

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

佳作

(鄉土)教材獎

082902

熟悉的麥芽糖最對味—探討糖化的最佳條件

學校名稱：基隆市七堵區復興國民小學

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| 作者： 小六 李宗聖 小六 林怡農 小六 陳冠筑 | 指導老師： 黃建忠 |
|-----------------------------------|--------------|

關鍵詞：麥芽糖、糖化、水解

摘要

目前在我們社區中有農家使用傳統做法製作麥芽糖，其容易製作且材料單純，可將食物轉換形式延長保存期限。藉由學校的特色課程，在五年級上學期會學到傳統的麥芽糖製作方式，五年級下學期自然防鏽與食品保存單元中，有學習食物的保存和化學變化。因此透過科展的機會，探討麥芽糖糖化的原因，藉此找出最佳的製作方式，增加傳統麥芽糖的生產速度並節省成本，以及面對現代人喜歡低糖不黏牙的喜好，做出符合現代人口味的麥芽糖，為社區的產業做出貢獻。實驗結果發現使用澳洲產的小麥草，水耕栽培 3 天，並且在常溫環境以小麥草與蒸熟蓬萊米 1:2 混合，靜置 3 小時以上，即可完成省時間及原料，且低糖、黏性較低的麥芽糖，這樣才會好吃不黏牙。

壹、研究動機

我們社區中有商家堅持使用傳統的柴燒方式製作麥芽糖，是社區中重要的經濟來源，透過學校的麥芽糖特色課程，在五年級上學期會認識到製作傳統麥芽糖的過程，以及五年級下學期自然防鏽與食品保存單元中，有學習食物的保存和化學變化，因此對麥芽糖的製作原理產生好奇，麥芽糖到底是如何從小麥草製作出來的？經由與農場老闆和老師詢問，才發現原來製作的細節相當繁瑣，其中蘊藏很多科學的原理，所以想要透過科展的機會，深入研究麥芽糖的製作流程，找出讓傳統麥芽糖縮短生產時間、產量提升的最佳作法，以及面對現代人喜歡低糖不黏牙的喜好，做出符合大眾需求的麥芽糖，讓社區的產業更加蓬勃發展。

貳、研究目的

實驗一：使用臺灣、澳洲、美國生產的小麥種子，進行發芽率的比較。

實驗二：使用種子培育小麥草，進行培育 1、3、5、7、9 天對糖化的影響。

實驗三：使用圓糯米、長糯米、白米，對糖化結果的影響。

實驗四：使用生糯米、蒸熟糯米，對糖化結果的影響。

實驗五：比較小麥草與糯米的比例，1:1、1:2、1:5、1:10、1:25 對糖化的影響。

實驗六：使用恆溫電磁爐保溫，比較 25、38、50、63、75°C 對糖化的影響。

實驗七：比較糖化環境中，進行 1、3、5、7、9 小時對糖化的影響。

參、研究設備及器材

一、原料與材料

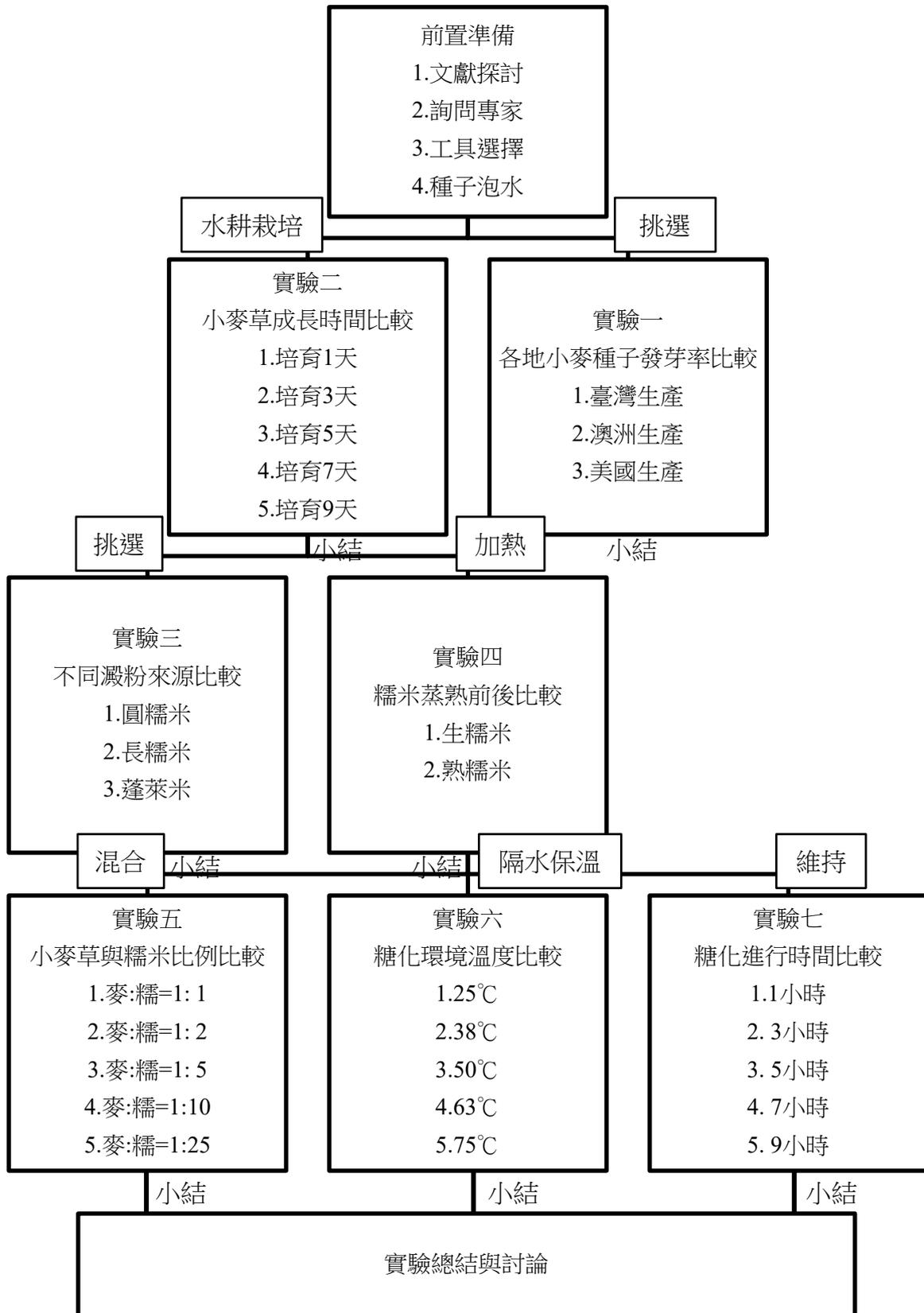
| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 1.臺灣產小麥種子 | 2.澳洲產小麥種子 | 3.美國產小麥種子 | 4.蓬萊米 |
|  |  | | |
| 5.圓糯米 | 6.長糯米 | | |

二、儀器與設備

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 1.文具籃 | 2.塑膠盤 | 3.塑膠網布 | 4.電子秤 |
|  |  |  |  |
| 5.砝碼 | 6.燒杯 | 7.陶瓷纖維網 | 8.洗衣袋 |
|  |  |  |  |
| 9.量杯/量筒 | 10.卡式爐 | 11.恆溫電磁爐 | 12.小鐵鍋 |
|  |  |  |  |
| 13.溫度計 | 14.糖度劑 | 15.水分儀 | 16.玻棒 |

肆、研究過程或方法

一、實驗架構圖



二、實驗流程圖



三、製作麥芽糖的原理

(一)麥芽糖的成分

麥芽糖屬雙醣，其為澱粉酶分解澱粉產生的雙糖，色澤紅黃，性狀糊粘、甜味比蔗糖弱，還具有潤肺止咳的藥效。麥芽糖的製作原理很簡單，就是利用麥芽中含有的天然澱粉酶，將原料中的澱粉催化水解，生成以麥芽糖為主的水解產物。本實驗亦是使用此種方法，使用天然小麥草的澱粉酶，來水解研究中的糯米等發酵物，使其澱粉水解為雙糖，即為實驗產出的傳統麥芽糖。麥芽膏的水分含量則依據社區農家販售的麥芽糖實際使用水分儀測試，約在 18%左右，因此控制實驗中麥芽糖的水分含量，使用水分儀測量後須為 $18\% \pm 1\%$ 。

(二)糯米的成分

糯米在外貌上，為不透明的白色。與其他稻米的最主要分別是它所含的澱粉中以支鏈澱粉為主，達 95%至 100%，因而煮後較具黏性。含有蛋白質、脂肪、糖類（以澱粉為主）、鈣、磷、鐵、維生素 B1、維生素 B2 等，營養豐富。因為糯米含鈣高，有補骨健齒的作用。

(三)小麥草的培育

小麥草的種植如同豆芽菜一般，只是在培育過程中為了使其成功率及產率提升，經詢問農家做法後討論使用水耕法種植，但也有其缺點：

1. 需要選擇適當的氣候，盡量要選擇 25°C 以下的天氣來種植以避免大量發霉。
2. 要保持種植環境通風以免滋生果蠅造成食品衛生疑慮。
3. 為使製作出的麥芽糖顏色與傳統麥芽糖一致，經文獻查詢與專家詢問後，於小麥草培育時以不照光種植，減少葉綠素生成以利實驗進行與顏色比較。
4. 要能有效控制因為小麥發芽時行呼吸作用產生的廢水，便於清洗和排除，是本實驗在選擇適當容器進行水耕種植時，探討最多的部分。必須要使用透水的容器來種植，讓小麥草不被淹在水中而淹死，又可讓根系能直接透過孔洞滲透至下面的不透水盤吸水，達到順利種植成功的目的。
5. 本實驗開始進行前，已經過多次嘗試將種植的容器進行篩選，結果即為本次實驗看到的文具籃和塑膠盤加上塑膠網布，可保持透氣並減少發霉可能，且器材便宜好取得。

伍、研究結果

一、實驗一：不同地區生產的小麥種子對發芽率的比較

(一)將臺灣、澳洲、美國生產的小麥種子泡水 1 天後，剔除不完整的種子後各取 100 顆。

(二)以水耕的方式，於陰暗不照光處栽培，每日定時澆水換水。

(三)栽培 5 日後，觀察並比較發芽的情形。

1. 臺灣產小麥：



2. 澳洲產小麥：



3. 美國產小麥：



(四)結果分析

| 產地 | 臺灣 | 澳洲 | 美國 |
|------------------|--|---|--|
| 栽培第 5 日 小麥草外觀 |  較多種子未發芽 |  長度較長且發芽數多 |  長度較短發芽數適中 |
| 發霉狀況 |  少量發霉 |  極少發霉 |  多處發霉 |

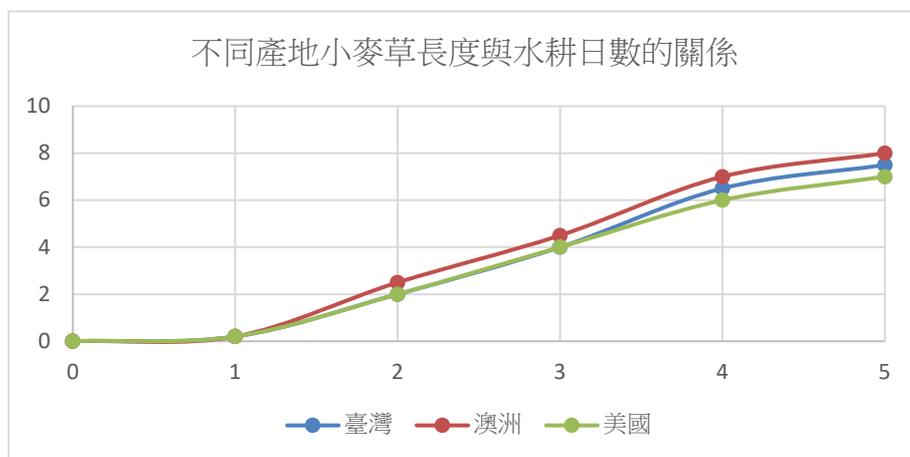
| | | | |
|--------------|---|---|--|
| 第 1 日長度 | 0.2cm | 0.2cm | 0.2cm |
| 第 2 日長度 | 2cm | 2.5cm | 2cm |
| 第 3 日長度 | 4cm | 4.5cm | 4cm |
| 第 4 日長度 | 6.5cm | 7cm | 6cm |
| 第 5 日長度 | 7.5cm | 8cm | 7cm |
| 小麥草 平均重量 |  8g |  16g |  10g |
| 發芽數 | 49 | 79 | 57 |
| 未發芽數 | 51 | 21 | 43 |
| 平均發芽率 | 約 49% | 約 79% | 約 57% |
| 水耕栽培 適合程度 | 較差 | 佳 | 一般 |

