

花蓮縣第 64 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國小 A 組

作品名稱：韌性 701-臺灣玉構造與韌性觀測

關 鍵 詞：臺灣玉、韌性、構造

編 號：

韌性 701-臺灣玉構造與韌性觀測

研究摘要

在參加一項地質調查的活動中，解說老師提到花蓮的臺灣玉韌性世界第一，引起我們的好奇及興趣，因此展開本研究。經過7個月，我們發現貓眼玉礦最少，蠟光玉其次，青玉較多，比例為1:4:9。貓眼玉密度 $3.03\text{g}/\text{cm}^3$ ，蠟光玉 $2.93\text{g}/\text{cm}^3$ ，青玉 $2.59\text{g}/\text{cm}^3$ 。色澤以灰綠到淺綠的顏色最多，占60%。靛青次多，占22%。藍灰色及綠黃色各占7%。黃紅色佔4%。

韌性實驗發現貓眼玉能掛比自己重701倍的砝碼，內部構造由平行、網狀交錯排列的纖維組成。透過模擬實驗，網狀交錯的構造掛重效果明顯優於片狀與圓點狀排列，證實貓眼玉的韌性與其構造有關。

建議未來創作及工藝製作技術應用，可朝韌性表現方向進行。貓眼玉的平行與網狀構造在導熱與聚光效益的研究潛能，值得進一步探索。

關鍵字：臺灣玉 韌性 構造

壹、研究動機

在一次老師帶我們到花蓮縣白鮑溪進行戶外地質調查活動的機會，我們親眼看到溪底的臺灣玉發出閃亮的綠色光澤。老師告訴我們，臺灣玉是珍貴的寶石，也是花蓮縣壽豐鄉特有的寶石。這讓我們產生很大的興趣，原來我們的家鄉也生產珍貴的寶石，而且韌性世界第一。為了更認識臺灣玉，我們邀集了同學組成臺灣玉科學探究隊，並請老師指導我們進行這場臺灣玉的科學研究之旅。

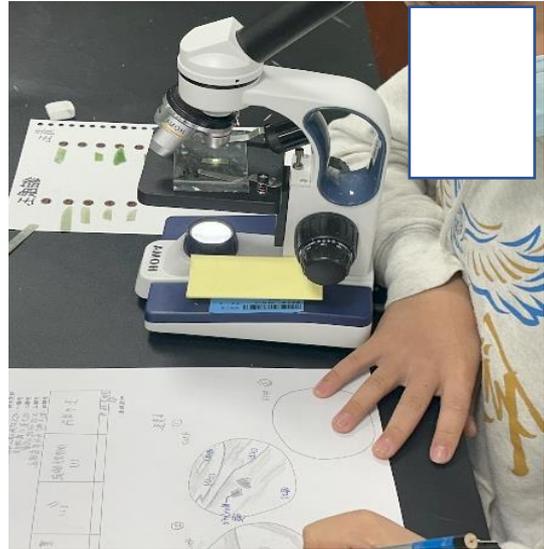


圖 1. 透過顯微鏡的觀察，我們看到了玉石的內部結構。



圖 2. 貓眼玉的纖維結構，是形成貓眼玉韌性表現極佳的主要原因。

貳、研究目的

我們的研究目的有二：

研究目的一：認識臺灣玉有哪些類別及特性，從中發現辨識臺灣玉的科學方法。

研究目的二：測量不同類型臺灣玉韌性表現，並探討成因。



圖 3、我們的研究想要試看看有沒有簡易的辨識青玉方法。

參、研究問題

為達成上述之研究目的，我們提出以下六個研究問題：

研究問題一：臺灣玉有哪些類別？每一類的占比多少？

研究問題二：不同類別臺灣玉的密度一樣嗎？是多少？每一顆臺灣玉的不同位置密度都一樣嗎？

研究問題三：臺灣玉有哪些顏色？不同類的臺灣玉顏色一樣嗎？

研究問題四：臺灣玉的韌性是多少？不同類別臺灣玉的韌性一樣嗎？哪一類的臺灣玉韌性最好？

研究問題五：不同類臺灣玉的內部構造一樣嗎？它們如何排列呢？

研究問題六：是不是構造排列因素影響台灣玉的韌性表現呢？

肆、相關文獻

一、臺灣玉的類別探討

國立臺灣大學地質科學系譚立平教授等人於 1978 年發表《臺灣花蓮豐田軟玉礦床之礦物研究》一文，將臺灣玉分成三大類：

(一)普通閃玉：又稱青玉。是最常見的閃玉。外表看起來會呈現像玻璃一樣的光澤，且像果凍一樣，呈現半透明的現象。

(二)貓眼閃玉：又稱貓眼玉。經過師傅的專業琢磨，遇到光線照射後，會透過反射、折射的方式，呈現像貓眼睛一樣的光線，因此叫做貓眼玉。由於貓眼玉產量很少，因此特別珍貴。



圖 4、我們想要瞭解，野外蠟光玉產量到底多少啊？能不能具體調查出來呢？

(三)蠟光閃玉：又稱蠟光玉。因光線照射時，光粒子跑進玉石內部，造成漫射的現象，使得看起來像蠟一樣的光澤，因此得名。用肉眼觀察，大部分呈現不透明至半透明的狀況。產量很少，也很珍貴。

從以上的文獻來看，臺灣玉可分成青玉、蠟光玉、貓眼玉三種類別，但各類臺灣玉各佔有多少比例，參閱文獻，頂多只提到青玉最多、貓眼最少，找不到明確的科學數據資料。我們想要透過野外踏查的方式，實際進入田野進行玉石的採集、分析、分類及觀察，明確了解現在各類臺灣玉佔有的比例各是多少。

二、臺灣玉的科學特性

為了瞭解臺灣玉的科學特性，我們進行了文獻蒐集與閱讀整理，將閱讀所得依照「顏色」、「比重」及「韌性」分類整理如下：

(一) 顏色：臺灣玉是由透閃石及陽起石所組成，它的顏色由組成礦物的種類與成分多寡決定(何恭算, 2021)。如果透閃石含量較多，顏色就會偏白色；含鐵較高的陽起石比例比較多時，顏色就會從淡綠色轉為墨綠色；鉻含量越高者，顏色越會偏向翠綠色。整體來說，臺灣玉通常呈現暗綠色至黃綠色，有少部分的臺灣玉呈現黑色的小斑點，是因為鉻鐵礦造成的現象。

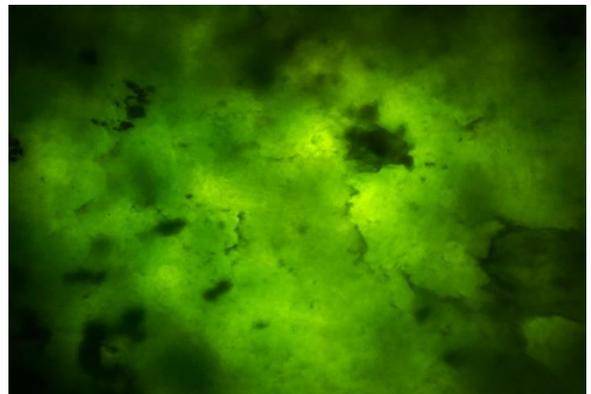


圖 5，臺灣玉的黑點，是因為鉻鐵礦所造成的原因(顯微照 10*10 倍)。

(二) 密度：是指物質的密度相對於水的密度之比值。臺灣玉的密度介於 2.9-3.1 之間。我們想探討不同類型臺灣玉的密度是否一樣，但都找不到相關資料，因此，我們的研究將探討青玉、貓眼、蠟光的密度是否會一樣嗎？

