

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

佳作

082808

消失吧！益麵劑！三階段發酵箱的奮起之路

學校名稱：臺北市大同區日新國民小學

作者： 小五 張雅捷 小四 吳宥萱 小五 王昱翔 小六 林芃紋 小五 郭庭瑤	指導老師： 吳叔鎮
---	------------------

關鍵詞：自製、發酵箱、益麵劑

摘要

本研究目的在製作出適合麵糰發酵的最佳環境，以下是本研究的成果摘要：

- 一、 製作出「三階段發酵箱」，三階段發酵箱可以根據不同的發酵階段設定，提供麵糰在不同階段對於溫度與濕度的需求
- 二、 三階段發酵箱發酵製作出來的麵包，不僅可以幫助麵糰有較好的體積成長幅度，更能夠讓麵糰達成較理想的發酵成熟度。
- 三、 三階段發酵箱可以在發酵過程中改善麵包的柔軟度，在未來就能夠減少麵包使用添加物的機會，希望製作麵包的業者都能夠減少添加物的使用，讓大家的身體更加的健康，消失吧！益麵劑！

壹、 研究動機

每次看到夜市賣的 10 元麵包，都讓我有很大疑問，為什麼麵包可以賣得這麼便宜？在查詢後，發現到很多便宜的麵包都用了添加劑，例如改良劑、糖精、益麵劑等，這些添加劑可以在麵包製作的過程中減少較昂貴材料的使用，可是卻也造成發酵不完全或對身體造成不好的影響。

由於我很喜歡自己做麵包，製作麵包時，必須要添加酵母然後經過發酵這個過程，才能夠在麵包中製造出蓬鬆的口感，這正好與我們在五年級「氧氣與二氧化碳」這個單元裡學到的「麵包是利用微生物發酵的過程在麵糰中產生二氧化碳，才能讓麵包蓬鬆」相符合。我曾經利用市售的自動麵包機來做麵包，一開始我對於它可以自動做麵包感到很神奇，可是吃了一段時間後，我發現用麵包機做麵包的口味及口感都差不多，於是我開始自己用自己培養的酵母來做麵包。

我們發現自己培養的酵母在發酵的過程中，需要較長的時間，並且要有更穩定的環境，在進一步找尋市面上幫助發酵的產品後，雖然有大型的發酵櫃及家用型發酵箱，但是由於價格太昂貴或功能不夠完整的原因，讓我們決定根據麵糰發酵過程進行發酵箱的設計研究。

貳、 研究目的

為了要製作出適合麵糰發酵的最佳環境，我們的研究目的如下：

- 一、自製可用於麵糰發酵的恆溫發酵室。
- 二、設計並製作具有加溫與保濕功能的發酵箱：恆溫保濕發酵箱。
- 三、發酵箱的改進與升級：三階段發酵箱。
- 四、比較利用三階段發酵箱與一般烤箱發酵及益麵劑製成麵包的結果差異。

參、 研究設備與器材

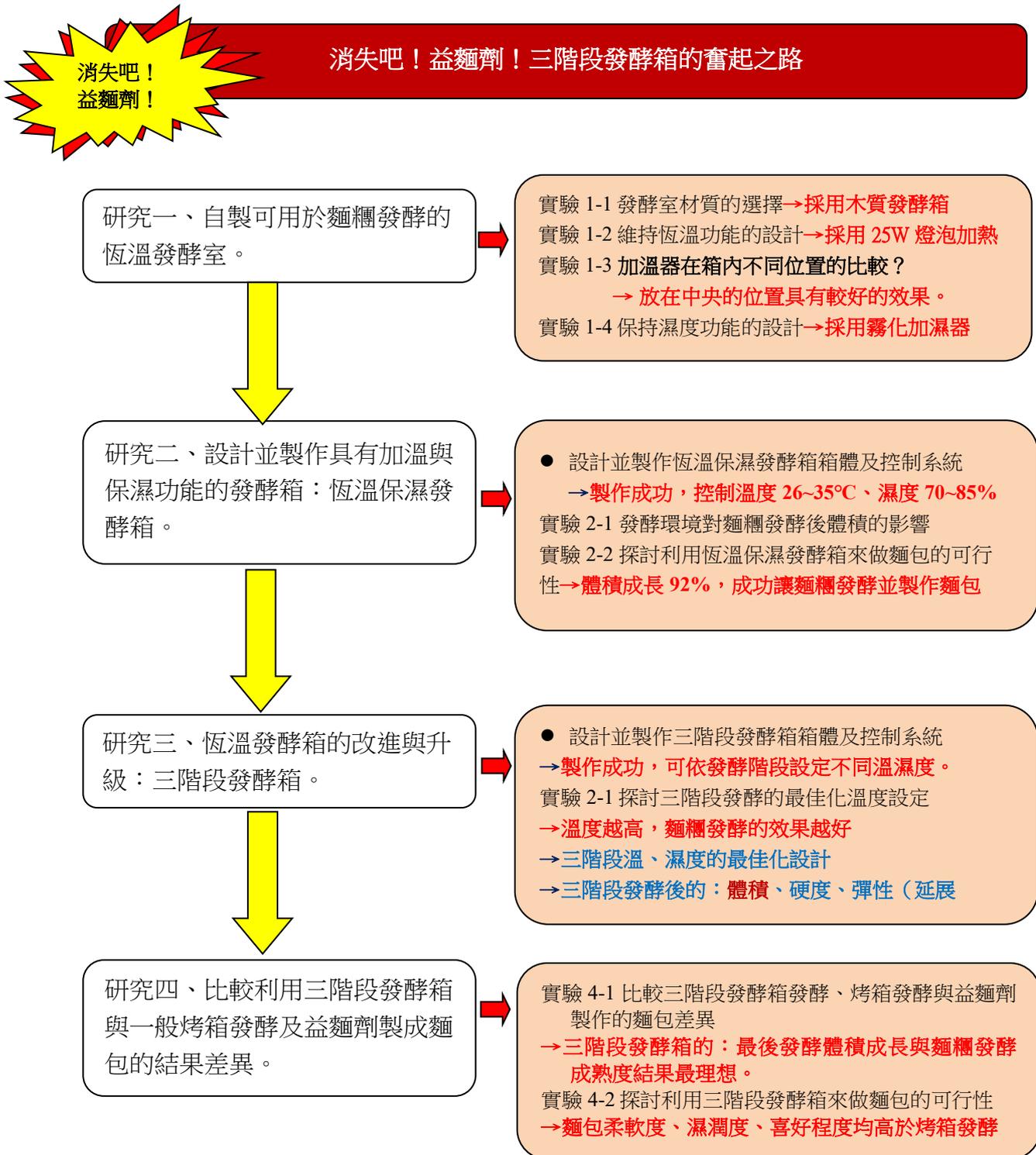
- 一、使用到的材料：高筋麵粉、低筋麵粉、糖、鹽、牛奶、水、自培酵母、速發酵母、橄欖油等。
- 二、研究過程中我們用到的設備：烤箱、攪拌棒、橡皮刮刀、瓶子、電子秤、保鮮膜、計時器、燒杯、量杯、料理紙、量匙、量杯、刮板、篩網、電子式溫濕度計、交流電燈泡頭、酒精燈瓶、3A 保險絲、等。
- 三、自動控制零件：Arduino Uno、V5 擴充板、超音波霧化器模組、5V 繼電器模組、IIC LCD 1602 液晶螢幕、可變電阻、按鈕開關模組、DHT11 與 DHT22 溫濕度感測模組、RGB LED 模組。
- 四、我們自製的研究器材或成果：自製木質保溫箱（圖 3-1）、自製箱內溫溼度感測器（圖 3-2）、自製多用加溫燈泡座（圖 3-3）、自製霧化加濕器（圖 3-4）、「恆溫保濕發酵箱」控制系統（圖 3-5）、恆溫保濕發酵箱（圖 3-6）、「三階段發酵箱」控制系統（圖 3-7）、三階段發酵箱（圖 3-8）等。

			
圖 3-1 自製木質保溫箱	圖 3-2 自製箱內溫溼度感測器	圖 3-3 自製多用加溫燈泡座	圖 3-4 自製霧化加濕器
			
圖 3-5 恆溫保濕發酵控制系統	圖 3-6 恆溫保濕發酵箱	圖 3-7 三階段發酵箱控制系統	圖 3-8 三階段發酵箱

肆、 研究設計與方法

一、研究架構

我們整個研究經過了許多的過程，以下是我們整個研究過程的架構。



二、研究過程與結果

(一) 研究一、自製可用於麵糰發酵的恆溫發酵室。

為了要製作一個適合麵包酵母發酵的環境，我們從發酵室的材質、保溫功能與保濕功能的設計等方面著手進行實驗比較，並根據實驗的結果進行恆溫發酵室的製作。

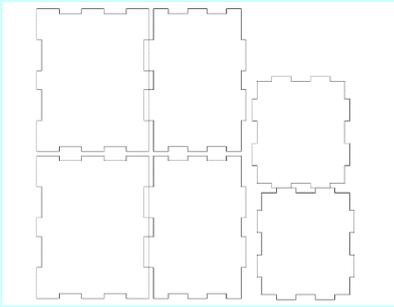
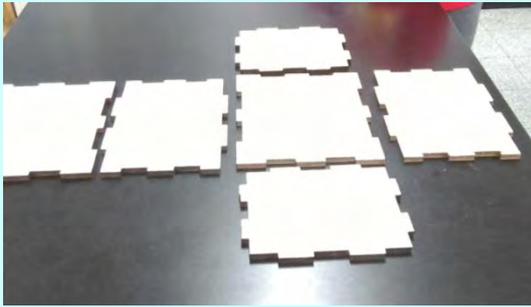
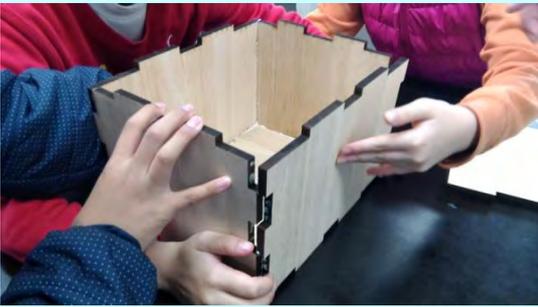
➤ 實驗 1-1 發酵室材質的選擇

在這個實驗中，我們討論適合用來當做發酵室的材質，並且將選用的材質製作成箱體，進行差異比較，我們討論到的材質包括：紙箱、木箱、壓克力箱、保麗龍箱及市售的塑膠箱等，最後，我們選擇了木箱與保麗龍箱進行比較，考慮原因如下：

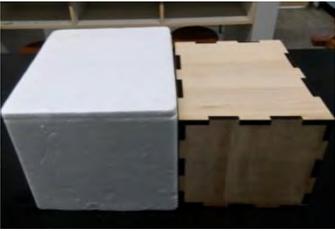
1. 塑膠箱：我們發現，市售的塑膠箱尺寸都是固定的，無法進一步調整尺寸與容積，此外有許多的凹槽，最後決定不採用市售塑膠箱。
 2. 紙箱：紙箱碰到含有水份的麵糰會產生箱體軟化而導致箱體結構破壞的現象，我們決定不採用紙箱。
 3. 壓克力箱：要做到我們設定的厚度與體積的壓克力箱體，成本超過 3000 元以上，最後因為成本太貴的原因，決定不納入本研究的規劃中。
 4. 木箱：我們發現木頭的材質有很多種，最後考量到成本因素，我們決定採用不貴且厚度夠的梧桐木材質木板進行箱體製作。
 5. 保麗龍箱：為了不要造成多餘的垃圾汙染，我們從家中取用一個裝冰淇淋的保麗龍箱來當做箱體容積的標準，並且納入我們實驗比較的材料。
- ◆ 研究目的：比較箱體材質的保溫效果
 - ◆ 操縱變因：不同材質的箱體（保麗龍、木箱）
 - ◆ 研究材料：自製木質保溫箱、保麗龍箱、500ml 燒杯兩個、熱水。
 - ◆ 檢測工具：酒精溫度計（調配水溫）、電子溫溼度計 2 個（偵測箱內溫溼度）。
 - ◆ 研究過程：
 1. 開始實驗前，我們要先製作一個與保麗龍箱容積一模一樣木箱，以下是木質保溫箱的製作過程。

◆ 自製木質保溫箱

1. 製作資源：Makercase、雷射機、梧桐木板、白膠。
2. 製作過程：如下表說明。

	
圖 1. 利用 Makercase 設計需要的木箱尺寸	圖 2. 利用雷射切割將木箱零件切割出來
	
圖 3. 將木箱零件進行黏合	圖 4. 木質保溫箱完成圖

2. 將兩個 500 ml 的燒杯放入熱水盆預熱，讓兩個燒杯的起始溫度一樣。
3. 在兩個燒杯都倒入相同溫度 200ml 的熱水，再放入實驗用的箱體。
4. 將 2 個相同的電子式溫濕度計分別放入保麗龍箱及木箱內（如下圖 1-1-2），穩定的偵測箱體內的溫度和濕度（如下圖 1-1-3），每 10 分鐘把溫度和濕度記錄在 excel 檔案中，完成後轉化變成折線圖。

		
圖 1-1-1 準備兩個容積完全相同的保麗龍箱與木箱	圖 1-1-2 將電子溫度計放入兩個箱體內偵測溫度。	圖 1-1-3 放入裝有熱水的燒杯後，將箱蓋蓋上。

◆ 研究結果：

紀錄次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
保麗龍箱溫度	19	19.9	20.3	20.5	20.5	20.5	20.5	20.3	20.2	20.1	20.1	19.7	19.7	19.6	19.5	19.2	19.1	18.9	18.8	18.7
木箱溫度	18.3	18.6	18.8	18.8	19	19.1	19	18.9	18.8	18.7	18.6	18.5	18.5	18.4	18.4	18.4	18.3	18.2	18.1	18.1
保麗龍箱濕度	73	82	86	87	89	89	90	90	91	91	91	92	92	93	93	93	93	94	94	94
木箱濕度	67	70	71	72	73	74	74	74	75	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76

