

小米「酒」了沒？發酵反應之即時監測

劉亞汶

新北市立烏來國民中小學

壹、緒論

台灣的原住民族，除了達悟族，各族多以小米為主食，都有自己的小米文化傳統，原住民族的小米酒是非常珍貴的，原因是釀造不易，整個過程必須非常謹慎。傳統小米酒用自然發酵法釀造，首先將蒸熟的小米飯放在芭蕉葉上，翻動變涼。接著在小米飯中加入酒麴，翻動小米飯，將酒麴與小米混和均勻。在此同時，將滾燙的開水倒進酒罈，將酒罈洗淨並消毒後；把小米飯放進酒罈，再把芭蕉葉蓋上，並用好幾層布壓緊甕口，以麻繩把罈口一圈圈封緊。因為小米的主要成分是澱粉屬於大分子，必須先分解成小分子的醣類(如葡萄糖)才能進行酒精發酵。發酵的材料必須密封，避免接觸空氣，讓發酵作用完整，才能釀出美味的小米酒。過去原住民族人不隨便喝酒，只在規範的時間或情況才會釀酒，也才有機會喝到酒。例如慶典、祭典、婚禮、祈福、狩獵歸來、換工、道歉賠罪或是有尊貴賓客的時候。根據泰雅族的 gaga(社會倫理規範)，喝酒前會先以手指沾酒，向土地點灑三下，請求祖靈庇佑。

在此課程中學生將以科學的角度來詮釋泰雅祖先的釀酒智慧，探討發酵反應的科學原理，應用資訊科技開發發酵反應即

時監測實驗裝置，改善部落以經驗法則傳承釀酒工藝所產生的盲點，以科學方法尋求更有效率的小米酒釀製方式

貳、研究過程及設備器材

一、向耆老學習製作小米酒的方法

取 10 斤小米泡水約 12 小時後，將水瀝乾，蒸熟小米；再將小米飯取出攤平放涼。在室溫約攝氏 20~23 度的環境中，加入 40 公克小米酒麴與小米飯攪拌均勻。接著把所有釀酒原料放入已以 75°C 熱水沖洗滅菌後的發酵桶中，加入適量的室溫開水，使小米進行發酵反應。容器開口以棉布覆蓋，再以塑膠繩綁緊密封，靜置一週。最後用濾網分離釀酒原料與小米酒，利用機器快速旋轉讓小米酒流出，將小米酒液盛裝於塑膠桶中，急速冷凍保存，便完成小米酒釀製。



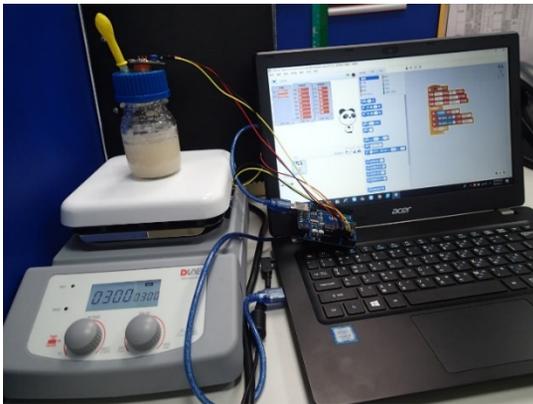
圖一、部落耆老指導學生釀製小米酒

二、實驗設備及器材

筆記型電腦、Arduino uno 開發板、MQ-3 酒精感測器、杜邦線、血清瓶及蓋子、環氧樹脂、氣球、PE 管、攪拌子、酒度計、糖度計、加熱攪拌器葡萄糖、蔗糖、澱粉、水、酒精麴、速發酵母、圓糯米、糯小米、小米麴、mBlock 程式等。

參、研究結果與討論

學生所開發的發酵反應即時監測實驗裝置如圖二所示，以 100 毫升血清瓶作為發酵反應槽，將血清瓶瓶蓋分別鑿出直徑 1.5 公分及 0.6 公分的兩個圓孔，再將酒精感測器及 PE 塑膠管放置於圓孔中，並以環氧樹脂密封孔洞間隙並固定感測器及塑膠管，再於塑膠管上套一個氣球，便完成發酵反應實驗裝置。



圖二、發酵反應即時偵測系統

藉由 Arduino 提供 MQ-3 酒精感測器 5 伏特的工作電壓，對發酵反應槽中的酒精濃度進行即時偵測，酒精感測器訊號輸出後，以 mBlock 程式紀錄，程式碼如圖三