(三) 韌性：從材料科學的角度來說，韌性是指物體單位面積承受外力時對抗折斷的能力(引自維基百科：[https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9F%8C%E6%80%A7_\(%E7%A7%91%E5%AD%B8\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9F%8C%E6%80%A7_(%E7%A7%91%E5%AD%B8)))。

何恭算(2021)教授指出臺灣玉是由許多微小單晶體的構造彼此鑲嵌互鎖成形，當其遭受外力突然撞擊時，往往只會產生微尺度的裂隙。臺灣玉因具纖維狀交織構造，質地堅韌，在受到外力撞擊時，其抵抗破裂的能力強，是最具韌性的寶石(何恭算。2021)。

何恭算教授的說明除了提升我們對於臺灣玉韌性表現佳的知識外，也提醒我們一個問題形成與思考方向：不同類型的臺灣玉，它們的韌性表現會一樣嗎？哪一類的臺灣玉韌性表現最佳呢？臺灣玉的韌性表現，能不能用計量的科學方法統計出來呢？我們的研究將針對上述的疑問進行實驗與探究，希望能夠找出明確的答案。

伍、研究工具與材料

我們的研究使用到的工具與材料如下：



圖 6、本研究所運用的工具與材料

陸、研究過程、發現與結果

一、研究問題一：臺灣玉有哪些類別？每一類別的佔比多少？

研究方法：採集與觀察法

研究工具	研究材料
鐵尺*3、切割墊*1、電子秤*1、粉筆*1、 奇異筆*1、手電筒*1、繪圖光板*1、放大 鏡*1	玉原石*100 編號標記用圓形小貼紙*100 夾鏈袋*10

研究步驟：

步驟一：組員 4 人，1 人隨機挑選 25 顆玉原礦，共計 100 顆，再貼上標籤編號。

步驟二：測量每顆玉原石的長、寬、高及重量。

步驟三：觀察及比對每一顆臺灣玉顏色、構造與顆粒大小等特性。

步驟四：四位組員每人先判定 100 顆玉石的類別，並寫答案，再共同協商討論，以取得最後的共識。

步驟五：完成最後的分類、比對與百分比統計。

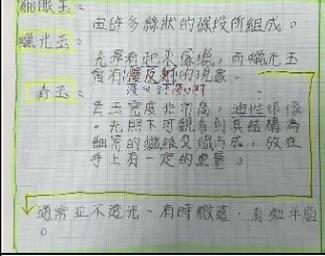
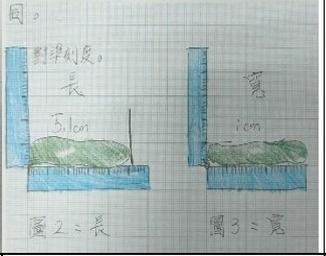
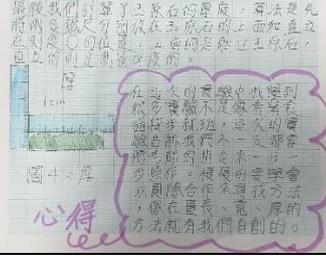
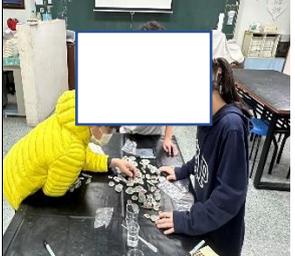
			
我們到白鮑溪中游採集臺灣玉原礦	河床上有許多臺灣玉	河床上有許多臺灣玉	細心的觀察，很容易就可以採集到臺灣玉
			
進行臺灣玉分類的過程。	進行臺灣玉分類過程。	實驗進行，我們都很認真，很忙。	運用繪圖光板觀察臺灣玉的特性。
			
運用繪圖光板觀察臺灣玉的特性。	運用繪圖光板觀察臺灣玉的特性。	判斷玉石類型一起討論出共識的過程。	幫判斷完成的玉石貼上編號，並裝袋收藏。
			
研究日記-1	研究日記-2	研究日記-3	研究日記-4
			
討論共識的過程。	臺灣玉的青玉半成品	臺灣玉的蠟光玉切片	臺灣玉的貓眼玉切片

圖 7、臺灣玉分類調查的研究過程紀錄。

研究結果：

經過統計，我們野外採集 100 顆的臺灣玉中，青玉 69 顆，蠟光玉 23 顆、貓眼玉只有 8 顆，比率為 69:23:8。我們運用四捨五入取整數比的方式簡化比例，野外青玉、蠟光、貓眼的比率約為 9:4:1(如表 1、圖 8)。