註：每 5 分鐘紀錄 1 次，共 100 分鐘。

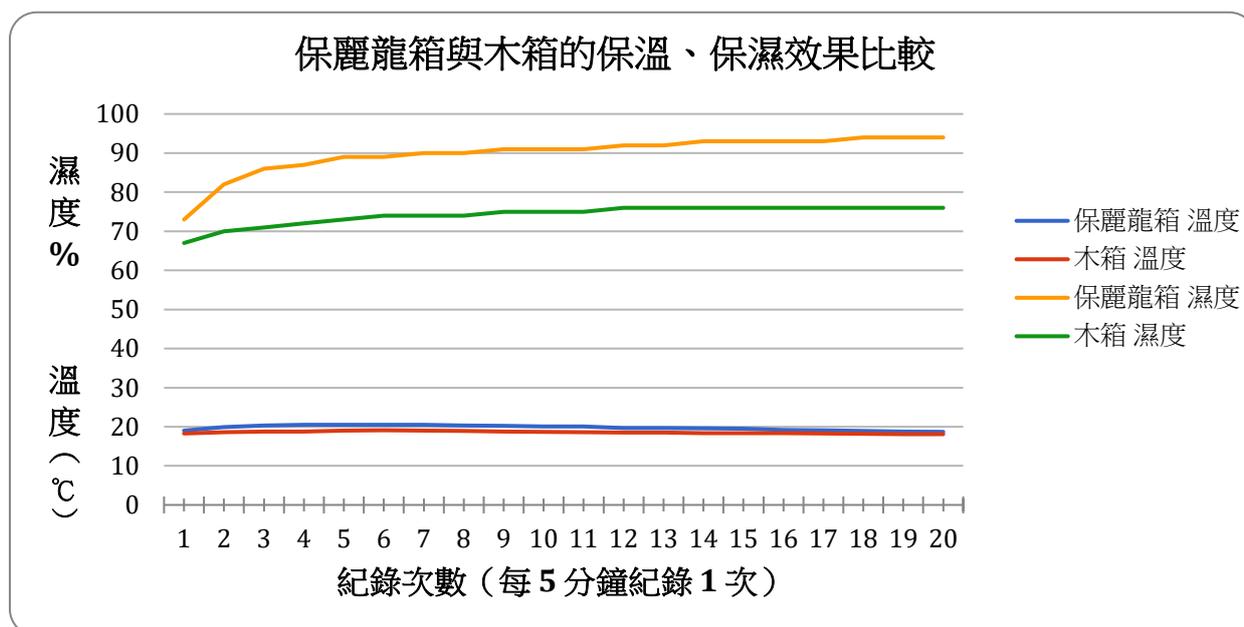


圖 2-1 . 保麗龍箱與木箱的保溫、保濕效果比較圖

熱水放入箱體後，保麗龍箱與木箱內的溫度都有上升一點點，到最高溫時，兩個箱子內部的溫度差 1.4 °C，在沒有放入新的熱源情況下，木箱在第 35 分鐘的時候溫度開始下降，保麗龍箱在第 40 分鐘時開始下降；濕度的部分，保麗龍箱內的濕度上升得非常快速，自開始實驗 35 分鐘後就一直維持在 90% 以上，木箱則是慢慢上升到 76 % 後沒有再發生變化。

◆ 研究討論：

1. 相同溫度熱水分別放入兩個不同材質箱體，保麗龍箱上升的溫度比木箱高且維持較長時間，表示保麗龍箱的保溫效果要比木箱好。
2. 木箱的濕度呈現慢慢上升，我們認為木箱的材質具有細孔，會吸收空氣中的水氣，到 76 % 時恰好出現平衡狀態，因此乾燥的木箱具有可以調節濕氣的功能。

3. 「Step by Step 自製天然酵母作麵包」(太田幸子, 2016) 這本書作者建議在麵糰發酵時的濕度大約在 70~85 % 左右, 根據實驗結果, 木箱保濕效果雖然比保麗龍箱差, 但是由於木箱可以調節空氣中的濕度, 我們認為適合用來進行發酵時的濕度控制, 我們決定用**木箱**來製作後續的發酵箱。
4. 市售的電子式溫濕度計雖然美觀, 但是每次看數據時, 都需要小心翼翼的打開箱蓋才能看到溫度及濕度的值, 我們要想辦法解決這個問題。

➤ **實驗 1-2 維持恆溫功能的設計**

為了要在恆溫發酵室中提供保溫的效果, 我們討論出了利用熱水、暖暖包、熱敷墊、保溫熱水袋、燈泡、寵物燈等在箱內提供熱能的方法, 其中在燈泡系列, 我們將 5W、25W、40W、60W、100W 等不同耗電規格的燈泡也納入實驗中。

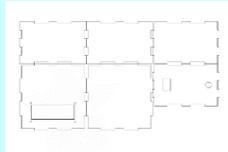
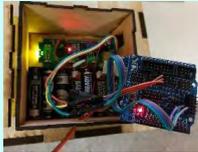
- ◆ 研究目的：找出最適合恆溫發酵箱保溫的方法。
- ◆ 研究材料：木質保溫箱（實驗用箱體）、自製多用燈泡座（適用各種交流電燈泡及寵物燈）、暖暖包、熱敷墊、保溫熱水袋、白熾燈泡（5W、25W、40W、60W、100W）、寵物燈。

								
暖暖包	熱敷墊	保溫熱水袋	5W 燈泡	25 W 燈泡	40W 燈泡	60W 燈泡	100W 燈泡	50W 寵物燈

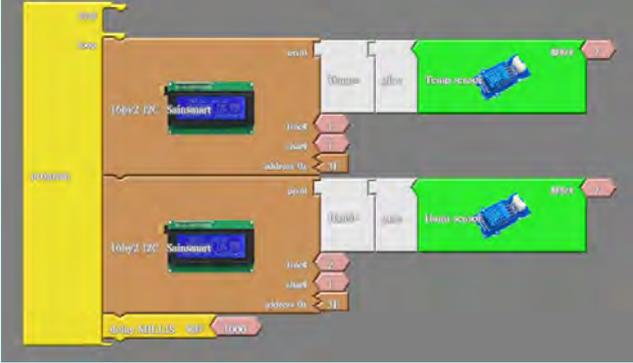
- ◆ 檢測工具：自製箱內溫溼度感測器（偵測箱內溫度與濕度）。
- ◆ 研究過程：
 1. 前一個實驗使用的電子式溫濕度計需要將箱子打開才能看到, 我們改進這個缺點, 製作了一個可以不用開箱就能看到箱內溫度與濕度變化的感測器。

◆ **自製箱內溫溼度感測器（應用於實驗 1-2、實驗 1-3與實驗 1-4）**

1. 製作資源：Arduino 開發板、DHT11 溫濕度感測器、LCD 1602 液晶螢幕、Makercase、雷射機、梧桐木板、白膠等。
2. 製作過程：以下是這項檢測工具的簡要製作過程。

			
圖 1. 將 Arduino、DHT11 等零件進行組裝	圖 2. 以 Makercase、Inkscape 設計外盒	圖 3. 將電子零件裝進外盒中	圖 4. 自製箱內溫溼度感測器完成圖

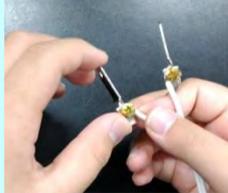
3. 程式設計：

程式寫法（利用 Ardublock）	程式說明
	<p>圖 5. 程式說明</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 在液晶螢幕上顯示 DHT11 溫濕度感測器（第 7 腳位）偵測到的溫度 ➤ 在液晶螢幕上顯示 DHT11 溫濕度感測器（第 7 腳位）偵測到的溫度 ➤ 延遲 1 秒後重新執行程式
	<p>圖 6. 實際運作的結果</p> <p>圖中顯示溫度 Temp. 為 17 °C。 濕度 Humi. 為 77 %</p>

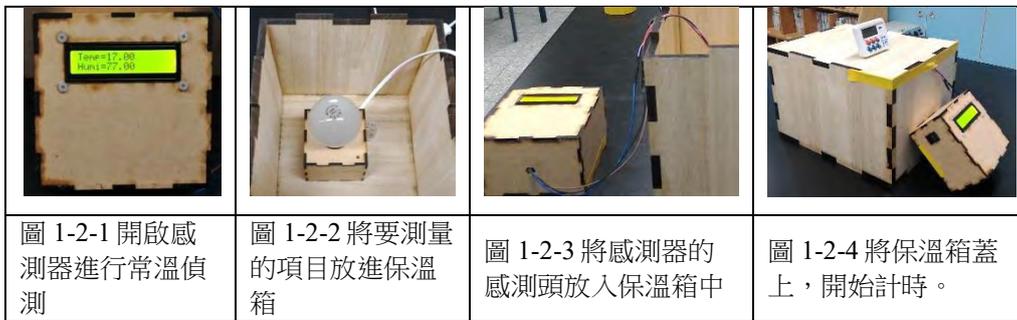
2. 在這個實驗中，需要自製一個連接交流電的燈泡座以供白熾燈泡及寵物燈使用，以下是製作過程。

◆ 自製多用燈泡座

1. 製作資源：交流電插頭、交流電線、燈泡座、雷切機、木板、白膠等。
2. 製作過程：以下是製作過程。

			
<p>圖 1. 將電線鎖在交流電插頭。</p>	<p>圖 2. 將電線固定在燈泡座上。</p>	<p>圖 3. 將燈泡座安裝到燈泡座外盒上。</p>	<p>圖 4. 將各式燈泡裝上燈泡座測試。</p>

3. 將本研究自製箱內溫溼度感測器的感測頭放入保溫箱內，啟動電源，讓感測器先適應環境溫度，也確保感測器可以正確偵測環境的溫濕度。
4. 利用計時器計時提醒，每 5 分鐘記錄溫度，紀錄完成後轉化變成折線圖。



◆ 研究結果：

在經過一系列針對提供熱能方法的實驗後，我們的實驗結果如下表：

研究項目	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘	25分鐘	30分鐘	35分鐘	40分鐘	45分鐘	50分鐘	55分鐘	60分鐘	平均
暖暖包	18	19	19	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19.17
熱水袋	27	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	28	29.42
電熱毯	19	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21.08
燈泡 5 瓦	21	23	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	23.67
燈泡 25 瓦	25	30	33	35	35	38	39	41	41	43	43	45	37.33
燈泡 40 瓦	33	39	44	47	49	52	54	54	55	58	58	58	50.08
燈泡 60 瓦	46	58	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	58.67
燈泡 100 瓦	54	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	59.5
50 瓦寵物燈	22	33	39	45	46	49	47	46	46	46	47	48	42.83

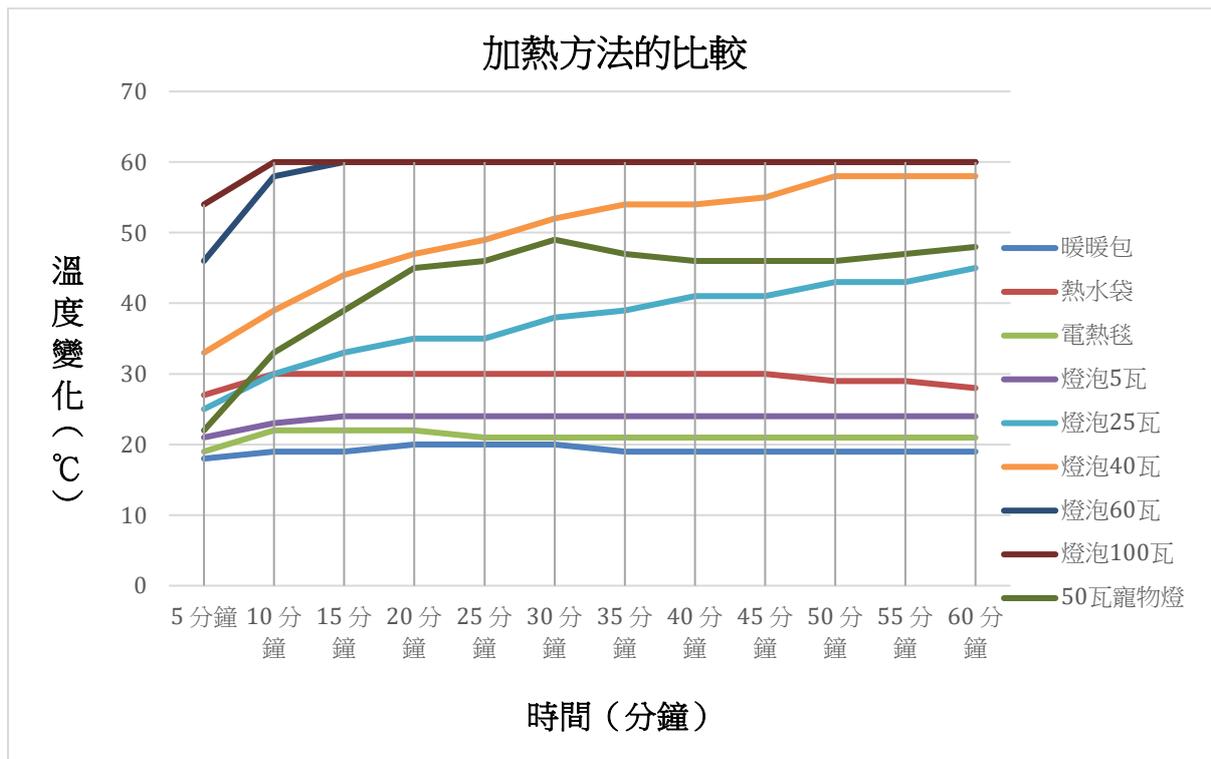


圖 2-2 .加熱方法的比較圖

◆ 研究討論：

1. 暖暖包、電熱毯與 5 瓦燈泡提供給箱體空間的溫度都低於 25°C，而充電式的熱水袋在使用 45 分之後，溫度開始下降，可能是電量不足。
2. 瓦數越高的燈泡，溫度上升得越快，40 瓦以上的燈泡，在 15 分鐘之後，就可以把箱內的溫度上升到 40°C 以上。
3. 60 瓦與 100 瓦燈泡上升到 60 °C，數值就停頓下來，這是一個很奇怪的現象，當這兩個實驗分別結束後，我們感到箱內的溫度是更高的，我們懷疑是感測器因為溫度過高而損壞，因此我們針對這個情況進一步進行探討，探討過程如下：



