

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(二)

佳作

032914

「麵麵」俱到—探討影響麵團韌性與彈性之不同
因素

學校名稱：桃園市立中壢國民中學

作者：	指導老師：
國二 邱璿綾	劉翰駿
國二 方樂恩	劉時豪

關鍵詞：麵團、韌性、彈性

摘要

為揭開「為何有的麵團彈牙、有的卻軟趴趴」的謎團，從發酵時間下手，結果發現時間越長，彈性和韌性就像漏氣的氣球般漸漸消失。那加多一點酵母呢？實驗後麵團反而更無力，像睡過頭一樣軟趴趴，我們驚覺，發酵速率才是關鍵！

轉向冷藏發酵，意外發現經過低溫「歷練」後的麵團更有韌性。接著加小蘇打，結果像打散的沙堡，彈性全失，推測是麵團原本的結構被破壞。

於是我們改走「澱粉之路」，發現加入富含支鏈澱粉的糯米就像讓麵團裝上彈性肌肉，彈性與韌性大大提升！而後經多次實驗調整比例，成功找到最佳配方。

最後設計「嚼勁實驗」，結果證實彈性與韌性與實際咀嚼感呈正相關。我們也將持續探索這條「麵團之路」，發掘更多有料又好咬的美味秘密！

壹、研究動機

還記得國小那年參加科學技能競賽，決賽題目竟然是和麵團相關的實驗！第一次捲起袖子揉麵團、盯著它從黏呼呼變成一團有彈性的「小怪獸」，那種變化實在太神奇，也讓我們對麵團的韌性與彈性充滿好奇。沒想到，那次的經驗就像播下一顆種子，讓我們一路對麵團的世界念念不忘。

麵團，可不只是單純的粉加水。它是饅頭的靈魂、包子的根基、麵條的骨架。做得好，Q彈有勁、香氣四溢；做不好，不是像石頭一樣硬梆梆，就是軟成一灘泥，讓人咬一口就想放下筷子。

問題是怎麼樣才算「做得好」？很多人憑經驗調整發酵時間、加減酵母、調整水分比例，但始終沒人說得出其中的「科學道理」。所以我們決定自己來搞懂它！

這項研究，就是為了解開麵團韌性與彈性的祕密。我們一一測試不同的環境條件、各種食品添加物，希望找出影響麵團結構的關鍵角色。從溫度到時間，從酵母到澱粉，每一項實驗就像在和麵團「對話」一般。

我們不只是想做出好吃的麵食，更希望能讓每一口Q彈的背後，都有一個經得起推敲的科學根據。也讓當年在教室裡玩麵團的小學生，把好奇變成了探索的動力，繼續揉出知識的韌性與彈性！

因此，我們希望透過本研究，用實驗說話，深入分析不同環境條件與添加物對麵團彈性與韌性的影響，找出其中的關鍵因素。不只為了解答「為什麼有的麵團這麼Q？」的疑問，更希望能為製作出理想口感的麵食，提供一套科學且實用的依據，也讓那段童年的好奇心，延續成今天這份研究的熱情與動力。

貳、研究目的

有了上面的動機，於是我們開始發想不同實驗的研究目的，希望透過這些實驗，達到我們動機所期望的研究結果。以下我們列了九項實驗目的，主要分成四大類：麵團的發酵影響、麵團的發酵溫度、麵團的成分以及延伸實驗中彈性、韌性、嚼勁之關聯與影響。

- 一、探討**麵團的發酵時間**對麵團的韌性、彈性之影響
- 二、探討**麵團的酵母菌質量**對麵團的韌性、彈性之影響
- 三、探討**麵團發酵溫度**對麵團的韌性、彈性之影響
- 四、探討**麵團的酸鹼度**對麵團的韌性、彈性之影響
- 五、探討**麵團添加的澱粉種類**對麵團的韌性、彈性之影響
- 六、探討**麵團添加糯米質量**對麵團的韌性、彈性之影響
- 七、延伸實驗：探討水洗過程不同搗的次數對麵團的嚼勁之影響
- 八、延伸實驗：探討不同的水洗次數對麵團的嚼勁之影響
- 九、延伸實驗：探討不同的彈性與韌性對麵團的嚼勁之影響

參、研究設備及器材

以下是我們的研究設備與器材，為了將實驗誤差降到最小，實驗中所使用的都是相同的設備及相同品牌的材料。麵粉的部分，本組考慮到實驗目的是為了製作出最具有韌性的麵團，因此研究中都是使用高筋麵粉來進行實驗。

實驗設備中的夾子、掛勾以及液壓裝置是本組為了檢測麵團特性而自製的。檢測韌性與彈性的夾子、掛鉤，主要發想來源是將麵團拉扯來檢測斷裂的難易度，在實驗中都是使用砝碼固定加重。液壓裝置是模仿人類咀嚼時的動作，讓嚼勁的檢測結果更加符合現實情況。麵團溫度計及麵團酸鹼度計是本組為了讓實驗的控制變因更準確而準備的，透過這些設備也可以讓本組的實驗更加精準。

一、實驗材料：

					
(圖1)南北坊的高筋麵粉	(圖2)水	(圖3)酵母菌	(圖4)小蘇打粉	(圖5)白米	(圖6)糯米

二、實驗設備：

(圖7)夾子、 掛勾	(圖8)尺	(圖9)攝影設備	(圖10)酸鹼檢 測計	(圖11)麵團溫 度計	(圖12)冰箱
(圖13)量杯	(圖14)砝碼	(圖15)液壓裝 置			

肆、文獻探討

在文獻探討中，主要分成四個部分，分別為名詞定義、原理、相關文獻以及歷屆相關科展分析，以下本組將分別介紹。

一、 相關名詞定義：

- (一) 較具韌性：本研究中，將較具韌性定義為受固定外力後的麵團伸長量較少。
(二) 較具彈性：本研究中，將較具彈性定義為「回彈率」較多。
(三) 回彈率：回彈率為移除外力後麵團回彈量除以受固定外力後的麵團伸長量所得到

的數值，並將該比值換算為百分比，即回彈率 = $\frac{\text{移除外力後麵團回彈量}}{\text{受固定外力後的麵團伸長量}} \times 100\%$

- (四) 較具嚼勁：本研究中，將較具嚼勁定義為麵團壓縮後擴張面積較小以及壓縮後回彈針筒刻度較多。

二、 原理

- (一) 發酵：將醣類（例如葡萄糖）分解成二氧化碳和乙醇（酒精），二氧化碳會使麵團膨脹變大，同時產生空隙和孔洞。
(二) 酵母菌發酵反應式： $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$ ，酵母將醣類（ $C_6H_{12}O_6$ ）分解成酒精（ C_2H_5OH ）、二氧化碳（ CO_2 ）及能量（ATP）。

(三) 韌性：反應物體形變的難易程度，**本研究中，將較具韌性定義為受固定外力後的麵團伸長量較少。**

(四) 彈性：物體受到外力時變形，並且當該外力解除時恢復其初始形狀的能力，**本研究中，將較具彈性定義為「回彈率」較多，而回彈率為移除外力後麵團回彈量除以受固定外力後的麵團伸長量所得到的數值，並將該比值換算為百分比。**

(五) 澱粉回凝作用：澱粉在冷卻時，分子重新排列並結晶，使食品變得更硬的現象。

(六) 澱粉糊化作用：澱粉在加熱過程中吸水膨脹並形成膠狀物質的過程。

三、 相關文獻

麵團是由麵粉與水混合後，經攪拌與揉合所形成的糊狀物，其韌性與彈性主要來自於麩質（gluten）的網狀結構。小麥麵粉中的麩質蛋白（glutenin與gliadin）在水與機械作用下交聯，形成彈性與延展性兼具的麩質網絡，是影響麵團物理性質的關鍵（山田昌治，2020）^[一]。

此外，發酵過程產生的氣體會膨脹麵團，使其變得蓬鬆，若發酵過度，會導致麩質結構破裂、麵團彈性與韌性下降。也有研究指出，酵母菌數量越多，發酵速率加快，但若未控制時間與溫度，反而會導致氣體積聚過快，使麵團支撐力下降。（謝宛兒等，2014）^[二]

麵團的質地亦與溫度有關。根據食品科學文獻，麵團受冷時，內部澱粉會產生回凝作用（retrogradation），導致結構緊實。而加熱則可能使澱粉糊化，形成較軟黏的結構，不利於保持彈性（陳盈方，2012）^[三]。此外，鹼性添加物如小蘇打常見於中式麵食配方中，但使用過量會使麵團蛋白質變性，影響整體結構。

在成分調整方面，有文章指出糯米粉含有較高比例的支鏈澱粉（amylopectin），能夠增強膠體結構的黏性與延展性（飯人，2017）^[四]，其應用在米食、年糕中已有良好實例。然而，目前鮮少研究探討其在小麥麵團中的應用與最佳配比。

最後，有關麵團「嚼勁」的主觀口感，多半以感官評量為主。部分研究嘗試量化麵團的回彈性與延展性，並與咀嚼感建立關聯性模型，顯示麵團的彈性越佳，主觀口感也越有「咬勁」。然而，目前對於回彈力與主觀口感的關係，仍缺乏簡明的測量與對照方法。

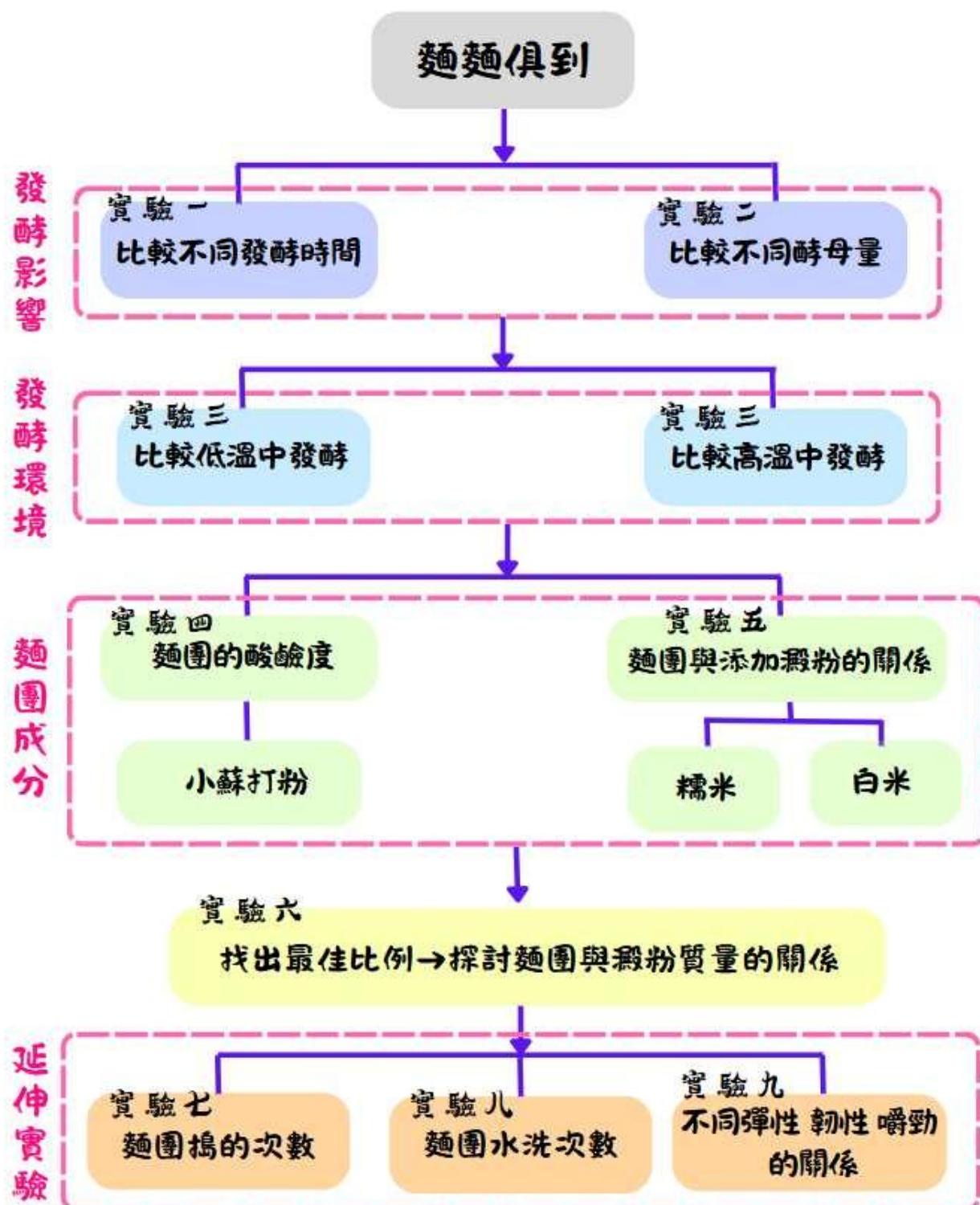
綜合以上文獻可知，發酵條件、溫度變化與成分配方皆會影響麵團的物理性質，但相關研究多集中於單一變因或成品分析，對於「如何提升韌性與彈性」仍缺乏系統性探討。因此，本組整合多項變因，針對麵團結構進行設計實驗，並以感官實驗佐證實驗成果，期望為麵食製作提供具科學依據的配方調整方向。

四、 歷屆相關科展分析

表1 歷屆分析比較

歷屆作品	作品內容
54屆 《有米樂－米製麵包成品之探討》 ^[二]	針對各種類型的米製麵包進行探討，比較其外觀和內部組織、鬆軟度、彈性、韌性和保存變化的差異。
60屆 《麵粉中的小「筋」靈～探討麵筋橡皮糖的最佳製作方法》 ^[五]	認識麵筋的特性及製作方法，並找出最具韌性的麵筋橡皮糖的配方及製作方法。
作品分析	
<ol style="list-style-type: none">1. 60屆的作品中，並未確切定義所謂的韌性、彈性與延展性，因此在本作品中，本組<u>利用夾子及掛鉤的方式</u>，檢測麵團在受到外力後的伸長量以及彈性變化，藉此來找出最具韌性的麵團。2. 麵包、麵筋的本質都源自於麵團發酵，但是54及60屆的作品都沒有提及麵團發酵的影響，因此本組將<u>麵團的發酵</u>列入研究目的，比較不同的發酵時間及發酵程度。3. 60屆的作品中探討了不同環境對於麵筋的影響，但並未提及不同環境的變化，也會導致結果不統一，因此本研究中的冷度及熱度實驗直接<u>使用麵團溫度器測量麵團的溫度</u>。4. 60屆的作品中使用料理盆疊壓洗麵，但是這樣不容易控制麵團，在洗麵的過程中重複疊壓相同位置也會使麵筋無法洗乾淨，因此本組使用<u>固定次數揉擗的方式</u>控制變因。5. 60屆的作品中探討了不同液體洗面的影響，結果只敘述含有鹽分的液體最好，但是其他液體可能是因為酸鹼或是其他合成成分而有不同的影響，因此本組將<u>不同酸鹼的麵團</u>列入研究目的來進一步探討。6. 54屆的作品中許多測量都是人工進行，有許多變因無法控制，因此本研究中使用<u>砝碼加重</u>來觀察麵團的變化。	

伍、研究流程概念圖



陸、研究過程與結果

一、檢測方式說明：

韌性：將麵團裁切為長 5 公分、寬 1 公分、高 1 公分的固定尺寸，並將其中一端固定於實驗裝置上。於另一端懸掛砝碼施加重量，觀察麵團在受力過程中的變形情形。當麵團在受力後形狀穩定、持續 5 秒未再變化時，即記錄其伸長量作為實驗數據。(圖16)。

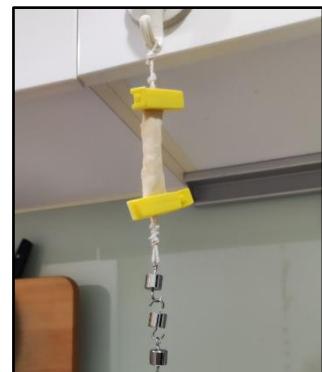


圖16 韌性及彈性檢測方式

彈力：將砝碼取下，待形狀皆無變化等待5秒時，測量並記錄其縮回的長度(圖16)。

嚼勁：將麵團(3*3*1公分)放入自製檢測裝置中，測量其擴張面積及回彈刻度。

檢測方式為壓下液壓裝置的針筒20ml(20格刻度)將麵團壓縮後測量其擴張面積與回彈刻度值(圖17、18)。

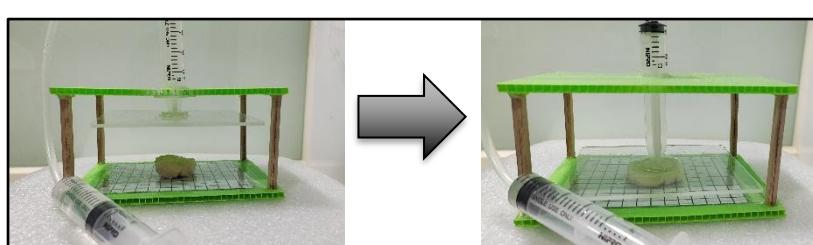


圖17 嚼勁檢測方式操作



圖18 嚼勁檢測裝置

二、實驗一：探討麵團的發酵影響：比較不同發酵時間。

在實驗一中使用麵團實驗中最常使用的麵粉：水，3：1，由於高筋麵粉麩質較高，且本研究主要是在探討麵團的韌性、彈性，因此選擇高筋麵粉作為實驗主材料來進行實驗。

(一) 實驗步驟：

1. 將麵粉與水以3：1 的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 在麵團中加入1公克酵母菌，充分混合均勻。
3. 將麵團分別置於室溫 25°C 下發酵 30 分鐘、60 分鐘及 90 分鐘。
4. 將麵團裁切成長 5 公分、寬 1 公分、高 1 公分的形狀，並置入模具中定型。
5. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配 10 公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
6. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
7. 接著逐步增加砝碼重量，重複第 1 至第 6 步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。