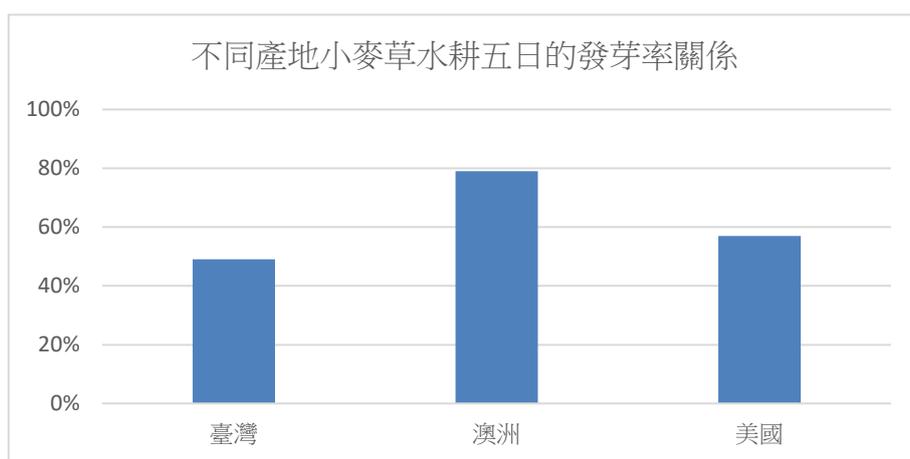
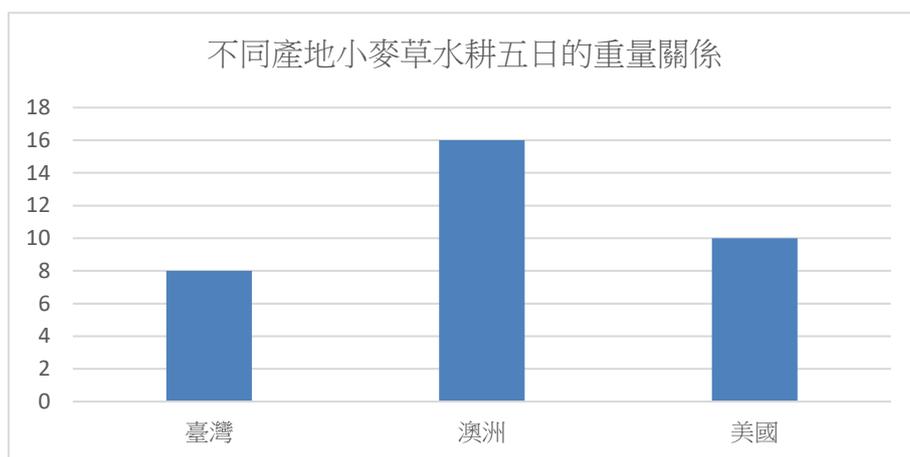
(五)小結

1. 三種來源的種子購買成本大約每 100g 以 1 元販售，所以原料成本都差不多。
2. 小麥草發霉狀況好至壞，澳洲產>臺灣產>美國產。
3. 小麥草成長速度快至慢，澳洲產>美國產>臺灣產。
4. 小麥發芽率高至低，澳洲產>美國產>臺灣產，其中澳洲產的發芽率近八成。

(六)討論

1. 考量往後的實驗方法，如果以水耕的方式栽培小麥草，以澳洲產的小麥最為適合。
2. 發現小麥草每天的成長速度略有不同，是否天數與麥芽糖的產量有關？發想出實驗二。





圖一 實驗一：不同地區生產的小麥種子對發芽率的比較

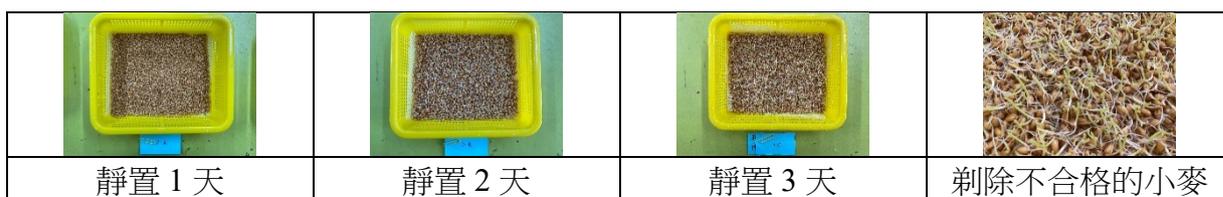
二、實驗二：小麥草成長時間對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

1. 栽培 1 天：種子泡水 1 天後每日澆水換水靜置 1 天，只留下已發芽的良好小麥草。



2. 栽培 3 天：種子泡水 1 天後每日澆水換水靜置 3 天，只留下已發芽的良好小麥草。



3. 栽培 5 天：種子泡水 1 天後每日澆水換水靜置 5 天，只留下已發芽的良好小麥草。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 種子泡水 | 暗處栽培每日換水 | 靜置 1 天 | 靜置 2 天 |
|  |  |  |  |
| 靜置 3 天 | 靜置 4 天 | 靜置 5 天 | 剷除不合格的小麥 |

4. 栽培 7 天：種子泡水 1 天後每日澆水換水靜置 7 天，只留下已發芽的良好小麥草。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 靜置 1 天 | 靜置 2 天 | 靜置 3 天 | 靜置 4 天 |
|  |  |  |  |
| 靜置 5 天 | 靜置 6 天 | 靜置 7 天 | 剷除不合格的小麥 |

5. 栽培 9 天：種子泡水 1 天後每日澆水換水靜置 9 天，只留下已發芽的良好小麥草。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 種子泡水 | 暗處栽培每日換水 | 靜置 1 天 | 靜置 2 天 |
|  |  |  |  |
| 靜置 3 天 | 靜置 4 天 | 靜置 5 天 | 靜置 6 天 |
|  |  |  |  |
| 靜置 7 天 | 靜置 8 天 | 靜置 9 天 | 剷除不合格的小麥 |

(二)採收後榨汁

1. 將小麥草整株連根拔起，盡量保留整株完整，包含種子、根、葉子。
2. 簡易以水清洗後，以電子秤稱量小麥草 25g 後切碎。
3. 加入 50ml 的水與小麥草混合，即完成實驗需要的小麥汁。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 秤量小麥草 25g | 小麥草切碎 | 加入 50ml 的水 | 完成小麥汁 |

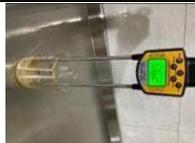
(三)糖化

將糯米 50g 和麥草汁均勻攪拌後放置恆溫電磁爐隔水保溫(恆溫電磁爐顯示數值需再增加 5°C 才會與實際溫度符合)，並維持在 50°C 持續 3 小時，糖化後透過洗衣網過濾，只留汁液。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 秤量糯米 50g | 糯米蒸熟 | 糯米裝入燒杯 | 糯米混合小麥汁 |
|  |  |  |  |
| 50°C 隔水保溫 | 加蓋避免熱散失 | 糖化完成 | 洗衣網過濾汁液 |

(四)脫水

將汁液加熱煮滾至膏狀冒泡後，使用水分儀檢測含水量至 18%±1% 後，放涼封口完成實驗。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 將燒杯放置瓦斯爐 | 瓦斯爐煮滾至冒泡 | 使用水分儀檢測 | 加熱至膏狀後封口 |

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖的重量，計算 50g 的糯米能轉換出多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度，量三次取平均值。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上，用手緩緩向上用力拉，測量麥芽膏與砝碼分離時出現的重量最大值(螢幕顯示為負值，且先前已藉由定滑輪，使用砝碼反覆拉扯進行驗證，確認重量與顯示之數值無誤)，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，測量向上可拉扯的平均距離。

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
| 電子秤測量 | 10ml 水稀釋 | 糖度計測量 | 麥芽膏平抹 | 分離最大值 | 拉扯麥芽膏 |

(六)結果分析

實驗中將培養不同天數的小麥草進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自糯米 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

| 栽培天數 | 1 天 | 3 天 | 5 天 | 7 天 | 9 天 |
|-----------|--|--|--|--|--|
| 小麥草外觀 |  |  |  |  |  |
| 平均長度 | 0.2cm | 3.5cm | 7cm | 11cm | 16cm |
| 麥芽糖外觀 |  淡黃色 |  淺棕色 |  棕色 |  深黃色 |  黃色 |
| 水分含量 |  17.6% |  18.4% |  18.6% |  18.3% |  18.7% |
| 麥芽糖重量 |  18g |  35g |  33g |  26g |  25g |
| 轉換率 | 36% | 70% | 66% | 52% | 50% |
| 糖度 (Brix) | 7.1% | 9.0% | 11.1% | 9.1% | 7.2% |
| 黏性 | 1557gw | 1762gw | 1780gw | 1653gw | 1584gw |
| 延展性 | 15cm | 18cm | 21cm | 14cm | 12cm |

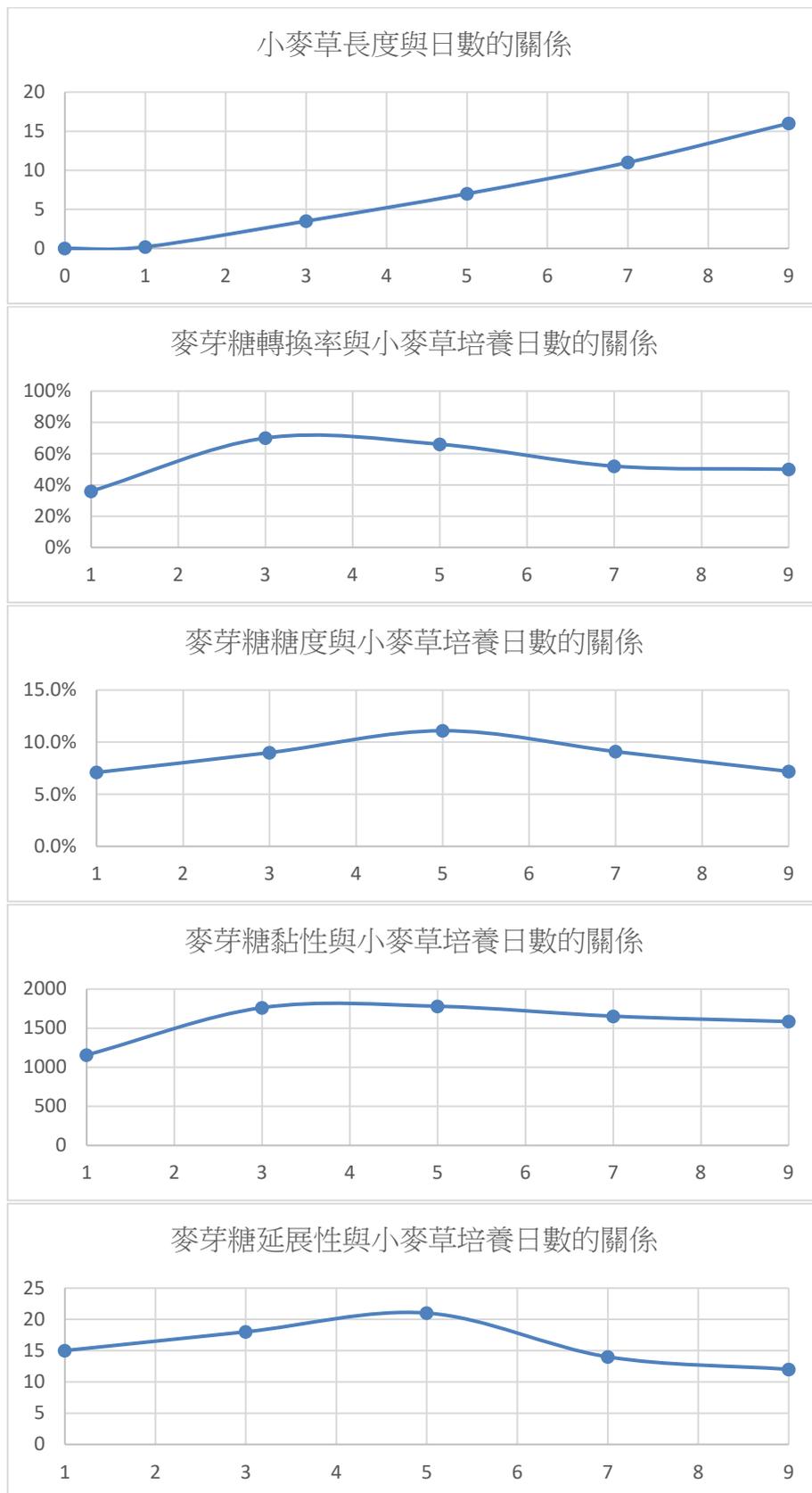
(七)小結

1. 小麥草栽培的日數越多長度越長，在第 7 天至第 9 天時成長最明顯。
2. 麥芽糖顏色最深至淺，5 天>3 天>7 天>9 天>1 天。
3. 麥芽糖轉換率高至低，3 天>5 天>7 天>9 天>1 天。
4. 麥芽糖糖度高至低，5 天>7 天>3 天 9 天>1 天。
5. 麥芽糖黏性大至小，5 天>3 天>7 天>9 天>1 天。
6. 麥芽糖延展性高至低，5 天>3 天>1 天>7 天>9 天。

(八)討論

1. 推測糖度、黏性、延展性可能和麥芽酵素多寡有關，其在第 3-5 天左右時可能最多。

2. 除了麥芽酵素的多寡可能會影響實驗數據外，如果改變澱粉的來源，是否也能會有不同的糖度、黏性及延展性表現？甚至會有不同的轉換率？進而發想設計實驗三。



圖二 實驗二：小麥草成長時間對糖化結果的影響

三、實驗三：不同澱粉來源對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

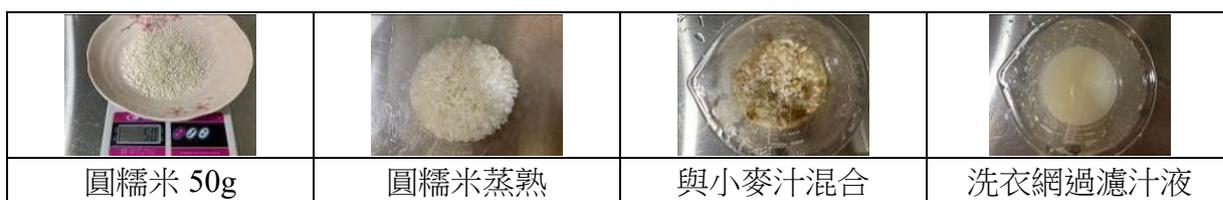
將小麥種子泡水 1 天後，每日澆水換水靜置 5 天，保留下已發芽的良好小麥。

(二)採收後榨汁

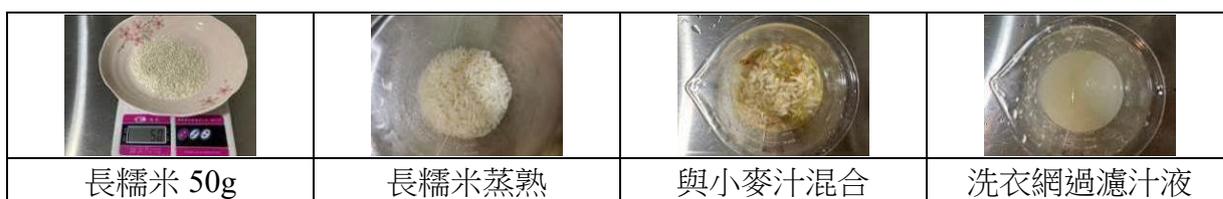
將小麥草連根拔起水清洗後，取 25g 切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗需要的小麥汁。