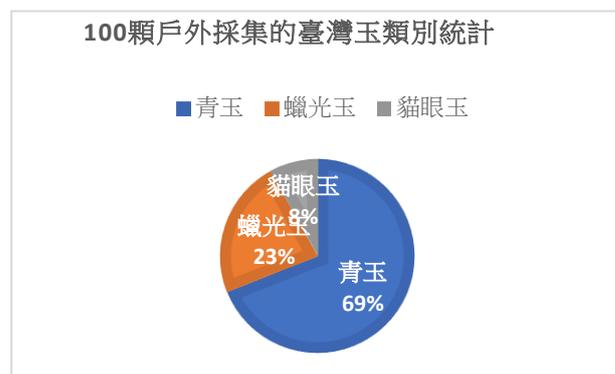


圖 8、野外採集臺灣玉分類統計結果

表 1，野外採集臺灣玉之分類結果

	青玉	蠟光玉	貓眼玉
數量	69	23	8
百分比	69%	23%	8%
簡單整數比	9	4	1

二、研究問題二：不同類別臺灣玉的密度是多少？它們的密度一樣嗎？同一顆臺灣玉不同位置密度會一樣嗎？

研究方法：實驗法

研究工具與材料

研究工具	研究材料
量杯*6、計算機+1、磅秤*1、滴管*4、鑷子*4。	臺灣青玉原石 20 顆。臺灣蠟光原石 20 顆。臺灣貓眼玉原石 8 顆。

研究步驟：

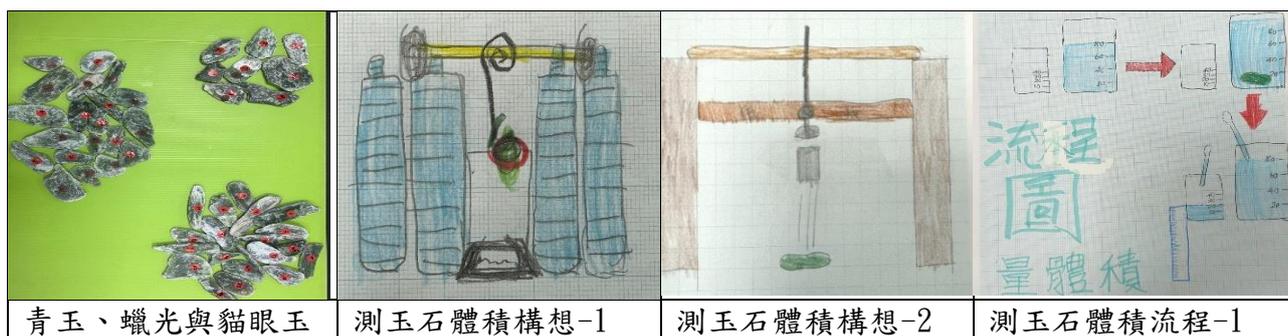
步驟一：將 100 顆臺灣玉依照貓眼、蠟光與青玉分類，並放成一堆。

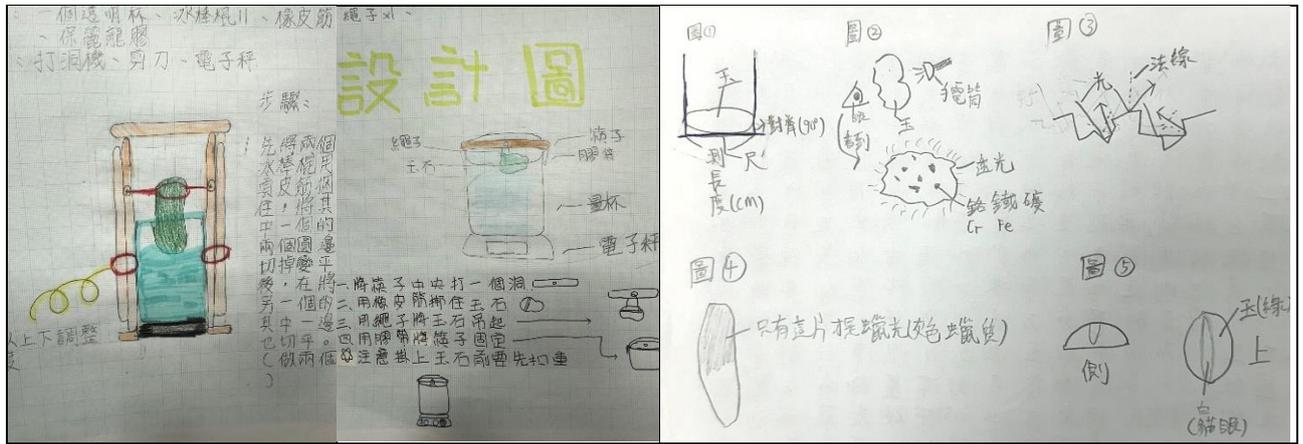
步驟二：隨機抽青玉、蠟光玉 20 顆，貓眼玉 8 顆，用浸水測密度方式，測量玉石體積。

步驟三：運用「密度=重量÷體積」的公式，計算每一顆玉石的密度。

步驟四：計算並統計不同類型臺灣玉的平均密度。

步驟五：比較不同類型臺灣玉密度的大小，並加以排序。

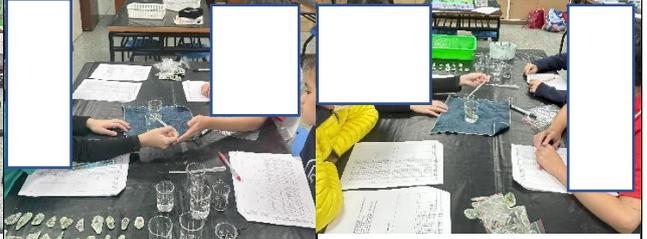
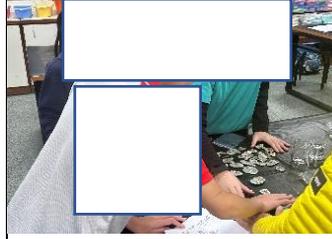




修正實驗構想-1

修正實驗構想-2

修正實驗流程

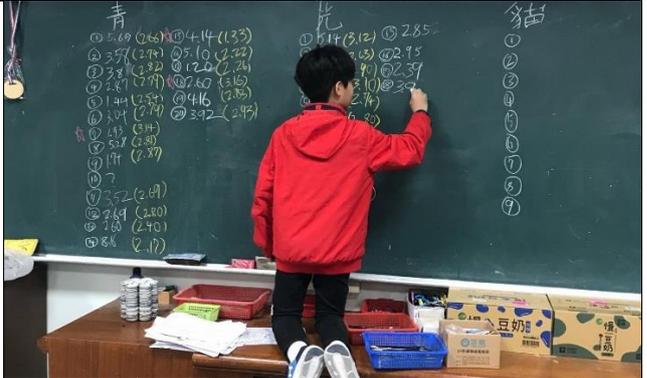


我們正討論測量不規則物體的體積方法-1

我們正討論測量不規則物體的體積方法-2

我們正討論與測試不規則物體體積測量方法-1

我們正討論與測試不規則物體體積測量方法-2

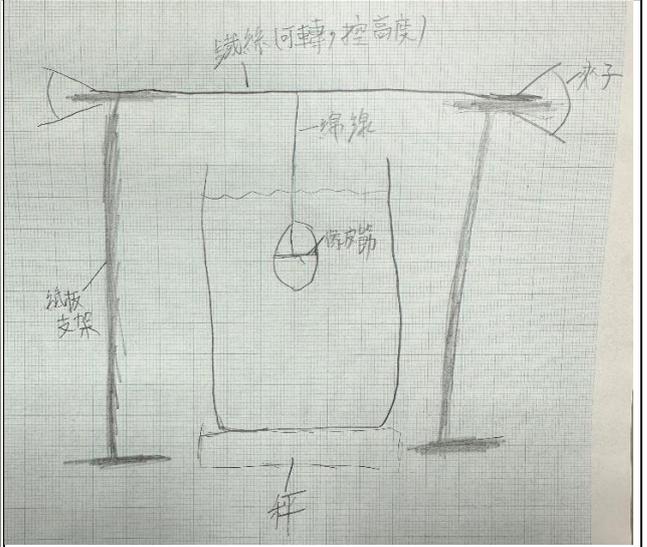


動手嘗試組裝各種測試玉石密度的方法-1

動手嘗試組裝各種測試玉石密度的方法-2

進行實驗，整個大教室都是我們的工作室。

那天是抵測比... 一支造的幼刺猴... 的的構構... 破的更以子... 突和... 用用... 逐逐... 有有... 最... 們... 我... 是... 天... 那... 我... 。



組員的研究日記-1

實驗構想

圖 9. 不同類別臺灣玉密度測量過程紀錄

研究結果：如表 2 是我們進行密度測驗的結果。經過測量與比較，我們發現不同類型臺灣玉的密度確實不一樣。貓眼玉的密度最高，平均 3.031g/cm³(min=2.02g/cm³；max=4.33g/cm³)；其次為蠟光玉，平均密度為 2.925g/cm³(min=2.29g/cm³，max=3.18/cm³)，臺灣青玉的密度最低，平均達 2.592g/cm³(min=2.17g/cm³，max=3.16g/cm³)。

表 2. 不同類型臺灣玉密度測量比較結果。

	編號	重量	體積	密度	平均密度	密度排序
青玉	1	15.162	5.69	2.66	平均 2.592 最大 3.16 最小 2.17	3
	3	9.813	3.58	2.74		
	5	10.672	3.8	2.82		
	8	7.946	2.87	2.79		
	9	3.661	1.44	2.54		
	10	8.472	3.04	2.79		
	11	6.060	1.93	3.14		
	12	14.817	5.28	2.81		
	13	4.993	1.74	2.87		
	14	14.187	4.95	2.87		
	15	9.467	3.52	2.69		
	16	7.538	2.69	2.8		
	20	6.246	2.6	2.4		
	21	17.726	8.16	2.17		
	22	5.492	2.14	2.56		
	24	11.320	5.1	2.22		
	25	2.709	1.2	2.26		
	27	8.219	2.6	3.16		
	28	11.788	4.16	2.83		
29	11.466	3.92	2.93			
蠟光玉	2	16.027	5.14	2.29	平均 2.925 最大 3.18 最小 2.29	2
	4	6.151	2.34	2.63		
	6	9.270	3.2	2.9		
	7	14.112	4.55	3.1		
	19	9.251	3.38	2.74		
	23	10.058	3.59	2.8		
	31	11.828	3.81	3.1		
	36	6.152	2.25	2.73		
	41	6.200	1.95	3.18		
	43	11.928	4.13	2.69		
	45	5.816	2.17	2.68		
	51	7.72	2.9	2.66		
	52	17.64	6.22	2.84		
	56	10.92	3.88	2.81		
	71	7.73	2.85	2.71		
	74	9.75	3.65	2.67		
	76	6.2	2.05	3.02		
	82	11.34	3.91	2.9		
	83	8.51	2.7	3.15		
914	7.46	2.58	2.89			
貓眼玉	17	8.201	4.05	2.02	平均 3.031 最大 4.33 最小 2.02	1
	34	8.579	3.15	2.72		
	54	23.29	9.9	2.35		
	70	11.70	2.7	4.33		
	78	13.79	3.4	4.06		
	79	16.13	6.15	2.62		
	93	8.34	2.65	3.15		
100	7.89	2.65	3.0			