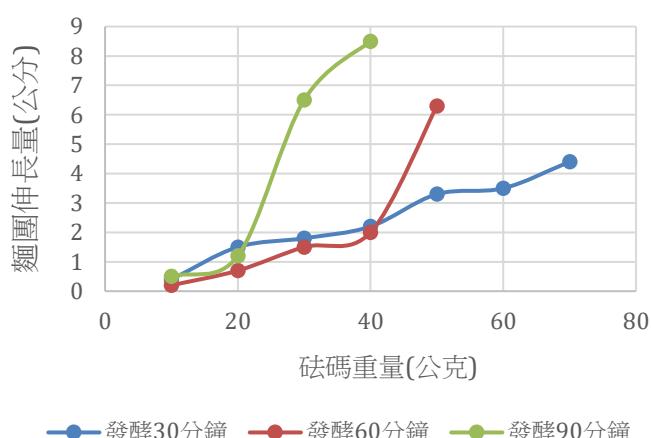
(二) 實驗結果與分析：

- 由附錄中實驗一的韌性數據以及實驗結果(圖20)可以得知，發酵30分鐘時，伸長量較穩定，能承受至70公克的重量，而在發酵60分鐘及90分鐘的數據中，則是在加重後伸長量突然增加，最大承載重量不到60公克，推測的原因是麵團在發酵後讓麵團內產生空氣，因此使發酵久的麵團結構較差。
- 麵團發酵的原理為酵母將醣類 ($C_6H_{12}O_6$) 分解成酒精 (C_2H_5OH)、二氧化碳 (CO_2) 及能量 (ATP)，可得化學式 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$ 。發酵的過程中會產生二氧化碳及酒精，讓麵團充滿空氣，因此麵包吃起來鬆軟有口感，但是在實驗中就會導致韌性較差。
- 由彈性的數據可知(圖21)，發酵30分鐘時，麵團的回彈率於承重30公克後，變化趨於穩定，但回彈率偏低，推測的原因是當麵團發酵過久時，麵團會較鬆軟，因此承重後沒有足夠的筋性可以回彈，所以數據結果較不明顯。(圖21)
- 綜合以上結果，若麵團發酵時間較短，麵團的內部結構會較紮實，韌性較大，彈性也較穩定，但回彈率偏低。而發酵較久的麵團，由於發酵較久使麵團內產生許多空氣，因此在受力時形變較大且不易承重，容易斷裂(圖19)。

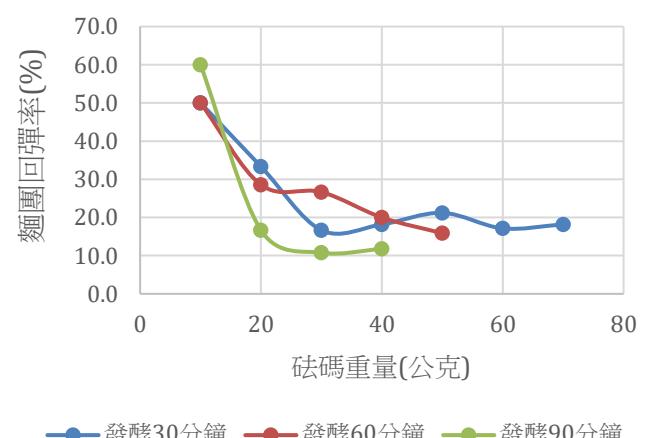


圖19發酵90分鐘的麵團

不同發酵時間與麵團伸長量之關係圖



不同發酵時間與麵團回彈率之關係圖



(圖20) 不同發酵時間與麵團伸長量之關係圖

(圖21) 不同發酵時間與麵團回彈率之關係圖

三、實驗二：探討麵團的發酵影響：比較不同酵母菌量。

由實驗一的結果可以發現，麵團發酵30分鐘的效果最好，不過回彈率還是偏低，推測是發酵較多所致，酵母菌也是造成發酵的主因之一，因此進一步的探討酵母菌的多寡是否會影響發酵後麵團的韌性、彈性。

(一) 實驗步驟：

1. 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 在麵團中加入不同質量的酵母菌，分別是0公克、0.2公克、0.4公克、0.6公克、0.8公克、1公克、5公克，充分混合均勻。
3. 將麵團置於室溫 25°C 下發酵30分鐘。
4. 將麵團裁切成長 5 公分、寬 1 公分、高 1 公分的形狀，並置入模具中定型。
5. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配 10 公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
6. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
7. 接著逐步增加砝碼重量，重複第 1 至第 6 步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。

(二) 實驗結果與分析：

1. 由附錄的實驗二數據及實驗結果(圖23)可知，當麵團中沒有加入任何酵母，伸長量是最少的，回彈率也相對穩定且較相同承重時來的高，推測是因為麵團在發酵時，會產生二氧化碳及酒精，讓麵團充滿空氣，導致麵團的結構較差，因此沒有加入酵母的麵團較具韌性，也較能承重。
2. 與實驗一做比較，可以推測若是麵團發酵時間過久或是加入過多的酵母菌，都會導致過度發酵。而由實驗一及實驗二發現，即使實驗二加入高達5公克的酵母菌，但是其結果較實驗一中發酵90分鐘的麵團好，推測雖然加入的酵母較多，但是時間還不足以使全部的酵母菌完全發酵，所以還保留麵團原本的筋性。
3. 當麵團過度發酵，會導致其失去表面張力，造成坑洞或是麵筋結構的破壞，當其受到外力時，結構就會很容易被拉長、斷裂，也缺乏彈性。

4. 綜合以上可知，若要使麵團保持一定的韌性與彈性，需要有適切的發酵時間以及酵母菌的量。因為本實驗主要是探討最具韌性的麵團，所以將以未加入酵母菌的麵團繼續後面的實驗。

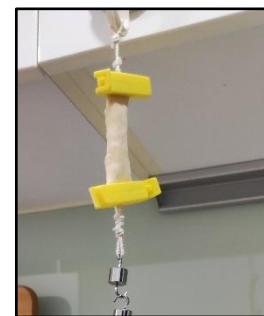
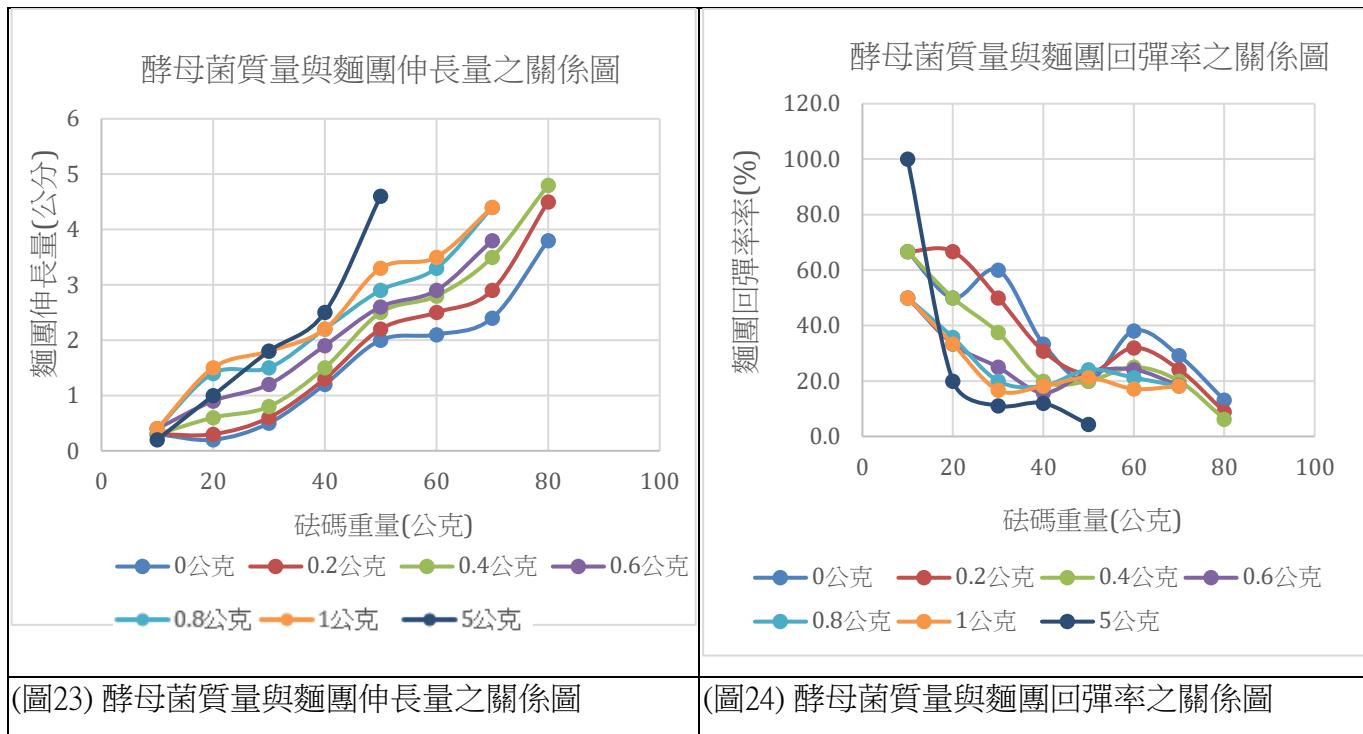


圖22 未加入酵母菌的麵團



四、實驗三：探討麵團的溫度：比較常溫、低溫與高溫發酵對麵團彈性與韌性的影響。

由實驗一、二可知，發酵程度會影響麵團的彈性與韌性，而溫度則是影響發酵速率的關鍵因素之一。因此，本組進一步設計實驗，探討溫度對麵團彈性與韌性的影響。

高溫實驗中，本組將環境溫度控制在 35°C ，並以隔水加熱的方式進行。根據文獻指出，酵母菌在約 35°C 時活性最強^[6]，溫度再高則活性迅速下降，甚至會導致酵母死亡。雖然本組在此實驗未額外添加酵母菌，但一般製作麵糰時，發酵溫度通常也不會超過 40°C 。因此，我們選擇酵母菌活性最佳的 35°C 作為高溫實驗的依據，藉此模擬一般麵糰常見的高溫條件，觀察溫度對麵糰韌性與彈性的影響。

(一) 低溫發酵實驗說明與步驟：

1. 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 麵團中不加入酵母菌。
3. 將麵團放置於均溫6°C的冰箱中，靜置30分鐘。
4. 取出麵團後測量麵團的溫度。(如下圖25)
5. 將麵團裁切成長5公分、寬1公分、高1公分的形狀，並置入模具中定型。
6. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配10公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
7. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
8. 接著逐步增加砝碼重量，重複第1至第6步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。

(二) 高溫發酵實驗說明與步驟：

1. 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 麵團中不加入酵母菌。
3. 將麵團放置於控溫35°C的水中，隔水放置，靜置30分鐘。
4. 取出麵團後測量麵團的溫度。(如下圖26)
5. 將麵團裁切成長5公分、寬1公分、高1公分的形狀，並置入模具中定型。
6. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配10公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
7. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
8. 接著逐步增加砝碼重量，重複第1至第6步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。

	
(圖25)發酵30分鐘後測量，冰 箱發酵之冷麵團(6.8°C)	(圖26)發酵30分鐘後測量， 隔水加熱之熱麵團(56.8°C)

(三) 實驗結果與分析：

- 由附錄中實驗三的實驗數據以及實驗結果(圖28)可知，當麵團放入冰箱後，韌性更好，可承重至80公克，且伸長量最低，推測是因為當麵團放進冰箱時，會隨著溫度的冷卻與水分的散失，使麵團中的澱粉逐漸變硬，也就是我們常聽到的「麵團老化」。
- 麵團老化的原因是「回凝作用」，所謂回凝作用，就是當澱粉中的膠體物質漸漸乾燥脫水後，會形成無法再行復水之固體物質，使結構變得堅硬，即為回凝(老化)之 β R澱粉，而將如麵團等含有澱粉的物質放入冰箱，就會導致此現象。(陳盈方，2012)^[3]。
- 由圖28、29可知，因為麵團老化的緣故，使得放過冰箱的麵團更加具有韌性，但是其彈性於外力超過50公克重時不如常溫的麵團，推測原因是回凝現象會使麵團結構更堅硬，導致其在受力大於50公克重時表面龜裂(圖27)，也無法大幅度的回彈；但其彈力於外力小於50公克重時，彈性與常溫相差不大，甚至於外力為40、50公克重時，彈性還略優於常溫。

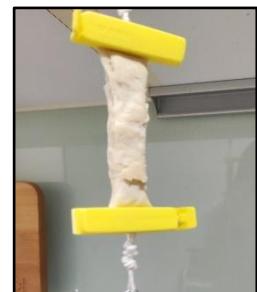
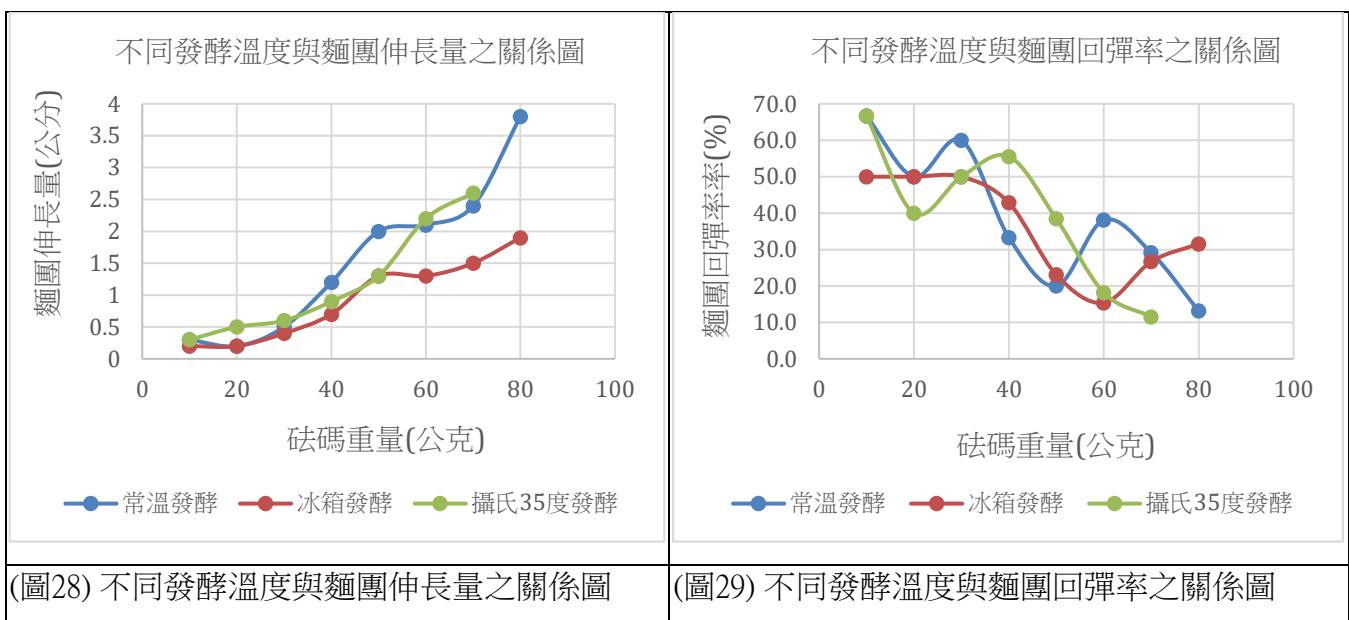


圖27 較冷的麵團



- 由附錄中的實驗三數據及實驗結果(圖28)可知，35°C發酵的麵團在彈性與韌性上均比常溫發酵與冰箱發酵來的差，且砝碼重增加至80公克時，麵團即斷裂，推測原因可能為溫度會加速麵團的發酵，產生與實驗一發酵時間增加，麵團內產生較多空氣，使麵團結構較差的現象。

- 綜合關於麵團於常溫、低溫與高溫發酵實驗，低溫發酵的澱粉回凝作用會使麵團結構更加堅固，造成韌性與彈性均較常溫與高溫來的好，因此本組將使用實驗數據相較穩定且韌性與彈性較佳之低溫發酵的冰麵團繼續實驗。

五、實驗四：探討麵團的成分：比較不同麵團的酸鹼度。

透過前面的實驗，可以知道麵團適合的發酵時間、溫度，本實驗在麵團中加入鹼性的小蘇打粉，並記錄其變化。

(一) 實驗說明與步驟：

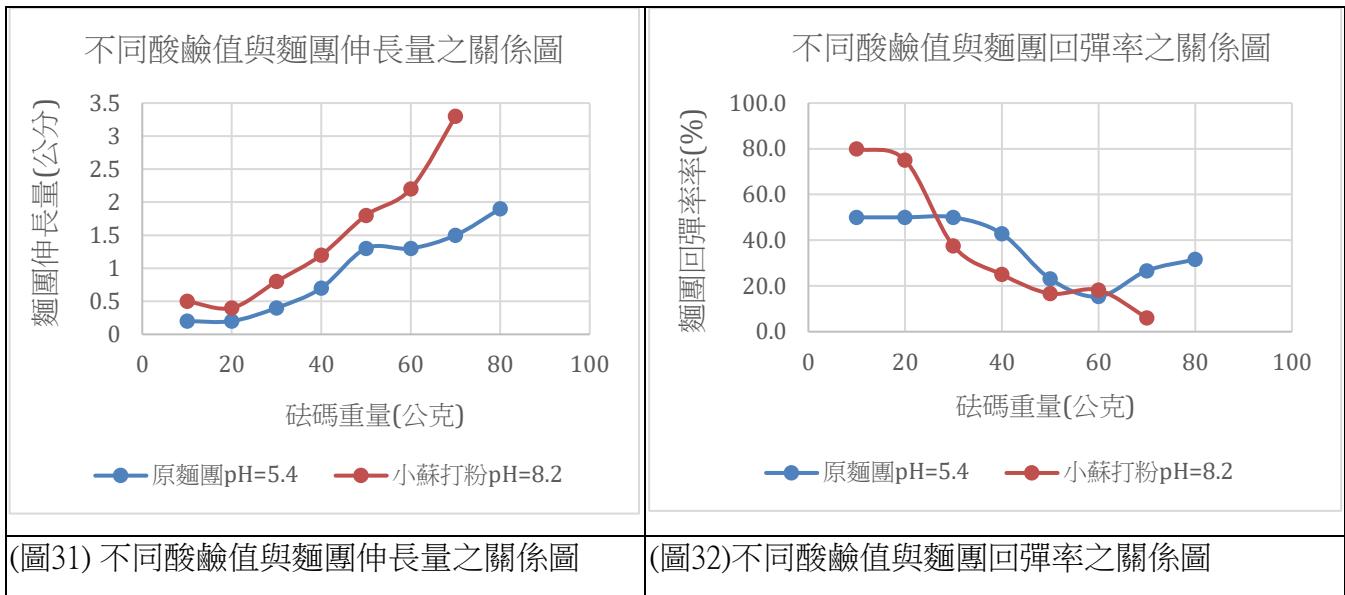
- 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
- 麵團中不加入酵母菌。
- 加入1公克小蘇打粉使麵團酸鹼中和。
- 將麵團放置於均溫6°C的冰箱中，靜置30分鐘。
- 將麵團裁切成長5公分、寬1公分、高1公分的形狀，並置入模具中定型。
- 取出麵團後測量麵團的溫度與酸鹼度。(如圖30)
- 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配10公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
- 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
- 接著逐步增加砝碼重量，重複第1至第6步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。