(三)糖化

1. 圓糯米：取 50g 蒸熟後和小麥汁混合，隔水保溫 50°C 持續 3 小時，過濾後保留汁液。



2. 長糯米：取 50g 蒸熟後和小麥汁混合，隔水保溫 50°C 持續 3 小時，過濾後保留汁液。



3. 蓬萊米：取 50g 蒸熟後和小麥汁混合，隔水保溫 50°C 持續 3 小時，過濾後保留汁液。



(四)脫水

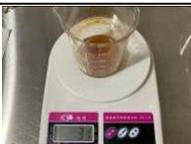
將汁液放置於燒杯內加熱煮滾，使用瓦斯爐開最小火加熱持續約 60 分鐘，加熱中不斷攪拌避免燒焦，煮至膏狀冒泡後，使用水分儀檢測含水量至 18%±1%後放涼封口即完成實驗。

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖重量，計算 50g 的糯米與白米能轉換多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上歸零，用手緩緩向上用力拉，測量麥芽膏與砝碼分離時出現的重量最大值(螢幕顯示為負值)，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，向上拉扯計算可拉扯的平均值。

(六)結果分析

實驗中將圓糯米、長糯米、蓬萊米進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自待測物 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

| 澱粉來源 | 圓糯米 | 長糯米 | 蓬萊米 |
|--------------|--|--|--|
| 麥芽糖 外觀 |  棕色 |  棕色 |  淺棕色 |
| 水分含量 |  17.7% |  18.6% |  17.5% |
| 麥芽糖 重量 |  28g |  31g |  29g |
| 轉換率 | 56% | 62% | 58% |
| 糖度 (Brix) | 10.5% | 10.1% | 7.8% |
| 黏性 | 1780gw | 1762gw | 1634gw |
| 延展性 | 18cm | 21cm | 28cm |

(七)小結

1. 麥芽糖顏色深至淺，圓糯米=長糯米>蓬萊米。
2. 麥芽糖轉換率高至低，長糯米>蓬萊米>圓糯米，但是三者差異不大。
3. 麥芽糖糖度和黏性高至低，圓糯米>長糯米>蓬萊米，但是圓糯米和長糯米差異不大。
4. 麥芽糖延展性大高至低，蓬萊米>長糯米>圓糯米，但是圓糯米和長糯米差異不大。

(八)討論

1. 考量實驗目的，要製作低糖不黏牙，又要口感佳的麥芽糖，可以嘗試使用白米製作。
2. 查文獻比對直鏈性澱粉值(圓糯米 0-5、長糯米 6-9、蓬萊米 16-21)，發現直鏈性澱粉值多少和延展性有正相關，但卻和糖度及黏性有負相關，但和轉換率關係不明顯。
3. 討論到澱粉值，如果不將糯米蒸熟是否會影響澱粉的分解？進而發想設計實驗四。



圖三 實驗三：不同澱粉來源對糖化結果的影響

四、實驗四：糯米蒸熟前後對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

將小麥種子泡水 1 天後，將文具籃鋪上網布後將種子均勻鋪上，每日澆水換水靜置 5 天，其中將已發霉或未發芽的種子剔除，只留下已發芽的良好小麥。

(二)採收後榨汁

1. 將小麥草連根拔起，盡量保留整株完整，包含種子、根、葉子。
2. 簡易以水清洗後，將小麥草 25g 切碎
3. 將切碎的小麥草加入 50ml 的水混合，完成實驗需要的小麥汁。

(三)糖化

將生糯米、蒸熟的糯米 50g 和麥草汁均勻攪拌後，放置電磁爐隔水保溫，並維持在 50°C 持續 3 小時，糖化後糯米和小麥汁的混合物透過洗衣網過濾，只留汁液，殘渣丟棄。

1. 生糯米：



2. 熟糯米：



(四)脫水

1. 將汁液放置於燒杯內加熱煮滾，使用瓦斯爐開最小火加熱持續約 60 分鐘。
2. 加熱中不斷攪拌避免燒焦，煮至膏狀並開始大量冒泡。
3. 逐步使用水分儀檢測含水量，放涼後達到 18%±1%後封口即完成實驗。

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖的重量，計算 50g 的糯米能轉換出多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上歸零，用手緩緩向上用力拉，測量麥芽膏與砝碼分離時出現的重量最大值(螢幕顯示為負值，且先前已藉由定滑輪，使用砝碼反覆拉扯進行驗證，確認重量與顯示之數值無誤)，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，利用定滑輪裝置緩慢向上拉扯，觀察並計算麥芽膏上拉扯致斷掉的平均距離。

(六)結果分析

實驗中將生糯米、熟糯米進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自糯米 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

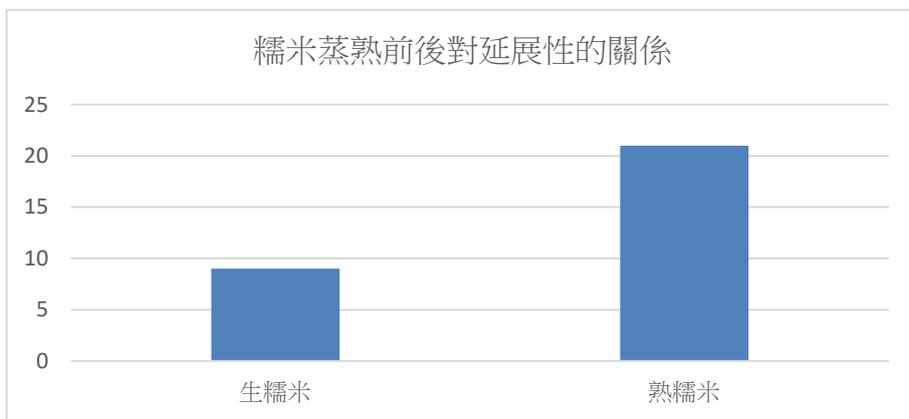
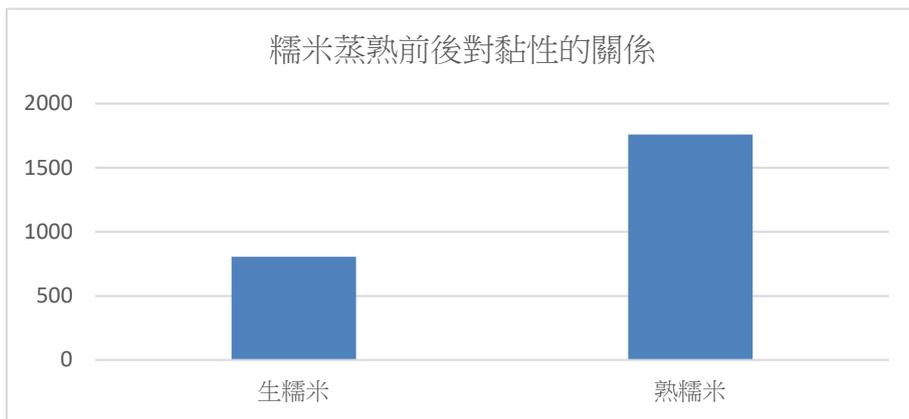
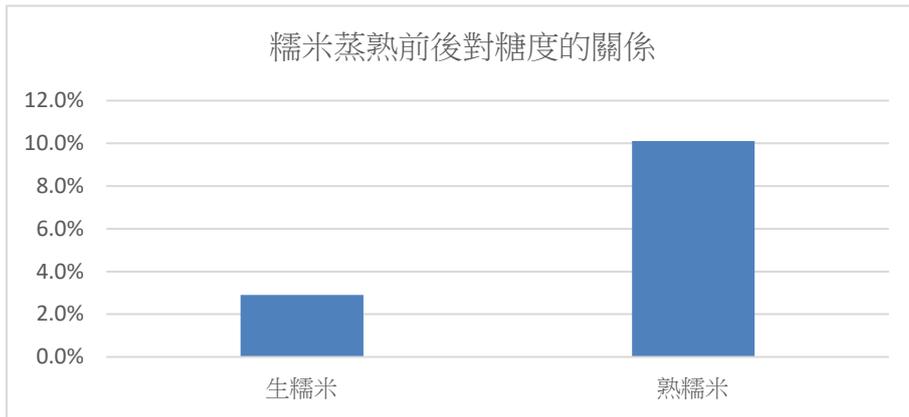
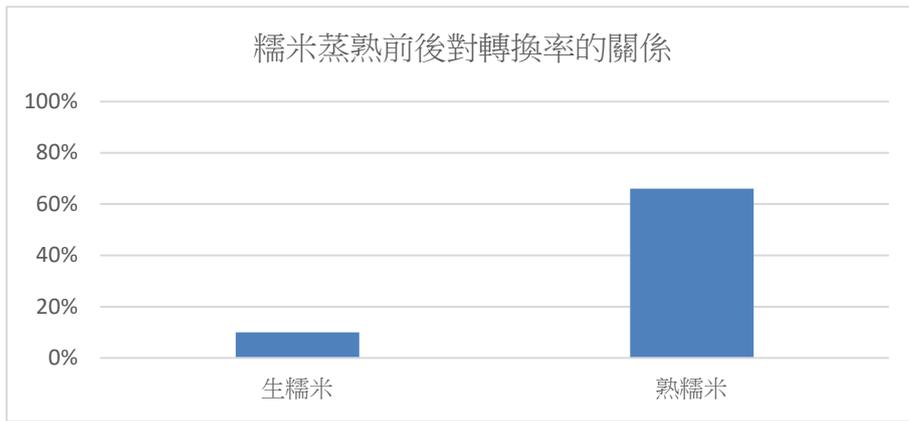
| 澱粉來源 | 生糯米 | 熟糯米 |
|-----------|--|--|
| 麥芽糖外觀 |  深棕色 |  棕色 |
| 水分含量 |  18.0% |  18.6% |
| 麥芽糖重量 |  5g |  33g |
| 轉換率 | 10% | 66% |
| 糖度 (Brix) | 2.9% | 10.1% |
| 黏性 | 806gw | 1760gw |
| 延展性 | 9cm | 21cm |

(七)小結

1. 麥芽糖顏色深至淺，熟糯米>生糯米。
2. 麥芽糖轉換率、糖度、黏性和延展性高至低，熟糯米>生糯米。

(八)討論

1. 考量原物料成本以及製作效率，雖然生糯米製作的麥芽糖糖度低(低糖)、黏性低(不黏牙)，但是因為轉換率實在過低，討論後使用蒸熟糯米製作麥芽糖比較符合經濟效益。
2. 先前的實驗發現糖化的材料可以直接影響糖化的結果，原料的處理也能明顯影響實驗結果，因此推測如果改變糖化過程的變因，是否也會影響糖化的結果？
3. 討論後找出三種可以實驗的方向，可以從小麥草與糯米的混和比例、糖化的溫度以及糖化的時間進行研究，設計出實驗五、實驗六、實驗七，驗證假說是否成立。



圖四 實驗四：糯米蒸熟前後對糖化結果的影響

五、實驗五：小麥草與糯米的混合比例對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

將小麥種子泡水 1 天後，每日澆水換水靜置 5 天，保留下已發芽的良好小麥。

(二)採收後榨汁

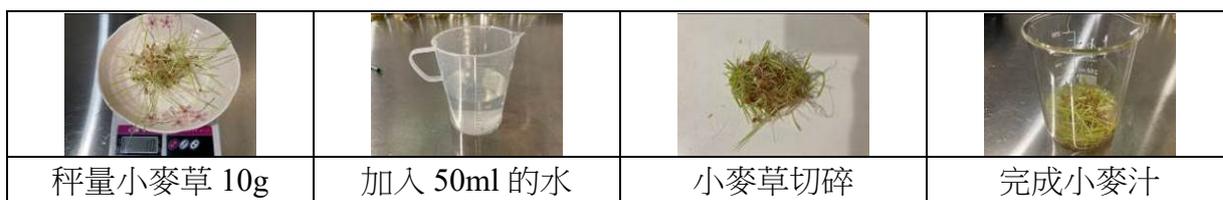
1. 比例 1：1：將整株小麥草 50g 拔起切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗的小麥汁。



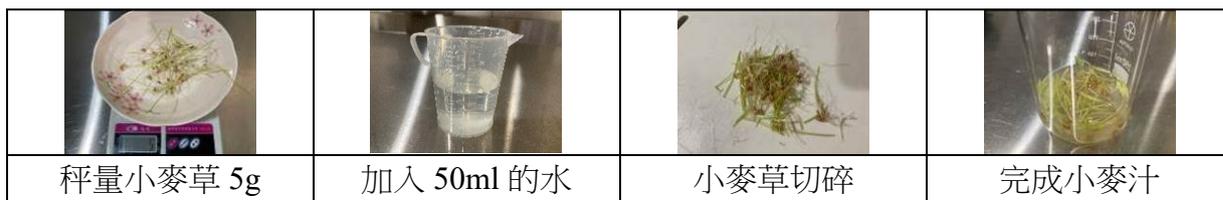
2. 比例 1：2：將整株小麥草 25g 拔起切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗的小麥汁。



