

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第三名

030220

「茭」糖釀的酒

-探討以茭白筍殼製作生質酒精的可行性

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 林詩雅	指導老師： 鄭定祐 陳正堂
---------------	---------------------

關鍵詞：茭白筍殼、水解、生質酒精

摘要

茭白筍種植為埔里重要產業，剝除下的筍殼常被棄置路旁造成汙染。本實驗以茭白筍殼為材料，探討其組成，發現因水分含量達 85%，無法像稻草燃燒才被棄置路旁，因含有菰菌無法以細菌分解成醣類，故將乾燥筍殼添加無機酸水解後形成還原糖，並探討經由鹽酸、硫酸在不同濃度下水解情形，結果發現，在鹽酸 1M 加熱 30 分靜置一天冷卻後，其水解量可達 50%，加熱處理以微波爐加熱提升反應速度，微波爐以小火加熱 5 分鐘後，再以大火加熱 5 分，可達到還原糖最佳(29.32%)，將處理後的糖類發酵一週後以蒸餾器蒸餾出酒精，初蒸可得 3%酒精，經由 3 次蒸餾可達 50%，並將剩餘酸性濾液以廢棄牡蠣殼處理，可達到節省成本、廢物再利用的效果。

壹、研究動機

茭白筍為台灣的高經濟價值農作物，其植株由於黑穗菌的寄生與刺激，造成莖部膨脹種大成為可食用的部分。茭白筍大約於兩百多年前從中國大陸引進台灣，主要種植地位於南投縣埔里鎮。依據民國 100 年度農業統計年報，全台灣省栽種面積約 2013 公頃，其中位於埔里鎮的種植面積便佔有約 1706 公頃，而年產值約 18.5 億新台幣。茭白筍有三種品種其分別為青殼種、白殼種及赤殼種，埔里地區主要栽培的品種為青殼種 (鐘，1989)，盛產期為 5~6 月，茭白筍收成時常為農民們帶來許多利益，但這樣大面積栽種的茭白筍在採收後留下的大量筍殼經常成為埔里地區環保及垃圾處理上的一大問題。茭白筍殼無法直接燃燒，其原因為茭白筍殼內含水量過高，儘管農民們將其曝曬於日光下，但盛產期正值雨季加上埔里地區不時會產生的地形雨，使筍殼的曝曬日數增加。潮濕的筍殼被長期堆積於田地間，因分解速度緩慢時常在乾燥前便出現腐敗發臭的跡像，這常引發附近居民接二連三的抗議。於是我們便決定將這些廢棄的筍殼加以回收、利用，茭白筍殼除水分外主要是由有機物也就是纖維素組成，在國一自然課中我們學到牛羊可經由吃草，在體內分解纖維素以獲得葡萄糖 (尤，2016)，而在 2 年級自然課食品科學這一章節中提到食品加工，葡萄糖可經發酵變為酒精 (郭，2016)，於是我們決定將筍殼內的還原糖發酵，並經過反覆蒸餾成的酒精改良成具可燃性的生質酒精，滿足能源的需求，也同時解決埔里地區衛生及垃圾處理上的問題。

貳、研究目的

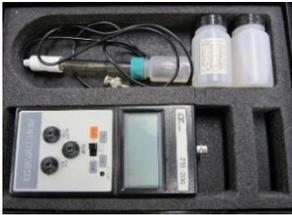
- 一、測量茭白筍內筍殼所佔比例及特性。
- 二、檢驗茭白筍殼是否含有還原糖及測量所含糖分量。
- 三、探討茭白筍殼水解方法及環境條件。
- 四、將取出的糖分發酵成酒精並探討其實用性。
- 五、後續廢液處理及成本探討。

參、研究設備及器材

一、實驗設備

			
恆溫槽(CHANNEL)	加熱板	離心機	乾燥箱
			
微波爐	電磁爐	果汁機	蒸餾器

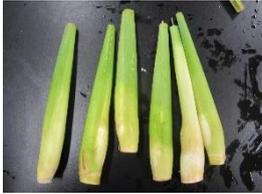
二、測量儀器

			
分光光度計(unicol1205)	pH計	電子秤(精密度 0.001g)	酒度計

三、實驗器材

瓷漏斗、玻璃漏斗、過濾瓶、圓底燒瓶、錐形瓶(250mL、500mL)、冷凝管、瓶底燒瓶(250mL)、連接管、燒杯(100mL、250mL、500mL、1000mL)、滴管、量瓶(100mL、250mL、500mL)、試管。

四、實驗材料

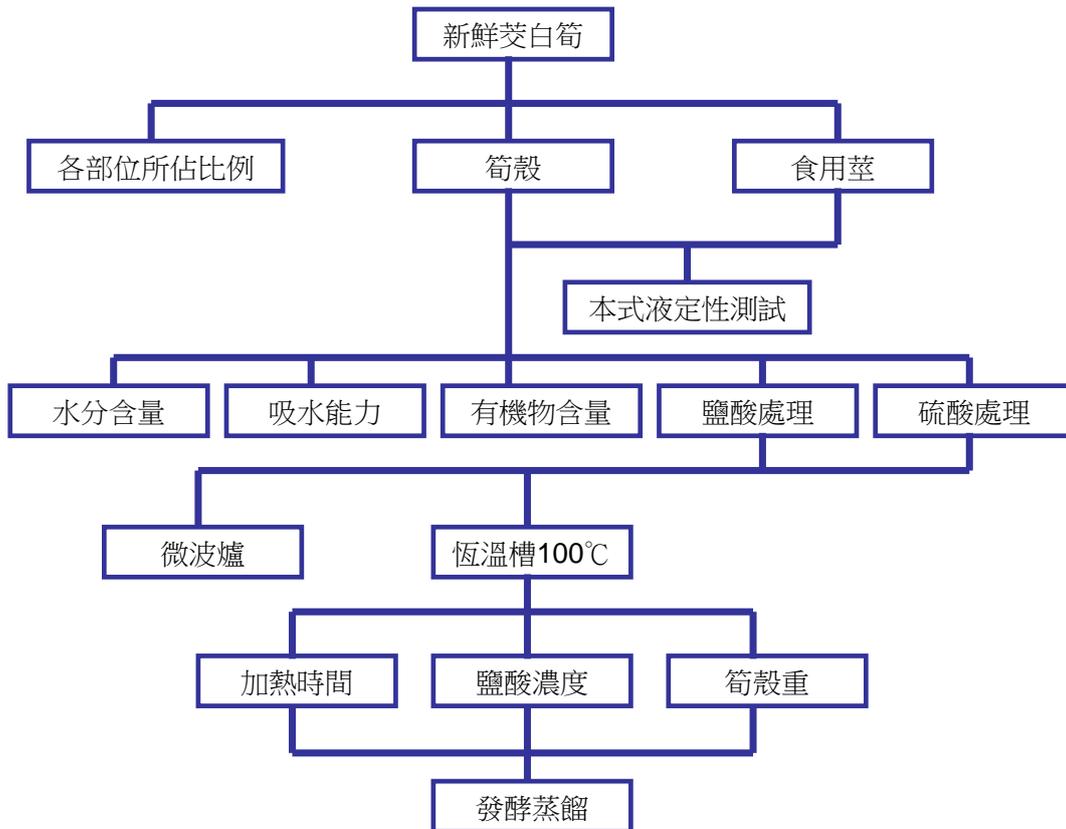
			
帶殼茭白筍	酒麴	酵母粉	牡蠣殼

五、實驗藥品

蒸餾水、氫氧化鈉、鹽酸(12M)、本氏液、硫酸(6M)、酒石酸鉀鈉、雙硝基水楊酸(DNS)、碳酸鈉。

肆、研究過程或方法

一、實驗大綱：



二、實驗原理：

(一) 茭白筍及茭白筍殼性質 (潘，2013)

茭白筍屬多年生草本植物，是一種水生蔬菜，英文名為 Waterbamboo 或 Coba，學名為 *Zizania latifolia Turcz.*。其生成是因水田中存在一種稱菰黑穗菌的真菌，寄生在植株的莖部，產生生長素及細胞分裂素，刺激莖部組織肥大，形成一個長紡錘形的變態莖，同時葉片行光合作用所製造的養分會轉移，集中貯存於此，形成甜嫩可口的筍莖，也就是俗稱的茭白筍。目前在台灣市場上的茭白筍品種可分為青殼、赤殼及白殼三種，盛產期約從五月開始一直維持到十月左右。產地以埔里南投地區為主，年產量達 40,335 公噸，到了十月，產地則北移至北部三芝、金山、礁溪一帶，但產量較少且產量約只有一個月左右。除了可食用的茭白筍體外，目前茭白筍殼也可回收利用製成紙漿做為宣紙的材料，成品稱為「惜福宣」。茭白筍殼之性質與化學組成如表 1、表 2 所示。

表 1 茭白筍殼(青殼種)之長度及直徑 (邱，1998)

Dimension	Classification		
	Large	Medium	Small
Length	>15 cm	10-15 cm	< 10 cm
Diameter	> 2 cm	1.5-2 cm	< 1.5 cm

表 2 茭白筍殼之化學組成 (邱，1998)

Ash	3.09 %
Pentosan	17.72 %
Holocellulose	63.67 %
Lignin	18.31 %

(二) 纖維素的結構與特性 (林，2010)

植物的細胞壁主要成分是纖維素、半纖維素、木質素，以木材來說纖維素約占 35~50 %，半纖維素在闊葉樹中約占 35%，木質素和半纖維素緊密接合著植物中的纖維。纖維素主要結構是由葡萄糖單體(圖 2)鍊狀聚合而成多醣。其結構分為排列整齊的結晶區及排列不規則的非結晶區，結晶區結構排列規則且整齊，結晶區為有非常強的氫鍵互相吸引(圖 3)，會阻礙水分子及酵素分子進入結構中反應，使得纖維素結構不易被破壞，因此纖

纖維素需先被分解，透過前處理程序，加酸及熱來去除木質素與半纖維素對纖維素之保護作用，破壞木質纖維素結構與增加孔隙性，使得水分子或酵素容易接近纖維素，以便提高纖維素原料的反應效率（圖 4）。

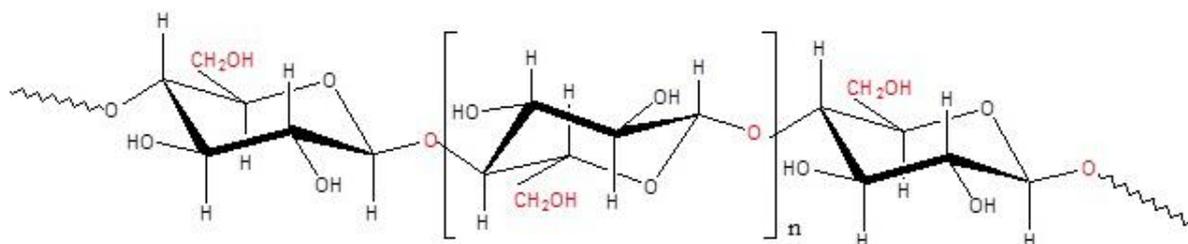


圖 1 纖維素的化學結構(<http://ir.hust.edu.tw/dspace/handle/310993100/3969>)