4. 溫度太低不利酵母繁殖，溫度太高會造成酵母死亡，從各個項目的平均溫度來看，以 25 瓦燈泡最適合用來當做發酵箱的加熱器，所以我們決定後續的實驗中，將 25 瓦燈泡納入發酵箱體的零件。

➤ 實驗 1-3 加熱器在箱內不同位置的比較

加熱器的位置可能會影響箱內的加熱效果，因此我們進行以下實驗：

- ◆ 研究目的：探討加熱器的位置是否會對箱內加熱效果造成影響。
- ◆ 操縱變因：加熱器在箱內的擺放位置。
- ◆ 研究材料：木製保溫箱、加熱燈泡座。
- ◆ 檢測工具：自製箱內溫溼度感測器。
- ◆ 研究過程：

將箱內溫濕度感測器的感測頭固定在木箱



圖 1-3-1 木箱俯視切塊圖

箱頂，依照木箱的位置，我們定出四個主要的位置，分別是角、長邊、短邊及中央，然後加溫燈泡座分別放入這四個位置進行實驗。

◆ 研究結果：

時間(分鐘)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
角	35	39	43	48	50	52	53	53	54	56	58
短邊	38	44	47	51	54	54	56	56	58	58	58
長邊	40	46	49	54	56	57	57	58	58	58	59
中央	39	47	54	58	58	58	60	60	59	60	60

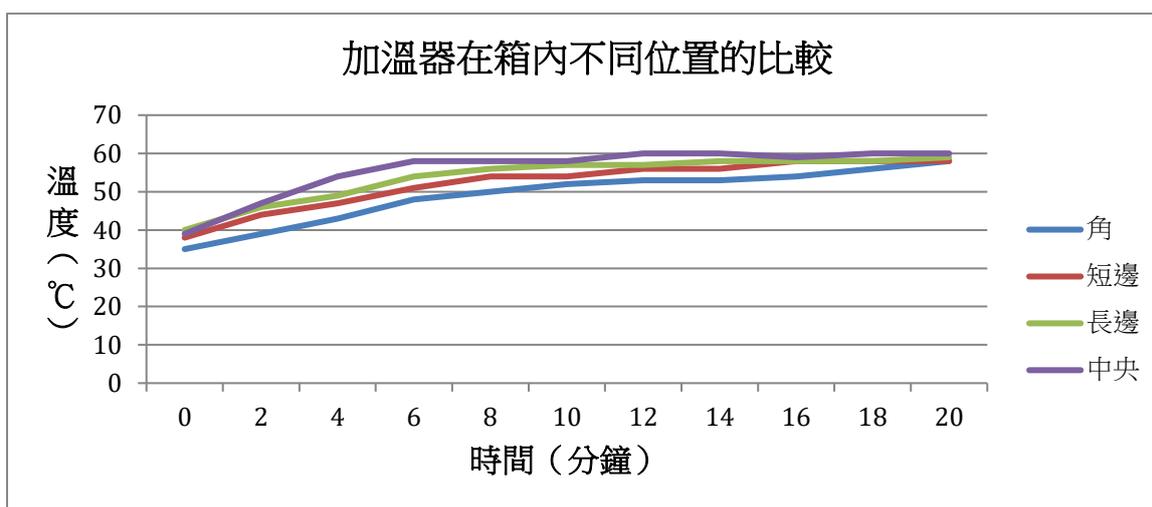


圖 2-3 .加溫器在箱內不同位置的比較圖

◆ 研究討論：

1. 將加溫燈泡座放在四個不同位置，放置在中央位置的箱內溫度上升較明顯，但是如果加溫的時間拉長，可以發現四個位置的溫度差異就縮小。
2. 如果是短時間開啟加溫，中央是為最理想的位置。

➤ **實驗 1-4 保持濕度功能的設計**

恆溫發酵室除了需要有保溫的效果，我們還要找出讓箱體內維持濕度的方法，我們討論出的方法有：不同溫度的水（15°C、30°C、45°C）、將水盤裡的水加熱、利用電湯匙將水加熱及利用霧化器等方法。

- ◆ 研究目的：找出最適合恆溫發酵箱的保濕方法。
- ◆ 研究材料：木製保溫箱、不同溫度的水（15°C、30°C、45°C）、水盤加濕組（鐵架、加熱燈、鋁箔水盤）、電湯匙加濕組（電湯匙、燒杯、300ml 水）、霧化加濕器（超音波霧化器、酒精燈瓶）。
- ◆ 檢測工具：自製箱內溫溼度感測器（偵測箱內濕度）。
- ◆ 研究過程：

1. 在這個實驗中，為了要測試各種可以增加濕度的方法，我們先後將水盤加熱組、電湯匙加熱組及霧化加濕器進行準備。

◆ 水盤加濕組

1. 製作資源：鐵架、鋁箔水盤、加熱燈組。
2. 原理與過程：將加熱燈組接上電源，亮起後對水盤中的水加熱，讓水加快蒸發的速度，以下是製作過程。

			
圖 1. 準備實驗用鐵架	圖 2. 以鋁箔水盤盛水	圖 3. 將水盤放在鐵架上	圖 4. 將加熱燈組、鋁箔水盤放進保溫箱內

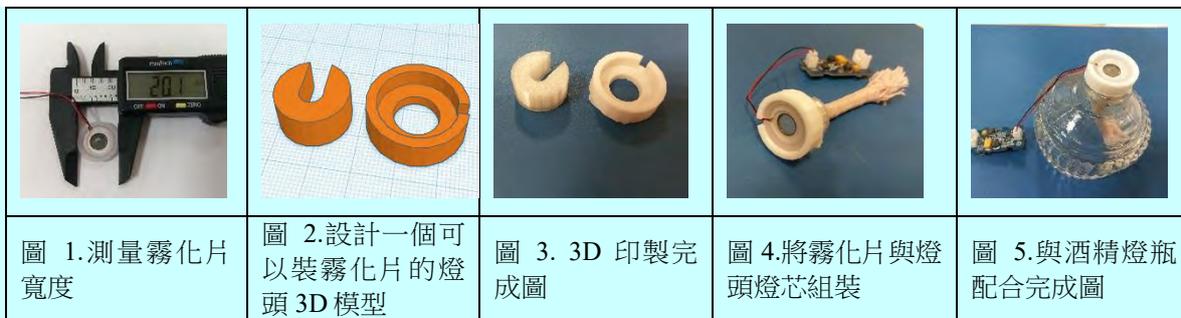
◆ 電湯匙加濕組

1. 製作資源：燒杯、電湯匙。
2. 製作過程：在燒杯內盛入 300ml 的水，將電湯匙放入水中，然後將整個電湯匙加熱組放進保溫箱內，插上電源即可進行實驗。

		
圖 1. 燒杯內盛入 300ml 的水	圖 2. 準備一支好用的電湯匙	圖 3. 將電湯匙放入燒杯內

◆ 利用酒精燈改造成霧化加濕器

1. 製作資源：超音波霧化器模組、TinkerCAD、3D 印表機、酒精燈。
2. 製作過程：我們參考第 51 屆科展「麵糰發酵箱濕度控制系統之改良」（黃苑亭等人，2011）研究中使用到的超音波霧化器技術，取一個空的酒精燈瓶並將瓶蓋替換，準備利用裡面棉芯的毛細現象供水給霧化片；對霧化片測量，準備做一個可以安裝霧化片又可以裝在酒精燈瓶上的燈頭，以下是簡要製作過程。



3. 程式設計：

程式寫法 (利用 Ardublock)	程式說明
	<p>圖 6. 霧化加濕器程式說明</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 將霧化器 (第 5 腳位) 設定為高電位開啟。 ➤ 執行 2 秒。 ➤ 將霧化器 (第 5 腳位) 設定為低電位關閉。

2. 在本實驗中，我們先後將不同溫度的水 (15 °C、30°C、45°C)、水盤加濕組、電湯匙加濕組、霧化加濕器放入木製的保溫箱。
3. 將新版的箱內溫溼度感測器感測頭 (DHT22) 放入保溫箱內，啟動電源，讓感測器先適應環境溫度的變化，也確保感測器可以正確偵測環境的溫濕度。
4. 利用計時器計時提醒，在開始偵測箱體內溫度和濕度的變化後，每 5 分鐘記錄濕度，並且在完成後轉化變成折線圖。

◆ 研究結果：

在經過一系列針對提供濕度方法的實驗後，我們的實驗結果如下表：

研究項目	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘	平均
15°C 的水	61	58	57	55	52	53	53	52	52	51	50	50	53.67
30°C 的水	83	92.2	92.1	91.9	91.9	91.8	91.7	91.7	91.7	91.7	91.6	91.4	91.06
45°C 的水	85.6	99.2	97.6	96.1	95.4	95.2	95.1	95.1	95.1	95.1	94.6	94.9	94.92
水盤加濕組	46	45	44	44	43	43	43	43	42	43	42	42	43.33
電湯匙加濕組	66	66	72	73	78	100	因為水快速沸騰立即中止實驗						75.83
霧化加濕器	78	76.4	79	77	79	79	77	79	78.7	77.3	79	77.2	78.05

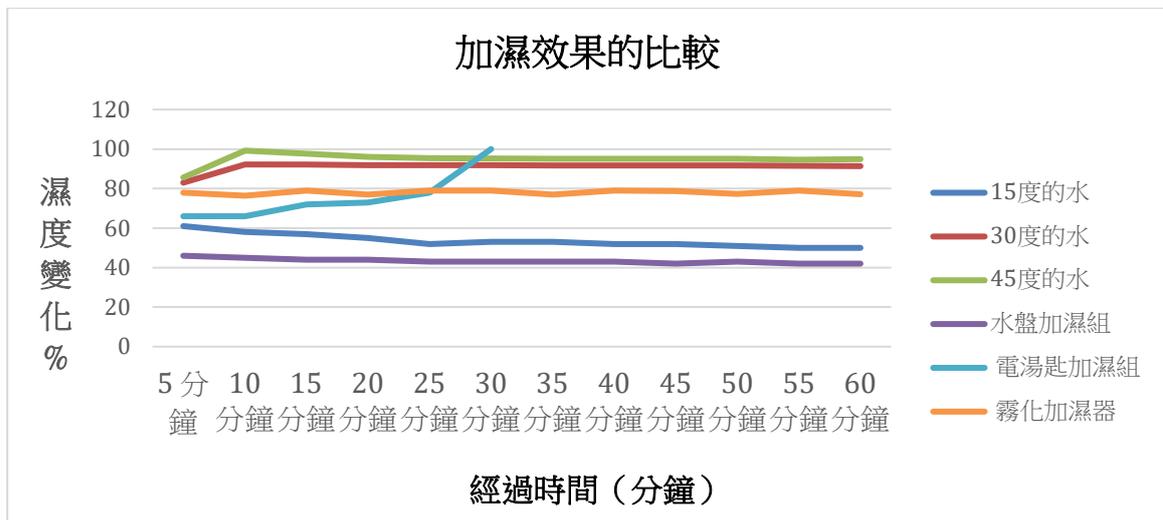


圖 2-4 .加濕效果比較圖

◆ 研究討論：

- 15°C 的水這一組，從放到保溫箱後，濕度就開始一直往下降，最低來到 50%，由於當天的室溫 25°C，濕度 65%，我們推論濕度下降的原因是保溫箱中的水氣遇到較低溫的 15°C 水而遇冷凝結在水中，**不僅沒有加濕的效果，反而變成除濕**，這是這個實驗的意外發現。
- 水盤加濕組的濕度在很短的時間內就降到 50% 以下，可能有兩個原因，第一個是遇到冷水凝結，第二個原因可能是水盤加濕組的燈泡造成乾燥的效果，為了證明這個推論，我們再做了一個小實驗，研究結果如下：

研究項目	5 分鐘	10 分鐘	15 分鐘	20 分鐘	25 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	40 分鐘	45 分鐘	50 分鐘	55 分鐘	60 分鐘
燈泡 25 瓦	40	38	37	38	38	38	38	37	37	36	36	36
燈泡 100 瓦	42	30	27	18	16	16	16	16	16	16	16	16

