.com/blog/posts/yeast5](https://www.heybaker.com/blog/posts/yeast5)

12. 食品用添加物安全管制與規範專案調查研究報告，程仁宏、楊美鈴、趙昌平、洪昭男，2010

[https :
//www.cy.gov.tw/public/Data/011269585071.pdf](https://www.cy.gov.tw/public/Data/011269585071.pdf)

13. 謝謹暄，中華民國第 59 屆全國中小學科展高中組 植物學科：點線面-探討毛氈苔的捕食運動機制

[https :
//twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-052101.pdf](https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-052101.pdf)

【評語】 060003

- 一、此研究是推論高糖及低糖酵母菌會影響毛氈苔 的消化與吸收，甚至內外腺毛彎曲軌跡與吸收速率。
- 二、研究主題及分析方法頗有創意，而且在預做實驗中有注意到高滲透壓溶液及抗氧化劑的添加對實驗的影響，亦善用自動拍攝及影像處理的先進技術。
- 三、呈現的結果多為單一次實驗的結果，無法得知是實驗誤差？還是具有意義的差異？例如軌跡實驗，如果能做移動距離或速率的分析，將會是非常有趣的結果。
- 四、高糖及低糖酵母菌細胞壁的幾丁質的組成方式差異為何，應加以說明。
- 五、內文中參考文獻的陳列非科學文章通用引用寫法。