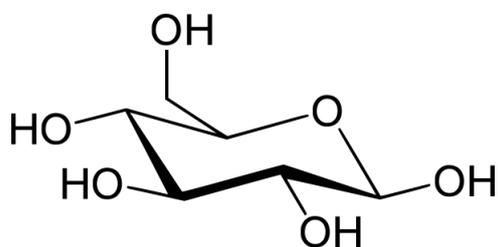


圖 2 葡萄糖單體圖

(<https://zh.wikipedia.org/wiki/葡萄糖>)

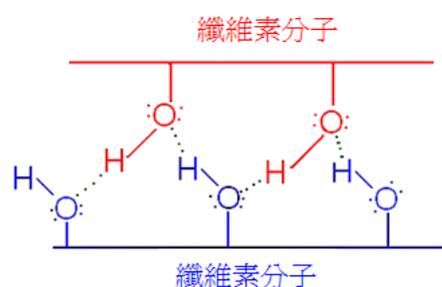


圖 3 纖維分子形成結晶的示意圖

(<http://ir.hust.edu.tw/dspace/handle/310993100/3969>)

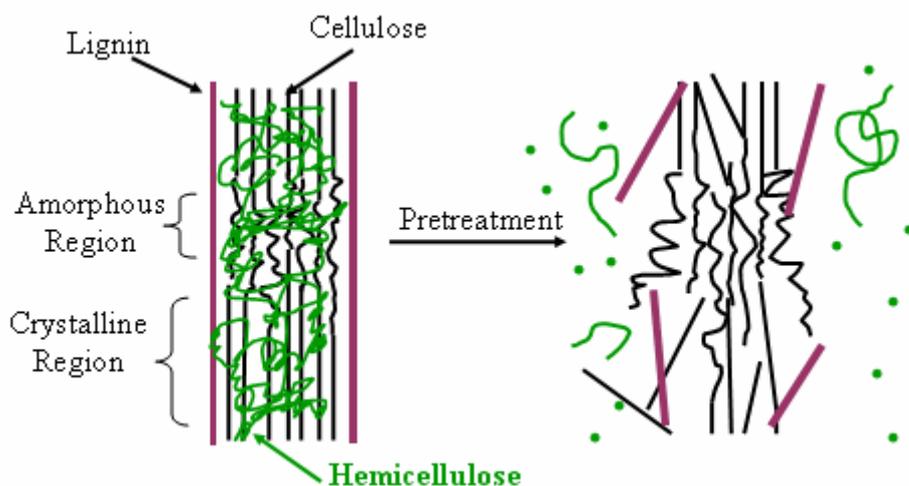


圖 4 木質纖維素之前處理示意圖 (Mosier et al., 2005)

(四) 纖維素酒精製造程序(圖 5)

將纖維生質原料轉化成為酒精，廣義上可分為兩個步驟：

1. 將木質纖維素轉化為可發酵的醣類，又稱為醣化，醣化技術包含纖維素、半纖維素水解以及木質素移除等三大類，其中，半纖維素水解與木質素移除又稱作前處理技術。
2. 發酵醣類產生酒精。

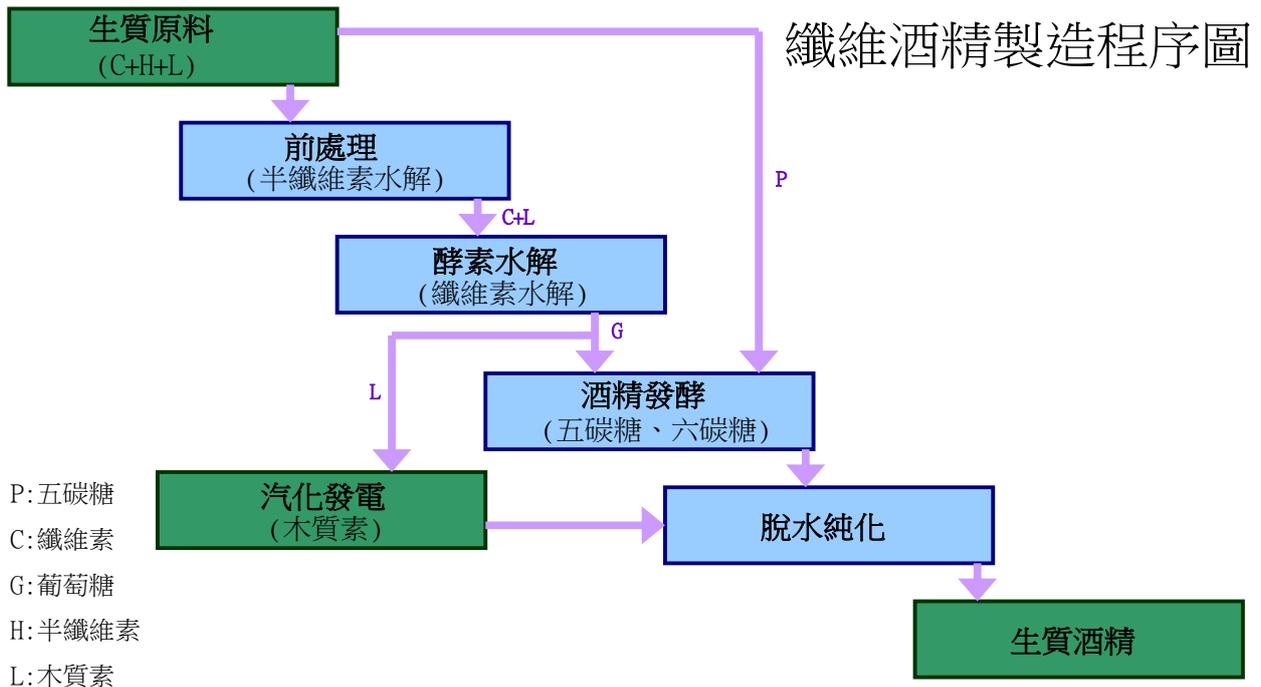
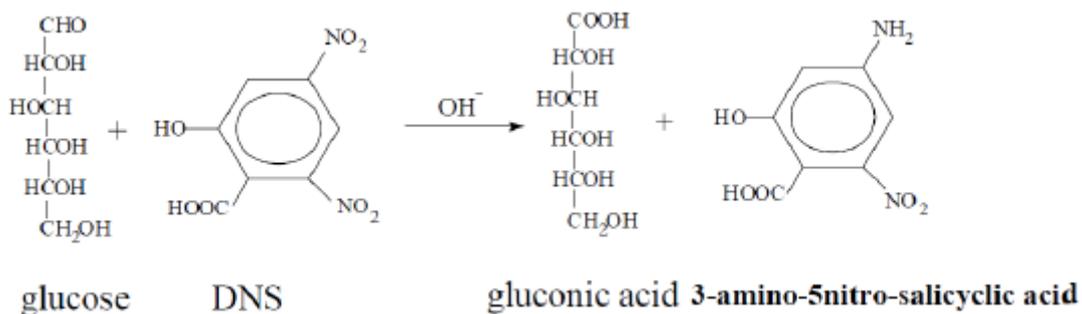


圖 5 纖維素酒精製造程序(www.lms.cctl.egut.edu.tw)

(五) DNS 法—葡萄糖定量方法

3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) 試劑之反應是利用 DNS 具還原力之特性，因此碳水化合物只要具有游離或游離趨勢之醛或酮基，即能在鹼性溶液下有還原的能力而進行以下反應：



於一定範圍內，顏色的深淺強度和還原糖濃度成正比，故以標準葡萄糖檢量線來定

量樣品中還原糖的比例。

三、實驗步驟：

(一) 實驗預先處理：

將收集到的茭白筍殼洗淨後烘乾(圖 6、7)，再將乾燥後的茭白筍殼打碎成粉末狀收集備用(圖 8)。



圖 6 收集到的茭白筍殼

圖 7 經烘乾的茭白筍殼

圖 8 烘乾後打成粉末狀

(二) 實驗一：測量茭白筍食用莖和筍殼比例

1. 取一段殼茭白筍數支約 30cm，分別秤其重量。
2. 剝除外殼後，測量食用莖和外殼重，與帶殼茭白筍比較殼所占重量百分比。

(三) 實驗二：測量茭白筍殼中的水分所佔比例

1. 取一小塊茭白筍殼(約 1g)秤重後，再加以乾燥，紀錄其乾燥前後重量。
2. 重複數次並取平均值，算出其含水量。

(四) 實驗三：測量乾燥茭白筍殼吸水能力

1. 取一段茭白筍殼(約 1g)經乾燥處理，泡水靜置一天，再撈起擦乾秤其泡水前後重。
2. 重複數次並取平均值，算出其吸水比例。

(五) 實驗四：測量茭白筍殼中有機物含量

1. 取一段乾燥後的茭白筍殼放入坩堝中蓋上蓋子以高溫加熱，待反應完全並冷卻後，秤量其反應前後重量。
2. 重複數次並取平均值，算出其有機物含量。

(六) 實驗五：以本氏液對茭白筍做還原糖定性試驗

1. 取茭白筍不同部份(食用莖、殼、根部)各約 15g 加水 85g 加熱後，取其濾液以本氏液測試。
2. 取茭白筍食用莖不同部分(上、中、下段)各約 15g 加水 85g 加熱後，取其濾液以本

氏液測試。

3. 取乾、濕茭白筍殼 15g 加水 85g 加熱後，取其濾液以本氏液測試。

(七) 實驗六：以 DNS 法製作吸收度對濃度的檢量線

1. DNS 溶液配置

A 液：5g DNS 溶於 100ml 2N NaOH 加熱溶解。

B 液：150g 酒石酸鉀鈉溶於 250ml 蒸餾水溶解(加熱助溶)。

將 A 液與 B 液均勻混合，加水稀釋至 500ml。

2. 依據下表分別於各管加入試劑配置標準液。

表 3 DNS 標準液配置表

管號(濃度 mg/mL)	0.5mg/mL 標準葡 萄糖液(mL)	H ₂ O(mL)	未知葡萄糖液 (mL)	DNS(mL)
S1	0	1.0	—	3
S2	0.2	0.8	—	3
S3	0.4	0.6	—	3
S4	0.6	4	—	3
S5	0.8	0.2	—	3
S6	1.0	0	—	3
U	—	—	1	3

(1) 混勻，沸水浴加熱 5 分鐘。

(2) 沖水冷卻，測其 O.D.540。

(3) 以葡萄糖標準液濃度為橫軸(X 軸)，吸光值為縱軸(Y 軸)，製作標準曲線。

(4) 利用標準曲線求出未知液濃度。

(八) 實驗七：測量茭白筍殼泡水加熱後還原糖含量

1. 取 1~5 公克的乾燥茭白筍殼。

2. 分別加水 100mL 後於 100°C 下加熱 1 小時。

3. 冷卻一日後過濾並取濾液 10mL，以碳酸鈉中和後稀釋至 100mL。

4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。

(九) 實驗八：測量茭白筍殼浸泡鹽酸加熱後還原糖含量

1. 取 1~10 公克的乾燥茭白筍殼。

2. 分別 1M 鹽酸 100mL 後於 100°C 下加熱 1 小時。

3. 冷卻一日後過濾並取濾液 10mL，以碳酸鈉中和後稀釋至 100mL。
4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。