圖30 酸鹼度測量

(二) 實驗結果與分析：

- 由附錄中實驗四數據與實驗結果(圖31、32)可知，加入小蘇打粉的麵團韌性與彈性較差，推測的原因是本身為鹼性的小蘇打粉在遇到麵團中微弱的酸性物質，會產生二氧化碳，使麵團膨脹，達到類似酵母菌的效果。(漢克老師，2018)^[1]
- 當我們在麵團中加入小蘇打粉後，發現麵團的膨脹程度明顯增加，但同時其韌性與彈性卻變差。實驗過程中也觀察到，加入小蘇打粉的麵團在受力時的伸展狀況，與先前加入酵母菌所發酵的麵團相似，兩者在外觀上都顯得較為柔軟、缺乏筋性。因此可以推測，無論是酵母菌的氣體膨脹，或小蘇打粉的中和反應，都可能破壞麵團內部的結構，使其變得鬆散。由此推論，麵團內部結構的穩定性，正是影響其韌性與彈性的重要因素之一。



六、實驗五：探討麵團的成分：比較不同麵團添加澱粉種類對韌性與彈性之影響

從實驗一至三可知，發酵程度是影響麵團彈性與韌性的重要因素之一；而從實驗二與四則發現，當麵團結構遭到破壞時，其韌性與彈性也會明顯下降。因此，在本階段實驗中，我們選擇不再添加酵母菌與小蘇打粉，改以將麵團置於6°C冰箱中進行低溫發酵，同時添加其他具有黏性的澱粉，進一步探討這些條件對麵團韌性與彈性的影響。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 另外加入5公克煮熟之白米，均勻混合。
3. 麵團中不加入酵母菌。
4. 將麵團放置於均溫6°C的冰箱中，靜置30分鐘。
5. 將麵團裁切成長5公分、寬1公分、高1公分的形狀，並置入模具中定型。
6. 取出麵團後測量麵團的溫度。
7. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配10公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
8. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
9. 接著逐步增加砝碼重量，重複第1至第6步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。
10. 另一組實驗把步驟2換成煮熟之糯米，其餘1-9步驟均相同。

(二) 實驗結果與分析：

- 由附錄中的實驗五數據與實驗結果(圖35、36)可知，加入了糯米後的麵團韌性略差於原麵團，但彈性較原麵團好。推測的原因是糯米含有高比例的支鏈澱粉，因此當糯米加工為細緻糊狀物後，其澱粉膨脹並釋放出黏稠物質，使麵團的黏度增加，形成更好的連續網狀結構，也幫助麵團更好地保持形狀並提高其彈性。
- 加入白米的麵團效果較差，推測是因為白米的結構不易與其他成分充分融合，這樣的結構會使麵團在混合後缺乏足夠的內部結構支持，從而降低韌性。此外，白米中的澱粉主要由直鏈澱粉和支鏈澱粉組成，但直鏈澱粉的比例相對較高，直鏈澱粉在加熱時會較容易形成不易膨脹的結構，白米的澱粉會使混合物變得比較乾燥，導致受力時表面龜裂(如圖33)，因為它不像糯米那樣能夠形成具有高黏性的網狀結構(如圖35)。

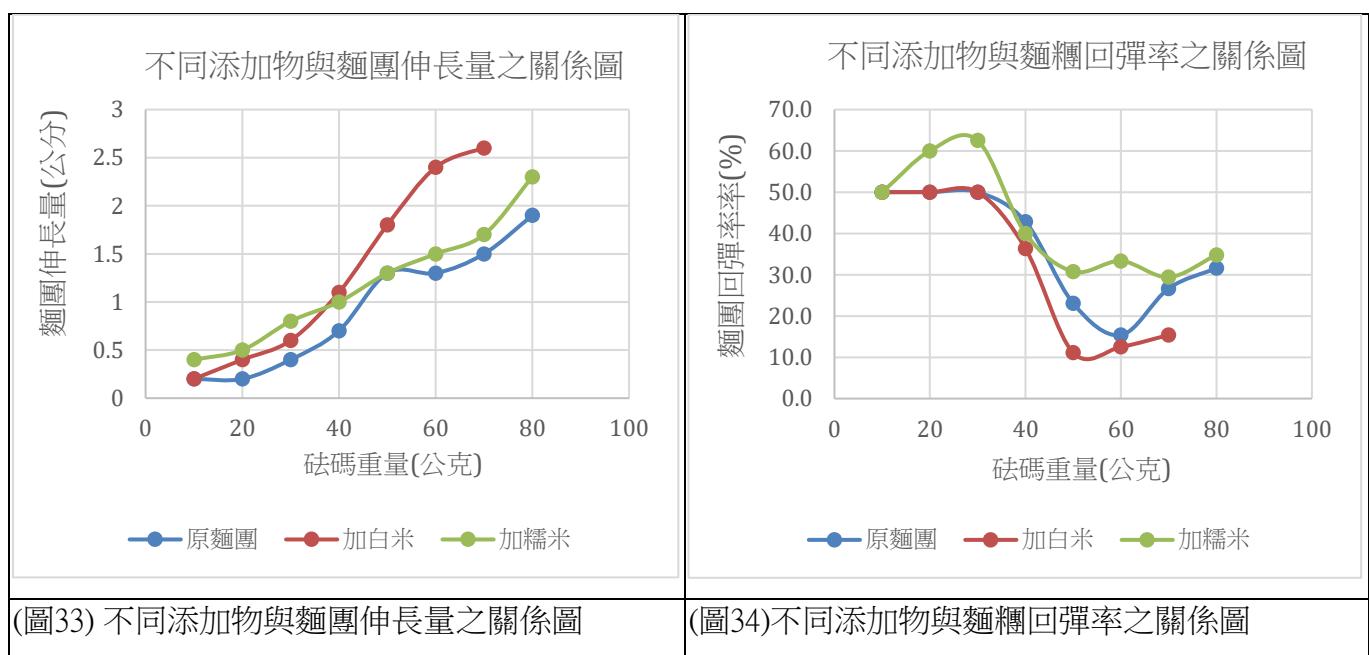


圖33 加白米



圖34 加糯米

- 綜合以上結果，白米與糯米的結構與特性不同，因此對麵團有不同的影響。糯米的高黏性和良好的膨脹性可以使麵團更具彈性，且麵團老化現象也較未添加糯米時來的少(圖35與圖27比較)，而白米的結構則會使麵團的韌性與彈性降低，使其變得比較乾燥與脆弱。



七、實驗六：探討麵團的成分：比較不同質量糯米添加。

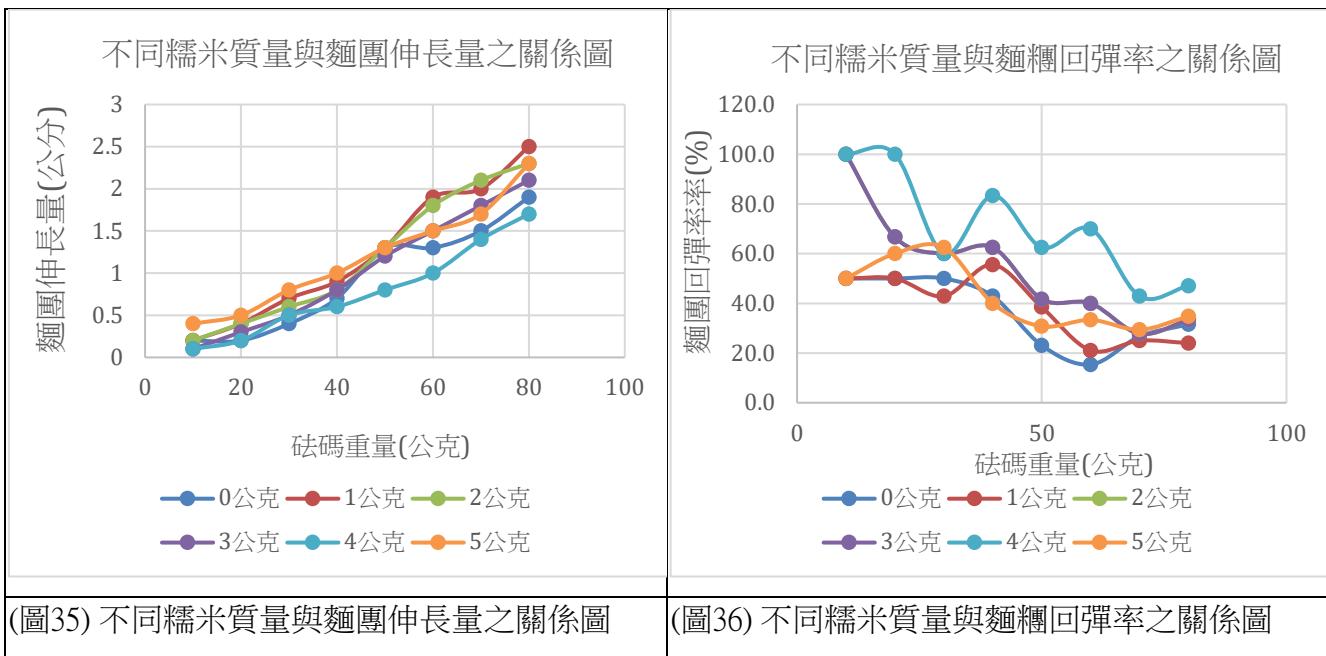
由實驗五發現，添加糯米能增加麵團的彈性，因此本組藉由改變糯米的質量，嘗試是否能找到能增加韌性與彈性的配方。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 將麵粉與水以3：1的比例混合(即麵粉54公克、水18公克)，揉製成麵團。
2. 在麵團中加入不同公克的糯米均勻混合，分別是0公克、1公克、2公克、3公克、4公克、5公克。
3. 麵團中不加入酵母菌。
4. 將麵團放置於均溫6°C的冰箱中，靜置30分鐘。
5. 將麵團裁切成長5公分、寬1公分、高1公分的形狀，並置入模具中定型。
6. 取出麵團後測量麵團的溫度。
7. 使用本組自製裝置(如圖16所示)，搭配10公克砝碼，測量麵團的韌性與彈性。
8. 每測試一次即更換新的麵團，重複進行三次實驗，並取其數據平均值。
9. 接著逐步增加砝碼重量，重複第1至第6步驟，直到麵團無法承重為止，即停止檢測。

(二) 實驗結果與分析：

1. 由附錄中的實驗六數據與實驗結果(表10)可知，添加糯米4公克時，其麵團伸長量會比未添加糯米的韌性與彈性來的好，證實糯米含有高比例的支鏈澱粉，因此當糯米加工為細緻糊狀物後，其澱粉膨脹並釋放出黏稠物質，使麵團的黏度增加，形成更好的連續網狀結構，可幫助麵團更好地保持形狀並提高其韌性及彈性。
2. 由此實驗本組找到了韌性與彈性最佳的配方，即為麵粉54公克，水18公克，僅添加4g的糯米，於6°C的冰箱中發酵30分鐘。



柒、延伸實驗

從以上實驗中可以知道不同因素對麵團的韌性及彈性之影響，本組想更進一步探討麵團的口感如何？所以本組更改檢測方式，以下圖37、38實驗器材來測試，此實驗有如咀嚼麵團的動作，所以本組把此實驗測試的目的稱為嚼勁，意義如下：

嚼勁：將麵團($3 \times 3 \times 1$ 公分)放入自製檢測裝置中，測量其針筒下壓 20ml (20格刻度)後擴張面積及回彈刻度。

檢測方式為壓下液壓裝置的針筒將麵團壓縮後測量其擴張面積與回彈刻度值。

(圖37、38)，下壓面積大，與回彈刻度多，則代表嚼勁好，雖然不如實際吃下的簡單易懂，但本組以量化的實驗，客觀的觀察麵團的口感。

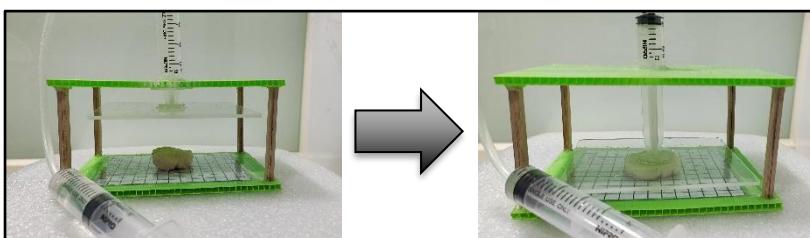


圖37 嚼勁檢測方式操作

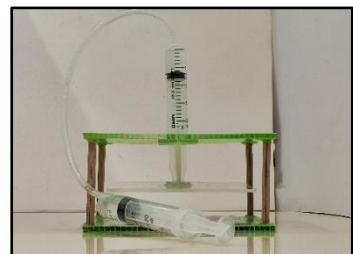


圖38嚼勁檢測裝置

由於原本實驗麵團具有黏性，會黏住器材干擾實驗結果，所以本組將麵團經水洗後，才進行嚼勁實驗，水洗為製作麵團常用的增加麵團筋性之方法，但水洗次數與水洗方式也會影響實驗結果，所以本組先行測試洗麵團與搗麵團的效果，本組加做以下實驗：

一、實驗七：探討麵團的不同搗的次數。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 製作出以上最具韌性的麵團。(實驗六添加糯米之最佳配方麵團)
2. 將麵團放入水中，依照節拍器0、80、120的速度分別搗麵團30秒。
3. 固定麵團為3*3*1公分的大小。
4. 將針筒下壓到底(20格、20ml)。
5. 檢測洗完的麵團之擴張面積與其使針筒回彈之值。
6. 每組實驗做三次，取數據平均值。

(二) 實驗數據：

表2 比較不同搗的次數實驗數據

節奏 檢測值	節奏0(不搗)	節奏80	節奏120
面積(格子個數)	7*7	6*6	4*4
回彈(針筒格數)	2	3	4

(三) 實驗結果分析：

1. 由數據(表2)可以得知，當節奏為120時，麵團擴大的面積及回彈量都較大，推測的原因是麵團的製作過程就是將麵團搓揉或搗爛後，使其中的筋性增加，因此當麵團搗的次數越多，其筋性就越大。
2. 麵團的筋性會影響其在壓縮後的擴張面積與回彈，因為當麵團筋性越大時，就越難將其壓縮，則擴張面積小，筋性小則反之。而若是麵團勁性大，壓縮後也會將液壓裝置的針筒往回推，則回彈較大。

二、實驗八：探討麵團的不同水洗次數。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 製作出以上最具韌性的麵團。(實驗六添加糯米之麵團)
2. 將麵團放入水中，依照節拍器120的速度搗麵團30秒。
3. 洗麵團的次數分別為一次、三次、五次。
4. 固定麵團為3*3*1的大小。
5. 將針筒下壓到底(20格、20ml)。
6. 檢測洗完的麵團之擴張面積與期使針筒回彈之值。
7. 每組實驗做三次，取數據平均值。

(二) 實驗數據： 表3 比較不同水洗次數實驗數據

節奏 檢測值	水洗一次	水洗三次	水洗五次
面積(格子個數)	4*4	4*4	幾乎不變
回彈(針筒格數)	4	5	6

(三) 實驗結果分析：

- 由以上數據(表3)可以得知，水洗五次的數據優於水洗一次，可知，水洗的次數增加，會增加麵團的筋性。推測的原因是麵團提高筋性主要是透過搓揉或搗，以及多次重複水洗，用水重複洗麵團，要把麵團中的澱粉洗掉，留下蛋白質，讓蛋白質的成分在麵團中的比重因此提高而筋性更佳，出現麵團更有嚼勁的現象。
- 經過兩個延伸實驗可以知道，若是要增加麵團的筋性，需將麵團多次搓揉或搗，也應重複水洗多次，方可製作出較具嚼勁的麵團。

三、實驗九：探討不同配方麵團的嚼勁。

(一) 實驗說明與步驟：

- 分別使用實驗六的最佳配方、實驗三的常溫發酵麵團與低溫發酵麵團進行以下實驗步驟。
- 將麵團放入水中，依照節拍器120的速度搗麵團30秒，重複洗五次。
- 將麵團取出。
- 固定麵團為3*3*1的大小。
- 將針筒下壓到底(20格、20ml)。
- 檢測洗完的麵團之擴張面積與期使針筒回彈之值。
- 每組實驗做三次，取數據平均值。

(二) 實驗數據：

表4 比較不同不同配方麵團的嚼

麵團種類 檢測值	實驗六最佳配方	常溫發酵麵團	低溫發酵麵團
面積(格子個數)	幾乎不變	5*5	4*4
回彈(針筒格數)	6	4	5

(三) 實驗結果分析：

由以上數據(表4)可以得知，較具韌性與彈性的實驗六最佳配方，同時嚼勁也會較好，低溫發酵麵團則次之，再次驗證韌性與彈性與嚼勁有明顯正相關，韌性與彈性較好，則嚼勁也較好，本組可客觀推論吃起來的口感較富有彈性。

