

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

080209

打破雞蛋「畫」到底-蛋彩塗料配方探討

學校名稱： 新北市土城區廣福國民小學

作者： 小四 陳柔樺 小四 沈彥希 小四 卞羿傑 小四 蘇柏予	指導老師： 陳怡文 董昶亨
---	-------------------------

關鍵詞： 蛋白質、天然塗料、乳化劑

打破雞蛋「畫」到底—蛋彩塗料配方探討

摘要

蛋彩畫是一門古老的藝術技法，但由於材料和環境條件的複雜性，保存是一大挑戰。本研究探究影響蛋彩塗料配方的多個因素，包括雞蛋品種、吸附能力、酸鹼性、抗光性、耐侯性、黴菌生長等。並使用色差儀和小畫家來測量色差值、RGB 和 HSV 等色彩參數，進一步分析之間的差異和特性。研究結果顯示，蛋黃乳液、油類和無機色粉是塗料長期保存的關鍵。水中加入酸性添加物時，色差值變化最小。使用油類可以提高塗料穩定性、耐光性、耐侯性。調配塗料加入醋可抑制黴菌生長，並將畫作放置乾燥、陰暗室內。與現今常見顏料相比，蛋彩畫材料天然、可再生，調配過程無污染，作品可降解，符合綠色化學理念。因此，本研究為傳承蛋彩藝術提供了相關科學依據。

壹、前言

一、研究動機

前陣子，台灣出現嚴重的缺蛋危機，走進菜市場、超市甚至便利商店，貨架上都看不到雞蛋，喜愛吃蛋料理的我，已經兩個禮拜都沒有吃到蛋了。正當沉浸在哀傷中，聽到美術老師介紹達文西《最後的晚餐》這幅名畫有雞蛋的成分時，令我大吃一驚，古人竟然會拿雞蛋來作畫？

查詢資料發現，追求完美的達文西將蛋液融入顏料中，這種繪畫技法稱作坦培拉蛋彩。但也由於他選用了這種顏料，導致這幅畫畫完後的 20 年開始逐漸褪色，數十年後甚至嚴重剝落，人物輪廓變得模糊，最後整幅畫幾乎面目全非。現今我們能再次看到這幅畫，都是多虧了修復團隊日以繼夜的修整，才讓它再次重現在世人眼前。這時的我思考著，如果能釐清用蛋液作畫的訣竅，想必能減少創作者因對材料不了解，造成作品難以保存的狀況，並提供相關實驗數據給後人參考，讓大家重新認識蛋彩的美好。

本參展作品與教學單元之相關性有：

1. 國小康軒自然領域三上 第四單元 溶解度
2. 國小康軒自然領域五下 第三單元 水溶液的酸鹼性
3. 國小康軒自然領域六下 第二單元 微生物與食品保存



達文西名畫—最後的晚餐

圖片來源：
<https://artemperor.tw/focus/496>

二、研究目的

有了想利用雞蛋調製天然蛋彩塗料的念頭後，我們列出了三項研究的目的，希望能找出蛋彩畫的特性，並將其推廣於日常生活中。

(一) 分析「蛋彩塗料」調配的秘密

實驗 1-1 使用不同雞蛋調製蛋彩塗料，其色差比對測試

實驗 1-2 使用不同比例的全蛋液、純蛋液、蛋白液在畫布上形成液滴時其接觸角測量

實驗 1-3 使用不同攪拌速度調製蛋彩塗料，其色差比對測試

實驗 1-4 使用不同攪拌時間調製蛋彩塗料，其色差比對測試

(二) 探討「添加物」對蛋彩塗料的影響

實驗 2-1 探討鹼性、酸性、中性水溶液對蛋彩塗料成色的影響性

實驗 2-2 探討飽和、不飽和油類對於蛋彩塗料成色的影響性

實驗 2-3 探討無機、有機色粉對於蛋彩塗料成色的影響性

(三) 探討「環境」對於蛋彩塗料的影響

實驗 3-1 探討紫外線對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

實驗 3-2 探討酸鹼性對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

實驗 3-3 探討溼度對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

實驗 3-4 模擬炎熱潮濕的台灣環境，防腐材對於不同配方的蛋彩塗料的保護程度

三、文獻回顧

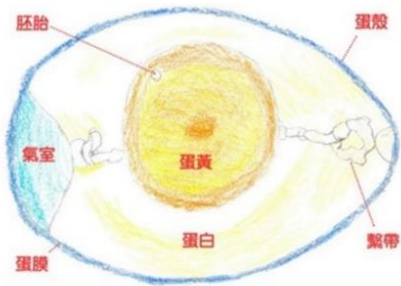
(一) 國內相關研究主題的搜尋與分析：

全國中小學科展歷屆優勝作品資料庫	研究題目	實驗目的與研究焦點	本次研究的立足點與前人作品的區別
中華民國第 58 屆作品 國小組化學 作品編號 080210	化腐朽為神漆	主要的研究焦點是從廢棄的酒精中提取蛋白質，用以製造無毒的膠水和塗料，從而賦予這些廢棄物新的用途和價值。	我們的研究主要關注於借鑑蛋白質變性後的沉澱物對理想塗料的評估標準，並根據這些標準中所提及的功能測試，深入探討蛋彩畫作無法保存的原因。同時，我們也致力於探究如何有效地測量蛋彩塗料之間的差異。
中華民國第 61 屆作品 國中組生活與應用科學(二)科 作品編號 032904	新式複合顏料	主要目標是開發一種能夠長期保存的顏料，透過研究混合酚醛樹脂、亞麻仁油、異丙醇等物質的特性，設計出無需額外保護層、不產生濃重氣味、且乾燥時間適中的新型顏料。	他們的研究主要集中在改進繪畫時出現的問題，並尋求新型油畫媒材的配方，其中包括適當的聚合物和溶劑，而這些配方並不包含蛋白質成分，因此與我們的實驗相關性較小。

(二) 基本材料分析：

1. 雞蛋組成

本實驗使用的雞蛋取自於新鮮雞蛋，雞蛋選擇標準以保存期限尚有兩周以上之雞蛋，雞蛋是天然的營養品，自古便是人類的重要食品，雞蛋大概可分為蛋黃、蛋白、胚盤、蛋膜、氣室、蛋殼等部分。蛋殼約佔全蛋體積的 10%、蛋白約 60%、蛋黃約 30%。全蛋、蛋白、蛋黃的詳細成分列表於右表 1。



蛋白約佔一顆蛋的60-62%
蛋黃約佔一顆蛋的28-30%
蛋殼約佔一顆蛋的10%
(大部分白殼蛋蛋黃比例比較大)

圖片來源：
<https://www.dcard.tw/f/funny/p/224780940>

成分	全蛋	蛋白	蛋黃
熱量(kcal)	158	49	351
水分(g)	74.7	88.0	51.0
蛋白質(g)	12.3	10.4	15.3
脂質(g)	11.2	Φ	31.2
糖質(g)	0.9	0.9	0.8
灰分(g)	0.9	0.7	1.7
鈣(mg)	55	9	140
磷(mg)	200	11	520
鐵(mg)	1.8	0.1	4.6
鈉(mg)	130	180	40
維生素A1(μg)	190	0	540
胡蘿蔔素(μg)	15	0	42
維生素B1(mg)	0.08	0.01	0.23
維生素B2(mg)	0.48	0.48	0.47
菸鹼酸(mg)	0.1	0.1	Φ
維生素D(IU)	10	0	30

Φ：微量

表1 雞蛋可食用100g之成分表

第一指導
老師繪製

◎雞蛋的角色界定

乳化劑	展色劑	黏稠劑	調和劑
蛋為了同時存在有油脂和水分，必須有卵磷脂幫助兩者混合，所以卵磷脂就是一種天然乳化劑。	將染料或顏料等著色劑展開至全材面，係一種塗膜 具有留在材面賦與保護、美觀、物理及化學性能。	黏稠劑具有膠體狀的性質，使塗料能形成滑性及黏性，可以增加保水力，也可作為乳化的補助劑。	可以稀釋壓克力顏料，可以增加顏料的延展性，讓筆觸更為柔順，並製作出釉光般的效果。

2. 色粉

色粉是一種由顏料、填料、助劑等組成的粉末狀物質，具有著色、遮蓋、填充等作用。廣泛應用於美術、塗料、塑料、橡膠、陶瓷、化妝品等行業。色粉與不同的媒介劑調合，形成性質不同的各式顏料：與膠調合成膠彩，與蛋清調合成為蛋彩，與壓克力乳液調合便成為壓克力顏料。

色粉(Colorant)，亦稱作色料，其分類依照化學結構分為有機和無機兩大類，生產方式有合成與天然，目前市面上所見大部分多為化學合成，大致差異列於下表。

【表 2】無機色粉與有機色粉的比較

區別	成分	常見種類	粒徑	色彩強度	濃稠度	顏色選擇	不因光褪色性
無機色粉	提取自大地之礦物元素，由金屬氧化物或其他天然成分組成	炭黑、鋇、鋅、鎘、鐵、鉛等金屬氧化物或其鹽類	較大	較高	較高	較多	由低至強均有
有機色粉	化學複合而成，產自動物、植物……等生物中提取	色澱、雙偶氮、單偶氮、酞菁或雜環顏料等幾大類	較小	較低	較低	較少	較強

3. 何謂坦培拉蛋彩

坦培拉（Tempera）是一種源自於拜佔庭、歐洲古典時期及中世紀的繪畫技法。後泛指一切由水與油性媒劑相互混和的繪畫材料，也常單用於雞蛋等乳性膠結合劑組成的繪畫，通稱蛋彩畫。

蛋彩畫盛行於十四至十六世紀的文藝復興時期，典型的蛋彩是使用天然礦物顏料粉混入蛋黃，基本上以蛋黃來當畫板與顏料的媒介劑，繪製在表面敷有石膏的畫板上，因繁瑣的準備工序以及繪畫需求等問題逐漸發展成**油畫**進而被取代，現今國內坦培拉蛋彩的現有文獻大多為技法和材料使用介紹，流傳下來的蛋彩顏料配方依照手感調配居多，無準確的數值。

坦培拉也可以使用其它材料做媒介，像是樹膠彩畫、肥皂彩畫、蜂蠟畫等，坦培拉的特殊性質在於它是一種乳液，乳液是一種多水而不透明的乳狀混和物，含有油和水兩種成分，通常水和油是分離的，但是自然界中卻存在著許多的乳液，如蛋黃、牛奶、無花果、乳汁草植物嫩芽的乳狀汁液等，能夠混和它們，達到黏著到畫底上的效果。

列表比較，臺灣學術論文《傳統坦培拉架上繪畫黏著劑材料—蛋彩坦培拉展色劑配方初探》給予我們研究的啟發及有待釐清的地方：

		傳統坦培拉架上繪畫黏著劑材料 —蛋彩坦培拉展色劑配方初探	本組實驗
材 料	雞蛋乳液	僅使用蛋黃、全蛋	蛋黃、全蛋、蛋清
	水性媒介	蒸餾水、純水	蒸餾水
	油性媒介	熟練亞麻仁油、丹瑪凡尼斯、松節油	使用較純淨天然的皂化植物油，像是橄欖油、椰子油、甜杏仁油、亞麻仁油等
	防腐材	醋、防腐劑	當次實驗調配當日使用完畢，無刻意添加防腐材，也避免過量使得塗料變質
	色粉	人工群青(單一顏色、耐酸不耐鹼)	以光的三原色當作挑選礦物色粉的參考，本實驗採用 Whiskers 色粉及易取得之天然色粉
配方		1:2、1:3、2:1、1:1 都有，不同藝術家的習慣不同。	固定雞蛋乳液：水/油性媒介=1:1 配置
蛋的用途		展色劑	乳化劑、展色劑
載體		碳酸鈣打底木板、玻璃片	原本使用棉質畫布，但因顆粒過大，怕影響色差，而改使用 厚磅圖畫紙
實驗設計		探討老化實驗、接觸角檢測、附著力-方格測試	添加物(水、油)實驗、環境實驗
測量方式		x-rite 色差儀、分光色差儀、SEM 掃描式電子顯微鏡、人工耐侯試驗儀	手持 datacolor 色差儀、小畫家軟體
待釐清或值得參考的研究結果		1. 水性配方受光、溼、溫度影響很大。 2. 油對光的耐性低，容易黃化。 3. 混合配方在老化實驗中色差值最小。	1. 所有的油類都會黃化嗎？ 2. 蛋清也會有相同實驗結果嗎？ 3. 蛋彩畫放久不會發霉的原因為何？

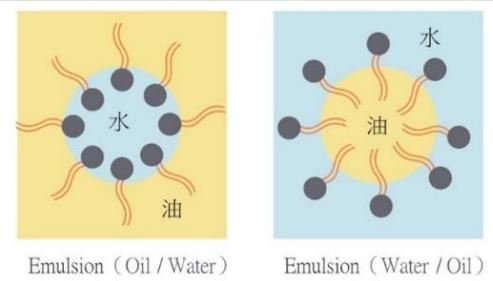
4. 乳化作用

乳化 (Emulsion) 是指兩種原本互不相溶的液體在經過大力攪拌或者添加乳化劑等表面活性劑之後，有一方形成微粒狀，分散於另一方中而互相混合成為均勻狀態。而這樣的作用下所產生的液體就稱之為乳化劑。

乳化的原理是在加入具有乳化作用的表面活性劑後，由於表面活性劑的性質可以使油與水間產生親和力，降低了介面張力，改變了介面狀態，使得本來不可能混合在一起的「油」和「水」兩種液體能夠混合在一起，這種油水互溶的乳濁液依油水比例可分成水包油型 (Oil-in-Water) 和油包水型 (Water-in-Oil)。蛋彩顏料中的乳化劑就是雞蛋裡的「卵磷脂」，由於蛋黃中的水分含量比脂肪多，因此蛋黃中的微胞屬於下圖的水包油型。



圖片來源：<https://www.linkedin.com/pulse/food-emulsions-role-emulsifier-muhammad-waqas->



圖一 乳化作用
第一指導老師繪製

5. RGB 與 HSV

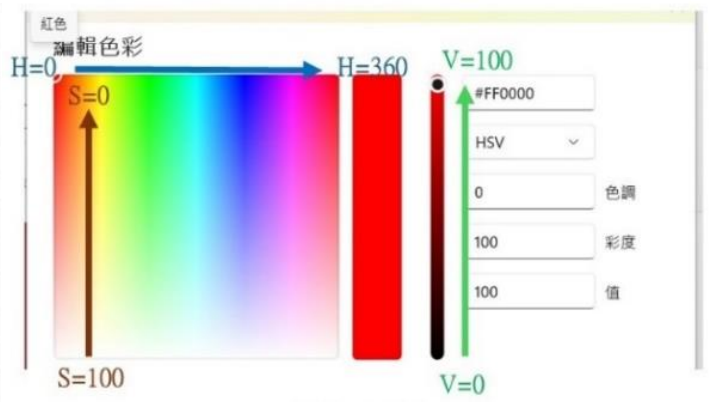
RGB 色彩模式是目前運用最廣的顏色系統之一。將每個顏色分成 R (紅)、G (綠)、B (藍) 三種基本色，每個顏色都有 0~255 的色階，所以 RGB 三色能組合成 $256 \times 256 \times 256 = 16777216$ 種色彩，本實驗因色彩差異小，故必須使用精密儀器測量 RGB 值。

HSV 色彩系統則較類似於人類描述顏色的方式，H 稱為色相，就是顏色種類，像是黃色為 60° ，藍色為 240° 。S 稱為飽和度，指的是色彩的純度該顏色混入白色的比例。顏色越濃，S 值愈接近 100，黑色、白色以及灰色色度 = 0。V 值是指亮度，指的是與同樣亮的白色物體相比，某物亮的程度。RGB 和 HSV 同為色彩的兩種座標系統，可以相互轉換。