(十) 實驗九：茭白筍殼加入不同濃度鹽酸加熱後還原糖含量

1. 在 1~5M 的鹽酸內加入 1 公克的乾燥筍殼。
2. 於 100°C 下加熱 30 分鐘。
3. 冷卻一日後，過濾取濾液 10mL，以碳酸鈉中和並稀釋至 100mL。
4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。
5. 將過濾後殘渣乾燥後秤重並計算其減少重量。
6. 重複上述步驟改變加熱時間再做 2 次實驗，將加熱時間依序延長為 1、2 小時。

(十一) 實驗十：測量茭白筍殼浸泡硫酸加熱後還原糖含量

1. 取 1~5 公克的乾燥茭白筍殼。
2. 分別加 1M 硫酸 100mL 後於 100°C 下加熱 1 小時。
3. 冷卻一日後過濾並取濾液 10mL，以碳酸鈉中和後稀釋至 100mL。
4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。

(十二) 實驗十一：茭白筍殼加入不同濃度硫酸加熱後還原糖含量

1. 在 1~5M 的硫酸內加入 1 公克的乾燥筍殼。
2. 於 100°C 下加熱 30 分鐘。
3. 冷卻一日後，過濾取濾液 10mL，以碳酸鈉中和並稀釋至 100mL。
4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。
5. 將過濾後殘渣乾燥後秤重並計算其減少重量。
6. 重複上述步驟改變加熱時間再做 2 次實驗，將加熱時間依序延長為 1、2 小時。

(十三) 實驗十二：茭白筍殼經微波爐加熱實驗 (謝等, 2010)

1. 取 1 公克的乾燥筍殼浸泡於 1M 鹽酸 100mL 中，再置入微波爐中加熱。
2. 分別以不同條件加熱(小火 5、10、15 分鐘，小火 5 分+大火 5 分)。
3. 冷卻一日後，過濾取濾液 10mL，以碳酸鈉中和並稀釋至 100mL。
4. 以 DNS 法測量其相對吸收度並計算出其還原糖量。

(十四) 實驗十三：茭白筍殼發酵實驗

1. 探討添加酒麴量與產生氣體體積關係

- (1) 取茭白筍殼 30g 經 1M、300mL 的稀鹽酸水解後，中和其酸性並加水至 500mL，重複 5 次製作 5 瓶。
- (2) 分別加入 1~5g 的酒麴，並置於恆溫槽中一天，並保持溫度為 37°C。
- (3) 於錐形瓶上插入 1 隻 50mL 的針筒，經過一天後測量其氣體產生情形。
- (4) 以酒度計測量這 5 瓶發酵後的酒精濃度。

2. 茭白筍殼製作酒精與蒸餾結果

- (1) 取取乾燥茭白筍殼約 500g 浸泡於 1M 鹽酸中，在 100°C 下加熱 1 小時。
- (2) 冷卻一日後，過濾後以牡蠣殼反應接近至中性，加入酒麴 10g 後發酵數天。
- (3) 反覆蒸餾 3 次提高其濃度，並以酒度計分別測量其酒精濃度。

伍、研究結果

一、測量茭白筍食用莖和筍殼比例(表 4)

(一) 一般採收的茭白筍長度約為 30cm，取數支茭白筍來比較可發現，不管是帶殼茭白筍、剝除外殼厚的食用莖及筍殼在長度相同下，其 C.V. 在 20% 以上超過 5%，表示茭白筍間有不小的差異。

(二) 筍殼占全重百分比差異較小，所佔重量百分比也由 37~51% 平均為 44.04%，由數據可知茭白筍中筍殼佔蠻高比例，剝除殼後可食用部分只剩 5~6 成。

表 4 茭白筍食用莖和筍殼比例

樣本編號	長度(cm)	帶殼筍(g)	食用莖(g)	筍殼(g)	筍殼百分比(%)
1	31.70	93.190	48.090	45.100	48
2	31.60	132.900	75.370	57.530	43
3	30.50	145.540	92.050	53.490	37
4	31.60	87.000	51.210	35.790	41
5	30.60	113.005	55.740	57.265	51
6	31.00	103.105	52.840	50.265	49
7	29.80	81.455	51.675	29.780	37
8	30.00	123.925	65.950	57.975	47
平均	30.85±0.74	110.015±22.880	61.616±15.287	48.399±10.688	44.04±5.44
C.V.	2.41%	20.80%	24.81%	22.08%	12.34%

二、將筍殼烘乾並測量其含水量(表 5)

取數段未烘乾的茭白筍殼進行含水量實驗，由實驗可知取得的樣品即使重量有差異，烘乾後的重量含及含水量亦差異頗大，但含水率平均為 84.98%且 C.V.小於 5%，顯示茭白筍殼中含水量極高。

表 5 茭白筍殼含水量及含水率

樣品	烘乾前(g)	烘乾後(g)	含水量(g)	含水率(%)
1	1.140	0.145	0.995	87.28
2	1.030	0.110	0.920	89.32
3	1.140	0.075	1.065	93.42
4	1.170	0.225	0.945	80.77
5	1.020	0.200	0.820	80.39
6	0.690	0.125	0.565	81.88
7	0.505	0.075	0.430	85.15
8	1.095	0.160	0.935	85.39
9	0.435	0.080	0.355	81.61
10	0.745	0.115	0.630	84.56
平均	0.897±0.264	0.131±0.049	0.766±0.239	84.98±3.94
C.V.	29.45%	37.58%	31.16%	4.64%

三、將乾燥的茭白筍殼泡水並測量其吸水量(表 6)

由下表可知吸飽水分的茭白筍殼其重量與乾燥前相比可達 22 倍，顯示即使茭白筍殼經過曬乾，只要因下雨等因素吸收的水分後，重量會比新鮮茭白筍殼來的多。

表 6 乾燥的茭白筍殼吸水量

樣品	乾燥前	乾燥後	泡水	吸水比
1	1.305	0.215	4.080	18.98
2	1.575	0.220	4.345	19.75
3	1.695	0.265	5.825	21.98
4	1.385	0.185	4.300	23.24
5	1.355	0.300	4.230	14.10
6	1.235	0.210	6.020	28.67
7	1.220	0.225	5.105	22.69
8	1.875	0.215	5.965	27.74
平均	1.456±0.236	0.229±0.036	4.984±0.846	22.14±4.72

四、將乾燥筍殼放入坩鍋中悶燒測量其有機物含量(表 7)

由下表可知乾燥茭白筍殼有機物比例占其 64.26%，表示其成分大部分為有機物。

表 7 乾燥茭白筍殼有機物含量

樣品	乾燥(g)	殘留(g)	有機物(g)	比例(%)
1	0.300	0.105	0.195	65.00
2	0.300	0.110	0.190	63.33
3	0.280	0.115	0.165	58.93
4	0.335	0.100	0.235	70.15
5	0.240	0.105	0.135	56.25
6	0.250	0.095	0.155	62.00
7	0.205	0.075	0.130	63.41
8	0.200	0.050	0.150	75.00
平均	0.264±0.048	0.094±0.022	0.169±0.035	64.26±5.97

五、測量其葡萄糖濃度對 DNS 吸收度的關係

先以配製好的葡萄糖標準溶液與 DNS 試劑反應後測量其吸收度(表 8)。並做出吸收度對濃度檢量線(圖 9)，再利用線性回歸方程式求出還原糖濃度。

表 8 葡萄糖濃度對 DNS 吸收度

葡萄糖濃度(mg/mL)	吸收度
0	0.1195
0.1	0.2055
0.2	0.3641
0.3	0.4983
0.4	0.6817
0.5	0.8136

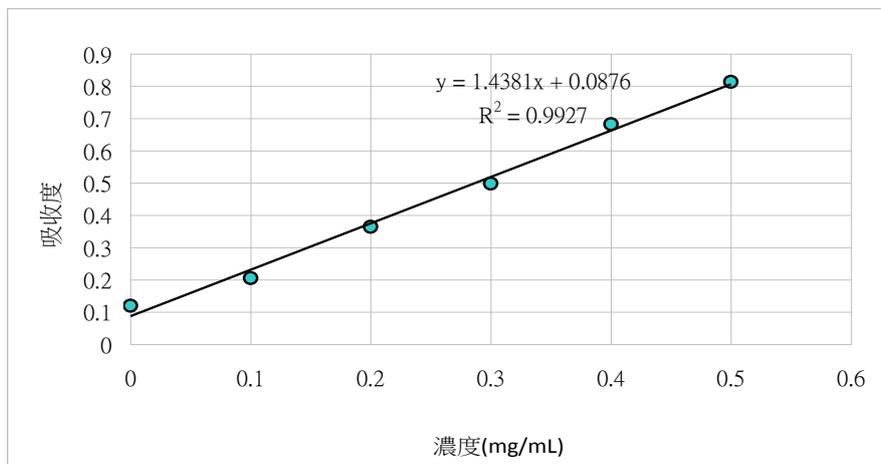


圖 9 葡萄糖濃度對 DNS 吸收度檢量線圖

六、測量茭白筍殼泡水加熱後還原糖含量

(一) 茭白筍殼泡水後有顏色釋出，故需測出反應前後吸收度並扣除(表 9)，再代入圖 9 線性方程式求出還原糖濃度，而求出濃度為原溶液的 10%，計算時需考慮。

(二) 由表 9 可知僅以水處理過後的茭白筍殼含有的還原糖量非常低，難以提供生質酒精糖類來源，再由圖 10 可得茭白筍殼重對 DNS 吸收度呈線性關係， $R^2=0.961$ 表示有高度相關，加入茭白筍殼越多能得到的還原糖量亦隨之增加。

表 9 還原糖濃度對 DNS 吸收度

茭白筍殼重量(g)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比(%)
1	0.1023	0.1212	0.013	1.31%
2	0.1063	0.1298	0.016	1.63%
3	0.1103	0.1407	0.021	2.11%
4	0.1121	0.1434	0.021	2.18%
5	0.1172	0.1533	0.025	2.51%