所示。

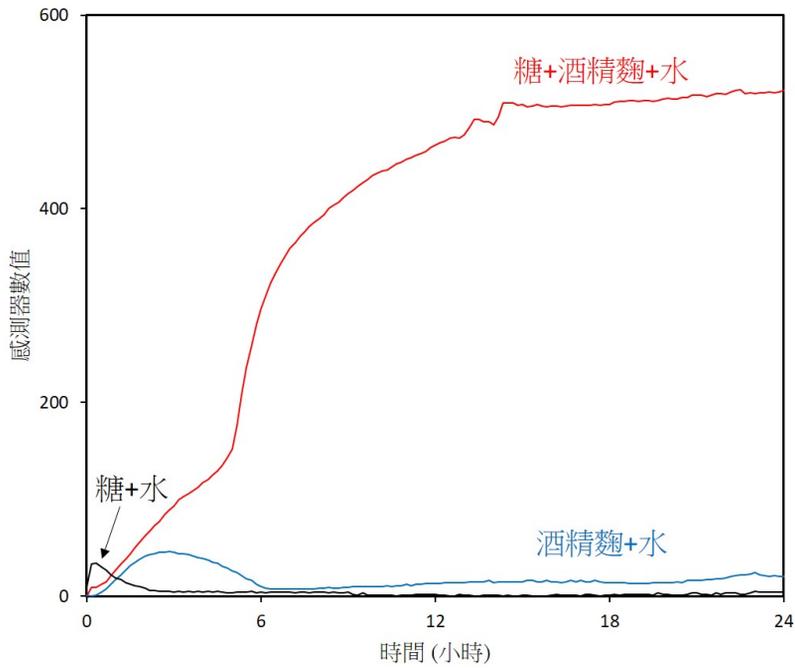


圖三、發酵反應即時偵測程式

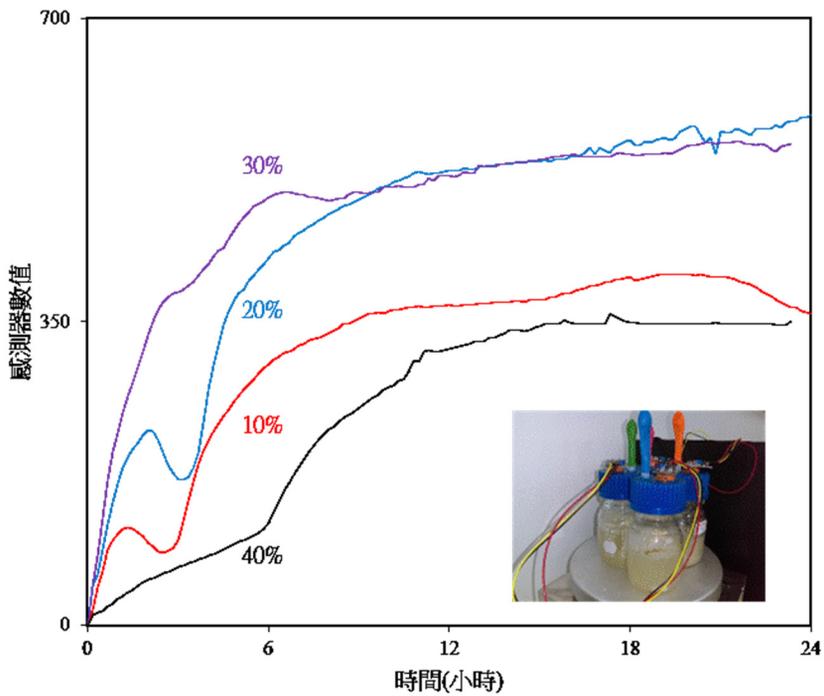
酒精發酵的化學反應方程式為 $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{酵素}} C_2H_5OH + CO_2$ ，是指葡萄糖在缺氧狀態下釋出能量的分解作用。將糖水與酵素置於密閉容器中混和攪拌時，將產生酒精與二氧化碳。實驗結果顯示，若閉密容器中只有糖水或只有酵素單獨存在時，無法有效進行發酵反應；若閉密容器中同時有糖水及酵素存在時，則可有效進行酒精發酵反應，實驗結果如圖四所示。

在不同濃度的蔗糖水溶液中加入等量的酒精麴，由圖五所示實驗結果可以發現蔗糖水濃度越高，發酵產生酒精的反應速率越快，產生的酒精也越多，表示當反應物濃度越高時，發酵反應速率越快，發酵反應產物也越多；實驗結果也顯示濃度 20% 的蔗糖水溶液發酵後產生的酒精與濃度為 30% 的蔗糖水溶液約相同，可能是因為酒精麴可以發酵的蔗糖量已達飽和的緣故；而濃度為 40% 的蔗糖水發酵反應速率