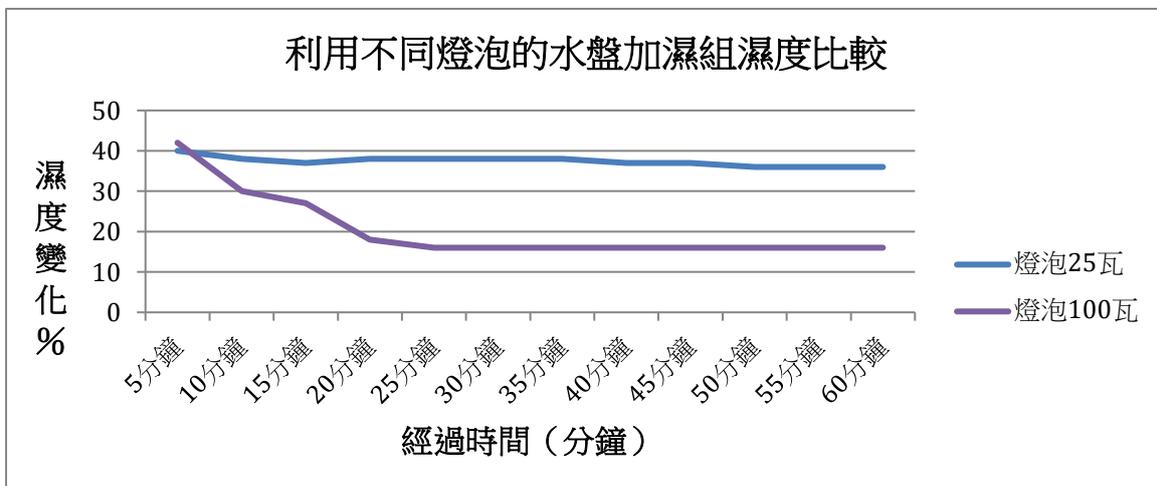


圖 2-5 . 利用不同燈泡的水盤加濕組濕度比較圖

我們發現，燈泡在開啟時由於有熱溫的關係，造成濕度下降，因此水盤加濕組的設計，反而是一個除濕效果的項目，對於提高濕度是沒有幫助的。

3. 電湯匙加濕組在 25 分鐘後，濕度用非常快的速度增加，在 30 分鐘時，濕度到達 100%，水已經沸騰並且冒出大量的水蒸氣，水蒸氣也立即造成木質保溫箱變形，考量到安全我們決定不使用這個項目。
4. 實驗的結果中，只有 30°C 與 45°C 水與霧化加濕器的濕度能夠到達 75% 以上，在經過文獻探討的結果，對於酵母發酵最理想的濕度是 75%~85%，因此**霧化加濕器**是最適合我們採用的項目，30°C 與 45°C 水則因為在 10 分鐘之內濕度就已經快速上升至 90% 以上，因此不再納入考慮。

(二) 研究二、設計並製作具有加溫與保濕功能的發酵箱：恆溫保濕發酵箱。

在研究三確定了製作發酵箱的幾項裝置：材質採用木板、保溫裝置採用 25W 的燈泡組、加濕裝置採用霧化加濕器等，接下來就要著手製作具有恆溫又保濕的發酵箱了，我們取名為「恆溫保濕發酵箱」。

「完美麵包製作書」（黃東慶等人，2016）建議發酵時的溫度在 26~30°C 之間、「麵包製作的科學」（吉野精一，2014）這本書，作者說發酵溫度最好在 30~35°C，「Step by Step 自製天然酵母作麵包」（太田幸子，2016）這本書作者建議在 27~30 °C，濕度則大約在 70~85 % 左右，因為每本書的作者講得有點不一樣，我們決定將以上作者的建議數值**溫度設定為 26~35 °C，濕度 70~85 %** 當做本研究的基礎實驗參考值。

為了要讓麵包發酵的過程中，溫度都能夠維持在 26°C~35°C 之間，而且濕度能夠在 70%~85% 之間，我們決定嘗試利用 Arduino 可以控制許多裝置的特性來進行設計，以下是這個系統的運作架構：

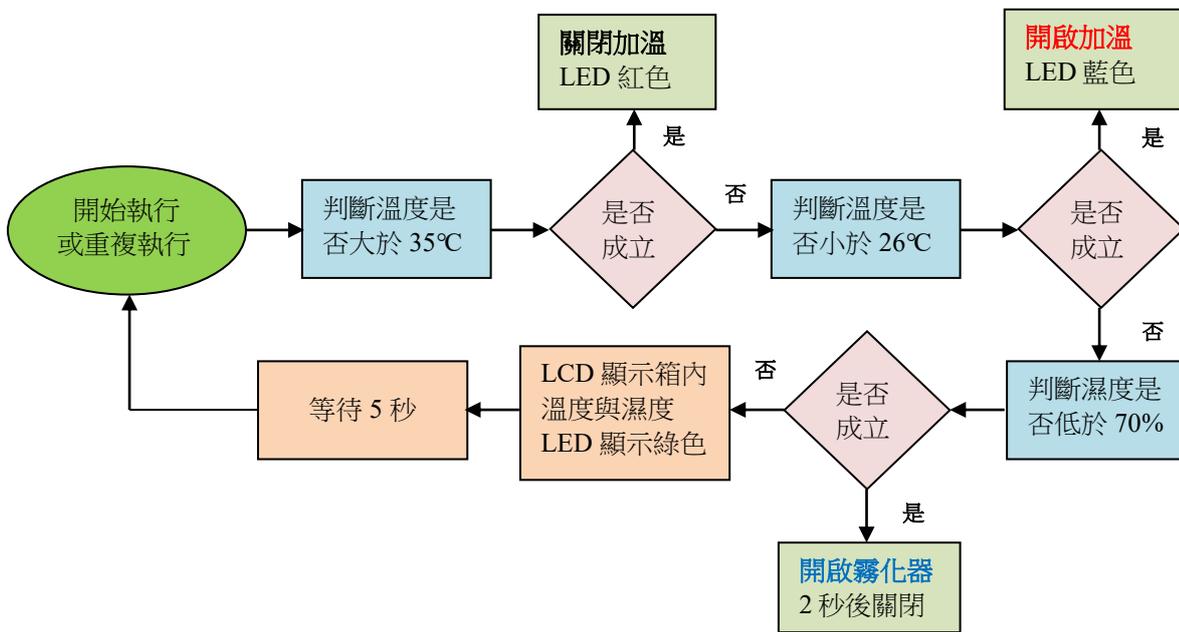


圖 2-6 恆溫保濕發酵箱程式運作架構圖

- ◆ 研究目的：設計並製作一個適合用來麵包發酵的發酵箱。
- ◆ 研究過程：
 1. 「發酵箱箱體」與「恆溫保濕發酵箱控制系統」設計與製作

◆ 發酵箱箱體設計與製作

1. 製作資源：Makercase、Inkscape、雷射機、梧桐木板、白膠等。
2. 製作過程：我們依照我們的設計圖及尺寸設定（30x28x30 立方公分），用 Makercase 與 Inkscape 設計出需要的零件，然後利用雷射切割機進行零件的準備，在零件完成黏貼後，發酵箱的箱體就完成了。



圖 1. 畫出設計圖並且標示尺寸大小。

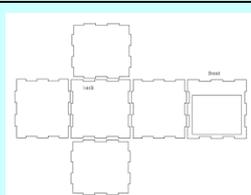


圖 2. 用 Makercase、Inkscape 設計外盒



圖 3. 利用雷射切割機製造箱體的零件

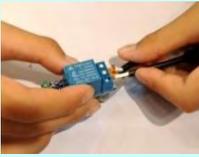
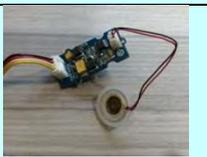
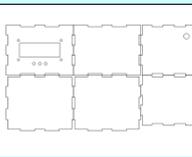


圖 4. 黏貼零件完成箱體的製作。

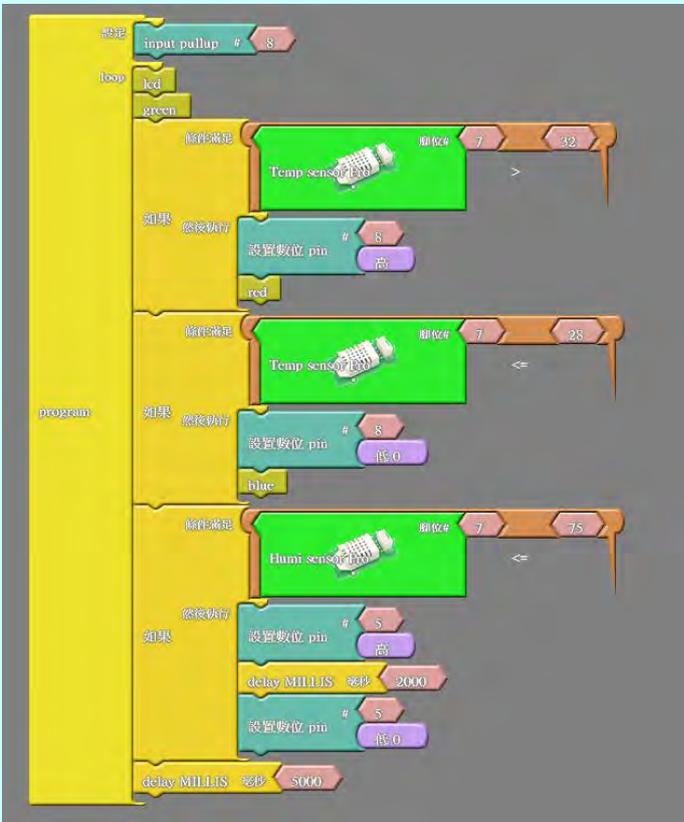
◆ 「恆溫保濕發酵箱控制系統」設計與製作

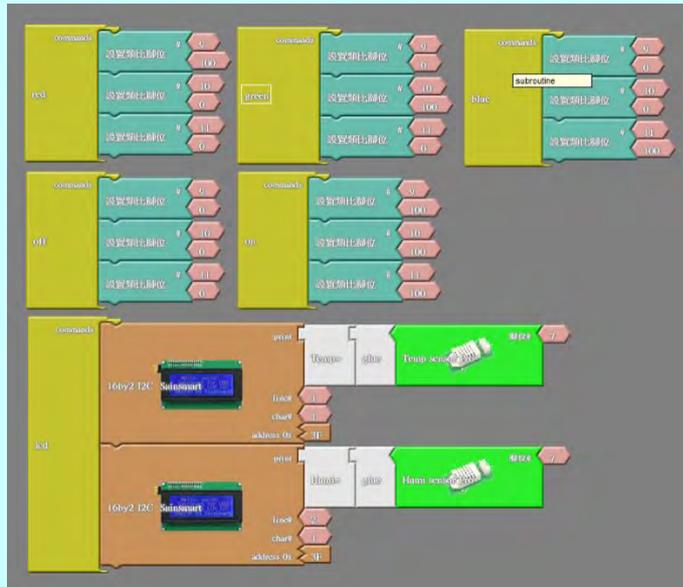
1. 製作資源：Arduino 開發板、25W 燈泡組、霧化加濕器（第 5 腳位）、5V 繼電器（第 8 腳位）、DHT22 溫濕度感測模組（第 7 腳位）、RGB LED（9、10、11 腳位）Makercase、Inkscape、雷射機、密集木板、白膠等。
2. 製作過程：在這個控制系統的製作中，我們先進行控制系統的材料準備、硬體零件

組裝等，接下來再完成外盒的製作（12x9x10 立方公分），以下是這個系統的製作過程。

				
圖 1. 組裝控系統 Arduino、DHT22	圖 2. 將市售電線插頭剪斷進行改造。	圖 3. 裁剪適當長度的電線連接繼電器	圖 4. 將電線連在繼電器的兩個接口。	圖 5. 組裝控制系統繼電器與插頭組
				
圖 6. 組裝控制系統霧化器模組	圖 7. 用 makercase、Inkscape 設計外盒	圖 8. 將系統硬體裝入外盒中。	圖 9. 測試霧化器	圖 10. 完成控制系統！

3. 程式設計：

程式寫法（利用 Ardublock）	程式說明
	<p>圖 11. 恆溫保濕發酵箱程式說明</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 因為繼電器是低電位觸發，當程式開始執行時，將第 8 腳位上拉電阻，讓繼電器呈現沒有運作狀態。 ➤ 呼叫 LCD 顯示的副函式。 ➤ 呼叫 LED 顯示綠燈的副函式。 ➤ 如果溫度大於 35°C，就關閉繼電器與電燈組，停止加溫，並且將 LED 顯示為紅色。 ➤ 如果溫度小於等於 26°C，就開啟繼電器與電燈組，開始在發酵箱內進行加溫，並且將 LED 顯示為藍色。 ➤ 如果濕度小於等於 70%，就開啟霧化加濕器，持續噴發 2 秒鐘，然後關閉。 ➤ 延遲 5 秒後重新執行程式



- red 副函式：利用 PWM 的電壓調整，開啟第 9 腳位的紅燈，第 10、11 腳位則不輸出電壓。
- green 副函式：利用 PWM 的電壓調整，開啟第 10 腳位的紅燈，第 9、11 腳位則不輸出電壓。
- blue 副函式：利用 PWM 的電壓調整，開啟第 11 腳位的紅燈，第 9、10 腳位則不輸出電壓。
- off 副函式：將 9、10、11 腳位的電壓全部都關閉。
- on 副函式：將 9、10、11 腳位的電壓全部都開啟。
- lcd 副函式：在 LCD 的第一行顯示目前的溫度值，在 LCD 的第二行顯示目前的濕度值。

◆ 實際測試

為了確定恆溫保濕發酵箱能夠實際用於麵包的製作，我們將恆溫保濕發酵箱加入實驗的過程，進行實際的使用測試。



➤ 實驗 2-1 發酵環境對麵糰發酵後體積的影響

- ◆ 研究目的：探討恆溫保濕發酵箱對麵糰發酵的影響。
- ◆ 研究材料：恆溫保濕發酵箱、500ml 燒杯、麵糰（高筋麵粉、速發酵母、牛奶、鹽、糖、）。
- ◆ 檢測工具：游標尺規（測量麵糰發酵後的高度）、自製矩形量筒。
- ◆ 研究過程：

<p>圖 2-1-1 利用 TinkerCAD 做出盒子的模子。</p>	<p>圖 2-1-2 在盒子底部開四個小洞用來排氣。</p>	<p>圖 2-1-3 矩形量筒印製完成。</p>	<p>圖 2-1-4 將材料倒入麵包機進行混合攪拌</p>

圖 2-1-5 將麵糰分成重量相同的兩組。	圖 2-1-6 將麵糰填入矩形量筒至底部，確認排氣。	圖 2-1-7 將實驗組放入恆溫保濕發酵箱中發酵 60 分鐘。	圖 2-1-8 將對照組放在室溫下發酵 60 分鐘，並蓋上保鮮膜。
--------------------------	----------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