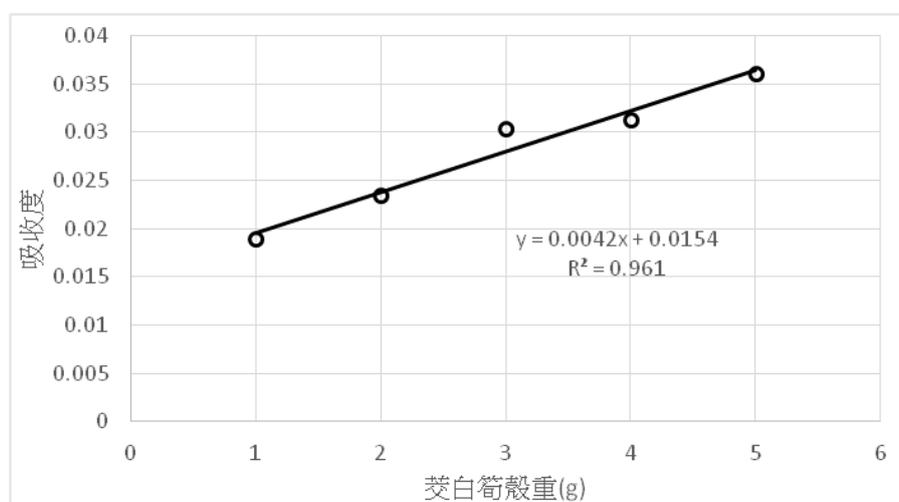


圖 10 茭白筍殼重對 DNS 吸收度關係圖

七、測量茭白筍殼浸泡鹽酸加熱後還原糖含量

(一) 以水處理可獲得還原糖過低，接著我們已以 1M 鹽酸來處理不同重量的茭白筍殼，從表 10 結果發現還原糖含量占全重的百分比由原先 1.31%~2.51%提高至 17.45%~24.10%，經鹽酸處理後還原糖含量獲得大幅提高。

(二) 以不同重量的筍殼對其吸收度作圖可知(圖 11)呈現性關係， $R^2=0.9899$ 表示兩者呈高度相關，加入筍殼量越多可得到的還原糖量亦越多。

(三) 接著將殘渣烘乾後測其重量，並算出減少的重量即為水解量，由表 10 可知還原糖與水解量並不相等，因在水解過程中亦會水解出非還原糖類，故需找出其比例。

(四) 為了解還原糖與水解量的關係，將還原糖、水解量與全重作圖(圖 12)可知：

1. 茭白筍殼增加，還原糖與全重比除增加外，到 5g 時會增加到 20%以上，而水解量與全重比也會增加到 5g 達最大，但在 1g 時水解量已達 50%，故由還原糖與水解量比在加入 2g 達 41.01%、5g 為 65.49%，表示在此條件下尚可添加更多茭白筍殼。
2. 再由還原糖與水解量比，茭白筍殼加入 5g 時會有最佳值，但再加入 10g 後可達 55.18%還原糖含量也約為 5g 時 2 倍，以成本考量及後續酸液處理加入 10g 時會有較好的商業應用。

表 10 不同重量的筍殼加入 1M 的鹽酸

茭白筍殼重量(g)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比	減少重量(g)	減少重與全重比(g)	還原糖與水解量比
1	0.1079	0.3589	0.175	17.45%	0.495	50.50%	35.26%
2	0.111	0.6271	0.359	17.94%	0.875	56.25%	41.01%
3	0.1126	0.9485	0.581	19.38%	1.260	58.00%	46.13%
4	0.1174	1.2083	0.759	18.96%	1.650	58.75%	45.97%
5	0.1271	1.8601	1.205	24.10%	1.840	63.20%	65.49%
6	0.1358	0.3247	1.314	21.89%	3.000	50.00%	43.78%
7	0.1359	0.3536	1.514	21.63%	3.410	51.29%	44.39%
8	0.1365	0.3813	1.702	21.28%	3.950	50.63%	43.09%
9	0.1353	0.4334	2.073	23.03%	4.027	55.26%	51.47%
10	0.1455	0.4887	2.386	23.86%	4.325	56.75%	55.18%

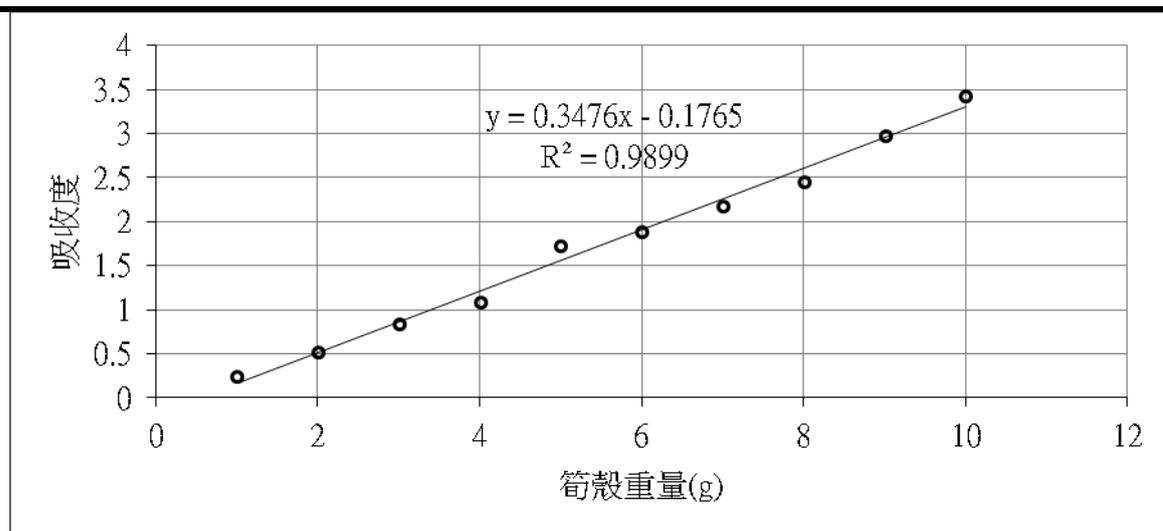


圖 11 不同重量的筍殼加入 1M 的鹽酸還原糖含量關係圖

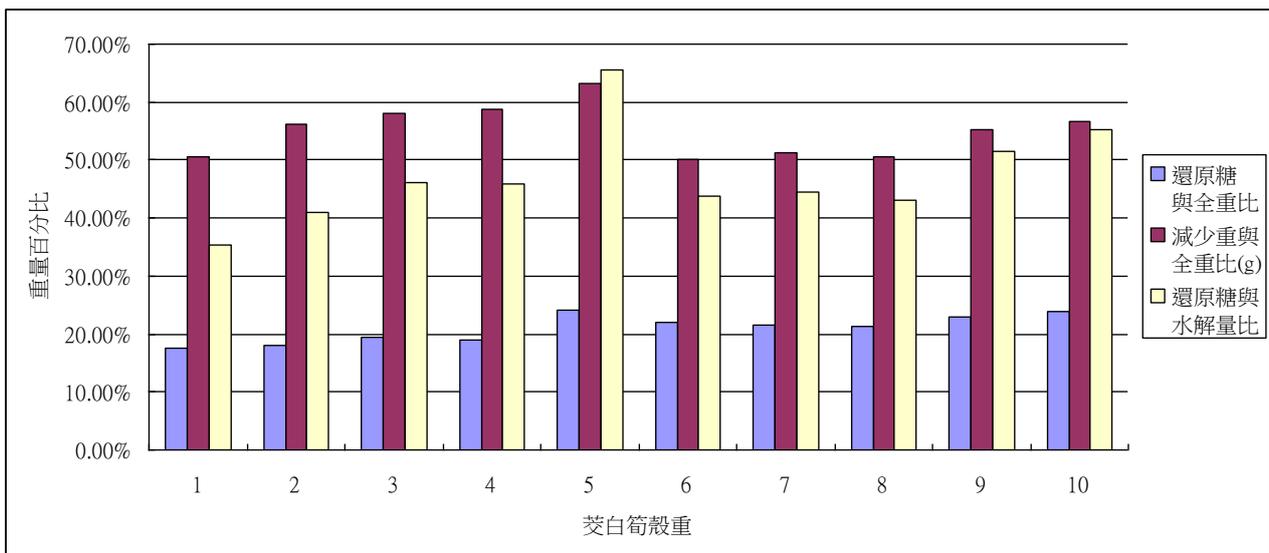


圖 12 不同重量筍殼加入鹽酸加熱後還原糖、水解量與全重相比的關係

八、茭白筍殼加入不同濃度鹽酸加熱後還原糖含量(加熱 30 分鐘)

(一) 由表 11 可知精鹽酸處理加熱 30 分後，還原糖量及水解量均隨加入鹽酸濃度而增加，顯示濃度增加有利於纖維素水解。

(二) 由圖 13 可知其吸收度與鹽酸濃度呈現正關係， $R^2=0.959$ 呈高度相關表示鹽酸濃度會影響還原糖量。

(三) 由圖 14 長條圖比較可得還原糖量、水解量與全重比均隨濃度增加，但還原糖與水解量比在加入 2M 鹽酸後已達 44.57%，故在稀酸條件下就可有良好水解效果，酸液濃度過高會水解出更多非還原糖，導致製造成本提高、酸液汙染問題。

表 11 不同濃度鹽酸加熱後(30 分鐘)

鹽酸濃度 (M)	反應前 吸收度	反應後 吸收度	還原糖 含量(g)	還原糖與 全重比 (%)	減少重量 (g)	減少重與 全重比(g) (%)	還原糖與 水解量比 (%)
1	0.1196	0.4138	0.205	20.46%	0.505	50.50%	40.51%
2	0.116	0.4461	0.230	22.95%	0.515	51.50%	44.57%
3	0.1148	0.4699	0.247	24.69%	0.555	55.50%	44.49%
4	0.1155	0.4983	0.266	26.62%	0.565	56.50%	47.11%
5	0.1196	0.5091	0.271	27.08%	0.61	61.00%	44.40%