R	192	R	255	R	255	R	255	R	0
G	0	G	0	G	292	G	255	G	255
B	0	B	0	B	0	B	0	B	0
H	0	H	0	H	45	H	60	H	120
S	100	S	100	S	100	S	100	S	100
V	75	V	100	V	100	V	100	V	100
R	0	R	0	R	112	R	0	R	255
G	176	G	32	G	48	G	0	G	255
B	240	B	96	B	160	B	0	B	255
H	196	H	220	H	274	H	0	H	0
S	100	S	100	S	70	S	0	S	0
V	93	V	38	V	63	V	0	V	100

常用顏色之RGB與HSV

第一指導老師繪製



HSV變化示意圖

第一指導老師繪製

貳、研究設備及器材

一、實驗儀器、器材

燒杯	攪拌棒	圖畫紙	雙面膠	壓克力顏料	夾鏈袋
標籤紙	磅秤	黑色色紙	黑色不織布	廣告顏料	塑膠鞋盒
					
尼龍毛刷	滾筒刷	pH計	數位相機	18格收納盒	50w紫外燈
					
注射筒	手持電動攪拌器	光照度計	分蛋器	色卡	數字溫溼度計
					
廣用試紙	微量量勺	DIY加濕器	TCS34725 RGB顏色模組	Datacolor色差儀	數位游標卡尺

無底色圖片取自蝦皮購物-商品圖

二、研究樣本及添加物







蛋液	精緻細砂	高級碘鹽	檸檬酸	碳酸氫鈉	竹碳粉
紅珊瑚礦物粉	吐司	冰醋酸	氫氧化鈉	洗碗精	二氧化錳

各式油類

飽和脂肪酸		不飽和脂肪酸 Omega-3		不飽和脂肪酸 Omega-6	
常溫下為固態		人體無法自行合成，須從食物中足量攝取			
椰子油	棕櫚油	亞麻仁油	甜杏仁油	葡萄籽油	葵花油
					

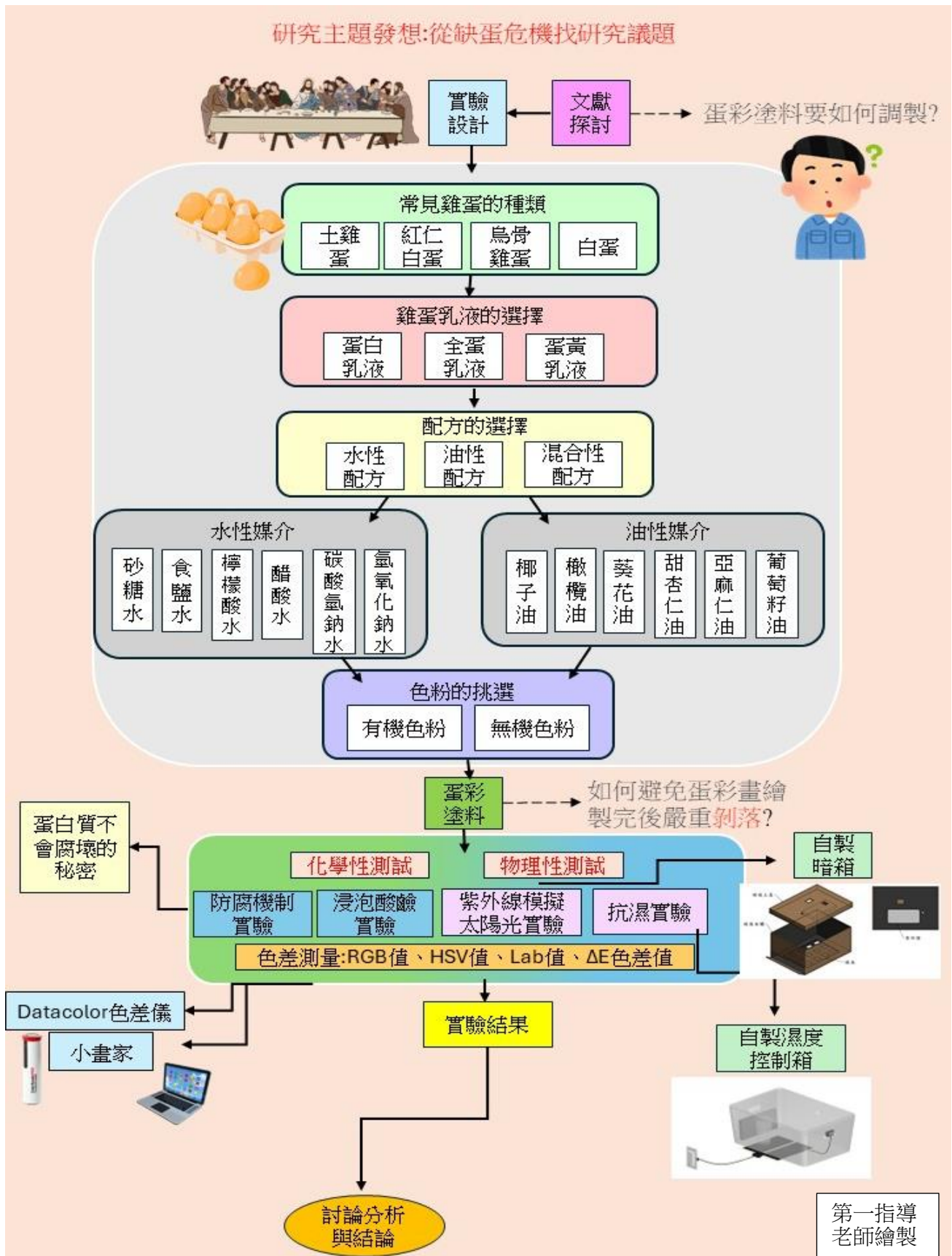
圖片取自蝦皮購物-順億化工商品圖

色粉挑選

顏色	紅色		黃色		藍色	
	無機	有機	無機	有機	無機	有機
區別	無機	有機	無機	有機	無機	有機
成分	紅氧化鐵 Fe_2O_3	偶氮化合物	針鐵礦 $\alpha\text{-FeO(OH)}$	偶氮化合物	矽酸鋁鈉鹽	含銅合成物
色號	試藥 (一)級	103 基本紅 PR48:2	110 土黃 PY43	956 基本黃 PY3	930 深群青 PB29	106 基本藍 PB15:3
照片 作者 拍攝						

參、研究過程與方法

一、研究架構圖：



二、預備實驗

(一) 雞蛋坦培拉乳液的製備

全蛋乳液




- (1)準備新鮮雞蛋，在杯口將雞蛋敲破。
- (2)挑去蛋黃的薄膜和蛋胚，將蛋放入瓶中搖晃均勻，可得到全蛋乳液。

蛋黃乳液

- (1)準在杯口將雞蛋敲破，利用分蛋器或蛋殼將蛋白與蛋黃分開。
- (2)取廚房紙巾，把蛋黃倒在餐巾紙上滾動數次，蛋黃周圍的蛋清就會黏在廚房紙巾上，將蛋黃戳破則為蛋黃乳液。

蛋清乳液

- (1)蛋白使用前必需使它完全成為流動的液態，使用電動攪拌器把蛋清打至濕性發泡。
- (2)用微濕的海綿吸收，再擠出在盤內，即可取得蛋清乳液。

		
作者 拍攝	作者 拍攝	作者 拍攝
用分蛋器將蛋白與蛋黃分開	利用廚房紙巾將蛋黃捏破 (蛋膜會留在上面)	呈現濕性發泡的蛋白 (下方為蛋清乳液)

(二) 蛋彩塗料的調配性質與配方

蛋彩塗料配方又可分為油性、水性、混合性共三種調配性質。從網路上蒐集到的蛋彩塗料配方非常多種，每一種配方的差異性不大，藝術家們的測量單位皆有不同（例如：半個蛋殼、一份），本研究參考藝術家們的配方，設定出以下比例。

油性	1.蛋黃乳液：油=1：1 2.蛋白乳液：油=1：1 3.全蛋乳液：油=1：1 ※這種方法更類似於純油畫，但該方法仍然被認為是蛋彩畫。
水性	1.蛋黃乳液：純水=1：1 2.蛋白乳液：純水=1：1 3.全蛋乳液：純水=1：1
混合性	1.蛋黃乳液：油：純水=2：1：1 2.蛋白乳液：油：純水=2：1：1 3.全蛋乳液：油：純水=2：1：1

(三) 色差儀

- 一、儀器原理：色差儀是透過光、電轉換的原理對色彩差別進行精密測量的光學儀器，原理如圖(一)，Lab 代表給定顏色的點在球面上的三維坐標。L 值表示顏色亮度、a 表示綠紅值、b 表示藍黃值，如圖(二)。算 Lab 的距離就能知道色差值：距離越短顏色越接近。



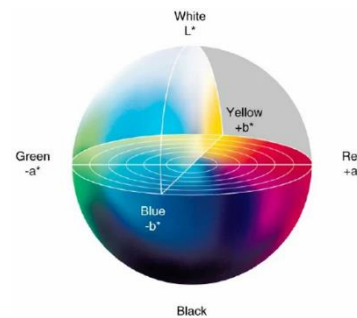
圖二 色差儀原理

第一指導老師繪製
參考來源：
<https://reurl.cc/8vORRg>

$$\text{色差值公式：}\Delta E(\text{色差值}) = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

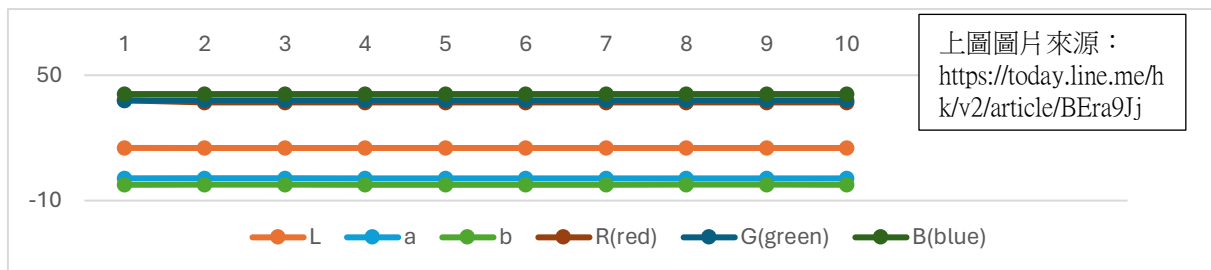
二、色差儀的測量：

- (1) 色差儀具標準光源，無外界光源的干擾誤差。
- (2) 快速測量被測樣本的 L、a、b 值，通過藍牙與手機 APP 連接並計算色差。



圖三 Lab值

三、穩定度確認：以色差儀測量黑布同一位置 10 次，比較其 Lab 值與 RGB 數值：



實驗結果：6 個數值變動不大，顯示色差儀的測量數值穩定，將在實驗一到實驗三中使用。

(四) 自製塗膜均勻輔助裝置

1. 目的：坦培拉技法在各個材質運用極為廣泛，有紙張、羊皮紙、壁面、畫布、木板等，本實驗以圖畫紙為主要研究對象，為了確保塗料厚度均勻一致，提高實驗的準確性，選擇容易取得的資料夾製作塗膜均勻器。
2. 作法：

作者拍攝	第一指導老師拍攝	第二指導老師拍攝
裁切好的 A4 資料夾	用游標卡尺測量厚度	前置作業與分工

- (1) 利用美工刀將 A4 資料夾裁切出 18 個 3x3 的正方形。
- (2) 用數位式游標卡尺量出圖畫紙的厚度，將畫布固定在實驗紀錄紙上。
- (3) 放入資料夾，同一個人使用尼龍毛刷上色，避免每人塗抹力道不同，產生誤差。
- (4) 使用滾筒刷當成手持推桿平整器，將多餘塗料刮除。

(下方僅顯示一部分樣本，塗抹不一致樣本不予採納)

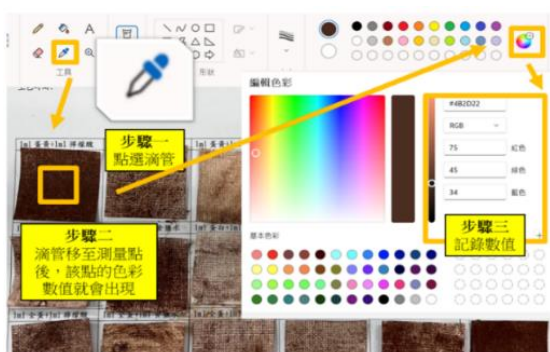
單位：mm \ 樣本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
塗色前畫布厚度	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
塗色後畫布厚度	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

- (5) 拿出後透過游標卡尺測量塗漆前後的畫布厚度，顯示塗膜厚度均勻。

(五) 色彩參數取得方式

測試步驟程序及優缺點分析如下表。

設計改良過程			優缺點
第一代	自然光	肉眼目測	無法定量，容易受周圍環境（其他光）影響。
第二代	暗箱中的 LED 燈條	小畫家軟體	拍照後轉出圖片檔，再以小畫家軟體的滴管工具，測量指向單點像素的色彩參數變化，單點參數變化較大，測量過程較複雜。
第三代	暗箱中的 LED 燈條	手機軟體 Colorpicker	可直接測量整個方框範圍的平均色彩參數，實驗數據較穩定，測量過程簡單，但僅能顯示出 RGB 數值。
第四代	感測器 LED 燈	TCS34725 顏色感測器	將感測器對準樣本，lcd 顯示模組會立即呈現色號代碼，查詢線上色號表可得到 RGB、HSL 數值，顏色多能正確顯示，但因感測器具有高靈敏度，單點參數變動非常大，不適合用於些微色彩差異上。
第五代	自然光	Datacolor 色差儀	可直接測量部分範圍內的平均色彩參數，一鍵取得 Lab、RGB、Hex、CMYK、LRV、LCH、RAL 數值，色差儀精度較高。



圖四 小畫家滴管工具操作步驟



圖五 TCS34725 顏色感測器材料與步驟

★實驗結果：
決定 RGB 以
色差儀進行色
差之數值檢測，
HSV 則使用小
畫家色彩工具。

皆由第一指
導老師繪製

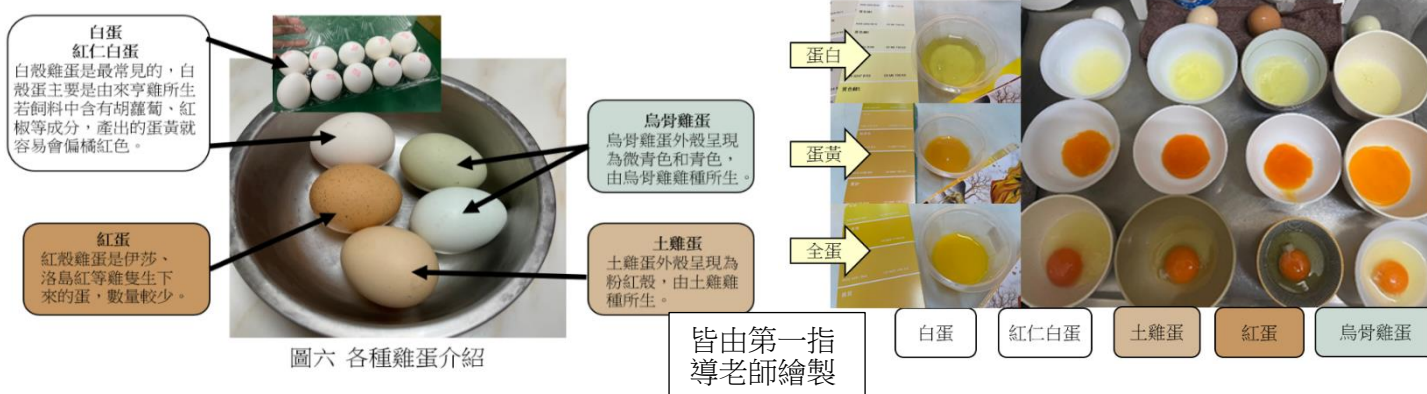
實驗一、分析「蛋彩塗料」調配的秘密

實驗 1-1 不同雞蛋調製蛋彩塗料，其色差比對測試

(一) 實驗目的：從資料得知蛋彩塗料形成主要是蛋黃乳化現象的影響，我們想知道市面上有許多不同顏色的雞蛋，哪一種雞蛋的乳化效果最好？越橘的蛋黃成色效果會有不同嗎？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：市場中不同的雞蛋（紅蛋、土雞蛋、烏骨雞蛋、紅仁白蛋）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、攪拌時間、上色力道、油的種類