研究問題三：臺灣玉有哪些顏色？

研究方法：觀察法

研究工具	研究材料
數位手持顯微鏡、手提電腦、 顏色分析判讀軟體(線上取得： https://www.ginifab.com.tw/tools/colors/color_picker_from_image.php)	青玉*20 蠟光玉*20 貓眼玉*8

研究步驟：

- 步驟一：開啟手提電腦，連線到網址：https://www.ginifab.com.tw/tools/colors/color_picker_from_image.php。
- 步驟二：電腦安裝數位手持顯微鏡，並測試效果。
- 步驟三：取出臺灣玉樣本，使用數位顯微鏡拍攝影像照片。
- 步驟四：將拍攝的臺灣玉照片上傳到顏色判讀平台。
- 步驟五：每張照片選取六個點，紀錄下六個點的RGB數值。
- 步驟六：依序完成青玉、蠟光及貓眼玉的顏色判讀。
- 步驟七：統計最後的顏色判讀結果。

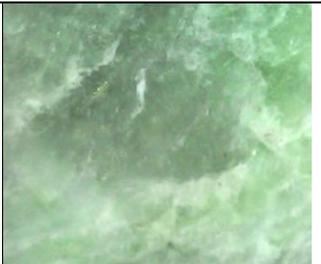
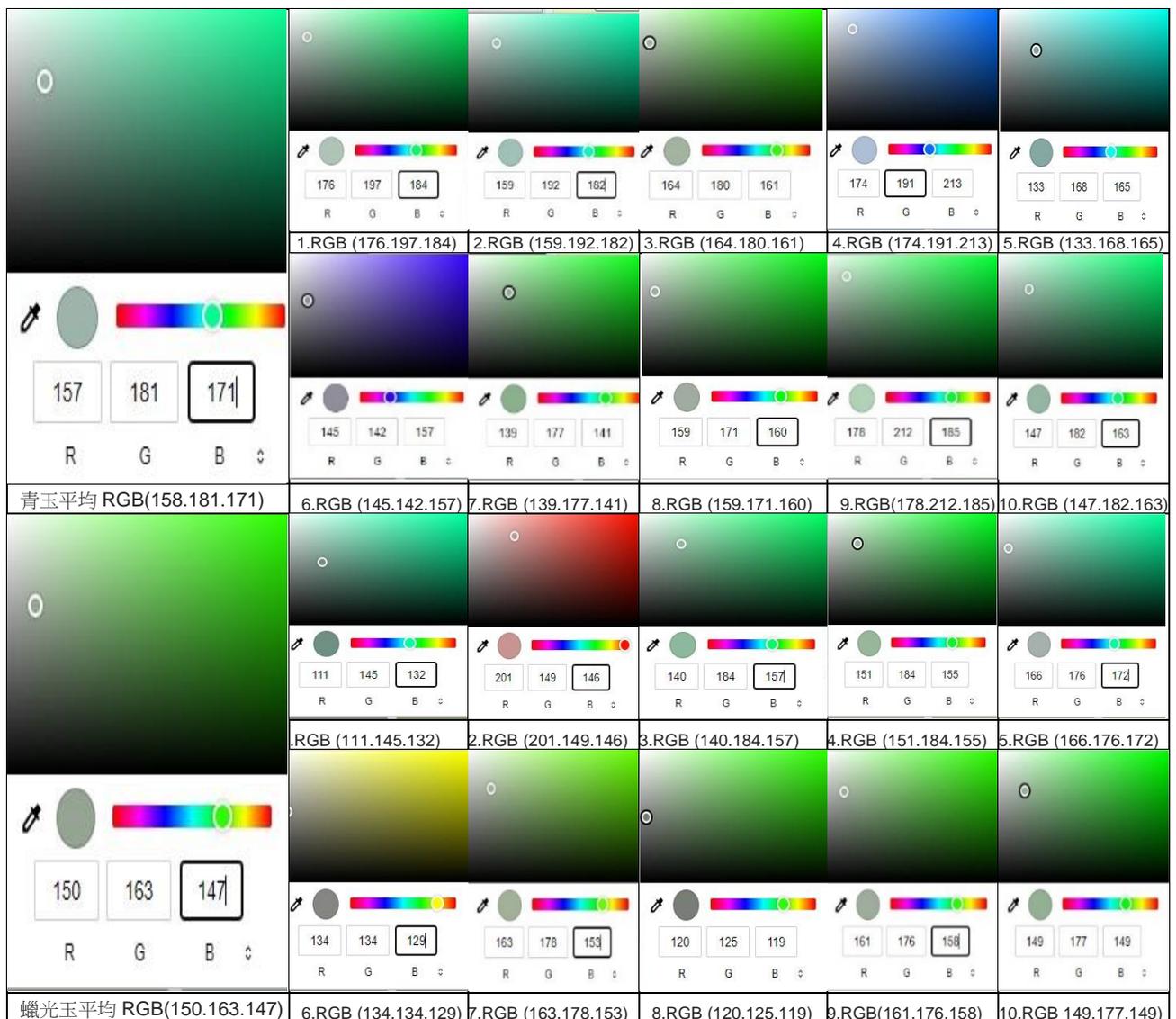
			
我們研究所使用的顏色判讀網站。	青玉判讀的範例。	手持顯微攝影拍攝青玉的範例。	手持顯微攝影拍攝蠟光玉的範例。
			
手持顯微攝影拍攝貓眼玉的範例。	手持數位顯微鏡拍攝玉石紀錄-1。	手持數位顯微鏡拍攝玉石紀錄-2。	顏色判讀的工作環境-1
			
顏色判讀工作環境-2	顏色判讀工作環境-2	判讀結果解讀-1。	判讀結果解讀-2。

圖 10. 臺灣玉有哪些顏色研究過程紀錄

研究結果：我們所採集的十件青玉樣本中，顏色介於綠藍色之間(平均 RGB157、181、174)，第 4 (RGB174. 191. 213)、6(RGB145. 142. 157)兩件青玉的顏色偏向藍灰色。第 2(RGB159. 192. 182)、5(RGB133. 168. 165)兩件顏色偏向靛青色。其餘六件呈現灰綠到淺綠。

我們採集十件蠟光玉平均顏色為淺綠色(RGB150. 163. 147)，個別看其中物件的表現，2 號呈黃紅色(RGB201. 149. 146)，6 號呈綠黃色(RGB134. 134. 129)，1 號(RGB111. 145. 132)及 5 號(RGB166. 176. 172)呈靛青色，其餘六件呈灰綠到綠色之間。

我們採集的八件貓眼玉，平均顏色為淺綠(RGB118. 131. 121)，個別觀察其中物件的表現，2 號(RGB139. 177. 141)及 5 號(145. 142. 157)呈靛青色，6 號呈綠黃色(RGB. 139. 177. 141)，其餘五件貓眼玉的顏色呈現灰綠到綠色之間。



	1.RGB (145.142.157)	2.RGB (139.177.141)	3.RGB (159.171.160)	4.RGB(178.212.185)	
貓眼玉平均 RGB(118.131.121)	5.RGB (145.142.157)	6.RGB(139.177.141)	7.RGB (159.171.160)	8.RGB(178.212.185)	