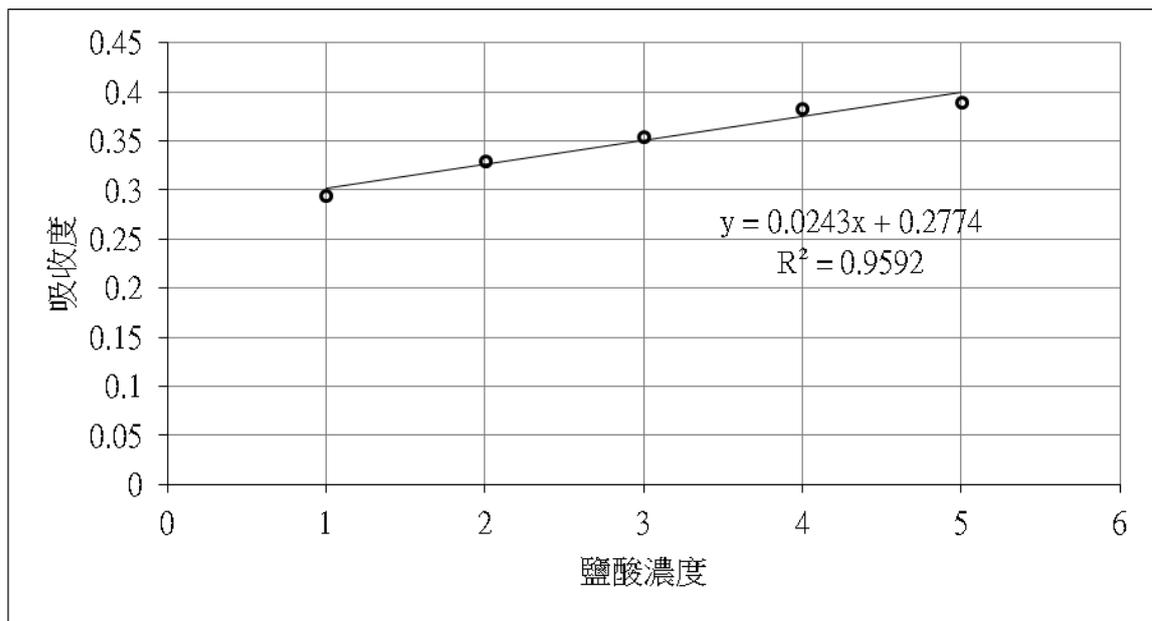


圖 13 不同濃度鹽酸加熱後(30 分鐘)還原糖含量關係圖

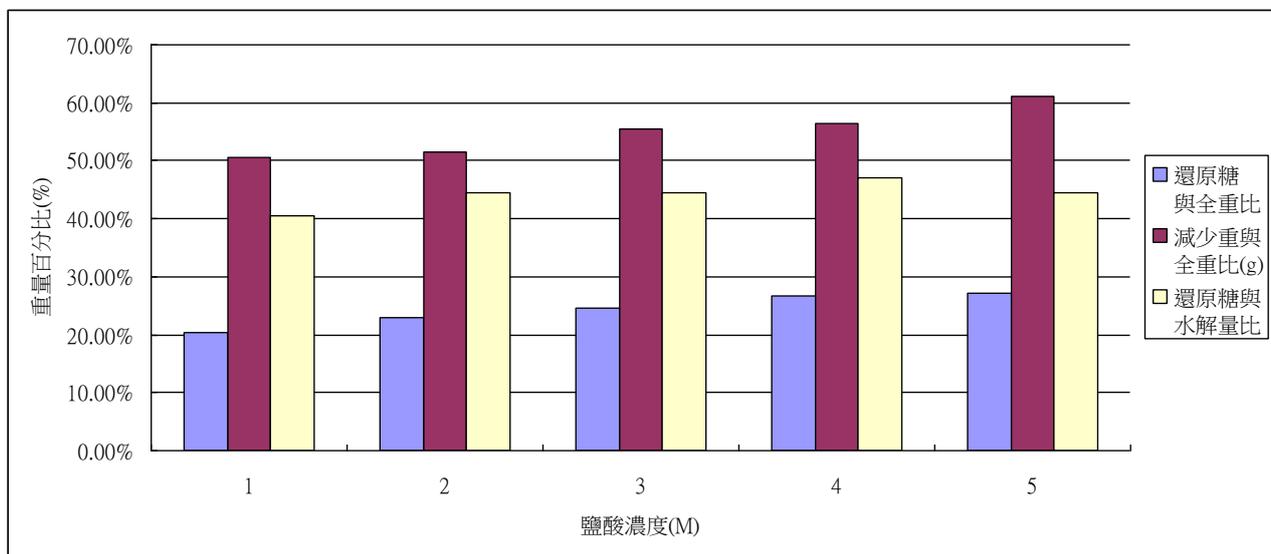


圖 14 不同濃度鹽酸加熱後(30 分鐘)還原糖、水解量與全重相比的關係

九、茭白筍殼加入不同濃度鹽酸加熱後還原糖含量(加熱 1 小時)

- (一) 由表 12 可知還原糖量除隨鹽酸濃度增加外，在鹽酸加入 4M 後即可達最大，顯示溫度增加亦有利於纖維素水解。
- (二) 由圖 15，其吸收度與鹽酸濃度的 $R^2=0.7355$ ，兩者相關度較加熱 30 分鐘下降。
- (三) 隨加熱時間變長，還原糖與水解量間的比例已開始大於 50%(圖 16)，表示還原糖的比例增加。

表 12 不同濃度鹽酸(加熱 1 小時)

鹽酸濃度 (M)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比	減少重量 (g)	減少重與全重比(g)	還原糖與水解量比
1	0.1198	0.4301	0.216	21.58%	0.415	41.50%	51.99%
2	0.1146	0.4003	0.199	19.87%	0.415	41.50%	47.88%
3	0.1235	0.4580	0.233	23.26%	0.540	54.00%	43.08%
4	0.1217	0.5121	0.271	27.14%	0.470	47.00%	57.75%
5	0.1219	0.4999	0.263	26.29%	0.525	52.50%	50.07%

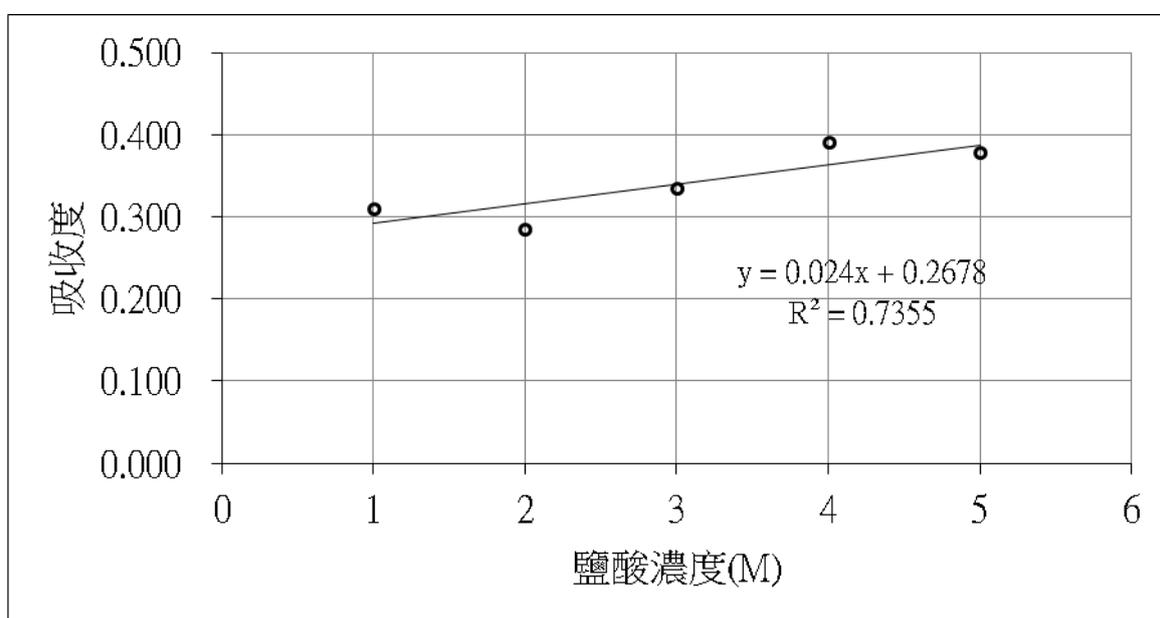


圖 15 不同濃度鹽酸(加熱 1 小時)還原糖含量關係圖

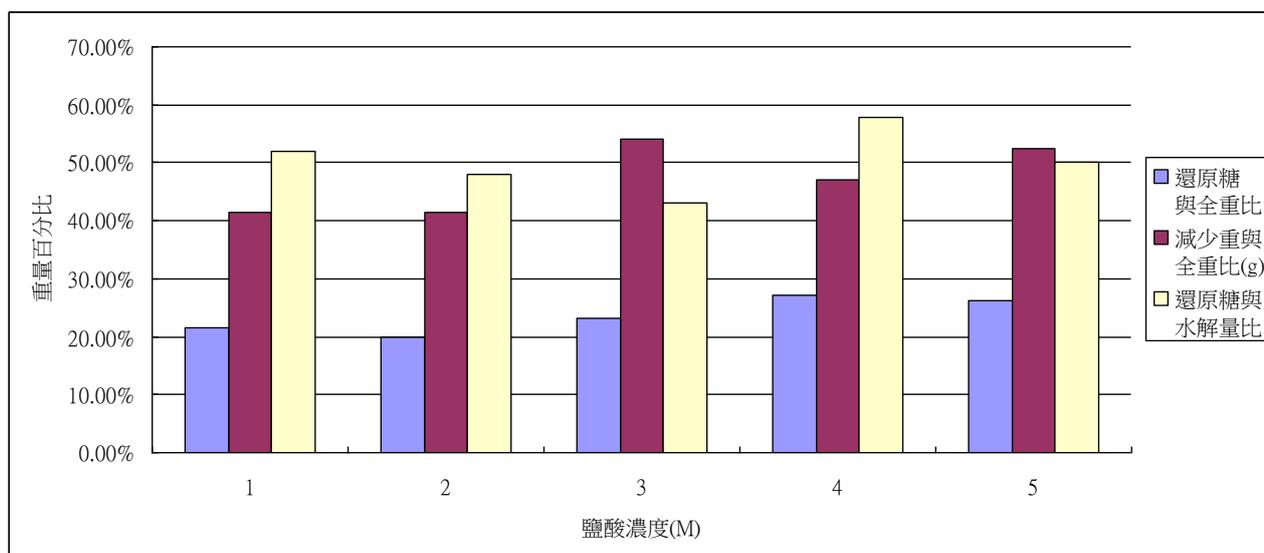


圖 16 不同濃度鹽酸加熱後(1 小時)還原糖、水解量與全重相比的關係

十、茭白筍殼加入不同濃度鹽酸加熱後還原糖含量(加熱 2 小時)

(一) 由表 13 可知加熱時間越久還原糖含量增加外，水解量亦增加，且在鹽酸 2M 時達最大，加熱越久還原糖量越多，且鹽酸濃度不需太高，減少酸液處理。

(二) 由圖 17 可知其吸收度與鹽酸濃度其 $R^2=0.1355$ 兩者關係很低，可能原因為加熱到一定程度還原糖量已穩定，再繼續加熱產量無法再提高。

(三) 加熱 2 小時後還原糖與水解量比(圖 18)反而較加 1 小時低，由圖可知隨加熱時間增加還原糖量也增加，但水解量也跟著增加，故還原糖與水解量比到鹽酸 2M 時達最大，3~5M 則無明顯變化。

表 13 不同濃度鹽酸(加熱 2 小時)

鹽酸濃度 (M)	反應前 吸收度	反應後 吸收度	還原糖 含量(g)	還原糖 與全重比	減少重量 (g)	減少重與 全重比(g)	還原糖與 水解量比
1	0.098	0.4083	0.216	21.58%	0.545	54.50%	39.59%
2	0.1001	0.5018	0.279	27.93%	0.570	57.00%	49.00%
3	0.1045	0.466	0.251	25.14%	0.570	57.00%	44.10%
4	0.1052	0.4835	0.263	26.31%	0.595	59.50%	44.21%
5	0.1083	0.4694	0.251	25.11%	0.565	56.50%	44.44%