◆ 研究結果：

樣本編號	E1	E2	E3	E4	E5	平均值	C1	C2	C3	C4	C5	平均值
初始高度(mm)	28.7	28.4	29.3	28.9	29.7	29	27.1	27.9	28.2	28.2	28.1	27.9
發酵後高度(mm)	57.4	52.7	51.4	55.8	58.8	55.22	35.2	37.2	34.2	38.2	34.5	35.86
成長幅度(%)	90.41%						28.53%					

註：樣本編號 E 代表實驗組，C 代表對照組

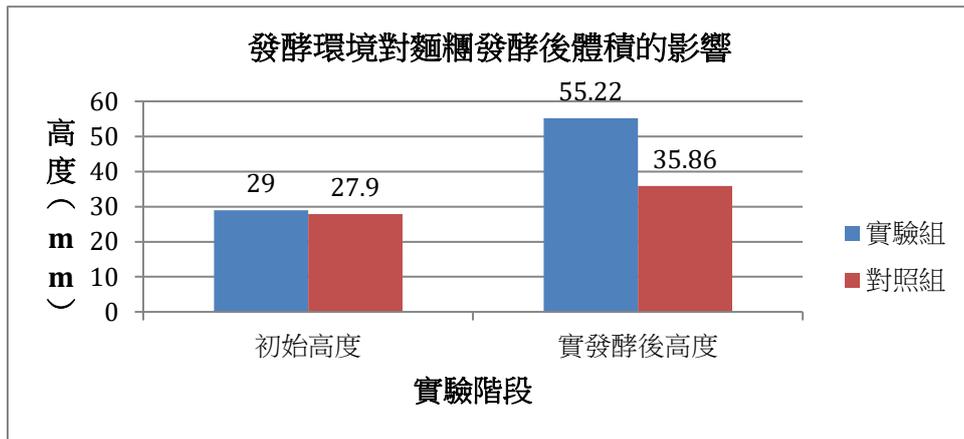


圖 2-7 發酵環境對麵糰發酵後體積的影響

60 分鐘後，恆溫保濕發酵箱的實驗組麵糰平均高度自 29mm 成長至 55.22mm，放置在一般室溫環境下的對照組從 27.9mm 成長至 35.86mm。

◆ 研究討論：

1. 我們發現放在恆溫保濕發酵箱的實驗組麵糰體積成長了原來的 90.41%，而放置在一般室溫環境下的對照組只成長了 28.53%，代表恆溫保濕發酵箱確實提供麵包酵母、麵糰發酵時需要的環境。

➤ 實驗 2-2 探討利用恆溫保濕發酵箱來做麵包的可行性

- ◆ 研究目的：探討恆溫保濕發酵箱是否能用在麵包的製作上。
- ◆ 研究材料：恆溫保濕發酵箱、麵糰（高筋麵粉、速發酵母、牛奶、鹽、糖、）。
- ◆ 檢測工具：尺（測量麵糰發酵後的高度）。
- ◆ 研究過程：

在這個實驗中，我們採用研究一製作麵包的過程來進行麵包的製作，與前面實驗不同的地方是我們在發酵的過程中，是把麵糰放進我們的**恆溫保濕發酵箱**，然後觀察麵包製作後的結果。

			
<p>圖 2-2-1 混合材料製作麵糰。</p>	<p>圖 2-2-2 整型完成準備進行發酵</p>	<p>圖 2-2-3 將麵糰放進恆溫保濕發酵箱進行發酵。</p>	<p>圖 2-2-4 進烤箱烘烤完成</p>

◆ 研究結果：

我們完成了「**恆溫保濕發酵箱**」的設計與製作，這個發酵箱可以讓麵糰發酵的溫度維持在 26~35 ℃，濕度維持在 70~85 %之間，利用**恆溫保濕發酵箱**進行發酵的麵包，在發酵及烤箱烘烤後順利的膨脹了，表皮因為離熱源較近，因此壓起來蠻硬的，再剝開麵包觀察內部，會發現麵包內部有許多的小孔分佈，呈現熟成的情況。



圖 2-2-5 利用恆溫保濕發酵箱製作出來的麵包。

◆ 研究討論：

1. 麵包吃起來的口感有稍微紮實的感覺，雖然也有鬆軟的部份，但是還是覺得可以更好，發酵時的溫度設定在 26~35 ℃ 真的能夠滿足所有麵包的發酵過程嗎？如果可以，為什麼市面上有這麼多的麵包都需要加「益麵劑」、「改良劑」或「膨鬆劑」呢？
2. 「天然手作麵包 101 道」周老師的美食教室作者周淑玲（2013）老師認為**麵包發酵的三個階段溫度與濕度的需求都不相同，基本發酵的環境溫度約 28 ℃、濕度 70%，中間發酵的目的是鬆弛，而最後發酵的環境溫度需要到 38 ℃、濕度 80%**，跟我們**恆溫保濕發酵箱**的設定不同，因為這樣，讓我們決定讓發酵箱升級，挑戰第二代發酵箱的製作。

- 我們在進行實驗 4-2 的時候，發現箱子內的空間有限，無法放下更多、更大的麵糰，還有箱體本身都是用木板進行製作，在發酵的過程中，我們無法即時觀察裡面的變化，這些問題都需要被解決。

(三) 研究三、恆溫保濕發酵箱的改進與升級：三階段發酵箱

為了要讓第二代發酵箱有更好的應用，並且真正對人們有幫助，第二代發酵箱與第一代的不同，除了要改進第一代空間設計不良、無法直接看到裡面的缺點，更重要的是我們決定進一步利用麵包發酵三個階段的需求不同，來針對箱內的溫度、濕度控制進行調整。

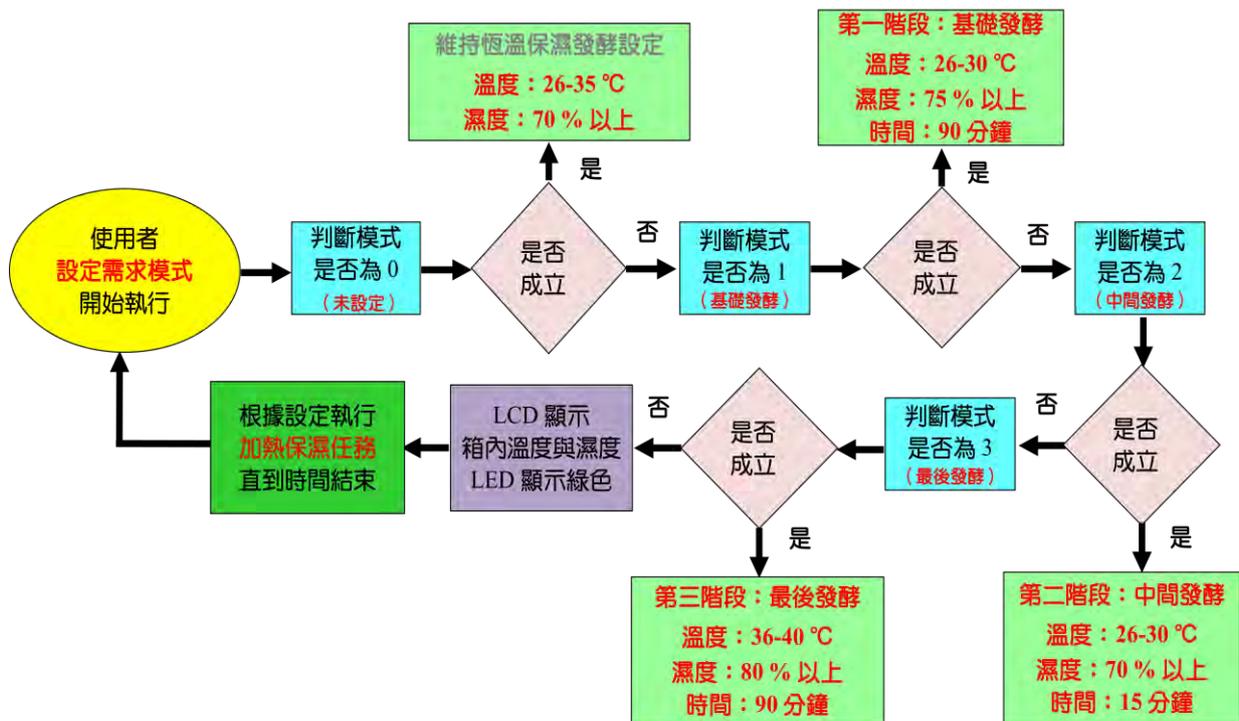
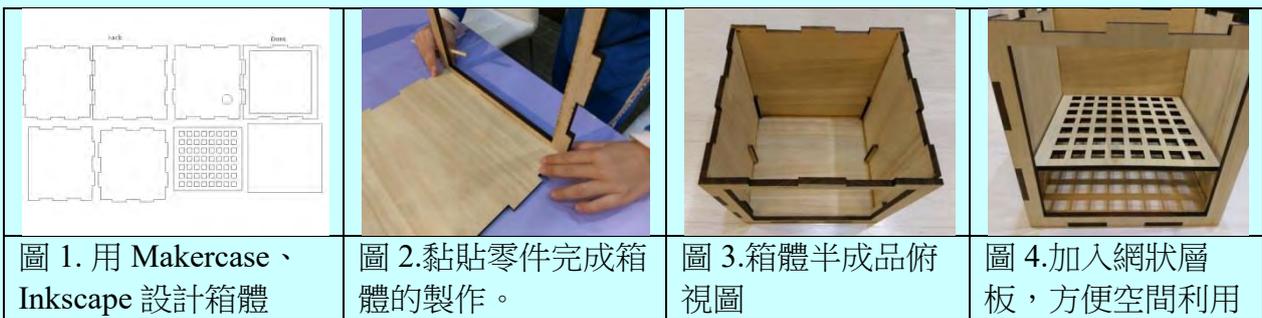


圖 2-8 三階段發酵箱程式運作架構

- ◆ 研究目的：設計並製作第二代發酵箱—三階段發酵箱。
- ◆ 研究過程：
 1. 「三階段發酵箱」設計與製作

◆ 三階段發酵箱箱體設計與製作

1. 製作資源：Makercase、Inkscape、雷射機、梧桐木板、白膠等。
2. 製作過程：
 - 尺寸設定與第一代相同（30x28x30 立方公分），但是我們利用層板將發酵與加溫加濕的部份隔開，讓硬體的部份全部都放在下層，這樣子，放置麵糰的空間就變大了。
 - 我們把第一代遮閉式的蓋子設計換掉，改成利用滑板的方式蓋上，材質改成壓克力，就可以呈現出透明滑蓋的效果。
 - 以下是第二代發酵箱—三階段發酵箱的簡要製作過程。

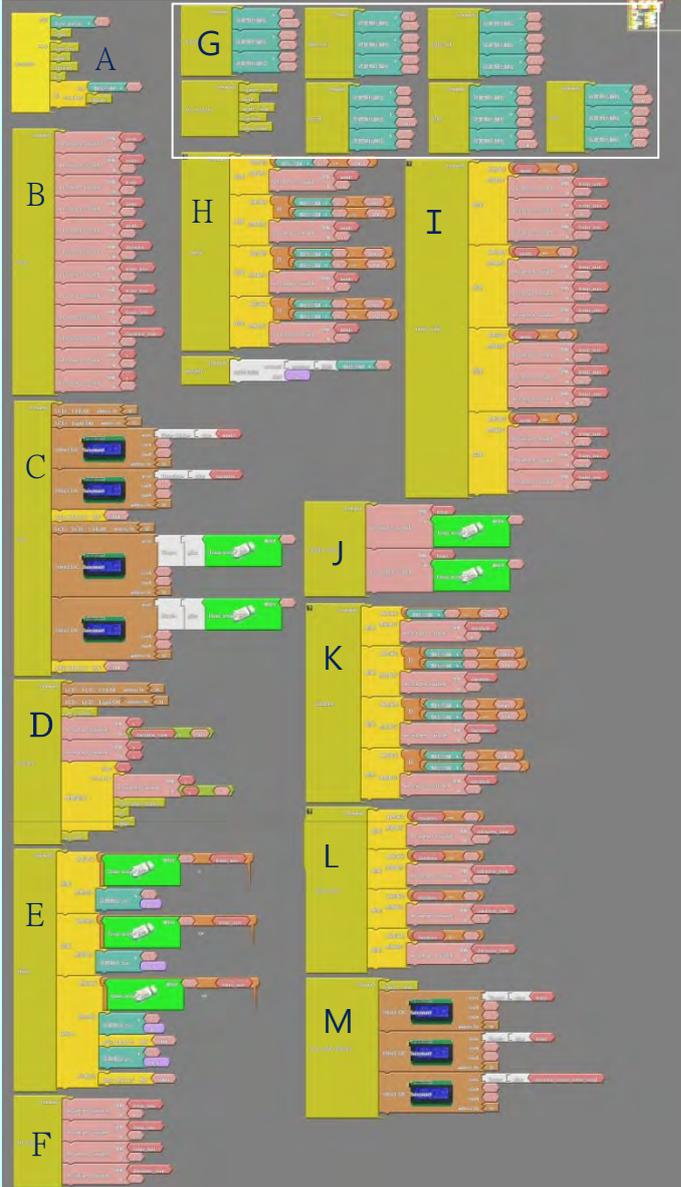


◆ 「三階段發酵箱控制系統」設計與製作

1. 製作資源：Arduino 開發板、25W 燈泡組、霧化加濕器（第 5 腳位）、5V 繼電器（第 8 腳位）、DHT22 溫濕度感測模組（第 7 腳位）、RGB LED（9、10、11 腳位）Makercase、Inkscape、雷射機、密集木板、白膠等。
2. 製作過程：為了讓三階段發酵箱控制系統能夠與箱體更理想的結合，我們重新設計了控制系統的外盒（15x12x8 立方公分），在這個控制系統的製作中，我們先進行控制系統的材料準備、硬體零件組裝等，接下來再完成外盒的製作，以下針對變動較大的系統盒進行製作說明。