捌、結論

- 一、麵團發酵的過程中會產生二氧化碳及酒精，讓麵團充滿空氣，吃起來鬆軟有口感，但是在實驗中會導致韌性較差，因此若麵團發酵時間較短，麵團的內部結構會較紮實，韌性較大，也會間接影響到受力後的回彈率。
- 二、若要使麵團保持一定的韌性與彈性，需要有適切的發酵時間以及不可添加酵母菌協助發酵。當麵團過度發酵，會導致其失去表面張力，造成坑洞或是麵筋結構的破壞，當其受到外力時，結構就會很容易被拉長、斷裂，也缺乏彈性，為此本組額外多做加入酵母菌0.2、0.4、0.6、0.8公克的實驗，發現最終還是不添加酵母菌，韌性與彈性會最佳。
- 三、當麵團放入冰箱後，讓麵團於6°C中發酵，韌性更好，推測是因為當麵團放進冰箱時，會隨著溫度的冷卻與水分的散失，使麵團老化，其中的澱粉造成回凝作用，使其結構更穩固，但因澱粉變硬的緣故，彈性在施力大於50公克重時，彈性較差，但若外力低於50公克重，不但韌性較好，且彈性與常溫相差不大，甚至在外力30、40公克重時，彈性比常溫來的好。
- 四、高溫(35°C)發酵的麵團在彈性與韌性上均比常溫發酵與冰箱發酵來的差，且砝碼重增加至80公克時，麵團即斷裂，推測原因為溫度會加速麵團的發酵，麵團內產生較多空氣，使麵團結構較差的現象
- 五、本身為鹼性的小蘇打粉在遇到麵團中澱粉的酸，會產生二氧化碳，使麵團膨脹，達到類似酵母菌的效果，破壞麵團結構，因此韌性與彈性都較差。

六、白米與糯米在結構與特性上有所不同，因此對麵團產生不同的影響。糯米具有較高的黏性與良好的膨脹性，可使麵團更具韌性與彈性，且其老化現象最不明顯。相較之下，白米的結構會降低麵團的韌性，導致成品較乾燥、脆弱。根據本組實驗結果，目前發現效果最佳的配方為：添加4公克糯米粉、不加酵母菌，並將麵團於6°C冰箱中發酵30分鐘。由此可推論，麵團的韌性與彈性主要受到其結構的影響，且與發酵時間、溫度和添加物息息相關。

七、麵團的筋性會影響其在壓縮後的擴張面積與回彈，當麵團筋性越大時，就越難將其壓縮，則擴張面積小，筋性小則易壓縮，擴張面積大。

八、若是要增加麵團的筋性，需將麵團多次搓揉或搗，也應重複水洗多次，方可製作出較具嚼勁的麵團。

九、最後比較韌性與彈性好的麵團，同時經過水洗後，嚼勁也會比較好。

玖、未來展望

食品化學的實驗難度和失敗率都非常高，再加上環境及器材都須控制，所以需要許多時間及耐心來完成實驗。本組控制麵團的搓揉時間、地點以及麵團本身的溫度及水分比例，也將每組實驗做三次取數據平均值，將實驗可能造成的誤差降到最小。

在實驗前，利用之前的比賽經驗以及閱讀的相關文獻，發現雖然麵團是生活中常見的食物原料，但大多都是利用加鹽巴等方式增加其筋性，這使本組想要更進一步的探討不同影響性，嘗試加入不同物質，透過化學變化，增加麵團的韌性。本組也透過自製裝置檢測了不同變因的麵團韌性、彈性、嚼勁。

在實驗的過程中，本組發現主要影響麵團韌性的重點在於發酵和澱粉，過度發酵使得麵團充滿空氣，內部結構較差，韌性較差，而低溫發酵或是添加部分澱粉都可以使麵團更具韌性。如果在未來有時間，本組想要持續研究不同物質對於麵團的影響性，更進一步的探討什麼樣的澱粉可以增加麵團的韌性，以及觀察麵團內部結構的變化，另外想克服洗麵團的濕滑，讓本組的韌性與彈性實驗能夠有一致的指標，進而使研究更加完整。

本組也希望將麵團韌性的實驗更充分地應用在生活中，藉此了解如何製作出更具韌性的麵食、麵麩。本組嘗試將麵團透過水煮、烤以及氣炸等方式烹調，雖然保有其韌性與筋性，但是卻與市售的麵麩口感不相符，本組推測是因為實驗後的麵團未經乾燥等處理就直接烹調，使其口感不佳。未來，本組會更進一步去探討加熱後的麵團，期許能達到口感較佳且更具韌性的麵麩。

拾、附錄

一、實驗一數據：

表5 比較不同發酵時間實驗數據

重量	韌性			彈性				
	加重前 (公分)	加重後 (公分)	伸長量 (公分)	加重後 (公分)	回彈前 (公分)	回彈量 (公分)	回彈率 (%)	
發酵 30 分鐘	10g	5.5	5.9	0.4	5.9	5.7	0.2	50.0
	20g	5.5	7.0	1.5	7.0	6.5	0.5	33.3
	30g	5.5	7.3	1.8	7.3	7.0	0.3	16.7
	40g	5.5	7.7	2.2	7.7	7.3	0.4	18.2
	50g	5.4	8.7	3.3	8.7	8.0	0.7	21.2
	60g	5.5	9.0	3.5	9.0	8.4	0.6	17.1
	70g	5.1	9.5	4.4	9.5	8.7	0.8	18.2
	80g	5.3	X					
發酵 60 分鐘	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1	50.0
	20g	5	5.7	0.7	5.7	5.5	0.2	28.6
	30g	5.2	6.7	1.5	6.7	6.3	0.4	26.7
	40g	5	7.0	2.0	7.0	6.6	0.4	20.0
	50g	5.2	11.5	6.3	11.5	10.5	1.0	15.9
	60g	5.2	X					
發酵 90 分鐘	10g	5.5	6.0	0.5	6.0	5.7	0.3	60.0
	20g	5.3	6.5	1.2	6.5	6.3	0.2	16.7
	30g	5.5	12.0	6.5	12.0	11.3	0.7	10.8
	40g	5.5	14.0	8.5	14.0	13.0	1.0	11.8
	50g	5.5	X					

二、實驗二數據：

表6 比較不同發酵程度實驗數據

重量	韌性			彈性				
	加重前 (公分)	加重後 (公分)	伸長量 (公分)	加重後 (公分)	回彈後 (公分)	回彈量 (公分)	回彈率(%)	
酵母 0 公克	10g	5.1	5.4	0.3	5.4	5.2	0.2	66.7
	20g	5.3	5.5	0.2	5.5	5.4	0.1	50.0
	30g	5.2	5.7	0.5	5.7	5.4	0.3	60.0
	40g	5.2	6.4	1.2	6.4	6.0	0.4	33.3
	50g	5.2	7.2	2.0	7.2	6.8	0.4	20.0
	60g	5.2	7.3	2.1	7.3	6.5	0.8	38.1
	70g	5.3	7.7	2.4	7.7	7.0	0.7	29.2
	80g	5.2	9.0	3.8	9.0	8.5	0.5	13.2
	90g	5.1	X					
酵母 0.2 公克	10g	5.1	5.4	0.3	5.4	5.2	0.2	66.7
	20g	5.3	5.6	0.3	5.6	5.4	0.2	66.7
	30g	5.2	5.8	0.6	5.8	5.5	0.3	50.0
	40g	5.3	6.6	1.3	6.6	6.2	0.4	30.8
	50g	5.3	7.5	2.2	7.5	7.2	0.5	22.7
	60g	5.2	7.7	2.5	7.7	6.9	0.8	32.0
	70g	5.1	8.0	2.9	8.0	7.3	0.7	24.1
	80g	5.2	9.7	4.5	9.7	9.3	0.4	8.9
	90g	5.1	X					
酵母 0.4 公克	10g	5.1	5.4	0.3	5.4	5.2	0.2	66.7
	20g	5.3	5.9	0.6	5.9	5.6	0.3	50.0
	30g	5.3	6.1	0.8	6.1	5.8	0.3	37.5
	40g	5.3	6.8	1.5	6.8	6.5	0.3	20.0

	50g	5.2	7.7	2.5	7.7	7.2	0.5	20.0
	60g	5.2	8.0	2.8	8.0	7.3	0.7	25.0
	70g	5.1	8.6	3.5	8.6	7.9	0.7	20.0
	80g	5.2	10.0	4.8	10.0	9.7	0.3	6.3
	90g	5.3	X					
酵母 1 公克	10g	5.5	5.9	0.4	5.9	5.7	0.2	50.0
	20g	5.5	7.0	1.5	7.0	6.5	0.5	33.3
	30g	5.5	7.3	1.8	7.3	7.0	0.3	16.7
	40g	5.5	7.7	2.2	7.7	7.3	0.4	18.2
	50g	5.4	8.7	3.3	8.7	8.0	0.7	21.2
	60g	5.5	9.0	3.5	9.0	8.4	0.6	17.1
	70g	5.1	9.5	4.4	9.5	8.7	0.8	18.2
	80g	5.3	X					
酵母 5 公克	10g	5.3	5.5	0.2	5.5	5.3	0.2	100.0
	20g	5.2	6.2	1.0	6.2	6.0	0.2	20.0
	30g	5.2	7.0	1.8	7.0	6.8	0.2	11.1
	40g	5.3	7.8	2.5	7.8	7.5	0.3	12.0
	50g	5.4	10.0	4.6	10.0	9.8	0.2	4.3
	60g	5.3	X					

三、實驗三數據：

表7 比較不同麵團冷度實驗數據

	重量	韌性			彈性			
		加重前 (公分)	加重後 (公分)	伸長量 (公分)	加重後 (公分)	回彈後 (公分)	回彈量 (公分)	回彈率 (%)
常溫	10g	5.1	5.4	0.3	5.4	5.2	0.2	66.7
	20g	5.3	5.5	0.2	5.5	5.4	0.1	50.0

麵團 29.7度	30g	5.2	5.7	0.5	5.7	5.4	0.3	60.0
	40g	5.2	6.4	1.2	6.4	6.0	0.4	33.3
	50g	5.2	7.2	2	7.2	6.8	0.4	20.0
	60g	5.2	7.3	2.1	7.3	6.5	0.8	38.1
	70g	5.3	7.7	2.4	7.7	7.0	0.7	29.2
	80g	5.2	9.0	3.8	9.0	8.5	0.5	13.2
	90g	5.1	X					
冰箱麵團 6.8度	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1	50.0
	20g	5.2	5.4	0.2	5.4	5.3	0.1	50.0
	30g	5.2	5.6	0.4	5.6	5.2	0.2	50.0
	40g	5.1	5.8	0.7	5.8	5.5	0.3	42.9
	50g	5.1	6.4	1.3	6.4	6.1	0.3	23.1
	60g	5.3	6.6	1.3	6.6	6.4	0.2	15.4
	70g	5.3	6.8	1.5	6.8	6.4	0.4	26.7
	80g	5.2	7.1	1.9	7.1	6.5	0.6	31.6
	90g	5.3	X					
攝氏 3.5度 發酵麵團 5.6.8度	10g	5.1	5.4	0.3	5.4	5.2	0.2	66.7
	20g	5.1	5.6	0.5	5.6	5.4	0.2	40.0
	30g	5.2	5.8	0.6	5.8	5.5	0.3	50.0
	40g	5.3	6.2	0.9	6.2	5.7	0.5	55.6
	50g	5.1	6.4	1.3	6.4	5.9	0.5	38.5
	60g	5.2	7.4	2.2	7.4	7.0	0.4	18.2
	70g	5.2	7.8	2.6	7.8	7.5	0.3	11.5
	80g	5.1	X					

四、實驗四數據：

表8比較不同麵團酸鹼度實驗數據

重量	韌性			彈性				
	加重前 (公分)	加重後 (公分)	伸長量 (公分)	加重後 (公分)	回彈後 (公分)	回彈量 (公分)	回彈率 (%)	
原 麵 團 PH 5.4 弱 酸	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1	50.0
	20g	5.2	5.4	0.2	5.4	5.3	0.1	50.0
	30g	5.2	5.6	0.4	5.6	5.2	0.2	50.0
	40g	5.1	5.8	0.7	5.8	5.5	0.3	42.9
	50g	5.1	6.4	1.3	6.4	6.1	0.3	23.1
	60g	5.3	6.6	1.3	6.6	6.4	0.2	15.4
	70g	5.3	6.8	1.5	6.8	6.4	0.4	26.7
	80g	5.2	7.1	1.9	7.1	6.5	0.6	31.6
	90g	5.3	X					
小 蘇 打 粉 麵 團 PH 8.2 弱 鹼	10g	5.4	5.9	0.5	5.9	5.5	0.4	80.0
	20g	5.2	5.6	0.4	5.6	5.3	0.3	75.0
	30g	5.3	6.1	0.8	6.1	5.8	0.3	37.5
	40g	5.5	6.7	1.2	6.7	6.4	0.3	25.0
	50g	5.2	7.0	1.8	7.0	6.7	0.3	16.7
	60g	5.3	7.5	2.2	7.5	7.1	0.4	18.2
	70g	5.4	8.7	3.3	8.7	8.5	0.2	6.1
	80g	5.3	X					

五、實驗五數據：

表9 比較不同麵團澱粉含量實驗數據

	重量	韌性			彈性		
		加重前 (公分)	加重後 (公分)	伸長量 (公分)	加重後 (公分)	回彈後 (公分)	回彈量 (公分)
原 麵 團	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1
	20g	5.2	5.4	0.2	5.4	5.3	0.1
	30g	5.2	5.6	0.4	5.6	5.2	0.2
	40g	5.1	5.8	0.7	5.8	5.5	0.3
	50g	5.1	6.4	1.3	6.4	6.1	0.3
	60g	5.3	6.6	1.3	6.6	6.4	0.2
	70g	5.3	6.8	1.5	6.8	6.4	0.4
	80g	5.2	7.1	1.9	7.1	6.5	0.6
	90g	5.3	X				
加 白 米	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1
	20g	5.1	5.5	0.4	5.5	5.3	0.2
	30g	5.2	5.8	0.6	5.8	5.5	0.3
	40g	5.1	6.2	1.1	6.2	5.8	0.4
	50g	5.2	7.0	1.8	7.0	6.8	0.2
	60g	5.1	7.5	2.4	7.5	7.2	0.3
	70g	5.2	7.8	2.6	7.8	7.4	0.4
	80g	5.2.	X				
加 糯 米	10g	5.3	5.7	0.4	5.7	5.5	0.2
	20g	5.2	5.7	0.5	5.7	5.4	0.3
	30g	5.3	6.1	0.8	6.1	5.6	0.5
	40g	5.2	6.2	1.0	6.2	5.6	0.4
	50g	5.2	6.5	1.3	6.5	6.1	0.4

	60g	5.1	6.6	1.5	6.6	6.1	0.5	33.3
	70g	5.3	7.0	1.7	7.0	6.5	0.5	29.4
	80g	5.3	7.6	2.3	7.6	6.8	0.8	34.8
	90g	5.1	X					

六、實驗六數據：

表10 比較不同麵團澱粉含量實驗數據

加 糬 米 1g	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1	50.0
	20g	5.2	5.6	0.4	5.6	5.4	0.2	50.0
	30g	5.2	5.9	0.7	5.9	5.6	0.3	42.9
	40g	5.2	6.1	0.9	6.1	5.6	0.5	55.6
	50g	5.2	6.5	1.3	6.5	6.0	0.5	38.5
	60g	5.1	7.0	1.9	7.0	6.6	0.4	21.1
	70g	5.2	7.2	2.0	7.2	6.7	0.5	25.0
	80g	5.1	7.6	2.5	7.6	7.0	0.6	24.0
	90g	5.1	X					
加 糬 米 2g	10g	5.1	5.3	0.2	5.3	5.2	0.1	50.0
	20g	5.1	5.5	0.4	5.5	5.3	0.2	50.0
	30g	5.2	5.8	0.6	5.8	5.5	0.3	50.0
	40g	5.1	5.9	0.8	5.9	5.4	0.5	62.5
	50g	5.2	6.5	1.3	6.5	6.0	0.5	38.5
	60g	5.1	5.9	1.8	5.9	6.6	0.5	27.8
	70g	5.2	7.3	2.1	7.3	6.7	0.5	23.8
	80g	5.1	7.4	2.3	7.4	7.0	0.6	26.1
	90g	5.1	X					
加 糬	10g	5.1	5.3	0.1	5.3	5.2	0.1	100.0
	20g	5.2	5.6	0.3	5.6	5.4	0.2	66.7

米 3g	30g	5.2	5.9	0.5	5.9	5.6	0.3	60.0
	40g	5.2	6.1	0.8	6.1	5.6	0.5	62.5
	50g	5.2	6.5	1.2	6.5	6.0	0.5	41.7
	60g	5.1	7.0	1.5	7.0	6.6	0.6	40.0
	70g	5.2	7.2	1.8	7.2	6.7	0.5	27.8
	80g	5.1	7.6	2.1	7.6	7.0	0.7	33.3
	90g	5.1	X					
加 糯 米 4g	10g	5.1	5.3	0.1	5.3	5.2	0.1	100.0
	20g	5.2	5.6	0.2	5.6	5.4	0.2	100.0
	30g	5.2	5.9	0.5	5.9	5.6	0.3	60.0
	40g	5.2	6.1	0.6	6.1	5.6	0.5	83.3
	50g	5.2	6.5	0.8	6.5	6.0	0.5	62.5
	60g	5.1	7.0	1.0	7.0	6.6	0.7	70.0
	70g	5.2	7.2	1.4	7.2	6.7	0.6	42.9
	80g	5.1	7.6	1.7	7.6	7.0	0.8	47.1
	90g	5.1	X					