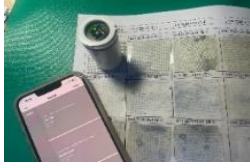


圖六 各種雞蛋介紹

皆由第一指
導老師繪製

(三) 實驗步驟：

1. 用注射筒吸取不同雞蛋乳液加入 18 格收納盒的每一個格子中。
2. 為解決礦物色粉使用電子秤不易量取的問題，改為用固定量勺秤取一平匙的色粉，加入蒸餾水、蒸餾水和亞麻仁油及亞麻仁油混和。
3. 染色後的蒸餾水和亞麻仁油分別滴入對應格子中，利用攪拌棒攪拌均勻。
4. 用羊毛刷沾取蛋彩塗料，塗抹在畫布、白紙上，待顏料乾後，以色差儀檢測色彩參數。

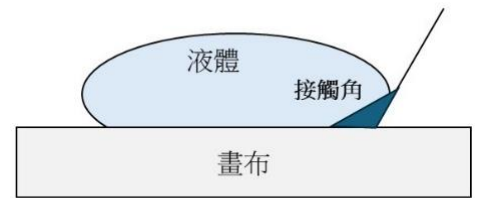
		
<p>作者拍攝</p> <p>調配好的油性色粉、混合性色粉、水性色粉</p>	<p>作者拍攝</p> <p>將蛋彩塗料上色</p>	<p>作者拍攝</p> <p>用色差儀檢測樣本色彩參數</p>

實驗 1-2 使用不同比例的全蛋液、純蛋液、蛋白液在畫布上形成液滴時其接觸角測量

(一) 實驗目的：媽媽做蛋糕甜點時，時常會利用攪拌器會將雞蛋加入鋼盆內打發，利用高速將空氣打入蛋液中，讓最後烤出來的蛋糕體蓬鬆柔軟，於是我們就在想，如果將空氣打入雞蛋乳液中，蛋彩塗料在畫布上形成的接觸角是否會有改變。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：打發與否（有打發、未打發）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、油的種類、液滴大小



圖七 接觸角示意圖 第一指導老師繪製

(三) 實驗步驟：

1. 利用攪拌器將蛋黃、全蛋打至濕性發泡。
2. 使用滴管吸取少許蛋彩塗料在畫布上滴一小滴液滴。
3. 使用數位相機調整高度使鏡頭與平面貼齊，以利拍攝液滴相片。
4. 運用電腦軟體 PicPick 輔助測量液滴接觸角角度，操作步驟如圖七。



圖八 電腦軟體PicPick操作步驟 第一指導老師拍攝

實驗 1-3 不同攪拌速度調製蛋彩塗料，其色差比對測試

(一) 實驗目的：經由實驗 1-2 得知將空氣打入蛋液中，能增加蛋彩液滴的接觸角，所以我們想知道如果以不同攪拌速度調配蛋彩塗料，是否會改變顏色的成色效果？

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：攪拌速度（速度 1、速度 2、速度 3）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、油的種類、上色力道

(三) 實驗步驟：

1. 在塑膠燒杯中加入定量雞蛋乳液及全蛋乳液，**不使用蛋清，因製備時已打發過。**
2. 使用電動攪拌器以速度 1、速度 2、速度 3 分別攪拌 3 分鐘。
3. 將染色後的水性、混合性、油性溶液分別滴入對應格子中，利用攪拌棒攪拌均勻。
4. 用羊毛刷沾取蛋彩塗料，塗抹在圖畫紙上，待顏料乾後，立即用色差儀檢測色彩參數。

實驗 1-4 不同攪拌時間調製蛋彩塗料，其色差比對測試

(一) 實驗目的：經由實驗 1-3 得知轉速改變時，蛋彩塗料顏色深淺也會發生變化，我們想進一步分析攪拌時間與乳化效果的關係。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：攪拌時間（3 分鐘、6 分鐘）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、油的種類、上色力道、攪拌速度





(三) 實驗步驟：

1. 同實驗 1-3 步驟，但改為電動攪拌器相同攪速分別攪拌 3 分鐘及 6 分鐘。

二、探討添加物對蛋彩塗料的影響

實驗 2-1 探討鹼性、酸性、偏中性水溶液對蛋彩塗料成色的影響性

(一) 實驗目的：三年級自然有教過認識廚房中的調味品，並且使用酸鹼指示劑辨別其酸鹼性，於是我們就在想，會不會在純水中添加少許物質，能改變其蛋彩成色效果呢？

添加物	食鹽	砂糖	檸檬酸	白醋	碳酸氫鈉	氫氧化鈉
水溶液狀態	中性	中性	酸性	酸性	鹼性	鹼性
不飽和	18.0g	90.0g	34.5g	加水稀釋	3.9g	54.5g
飽和	36.0g	180.0g	59.0g	未稀釋	7.8g	109.0g
廣用試紙成色						

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同濃度的鹼性、酸性、偏中性水溶液（飽和、不飽和）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、油的種類、上色力道、添加物種類

(三) 實驗步驟：

1. 查詢各添加物在 100g 水之中最多能溶解的克數資料。

2. 使用攪拌棒使調味料在水中完全溶解，形成不飽和及飽和水溶液。
3. 用注射筒吸取不同雞蛋乳液加入 18 格收納盒的每一個格子中。
4. 用注射筒吸取不同濃度之水溶液加入格子中，適時加入亞麻仁油，將其調配成水性、混和性、油性蛋彩塗料。

實驗 2-2 探討飽和、不飽和油類對於蛋彩塗料成色的影響性

- (一) **實驗目的**：油類（脂質）在蛋彩畫中也是很重要的角色，流傳的配方大多是摻入亞麻仁油，於是我們想知道更換不同油類是否會對蛋彩塗料成色造成改變？
- (二) **實驗變因**：
1. 操縱變因：不同種類的油
（飽和：椰子油、棕櫚油，不飽和：亞麻仁油、甜杏仁油、葡萄籽油、葵花油）
 2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、上色力道、攪拌速度
- (三) **實驗步驟**：
1. 用注射筒吸取 1ml 蛋黃、蛋清、全蛋乳液加入 18 格收納盒的格子中。
 2. 椰子油、棕櫚油利用鋼杯隔熱水加熱，使其恢復液態，用固定量勺秤取一平匙的色粉（竹碳粉），加入六種油類中混和。
 3. 滴入 1ml 染色的油類於對應格子中，利用攪拌棒攪拌均勻。
 4. 用羊毛刷沾取蛋彩塗料，塗抹在圖畫紙上，待顏料乾後，以色差儀檢測色彩參數。

實驗 2-3 探討無機、有機色粉對於蛋彩塗料成色的影響性

- (一) **實驗目的**：「色粉」是美術顏料的外衣，好的色粉能呈現顏色深淺變化；現在市面上有著近萬種的色粉，我們挑選紅(M)、黃(Y)、藍(C)三色（色彩三原色），想知道有機色粉和無機色粉在蛋彩成色上的差異性。
- (二) **實驗變因**：
1. 操縱變因：不同種類的色粉
（無機色粉：紅氧化鐵、110 土黃色粉、930 深群青色粉，有機色粉：103 基本紅色粉、956 基本黃色粉、106 基本藍色粉）
 2. 控制變因：雞蛋部位、油類、純水體積、上色力道、攪拌速度
- (三) **實驗步驟**：
1. 用注射筒吸取 1ml 蛋黃、蛋清、全蛋乳液加入 18 格收納盒的格子中。
 2. 使用微量量勺秤取一平匙的色粉，加入格子中。
 3. 滴入 1ml 染色的油類於對應格子中，利用攪拌棒攪拌均勻。
 4. 用羊毛刷沾取蛋彩塗料，塗抹在圖畫紙上，待顏料乾後，以色差儀檢測色彩參數。

三、探討環境對於坦培拉塗料的影響

實驗 3-1 探討紫外線對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

(一) **實驗目的：**「最後的晚餐」的劣化狀況暗示了畫作可能存在不當的保存方式。為此，我們利用 UV 燈模擬陽光中的紫外線，探究紫外線對畫作的影響。

(二) **實驗變因：**

1. 操縱變因：3 種配方（水性、混合性、油性）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、上色力道、攪拌速度、照光時間

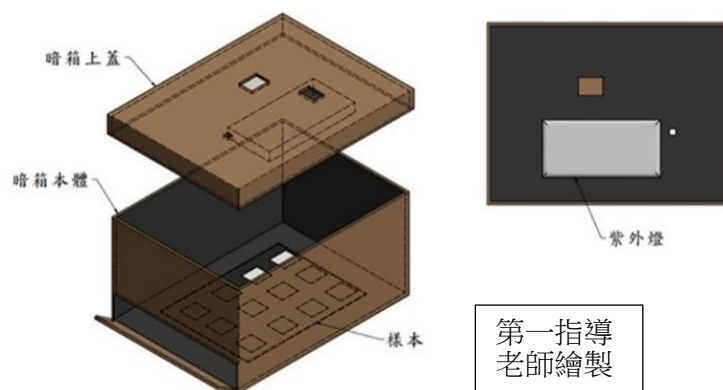
(三) **實驗步驟：**

1. 將數個塗抹畫布的蛋彩塗料樣本貼在黑紙上，在樣本中間貼上黑色紙膠帶。
2. 將觀察箱電源插好，放入樣本，打開 UV 燈的開關。
3. 放置 24 小時後，將樣本拿出，撕掉黑色布膠帶。
4. 用色差儀分析其色差值 $\Delta E1$ （膠帶覆蓋部分）及 $\Delta E2$ （膠帶未覆蓋部分）。



(四) **觀察箱（暗箱）製作**

觀察箱的設計圖如右圖，箱子的上方有一開口作為觀察、拍照之用，並在側邊留一開口作為替換樣本之用，盒子內壁以雙面膠黏貼上黑色不織布，以吸收光線，達到暗室效果，上方保留紙箱的蓋子可以開合，以方便調整紫外線燈及其他用具。



圖七 觀察箱設計圖



圖八 觀察外觀與內部照片

數位式照度計測量暗箱內的光線，數字顯示為 0，代表沒有光線進入箱中（如圖九）。



圖九 暗箱數位式照度計顯示為「0」

◎靈感來源：第 47 屆中小學科學展覽-點亮黑夜的小精靈---探究紅蘿蔔中的螢光-暗箱。

實驗 3-2 探討酸鹼性對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

(一) **實驗目的**：經由 3-1 實驗證實，紫外線照射會使蛋彩顏料亮度降低，但並未造成腐壞。為進一步探究酸鹼性液體對蛋彩塗料的影響，我們擬進行浸泡實驗，模擬畫作沾染酸鹼性液體的情形。

(二) **實驗變因**：

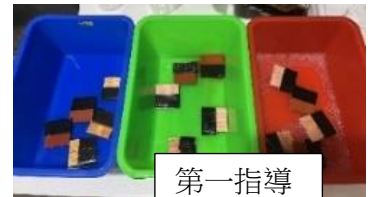
1. 操縱變因：酸性、中性及鹼性水溶液（醋酸、氫氧化鈉、中性清潔劑）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、上色力道、攪拌速度、浸泡時間

(三) **實驗步驟**：

1. 加水稀釋醋酸、氫氧化鈉、中性清潔劑，稀釋成下列濃度。

酸性水溶液	取冰醋酸 12.5g 加水至 250 毫升，調配出 5%的醋酸水溶液。
中性水溶液	取氫氧化鈉 12.5g 加水至 250 毫升，調配出 5%的氫氧化鈉水溶液。
鹼性水溶液	取洗碗精 2.5g 加水至 250 毫升，調配出 1%的中性清潔劑水溶液。

2. 將蛋彩塗料、壓克力、廣告顏料塗抹在木板上，一一浸泡於上述 3 種溶液中 10 分鐘，並觀察改變狀況。



第一指導
老師拍攝

實驗 3-3 探討溼度對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

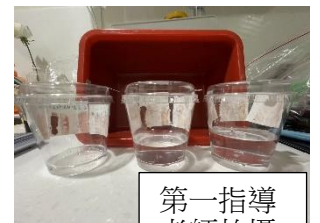
(一) **實驗目的**：蛋彩畫曾於 15 世紀風靡歐洲，然而歐洲氣候與台灣迥異，台灣島嶼環繞，潮濕多雨。因此，我們萌生疑問：濕度是否會對蛋彩塗料的呈色產生影響？

(二) **實驗變因**：

1. 操縱變因：改變濕度（0ml 水、30ml 水、60ml 水）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、上色力道、攪拌速度、放置時間

(三) **實驗步驟**：

1. 將塑膠杯加入一定量的純水。
2. 蛋彩塗料、壓克力、廣告顏料塗抹在圖畫紙上，並將圖畫紙黏貼杯子內側，蓋緊杯蓋。
3. 放置在通風空間 72 小時，將畫布小心取出觀察改變狀況。



第一指導
老師拍攝

實驗 3-4 模擬炎熱潮濕的台灣環境，防腐材對於不同配方的蛋彩塗料的保護程度

(一) **實驗目的：**雞蛋中的蛋白質具有易腐敗性，然而多次上色實驗後，肉眼觀察並未發現發霉現象。為探究天然防腐劑對雞蛋乳液的影響，我們查閱文獻發現白醋具有防腐作用，因此擬進行吐司發霉實驗，觀察雞蛋乳液與白醋在不同條件下的細微變化。

(二) **實驗變因：**

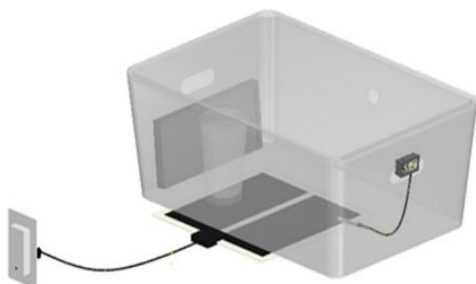
1. 操縱變因：防腐材的使用（是否有加醋）
2. 控制變因：雞蛋部位、礦物色粉、純水體積、油的種類、攪拌時間

(三) **實驗步驟：**

1. 取 18 格收納盒洗淨後加熱烘乾。
2. 用注射筒吸取 1ml 蛋黃、蛋清、全蛋乳液滴入特定格子內。
3. 依水性、油性、混合性配方，加入 1ml 水、1ml 油或 0.5ml 水和 0.5ml 油混合。
4. 有些使用注射筒滴入 0.5ml 白醋。
5. 雙手洗淨擦乾後，將吐司切成邊長 3 公分的正方形。
6. 以 1ml 注射針筒吸取蛋彩塗料，滴到吐司正中央。
7. 放置自製濕度控制箱(濕度控制在 70%-90%之間)，加熱板設定 40°C，放置數天。
8. 等到黴菌滋生後，觀察黴菌生長情形。

 <p style="text-align: right;">第一指導 老師拍攝</p>	 <p style="text-align: right;">第一指導 老師拍攝</p>	 <p style="text-align: right;">第一指導 老師拍攝</p>
<p>裁切相同大小的吐司塊</p>	<p>加入特定蛋彩塗料後，放入夾鏈袋貼上標籤紙</p>	<p>吐司發霉情形</p>

(四) **濕度控制箱設計圖**



圖十 濕度控制箱設計圖

第一指導
老師繪製

★製作過程：

1. 使用電動鑽孔器將塑膠鞋盒某處鑽洞。
2. 使用泡棉膠將數字溫溼度器固定在此洞口，探頭朝內。
3. 使用燒杯裝一杯 200ml 的水。
4. 將加熱板調整溫度及時間，放置在塑膠鞋盒正下方。
5. 若濕度不夠，可使用 DIY 濕度計輔助，增加箱內濕度。