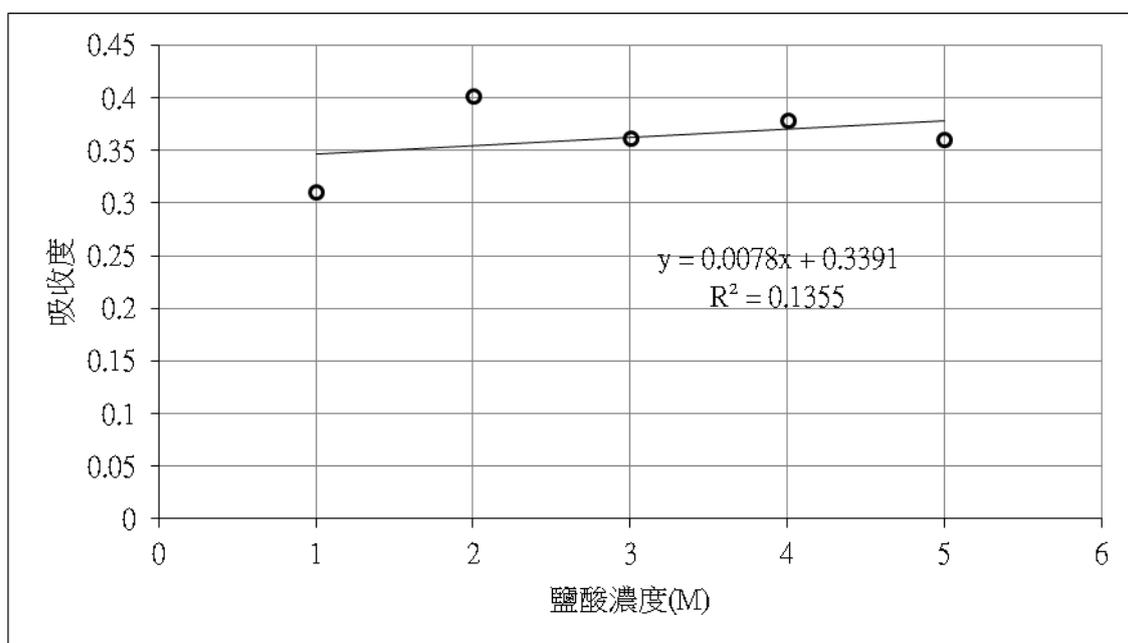


圖 17 不同濃度鹽酸(加熱 2 小時)還原糖含量關係圖

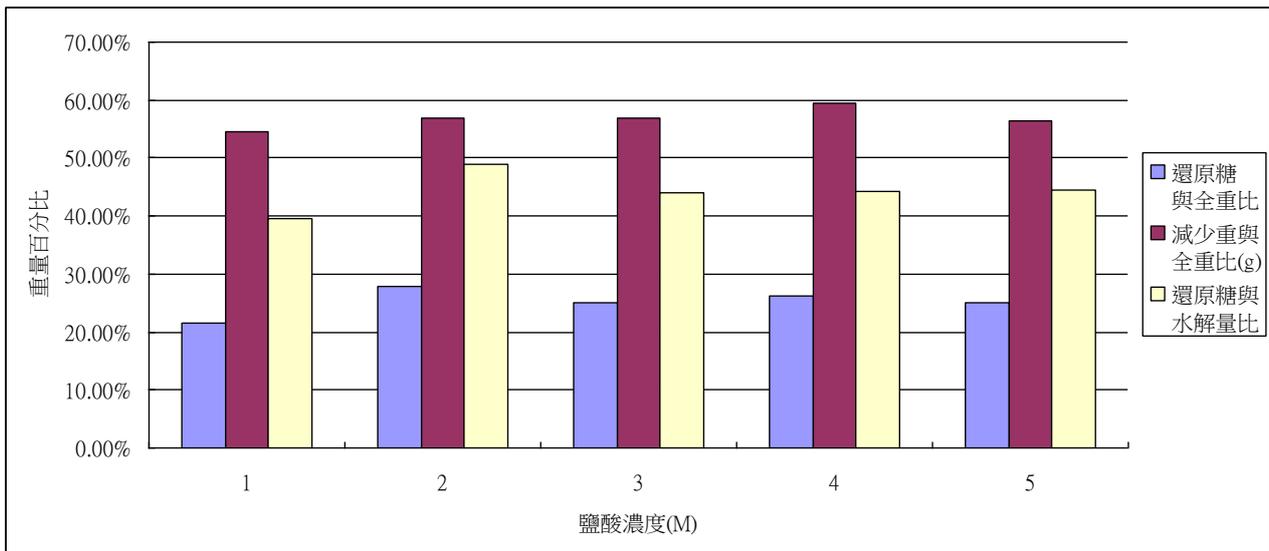


圖 18 不同濃度鹽酸加熱後(2 小時)還原糖、水解量與全重相比的關係

十一、茭白筍殼加入不同濃度硫酸加熱後還原糖含量

(一) 由表 14 可得知茭白筍殼量增加可獲得還原糖含量亦增加，且圖 19 吸收度和筍殼重量關係 $R^2=0.9902$ ，代表兩者有高度相關。

(二) 由於經硫酸處理過後殘渣經乾燥後會碳化影響測量結果，故難以測量其殘渣量。

表 14 不同重量的筍殼加入 1M 的硫酸

茭白筍殼重量(g)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比(%)
1	0.0979	0.3947	0.206	20.64
2	0.1103	0.8094	0.486	24.31
3	0.0995	1.2503	0.800	26.67
4	0.1046	1.5702	1.019	25.48
5	0.1076	2.1938	1.451	29.01

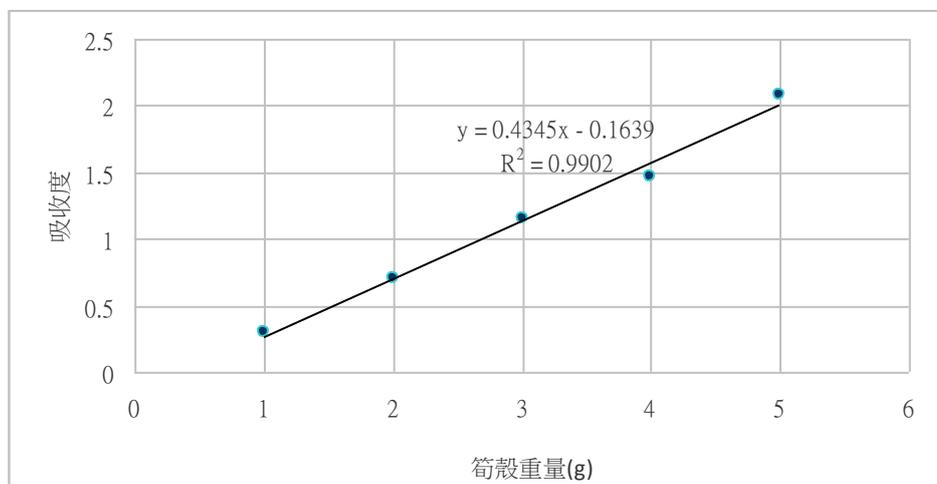


圖 19 不同重量的筍殼加入 1M 的硫酸還原糖含量關係圖

十二、取 1g 筍殼，加入不同濃度的硫酸(加熱 30 分)

(一) 由表 15 可知經硫酸處理過的茭白筍殼還原糖含量隨硫酸濃度增加，由圖 20 可得其吸收度和濃度的 $R^2=0.9405$ ，顯示相關度高。

(二) 和鹽酸比較還原糖含量反而較低，可能原因為鹽酸分子較小較容易與纖維素分子接觸，造成反應較快。

表 15 不同濃度硫酸(加熱 30 分)

硫酸濃度 (M)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比(%)
1	0.1364	0.3287	0.134	13.37
2	0.1369	0.3900	0.176	17.60
3	0.1383	0.4113	0.190	18.98
4	0.1424	0.4671	0.226	22.58
5	0.1393	0.4697	0.230	22.98

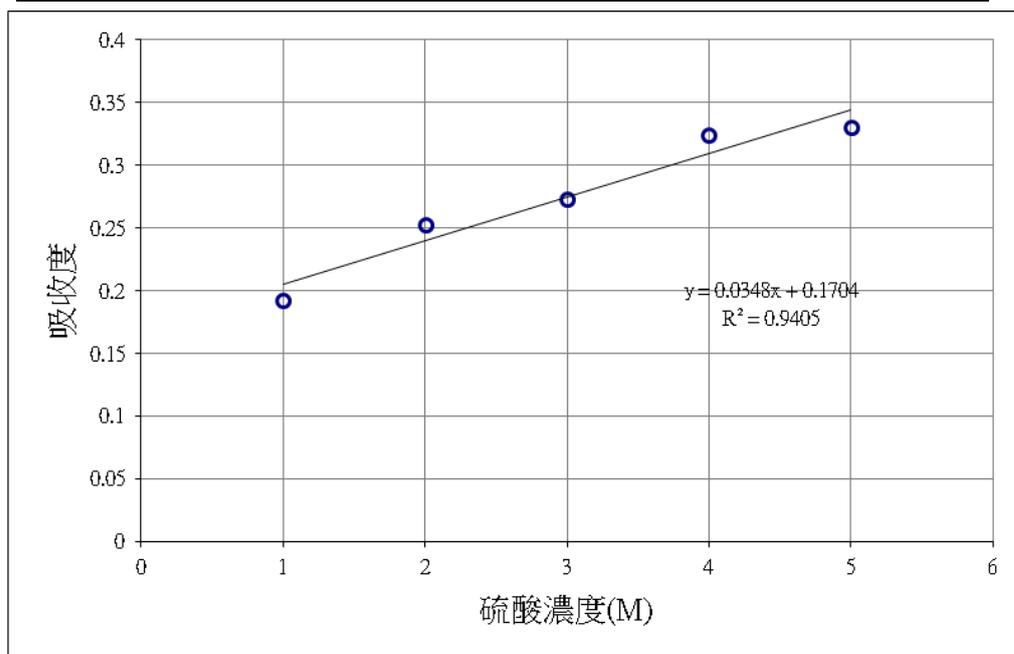


圖 20 不同濃度硫酸(加熱 1 小時)還原糖含量關係圖

十二、取 1g 的筍殼，加入不同濃度的硫酸(加熱 1 小時)

(一) 由表 16 可知經硫酸處理過的茭白筍殼還原糖含量隨硫酸濃度增加，由圖 21 可得其吸收度和濃度的 $R^2=0.965$ ，相關度高於同濃度的鹽酸處理。

(二) 和鹽酸比較還原糖含量依然較低，但在 5M 時含量已很接近。

表 16 不同濃度硫酸(加熱 1 小時)

硫酸濃度 (M)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比(%)
1	0.1111	0.3789	0.186	18.62
2	0.1128	0.4201	0.214	21.37
3	0.1142	0.4343	0.223	22.26
4	0.1163	0.4537	0.235	23.46
5	0.1223	0.4958	0.260	25.97