拾壹、參考文獻資料

- 一、 山田昌治（2020）。《麵的科學：麵粉如何創造豐富的口感、香氣和美味》（吳佩俞譯）。台中市：晨星出版社。
- 二、 謝涴兒等(2014)。有米樂—米製麵包成品之探討。中華民國第54屆中小學科學展覽會作品說明書。取自<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/080823.pdf>。
- 三、 農業部臺東區農業改良場 陳盈方(2012)。米食加工產品之開發－稻米預糊化技術。取自<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=2446494>
- 四、 飯人(2017)。《飯人食堂》。寫樂文化出版。取自<https://www.commonhealth.com.tw/article/76493>
- 五、 張恩慈等(2020)。麵粉中的小「筋」靈~探討麵筋橡皮糖的最佳製作方法。中華民國第60屆中小學科學展覽會作品說明書。取自<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-080213.pdf>。
- 六、 查無作者(2025)。烘焙專家解析乾酵母、速發酵母使用方法與差異。全國食材廣場。取自<https://www.cross-country.com.tw/Article/Detail/90471?lang=zh-TW>
- 七、 彼得·萊因哈特(2019)。發酵過程如何改變麵團？這期間發生了什麼事？。The New Lens。取自<https://www.thenewslens.com/article/119004>。
- 八、 鄭惠文(2023)。為何酵母可以讓麵包膨脹？發酵的原理是什麼？。飲食信仰。取自[http://www.dietitian-tracy.com/yeast/](https://www.dietitian-tracy.com/yeast/)。
- 九、 黃俞菱(2024)。揭開酵母菌的真面目。國語日報。取自https://www.mdnkids.com/content.asp?Link_String_=207L00000HOBBOS。
- 十、 漢克老師(2018)。饅頭麵團加「鹹水」更好吃？各季節用量也不同！。食譜自由配。取自<https://food.ltn.com.tw/article/7483>。
- 十一、 查無作者(2022)。麵團過度發酵(over-Prove)會如何？。Ciao!Kitchen。取自<https://ciao.kitchen/over-proof/>。
- 十二、 生活中心(2018)。麵包吃不完放冷藏？錯！會加速澱粉老化、變乾變硬。Ettoday健康雲。取自<https://health.ettoday.net/news/1169050>。
- 十三、 姚函均(110)。探討冷凍麵團之麵包品質評估。國立臺灣海洋大學食品科學系。取自<https://fs.ntou.edu.tw/p/405-1073-68315,c3956.php?Lang=zh-tw>
- 十四、 所有圖片與表格資料，皆為學生自行拍攝與設計。

【評語】032914

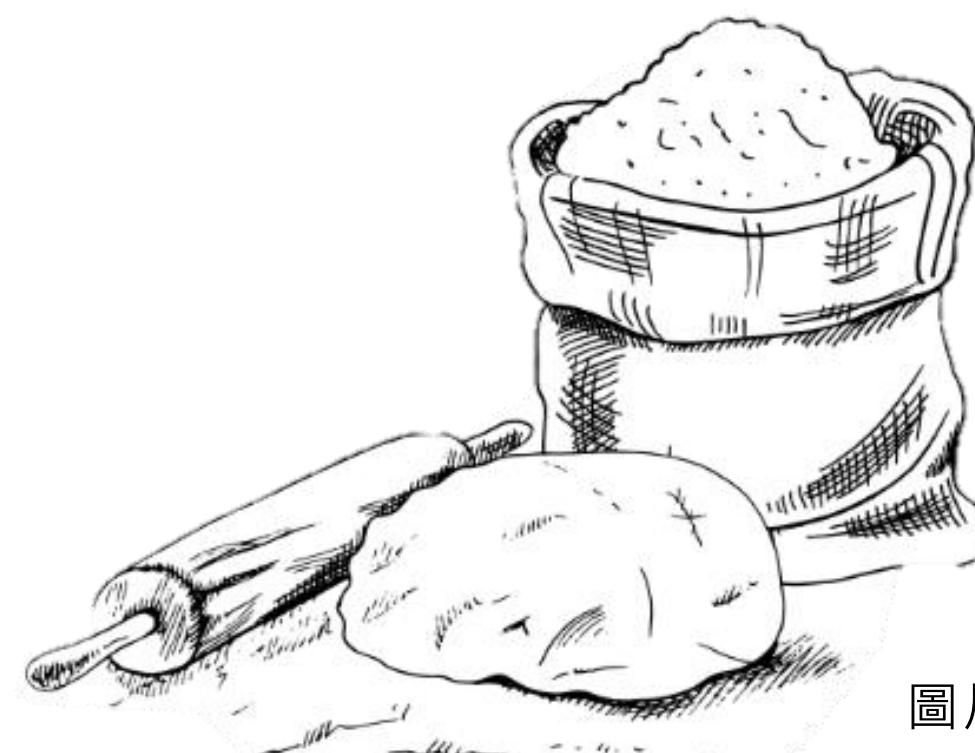
本作品旨在探討影響麵團韌性與彈性之各種因素，透過檢索歷屆相關主題的作品，特意補足過往研究有缺失之處。實驗的評估透過三次取樣的數據的平均，減少可能的實驗誤差。由作品中可看出參賽學生對研究的熱情。以下建議供同學參考：

1. 實驗結果顯示蛋白質量會影響麵團韌性與彈性，參賽者後續可查找資料，找出影響麵團韌性與彈性的作用力，再加入有可能影響此一作用力的蛋白質來源，實證蛋白質對麵團韌性與彈性的影響。
2. 同學有描述進行三次量測，但是否有對不同批次的成品進行量測以確保不同批次的相似性？量測的標準差為何？應加以說明。
3. P.11 中，不論低溫或高溫發酵的實驗、以及大多數後續的實驗均說明「不加入酵母菌」，則麵團如何發酵？應詳加說明。
4. 自製實驗測試機具，惟與歷屆科展的實驗設計多有相似，建議詳述其間的差異。
5. P.18 中，搗麵團的次數依據節拍器的速度，每次搗的力量大小亦應說明。
6. 附錄中，回彈量差距不高，宜設法改良修正，以提高實驗的鑑別度。

作品海報

「麵麵」俱到

—探討影響麵團韌性與彈性之不同因素



圖片來源：Canva

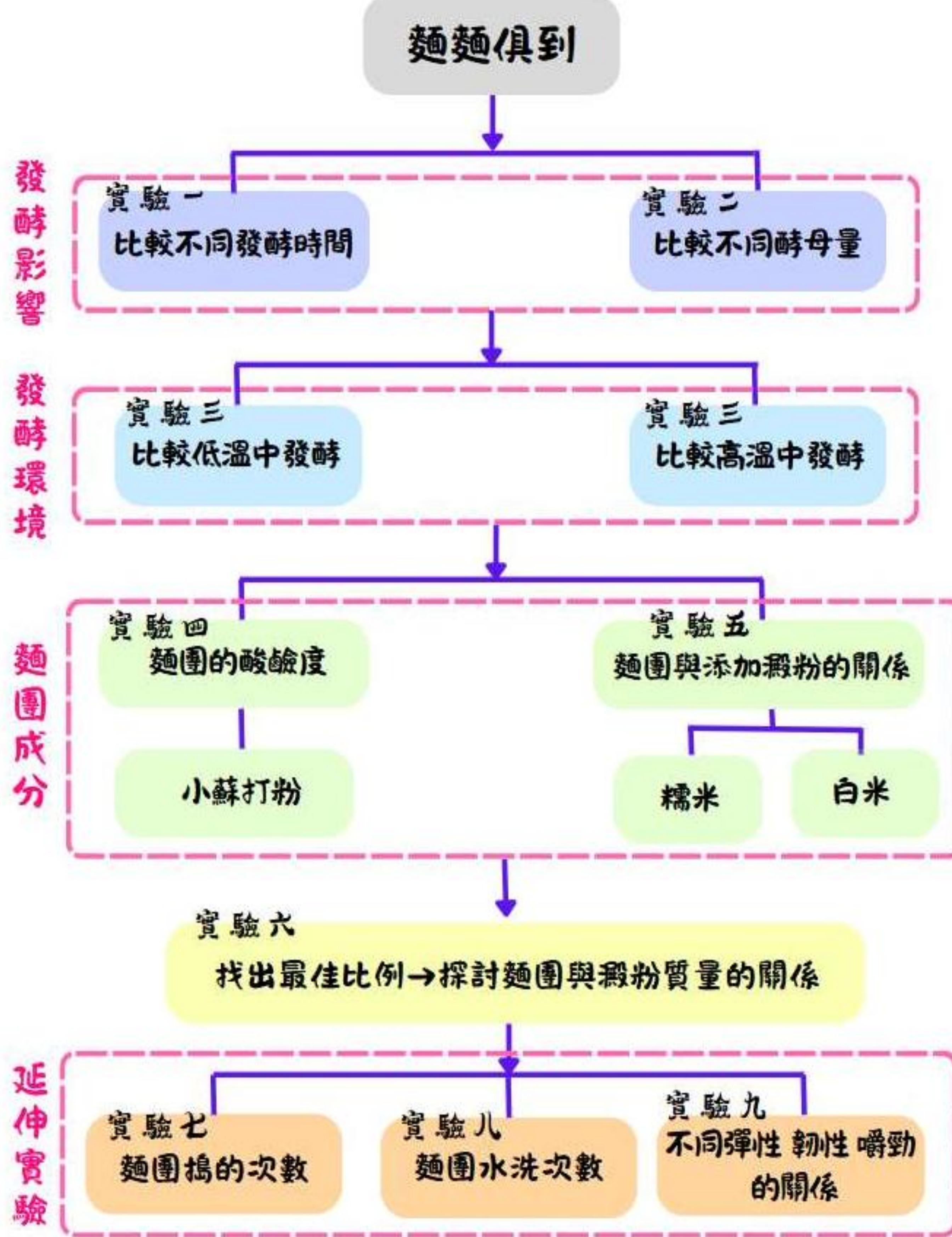
摘要

為揭開「麵團韌性與彈性」的謎團，從**發酵時間**下手，結果發現時間**越長，彈性和韌性越差**。進而改變**酵母的質量**，發現**酵母越多，彈性和韌性越差**，發現發酵速率才是關鍵。

轉向**冷藏發酵**，意外發現低溫環境的**麵團更有韌性**。接著加小蘇打，卻因為麵團結構被破壞，彈性與韌性大大降低。於是我們將麵團添加澱粉，發現**加入富含支鏈澱粉的糯米，彈性與韌性大大提升！**而後經多次實驗調整比例，成功找到最佳配方。

最後**設計「嚼勁實驗」**，結果**證實韌性與彈性與實際咀嚼感呈正相關**。我們也將持續探索這條「麵團之路」，發掘更多有料又好咬的美味秘密！

研究架構



研究目的

本組探討下列因素對麵團之影響

1. 發酵時間對麵團的韌性、彈性之影響
2. 酵母菌質量對麵團的韌性、彈性之影響
3. 發酵溫度對麵團的韌性、彈性之影響
4. 酸鹼度對麵團的韌性、彈性之影響
5. 添加澱粉種類對麵團的韌性、彈性之影響
6. 添加糯米質量對麵團的韌性、彈性之影響
7. 探討不同搗的次數對麵團的嚼勁之影響
8. 探討不同水洗次數對麵團的嚼勁之影響
9. 探討不同韌性與彈性對麵團的嚼勁之影響

原理

1. 酵母菌發酵反應式：



2. 韌性：反應物體形變難易程度的一個屬性。
3. 彈性：物體受到外力時變形，並且當該外力解除時恢復其初始形狀的能力。
4. 澱粉回凝作用：澱粉在冷卻時，分子重新排列並結晶，使食品變得更硬的現象。
5. 澱粉糊化作用：澱粉加熱吸水膨脹形成膠狀物質的過程。

實驗名詞定義

1. 較具韌性：本研究中，將較具韌性定義為受固定外力後的麵團伸長量較少。
2. 較具彈性：本研究中，將較具彈性定義為「回彈率」較多。
3. 回彈率：回彈率為移除外力後麵團回彈量除以受固定外力後的麵團伸長量所得到的數值，並將該比值換算為百分比，即回彈率 = $\frac{\text{移除外力後麵團回彈量}}{\text{受固定外力後的麵團伸長量}} \times 100\%$
4. 較具嚼勁：本研究中，將較具嚼勁定義為麵團壓縮後擴張面積較小以及壓縮後回彈針筒刻度較多。

檢測方式說明

1. 韌性：將麵團裁切為長 5 公分、寬 2 公分、高 1 公分的固定尺寸，並將其中一端固定於實驗裝置上。於另一端懸掛砝碼施加重量，觀察與紀錄麵團在受力過程中的變形情形。(如圖1)
2. 彈力：將砝碼取下，測量並記錄其縮回的長度。(如圖1)
3. 嚼勁：將麵團(3*3*1公分)放入自製檢測裝置中，壓下液壓裝置的針筒20ml(20格刻度)，壓縮後測量其擴張面積與回彈刻度值。(如圖2)