◎靈感來源：第 56 屆中科學展覽-自製蛋殼粉吸濕盒-初代溫濕控制箱。

肆、研究結果

本研究所有實驗相關相片都為作者/指導老師拍攝

一、實驗 1-1 使用不同雞蛋調製蛋彩塗料，其色差比對測試

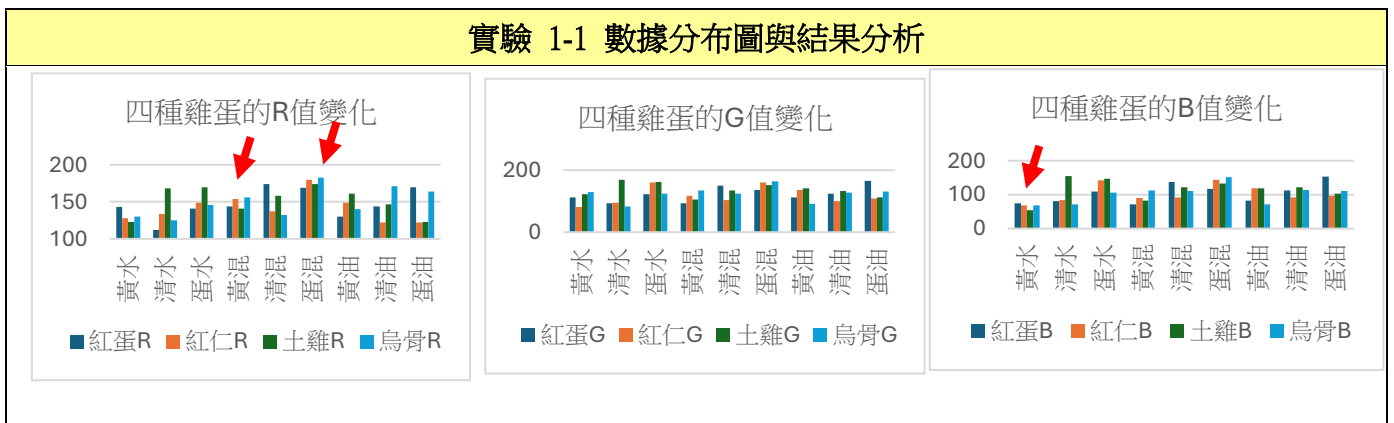
(一) 實驗結果：

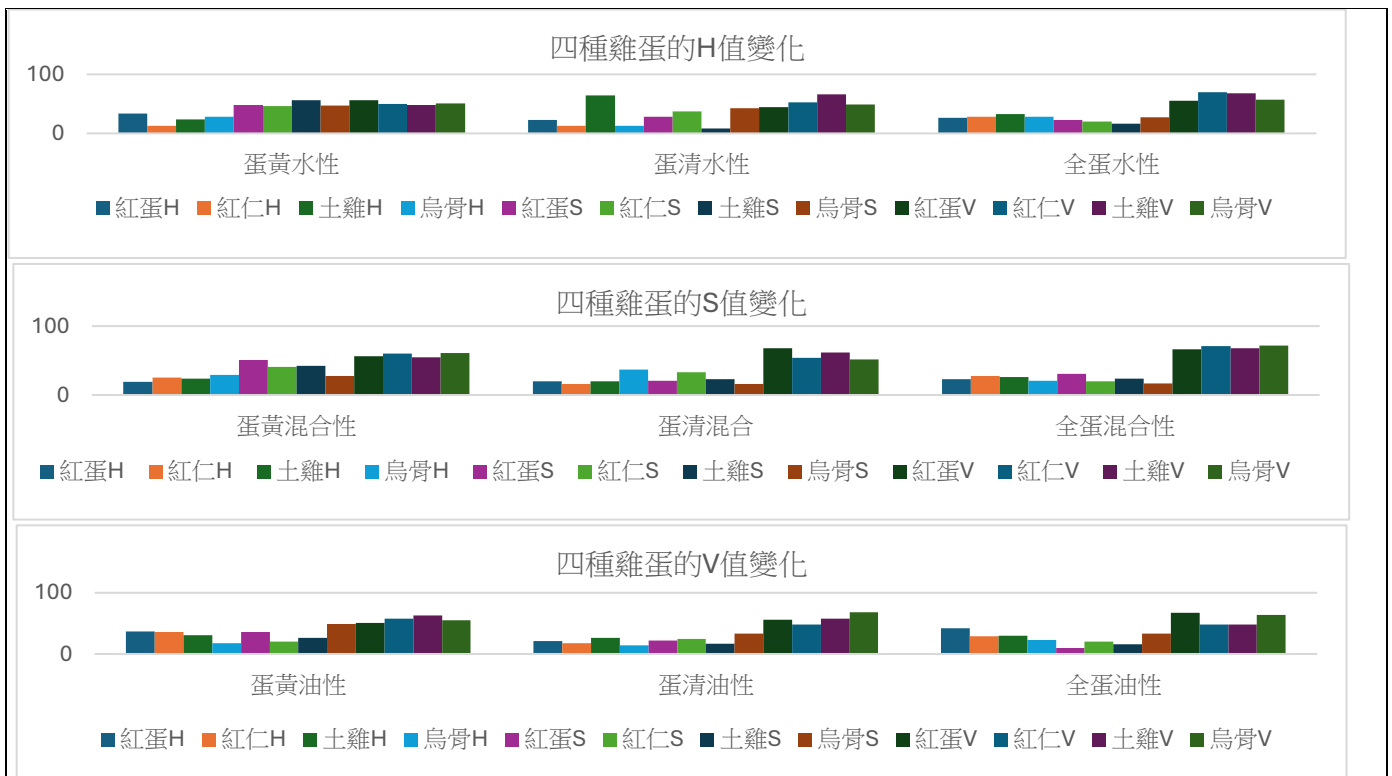
配製		蛋黃乳液			蛋清乳液			全蛋乳液		
添加		水性	混合性	油性	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性
紅蛋	配方	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性
	RGB	(143,113,75)	(144,94,71)	(130,112,83)	(112,93,81)	(174,150,138)	(144,124,113)	(141,123,109)	(169,136,117)	(170,165,153)
	HSV	(34,48,56)	(19,51,56)	(37,36,51)	(23,28,44)	(20,21,68)	(21,22,56)	(26,23,55)	(22,31,66)	(42,10,67)
	顏色									
紅仁白蛋	時間	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性
	RGB	(128,82,69)	(154,117,91)	(149,137,119)	(134,95,84)	(137,104,92)	(122,101,92)	(179,160,143)	(180,161,144)	(122,109,97)
	HSV	(13,46,50)	(25,41,60)	(36,20,58)	(13,37,53)	(16,33,54)	(18,25,48)	(28,20,70)	(28,20,71)	(29,20,48)
	顏色									
土雞蛋	時間	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性
	RGB	(123,82,54)	(141,106,82)	(161,141,119)	(168,169,155)	(158,134,122)	(147,133,122)	(170,162,147)	(174,151,133)	(123,113,103)
	HSV	(24,56,48)	(24,42,55)	(31,26,63)	(64,8,66)	(20,23,62)	(26,17,58)	(33,16,68)	(26,24,68)	(30,16,48)
	顏色									
烏骨雞蛋	時間	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性	水性	混合性	油性
	RGB	(130,97,69)	(156,134,113)	(140,92,72)	(125,83,71)	(132,124,111)	(171,127,114)	(146,125,106)	(183,163,152)	(164,131,110)
	HSV	(28,47,51)	(29,28,61)	(18,49,55)	(13,43,49)	(37,16,52)	(14,33,67)	(28,27,57)	(21,17,72)	(23,33,64)
	顏色									

表 1-1 蛋彩塗料與不同雞蛋的顏色變化紀錄表

因篇幅限制，以紅氧化鐵為例

(二) 數據分析：





結果分析

R 值落在 100~180 之間，其中蛋黃水性、蛋黃混合性及全蛋混合性差異較小，G 值落在 50~180 之間，9 種調配方式差距範圍不大，B 值落在 40~160 之間，以蛋黃水性差異較小，蛋清水性差異較大。將數據使用 HSV 作圖，蛋黃水性配方有小幅度的差距，土雞蛋蛋清水性配方是當中 HSV 值最高的，使用不同的雞蛋調配，變動幅度不明顯。

二、實驗 1-2 使用不同比例的全蛋液、純蛋液、蛋白液在畫布上形成液滴時其接觸角測量

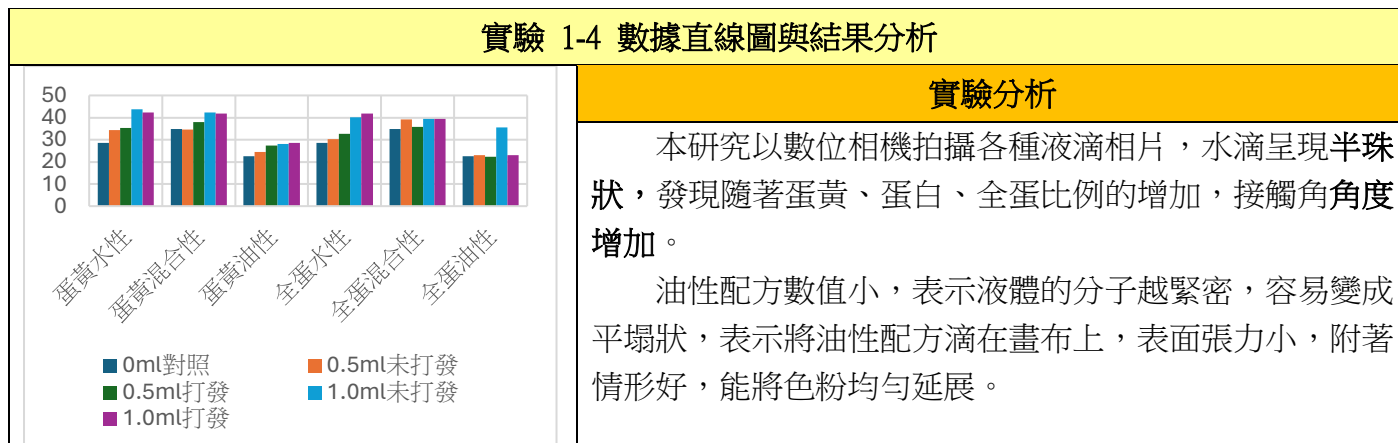
(一) 實驗結果：

表 1-2 蛋彩塗料打發與否呈現的接觸角角度紀錄表

狀態	未打發			打發		
全蛋比例	對照組 (0 ml)	50% (0.5ml)	100% (1.0ml)	對照組 (0 ml)	50% (0.5ml)	100% (1.0ml)
水性	28.50	30.15	40.18	28.50	32.66	41.81
混合性	34.80	39.28	39.40	34.80	35.74	39.40
油性	22.52	23.01	35.51	22.52	22.27	23.01
狀態	未打發			打發		
蛋黃比例	對照組 (0 ml)	50% (0.5ml)	100% (1.0ml)	對照組 (0 ml)	50% (0.5ml)	100% (1.0ml)
水性	28.50	34.33	43.63	28.50	35.33	42.21
混合性	34.80	34.58	42.29	34.80	37.84	41.80
油性	22.52	24.58	28.20	22.52	27.28	28.49

(二) 數據分析：

實驗 1-4 數據直線圖與結果分析



實驗分析

本研究以數位相機拍攝各種液滴相片，水滴呈現半珠狀，發現隨著蛋黃、蛋白、全蛋比例的增加，接觸角角度增加。

油性配方數值小，表示液體的分子越緊密，容易變成平塌狀，表示將油性配方滴在畫布上，表面張力小，附著情形好，能將色粉均勻延展。

三、實驗 1-3 使用不同攪拌速度調製蛋彩塗料，其色差比對測試實驗

實驗 1-4 使用不同攪拌時間調製蛋彩塗料，其色差比對測試實驗

(一) 實驗結果：

表 1-3 蛋彩塗料與不同轉速的顏色變化紀錄表 因篇幅限制，以紅氧化鐵為例

速度	轉速 1	轉速 2	轉速 3				
配方	水性						
時間	3mins	6mins	3mins	6mins	3mins	6mins	
蛋黃	RGB	(174,148,125)	(150,132,105)	(152,121,100)	(150,130,103)	(152,119,91)	(135,90,61)
	HSV	(28,28,68)	(36,30,59)	(24,36,60)	(34,31,59)	(28,40,60)	(25,53,51)
	顏色						
全蛋	RGB	(176,143,124)	(186,158,144)	(157,125,110)	(151,125,108)	(132,104,90)	(128,96,81)
	HSV	(22,30,69)	(20,23,73)	(19,30,62)	(24,28,59)	(20,32,52)	(19,37,50)
	顏色						
配方	混合性						
時間	3mins	6mins	3mins	6mins	3mins	6mins	
蛋黃	RGB	(128,82,62)	(146,105,77)	(162,103,78)	(153,113,78)	(147,97,70)	(154,104,77)
	HSV	(18,52,50)	(24,47,57)	(18,52,64)	(28,49,60)	(21,52,58)	(21,50,60)
	顏色						
全蛋	RGB	(130,100,76)	(129,91,72)	(173,136,119)	(162,131,111)	(172,141,120)	(173,132,112)
	HSV	(27,42,51)	(20,44,51)	(19,31,68)	(24,31,64)	(24,30,67)	(20,35,67)
	顏色						
配方	油性						
時間	3mins	6mins	3mins	6mins	3mins	6mins	
蛋黃	RGB	(113,72,50)	(127,79,57)	(153,86,80)	(141,98,79)	(153,107,81)	(152,112,82)
	HSV	(21,56,44)	(19,55,50)	(27,42,65)	(18,44,55)	(22,47,60)	(26,46,60)
	顏色						
全蛋	RGB	(120,91,75)	(125,93,80)	(136,104,83)	(147,105,92)	(138,135,117)	(168,134,109)
	HSV	(21,37,47)	(15,49,49)	(20,34,67)	(14,37,58)	(15,45,54)	(25,35,66)
	顏色						

(二) 數據分析：

實驗 1-3 數據折線圖與結果分析



結果分析

蛋彩塗料顏色與攪拌轉速的關係

1. 水性蛋彩塗料：轉速越高，RGB 值越低，顏色越淺。
2. 混合性蛋彩塗料：轉速越高，色彩參數數值越高，顏色越深。
3. 油性蛋彩塗料：轉速越高，RGB 值越高，顏色越深。

攪拌時間與塗料穩定性

1. 攪拌 3 分鐘時，水性和混合性配方 H 值和 S 值變化不規律，塗料不穩定。
2. 油性配方攪拌 6 分鐘後 H 值和 S 值才穩定。
3. V 值：水性配方變化相似，混合與油性配方曲線雷同。

四、實驗 2-1 探討鹼性、酸性、中性水溶液對蛋彩塗料成色的影響性

(一) 實驗結果：

表 2-1 蛋彩塗料與不同雞蛋的顏色變化紀錄表 因篇幅限制，以紅氧化鐵為例

配製	添加	蛋黃乳液		蛋清乳液		全蛋乳液	
		不飽和	飽和	不飽和	飽和	不飽和	飽和
砂糖水	濃度						
	L	37.89	32.95	37.59	44.59	42.54	34.27
	a	26.05	23.31	22.46	23.48	18.37	19.14
	b	12.52	12.22	8.37	10.50	9.05	10.65
	ΔE	1.07	1.29	2.39	1.07	1.99	2.88
顏色							
食鹽水	L	36.14	42.64	45.85	44.12	42.64	45.19
	a	23.52	23.23	20.34	21.89	23.23	24.98
	b	12.72	12.15	10.18	13.05	12.15	12.93
	ΔE	1.15	2.44	2.07	2.03	1.83	1.99
	顏色						
檸檬酸水	L	36.00	34.27	57.69	45.22	31.90	37.12
	a	25.23	19.14	16.69	22.03	21.05	22.32
	b	12.89	10.65	3.79	22.03	12.02	8.47
	ΔE	1.18	1.60	1.43	1.06	1.36	1.40
	顏色						
白醋	L	32.95	39.44	33.69	39.44	35.57	36.15
	a	23.31	26.96	25.19	26.96	24.59	24.02
	b	12.22	11.48	12.14	11.48	11.49	13.91
	ΔE	0.92	1.21	1.39	0.64	1.53	1.67
	顏色						
碳酸氫鈉水	L	31.90	38.30	37.54	40.21	33.28	36.14
	a	21.05	18.75	15.99	15.52	22.58	23.52
	b	12.52	11.83	9.58	6.30	9.53	12.72
	ΔE	1.21	1.92	0.86	1.30	1.44	2.31
	顏色						
氫氧化鈉水	L	37.89	33.07	47.99	38.72	42.64	45.19
	A	26.05	20.67	15.53	18.57	23.23	24.98
	b	12.52	14.24	9.47	6.62	12.15	12.93
	ΔE	1.56	2.47	1.84	2.36	1.83	1.99
	顏色						