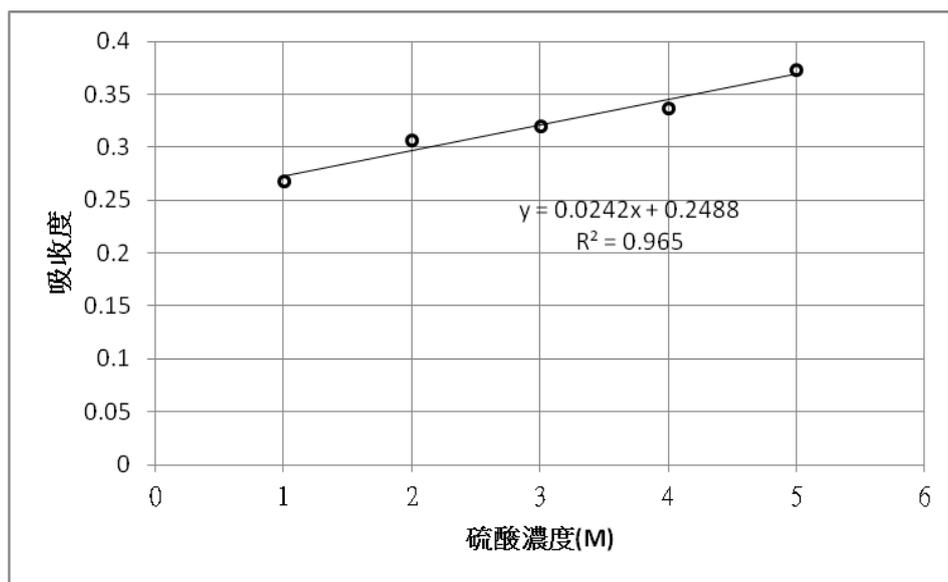


圖 21 不同濃度硫酸(加熱 1 小時)還原糖含量關係圖

十三、取 1g 的筍殼，加入不同濃度的硫酸(加熱 2 小時)：

(一) 由表 17 可知還原糖含量因加熱時間延長而增加，在 1M 時還原糖含量佔 30.46%，已高於經鹽酸處理。

(二) 由圖 22 可得其吸收度和濃度的 $R^2=0.0424$ ，其相關度很低，可能原因為在 1M 時還原糖量已達最大，更高的硫酸濃度已無法再提高產率。

表 17 不同濃度硫酸(加熱 2 小時)

硫酸濃度 (M)	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	還原糖與全重比(%)
1	0.1103	0.4985	0.305	30.46%
2	0.1159	0.4825	0.255	25.49%
3	0.1173	0.5332	0.289	28.92%
4	0.1189	0.5350	0.289	28.93%
5	0.1276	0.5057	0.263	26.29%

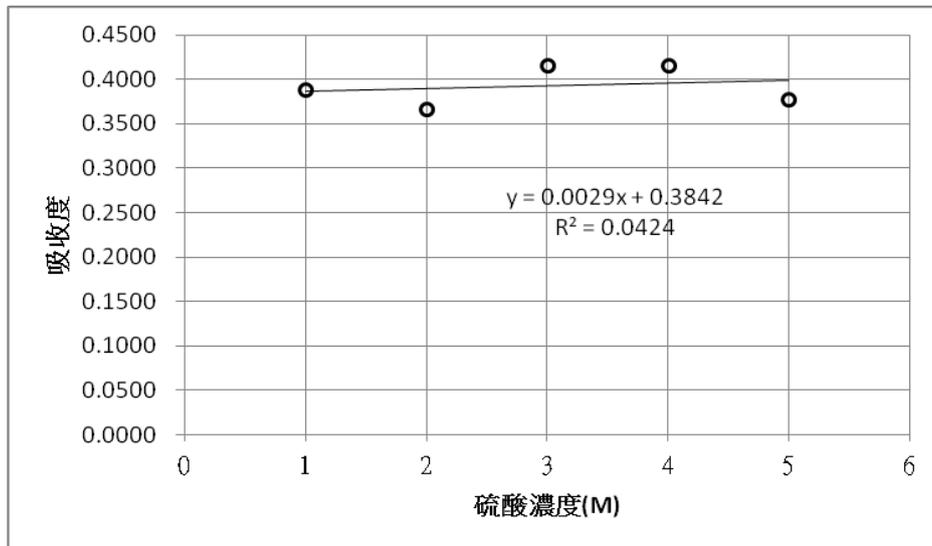


圖 22 不同濃度硫酸(加熱 2 小時)還原糖含量關係圖

十四、茭白筍殼經微波爐加熱實驗

如表 18，微波爐分別以小火 5 分、10 分、15 分及小火 5 分+大火 5 分處理，待冷卻後測量其吸收度，其中以小火 5 分+大火 5 分處理有最好的效果。

表 18 經微波爐加熱結果

加熱條件	反應前吸收度	反應後吸收度	還原糖含量(g)	與全重比(%)
小火 5 分	0.0970	0.3084	0.147	14.70%
小火 10 分	0.0953	0.3868	0.203	20.27%
小火 15 分	0.1017	0.4244	0.224	22.44%
小火 5 分+大火 5 分	0.1101	0.5318	0.293	29.32%

十六、茭白筍殼發酵實驗

(一) 探討添加酒麴量與產生氣體體積關係

由於經蒸餾後酒精濃度接近 0%，故以測量發酵後二氧化碳量來推論發酵程度，如表 19 和圖 23 可知，加入酒麴 3g 時二氧化碳產量最多。

表 19 添加酒麴量與氣體體積

酒麴重(g)	CO ₂ 體積(mL)
1	9
2	19
3	95
4	35
5	15

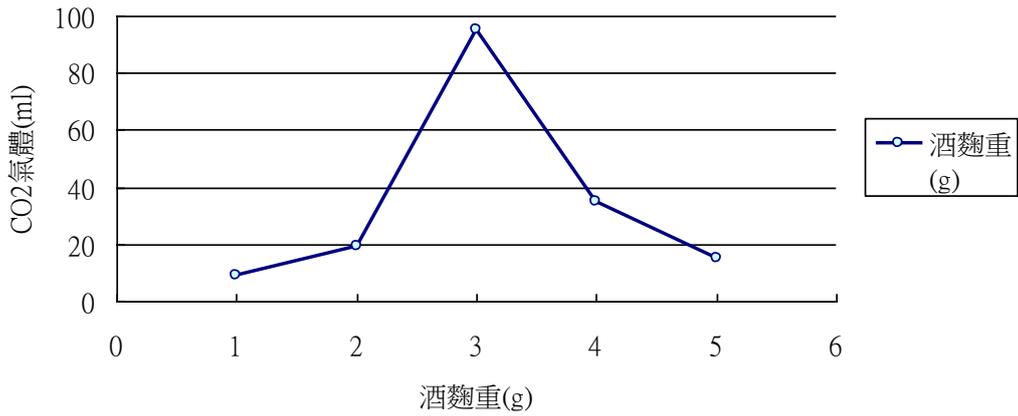


圖 23 添加酒麴量與氣體體積關係圖

(二) 茭白筍殼製作酒精與蒸餾結果

如表 20，隨蒸餾次數增加酒精濃度也逐漸提高，蒸餾第三次已達 50%，以 50% 來算，每公斤茭白筍殼可產生 48g 酒精，每公噸可產生 48kg。

表 20 蒸餾次數與酒精濃度

蒸餾次數	酒精濃度(%，vol%)	蒸餾體積(mL)
1	3	1200
2	11	300
3	50	60

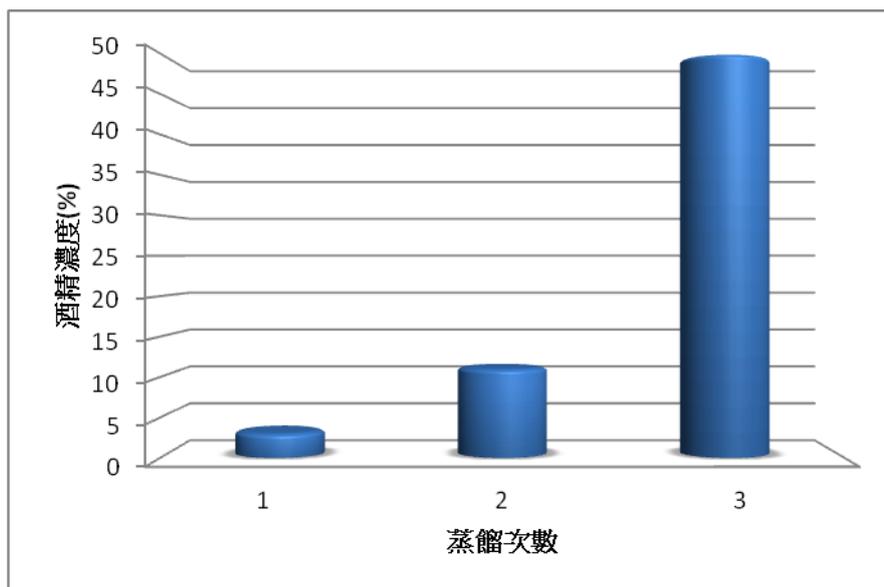


圖 24 蒸餾次數與酒精濃度關係圖

陸、討論

一、由新鮮茭白筍的測量可知：

- (一) 由表 4 可知茭白筍殼的比例佔 44.04%且為廢棄物，占茭白筍整體有相當的分量，本次搜集的大量筍殼(圖 6)為農家剝除所拋棄，量多且難以處理。
- (二) 由表 5 可知茭白筍殼平均含水率高達 84.98%為水分，這也是農家為何大多棄置在路旁，而不像稻草經由燃燒處理的原因。
- (三) 由表 6 可知乾燥後的茭白筍吸水性佳，可吸水量可高達原先 22 倍，為良好的吸水材料，可作為造紙材料，埔里廣興紙寮(圖 25)有利用茭白筍殼手工造紙，有惜福宣紙漿等產品應用。
- (四) 由表 7 可知茭白筍殼中有機物含量很高，為了有足夠高溫及避免然高溫殘灰逸散，須以坩堝加熱處理(圖 26)。



圖 25 以茭白筍殼製作的紙張



圖 26 加熱後的坩堝示意圖

二、由茭白筍經由本氏液定性測試可知

(一) 以本氏液體測試茭白筍不同部分(圖 27)

顏色：莖>殼>根

還原糖含量：實用莖含量較多。

(二) 以本氏液體測試茭白筍食用莖不同部分(圖 28)

顏色：中>根>頂

還原糖含量：中間膨大處，平時食用處會有較多還原糖。

(三) 茭白筍筍殼烘乾前後以本氏液測試(圖 29)

顏色：乾>濕

還原糖含量：乾燥筍殼較多，且可證實乾燥後還原糖不會因此而消失，會被保留在筍殼中，而經由文獻(潘，2013)可知，利用乾燥茭白筍殼製造的飲料較有味道。



圖 27 加入本氏液的水煮液



圖 28 加入本氏液的水煮液



圖 29 加入本氏液的茭白筍殼水煮液

三、由茭白筍殼水解實驗可知：

- (一) 我們利用 DNS 法可測得還原糖含量，經由 DNS 和還原糖作用，顏色會由黃色轉變為棕色(圖 30)，但須注意在鹼性條件下，故經由酸處理後的濾液需要先中和後才可測量，否則會影響實驗結果。
- (二) 由表 9 可知茭白筍殼內的糖份十分少，僅以水加熱處理難以將纖維素水解，故須以酵素或酸處理才可得到葡萄糖，而實驗前須以物理方式打碎成粉末狀加速其反應。
- (三) 由表 10 可知隨筍殼重增加，其還原糖量亦隨之增加，表示在稀酸處理之下即可得到良好效果，雖然還原糖只占全重約 20%左右，但茭白筍殼為廢棄物，作為生質酒精發酵的來源以足夠，由圖 11 亦可發現其吸收度對筍殼重接近線性，表示有高度相關，但還原糖的生成量與筍殼減少的重量並不相等(圖 12)，還原糖的生成量佔全重的 17.45%~23.86%，而減少的重量便佔了 50.50%~63.20%，還原糖與水解量比為 35.26%~65.49%，可以得知在水解過程中也產生了非還原糖的物質。
- (四) 由圖 11~18 可知經鹽酸處理的筍殼其還原糖生成量會隨濃度而增加，加熱時間越久有利於鹽酸在低濃度鹽酸中水解，而由表 10~12 可知濃度超過 2M 及加熱 2 小時則水解量則接近，濃度過高反而會下降，可能為酸性、加熱時間太久不利於還原糖生成，且酸性越高加熱後顏色越深，可能會破壞其結構(圖 31)。