最慢，產生的酒精也最少，則可能是因為 到抑制的緣故。
酒精麴在高濃度的蔗糖水溶液中，活性受



圖四、發酵反應的必要條件



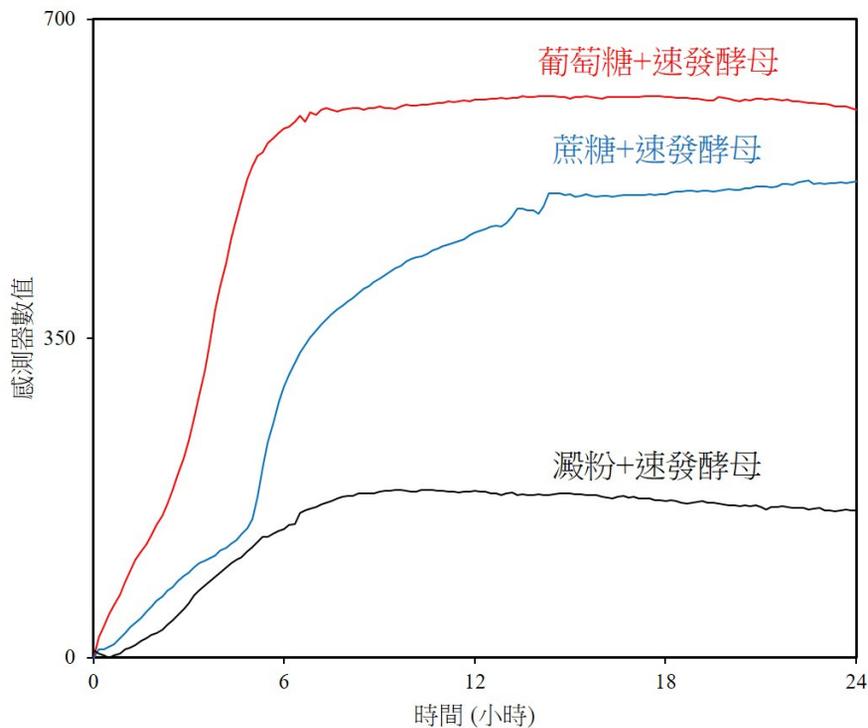
圖五、糖水濃度對發酵反應的影響

在等重的葡萄糖、蔗糖及澱粉(12.5 公克)水溶液中，加入等量的酒精麴(1 公克)，可以發現葡萄糖水溶液的發酵反應速率最快，於 6 小時反應達平衡，且產生最多酒精；蔗糖水溶液發酵反應分兩段進行，反應前 5 個小時產生酒精速率較慢，5 小時後反應速率與葡萄糖約相同，並於 12 小時反應達平衡，推測是蔗糖需先水解成葡萄糖才能進行發酵反應所造成的結果；澱粉溶液的發酵反應速率最慢，推測是因澱粉為大分子需要更長的時間進行水解，水解過程中同時也需要酵素參與，因此酒精產量也最少，實驗結果如圖六所示。

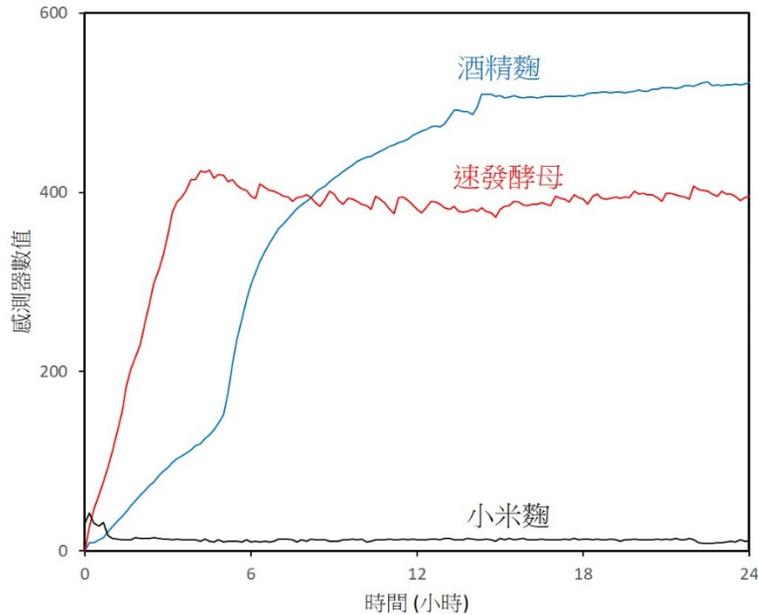
在相同濃度的蔗糖水溶液中，加入等量的酒精麴、速發酵母及小米麴，由圖七所示實驗結果可以發現速發酵母使蔗糖水

發酵的反應速率最快，且於反應 9 小時後酒精濃度達飽和；酒精麴使蔗糖水發酵的反應速率次之，反應 15 小時後酒精濃度達飽和；小米麴則無法使糖水產生發酵反應。此結果顯示，酵素種類會影響蔗糖水溶液發酵反應的結果。