(二) 數據分析：

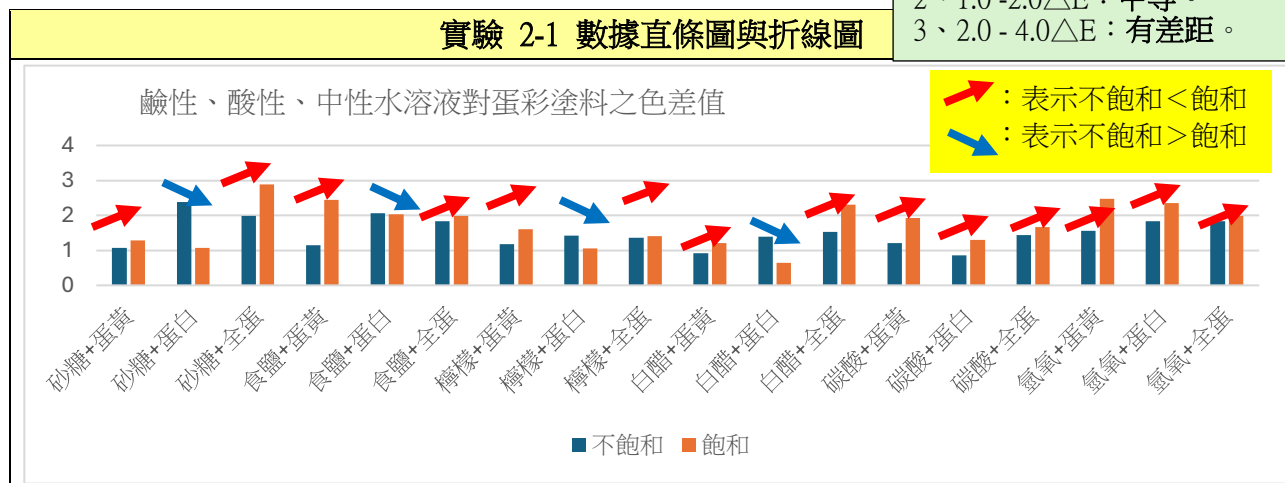
色差的範圍：

1、0.5 -1.0 ΔE ：微小到中等。

2、1.0 -2.0 ΔE ：中等。

3、2.0 - 4.0 ΔE ：有差距。

實驗 2-1 數據直條圖與折線圖



結果分析

1. 添加酸性、中性、鹼性物質至水中調配全蛋、蛋黃塗料時，色差值會隨添加量增加而上升。
2. 使用酸性、中性添加物調配蛋白塗料時，色差值會隨添加量增加而下降；使用鹼性添加物調配蛋白塗料時，色差值則會隨添加量增加而上升。

五、實驗 2-2 探討飽和、不飽和油類對於蛋彩塗料成色的影響性

(一) 實驗結果：

油性配方

配製		椰子油		棕櫚油		亞麻仁油		甜杏仁油		葡萄籽油		葵花油		
		有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	
使用色粉：竹炭粉(有機)、二氧化錳(無機) 考量易辨別黃化程度，選擇黑色色粉進行實驗														
蛋黃乳液	添加													
	色粉特性													
	R	8	57	85	57	94	66	51	57	51	47	61	53	
	G	8	57	87	57	96	66	53	57	55	47	62	53	
	B	6	57	76	49	83	57	50	49	54	45	54	51	
	顏色													
	黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否	
蛋清乳液	R	73	105	76	90	175	41	42	41	72	41	175	82	
	G	74	107	78	90	165	41	47	41	74	41	177	82	
	B	78	99	75	82	120	41	50	41	73	41	167	82	
		顏色												
		黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
全蛋乳液	R	90	123	80	57	110	132	59	74	45	67	31	99	
	G	93	123	80	57	108	132	60	74	48	67	32	99	
	B	100	115	78	57	93	123	65	74	55	66	36	90	
		顏色												
		黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否

混合性配方

配製		椰子油		棕櫚油		亞麻仁油		甜杏仁油		葡萄籽油		葵花油		
		有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	
使用色粉：竹炭粉(有機)、二氧化錳(無機) 考量容易辨別黃化程度，選擇黑色色粉進行實驗														
蛋黃乳液	添加													
	色粉特性													
	R	57	90	66	57	143	74	98	74	46	74	86	115	
	G	57	90	66	57	138	74	98	74	48	74	94	115	
	B	47	82	54	49	118	66	86	74	47	74	95	107	
	顏色													
	黃化	否	否	否	否	是	否	是	否	否	否	否	否	
蛋清乳液	R	131	90	205	99	108	99	79	140	72	132	77	140	
	G	135	99	205	99	109	99	82	140	76	132	83	140	
	B	146	90	197	90	104	99	88	132	77	132	83	132	
		顏色												
		黃化	否	否	否	否	否	否	否	否	否	否	否	否

全蛋乳液	R	50	57	130	49	199	90	27	74	28	65	75	89
	G	51	57	131	57	192	90	31	74	32	65	80	89
	B	56	57	133	49	164	82	40	66	41	65	84	89
	顏色												
	黃化	否	否	否	否	是	否	否	否	否	否	否	否

(二) 數據分析：

油性配方結果分析

使用無機色粉和有機色粉添加亞麻仁油皆有黃化現象，其他油類沒有這個情況產生。

混和性配方結果分析

加入等量的水調和成混合性配方，亞麻仁油還是容易發黃，同樣是 Omega-3 不飽和脂肪酸的甜杏仁油與但黃乳液混合後上色，久置也有輕微變黃的狀況，蛋清的水分會減緩黃化的速度。

六、 實驗 2-3 探討無機、有機色粉對於蛋彩塗料成色的影響性

(一) 實驗結果：

色粉選擇	紅色						黃色						藍色					
	有機			無機			有機			無機			有機			無機		
乳液	黃	白	全	黃	白	全	黃	白	全	黃	白	全	黃	白	全	黃	白	全
水性																		
R	228	210	236	107	98	146	240	232	234	230	238	233	54	75	90	17	51	26
G	138	134	129	46	42	74	235	235	234	181	212	171	122	125	142	71	97	52
B	162	165	167	43	39	72	91	65	77	55	114	36	195	179	210	133	157	100
H	344	336	339	3	3	2	58	60	61	44	47	41	212	211	214	212	214	219
S	39	36	45	60	60	51	62	77	62	71	55	59	81	58	57	87	68	74
V	89	82	93	42	38	57	94	92	92	91	95	100	69	74	82	52	62	39
混合																		
R	182	200	208	121	137	96	237	230	227	251	234	247	34	72	6	9	98	39
G	28	73	71	53	67	37	238	234	231	214	201	200	97	137	83	39	147	62
B	60	101	97	50	65	35	69	152	94	83	108	90	177	215	191	100	205	116
H	348	347	349	3	2	2	60	63	62	47	44	42	214	213	215	220	213	222
S	85	64	66	59	53	64	71	35	59	67	54	64	81	67	97	91	52	62
V	71	78	82	47	54	38	93	92	91	98	92	97	69	84	75	39	80	45
油性																		
R	133	148	93	83	97	110	220	209	210	217	216	211	30	10	15	36	8	4
G	14	30	9	33	43	66	209	202	209	164	200	154	49	54	94	41	70	36
B	37	56	26	32	42	69	0	106	0	15	153	12	120	144	193	80	135	96
H	348	347	348	1	1	356	60	56	60	44	45	43	227	220	213	233	211	219
S	89	80	90	61	57	40	100	49	100	93	29	94	75	93	92	55	94	96
V	52	58	36	33	38	43	86	86	82	85	85	83	47	56	76	31	53	38

(二) 數據分析：

結果分析

使用全蛋、蛋黃和有機色粉進行調配，色相較接近色彩三原色，無機色粉彩度小、亮度低。

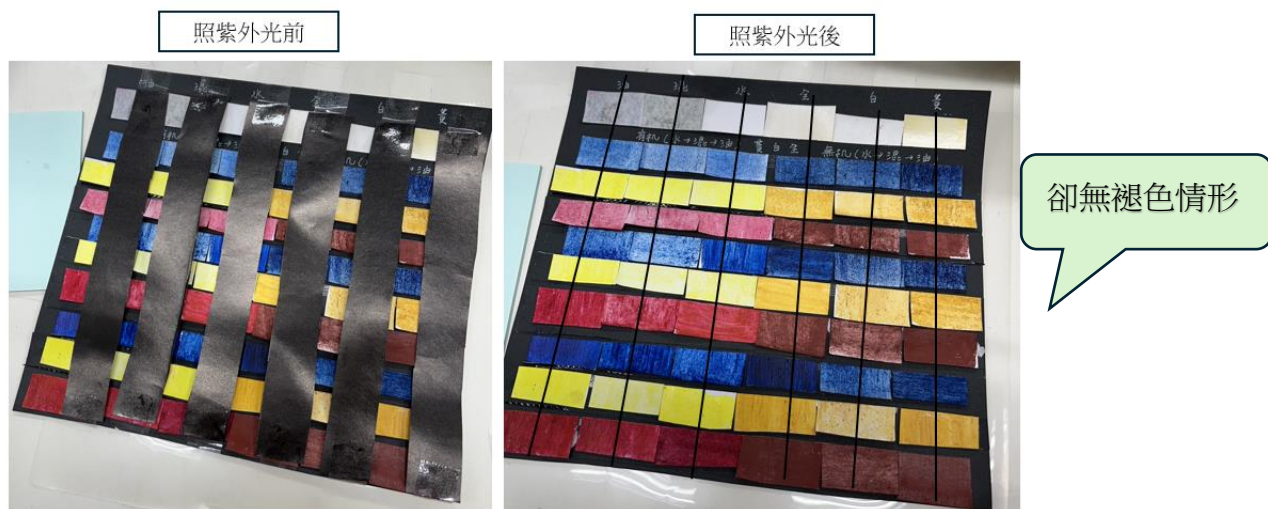
六、實驗 3-1 探討紫外線對於不同配方的坦培拉塗料所產生的變化

(一) 實驗結果：

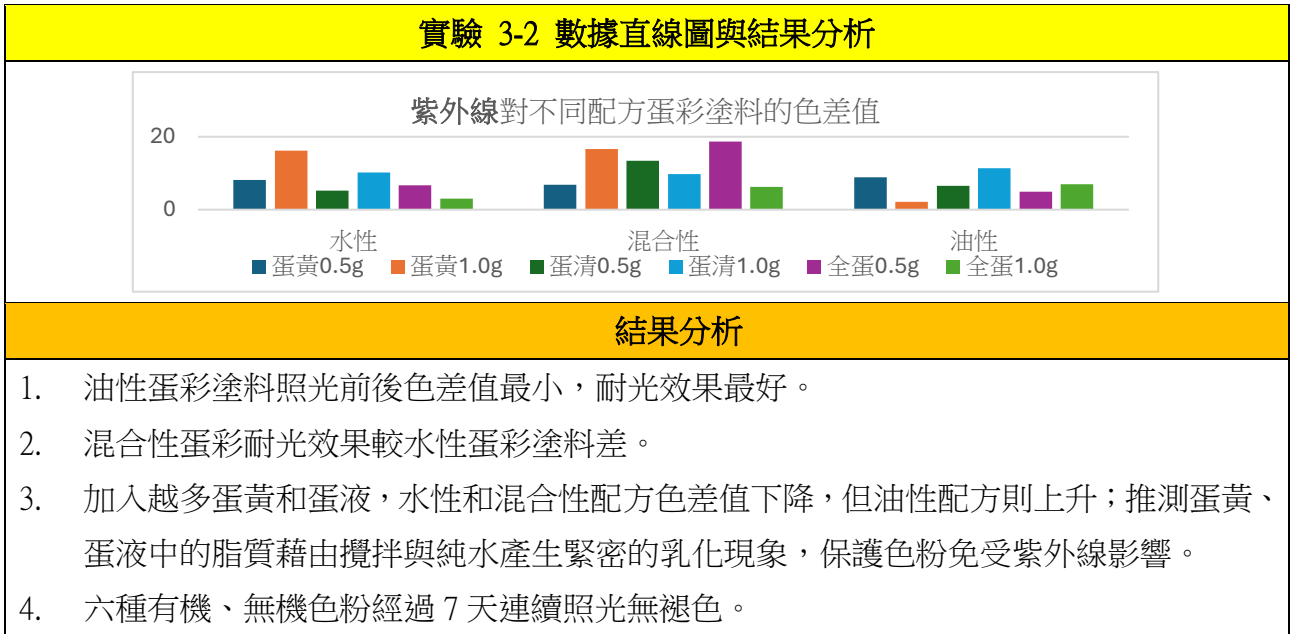
使用色粉：珊瑚紅礦物粉(推測為氧化鐵、碳酸鈣混合而成)

配方		蛋黃 0.5g		蛋黃 1.0g		蛋清 0.5g		蛋清 1.0g		全蛋 0.5g		全蛋 1.0g	
水性	顏色												
	L	78.89	74.81	86.23	76.47	87.85	84.49	91.86	84.42	92.50	88.53	67.26	68.24
	a	16.73	23.72	13.63	20.79	11.83	14.51	10.09	16.60	8.42	13.60	24.79	27.65
	b	18.34	19.42	15.84	26.55	7.92	10.85	4.56	7.09	10.05	9.55	13.85	13.56
	$\Delta E2-\Delta E1$	8.17		16.16		5.20		10.20		6.66		3.04	
混合性	顏色												
	L	79.04	75.45	77.24	64.53	81.20	73.56	87.33	81.87	67.15	51.80	72.27	67.02
	a	15.38	21.17	19.53	30.18	13.94	23.45	11.04	18.60	22.43	32.00	20.77	24.10
	b	18.49	19.57	18.85	19.23	6.62	12.09	8.08	10.90	17.07	21.70	15.29	15.45
	$\Delta E2-\Delta E1$	6.90		16.59		13.37		9.74		18.67		6.22	
油性	顏色												
	L	69.78	63.02	83.58	84.73	87.14	82.54	76.54	71.19	77.51	75.32	77.41	72.20
	a	24.71	30.17	15.82	14.68	12.85	16.91	19.62	27.60	18.11	22.38	20.44	23.73
	b	20.01	21.80	12.99	14.47	6.34	8.54	8.47	9.94	11.10	12.17	11.99	15.23
	$\Delta E2-\Delta E1$	8.87		2.19		6.58		9.72		4.92		6.96	

使用紅色、黃色、藍色有機色粉和無機色粉再次進行相同實驗



(二) 數據分析：



七、實驗 3-2 探討酸鹼性對於不同配方的坦培拉塗料所產生的變化

(一) 實驗結果：

因篇幅限制，以紅氧化鐵為例

配方	水性		混合性		油性		常見顏料	
	浸泡前	浸泡後	浸泡前	浸泡後	浸泡前	浸泡後	浸泡前	浸泡後
酸性								
中性								
鹼性								

(二) 數據分析：

1. 浸泡酸性水溶液掉色程度皆為：油性 < 混合性 < 水性。
2. 浸泡中性水溶液掉色程度皆為：油性 < 混合性 < 水性。
3. 浸泡鹼性水溶液掉色程度皆為：三者皆掉色情形嚴重。
4. 有機色粉掉色程度比無機色粉嚴重。
5. 水性蛋彩塗料浸泡前後的色差值較大，有明顯脫落情況。

八、實驗 3-3 探討溫溼度對於不同配方的坦培拉塗料所產生的變化

(一) 實驗結果：

蛋黃水性	蛋黃混合	蛋黃油性	蛋白水性	蛋白混合	蛋白油性	全蛋水性	全蛋混合	全蛋油性
0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml	0ml 30ml 60ml