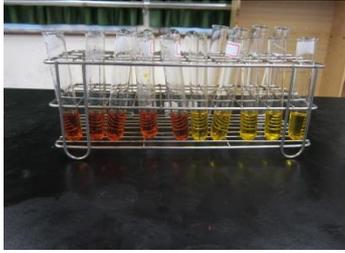


圖 30 DNS 加熱前後顏色變化



圖 31 濃度不同的鹽酸水解下顏色變化

(五) 由圖 19~22 可發現，硫酸處理過的筍殼，其關係圖呈穩定線形，除了在高濃度和加熱時間 2 小時外，其可能原因為硫酸沸點高達 300°C 不易散失，故數值較鹽酸處理穩定，但亦發現加熱後有部分纖維素被碳化(圖 32)，過濾殘渣經烘乾亦呈黑色(圖 33)，可知硫酸失去水分濃度變高具脫水性，亦可能是造成加熱時間過久造成還原糖損失的關係。

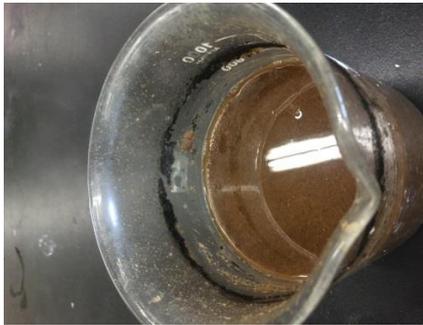


圖 32 加熱後被碳化的纖維素



圖 33 經硫酸處理後烘乾後的殘渣

(六) 由表 18 可知，我們先以小火 5~15 分處理，隨時間增加其水解量越多，加熱至 15 分時，水解量已可和由恆溫槽 100°C 加熱 2 小時相當，若先以小火 5 分加熱後再以大火加熱 5 分，其水解量則會更高(圖 34)，其可能原因為微波爐使水分子震動下造成緊密的纖維素成分有效分離，使纖維素內分子鍵結因震動而斷裂分離。

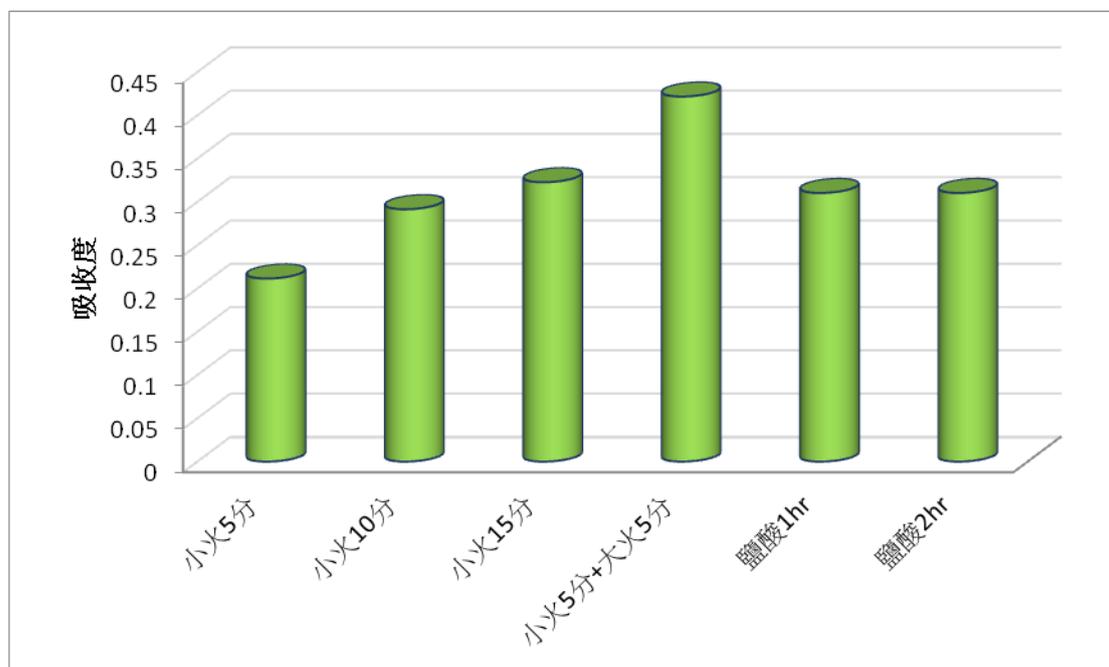


圖 34 微波爐加熱火力與時間對 DNS 吸收度關係圖

四、經水解出的糖份發酵成酒精

- (一) 葡萄糖轉變為酒精需酵母菌的發酵之下，先購買麵包用得酵母和釀酒用的酒麴來做比較，結果發現麵包發酵用的酵母菌成效不彰，還是專用酒麴效果較好，故可知酵母菌菌種不同會影響其功能和用途。
- (二) 市場賣的酒麴一包才 20 元，而市場的阿姨很熱心的告訴我們用量，一般為一包酒麴 (約 77g) 配 1 斗米，為探討發酵結果，我們先取 30g 筍殼經 300mL 鹽酸水解後，中和其酸性並加水至約 500mL，再分別加入 1g~5g 酒麴在恆溫槽 37°C 條件下反應，經一天後添加 3g 以上的酒麴已有明顯氣泡產生(圖 35)，並散發出酒味，上頭插針筒以測量其氣體生成量(圖 36)，可發現加入 3g 的酒麴氣體生成最高，第二天已有 95mL 二氧化碳產生，其可能原因為適當的酵母菌量才可有最適當的反應環境，太少反應太慢，太多短時間養分競爭。



圖 35 發酵狀況



圖 36 添加不同克數的酒麴發酵情形

(三) 經由發酵 2 天後蒸餾(圖 37)，五瓶酒精濃度很低接近零(圖 38)，可能原因為發酵時間不足，以及筍殼量太少，故為了實際應用我們取筍殼量達 500 公克，經由一週發酵後，再加以反覆蒸餾提高其濃度，由於隨酒精量增加會抑制酵母菌活動，故蒸餾之殘渣可反覆發酵再利用，經第一次蒸餾濃度已可達 3%(圖 39)，第二次蒸餾可達可達 11%(圖 40)，第三次蒸餾可達可達 50%(圖 41)，此時以火點燃可以燃燒(圖 42)，證實經由纖維素水解製造生質酒精可行，但所需的筍殼較多。

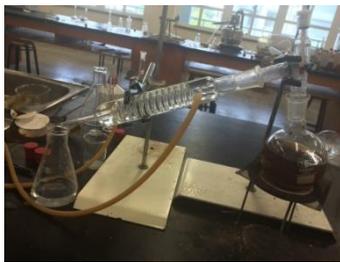


圖 37 蒸餾裝置



圖 38 發酵後蒸餾



圖 39 筍殼 0.5 公斤蒸餾一次



圖 40 蒸餾二次



圖 41 蒸餾三次



圖 42 燃燒中的生質酒精

五、後續廢液處理

- (一) 經鹽酸處理帶有酸性濾液可以用牡蠣殼加以處理以節省成本。
- (二) 發酵後殘渣為有機物可做天然肥料，且較易分解不會造成環境汙染。

柒、結論

- 一、茭白筍為高經濟價值農作物，但其筍殼所占比例達全重 40%~50%，且水分含量高常被棄置於路旁造成環境汙染。
- 二、筍殼中有還原糖但比例很低難以被使用，而木質纖維素組成主要是纖維素、半纖維素和木質素，故需以生物或化學方式處理才能水解出可發酵的還原糖，茭白筍殼中含有菰菌，會抑制細菌造成無法以生物方式處理，所以在酸性條件下加熱處理，將濾液調整至中性，再加入酒麴進行發酵。
- 三、鹽酸分子小且易散失，在低濃度下 30 分鐘即可有效反應，硫酸雖為雙質子酸，需反應較久時間才可比鹽酸高，且濃硫酸具脫水性，在操作上有其危險性。
- 四、實驗室蒸餾設備只能蒸餾少量液體，需大量則須用蒸餾酒的大型蒸餾器，可搭配電磁爐使用較為方便快捷。
- 五、微波爐使用可提高其反應效率，但需注意火力大小，形成突沸造成危險，故先以小火加熱再使用大火只需 10 分鐘，反應快且較節省能源，但其缺點為空間較小，可製作量不多需分批至操作。
- 六、第一次蒸餾出的酒精濃度不高約 3%，故需反覆蒸餾以提高其酒精濃度，故應用上茭白筍殼用量必須夠多，在稀酸高溫下有較好的水解效果，酒麴量亦不必太多，但發酵溫度不可超過 37°C，經由足夠時間即有良好發酵結果。
- 七、操作過程須注意酸性濾液的回收，可用鹼加至中性或以牡蠣殼反應以節省成本。

捌、參考資料

1. 尤丁攻等(2016)。自然與生活科技課第一冊。台南市：南一書局。
2. 郭重吉(2016)。自然與生活科技課本第四冊。台北市：康軒文教。
3. 邱永添(1998)。茭白筍殼國畫紙之製造。國立中興大學碩士論文，未出版，台中市。
4. 鐘維榮(1989)。茭白筍栽培與管理。台中區：農推專訊 80 期。
5. 潘敏用(2013)。利用茭白筍殼加工製造新型態飲料之探討，國立中興大學碩士論文，未出版，台中市。
6. 林俊雄(2010)。替代能源及技術專輯纖維素水相液化回收高價石化原料，化工技術，第 7 卷第 10 期。
7. 謝鴻佑、許智揚、孫鈺傑、葉育齊(2010)。乾坤大挪移－纖維轉換生質酒精之研究，第 50 屆中小學科展。國立草屯高級商工職業學校。
8. 陳建學、鄭柏祥、黃莉嫻、楊雅婷(2004)。纖維素水解的探討，第 44 屆全國中小學科展。國立嘉義高級工業職業學校。
9. **Mosier N, Wyman C, Dale B, Elander R, Lee YY, Holtzapple M and Ladisch M, Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96:673-686 (2005).**

【評語】 030220

作品利用筴白筍殼化生成質酒精,1 公斤殼可以生成 48 公克的生質酒精。可行性高，創意佳，可實質做為應用。可改進之處在於如何提高酒精的產率，並降低成本與使用時間。