圖 11. 不同類型臺灣玉的顏色表現。

討論：綜合以上各類臺灣玉的色澤表現，灰綠到淺綠的顏色最多，共出現 17 件，占比 60%，且青玉、蠟光及貓眼皆能找到淺綠的玉礦。靛青色次多(占比 22%)，青玉、蠟光、貓眼各有兩件。藍灰色 2 件(占比 7%)僅在蠟光玉出現。綠黃色 2 件(占比 7%，蠟光貓眼各出現 1 件)，黃紅色 1 件(占比 4%，僅在蠟光玉中出現)。

臺灣玉主要具有透閃石至陽起石的成分，一般閃玉的顏色取決於組成礦物的種類與成分。顏色偏白者，幾乎是以透閃石為主；當含鐵量較高的陽起石比例逐漸增多時，顏色從淡綠色轉為墨綠色；而鉻含量越高者，顏色會偏向翠綠色。臺灣玉通常呈暗綠色至黃綠色、半透明或不透明，因 內含鉻鐵礦，所以外觀經常呈現黑色的小斑點或條帶（圖 3）。

研究問題四：臺灣玉的韌性多少？不同類別臺灣玉韌性一樣嗎？哪一種臺灣玉的韌性最好？

研究方法：實驗法

研究工具	研究材料
室內攝影架(架設玉棒材料) 直尺、磅秤、砝碼	11公分長之青玉、蠟光玉及貓眼玉玉棒各3根。

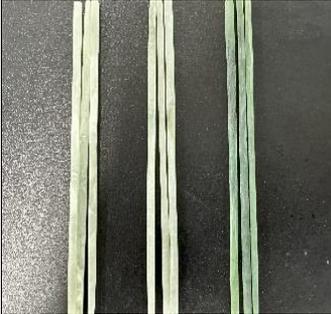
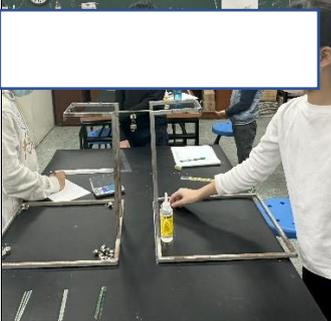
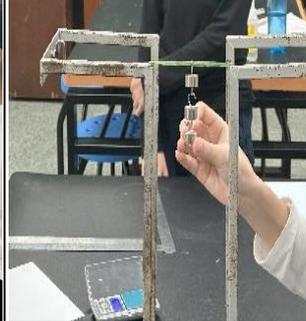
研究步驟：

步驟一：將玉棒平穩放置在攝影架子上，並用保麗龍膠固定兩端。

步驟二：掛上砝碼，逐漸增加重量，直到玉棒斷裂為止。

步驟三：依序完成青玉棒3根、蠟光玉棒3根、貓眼玉棒3根之測試實驗。

步驟四：統計結果，並算出不同類型玉棒的最大承重力。

			
老師協助我們處理玉棒材料。	青玉材料初胚。	蠟光玉材料初胚。	貓眼玉材料研磨。
			
本研究所使用的玉棒材料。	測量玉棒的重量。	把玉棒架到實驗架上。	架上實驗架的青玉。
			
三人分工執行韌性實驗。	小心的掛上砝碼。	一個一個掛上去。	玉棒承重的力量超乎想像的厲害。

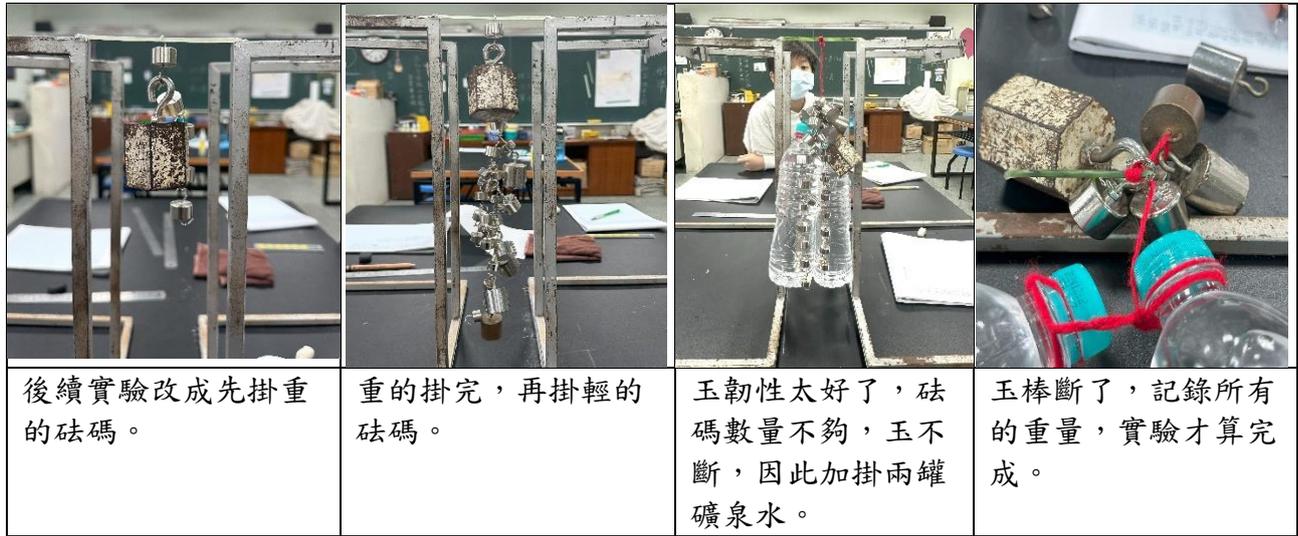


圖 12. 臺灣玉韌性實驗過程紀錄

研究結果：貓眼玉玉棒的平均掛重最佳，達 1418 克(min1380 克；max1455 克)。其次為青玉，平均掛重為 1115 克(min782；max1418 克)。蠟光玉第三名，平均掛重為 782 克(min675 克；max850 克)。

表 3、臺灣玉韌性實驗結果

臺灣玉類別		重量	平均重量	最大掛重	平均掛重	掛重能力	備註
青玉	1	2.04 克	2.03 克	1075 克	1115 克	2	549 倍
	2	2.02 克		1035 克			
	3	2.03 克		1237 克			
蠟光玉	1	2.08 克	2.04 克	675 克	782 克	3	383 倍
	2	2.04 克		820 克			
	3	2.01 克		850 克			
貓眼玉	1	2.01 克	2.02 克	1420 克	1418 克	1	701 倍
	2	2.01 克		1455 克			
	3	2.04 克		1380 克			

討論：我們這一個實驗主要在探討不同類別臺灣玉的韌性是否一樣，並且找出韌性最棒的臺灣玉類型。實驗設計透過測量玉棒懸掛的最大重量為韌性的數值，能掛的越重，且不會斷的，表示韌性越好。經過實驗，我們發現貓眼玉棒的韌性最好，平均 2.02 公克的貓眼玉棒，竟然能夠懸掛 1418 公克重，大於貓眼玉棒本身 701 倍。堪稱韌性之王。另讓我感到訝異的是，青玉竟然能掛起比自己重 549 倍的物體，蠟光玉能掛起比自己重 383 倍的物體。這些發現讓我們感到十分好奇，會不會是因為臺灣玉的構造因素影響它們的韌性表現。為了尋找答案，我們預計持續進行問題五與問題六，深入探討這個問題。