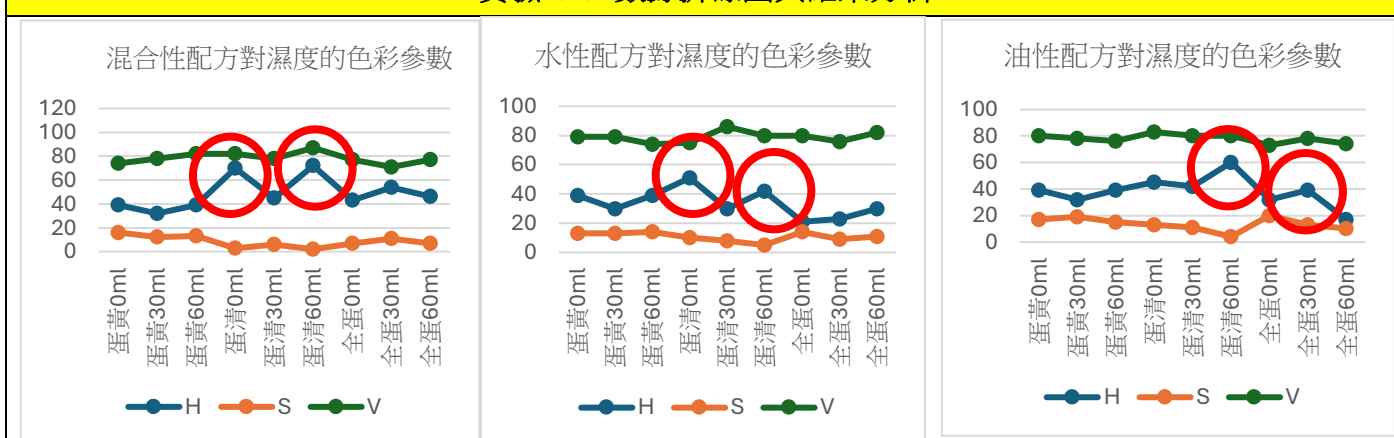
表 3-3 不同蛋彩配方對濕度的顏色變化紀錄表

因篇幅限制，以紅氧化鐵為例

		0ml						30ml						60ml					
色彩參數		R	G	B	H	S	V	R	G	B	H	S	V	R	G	B	H	S	V
蛋黃	水	201	192	175	39	13	79	201	190	179	30	13	79	188	179	162	39	14	74
	混	188	175	158	36	16	74	200	193	177	42	12	78	210	204	182	47	13	82
	油	203	191	169	39	17	80	199	181	161	32	19	78	194	184	165	39	15	76
蛋清	水	191	188	171	51	10	75	219	210	201	30	8	86	203	200	193	42	5	80
	混	207	208	202	70	3	82	203	202	190	45	6	78	220	221	216	72	2	87
	油	211	204	183	45	13	83	203	196	180	42	11	80	213	213	205	60	4	80
全蛋	水	205	187	177	21	14	80	195	184	177	23	9	76	209	197	185	30	11	82
	混	196	192	182	43	7	77	181	179	161	54	11	71	197	194	185	46	7	77
	油	186	168	148	32	20	73	199	190	173	39	13	78	188	185	170	17	10	74

(二) 數據分析：

實驗 3-3 數據折線圖與結果分析



結果分析

1. 三種配方中加入蛋清，從折線圖中可觀察到 H 值在 0ml 和 60ml 時有上升趨勢。顯示潮濕環境中的水氣會影響蛋彩塗料呈現的顏色效果。
2. 我們推測油性和混合性配方的數值變動較小，是因為油脂能包覆水分，產生保護作用。
















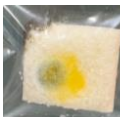
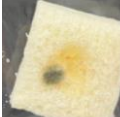
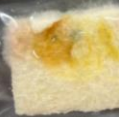

九、實驗 3-4 模擬炎熱潮濕的台灣環境，防腐材對於不同配方的蛋彩塗料的保護程度

(一) 實驗結果：

◎空白實驗

配方	蛋黃	蛋清	全蛋	水	水+油	油
照片						
發霉位置	塗料中間	塗料周圍	中間及邊緣	吐司邊緣	分散、邊緣	無

◎正式實驗

配方	黃水(不加醋)	黃油(不加醋)	黃混(不加醋)	黃水(加醋)	黃油(加醋)	黃混(加醋)
照片 						
發霉位置	塗料上側	吐司下側	無	無	無	吐司邊緣
蛋彩發霉	✓	✗	✗	✗	✗	✗
配方	白水(不加醋)	白油(不加醋)	白混(不加醋)	白水(加醋)	白油(加醋)	白混(加醋)
照片						
發霉位置	塗料邊緣 吐司右側	塗料下側	塗料下側 吐司上側	無	無	無
蛋彩發霉	✓	✓	✓	✗	✗	✗
配方	全水(不加醋)	全油(不加醋)	全混(不加醋)	全水(加醋)	全油(加醋)	全混(加醋)
照片						
發霉位置	塗料中間 吐司邊緣	塗料中間吐 司下側	塗料中間 吐司上側	塗料中間	塗料中間 吐司上側	吐司下側
蛋彩發霉	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(二) 數據分析：

結果分析

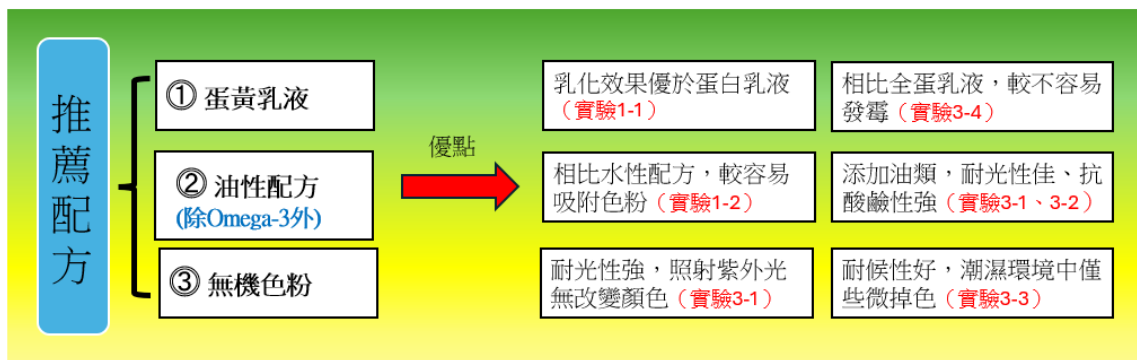
1. 空白實驗中，蛋液正常均會發霉，油是最不容易發霉的。
2. 加醋能幫助蛋白、蛋黃乳液的黴菌生長。
3. 利用全蛋乳液調配，無論是否有加醋，皆有黴菌產生。
4. 三種配方中以油性最不易發霉，三種雞蛋乳液則以蛋黃最不易發霉。

伍、討論

- 一、白殼、紅殼、土雞蛋、烏骨雞蛋，蛋白質**差別不大**，雞蛋顏色差異與品種有關。
- 二、電動攪拌器將蛋黃、全蛋打至濕性打發，調配水性、油性及混合性配方，液滴形狀為半珠狀，**油性接觸角最小，畫布將油輕易拉開，容易吸附色粉**。
- 三、**油性和混合性蛋彩塗料提高轉速及時間顏色變暗沉**，水性蛋彩反而變淺。攪拌雖使蛋彩顏料顏料顆粒均勻分散在蛋黃中，但也使顏料顆粒破碎、蛋白質變性，導致顏色變暗。
- 四、蛋白質中的大部分胺基酸都屬於酸性，因此鹼性物質會與蛋白質結構產生酸鹼中和的改變，使其難以形成穩定的塗料。**添加酸性物質可以使色差值的差異減小。蛋清含水量較高，且具有較強的流動性，這使得其色差值在一定範圍內能夠保持穩定。**
- 五、使用椰子油、棕櫚油、亞麻仁油等 6 種油類調配油性及混合性配方，放置一個月後，添加亞麻仁油的蛋彩塗料明顯黃化，蛋黃+甜杏仁油+混合配方也有輕微黃化，代表**有機色粉和無機色粉碰到 Omega-3 不飽和油類時間久了容易氧化變黃、變暗**。
- 六、使用珊瑚紅礦物粉模擬陽光中的紫外線實驗，照射 7 天樣本顏色變淺，**抗紫外線效果為油性 > 水性 > 混合性**，加入越多蛋黃和蛋液，水性和混合性配方色差值下降。使用後來購買的 6 個色粉，卻無褪色情形，我們推測是因為珊瑚紅礦物粉純度不高，受到雜質影響，正常情況下無機色粉抗光效果應優於有機色粉，而我們購買的有機色粉為人工合成，或許有加入穩定劑成分，導致短時間內無褪色情形產生。
- 七、常見顏料浸泡前後色差值最小，非常耐水、鹼性，浸泡酸性造成稍微脫落，但不明顯，排除常見顏料，三種配方中**以油性蛋彩塗料顏色保持較完整**。
- 八、在加水模擬潮濕環境中，全蛋水性 H 值上升，蛋黃水性配方變化最大。油脂形成保護層，防止水分滲入，故**油性和混合性配方在潮濕環境中色彩較穩定**。
- 九、查詢資料後發現，**黴菌容易生長的 pH 值為 4.0 ~ 6.0**，全蛋整體含水量較高，高含水量是微生物生長的理想條件之一，適量**添加白醋可以抑制黴菌生長**。
- 十、無機色粉和有機色粉對塗料劣化的影響可能取決於具體的應用情境和使用條件。在一些情況下，無機色粉可能表現得更穩定，而在其他情況下，有機色粉可能更適合。**最佳的做法是根據具體需求和放置位置來選擇適合的色粉類別**。

陸、結論

- 一、色粉中加入雞蛋，蛋白質作為**結合劑**，藉由**乳化現象**將色粉顆粒包裹起來，形成穩定懸浮液，**脂質可以提高流動性和光澤度**，增加攪拌速度、攪拌時間有利於乳化。
- 二、蛋清脂質少、水分較多，使得塗料飽和度低、不易乳化，乾燥後色粉沒有附著力，古人較少使用。**當添加酸性物質調配蛋彩塗料，能讓色差值保持在一定範圍內。**
- 三、蛋彩畫保存取決於以下幾個因素：
 1. 避免紫外線照射，可使用**油性坦培拉塗料**或**加蛋黃或是蛋液**提高抗紫外線效果。
 2. 避免酸鹼性物質接觸，可使用**油性坦培拉塗料耐酸鹼性最佳**，**鹼性物質最容易破壞蛋白質結構。**
 3. 保存在乾燥環境，可**添加油類**可提高在潮濕環境中的穩定性。
 4. 台灣潮濕多雨，為避免發霉，可**使用蛋黃或適時添加醋抑制黴菌生長。**
- 四、無機色粉的優點耐光性強、耐候性好，但它們可能缺乏色彩的鮮艷度和多樣性。相反，有機色粉可以提供更豐富的色彩選擇和更好的色彩鮮艷度，但其耐候性和耐光性可能較差，容易受到光照和化學物質的影響。
- 五、畫作剝落和褪色是個複雜的問題，涉及多個因素，透過分析《最後的晚餐》我們得到了蛋彩畫保存秘訣，建議未來的藝術家想提高畫作的持久性時，可以使用**蛋黃乳液、不飽和 Omega-3 以外的油類以及無機色粉**進行繪製。



- 六、未來，我們想深入研究蛋彩畫中檢測工具的改進問題，探索各種意想不到的發現，例如，將雞蛋替換為其他蛋白質替代品，並設計多元化的環境中並延長時間再觀察色彩參數的差異性。雖然色粉的選擇受到限制（須排除重金屬或其他有毒成分或不穩定的因素、現今多為人工合成色粉），但**透過本實驗中的色彩三原色組合，我們期望這份新的蛋彩塗料製作指南能夠提升未來蛋彩畫作品的品質和保存期限。**

柒、參考文獻資料

1. 蛋彩畫的源流與發展。查詢日期 2023.09.20，資料來源：<https://reurl.cc/g4rgZV>
2. 蛋之形成、構造及成分。農業知識入口網。查詢日期 2023.09.20，資料來源：<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=30328>
3. 劉孔喜《坦培拉繪畫藝術研究》，北京：安徽美術出版社，2017年。
4. 黃楷翔（2018）。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。化腐朽為神漆。查詢日期 2023.10.11，資料來源：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-080210.pdf>
5. 游承曄、陳玟心、林紓嫻、李楨馨（2019）。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。新式複合顏料。查詢日期 2023.12.06，資料來源：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/61/pdf/NPHSF2021-032904.pdf?0.00570364904056353>
6. 張瑜秦（2020）。傳統坦培拉架上繪畫黏著劑材料——蛋彩坦培拉展色劑配方初探。查詢日期 2023.12.13，資料來源：<https://reurl.cc/13zmrQ>
7. Artist Pigments & Dyes，查詢日期 2024.05.02，資料來源：<https://artistpigments.org/pigments>
8. SY 化工有限公司，查詢日期 2024.05.02。資料來源：<https://www.sypigment.com/tw/>
9. 有機顏料和無機顏料的區別，查詢日期 2024.05.07，資料來源：<https://reurl.cc/NQD6Me>
10. 變質容易保存難？對抗微生物大作戰—「PanSci TALK：食品保存技術大解密」，查詢日期 2024.05.14。資料來源：<https://pansci.asia/archives/109873>
11. 油畫媒介劑大解析（上），查詢日期 2024.05.20。資料來源：<https://reurl.cc/5vEoVy>

【評語】 080209

藝術品的呈現具有其多樣性，有些作品或許在製作的過程中，使用天然材料譬如雞蛋，然而並未考慮保存的情況，如作品說的最後晚餐。在研究中提到保存的重要性，並且就多個面向探討配方的對於作品保存的影響。

針對一個題目進行多面向的探討值得嘉獎，然而在作品聚焦及呈獻上可能需要多費心。例如在探討接觸角的部分，其對於保存的影響不太直觀。

在作品中加入酸性物質後，儘管可以穩定顏色，但很有可能造成作品基材的破壞，可能要小心。

在研究上，自行製作多種研究設備（暗箱、濕度控制箱）值得鼓勵。

在進行實驗時，固體樣品（色粉）是利用微量勺一平匙做加入。不過粉狀物的型態，還有秤取手法不同很容易造成取得樣品的體積、重量有誤差，請小心。

在環境的探討上，可以嘗試先列舉出所有的環境因素，接著就直覺上影響最重大的來進行探討。同樣地，繪畫的材質探討上也可以嘗試列出，像不同材質的畫布，接著聚焦在想探討的材質如紙張來進行討論。

p. 27 2. 加醋能幫助蛋白、蛋黃乳液的黴菌生長。P. 28 八、添加白醋可以抑制黴菌生長。需要注意。

作品簡報

打破雞蛋「畫」到底——

蛋彩塗料配方探討



壹、研究動機

(指導老師使用Canva軟體繪製)



台灣近期的缺蛋危機
(圖片來源:我們的島)



經典蛋彩畫作《最後的晚餐》
數十年剝落、褪色
(圖片來源:taipeitimes)



顯示蛋彩塗料面臨保存挑戰
(圖片來源:可可迷你空間)