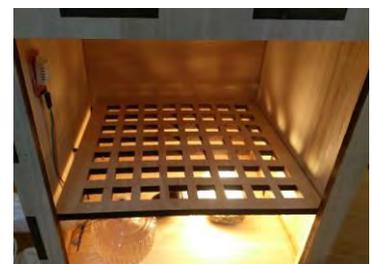


3. 程式設計：

程式寫法（利用 Ardublock）	程式說明
	<p>圖 1. 三階段發酵箱程式說明</p> <ul style="list-style-type: none"> A. 主程式迴圈 B. 變數的設定區，放在主程式的 setup 區塊。 C. LCD 液晶螢幕的顯示內容，包括目前的溫度、濕度，及目前可變電阻設定的發酵模式（包括溫度及濕度設定）。 D. 依照使用者的溫度、濕度設定，然後開始執行加溫保濕的步驟。 E. 在開始進行發酵過程後，可以偵測發酵箱內的溫度及濕度，並且根據溫度與濕度的設定來進行加溫或加濕的自動開關。 F. 當加溫保濕的工作完成，將用來控制溫度與濕度的變數歸零，以免下一次啟動時發生錯誤。 G. 用來設定 RGB LED 發亮顏色的副函式。 H. 根據使用者利用可變電阻 1 的設定，然後用來判斷將要執行的模式是哪一個模式。 I. 根據前一個副函式的模式設定，來設定不同發酵階段的最低溫度、最高溫度、最低濕度等變數。 J. 把溫濕度感測器偵測到的數值轉換成整數，節省 LCD 的顯示空間。 K. 根據使用者利用可變電阻 2 的設定，然後用來判斷將要執行的模式是哪一個模式。 L. 根據前一個副函式的模式設定，來設定不同發酵階段的執行時間。 M. 在執行發酵時的加濕保濕任務時，LCD 即時顯示箱內的溫度、濕度還有剩下的時間還有多久。

◆ 研究結果：

三階段發酵箱的上下分層可以讓放置發酵物的空間變大，而負責控制發酵箱內的控制系統及零件就可以都放在下層，此外，由於蓋子改成



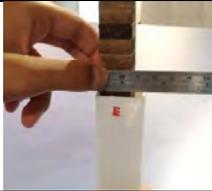
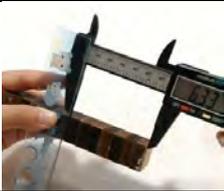
透明的板子，在發酵的過程中，可以看到發酵的情形，在功能的設計上，能夠利用溫度及濕度的調整，達到三階段溫度、濕度的設定，因此我們的第二代發酵箱正式命名為「三階段發酵箱」。

◆ 研究討論

1. 在三階段發酵箱的程式設計上，我們一開始採用的是單純用按鈕按次數，然後用「如果…否則」來進行最低溫度、最高溫度與最低濕度的控制，後來我們在討論的過程中，認為應該**要加入可以讓使用者分別調整**不同階段的溫度與濕度，程式就越來越複雜，為了解決程式越來越複雜的問題，我們**必須善加利用副函式與變數**來管理一些不同功能的程式。
2. 在模式的設定上，我們一開始思考使用按鈕及 XY 雙軸搖桿，但是試用後覺得按鈕可以利用的訊號太少，而 XY 雙軸搖桿也因為會彈回原來的位置，無法持續停在一個位置上，後來覺得可以利用可變電阻當中的數值變化來做區塊設定，最後我們**採用可變電阻來進行發酵階段的設定**。
3. 在程式設計的 A 區塊主程式迴圈中，判斷按鈕是否按下才決定是否執行發酵箱的程式是一個很重要的關鍵，我們一開始用的是「如果…就執行…」的寫法，可是我們發現，程式只有在按下去時才會執行，手一放開就不執行了，我們後來**利用「當…成立時執行……」的寫法**，當按鈕按下去時，就會直接進入主要的發酵控制程式，等到執行完，再回到一開始的迴圈等待的狀態。
4. 我們在三階段發酵箱的溫度設定是據麵糰發酵三個階段的需求設定，可是我們在思考，對於麵糰發酵來說，溫度是不是有最佳化的情況呢？

➤ **實驗 3-1 探討三階段發酵的最佳化溫度設定**

- ◆ 研究目的：探討麵糰在固定溫度區間內發酵的情形。
- ◆ 研究材料：恆溫保濕發酵箱、麵糰（高筋麵粉、速發酵母、牛奶、鹽、糖）。
- ◆ 檢測工具：游標尺規（測量麵糰發酵後的高度）、自製矩形量筒。
- ◆ 研究過程：

			
圖 3-1-1 混合材料製作麵糰。	圖 3-1-2 將裝有麵糰矩形量筒放入發酵箱	圖 4-2-3 發酵完成，以探深工具定位。	圖 4-2-4 用游標尺規量測深入的長度。

◆ 研究結果：

溫度區間	27-28°C	29-30°C	31-32°C	33-34°C	35-36°C
平均初始高度(mm)	22.3	22.9	18.68	20.4	23.52
平均發酵後高度(mm)	26.96	27.94	24.08	28.42	34.66
平均成長幅度(%)	21%	22%	29%	39%	47%

◆ 結果與討論：

1. 初步實驗發現溫度越高，麵糰發酵的效果越好，體積膨漲得越多，然而這種情形是否都存在於三個階段發酵中，除了溫度的影響之外，環境濕度與時間長短對於麵糰發酵的影響又是如何，這些問題值得我們未來進一步進行探討。

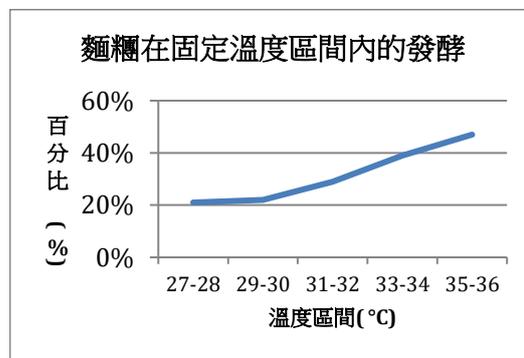


圖 3-1 麵糰在固定溫度體積膨漲百分比

(四) 研究四、比較利用三階段發酵箱與一般烤箱發酵製成麵包的結果差異。

我們在資料蒐集的階段中，了解到市售麵包店大多使用大型又昂貴的發酵櫃來進行發酵，然而發酵櫃不是我們一般做麵包可以用到的設備，我們再進一步蒐集居家自製麵包可以用的發酵工具，除了放置在環境中自然發酵及全自動麵包機之外，大多是使用烤箱所附的「發酵功能」來進行麵糰發酵，因此，我們決定比較三階段發酵箱與一般烤箱發酵功能，以相同材料、同時進行麵糰發酵後做出來的麵包有什麼不同。

➤ **實驗 4-1 比較三階段發酵箱發酵、烤箱發酵與益麵劑製作的麵包差異**

- ◆ 研究目的：比較利用三階段發酵箱與一般烤箱發酵製成麵包的結果差異。
- ◆ 研究材料：三階段發酵箱、烤箱（發酵功能）、益麵劑、麵糰（高筋麵粉、速發酵母、牛奶、鹽、糖、）。
- ◆ 研究工具：麵糰體積量測工具組、回彈程度評分表。
- ◆ 研究過程：我們做了三個成分、攪拌一模一樣的麵糰，分別分成甲（三階段發酵箱發酵）、乙（烤箱發酵）、丙（加益麵劑室溫發酵）等三組，然後以「直接法」的製作過程來進行麵包製作，操作過程如下：

發酵配置				
	圖 4-1-1 甲：三階段發酵箱發酵	圖 4-1-2 乙：烤箱內發酵	圖 4-1-3 丙：加益麵劑室溫發酵	圖 4-1-4 基礎發酵後， 拉開後表皮彈性不同。
				
	圖 4-1-5 甲：最後發酵中	圖 4-1-6 乙：最後發酵中	圖 4-1-7 丙：最後發酵中	圖 4-1-8 完成最後發酵
整形與烘烤				
	圖 4-1-9 整形後，準備放入烘烤工作（由左至右是甲、乙、丙三組）		圖 4-1-10 烘烤完成後，三個麵糰的體積都有明顯膨漲（由左至右是甲、乙、丙三組）	
烘烤後切面				
	圖 4-1-11 甲組切面	圖 4-1-12 乙組切面	圖 4-1-13 丙組切面	

◆ 研究結果

發酵階段	基礎發酵			最後發酵		
	甲： 三階段 發酵箱組	乙： 烤箱 發酵組	丙： 加益麵劑 室溫發酵組	甲： 三階段 發酵箱組	乙： 烤箱 發酵組	丙： 加益麵劑 室溫發酵組
平均初始高度(mm)	29.09	26.26	27.16	29.02	26.26	27.16
平均發酵後高度(mm)	65.18	60.32	57.76	87.06	78.12	76.9
平均成長幅度(%)	124.80%	129.80%	112.60%	200.00%	197.40%	183.20%
平均回彈程度(1-10)	6.6	5.6	3	8.2	8	5.2

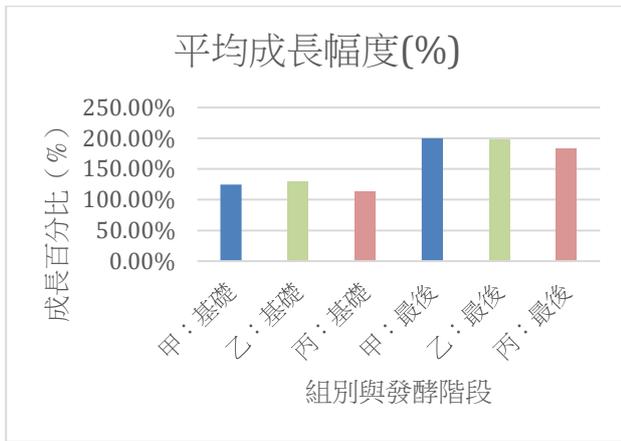


圖 4-1 三種麵包製法的成長幅度比較

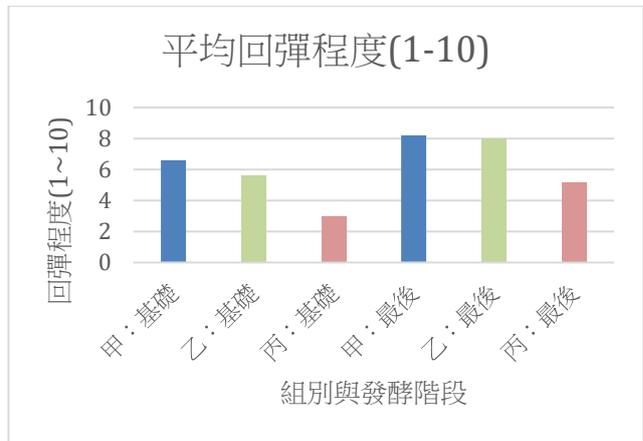


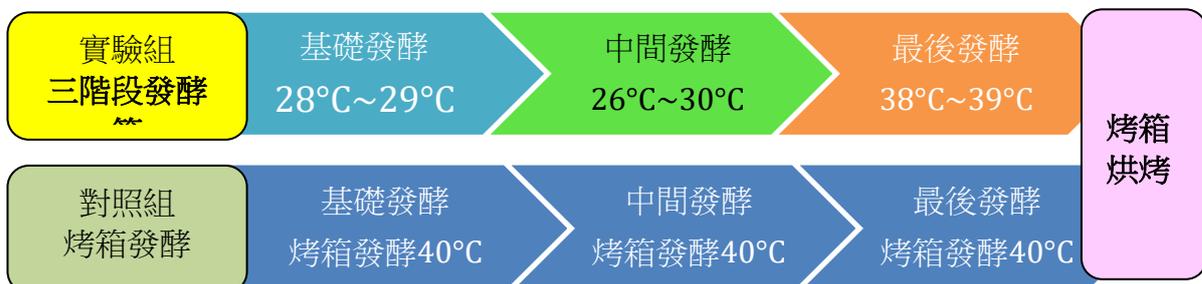
圖 4-2 三種麵包製法的回彈程度比較

◆ 結果與討論：

1. 在基礎發酵部份，麵糰體積的成長比是：乙（128.80%）>甲（124.80%）>丙（112.60%），在最後發酵部份，麵糰體積的成長比是：甲（200.00%）>乙（197.40%）>丙（183.20%）。
2. 在基礎發酵部份的回彈程度，三階段發酵箱 6.6 分為最佳，最後發酵回彈程度仍然是三階段發酵箱的 8.2 分最好，代表三階段發酵箱對於麵糰發酵的結果較為理想。
3. 不管是麵糰體積的成長還是發酵後的回彈程度，益麵劑製作出來的麵包都不如三階段發酵箱或烤箱製作出來的麵包。

➤ 實驗 4-2 探討利用三階段發酵箱

- ◆ 研究目的：比較利用三階段發酵箱與一般烤箱發酵製成麵包的結果差異。
- ◆ 研究材料：三階段發酵箱、麵糰（高筋麵粉、速發酵母、牛奶、鹽、糖、）。
- ◆ 研究工具：【實作麵包的比較】問卷（官能品評法）。
- ◆ 研究過程：
 1. 為了要比較三階段發酵箱與一般烤箱發酵製成麵包的結果差異，我們利用官能品評法的問卷來蒐集資料，問卷內容包括：年齡、身份、性別、每週吃麵包的次數、吃的麵包主要來源、柔軟度、濕潤度、口味、酸度、喜歡程度等。（問卷可查閱研究日誌）





2. 在烘烤完成後，我們分別將實驗組與對照組的麵包分割成 30 份，最後我們找到了 12 位師長與 13 位同學進行試吃並且填寫問卷，共計 25 份問卷，我們將問卷的問題進行編號，也給答案分數，一個項目的最低是 1 分，最高是 5 分，最後我們用平均的方式來進行兩組的比較。