圖 13. 細長的臺灣玉能掛起超過自己重量 701 倍重的砝碼，韌性表現極佳。

研究問題五：不同類別臺灣玉的內部構造一樣嗎？它們如何排列的呢？

研究方法：

研究工具	研究材料
解剖顯微鏡 5 倍目鏡*1 10 倍目鏡*1 10 倍物鏡*1 20 倍物鏡*1 光學素描版*1 單眼相機	臺灣玉青玉材料*5 臺灣玉蠟光玉材料*5 臺灣玉貓眼玉材料*5

研究步驟：

- 步驟一：將青玉、蠟光及貓眼等臺灣玉裁切成可放置到顯微鏡的薄度。
- 步驟二：先用 40 倍觀察不同臺灣玉的內部構造，並運用素描及攝影的方式紀錄下來。
- 步驟三：再用 100 倍觀察不同臺灣玉的內部構造，並用素描及攝影的方式記錄下來。
- 步驟四：統整上述的影像發現，提出不同類別臺灣玉內部構造之觀察結論。

青玉 40 倍(10 乘以 4)	蠟光玉 40 倍(10 乘以 4)	蠟光與貓眼玉共生 40 倍(10 乘以 4)	
青玉 100 倍(10 乘以 10)	蠟光玉 100 倍(10 乘以 10)	貓眼 100 倍(10 乘以 10??)	觀察筆記-1
青玉觀察素描	觀察研究用樣本-1	觀察研究用樣本-2	
組員觀察素描紀錄-1	組員觀察素描紀錄-2	組員觀察素描紀錄-3	觀察筆記-2

圖 14. 不同類型臺灣玉內部構造顯微觀察過程紀錄

研究結果：透過顯微觀察，不同類別臺灣玉的內部構造確實呈現不同的排列現象。青玉呈現片狀構造，看起來像是一片片疊上去的構造。蠟光玉呈現點狀排列構造。貓眼玉呈現捲曲的線形構造排列。閃玉具纖維狀交織構造，質地堅韌，是最具韌性的寶石。一般韌性高的晶體，在受到外力作用時，抵抗破裂的能力就越強。因閃玉是由許多微小單晶彼此鑲嵌而互鎖，當受到外力撞擊時，往往只會產生微尺度的裂隙，這也是玉石具有極高韌性的原因。

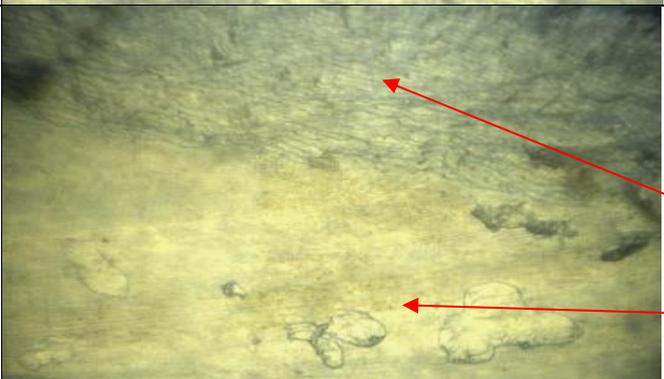
青玉構造觀察		<p>青玉的內部構造(10*10=100倍)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 呈現片狀構造，看起來像一片片疊上去的層狀感。 2. 部分位置出現黑色斑塊。 <p>黑色斑點</p> <p>片狀堆疊的構造</p>
蠟光玉構造觀察		<p>蠟光玉的內部構造(10*10=100倍)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 成分中出現許多大小不同的點狀、圓形構造。 2. 黑色斑點散步在內部構造中。 <p>許多黑色細小斑點</p> <p>圓形小晶體構造</p>
貓眼玉構造觀察		<p>貓眼玉的內部構造(10*10=100倍)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 整齊排列的線條構造。 2. 部分線條呈現交錯盤結的構造。 <p>整齊的平行線條排列</p> <p>交錯盤結的網狀構造排列</p>
蠟光與貓眼玉共生		<p>蠟光與貓眼玉共生(4*10=40倍)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 上方呈線條、網狀構造為貓眼玉 2. 下方呈細點點構造為蠟光玉 <p>貓眼玉構造</p> <p>蠟光玉構造</p>

圖 15. 不同類型臺灣玉內部構造文字描述

研究問題六：不同的排列構造方式會不會影響物體韌性表現呢？

研究方法：實驗法

研究工具	研究材料
攝影架、砝碼、磅秤、烤箱 照相機	黏土

研究步驟：

步驟一：取黏土六份，每份 30 公克。

步驟二：將每份的黏土再分成 10 份，捏成青玉片狀、蠟光玉點狀及貓眼玉條狀構造。

步驟三：將黏土填塞 2*2 公分，長 12 公分的模型中，取出搓圓變成黏土棒。

步驟四：使用烤箱，將黏土棒乾燥 10 分鐘後，再進行韌性實驗。

步驟五：統計實驗結果，提出結論。

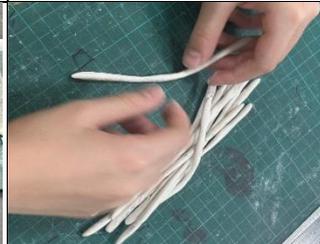
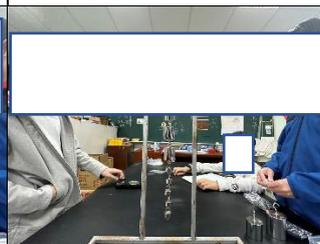
			
測量每份黏土 30 公克	將每份材料區分成 10 小等分。	將每小等分捏成片狀、條狀及圓狀。	圓狀的構造。
			
條狀的構造	片狀的構造	條狀構造	將小成分捏塑成棒狀
			
組員合力工作的狀況	放入模中塑形	用烤箱將黏土脫水。	脫水後黏土棒再秤重
			
不同構造黏土棒樣本	將實驗棒架上平台	進行實驗-1	進行實驗-2

圖 16. 不同構造黏土棒韌性實驗過程紀錄研究結果

研究結果：不同構造排列方式會影響物體的掛重表現。構造因素會影響物體的韌性表現。細看不同構造設計的掛重表現，線條構造排列的平均掛重最好，可以掛 556 克的重量。所掛的重量約為自己重量的 22 倍。其次為片狀構造排列，可以掛 337 克的重量，約為自己重量的 13.36 倍。圓點構造掛重表現第三名，可掛重 164 克的重量，約為自己重量的 6.58 倍。

表 4. 不同構造排列影響物體掛重表現實驗結果

類別		乾燥脫水 後重量	平均 重量	最大 掛重	平均 掛重	掛重能力排序	備註
片狀構造排列 (青玉)	1	24.86	25.22	344	337	2	13.36 倍
	2	25.58		330			
圓點構造排列 (蠟光玉)	1	24.48	24.92	180	164	3	6.58 倍
	2	25.35		146			
線條構造排列 (貓眼玉)	1	24.86	25.33	572	556	1	22 倍
	2	25.80		540			

柒、綜合討論、結論與建議

一、綜合討論

本研究目的有二，第一，認識臺灣玉有哪些類別及物理特性，並從研究過程歸納、整理出辨識臺灣玉的科學方法。第二，透過韌性實驗，測量臺灣玉的韌性表現，並探討成因及應用價值。本節進行綜合討論。

綜合討論一：臺灣玉的特性與科學辨識方法

表 5 綜合整理了臺灣玉顏色、構造排列方式及韌性表現的科學發現。顏色的部分，淺綠、靛青以及白色是三種類型臺灣玉都出現的色澤，在野外觀察時，這三種色可以當成是觀察的重要線索。另外，黃色、橘黃、黑色也是臺灣玉會出現的顏色，也可做為野外採集觀察臺灣玉的重要參考。