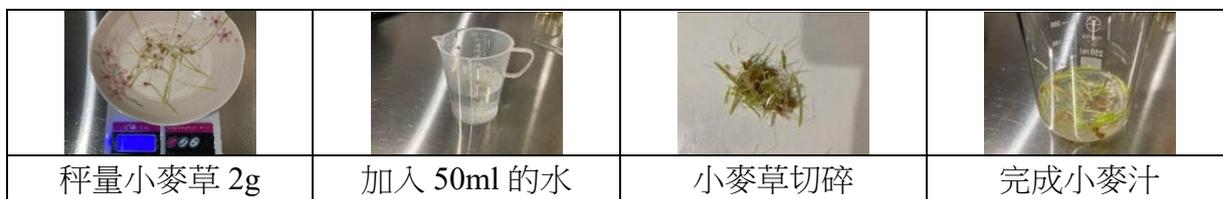
3. 比例 1：5：將整株小麥草 10g 拔起切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗的小麥汁。



4. 比例 1：10：將整株小麥草 5g 拔起切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗的小麥汁。



5. 比例 1：25：將整株小麥草 2g 拔起切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗的小麥汁。



(三)糖化

將蒸熟的糯米 50g 和麥草汁均勻攪拌後，放置電磁爐隔水保溫，並維持在 50°C 持續 3 小時，糖化後糯米和小麥汁的混合物透過洗衣網過濾，只留汁液，殘渣丟棄。

(四)脫水

將汁液放置於燒杯內加熱約 60 分鐘，逐步加熱至水分儀檢測含水量達 18%±1%後放涼封口即完成實驗，如果水分過少再加入清水重新加熱脫水即可。

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖的重量，計算 50g 的糯米能轉換出多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上歸零，用手緩緩向上用力拉，測量麥芽膏與砝碼分離時出現的重量最大值(螢幕顯示為負值)，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，利用定滑輪裝置緩慢向上拉扯，觀察並計算麥芽膏上拉扯致斷掉的平均距離。

(六)結果分析

實驗中將不同混合比的小麥草與糯米進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自糯米 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

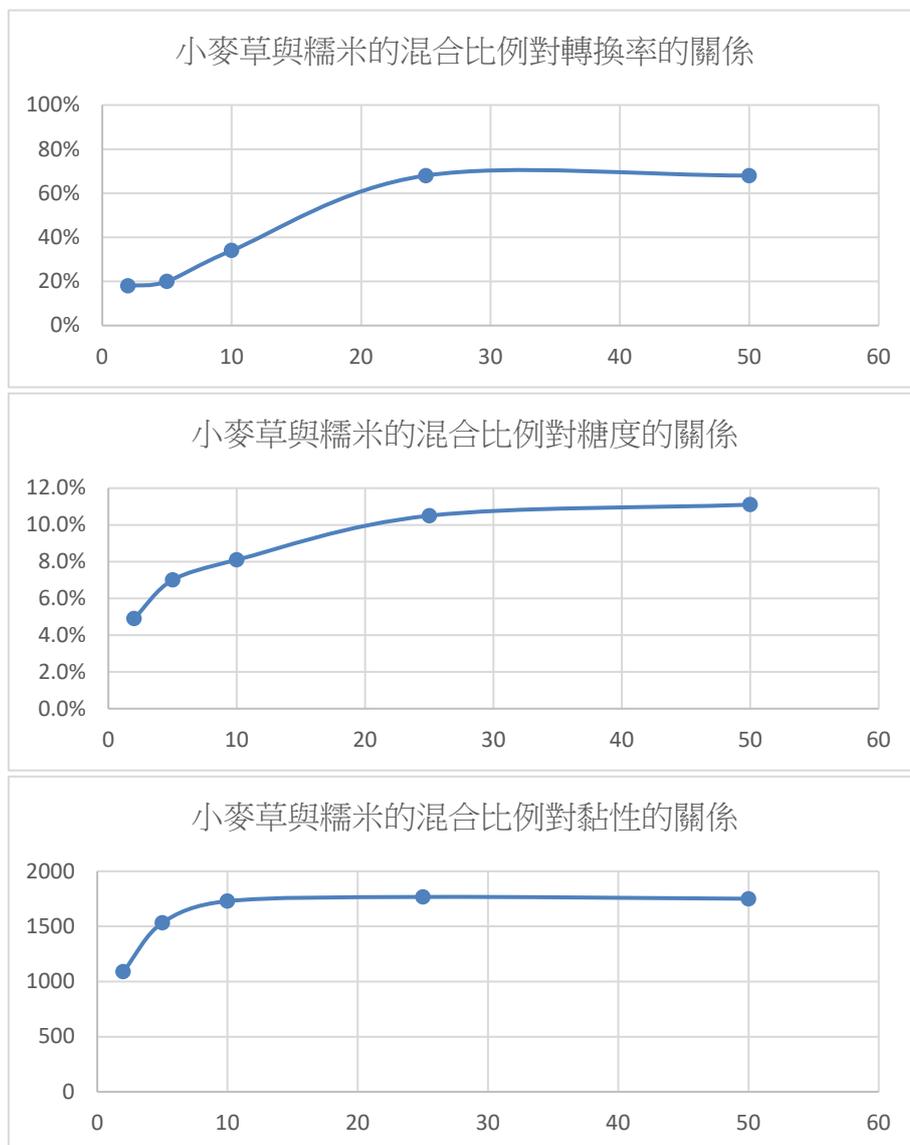
| 混合比例 (麥草：糯米) | 1：1 (50g：50g) | 1：2 (25g：50g) | 1：5 (10g：50g) | 1：10 (5g：50g) | 1：25 (2g：50g) |
|-----------------|--|--|--|--|--|
| 麥芽糖 外觀 |  深棕色 |  棕色 |  米黃色 |  淡米色 |  淡米白色 |
| 水分含量 |  17.9% |  18.1% |  17.7% |  17.8% |  18.1% |
| 麥芽糖 重量 |  34g |  34g |  17g |  10g |  9g |
| 轉換率 | 68% | 68% | 34% | 20% | 18% |
| 糖度 (Brix) | 11.1% | 10.5% | 8.1% | 7.0% | 4.9% |
| 黏性 | 1751gw | 1767gw | 1729gw | 1533gw | 1089gw |
| 延展性 | 22cm | 21cm | 18cm | 6cm | 1cm |

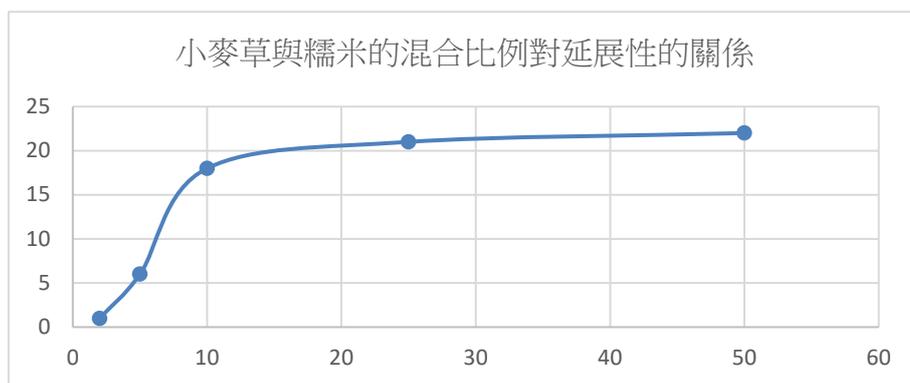
(七)小結

1. 麥芽糖顏色深至淺，1:1 > 1:2 > 1:5 > 1:10 > 1:25。
2. 麥芽糖轉換率高至低，1:1 = 1:2 > 1:5 > 1:10 > 1:25。
3. 麥芽糖糖度高至低，1:1 > 1:2 > 1:5 > 1:10 > 1:25。
4. 麥芽糖黏性大至小，1:2 > 1:1 > 1:5 > 1:10 > 1:25，但是 1:1、1:2、1:5 數據差異不大。
5. 麥芽糖延展高至低，1:1 > 1:2 > 1:5 > 1:10 > 1:25，但是 1:1、1:2 數據差異不大。

(八)討論

1. 考量成本及時間效益，小麥草與糯米重量比在 1:2 時效益最好，雖然甜度及黏性不是最低，但是討論後優先考量成本的問題，口感及口味其次。
2. 推測麥芽酵素的數量可以影響轉換率、甜度、黏性及延展性，與實驗二結果一致。





圖五 實驗五：小麥草與糯米的混合比例對糖化結果的影響

六、實驗六：糖化環境溫度對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

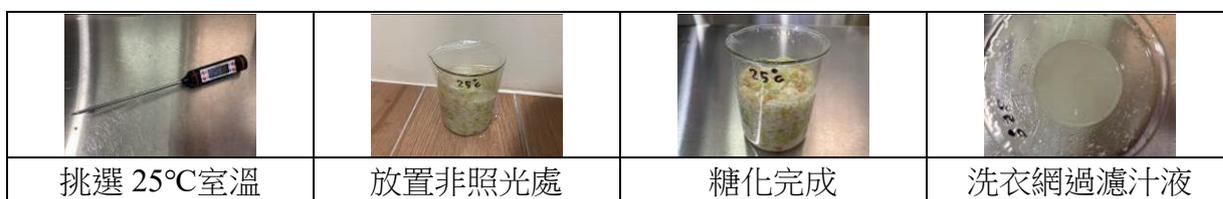
將小麥種子泡水 1 天後，每日澆水換水靜置 5 天，保留下已發芽的良好小麥。

(二)採收後榨汁

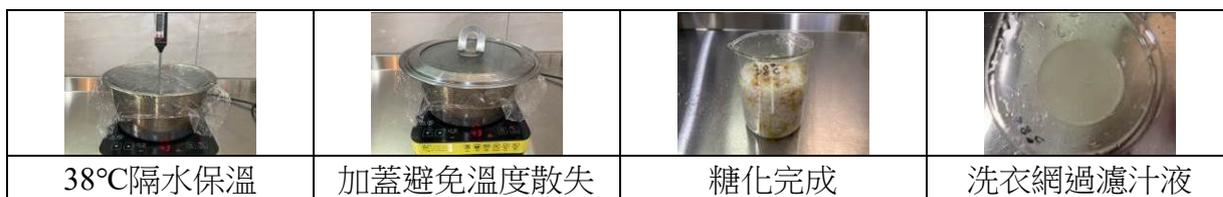
將小麥草整株連根拔起，取 25g 後切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗需要的小麥汁。

(三)糖化

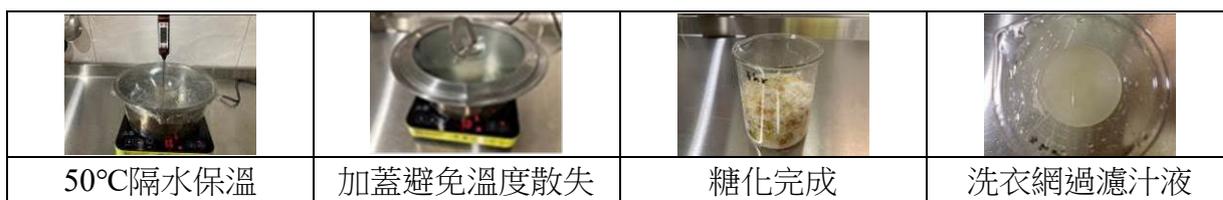
- 25°C：將蒸熟後的糯米 50g 和麥草汁混合於 25°C 常溫持續 3 小時，過濾後保留汁液。



- 38°C：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 38°C 持續 3 小時，過濾保留汁液。



- 50°C：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 3 小時，過濾保留汁液。



4. 63°C：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 63°C 持續 3 小時，過濾保留汁液。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 63°C 隔水保溫 | 加蓋避免溫度散失 | 糖化完成 | 洗衣網過濾汁液 |

5. 75°C：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 75°C 持續 3 小時，過濾保留汁液。

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| 75°C 隔水保溫 | 加蓋避免溫度散失 | 糖化完成 | 洗衣網過濾汁液 |

(四)脫水

將汁液放置於燒杯內加熱，加熱至水分儀檢測含水量達 18%±1%後放涼封口即完成實驗。

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖的重量，計算 50g 的糯米能轉換出多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上歸零，用手緩緩向上用力拉，測量麥芽膏與砝碼分離時出現的重量最大值(螢幕顯示為負值)，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，利用定滑輪裝置緩慢向上拉扯，觀察並計算麥芽膏上拉扯致斷掉的平均距離。

(六)結果分析

實驗中以不同糖化環境溫度進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自糯米 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

| 環境溫度 | 25°C | 38°C | 50°C | 63°C | 75°C |
|-------|--|--|--|--|--|
| 麥芽糖外觀 |  土黃色 |  土黃色 |  棕色 |  淺棕色 |  淺黃色 |
| 水分含量 |  17.5% |  17.6% |  18.0% |  17.3% |  18.4% |

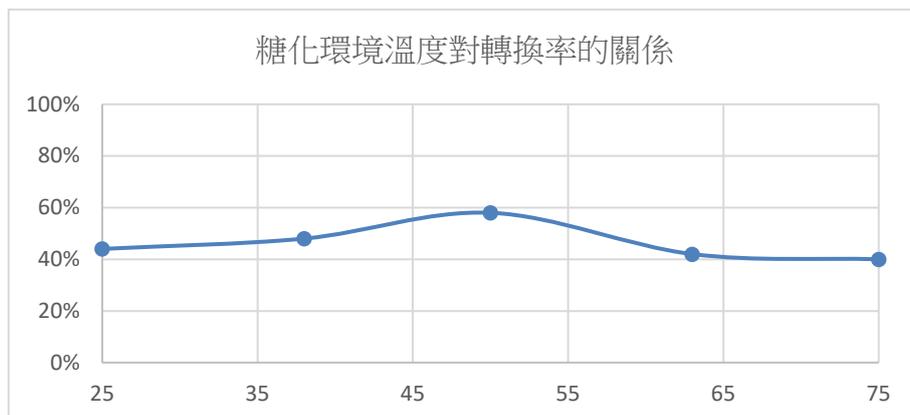
| | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|
| 麥芽糖 重量 |  |  |  |  |  |
| | 22g | 24g | 29g | 21g | 20g |
| 轉換率 | 44% | 48% | 58% | 42% | 40% |
| 糖度 (Brix) | 9.1% | 9.2% | 10.5% | 9.1% | 8.9% |
| 黏性 | 1465gw | 1623gw | 1772gw | 1601gw | 1573gw |
| 延展性 | 16cm | 18cm | 20cm | 17cm | 9cm |