◆ 研究結果：

研究項目	柔軟度	濕潤度	香度	口味	酸度	喜歡程度
實驗組（三階段發酵箱）	3.21	2.75	2.92	3.4	2	3.68
對照組（烤箱）	2.64	2.48	3.08	3.52	2	3.48

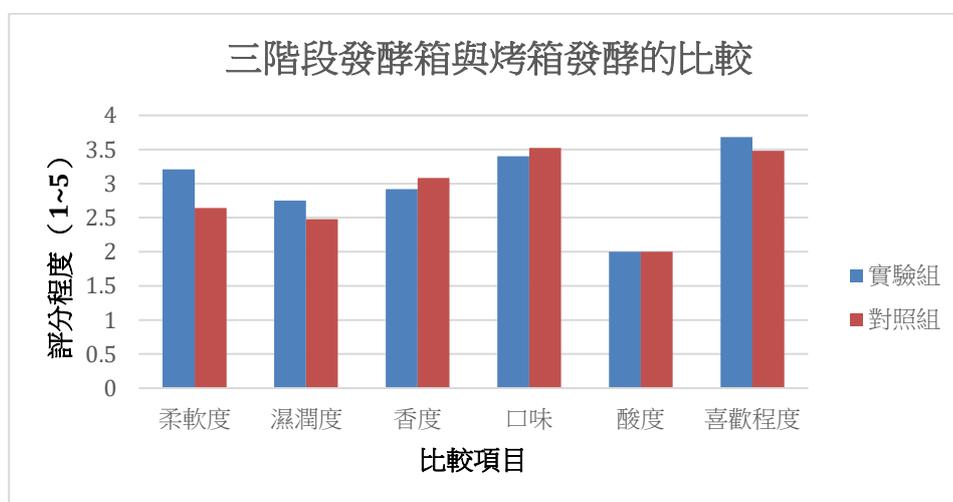


圖 4-3 三階段發酵箱與烤箱發酵的比較

從上面圖表可以發現到，三階段發酵箱進行發酵的實驗組麵包，在柔軟度、濕潤度及喜歡程度的結果都高於烤箱發酵的麵包，而香度及口味則是烤箱高於三階段發酵箱，酸度則沒有差別。

◆ 研究討論：

1. 在這次製作麵包的材料中，除了鹽及糖等基本材料之外，我們沒有再加任何增加口味或香氣的原料，可是在結果烤箱的香味及口味卻有高出一些，我們認為是調查的對象個人喜好不同所造成的。
2. 從柔軟度與濕潤度來看，三階段發酵箱的製作結果都高於烤箱的製作結果，尤其在柔軟度上是明顯較高的，因此，三階段發酵箱的發酵控制對於麵包發酵過程的幫助，是比烤箱要更好的。
3. 在問卷結果當中，平常吃的麵包來源有 88% 的對象都是吃市售的麵包，而利用三階段發酵箱製作出來的麵包在沒有添加任何添加物的情況下，仍然得到了 3.68 的平均分數（最高是 5 分），代表多數調查對象認為我們做的三階段發酵箱麵包是可以接受的。

伍、研究結果

- 一、在研究一的結果中，我們採用木箱作為後續實驗的箱體材質，利用 25 瓦燈泡加熱組當做發酵箱中維持溫度的熱源，採用霧化加濕器作為發酵箱中維持濕度的工具。
- 二、在研究二中，我們根據酵母發酵時的需求來進行設計與製作，我們成功的做出第一代恆溫發酵箱：**恆溫保濕發酵箱**，而利用**恆溫保濕發酵箱**進行發酵的麵包，在發酵及烤箱烘烤後順利的膨脹了，剝開麵包觀察內部，會發現麵包內部有許多的小孔分佈，呈現熟成的情況。
- 三、在研究三中，我們在第一代恆溫發酵箱：**恆溫保濕發酵箱**的基礎上，對發酵箱進行升級與設計，進而設計出第二代發酵箱—「**三階段發酵箱**」，**三階段發酵箱**在使用上不僅更符合使用者的需求，在功能的設計上，更可以讓使用者利用溫度及濕度的調整，達到三階段溫度、濕度的設定。
- 四、在研究四中，我們利用進一步比較三階段發酵箱、烤箱與益麵劑製作出來的麵包進行比較，比較結果，三階段發酵箱具有最好的體積膨脹結果，並且在代表發酵成熟度的回彈程度上，具有最理想的成熟度，此外，在經過官能品評法的問卷調查，利用**三階段發酵箱**發酵製作而成的麵包，在**柔軟度、濕潤度及喜歡程度**的結果都高於烤箱發酵的麵包，代表三階段的發酵設計有助於麵包的鬆軟及濕潤，也能夠被大多數的人所接受。

陸、討論

- 一、本研究所設計的發酵箱，是專門設計給喜歡做麵包及經常做麵包的人們，無法跟外面麵包工廠或店家因為要製作大量麵包所使用的大型發酵櫃相比較。
- 二、製作麵包的製作方法有很多，我們的研究因為是採用「直接法」進行製作，研究的問題是針對麵糰在發酵環境中的不同所造成的結果差異，因此，有些製作方法也可以讓麵包變得比較軟，例如湯種法，但不是本研究討論的範圍。

柒、結論

在經過這些製作麵包的過程時，我們才了解到原來我們平常在外面買的「好吃麵包」大部份都是有原因的，會這樣覺得，是因為我們自己做的麵包都不是很好吃，主要是因為我們都沒有加香料或奶油，可以想像市售的麵包不是放了很多香料、就是放了許多可以改變發酵結果的添加物，例如改良劑、膨鬆劑或益麵劑等等。

雖然我們在拿問卷給師長及同學填寫時，有同學直接說我們做的麵包不好吃，其實因為我們都沒有放添加物，反而覺得這樣才是對的，以下是我們這項研究的結論：

- 一、我們可以利用自動控制的方式來協助麵包製作時三個不同階段的發酵需求，未來也可以針對不同的麵包製作法進行環境需求的調整。
- 二、三階段發酵箱發酵製作出來的麵包，不僅可以幫助麵糰有較好的體積成長幅度，更能夠讓麵糰達成較理想的發酵成熟度。
- 三、三階段發酵箱可以在發酵過程中改善麵包的柔軟度，在未來就能夠減少麵包使用添加物的機會，希望製作麵包的業者都能夠減少添加物的使用，讓大家的身體更加的健康，消失吧！益麵劑！

捌、參考資料

- 一、吉野精一（2014）。麵包製作的科學。台北市：大境文化
- 二、黃東慶、徐志宏（2016）。成功 VS. 失敗，完美麵包製作書。新北市：和平國際文化
- 三、太田幸子（2016）。Step by Step 自製天然酵母作麵包。台北市：良品文化
- 四、周淑玲（2013）。「天然手作麵包 101 道」周老師的美食教室。台北市：大境文化
- 五、黃苑亭、黃靜宜、朱盈璋（2011）。麵糰發酵箱濕度控制系統之改良。中華民國第 51 屆中小學科展作品

【評語】 082808

本作品探討利用自製發酵機來發酵麵糰，並探討環境與製程因素，以三階段發酵的設備，實驗出不同溫度和溼度的需求環境，可應用於日常生活，值得鼓勵。建議作者們拜訪專業麵包師父，在作品中加上麵團好壞的判斷標準，作為數據討論的參考。

摘要

1. 製作出「三階段發酵箱」，可以提供麵糰在不同階段對於溫度與濕度的需求。
2. 三階段發酵箱發酵製作的麵包，可以幫助麵糰體積成長及達成理想發酵成熟度。
3. 三階段發酵箱可改善麵包柔軟度以減少使用添加物的機會，大家的身體更健康！

壹、研究動機

1. 10元麵包為什麼可以賣得這麼便宜？
2. 五年級學到「麵糰利用微生物發酵在麵糰中產生二氧化碳，才能讓麵包蓬鬆」。
3. 市售自動麵包機做的麵包口感都差不多。
4. 我喜歡自己做麵包，自培酵母在發酵過程中，需要較長的時間，並且要有更穩定的發酵環境，包括溫度與濕度。
5. 市售幫助發酵的產品，大型的發酵櫃價格昂貴而且體積龐大，定位在家用型的發酵箱價格太貴而且功能不完整。

貳、研究目的

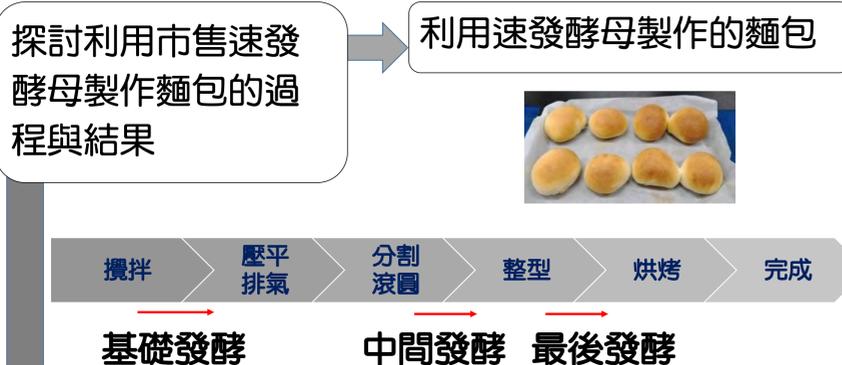
1. 自製可用於麵糰發酵的恆溫發酵室。
2. 設計並製作具有加溫與保濕功能的發酵箱－恆溫保濕發酵箱。
3. 發酵箱的改進與升級－三階段發酵箱。
4. 比較利用三階段發酵箱、一般烤箱發酵及益麵劑製成麵包的結果差異。

參、研究工具、設備、材料

Arduino 開發板、DHT22 溫濕度感測器、繼電器、超音波霧化片模組、LCD液晶螢幕、燈泡、雷射切割機、3D印表機、烤箱、電子秤、燒杯、量杯、料理紙、量匙、酒精燈、麵粉、糖、鹽、牛奶、蛋、水、速發酵母、橄欖油等。