構造的部分，研究結果發現，臺灣玉呈現片狀、圓形點狀以及條狀構造，因此在觀察臺灣玉時，可留意觀察玉石是否出現上述三種構造樣貌。另外，也可以透過手電筒逆光的方式，幫助採集者判斷玉石的顏色與構造，用燈具輔助細部觀察。

以下為我們建議透過肉眼以及手電筒輔助燈具觀察臺灣玉的方法，供大家參考：

(一)使用肉眼觀察臺灣玉的科學方法

1. 先判斷顏色，大部分臺灣玉由淺綠色到墨綠色，少部分呈黃、橘色。
2. 找尋白色的礦物共生。
3. 觀察臺灣玉的片狀構造。
4. 觀察有沒有黑點。

(二)使用燈具(手電筒)輔助觀察的科學方法

1. 用順光照射：先將燈具緊貼臺灣玉表現，觀察顏色。再將燈具拿高，離開玉石表面 5-10 公分，觀察構造是否屬於片狀構造，有沒有黑點，有沒有纖維反射。

2. 用逆光照射：將手電筒拿到玉石背面，觀察臺灣玉顏色、片狀構造，逆光觀察玉石的構造，如平行排列及網狀排列的效果比較好，也看看玉石的內容細膩像蠟燭的光澤。



圖 17，使用燈具輔助觀察，有助於更清楚到玉石的細節與內部構造。

表 5、臺灣玉的特性與科學辨識方法

	不同類型臺灣玉的特性		
	青玉	蠟光玉	貓眼玉
顏色	藍綠色、藍灰色 靛青色、淺綠色、 黑點、白色	淺綠色、黃紅色、 綠黃色、靛青色、 白色	淺綠色、靛青色、 白色
構造排列	片狀的構造	微小點狀構造	線性排列構造
韌性	能掛起比自己重 549 倍 的重物。	能掛起比自己重 383 倍 的重物。	能掛起比自己重 701 倍 的重物。
使用肉眼 觀察辨識 臺灣玉的 科學方法	1. 先判斷顏色，淺綠色到墨綠色，少部分會呈黃、橘色。 2. 找尋白色的石綿共生。 3. 觀察臺灣玉的片狀構造。 4. 黑點。		
使用燈具 協助觀察 辨識	1. 順光照射：觀察臺灣玉的顏色特性，片狀構造，黑點、石綿纖維的反射光。 2. 逆光照射：觀察臺灣玉的顏色、片狀構造，如平行排列及交互盤結的石綿纖維，細膩像蠟燭的光澤。		

綜合討論二：臺灣玉的韌性表現與應用價值

我們的研究發現臺灣玉的韌性相當的好，透過韌性實驗、顯微觀察以及黏土的模擬實驗發現，貓眼玉韌性最佳，能掛重比自己重 701 倍的砝碼。青玉能掛比自己重 549 倍的砝碼，蠟光玉能掛比自己重 383 倍的砝碼。

透過顯微觀察其內部構造，貓眼玉由平行與網狀交錯排列的纖維組成。透過黏土構造的模擬實驗，我們發現由線條組合成的網狀交錯構造掛重效果明顯優於片狀與圓點狀排列，間接證實了貓眼玉的韌性與其網狀交錯排列的構造有高度相關。

建議未來在飾品雕刻、研磨及創作設計製作上，能朝向彰顯臺灣玉韌性優勢的方向發展，讓藝術創作與設計師能夠設計、創作出獨一無二的臺灣玉作品。另，我們觀察發現貓眼玉具有平行與網狀的構造，在陽光或者手電筒照射下，能夠反射及聚集出強烈的光線。這讓我們產生進一步探討貓眼玉傳導熱源與聚光效益的研究潛能。建議後續研究持續關注探討。

表 6. 臺灣玉的韌性表現與未來應用價值

	青玉	蠟光	貓眼玉
韌性表現	承重大於自己 549 倍 片狀構造	承受大於自己 383 倍 圓點狀構造	承受大於自己 701 倍重。 平行構造 網狀交錯構造
應用價值	<p>★不論青玉、蠟光或貓眼，都有韌性佳的優勢，未來在飾品雕刻、研磨及創作等商品設計及工藝製作技術上，建議朝向彰顯臺灣玉韌性佳的優勢發展，設計、創作出獨一無二的作品。</p> <p>★平行與網狀構造的貓眼玉，在導熱與聚光效益的潛能，值得進一步探索。貓眼玉具有平行以及網狀構造的潛能，在陽光或者不同光源的照射下，會出現聚光的效果，反射出明亮的貓眼線。我們猜測這些造成貓眼現象的構造排列，能夠促進光與熱的傳導速度，增加光的效益，建議未來研究能夠持續關注與探討。</p>		

二、研究結論

結論一：青玉、蠟光及貓眼玉的比例約為 9:4:1。在野外採集到 14 顆的臺灣玉中，9 顆青玉、4 顆蠟光玉，僅 1 顆貓眼玉，貓眼最為珍貴稀有。

結論二：不同類型臺灣玉密度不一樣。貓眼玉平均密度 3.031g/cm³，蠟光玉平均密度 2.925g/cm³，臺灣青玉平均密度 2.592g/cm³。

結論三：臺灣玉的色澤變化多，各類臺灣玉以灰綠到淺綠的顏色最多，占 60%。靛青色占 22%；藍灰色占 7%，綠黃色占 7%；黃紅色佔約 4%。

結論四：臺灣玉的韌性極佳。貓眼玉能承受大於自己重量 701 倍重的物體。青玉能承受超過自己重量 549 倍的物體。蠟光玉能承受超過自己 383 倍的物體。

結論五：臺灣玉的內部構造特殊，有片狀、圓點狀、平行排列及網狀構造。貓眼玉的平行與網狀構造承重效果優於片狀及圓點狀，其中蘊藏的導熱以及聚光等科學效應，值得後續研究繼續追蹤探討。

三、研究建議

建議一：創作的建議

我們認為不論青玉、蠟光或貓眼，它們的韌性都很棒，未來在創作及工藝製作技術，建議朝表現韌性的方向發展。另平行與網狀構造的貓眼玉，在導熱與聚光效益的潛能，值得進一步探索。