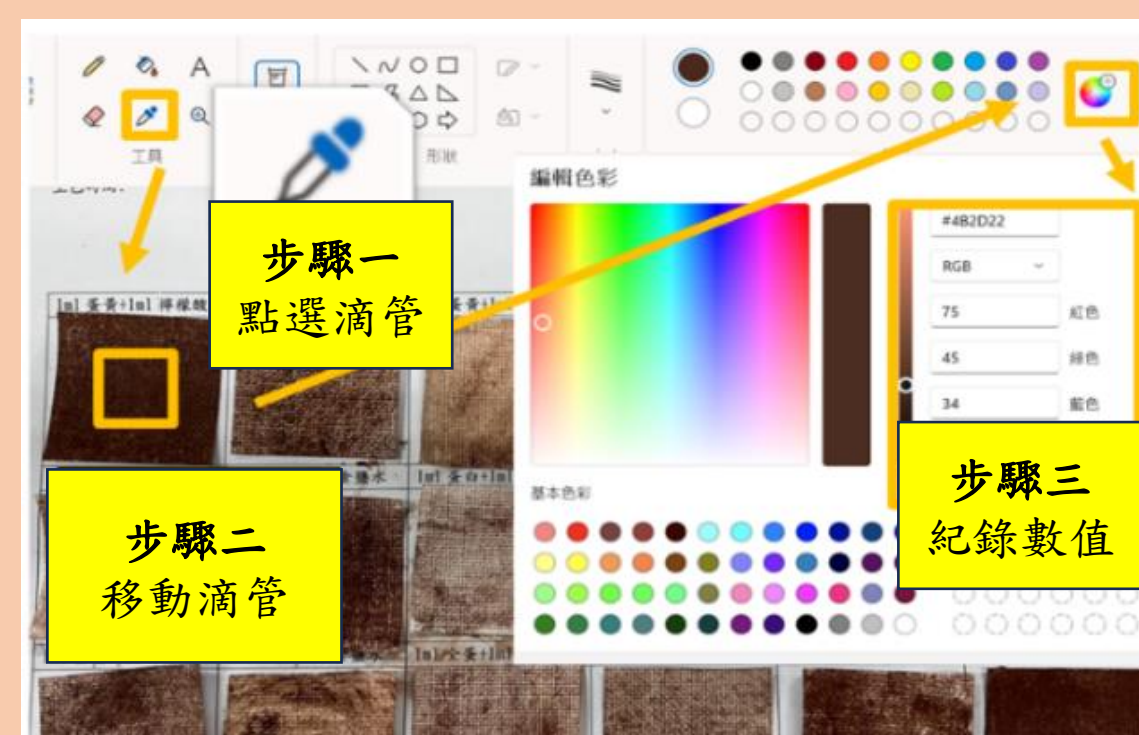
希望能找出蛋彩畫的特性，幫助創作者更好地理解材料，減少作品保存困難的問題，並重新認識蛋彩畫的美好。

貳、研究目的

- (一) 分析「蛋彩塗料」調配的秘密
- (二) 探討「添加物」對蛋彩塗料的影響
- (三) 探討「環境」對於蛋彩塗料的影響

色彩參數取得方式

【小畫家滴管工具操作步驟】



【Datacolor 色差儀操作方式】

色差儀具標準光源，無外界光源的干擾誤差，經黑布實驗檢測數值穩定。



參、檢測裝置與流程

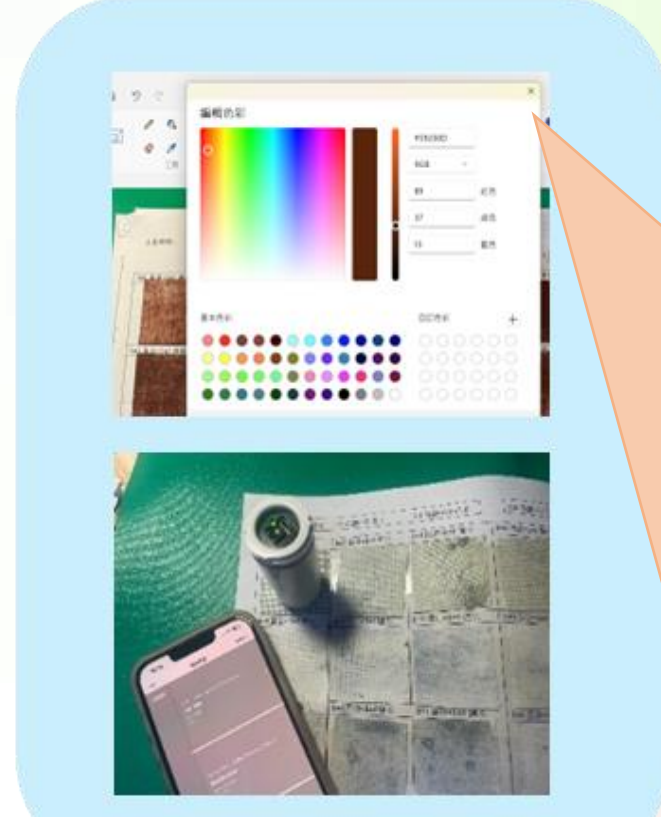
(流程圖、步驟為指導老師使用PowerPoint軟體繪製 照片均為作者拍攝)

1 製備雞蛋乳液
將蛋白與蛋黃分開

2 調配蛋彩塗料
油性、水性、混合性配方

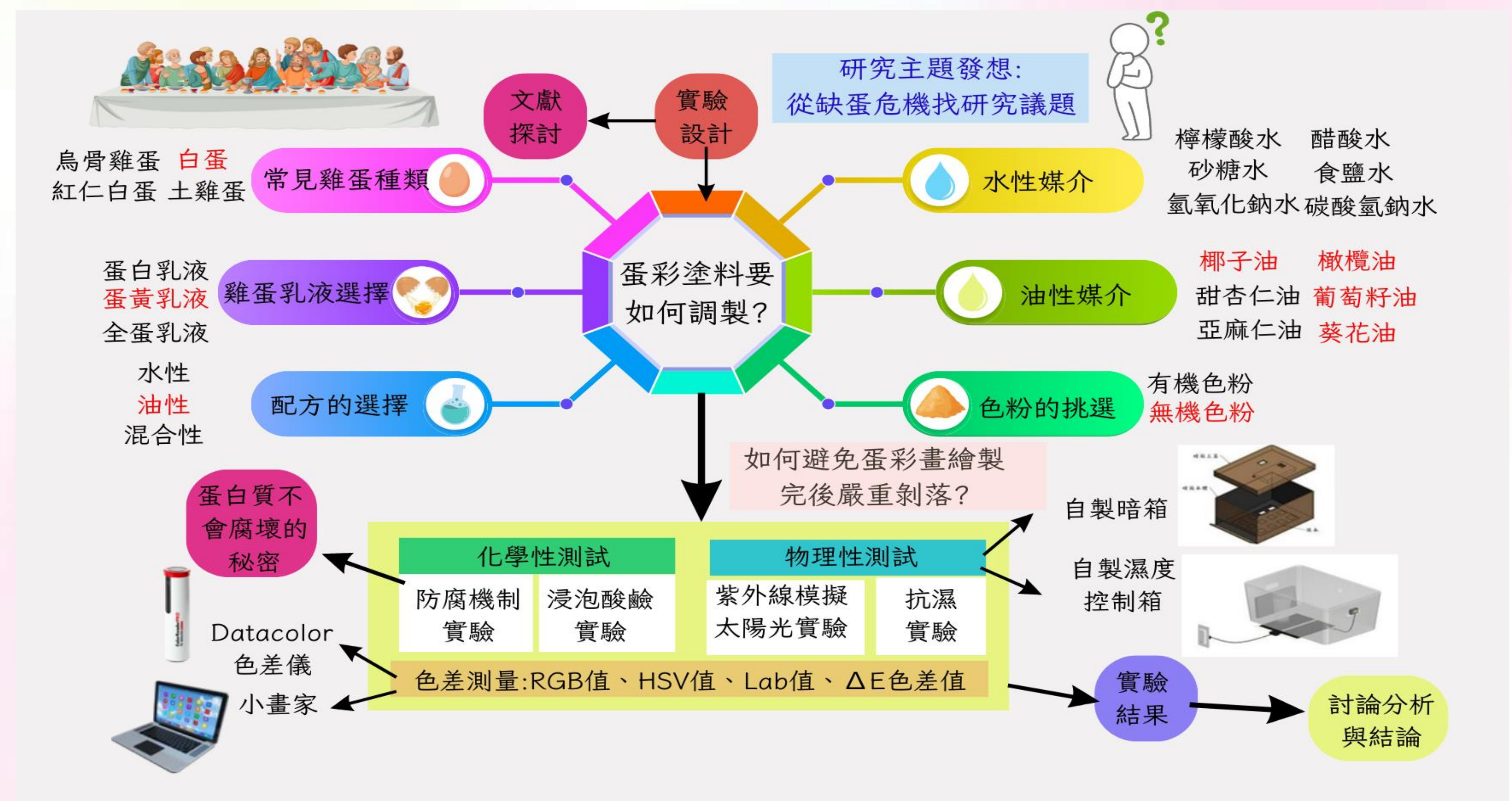
3 塗抹上色
搭配塗膜均勻輔助裝置

4 測量色彩參數
色差儀、小畫家



肆、研究流程架構圖

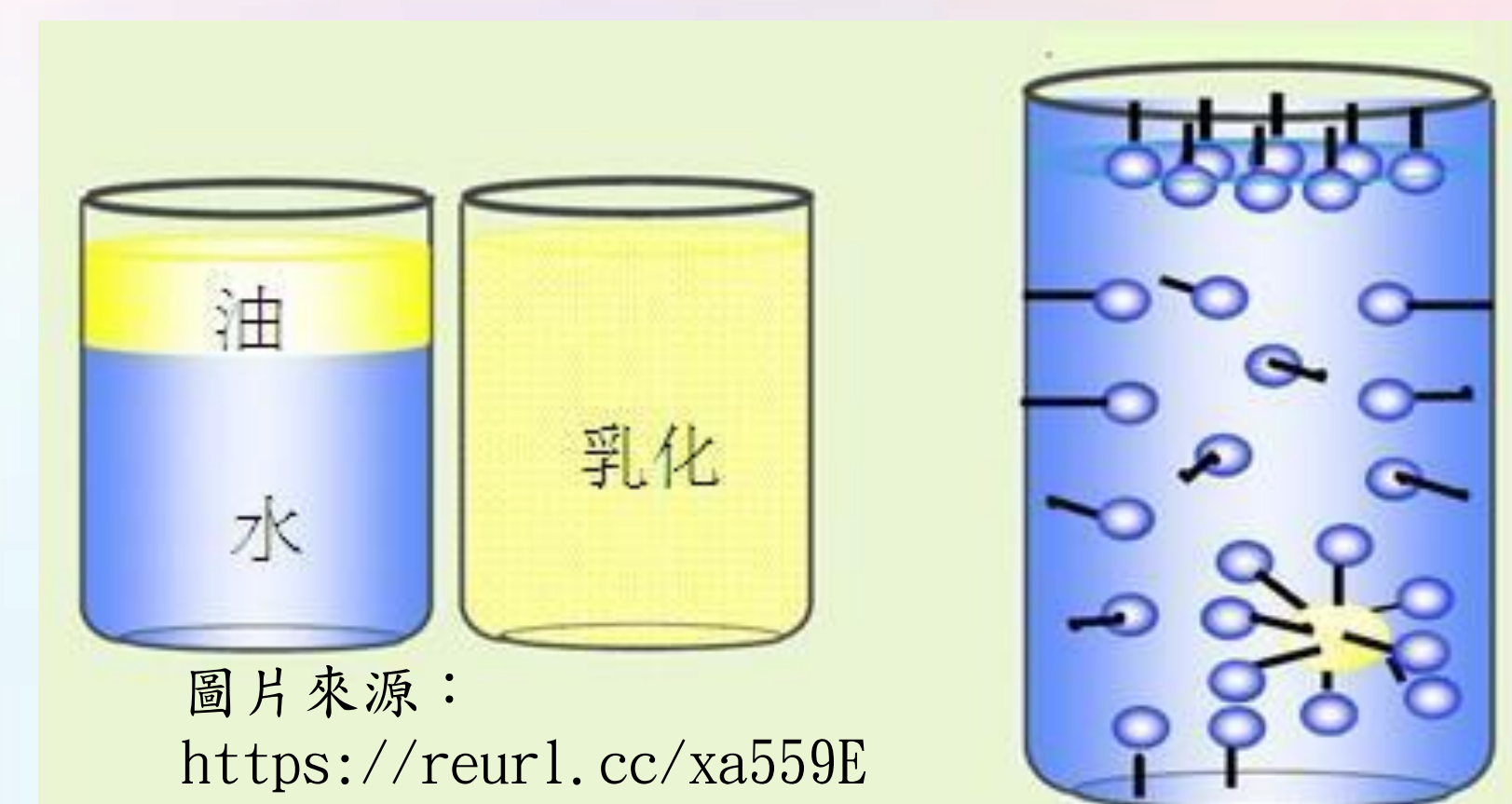
(指導老師使用Canva軟體繪製)



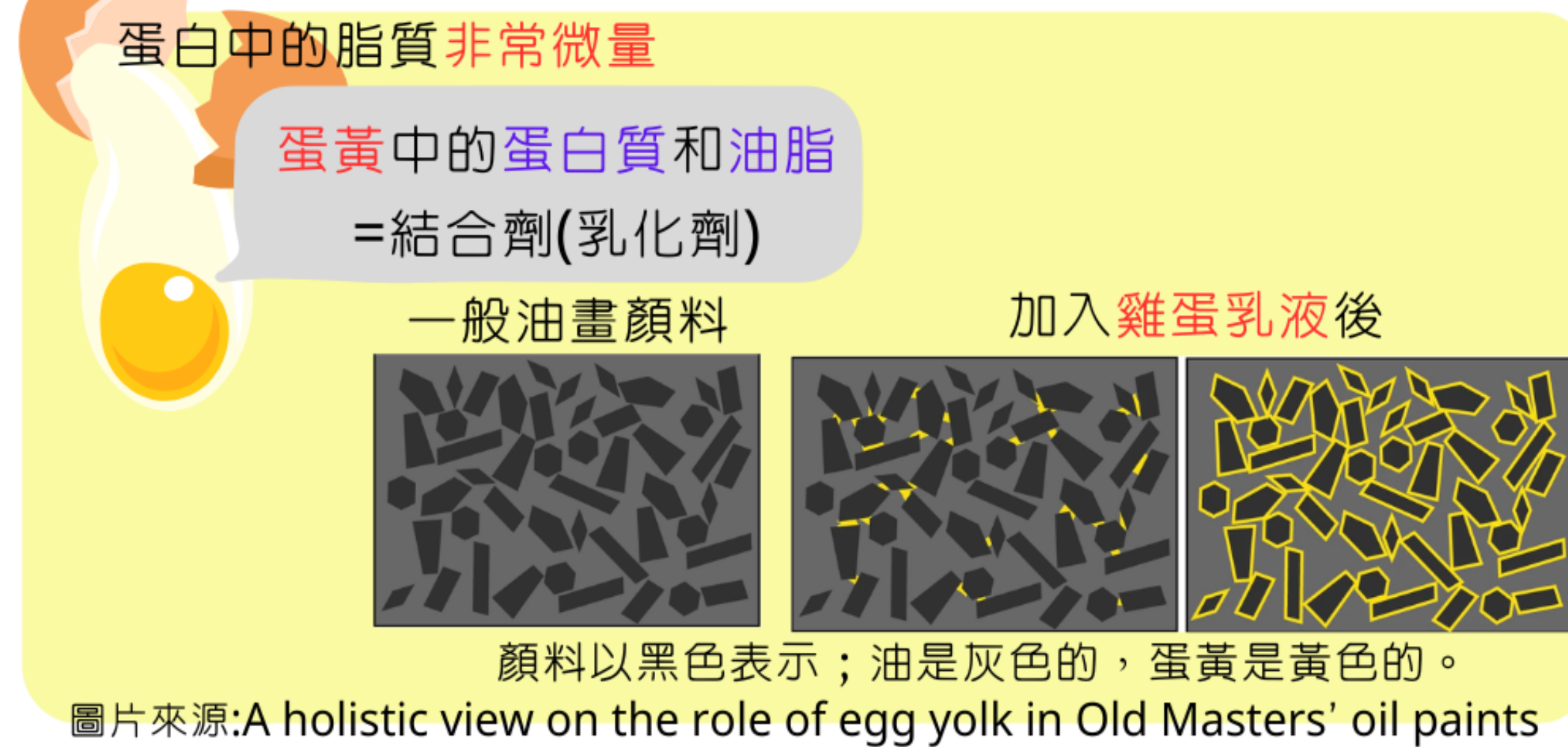
原理探究

(指導老師使用Canva軟體繪製)