肆、研究設計與過程

● 文獻探討與實作

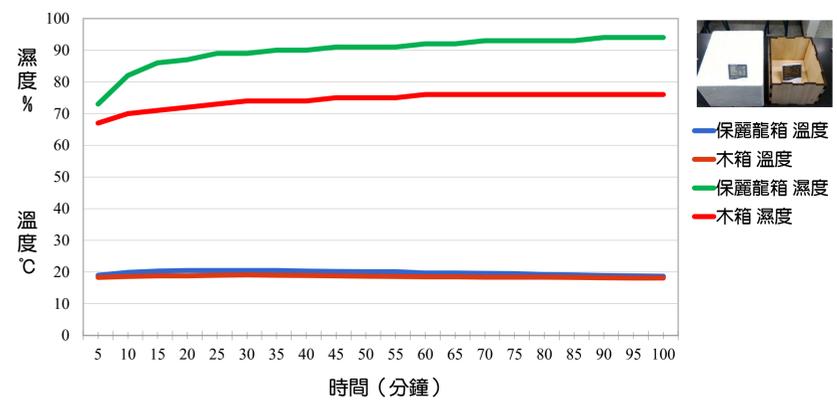


● 研究一、自製用於麵糰發酵的發酵室

● 實驗 1-1 發酵室材質的選擇



保麗龍箱與木箱的保溫、保濕效果比較

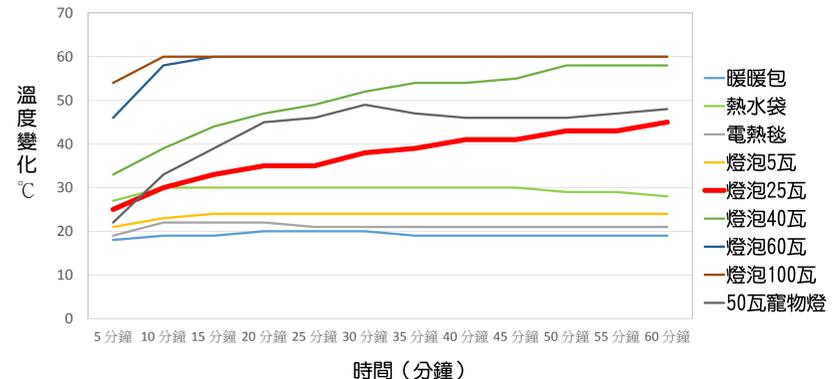


- 木箱的濕度控制適合用以發酵。

● 實驗 1-2 維持恆溫功能的設計



加溫方式的比較

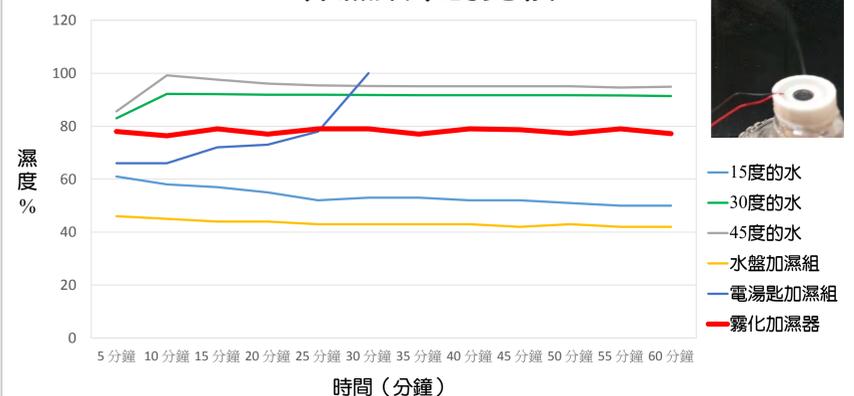


- 25瓦燈泡的溫度區間最適合麵包發酵。

● 實驗 1-4 保持濕度功能的設計

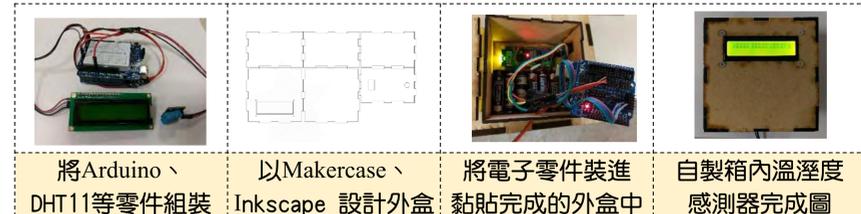


保濕效果的比較



- 霧化加濕器最適合麵包發酵的環境控制

● 自製箱內溫溼度感測器



研究架構 / 研究過程

待解問題：
找出最適合
麵糰發酵的環境

研究一
自製恆溫發酵室

研究二
設計恆溫保濕發酵箱

研究四~比較：
三階段發酵、烤箱發酵
益麵劑常溫發酵之差異

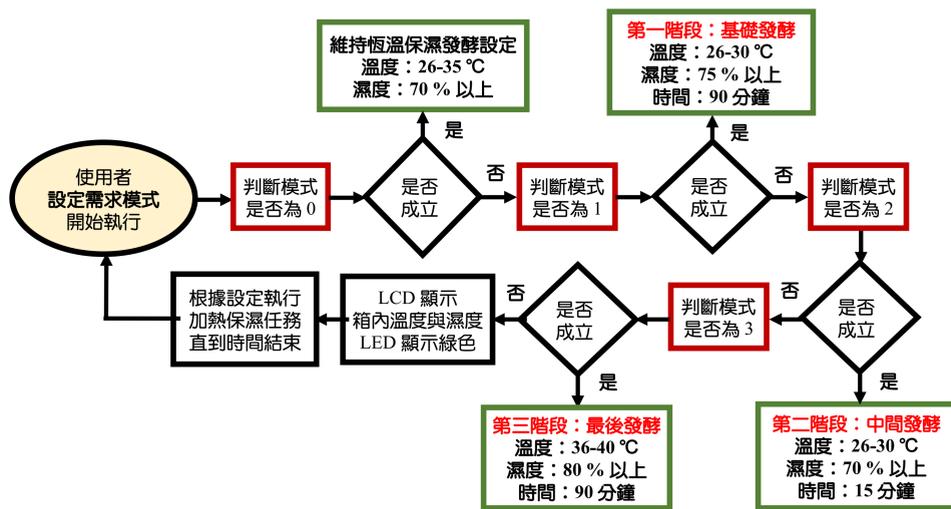
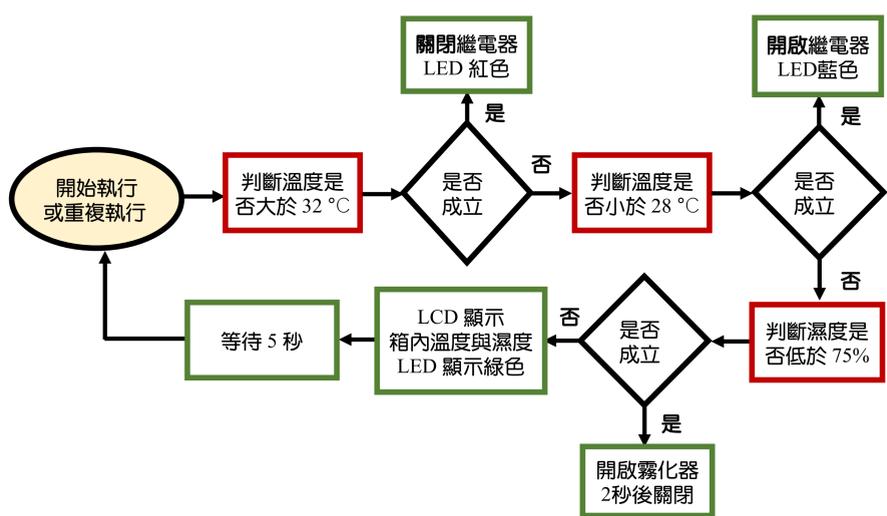
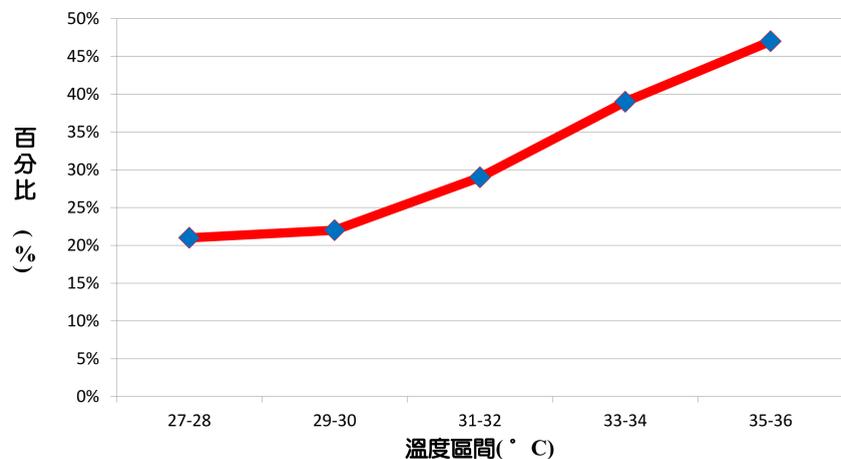
研究三
恆溫保濕發酵箱升級
三階段發酵箱的實現

文獻探討專家建議：
麵包發酵的三個階段溫度
與濕度的需求都不相同

發酵環境對麵糰發酵後體積的影響



麵糰在固定溫度區間內的發酵



● 研究二、設計恆溫保濕發酵箱

● 實驗 2-1 發酵環境對麵糰發酵後體積的影響

利用 TinkerCAD 進行3D建模	將等重的麵糰放入實驗組與對照組量筒	發酵60分鐘後，以高度測定方式量測	利用游標尺規測量測入量筒長度

● 研究三、恆溫保濕發酵箱升級：三階段發酵箱

● 實驗 3-1 三階段發酵箱的最佳化溫度設定

混合材料製作麵糰	將裝有麵糰的自製矩形量筒放入發酵箱	發酵完成，以探深工具進行體積成長的量測	用游標尺規測量測入的長度

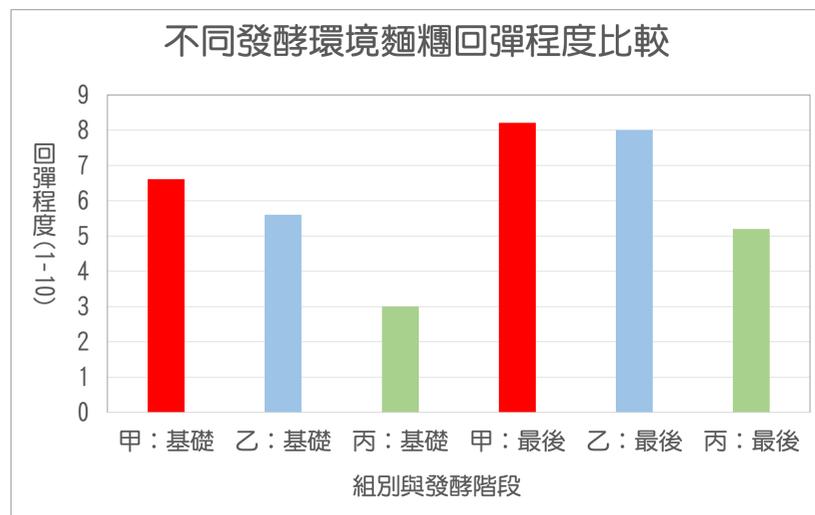
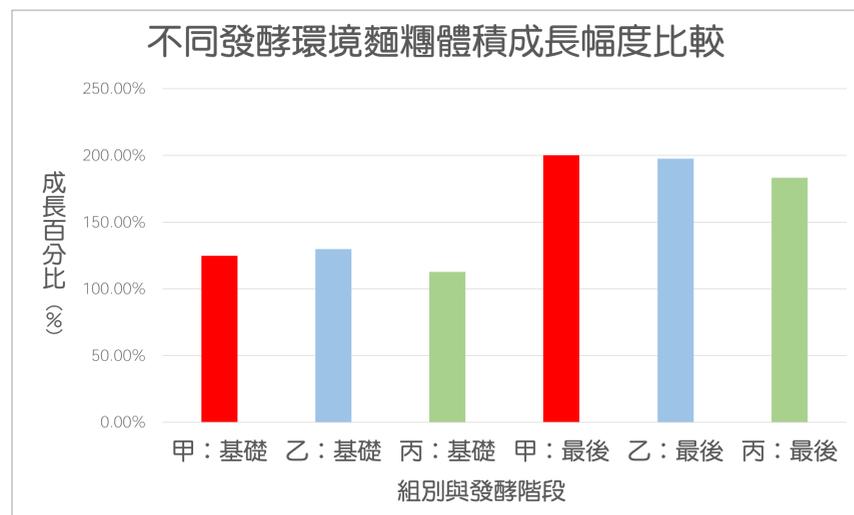
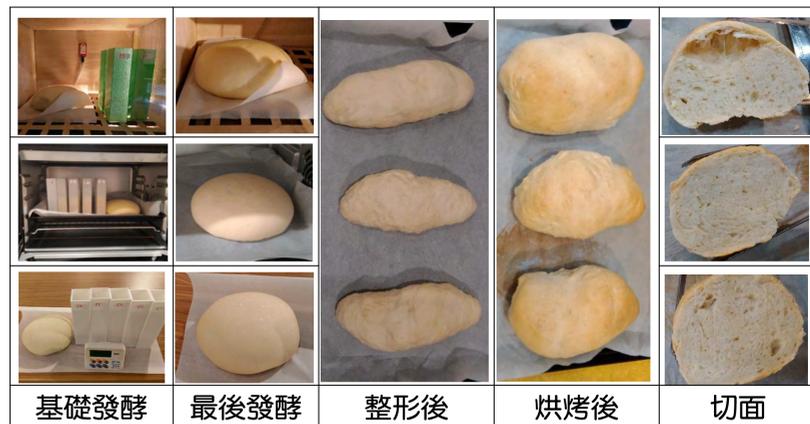
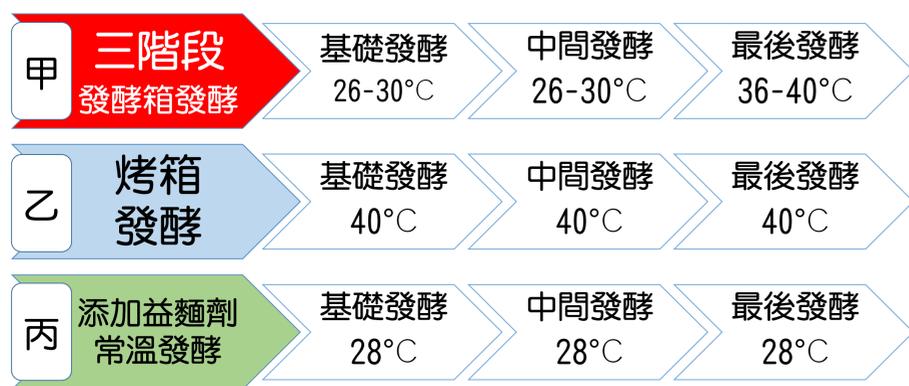
- 恆溫保濕發酵箱體積成長：90.41 %
- 一般環境發酵體積成長：28.53 %

- 溫度越高，發酵效果越好，體積膨脹越多。

研究架構 / 研究過程

● 研究四、比較利用三階段發酵箱與一般烤箱發酵製成麵包的結果差異

● 實驗 4-1 比較三階段發酵箱發酵、烤箱發酵與益麵劑製作的麵包差異



● 麵糰體積成長比：甲 > 乙 > 丙。

● 麵糰回彈程度比較：甲 > 乙 > 丙。

伍、研究結果

- 研究一：採用木箱作為箱體材質，利用25瓦燈泡加熱組當做發酵箱中維持溫度的熱源，採用霧化加濕器作為發酵箱中維持濕度的工具。
- 研究二：根據酵母發酵的需求來進行設計與製作，成功做出恆溫保濕發酵箱。
- 研究三：升級恆溫保濕發酵箱，設計第二代發酵箱—「三階段發酵箱」，可以讓使用者利用溫度及濕度的調整，達到三階段溫度、濕度的設定。
- 研究四：比較三階段發酵箱、烤箱與益麵劑製作出來的麵包，三階段發酵箱具有最佳體積膨脹結果，比較回彈程度，三階段發酵具有最理想成熟度。

柒、結論

- 我們可以利用自動控制的方式來協助麵包製作時三個不同階段的發酵需求，未來也可以針對不同的麵包製作法進行環境需求的調整。
- 三階段發酵箱製作出來的麵包，不僅幫助麵糰有較好的體積成長幅度，更能夠讓麵糰達成較理想的發酵成熟度。
- 三階段發酵箱可以在發酵過程中改善麵包的柔軟度，希望未來製作麵包的業者都能夠減少添加物的使用，讓大家的身體更加的健康，消失吧！益麵劑！

陸、研究討論與限制

- 本研究所設計的發酵箱，是專門設計給喜歡做麵包的麵包業餘愛好者，無法跟大型工廠或店家用於大量生產的大型發酵櫃相比較。
- 本研究是採用麵包製作法中的「直接法」進行製作，所以本研究是針對直接法麵糰在製作過程中發生的問題進行研究，有些製作方法也可以讓麵包變得比較軟，例如湯種法，但不是本研究討論的範圍。

捌、參考文獻

- 吉野精一 (2014)。麵包製作的科學。台北市：大境文化
- 黃東慶、徐志宏 (2016)。成功 VS. 失敗，完美麵包製作書。新北市：和平國際文化
- 太田幸子 (2016)。Step by Step 自製天然酵母作麵包。台北市：良品文化
- 周淑玲 (2013)。「天然手作麵包101道」周老師的美食教室。台北市：大境文化
- 黃苑亭、黃靜宜、朱盈璋 (2011)。麵糰發酵箱濕度控制系統之改良。中華民國第51屆中小學科展作品