建議二：學術研究的建議

繼續探討貓眼玉平行與網狀構造是否對於傳導熱源以及聚光的能力具有提升的效益。

捌、參考文獻

何恭算(2021)。從地質觀點認識臺灣玉。文章收錄於科博館訊(402)期。

朱靜江譯(2008)。世界岩石與礦物圖鑑。臺北：貓頭鷹。

劉憶諄、何恭算(111)。玉言故事：臺灣玉傳奇」特展，文章收錄於科博館訊(401期)。

譚立平(1978)。臺灣花蓮豐田軟玉礦床之礦物研究。行政院國家科學委員會專刊。臺北。

玖、附件

100 顆野外採集原石的基礎測量

編號	重量(公克)	長(最大)	寬(最大)	厚(最大)	玉石類別	備註
1	15.162	5.8	2.7	0.2	青玉	
2	16.027	6.9	2	0.7	蠟光玉	
3	9.813	4.6	2	0.3	青玉	
4	6.151	4.4	2	0.3	蠟光玉	
5	10.672	5	1.5	0.7	青玉	
6	9.270	4.5	2.3	0.2	蠟光玉	
7	14.112	7.5	1.8	0.3	蠟光玉	
8	7.946	5	2.3	0.4	青玉	
9	3.661	3.5	1.6	0.3	青玉	
10	8.472	5.7	1.3	0.6	青玉	
11	6.060	2.5	2.2	0.4	青玉	
12	14.817	5	3	0.3	青玉	
13	4.993	3.9	2.3	0.2	青玉	
14	14.187	6	3	0.3	青玉	
15	9.467	3.7	2.4	0.15	青玉	
16	7.538	3.6	1.8	0.2	青玉	
17	8.201	4	2.5	0.2	貓眼玉	
18	15.463	4.8	2	0.6	青玉	
19	9.251	6	1.5	0.1	蠟光玉	
20	6.246	3.8	1.9	0.2	青玉	
21	17.726	5.6	2.8	0.6	青玉	
22	5.492	3.4	2.7	0.4	青玉	
23	10.058	5.1	2.2	0.3	蠟光玉	
24	11.320	4.7	3	0.5	青玉	
25	2.709	3.5	2.1	0.3	青玉	
26	8.614	4.6	3.7	0.4	青玉	
27	8.419	3.7	2.4	0.3	青玉	
28	11.788	5.7	2.5	0.6	青玉	
29	11.466	4.4	2.9	0.7	青玉	
30	13.315	4.1	2.9	0.7	青玉	
31	11.828	5.0	2.3	0.4	蠟光玉	
32	11.555	4.1	2.9	0.6	青玉	
33	15.183	3.5	1.1	1.7	青玉	
34	8.579	4.4	2.0	0.3	貓眼玉	
35	13.999	5.8	2.3	0.6	青玉	

36	6.152	4.4	1.8	0.5	蠟光玉	
37	11.175	4.5	2.1	0.5	青玉	
38	23.373	4.4	3.6	0.9	青玉	
39	21.253	5.4	3.0	0.8	青玉	
40	18.797	5.2	4.8	0.6	青玉	
41	6.200	5.6	2.1	0.2	青玉	
42	4.627	3.5	1.9	0.2	青玉	
43	11.928	3.6	1.7	1.1	蠟光玉	
44	9.928	5.9	1.0	0.9	青玉	
45	5.816	4.9	1.1	0.4	蠟光玉	
46	2.533	2.69	1.6	0.2	青玉	
47	12.650	4.1	1.5	0.5	青玉	
48	10.407	3.1	2.8	0.2	青玉	
49	19.142	3.6	2.6	0.6	青玉	
50	10.613	4.7	2.5	0.3	青玉	
51	7.72	3.15	2.4	0.85	蠟光玉	
52	17.64	5	2.05	0.9	蠟光玉	
53	22.54	5.35	4.55	0.65	青玉	
54	23.29	5.15	4.1	0.75	貓眼玉	
55	8.59	5.4	1.15	0.8	青玉	
56	10.92	4.7	2.1	0.4	蠟光玉	
57	14.39	5.6	3.1	0.7	青玉	
58	3.13	5.25	2.1	0.3	青玉	
59	3.90	1.3	2.05	0.5	青玉	
60	5.32	3.6	2.15	0.45	青玉	
61	6.81	4.35	3.15	0.25	青玉	
62	11.00	4.4	2.75	0.65	青玉	
63	9.38	4.55	2.25	0.65	青玉	
64	13.72	4.75	3.8	0.6	青玉	
65	17.12	4.85	3.4	0.75	青玉	
66	7.53	3.45	2.5	0.6	青玉	
67	22.25	5.65	3.4	0.7	青玉	
68	8.84	4.9	3	0.4	青玉	
69	7.05	3.3	3.15	0.55	青玉	
70	11.70	4.4	2.8	0.7	貓眼玉	
71	7.73	6.3	1.05	0.65	蠟光玉	
72	14.90	4.35	3.1	0.9	青玉	
73	7.34	2.95	2.8	0.75	青玉	
74	9.75	4.6	2.4	6.7	蠟光玉	

75	6.55	3.05	8.65	0.6	青玉	
76	6.2	5.6	1.7	0.3	蠟光玉	
77	3.01	3.8	1.6	0.3	青玉	
78	13.79	5.8	2.6	0.7	貓眼玉	
79	16.13	6.2	2.6	0.8	貓眼玉	
80	3.4	2.8	1.8	0.4	蠟光玉	
81	8.55	4.9	1.7	0.8	青玉	
82	11.34	4.8	3.7	0.3	蠟光玉	
83	8.51	4.6	2.5	0.4	蠟光玉	
84	3.15	3.6	1.4	0.3	青玉	
85	5.39	5.7	1.7	0.6	青玉	
86	12.85	4.1	3.5	0.6	青玉	
87	10.38	4.9	1.9	0.7	蠟光玉	
88	14.51	4	3.9	0.7	青玉	
89	7.84	4.5	2.9	0.3	青玉	
90	14.84	5.5	2.7	0.7	蠟光玉	
91	9.7	3	2.9	0.5	青玉	
92	12.2	5.4	1.8	0.8	青玉	
93	8.34	4.4	2.6	0.5	貓眼玉	
94	7.46	5	1.4	0.7	蠟光玉	
95	3.44	3.2	2	0.3	青玉	
96	16.98	5.4	3.8	0.6	青玉	
97	12.3	4.5	2.8	0.7	蠟光玉	
98	9.92	4.5	2.2	0.7	青玉	
99	12.76	4.5	3.9	0.5	青玉	
100	7.89	2.8	2.4	0.7	貓眼玉	

2023.12.20(三)日記

NO.

上上上次在上課時有將一百顆玉石的長、寬
和厚寫出來(表格)刺下要做的就寬
類別和顏色也分類出類別寫出來並投票，最後
把這一百顆玉確認。台灣玉有三種，分別是青
再玉、蠟光玉和貓眼玉，青玉蠟光玉的特徵則會
透光：表面有反射，簡單找不出它的「規則」。而
呈現「慢反射」，陽光找不出它的「規則」。而
維太細導致特徵是長條狀的纖維。在分辨
貓眼玉的過程中，我們還有用「光板」來觀察其
透光的程度，但主任說並不能用透光的來區
玉的種類！我們觀察一百顆玉石的類別之
後，還要互相討論，四人本來都認為是某一種
利，但因為一直產生分歧，總感覺他們要
吵起來了！不過 [] 真的觀察到很多顆
我沒看到的地方！原本我們三個認為一顆
玉石是蠟光玉，但 [] 說它有透光，所
以是青玉，當時我們認為只有邊緣是青玉
，不斷想寫上「蠟光玉」，直到 [] 老師
用手機往玉石中央照，我們才赫然發現中
央非常透光！果然做材料就要「看仔細」
啊！

今天科展就是要做完「韌性實驗」啊！但我認為[]沒有帶砝碼，所以覺得今天媽媽的課程又會一直空蕩。但[]說他媽媽會把砝碼送來學校，因此我們終於可以開始進行台灣玉的韌性實驗了！上次主任請[]切了長條狀的玉（每種各三條），今天我們就先進行了模擬的實驗。一開始，我們前前後後掛了一百公克的砝碼，結果玉跟本沒有任何損傷！於是我們就用的實際樣本開始實驗。但在我們預料之外的，是掛完了所有砝碼竟然沒辦法折斷玉石！因此我們又用了之前做密度的材料（水瓶）來增加對玉施加的力。一開始先用一瓶，但太輕了……之後我們改用兩瓶，但竟然還是沒有把玉折斷！本來還打算加更多水瓶，但我們還是想要先做別種玉的韌性實驗，就把原本掛在青玉上的水瓶直接掛到蠟光玉上，想不到它就直接斷掉了！主任又再重新拿[]一顆來測試，但又再斷掉一次了！兩瓶水加起來大概有一公斤重，所以我們就一個一個砝碼慢慢掛上去（怕折斷，畢竟只剩一根QAQ）但奇怪的是，全部砝碼都掛上去了但就是沒斷。我們覺得可能是因為玉一瞬間被掛上的水瓶給折斷了，下次可能需要更多砝碼來測試。