在相同濃度的蔗糖水溶液中，加入等量的酒精麴、速發酵母及小米麴，由圖七所示實驗結果可以發現速發酵母使蔗糖水發酵的反應速率最快，且於反應 9 小時後酒精濃度達飽和；酒精麴使蔗糖水發酵的反應速率次之，反應 15 小時後酒精濃度達飽和；小米麴則無法使糖水產生發酵反應。此結果顯示，酵素種類會影響蔗糖水溶液發酵反應的結果。



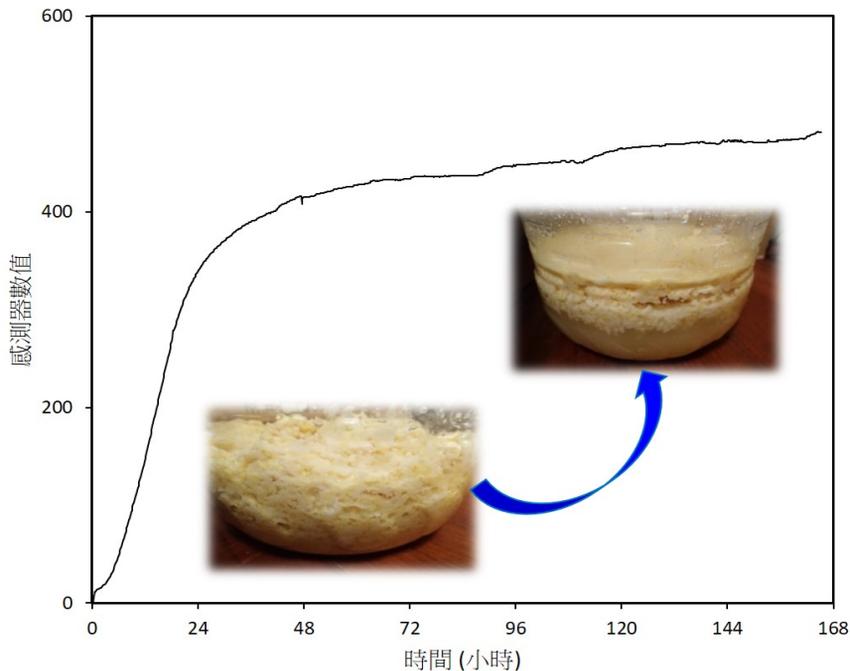
圖六、原料對發酵反應的影響



圖七、酵母種類對發酵反應的影響

將發酵反應即時偵測系統實際應用於小米酒釀製監測，結果如圖八所示，蒸熟的小米因加入小米麴產生發酵反應產生酒精，於 48 小時後反應達平衡；若於容器中

加入水，可使發酵反應持續進行，產生更多酒精。將小米與小米麴混和拌勻可使發酵反應速率較快，若僅將小米麴撒在小米上，則發酵反應速率較慢。



圖八、小米發酵反應的即時監測

肆、結論

在此實驗課程中，學生使用 arduino 開發板與 MQ-3 酒精氣體偵測器，透過 mBlock 程式即時偵測紀錄在密閉容器中進行發酵反應過程產生酒精氣體的多寡，以監測發酵反應的進行。結果發現在閉密容器中同時有糖水及酵素存在時，可有效進行酒精發酵反應；添加等量酒精麴的蔗糖水溶液，濃度越高時發酵產生酒精的反應速率越快，產生的酒精也越多；相同濃度時，發酵產生酒精的反應速率及產生酒精的量均是葡萄糖>蔗糖>澱粉；另外，酵素種類會影響發酵反應的進行。學生藉由本實驗學習使用發酵反應的即時監測系統，可有效應用於小米酒釀製過程酒精產出的即時監測，以科學化方式監測及管理

部落的釀酒工藝。

參考資料

- 陳政修、傅麗玉*(2014):久久酒科學。臺灣化學教育，1(1)，97-99。
- 傅麗玉(製作人)、王世偉(導演)(2012):泰雅之釀-發酵【動畫】。台北市：原金國際公司。
- 陳柏鈞(2017)。以微管陣列薄膜固化酵母菌量產化酒精之可行性研究(碩士論文)。取自 <http://etds.lib.ntnu.edu.tw/cgi-bin/g32/gsweb.cgi/ccd=wFwAUi/search#result>
- 邱信仁(2016年12月30日)。mBlock Scratch 教學 - mBot 機器人的資料蒐集方式【探奇 EV3 樂高機器人 LEGO BOOST mBot 教學 Touch Classroom】。取自 <http://touchclassroom.blogspot.com/2016/12/mblock-scratch-mbot.html>。