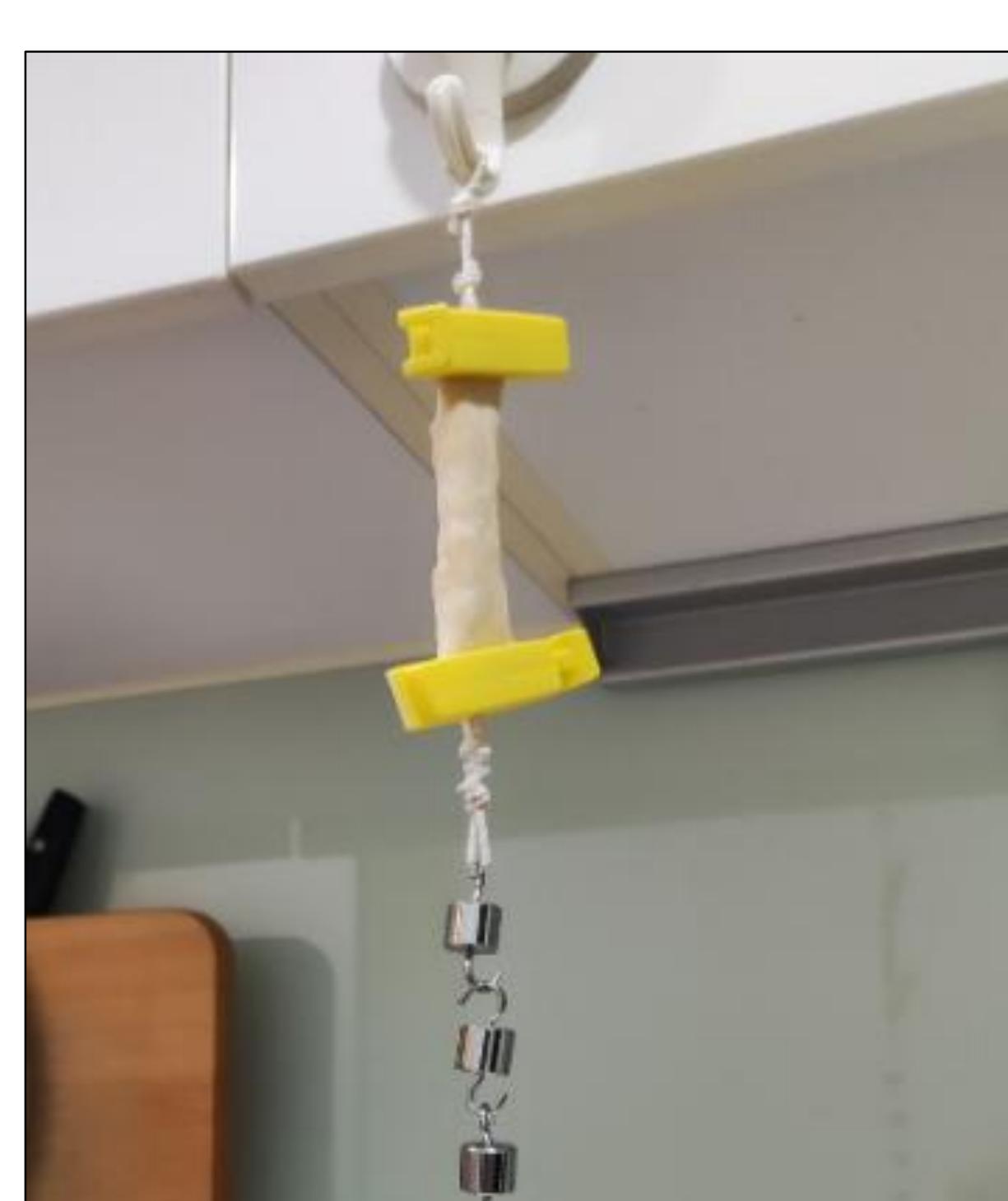


圖1 韌性及彈性檢測方式

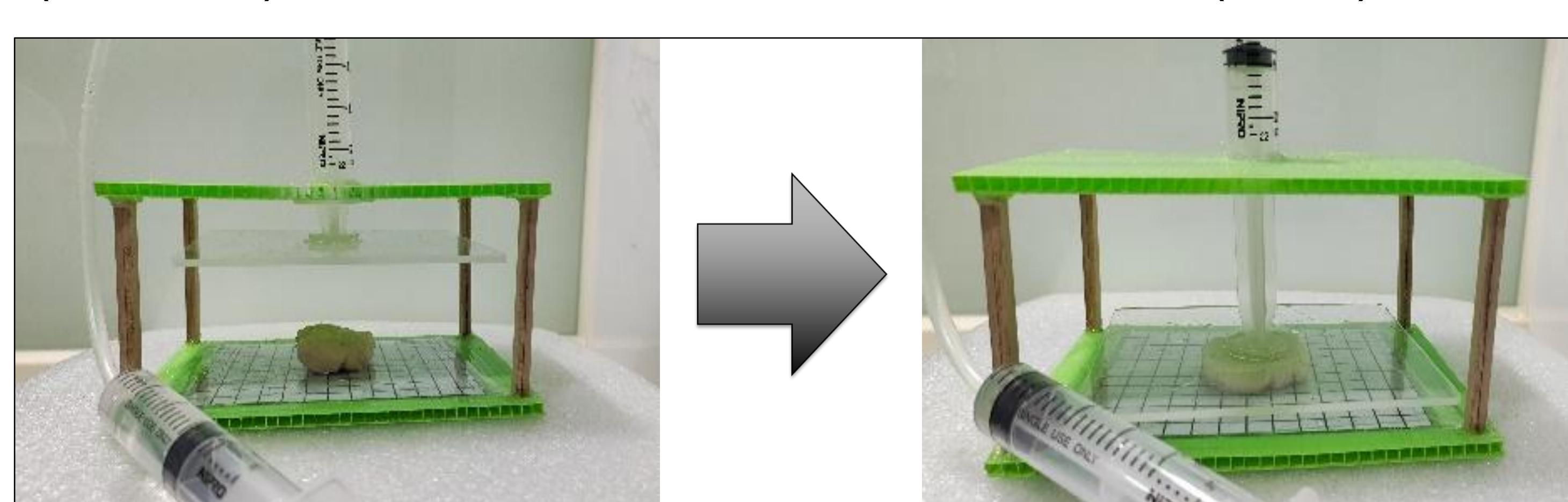


圖2 嚼勁檢測方式

實驗結果討論

實驗一：探討麵團的發酵時間對麵團的韌性彈性之影響 實驗二：探討添加酵母菌質量對麵團的韌性、彈性之影響

• 發酵時間越短，麵團伸長量越小，韌性越好；回彈率也較高，彈性較好。（圖3）

• 酵母菌添加質量越少，韌性越好、彈性也較好。（圖4）

• 因發酵產生二氧化碳氣體，會讓麵團結構變得鬆散，所以發酵程度多，麵團韌性與彈性變差。

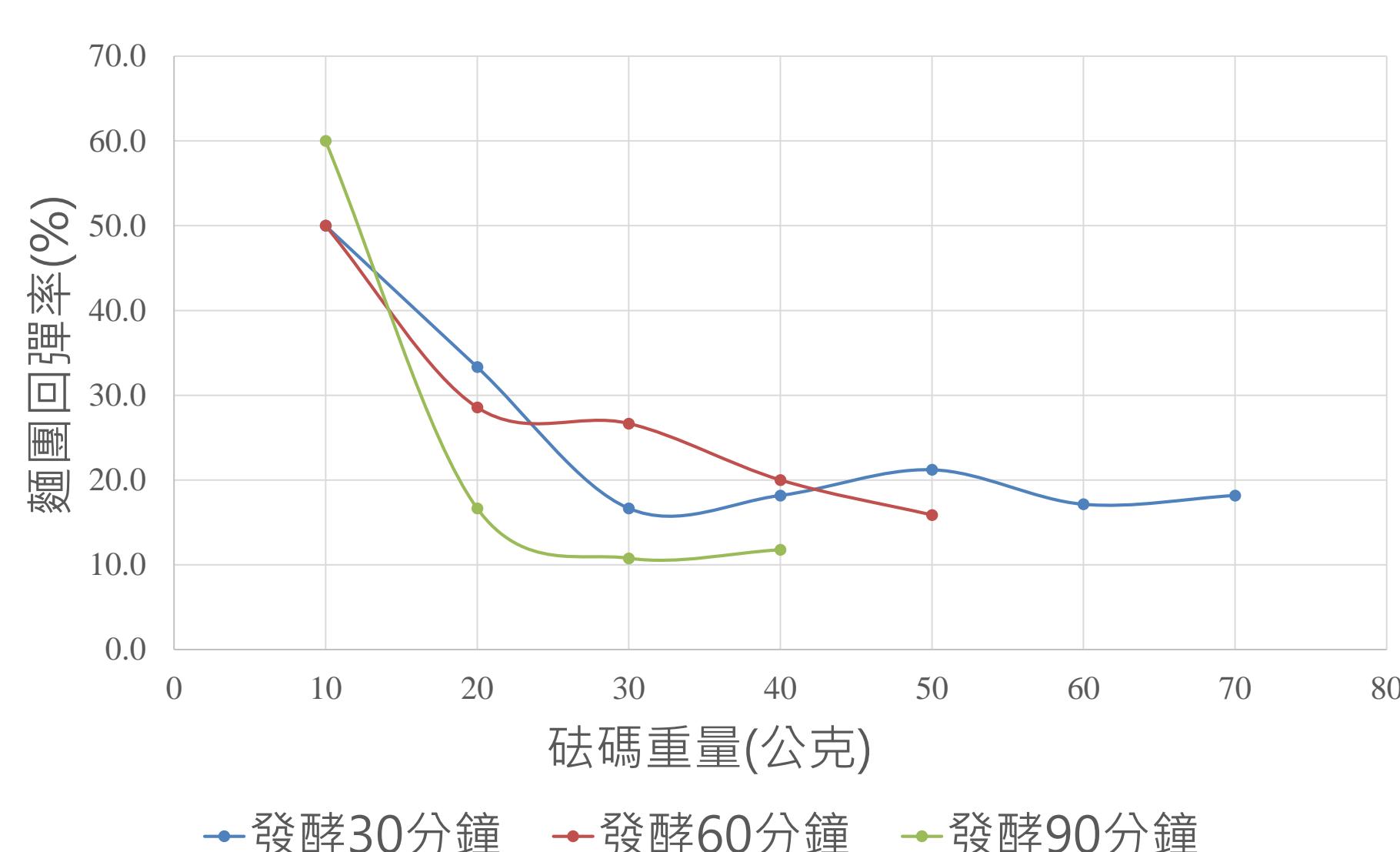
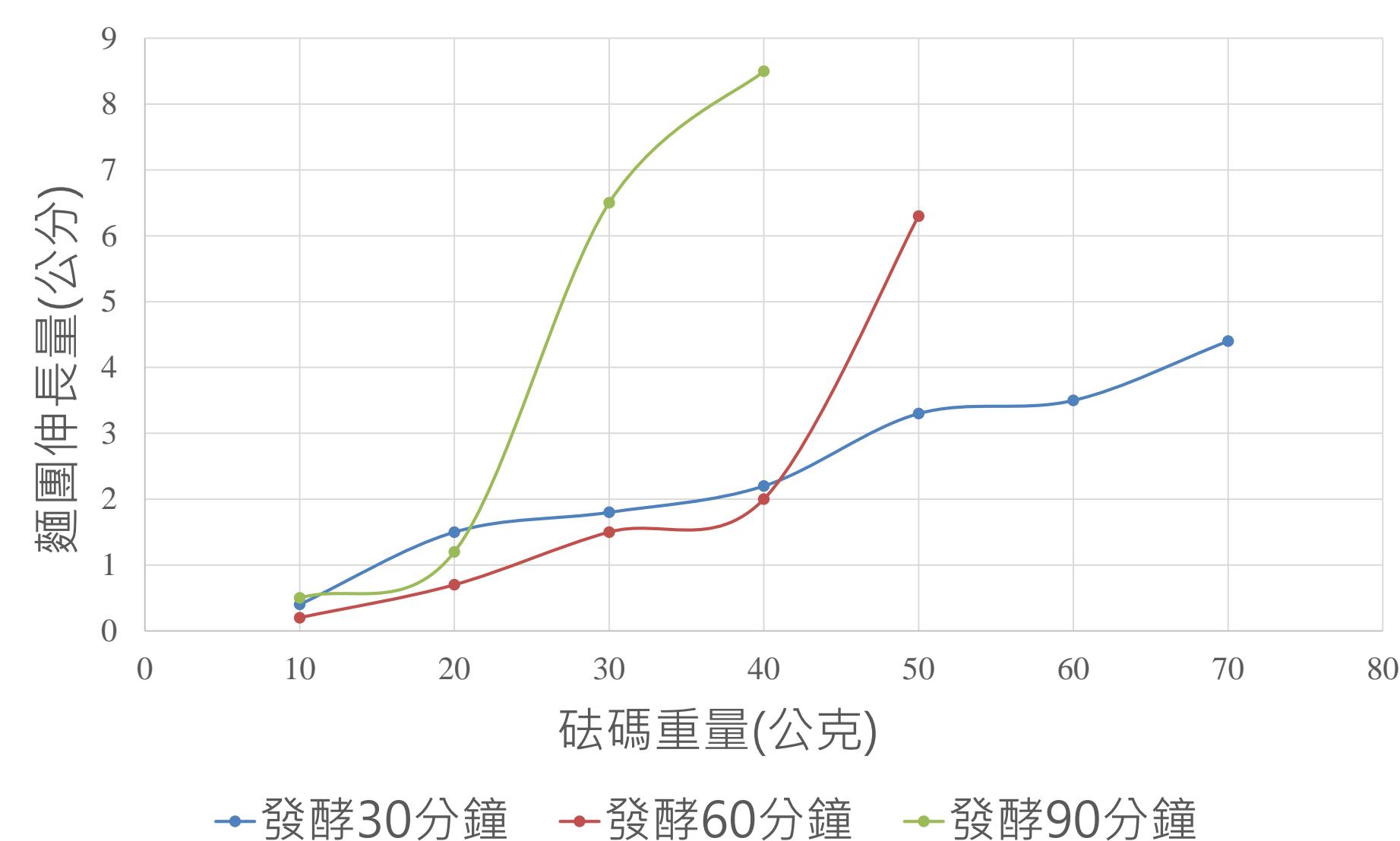


圖3 不同發酵時間與麵團伸長量與回彈率之關係

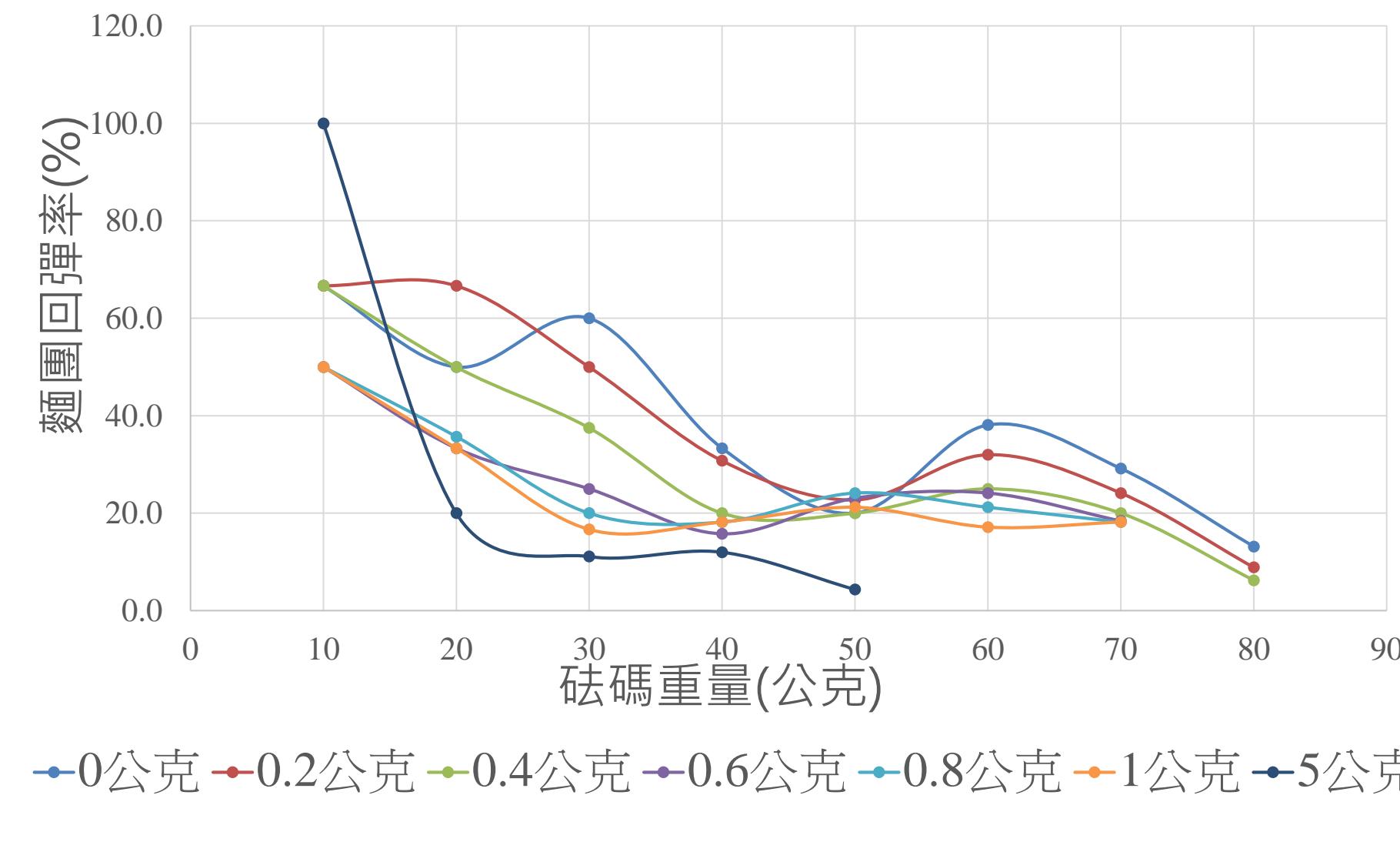
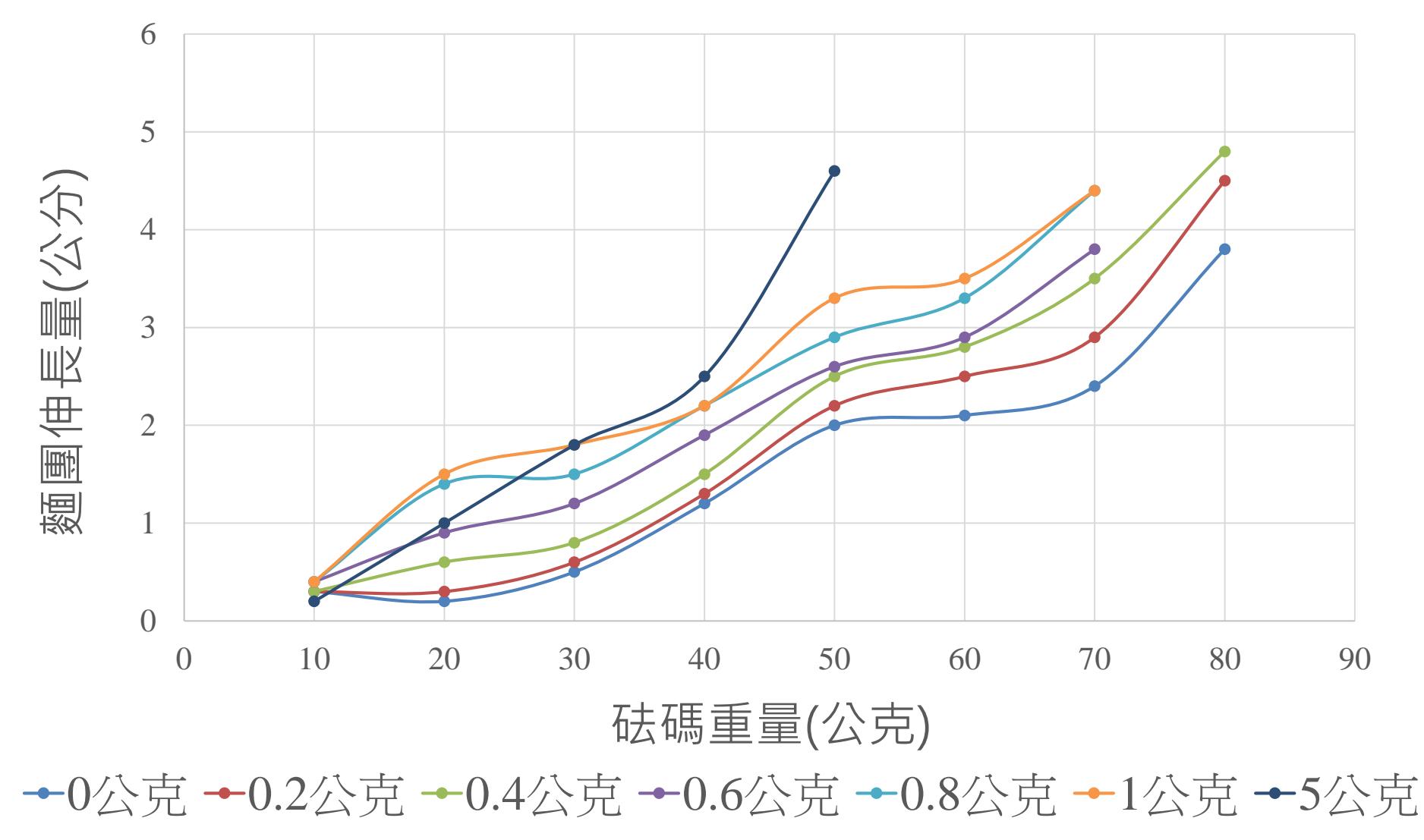


圖4 酵母菌質量與麵團伸長量與回彈率之關係

實驗三：探討麵團發酵溫度對麵團的韌性、彈性之影響

- 隨著溫度冷卻與水分散失，造成「麵團老化」及「回凝作用」。澱粉中的膠體物質乾燥脫水，成固體物質，使結構變得堅硬。
- 35°C發酵的麵團在彈性與韌性上均比常溫發酵與冰箱發酵來的差，推測原因可能為溫度會加速麵團的發酵，麵團內產生較多空氣，使麵團結構變得較為鬆散的現象。
- 受冷凝回作用以及受熱的糊化作用都會使麵團結構更加堅固，但當麵團受熱後，會因為高溫發酵較劇烈的緣故，韌性與彈性降低，容易斷裂。