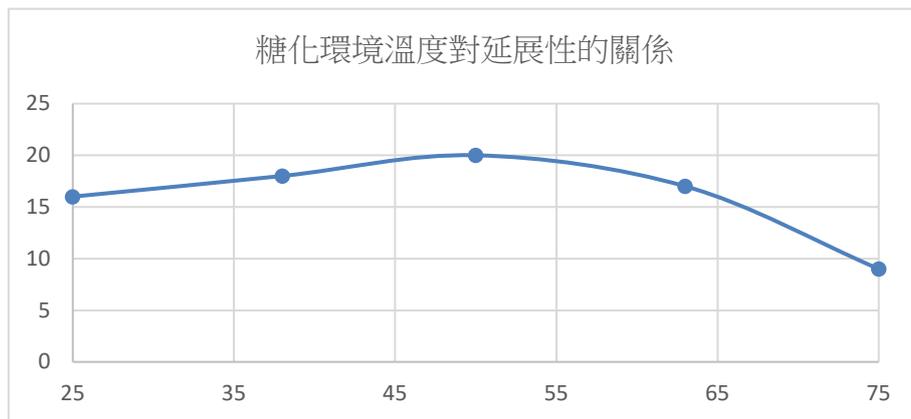
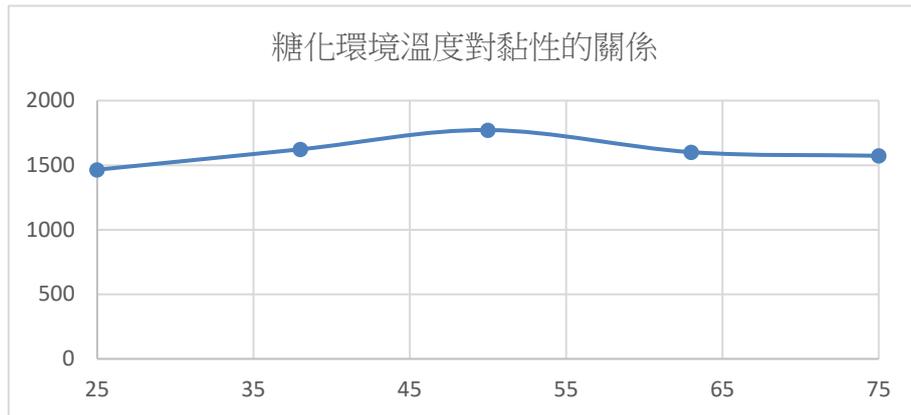
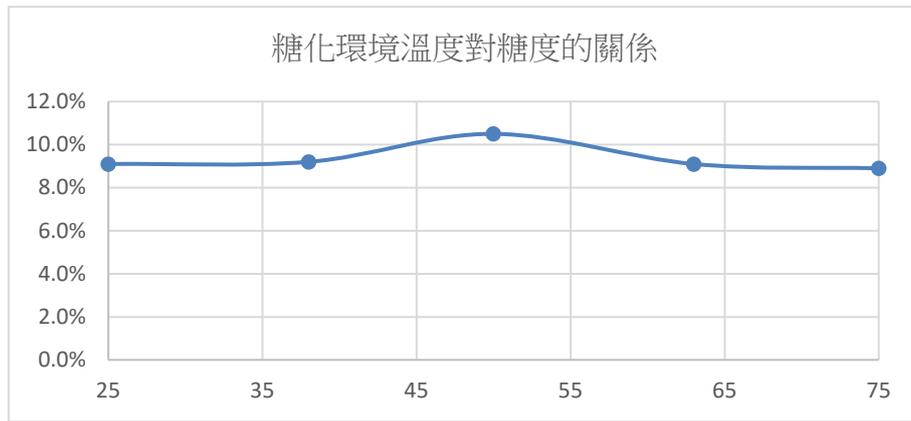
(七)小結

1. 糖化顏色深至淺， $50^{\circ}\text{C}>63^{\circ}\text{C}>38^{\circ}\text{C}>25^{\circ}\text{C}>75^{\circ}\text{C}$ ，但是 25°C 和 38°C 顏色非常接近。
2. 糖化轉換率高至低， $50^{\circ}\text{C}>38^{\circ}\text{C}>25^{\circ}\text{C}>63^{\circ}\text{C}>75^{\circ}\text{C}$ ，其中 50°C 轉換率將近六成。
3. 糖化糖度高至低， $50^{\circ}\text{C}>38^{\circ}\text{C}>63^{\circ}\text{C}=25^{\circ}\text{C}>75^{\circ}\text{C}$ 。
4. 糖化黏性大至小， $50^{\circ}\text{C}>38^{\circ}\text{C}>63^{\circ}\text{C}>75^{\circ}\text{C}>25^{\circ}\text{C}$ 。
5. 糖化延展性高至低， $50^{\circ}\text{C}>38^{\circ}\text{C}>63^{\circ}\text{C}>25^{\circ}\text{C}>75^{\circ}\text{C}$ ，且 75°C 時製成的麥芽糖極像市售的小熊軟糖，延展性極差但是彈性非常好。

(八)討論

1. 考量實驗目的，在於節省時間及原料成本以及較佳的口感，如使用室溫(25°C)進行糖化，則消耗的能源少，且糖度和黏性可降低；如使用 50°C 進行糖化，雖然轉換率較高，但是糖度和黏性都較高，較不符合實驗的目的。
2. 推測溫度可能會影響麥芽酵素的活性，且依據實驗結果在 50°C 左右活性最大，且麥芽酵素的活性與麥芽糖的轉換率、糖度、黏性、延展性呈正相關，驗證與實驗二、實驗五結果一致，麥芽酵素的活性和數量會影響糖化結果。





圖六 實驗六：糖化環境溫度對糖化結果的影響

七、實驗七：糖化時間對糖化結果的影響

(一)種植小麥草

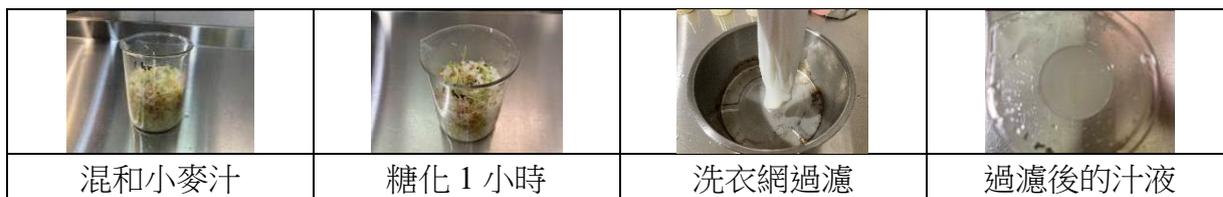
將小麥種子泡水 1 天後，每日澆水換水靜置 5 天，保留下已發芽的良好小麥。

(二)採收後榨汁

將小麥草整株連根拔起，取 25g 後切碎後加入 50ml 的水混合，完成實驗需要的小麥汁。

(三)糖化

- 1 小時：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 1 小時，過濾保留汁液。



- 3 小時：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 3 小時，過濾保留汁液。



- 5 小時：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 5 小時，過濾保留汁液。



- 7 小時：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 7 小時，過濾保留汁液。



- 9 小時：將熟糯米 50g 和麥草汁混合後隔水保溫維持 50°C 持續 9 小時，過濾保留汁液。

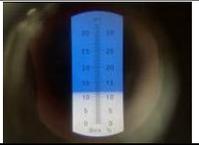


(四)脫水

將汁液放置於燒杯內加熱，加熱至水分儀檢測含水量達 18%±1% 後放涼封口即完成實驗。

(五)測量

1. 轉換率：使用電子秤測量麥芽糖的重量，計算 50g 的糯米能轉換出多少克的麥芽膏。
2. 糖度：取出 3g 的麥芽膏加入 10ml 的水稀釋，使用糖度計測量糖度。
3. 黏度：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼在電子秤上歸零向上用力拉，量三次取平均值。
4. 延展性：取出 1g 麥芽膏平抹在 100g 砝碼黏著在桌上，向上拉扯計算可拉扯的平均值。

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
| 1hr 成品測量 | 3hr 成品測量 | 5hr 成品測量 | 7hr 成品測量 | 9hr 成品測量 |

(六)結果分析

實驗中改變糖化持續時間進行糖化實驗，假設糖化的澱粉來源全部來自糯米 50g 的澱粉，小麥種子所含的澱粉極少忽略不計，依結果進行比較，結果如下：

| 糖化時間 | 1 小時 | 3 小時 | 5 小時 | 7 小時 | 9 小時 |
|-----------|--|--|--|--|--|
| 麥芽糖外觀 |  淡黃色 |  棕色 |  棕色 |  棕色 |  棕色 |
| 水分含量 |  17.9% |  18.0% |  17.5% |  17.3% |  17.2% |
| 麥芽糖重量 |  13g |  29g |  32g |  35g |  36g |
| 轉換率 | 26% | 58% | 64% | 70% | 72% |
| 糖度 (Brix) | 7.8% | 10.5% | 11.0% | 11.3% | 11.5% |
| 黏性 | 974gw | 1792gw | 1951gw | 2112gw | 2145gw |
| 延展性 | 11cm | 18cm | 20cm | 21cm | 22cm |

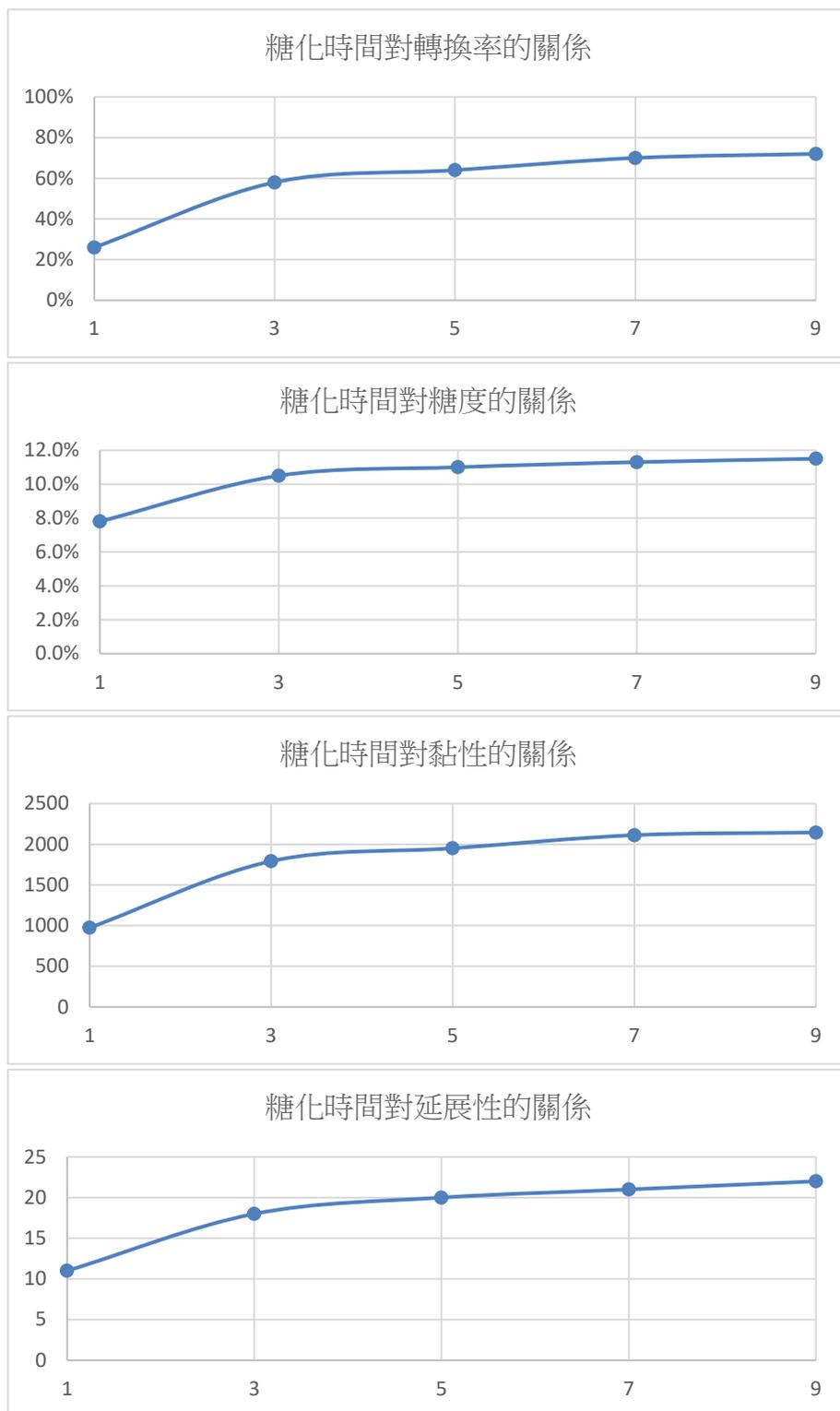
(七)小結

1. 麥芽糖顏色深至淺，9 小時>7 小時>5 小時>3 小時>1 小時，3 至 9 小時顏色幾乎一樣。
2. 麥芽糖轉換率高至低，9 小時>7 小時>5 小時>3 小時>1 小時，且 7 小時開始趨緩。
3. 麥芽糖糖度、黏性及延展性高至低，9 小時>7 小時>5 小時>3 小時>1 小時，且 5 至 9 小時的結果差異不大。

(八)討論

1. 考量時間及物料成本，糖化 3 小時的麥芽糖雖然只有約 60%的轉換率且延展性非最佳，但是時間成本低且糖度和黏性低，較符合本實驗的研究動機及目的。
2. 根據以上實驗推測麥芽酵素的活性、數量以及作用時間可能會直接影響糖化的結果。

3. 在先前實驗討論到麥芽糖的轉換率、糖度、黏性及延展性，可能會隨麥芽酵素的數量與活性呈正相關，加長麥芽酵素作用的時間確實也能增加轉換率、糖度、黏性及延展性。與先前的實驗結果與推測皆一致。



圖七 實驗七：糖化時間對糖化結果的影響

陸、討論

一、本實驗中栽培小麥草的季節選擇？

校內的特色課程的需要，每年第一學期初會種植小麥草，但發芽率都不高且不容易照顧，經常發霉且發臭常常等不到結穗就死亡。因為科展的機會恰巧在冬天時種植，發現發芽率很高且不容易發霉，且會有淡淡的草香，故將大部分實驗都在冬季完成。

二、為什麼要使用不照光的小麥草進行實驗？

種子在發芽後生長出來的芽，如照光後會快速產生葉綠素，以至葉子呈現深綠色，使麥芽糖的顏色改變影響結果的判斷。不照光栽培的小麥草呈現金黃色，可使糖化後至作出的麥芽糖呈現深棕色，符合一般大眾對麥芽糖的印象，也有利實驗進行比較。

三、為什麼要使用整株小麥草來進行榨汁？

小麥草中的酵素分布在整株小麥草中，且如果只取其中一部份，例如只採葉子其餘捨棄，是違背物盡其用的原則，因此在不浪費的前提下，決定保留整株進行榨汁，達到本實驗提升效率以及節省的目的。

四、為什麼直鏈性澱粉質可能會影響糖化的結果？

澱粉分為直鏈及支鏈澱粉，諮詢專家及文獻查找後，了解直鏈性澱粉值越低則米飯就越軟且黏性會較黏，進而直接影響麥芽糖的特性，但是延展性則相反，推測應該和直鏈澱粉的形狀有關，因為形狀為長條狀，形成麥芽糖後可能較容易拉扯至較長的長度。

五、為什麼使用蒸熟的糯米製作麥芽糖轉換率遠大於使用生糯米？

詢問農家及找尋資料後，知道糯米在加熱後細胞膜和細胞壁會因高溫而破壞，而且加熱可以軟化澱粉，讓更多的澱粉易於與麥芽酵素反應，提高麥芽糖的產量及轉換率。

六、為什麼實驗要檢測麥芽糖的水分含量、轉換率、糖度、黏性、延展性？

1. 水分含量：麥芽膏一定含有水分，如無固定則無法進行之後的數據測量及比較。
2. 轉換率：能透過麥芽膏的重量比較，直觀且客觀的表達糖化的效率。
3. 糖度：實驗目的是製作出低糖的麥芽糖，因此使用糖度計找出較低糖度的麥芽糖。
4. 黏性：實驗目的是製作不黏牙的麥芽糖，因此利用電子秤找出較低黏性的麥芽糖。
5. 延展性：麥芽糖的口感與延展性有相當的關連，保有高延展性是好吃的關鍵。

柒、結論

- 一、實驗一中比較小麥產地，發現澳洲產的小麥使用水耕發芽率較高且生長較快。
- 二、實驗二中培育小麥草的天數，發現栽培 3 天左右的小麥草直做的麥芽糖產量最高，且糖度較低延展性也不錯，適合製作低糖口感好的麥芽糖。
- 三、實驗三中比較澱粉來源，發現白米製作的麥芽糖糖度及黏性最低，且延展性最高，非常適合當作低糖不黏牙的麥芽糖原料。
- 四、實驗四中比較糯米蒸熟前後，蒸熟後的糯米轉換率遠大於蒸熟前，較符合實驗目的。
- 五、實驗五中控制小麥草的重量，發現重量比在 1:2 時麥芽糖轉換率較高，且糖度較低。
- 六、實驗六中控制糖化的環境溫度，發現 50°C 時轉換率及延展性最好，但是如果考量節省燃料的問題，使用室溫進行糖化可達到低糖度、低黏性的目的。
- 七、實驗七中控制糖化的時間，發現時間越久產量越高，但是如果考量時間成本，糖化 3 小時即能達到約 60% 的轉換率，且糖度、黏性較低，延展性佳，是較有效率的可行方案。
- 八、綜合以上，考量轉換率以及符合現代人對低糖、不黏牙、口感好的要求製作麥芽糖：建議使用澳洲產小麥進行水耕栽培 3 天，採收後將小麥草及蒸熟的蓬萊米以重量比 1:2 方式混合，維持室溫糖化 3 小時，能得到產量較大，但是相對低糖、不黏牙且口感好，最符合本次實驗的實驗目的與精神的麥芽糖，讓社區的麥芽糖農家以及相關產業，可以進行不同方向的产品改良，達到蓬勃地方商機的目標。

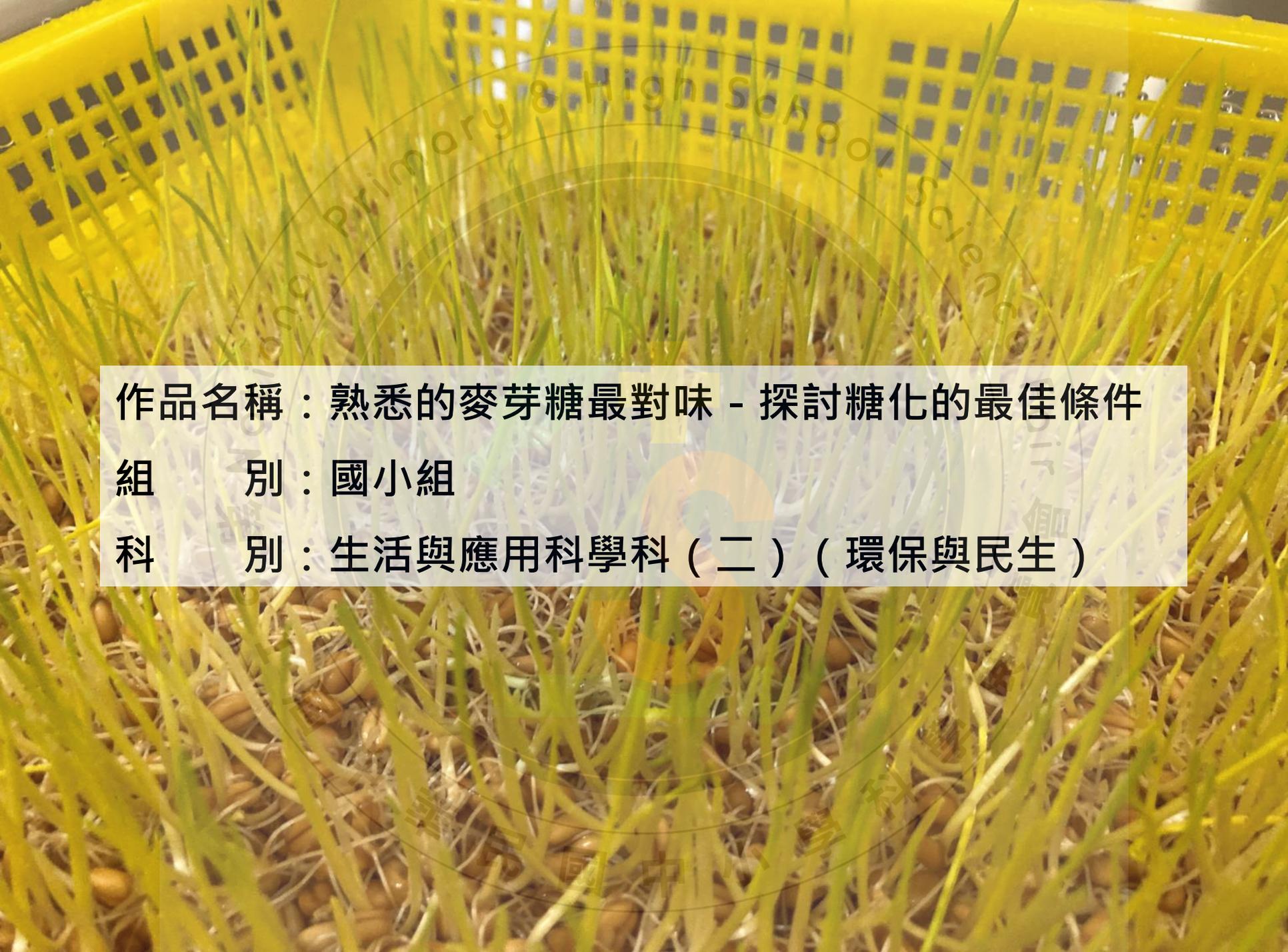
捌、參考文獻資料

- 一、沒煮熟的米飯能吃嗎 (2019 年 4 月 12 日) · 科學養生坊 · 取自 <https://www.kxysf.com/zh-tw/yskp/changshi/10748.html>
- 二、傅鎡婷、何崧煒、黃子瑄、林郁庭、曾映捷 (2013) · 「飴」然製得，「蘘」你栽~DIY 麥芽糖有一套 · 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品專輯 · 取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/080807.pdf>
- 三、維基百科 (2021 年 3 月 19 日) · 澱粉 · 取自 <https://reurl.cc/ogLd5Q>
- 四、維基百科 (2021 年 4 月 18 日) · 糯米 · 取自 <https://reurl.cc/7rXoRl>
- 五、維基百科 (2021 年 5 月 4 日) · 麥芽糖 · 取自 <https://reurl.cc/rgx8Zb>
- 六、蔡曉君 (2014 年 2 月 26 日) · 堅持古法製作大窯燒煮麥芽糖不膩不黏牙 · 中嘉新聞 · 取自 <https://www.youtube.com/watch?v=caJ8zCMD-X0>

【評語】 082902

1. 研究主題及實驗概念構想說明相當清晰明確，且有條理進行逐步假設、實驗設計及驗證。實驗題目及結果具有實用性，可以運用在日常麥芽糖的相關食品製作上。
2. 建議在研究內容的「低糖、不黏牙、口感好..」等項目上應該盡量增加量化的指標。
3. 部分圖表缺乏座標及單位。

作品簡報



作品名稱：熟悉的麥芽糖最對味 - 探討糖化的最佳條件

組 別：國小組

科 別：生活與應用科學科（二）（環保與民生）

前言

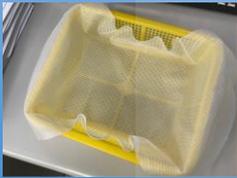
我們家鄉社區中有商家堅持使用傳統的柴燒方式製作麥芽糖，是社區中重要的經濟來源，透過學校的麥芽糖特色課程，在五年級上學期會認識到製作傳統麥芽糖的過程，以及五年級下學期自然防鏽與食品保存單元中，有學習食物的保存和化學變化，因此對麥芽糖的製作原理產生好奇，麥芽糖到底是如何從小麥草製作出來的？

經由農場老闆和老師詢問，才發現製作的細節相當繁瑣，主要是藉由小麥草中的麥芽酵素，將澱粉糖化成麥芽糖。但是影響麥芽酵素變因可能非常多，所以想要透過科展的機會，深入研究麥芽糖的製作流程。

我們推測改變小麥草的品種、培育的天數，以及改變澱粉的來源，或影響糖化的環境溫度與時間，都有可能改變糖化的結果。藉此找出讓傳統麥芽糖縮短製作時間、產量提升的最佳作法，以及面對現代人喜歡低糖不黏牙的喜好，做出符合大眾需求的麥芽糖，讓社區的產業更加蓬勃發展。以此設計了以下七項實驗：

- 一. 使用臺灣、澳洲、美國生產的小麥種子，進行種子來源對發芽率的比較。
- 二. 使用水耕培育小麥草1、3、5、7、9天，進行栽培天數對糖化的影響。
- 三. 使用圓糯米、長糯米、蓬萊米，進行澱粉來源對糖化結果的影響。
- 四. 使用生糯米、蒸熟糯米，進行澱粉加熱對糖化結果的影響。
- 五. 比較小麥草與糯米的比例，1:1、1:2、1:5、1:10、1:25對糖化的影響。
- 六. 比較糖化的溫度，比較25、38、50、63、75°C對糖化的影響。
- 七. 比較糖化的時間，進行1、3、5、7、9小時對糖化的影響。

研究方法



準備小麥種子與培養器材



種子預先泡水1天



(實驗一)
臺灣/澳洲/美國產種子發芽率



(實驗二)
小麥草水耕1/3/5/7/9天



取整顆小麥草含種子和根



切碎小麥草加入50ml水混合



(實驗三)
使用圓糯米/長糯米/蓬萊米



(實驗四)
使用生糯米/熟糯米



(實驗五)
使用小麥草與糯米比例
1:1/1:2/1:5/1:10/1:25攪拌



(實驗六)
放置保溫25/38/50/63/75°C



(實驗七)
隔水加熱法靜置1/3/5/7/9小時



使用洗衣袋過濾殘渣



汁液小火加熱約60分鐘脫水



將麥芽膏煮至水份含量約18%
(水份儀測量)完成麥芽糖製作



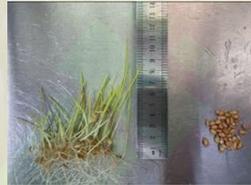
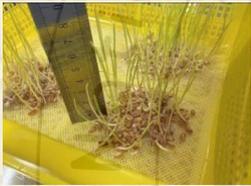
觀察外觀、測量重量、
糖度、黏性、延展性等數值