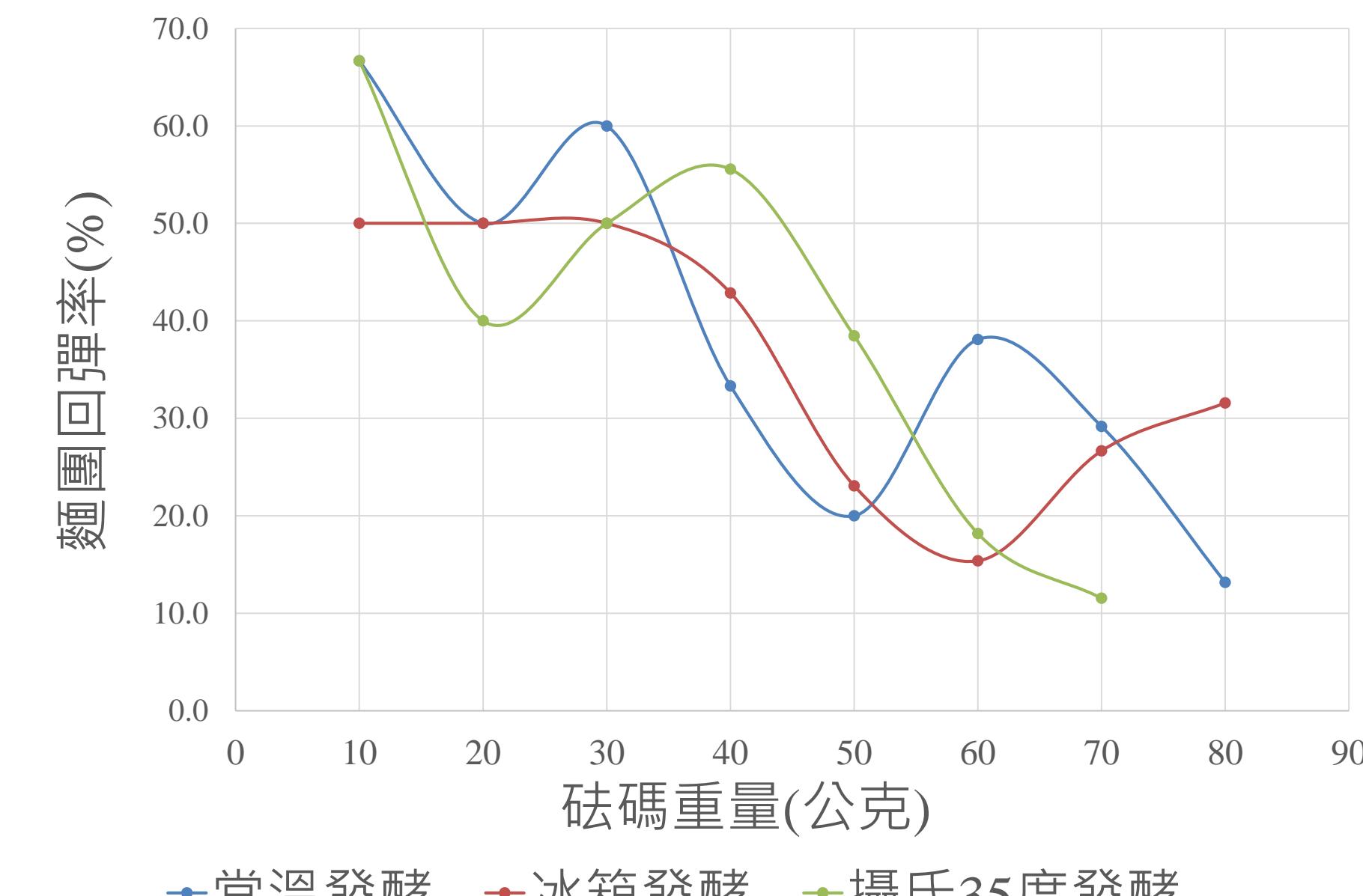
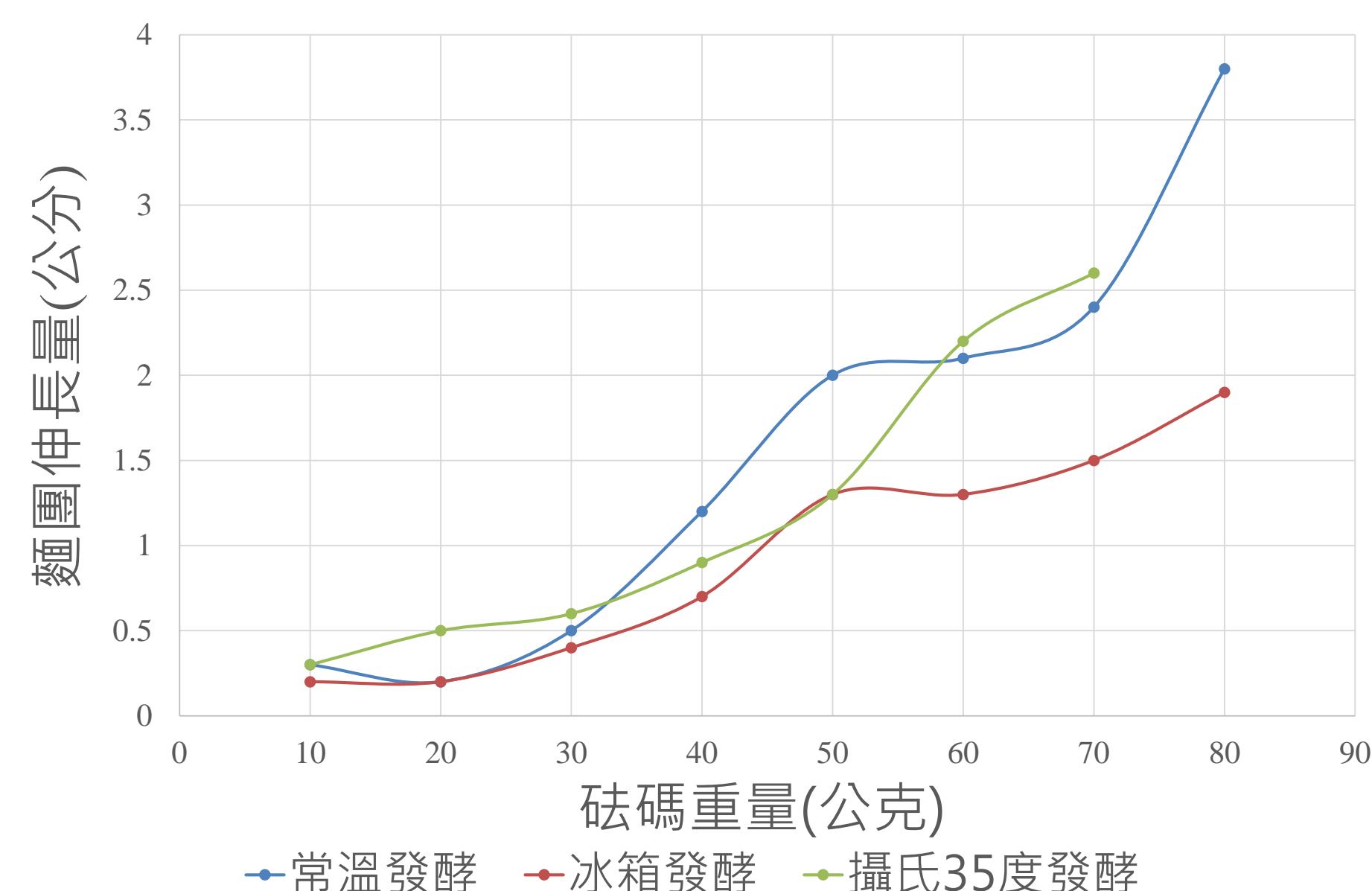


圖6 不同發酵溫度與麵團伸長量與回彈率之關係

圖7 低溫麵團

實驗四：探討麵團的酸鹼度對麵團的韌性、彈性之影響

- 鹼性的小蘇打粉在遇到麵團中的酸，會產生二氧化碳，使麵團膨脹，達到類似酵母菌的效果。
- 無論是酵母菌的氣體膨脹，或小蘇打粉的中和反應，都可能破壞麵團內部的結構，使其變得鬆散。由此推論，麵團內部結構的穩定性，正是影響其韌性與彈性的重要因素之一。

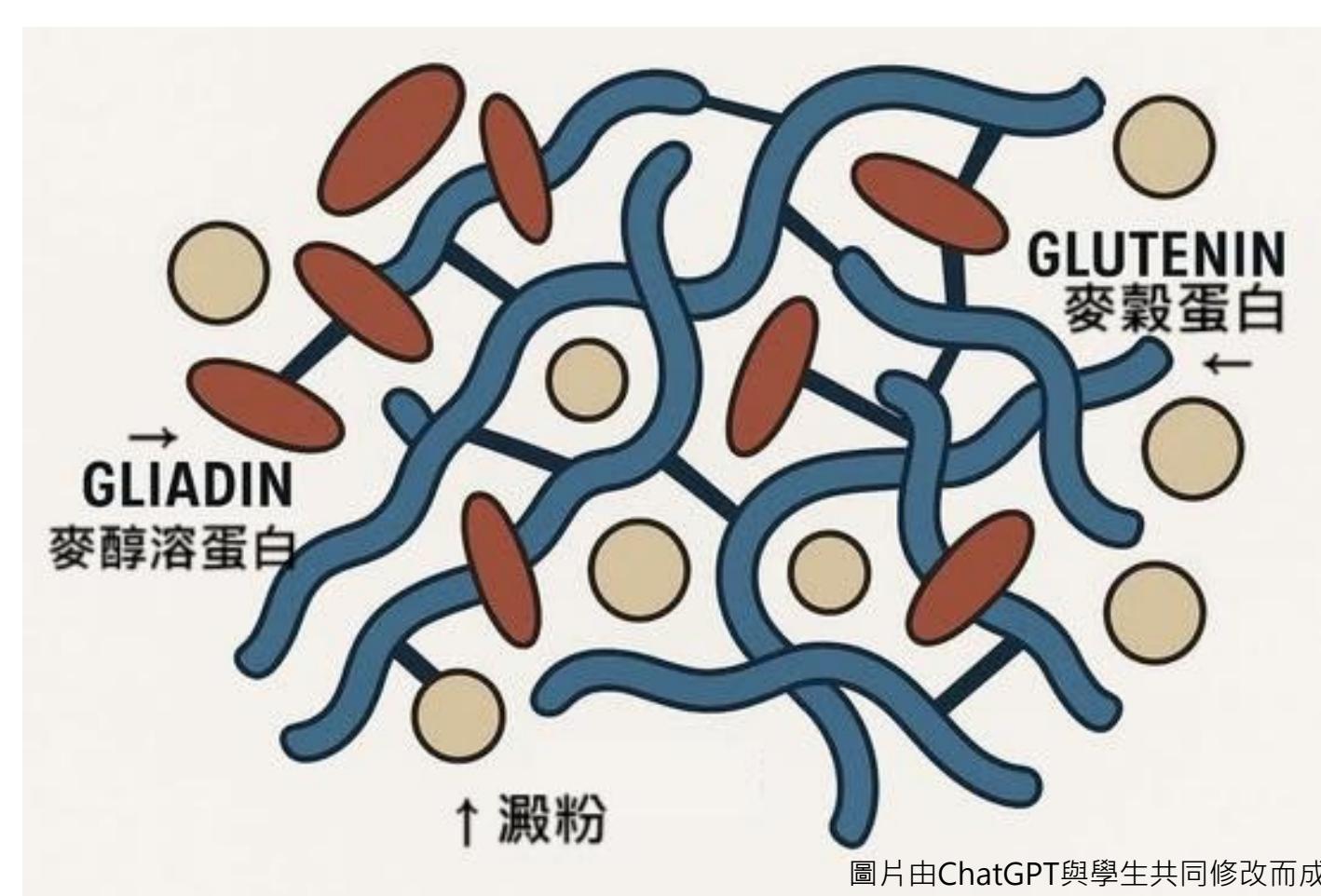
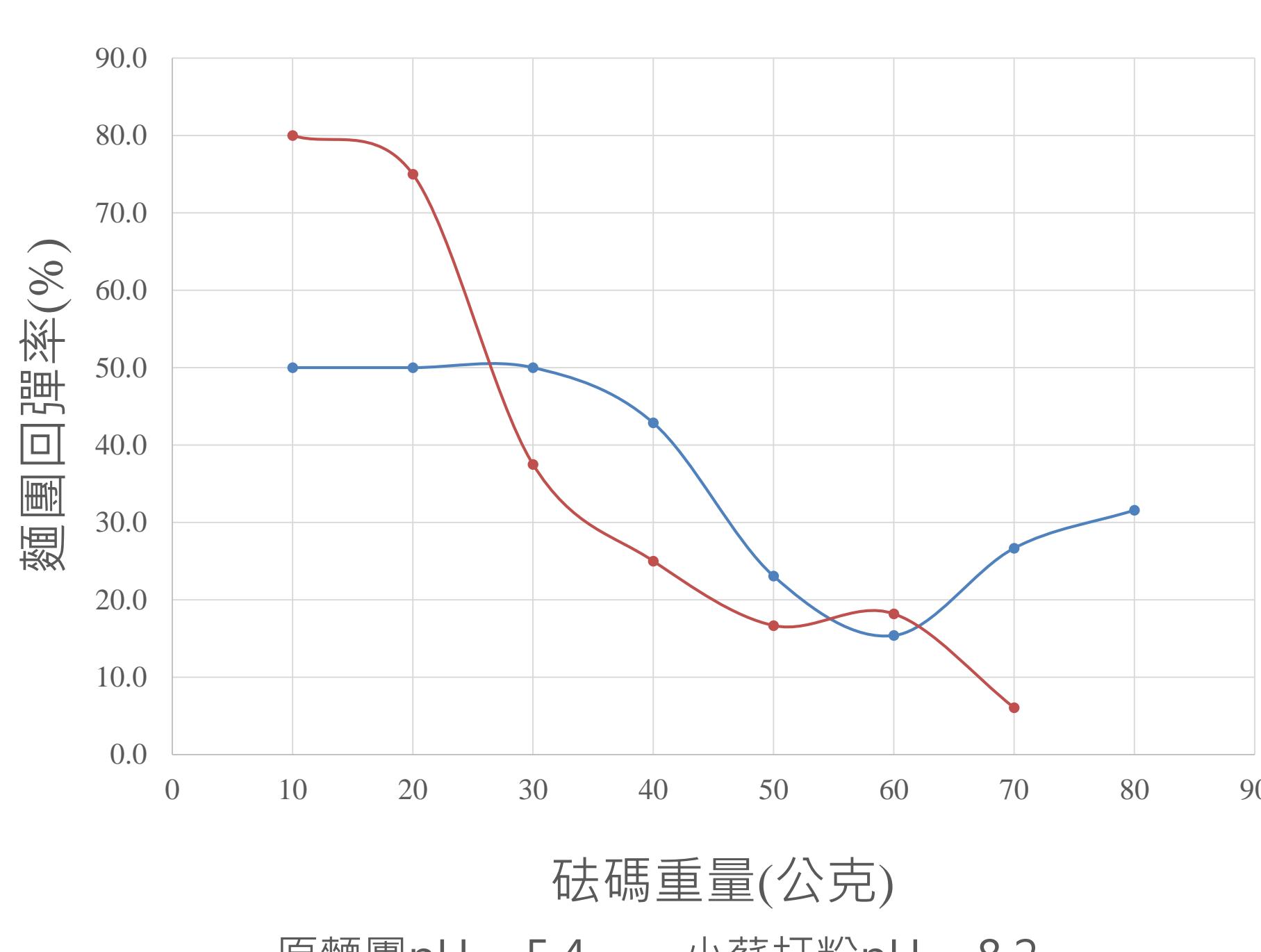
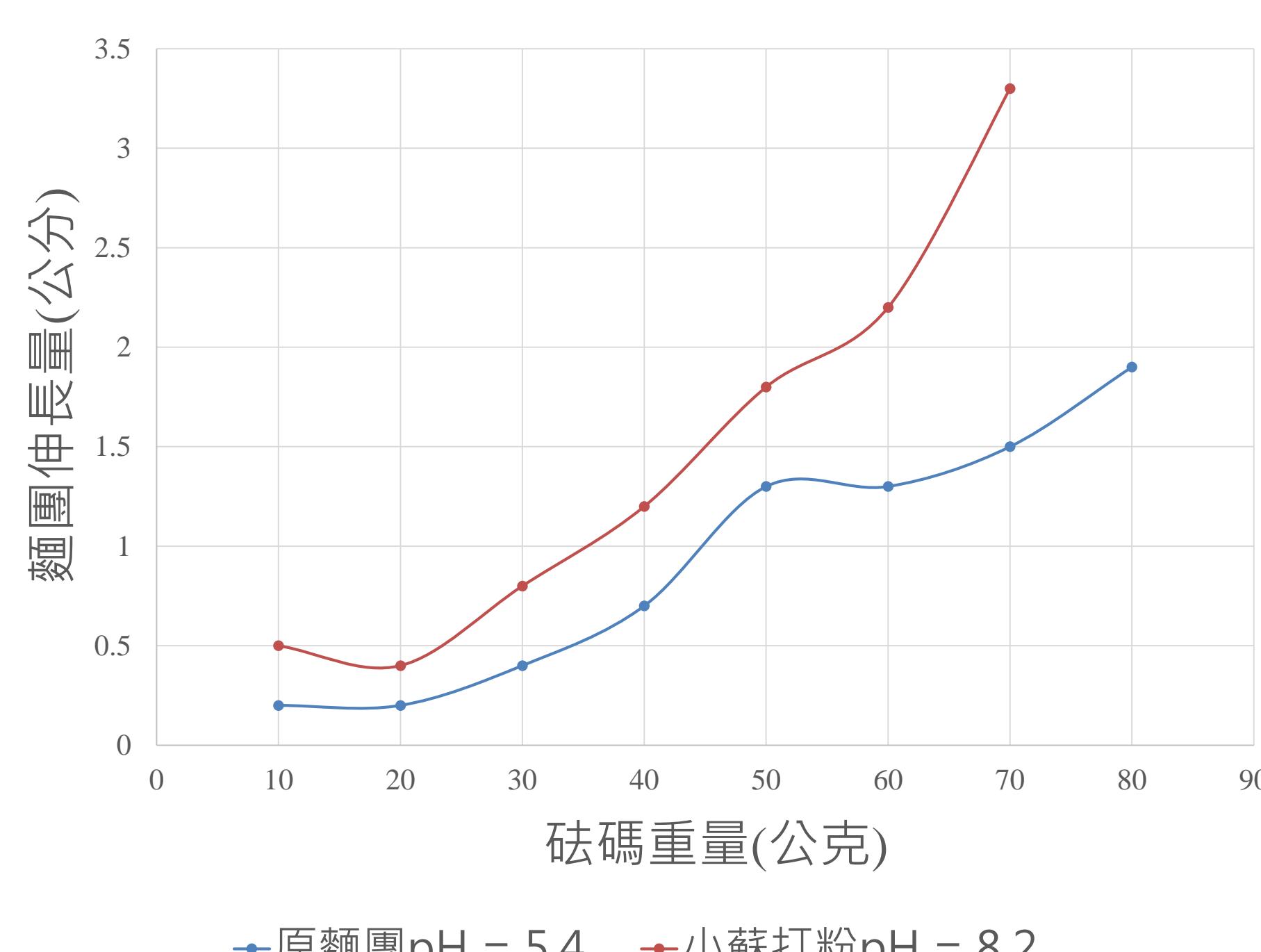


圖9 麵團簡易結構圖

圖8 不同酸鹼值與麵團伸長量與回彈率之關係

實驗五：探討麵團添加的澱粉種類對麵團的韌性、彈性之影響

- 糯米含有高比例的支鏈澱粉，被搗爛後，其澱粉膨脹並釋放出黏稠物質，形成更好的連續網狀結構，提高其韌性及彈性。
- 因為白米會使混合物變得比較乾燥，受力表面龜裂，不像糯米那樣能夠形成具有高黏性的網狀結構。