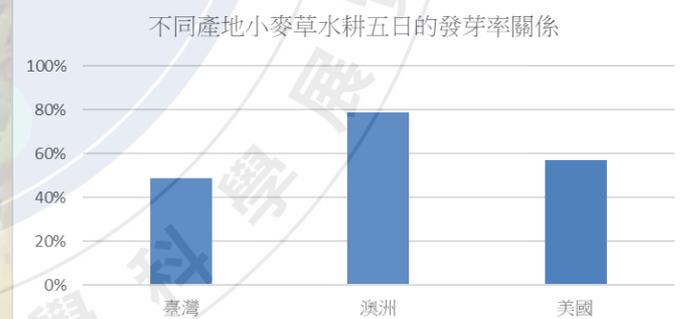
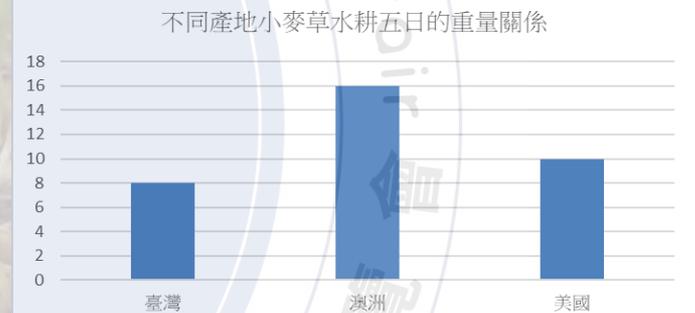
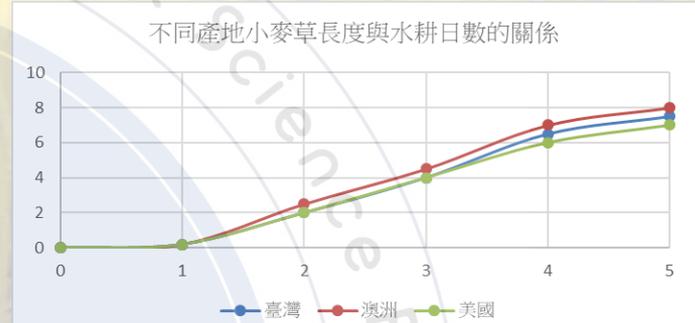


實驗結果總結與討論

研究結果

實驗一：不同地區生產的小麥種子對發芽率的比較

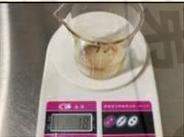
| 產地 | 臺灣 | 澳洲 | 美國 |
|------------------|--|--|---|
| 栽培第 5 日 小麥草外觀 |  較多種子未發芽 |  長度較長且發芽數多 |  長度較短發芽數適中 |
| 發霉狀況 |  少量發霉 |  極少發霉 |  多處發霉 |
| 第 1 日長度 | 0.2cm | 0.2cm | 0.2cm |
| 第 2 日長度 | 2cm | 2.5cm | 2cm |
| 第 3 日長度 | 4cm | 4.5cm | 4cm |
| 第 4 日長度 | 6.5cm | 7cm | 6cm |
| 第 5 日長度 | 7.5cm | 8cm | 7cm |
| 小麥草 平均重量 | 8g | 16g | 10g |
| 發芽數 | 49 | 79 | 57 |
| 未發芽數 | 51 | 21 | 43 |
| 平均發芽率 | 約 49% | 約 79% | 約 57% |
| 水耕栽培 適合程度 | 較差 | 佳 | 一般 |

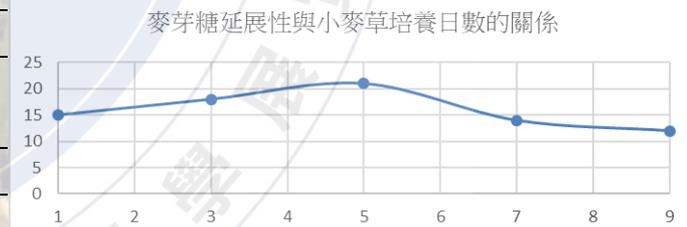
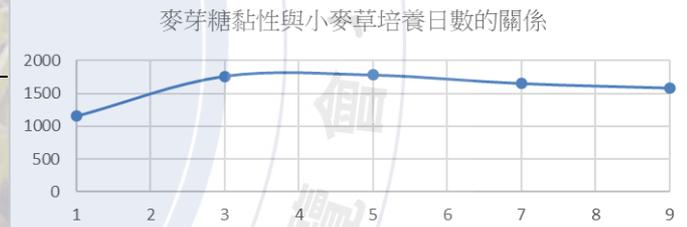
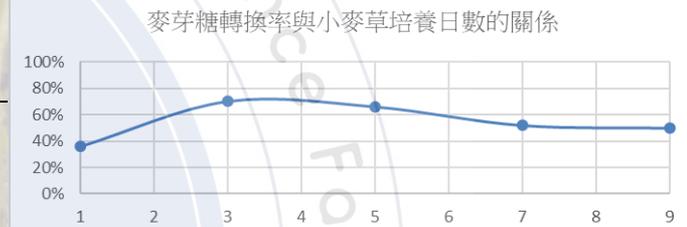
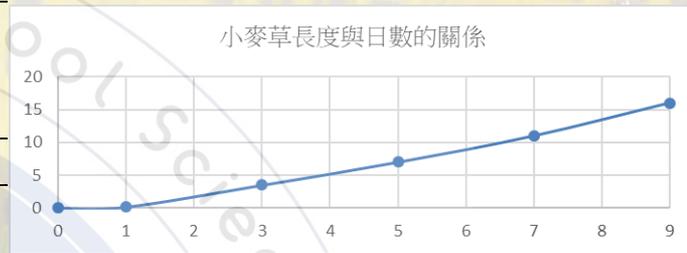


討論：

1. 考量往後的實驗方法，如果以水耕的方式栽培小麥草，以澳洲產的小麥最為適合。
2. 發現小麥草每天的成長速度略有不同，是否天數與麥芽糖的產量有關？發想出實驗二。

實驗二：小麥草成長時間對糖化結果的影響

| 栽培天數 | 1天 | 3天 | 5天 | 7天 | 9天 |
|-----------|--|--|--|--|--|
| 小麥草外觀 |  |  |  |  |  |
| 平均長度 | 0.2cm | 3.5cm | 7cm | 11cm | 16cm |
| 麥芽糖外觀 |  淡黃色 |  淺棕色 |  棕色 |  深黃色 |  黃色 |
| 水分含量 |  17.6% |  18.4% |  18.6% |  18.3% |  18.7% |
| 麥芽糖重量 |  18g |  35g |  33g |  26g |  25g |
| 轉換率 | 36% | 70% | 66% | 52% | 50% |
| 糖度 (Brix) | 7.1% | 9.0% | 11.1% | 9.1% | 7.2% |
| 黏性 | 1557gw | 1762gw | 1780gw | 1653gw | 1584gw |
| 延展性 | 15cm | 18cm | 21cm | 14cm | 12cm |

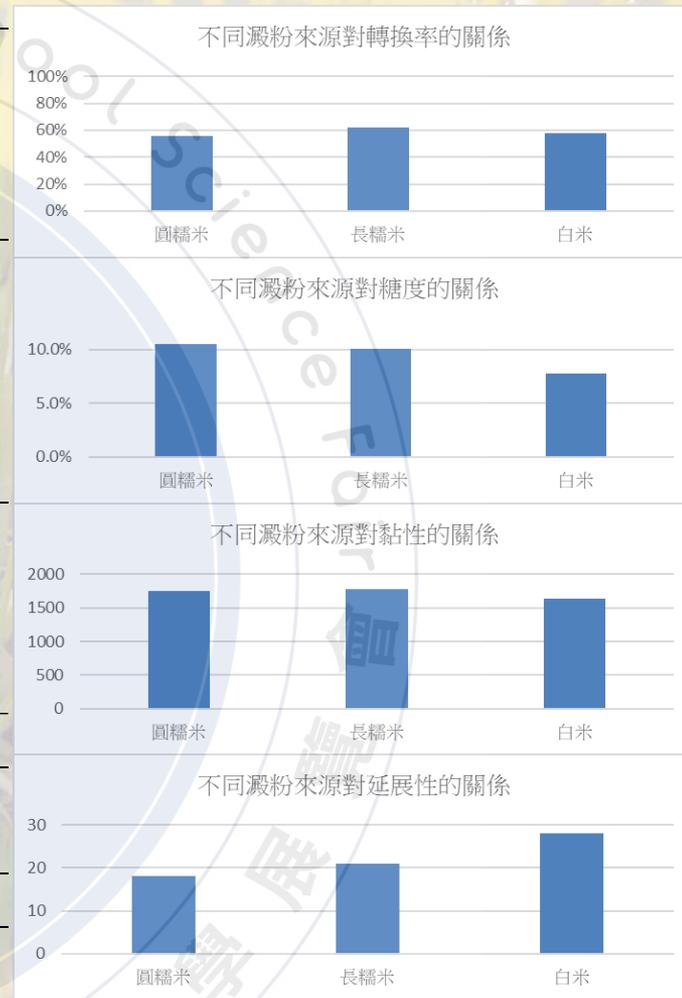


討論：

1. 推測糖度、黏性、延展性可能和麥芽酵素多寡有關，其在第3-5天左右時可能最多。
2. 除了麥芽酵素的多寡可能會影響實驗數據外，如果改變澱粉的來源，是否也會有不同的糖度、黏性及延展性表現？甚至會有不同的轉換率？進而發想設計實驗三。

實驗三：不同澱粉來源對糖化結果的影響

| 澱粉來源 | 圓糯米 | 長糯米 | 蓬萊米 |
|-----------|--|--|---|
| 麥芽糖外觀 |  棕色 |  棕色 |  淺棕色 |
| 水分含量 |  17.7% |  18.6% |  17.5% |
| 麥芽糖重量 |  28g |  31g |  29g |
| 轉換率 | 56% | 62% | 58% |
| 糖度 (Brix) | 10.5% | 10.1% | 7.8% |
| 黏性 | 1780gw | 1762gw | 1634gw |
| 延展性 | 18cm | 21cm | 28cm |

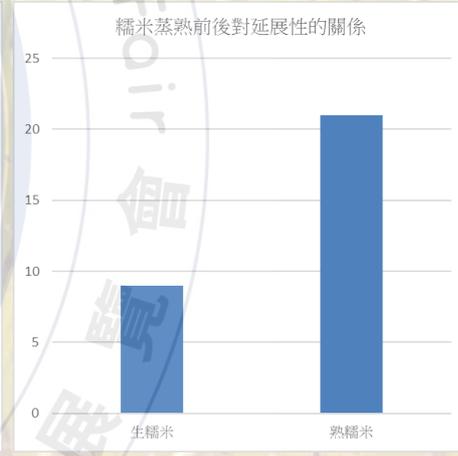
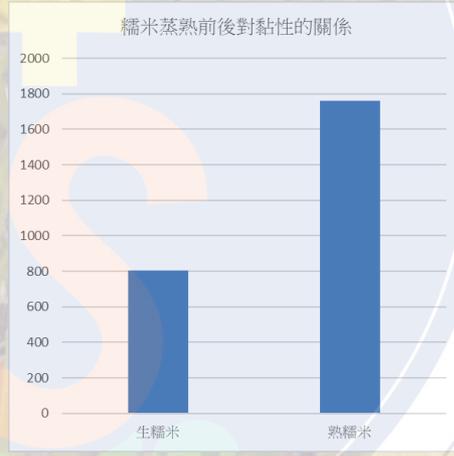
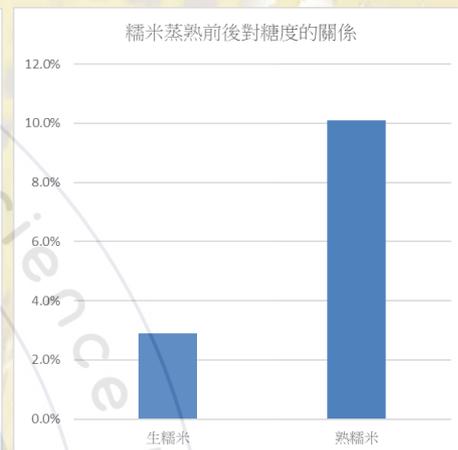
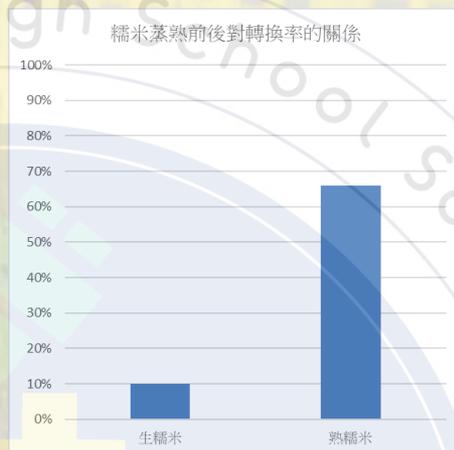


討論：

1. 考量實驗目的，要製作低糖不黏牙，又要口感佳的麥芽糖，可以嘗試使用蓬萊米製作。
2. 查文獻比對直鏈性澱粉值(圓糯米0-5、長糯米6-9、蓬萊米16-21)，發現直鏈性澱粉值多少和延展性有正相關，但卻和糖度及黏性有負相關，但和轉換率關係不明顯。
3. 討論到澱粉值，如果不將糯米蒸熟是否會影響澱粉的分解？進而發想設計實驗四。

實驗四：糯米蒸熟前後對糖化結果的影響

| 澱粉來源 | 生糯米 | 熟糯米 |
|-----------|--|--|
| 麥芽糖外觀 |  深棕色 |  棕色 |
| 水分含量 |  18.0% |  18.6% |
| 麥芽糖重量 |  5g |  33g |
| 轉換率 | 10% | 66% |
| 糖度 (Brix) | 2.9% | 10.1% |
| 黏性 | 806gw | 1760gw |
| 延展性 | 9cm | 21cm |



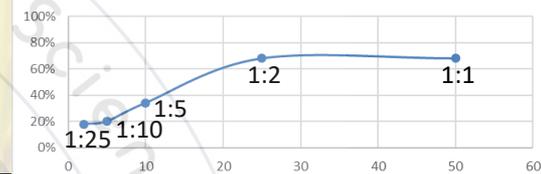
討論：

1. 考量原物料成本以及製作效率，雖然生糯米製作的麥芽糖糖度低(低糖)、黏性低(不黏牙)，但是因為轉換率實在過低，討論後使用蒸熟糯米製作麥芽糖比較符合經濟效益。
2. 先前的實驗發現糖化的材料可以直接影響糖化的結果，原料的處理也能明顯影響實驗結果，因此推測如果改變糖化過程的變因，是否也會影響糖化的結果？
3. 討論後找出三種可以實驗的方向，可以從小麥草與糯米的混和比例、糖化的溫度以及糖化的時間進行研究，設計出實驗五、實驗六、實驗七，驗證假說是否成立。

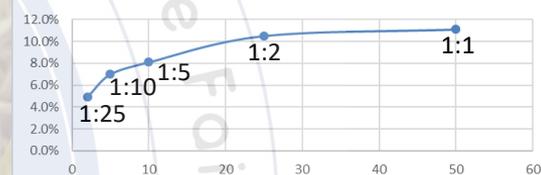
實驗五：小麥草與糯米的混合比例對糖化結果的影響

| 混合比例 (麥草：糯米) | 1：1 (50g：50g) | 1：2 (25g：50g) | 1：5 (10g：50g) | 1：10 (5g：50g) | 1：25 (2g：50g) |
|-----------------|--|--|--|---|--|
| 麥芽糖 外觀 |  深棕色 |  棕色 |  米黃色 |  淡米色 |  淡米白色 |
| 水分含量 |  17.9% |  18.1% |  17.7% |  17.8% |  18.1% |
| 麥芽糖 重量 |  34g |  34g |  17g |  10g |  9g |
| 轉換率 | 68% | 68% | 34% | 20% | 18% |
| 糖度 (Brix) | 11.1% | 10.5% | 8.1% | 7.0% | 4.9% |
| 黏性 | 1751gw | 1767gw | 1729gw | 1533gw | 1089gw |
| 延展性 | 22cm | 21cm | 18cm | 6cm | 1cm |

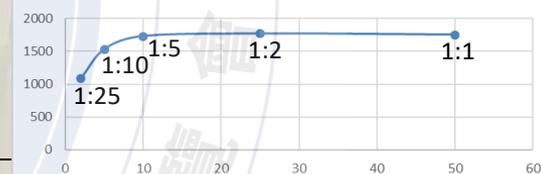
小麥草與糯米的混合比例對轉換率的關係



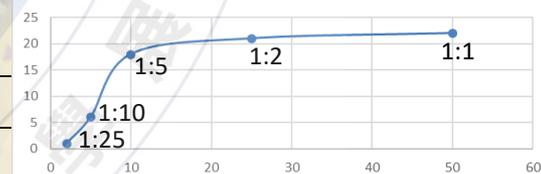
小麥草與糯米的混合比例對糖度的關係



小麥草與糯米的混合比例對黏性的關係



小麥草與糯米的混合比例對延展性的關係

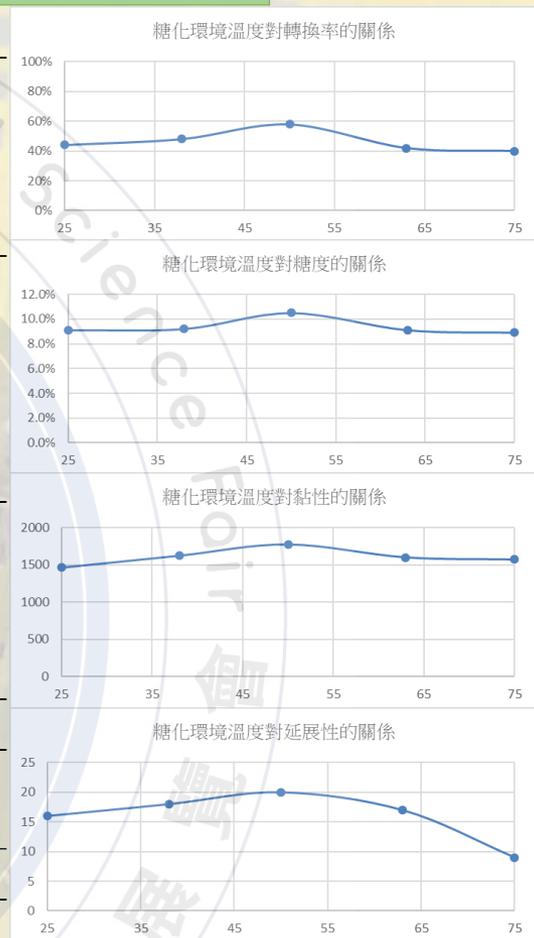


討論：

1. 考量成本及時間效益，小麥草與糯米重量比在1:2時效益最好，雖然甜度及黏性不是最低，但是討論後優先考量成本的問題，口感及口味其次。
2. 推測麥芽酵素的數量可以影響轉換率、甜度、黏性及延展性，與實驗二結果一致。

實驗六：糖化環境溫度對糖化結果的影響

| 環境溫度 | 25°C | 38°C | 50°C | 63°C | 75°C |
|-----------|--|--|--|---|--|
| 麥芽糖外觀 |  土黃色 |  土黃色 |  棕色 |  淺棕色 |  淺黃色 |
| 水分含量 |  17.5% |  17.6% |  18.0% |  17.3% |  18.4% |
| 麥芽糖重量 |  22g |  24g |  29g |  21g |  20g |
| 轉換率 | 44% | 48% | 58% | 42% | 40% |
| 糖度 (Brix) | 9.1% | 9.2% | 10.5% | 9.1% | 8.9% |
| 黏性 | 1465gw | 1623gw | 1772gw | 1601gw | 1573gw |
| 延展性 | 16cm | 18cm | 20cm | 17cm | 9cm |

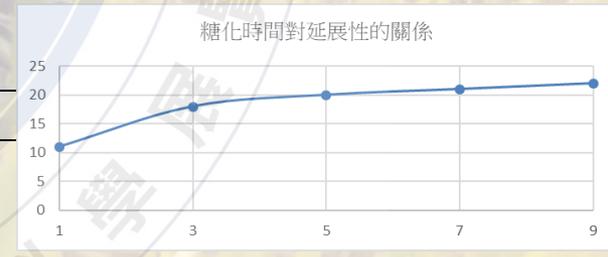
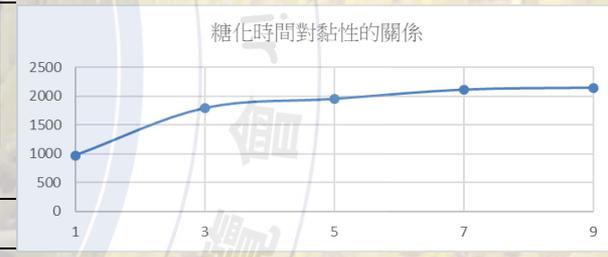
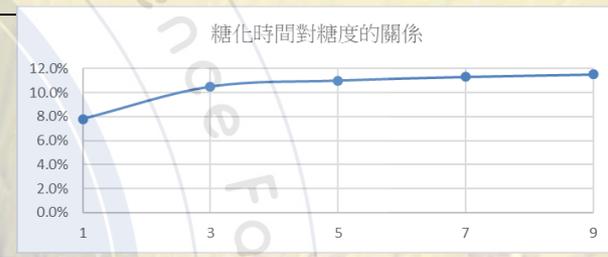
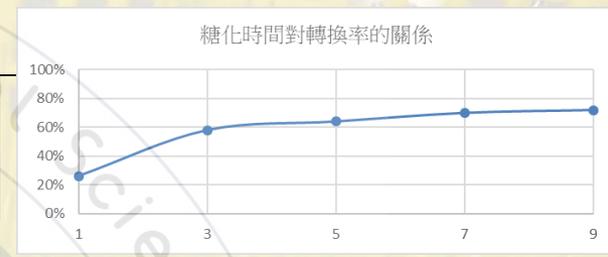


討論：

1. 考量實驗目的，在於節省時間及原料成本以及較佳的口感，如使用室溫(25°C)進行糖化，則消耗的能源少，且糖度和黏性可降低；如使用50°C進行糖化，雖然轉換率較高，但是糖度和黏性都較高，較不符合實驗的目的。
2. 推測溫度可能會影響麥芽酵素的活性，且依據實驗結果在50°C左右活性最大，且麥芽酵素的活性與麥芽糖的轉換率、糖度、活性、延展性呈正相關，驗證與實驗二、實驗五結果一致，麥芽酵素的活性和數量會影響糖化結果。

實驗七：糖化時間對糖化結果的影響

| 糖化時間 | 1 小時 | 3 小時 | 5 小時 | 7 小時 | 9 小時 |
|-----------|--|--|--|---|--|
| 麥芽糖外觀 |  淡黃色 |  棕色 |  棕色 |  棕色 |  棕色 |
| 水分含量 |  17.9% |  18.0% |  17.5% |  17.3% |  17.2% |
| 麥芽糖重量 |  13g |  29g |  32g |  35g |  36g |
| 轉換率 | 26% | 58% | 64% | 70% | 72% |
| 糖度 (Brix) | 7.8% | 10.5% | 11.0% | 11.3% | 11.5% |
| 黏性 | 974gw | 1792gw | 1951gw | 2112gw | 2145gw |
| 延展性 | 11cm | 18cm | 20cm | 21cm | 22cm |



討論：

1. 考量時間及物料成本，糖化3小時的麥芽糖雖然只有約60%的轉換率且延展性非最佳，但是時間成本低且糖度和黏性低，較符合本實驗的研究動機及目的。
2. 根據以上實驗推測麥芽酵素的活性、數量以及作用時間可能會直接影響糖化的結果。

研究討論

一、本實驗中栽培小麥草的季節選擇？

天氣熱發芽率都不高且經常發霉且發臭常常等不到結穗就死亡，故將實驗幾乎都在**冬季完成**。

二、為什麼要使用不照光的小麥草進行實驗？

如照光後會快速產生葉綠素，以至葉子呈現**深綠色**，使麥芽糖的顏色改變影響結果的判斷。

三、為什麼要使用整株小麥草來進行榨汁？

物盡其用的原則下，保留整株進行榨汁，達到本實驗提升效率以及節省的目的。

四、為什麼直鏈性澱粉質可能會影響糖化的結果？

直鏈性澱粉值**越低**則米飯就越軟且**黏性會較黏**，進而直接影響麥芽糖的特性，而延展性推測與直鏈澱粉的形狀有關，直鏈澱粉**形狀為長條狀**，形成麥芽糖後可能較容易拉扯至較長的長度。

五、為什麼使用蒸熟的糯米製作麥芽糖轉換率遠大於使用生糯米？

糯米在加熱後細胞膜和細胞壁會因高溫而破壞，而且加熱可以軟化澱粉加快反應速率。

六、為什麼實驗要檢測麥芽糖的水份含量、轉換率、糖度、黏性、延展性？

1. 水分含量：麥芽膏一定含有水份，如無**固定**則無法進行之後的數據測量及比較。
2. 轉換率：能透過麥芽膏的重量比較，直觀且客觀的表達**糖化的效率**。
3. 糖度：實驗目的是製作出低糖的麥芽糖，使用糖度計找出較**低糖度**的麥芽糖。
4. 黏性：實驗目的是製作不黏牙的麥芽糖，利用電子秤找出較**低黏性**的麥芽糖。
5. 延展性：麥芽糖的口感與延展性有相當的關連，保有**高延展性**是好吃的關鍵。

研究結論

綜合實驗一至七，考量轉換率以及符合現代人對低糖、不黏牙、口感好的要求製作麥芽糖：建議使用**澳洲產小麥進行水耕栽培3天**，採收後將**小麥草及蒸熟的蓬萊米以重量比1:2方式混合**，維持室溫糖化3小時，能得到產量較大，但是相對低糖、不黏牙且口感好，最符合本次實驗的實驗目的與精神的麥芽糖，讓社區的麥芽糖農家以及相關產業，可以進行不同方向的产品改良，達到蓬勃地方商機的目標。



澳洲產小麥



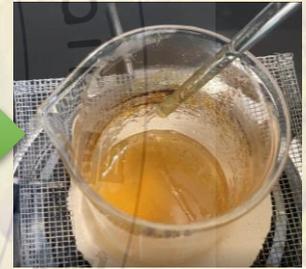
水耕栽培三天



小麥草與蓬萊米重量比1:2



室溫靜置糖化三小時



獲得最佳的麥芽糖

參考文獻資料

- 一. 維基百科 (2021年3月19日) · 澱粉 · 取自<https://reurl.cc/ogLd5Q>
- 二. 維基百科 (2021年4月18日) · 糯米 · 取自 <https://reurl.cc/7rXoRl>
- 三. 維基百科 (2021年5月4日) · 麥芽糖 · 取自<https://reurl.cc/rgx8Zb>
- 四. 蔡曉君 (2014年2月26日) · 堅持古法製作大窯燒煮麥芽糖不膩不黏牙 · 中嘉新聞 · 取自 <https://www.youtube.com/watch?v=caJ8zCMD-X0>