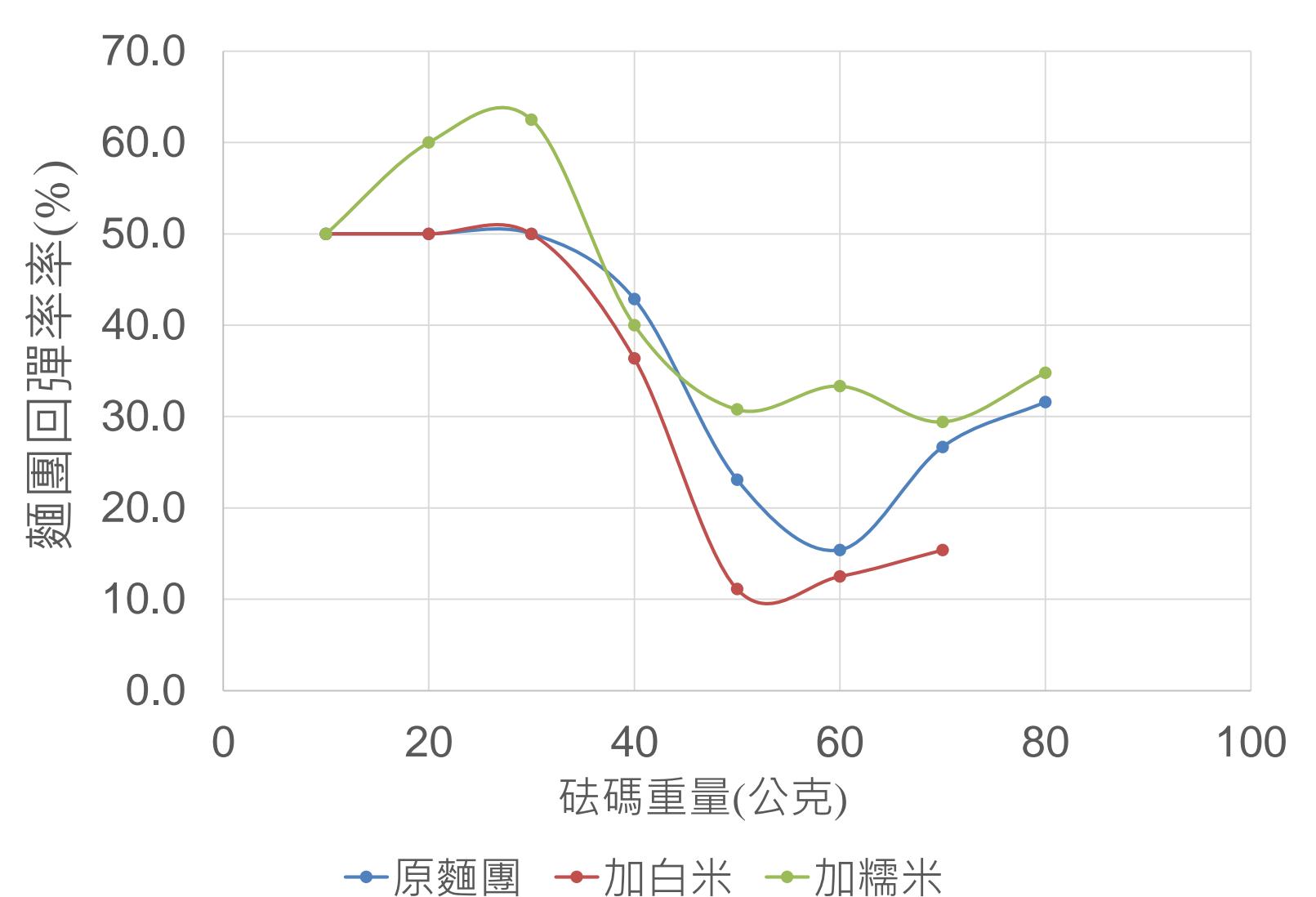
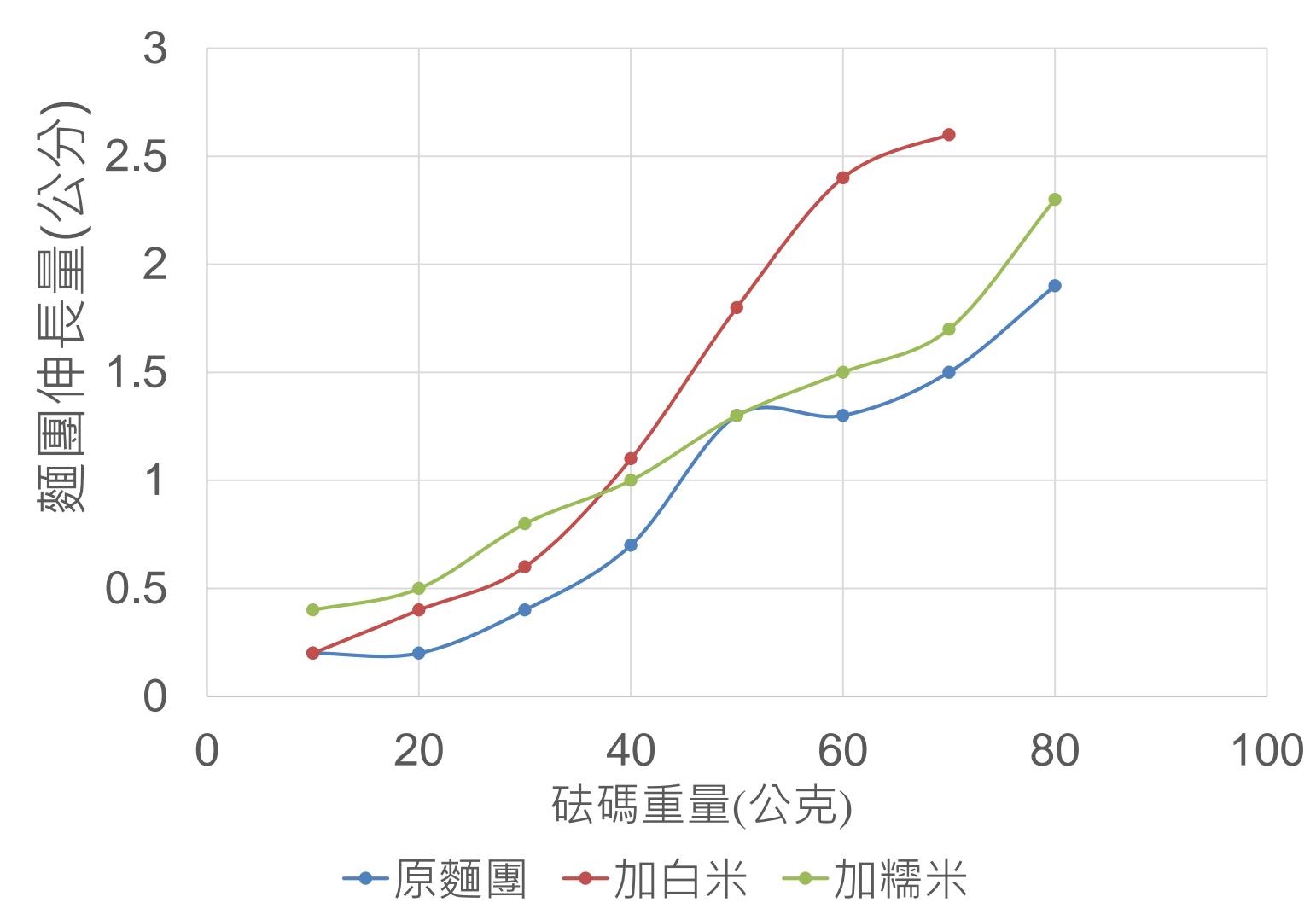


圖10 不同添加物與麵團伸長量與回彈率之關係



圖11 加白米



圖12 加糯米

白米與糯米的結構與特性不同，對麵團有不同的影響。糯米的高黏性和膨脹性使麵團更具韌性與彈性，麵團老化現象也較未添加糯米時來的少。

實驗六：探討麵團添加糯米質量對麵團的韌性、彈性之影響

韌性與彈性最佳的配方：麵粉54克，水18克，僅添加4克的糯米，6°C的冰箱中發酵30分鐘

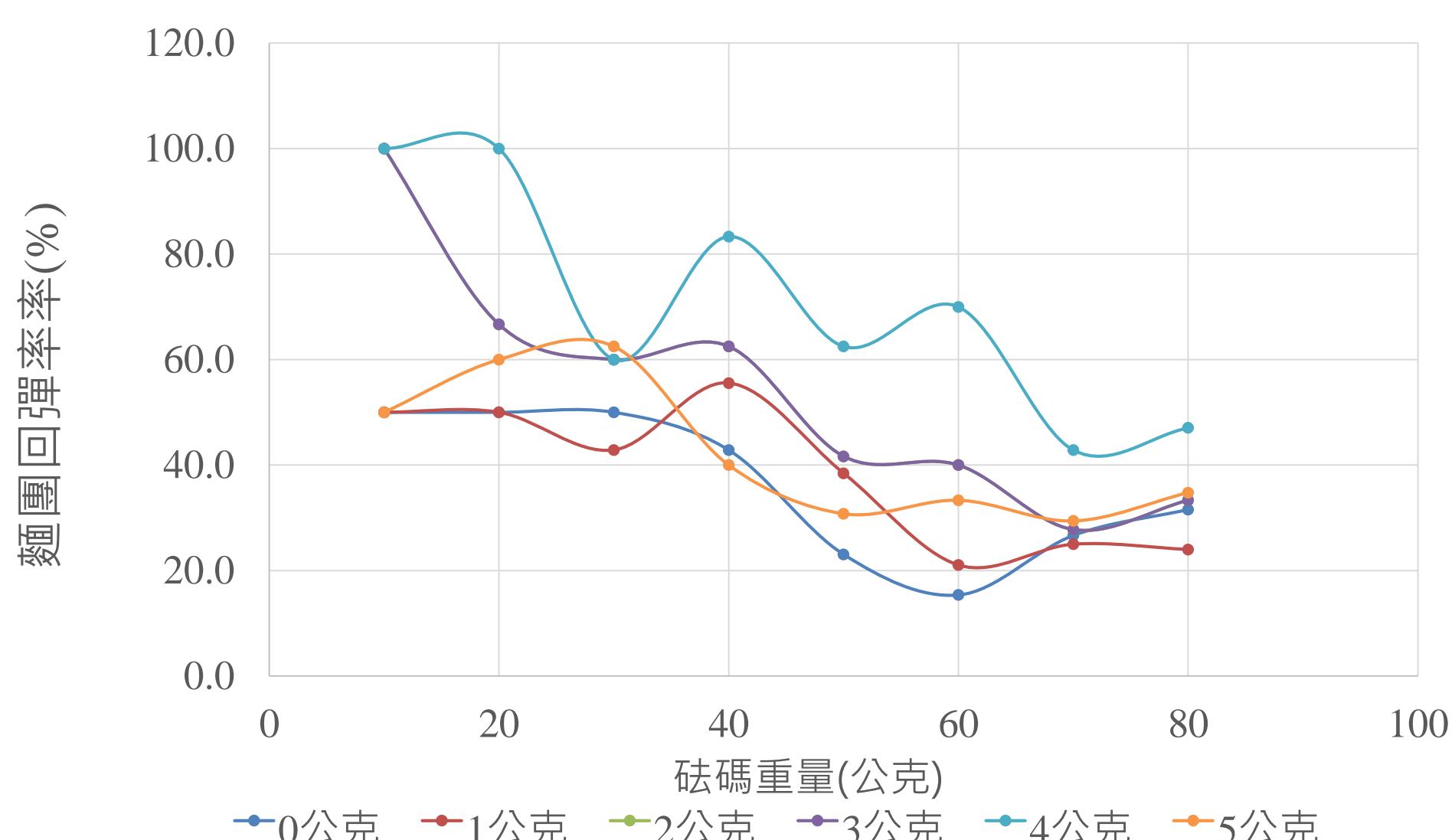
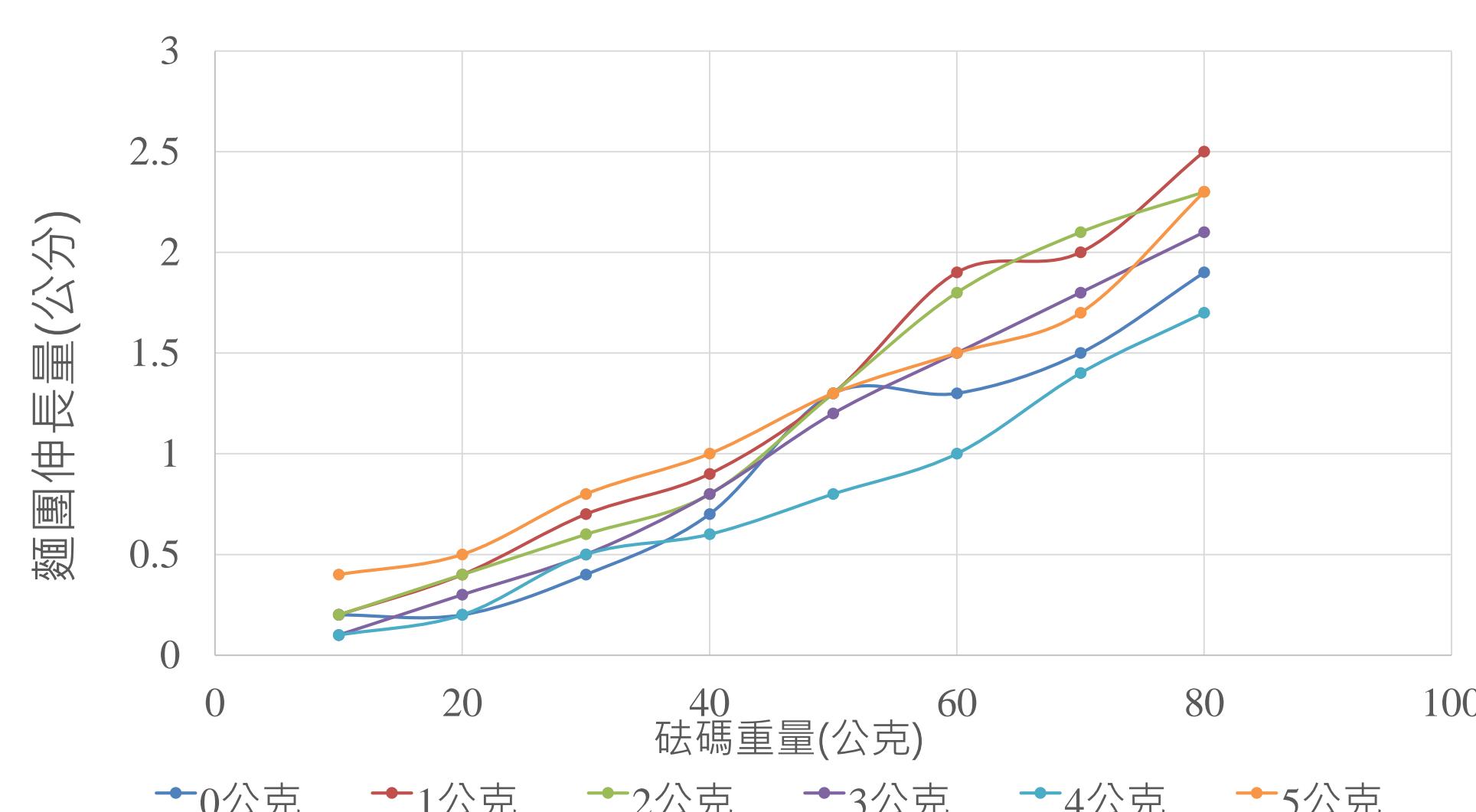


圖13 糯米質量與麵團伸長量與回彈率之關係

延伸實驗—實驗七、實驗八：探討水洗過程不同搗的次數、不同水洗次數對麵筋的嚼勁之影響

表1 比較不同搗的次數實驗數據

節奏	節奏0(不搗)	節奏80 (每秒1.33次)	節奏120 (每秒2次)
檢測值			
面積(格子個數)	7*7	6*6	4*4
回彈(針筒格數)	2	3	4

表2 比較不同水洗次數實驗數

節奏	水洗一次	水洗三次	水洗五次
檢測值			
面積(格子個數)	4*4	4*4	幾乎不變
回彈(針筒格數)	4	5	6

要增加麵團的筋性，需將麵團多次搓揉或搗，也應重複水洗多次，方可製作出較具嚼勁的麵團。

延伸實驗—實驗九：探討不同的彈性與韌性對麵團的嚼勁之影響

表3 比較不同不同配方麵團的嚼勁

麵團種類	實驗六最佳配方	常溫發酵麵團	低溫發酵麵團
檢測值			
面積(格子個數)	幾乎不變	5*5	4*4
回彈(針筒格數)	6	4	5

驗證韌性與彈性與嚼勁有明顯正相關，韌性與彈性較好，則嚼勁也較好，可客觀推論吃起來的口感較富有彈性。

未來展望

實驗限制

- 盡量控制多種變因
- 搓揉時間地點&麵團溫度及比例
- 做三次實驗取數據平均值

已嘗試實驗

- 改變溫度、添加物質→化學變化
- 自製裝置檢測了不同變因的麵團韌性、彈性、嚼勁

應用

- 烹煮口感更Q彈、與市售相符
- 進一步探討加熱後的麵筋
- 製作成無毒彈力球

未來進一步探討

- 持續研究不同物質的影響性
- 何種澱粉可以增加韌性與彈性？
- 克服洗麵團的濕滑，讓韌性與彈性實驗有一致的指標

參考文獻

- 一、山田昌治（2020）。《麵的科學：麵粉如何創造豐富的口感、香氣和美味》（吳佩渝譯）。台中市：晨星出版社。
- 二、謝婉兒等(2014)。有米樂-米製麵包成品之探討。中華民國第54屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、農業部臺東區農業改良場 陳盈方(2012)。米食加工產品之開發 - 稻米預糊化技術。
- 四、飯人(2017)。《飯人食堂》。寫樂文化出版。
- 五、張恩慈等(2020)。麵粉中的小「筋」靈~探討麵筋橡皮糖的最佳製作方法。中華民國第60屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 六、所有圖片與表格資料，皆為學生自行拍攝與設計。