【乳化作用】



【蛋彩顏料系統微觀結構】



【雞蛋的角色界定】



伍、研究過程與方法

實驗一、分析「最後的晚餐」的秘密

- 實驗1-1: 使用四種不同雞蛋調製蛋彩塗料，其色差比對測試
不同雞蛋 (紅蛋、土雞蛋、烏骨雞蛋、紅仁白蛋) → 測量RGB值、HSV數值
- 實驗1-2 使用不同比例的全蛋液、純蛋液、蛋白液在畫布上形成液滴時其接觸角
蛋黃、蛋白、全蛋液打發與否 → 接觸角角度
- 實驗1-3 使用不同攪拌速度調製蛋彩塗料，其色差比對測試
速度1、速度2、速度3 攪拌3分鐘 → 測量RGB值、HSV數值
- 實驗1-4 使用不同攪拌時間調製蛋彩塗料，其色差比對測試
攪拌時間 (3分鐘、6分鐘) → 測量RGB值、HSV數值

實驗二、探討「添加物」對蛋彩塗料的影響

- 實驗2-1 探討鹼性、酸性、中性水溶液對蛋彩塗料成色的影響性
飽和、不飽和鹼性、酸性、偏中性水溶液 → 測量RGB值、HSV數值
- 實驗2-2 探討飽和、不飽和油類對於蛋彩塗料成色的影響性
不同的油 (飽和、不飽和Omega-3、不飽和Omega-6) → 測量RGB值、黃化
- 實驗 2-3 探討無機、有機色粉對於蛋彩塗料成色的影響性
不同顏色的色粉 (有機、無機) → 測量RGB值、HSV值

實驗三、探討「環境」對於坦培拉塗料的影響

- 實驗 3-1 探討紫外線對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化
UV燈模擬陽光中的紫外線 → 測量RGB值、HSV數值
- 實驗 3-2 探討酸鹼性對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化
浸泡酸性、中性及鹼性水溶液 → 測量Lab值、色差值
- 實驗 3-3 探討溼度對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化
改變溼度 (0ml水、30ml水、60ml水) → 掉色程度
- 實驗 3-4 模擬台灣環境，防腐材對於不同配方的蛋彩塗料的保護程度
防腐材的使用 (是否有加醋) → 吐司中雞蛋乳液發霉程度

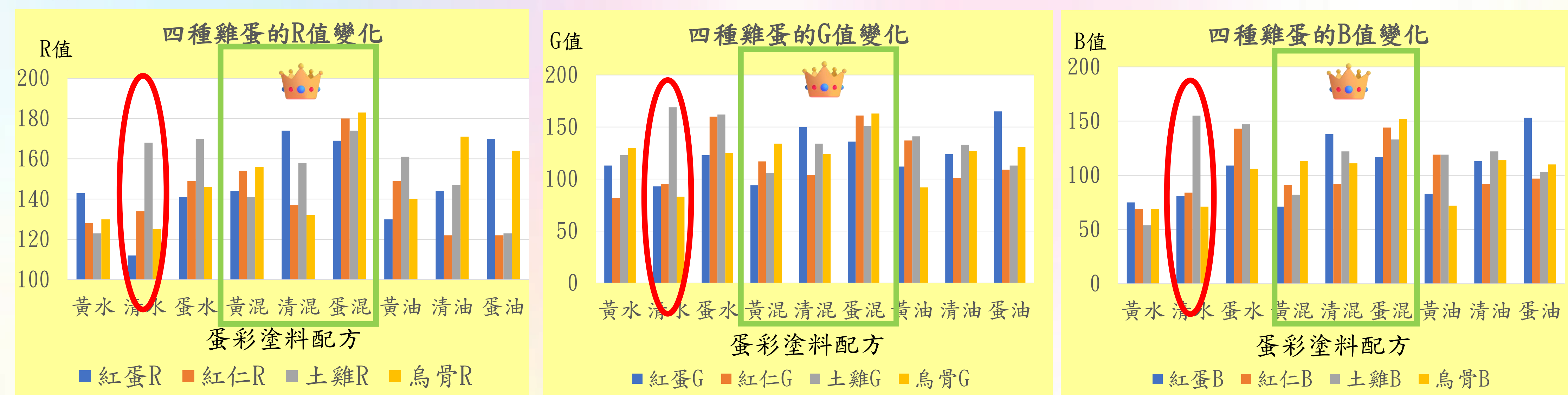
蛋彩畫保存秘訣



實驗1-1 使用不同雞蛋調製蛋彩塗料，其色差比對測試

(本研究所有實驗相關圖片、圖表皆由指導老師/作者拍攝、繪製)
(插圖素材來源：いらすとや網站；表情符號素材來源：工具邦網站)

1. 實驗結果：

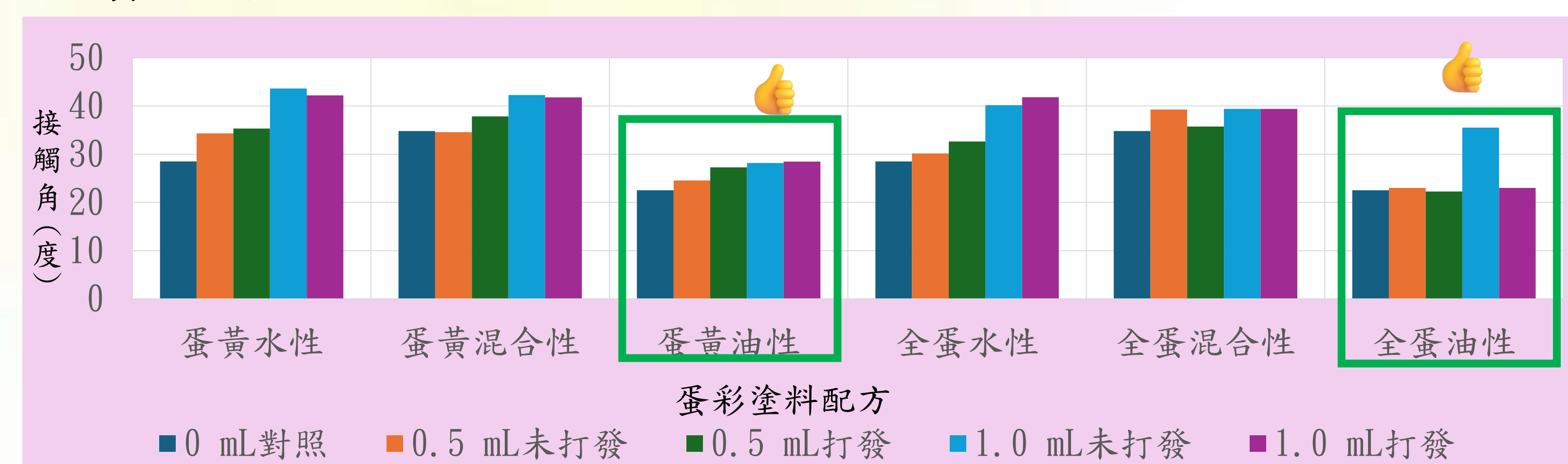


2. 實驗分析：

四種雞蛋在蛋清水性配方呈現較大幅度的落差，以混合性配方數值較為穩定，使用不同的雞蛋調配，變動幅度不明顯。

實驗1-2 使用不同比例的全蛋液、純蛋液、蛋白液在畫布上形成液滴時其接觸角測量

1. 實驗結果：



2. 結果分析：

油性配方數值小，表示液體的分子越緊密，容易變成平塌狀，表示將油性配方滴在畫布上，表面張力小，附着情形好，能將色粉均勻延展。

實驗1-3 使用不同攪拌速度調製蛋彩塗料，其色差比對測試實驗

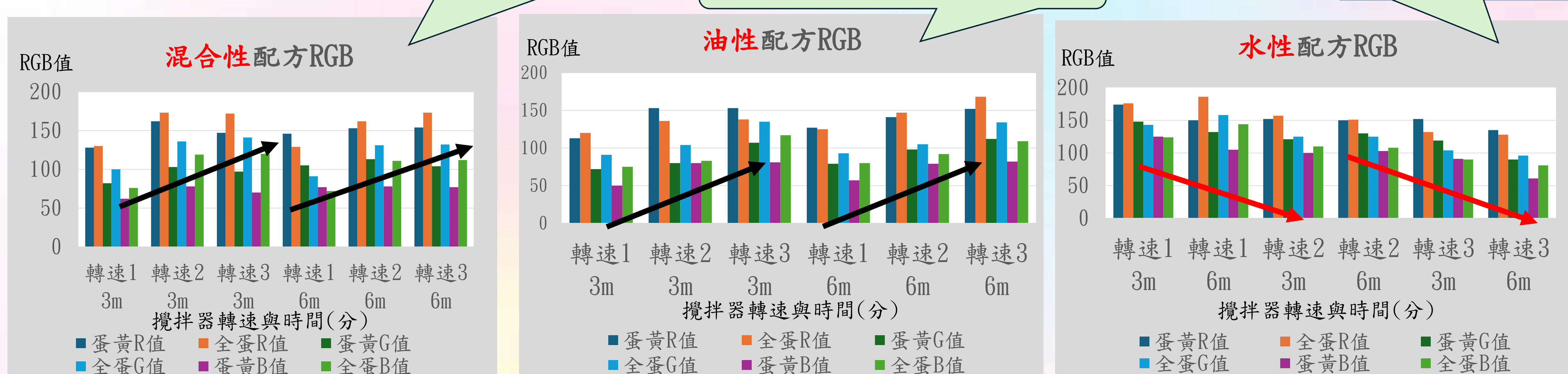
實驗1-4 使用不同攪拌時間調製蛋彩塗料，其色差比對測試實驗

1. 實驗結果：

轉速增加，RGB值緩慢上升

轉速增加，RGB值緩慢上升

轉速增加，RGB值緩慢下降

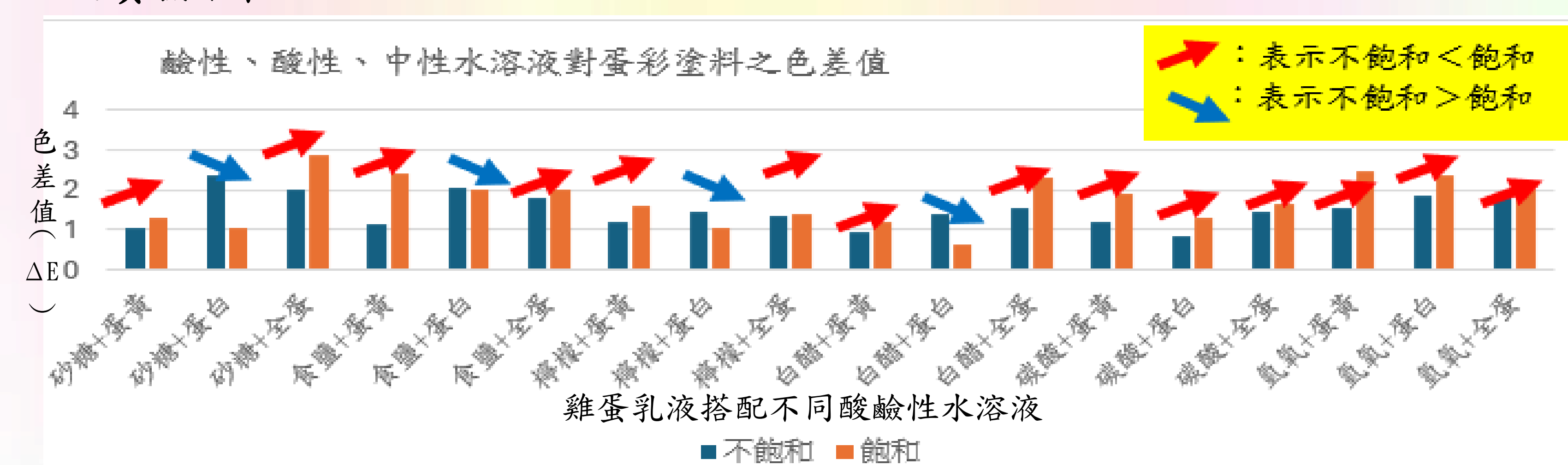


2. 結果分析：

水性配方隨著轉速增加，顏色變亮；油性和混合性配方則是隨著轉速增加，顏色越暗。

實驗2-1 探討鹼性、酸性、中性水溶液對蛋彩塗料成色的影響性

1. 實驗結果：



★色差的範圍：

- 1、0.5-1.0△E：微小到中等。
- 2、1.0-2.0△E：中等。
- 3、2.0-4.0△E：有差距。

2. 結果分析：

- (1)加酸性、中性、鹼性物質至水中調配全蛋、蛋黃塗料時，色差值會隨添加量增加而上升。
- (2)使用酸性、中性添加物調配蛋白塗料時，色差值會隨添加量增加而下降；使用鹼性添加物調配蛋白塗料時，色差值則會隨添加量增加而上升。

實驗2-2 探討飽和、不飽和油類對於蛋彩塗料成色的影響性

1. 實驗結果：

配製	添加	油性											
		椰子油		棕櫚油		亞麻仁油		甜杏仁油		葡萄籽油		葵花油	
色粉特性		有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機
蛋黃乳液	R	8	57	85	57	94	66	51	57	51	47	61	53
	G	8	57	87	57	96	66	53	57	55	47	62	53
	B	6	57	76	49	83	57	50	49	54	45	54	51
	顏色	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
蛋清乳液	R	73	105	76	90	175	41	42	41	72	41	175	82
	G	74	107	78	90	165	41	47	41	74	41	177	82
	B	78	99	75	82	120	41	50	41	73	41	167	82
	顏色	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
全蛋乳液	R	90	123	80	57	110	132	59	74	45	67	31	99
	G	93	123	80	57	108	132	60	74	48	67	32	99
	B	100	115	78	57	93	123	65	74	55	66	36	90
	顏色	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否

2. 結果分析：

使用無機色粉和有機色粉添加亞麻仁油皆有黃化現象，其他油類沒有這個情況產生。

實驗2-3 探討無機、有機色粉對於蛋彩塗料成色的影響性

【色粉選擇】

區別	紅色		黃色		藍色	
	無機	有機	無機	有機	無機	有機
成分	紅氧化鐵 Fe ₂ O ₃	偶氮化合物	針鐵礦 α-Fe ₂ (OH) ₃	偶氮化合物	矽酸鋁鈉鹽	含銅化合物
色號	試藥 (-)級	103 基本紅 PR48:2	110 土黃 PY43	956 基本黃 PY3	930 深群青 PB29	106 基本藍 PB15:3
照片						
作者拍攝						

配製	添加	混合性											
		椰子油		棕櫚油		亞麻仁油		甜杏仁油		葡萄籽油		葵花油	
色粉特性		有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機	有機	無機
蛋黃乳液	R	57	90	66	57	143	74	98	74	46	74	86	115
	G	57	90	66	57	138	74	98	74	48	74	94	115
	B	47	82	54	49	118	66	86	74	47	74	95	107
	顏色	否	否	否	否	是	否	是	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	否	是	否	否	否	否	否
蛋清乳液	R	131	90	205	99	108	99	79	140	72	132	77	140
	G	135	99	205	99	109	99	82	140	76	132	83	140
	B	146	90	197	90	104	99	88	132	77	132	83	132
	顏色	否	否	否	否	是	否	是	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	否	是	否	否	否	否	否
全蛋乳液	R	50	57	130	49	199	90	27	74	28	65	75	89
	G	51	57	131	57	192	90	31	74	32	65	80	89
	B	56	57	133	49	164	82	40	66	41	65	84	89
	顏色	否	否	否	否	是	否	否	否	否	否	否	否
	黃化	否	否	否	否	是	否	否	否	否	否	否	否

2. 結果分析：

同樣是Omega-3不飽和脂肪酸的甜杏仁油與但黃乳液混合後上色，久置也有輕微變黃的狀況，蛋清的水分會減緩黃化的速度。

乳液	紅色			黃色			藍色		
	有機	無機	全	有機	無機	全	有機	無機	全
混合									
油性									
水性									

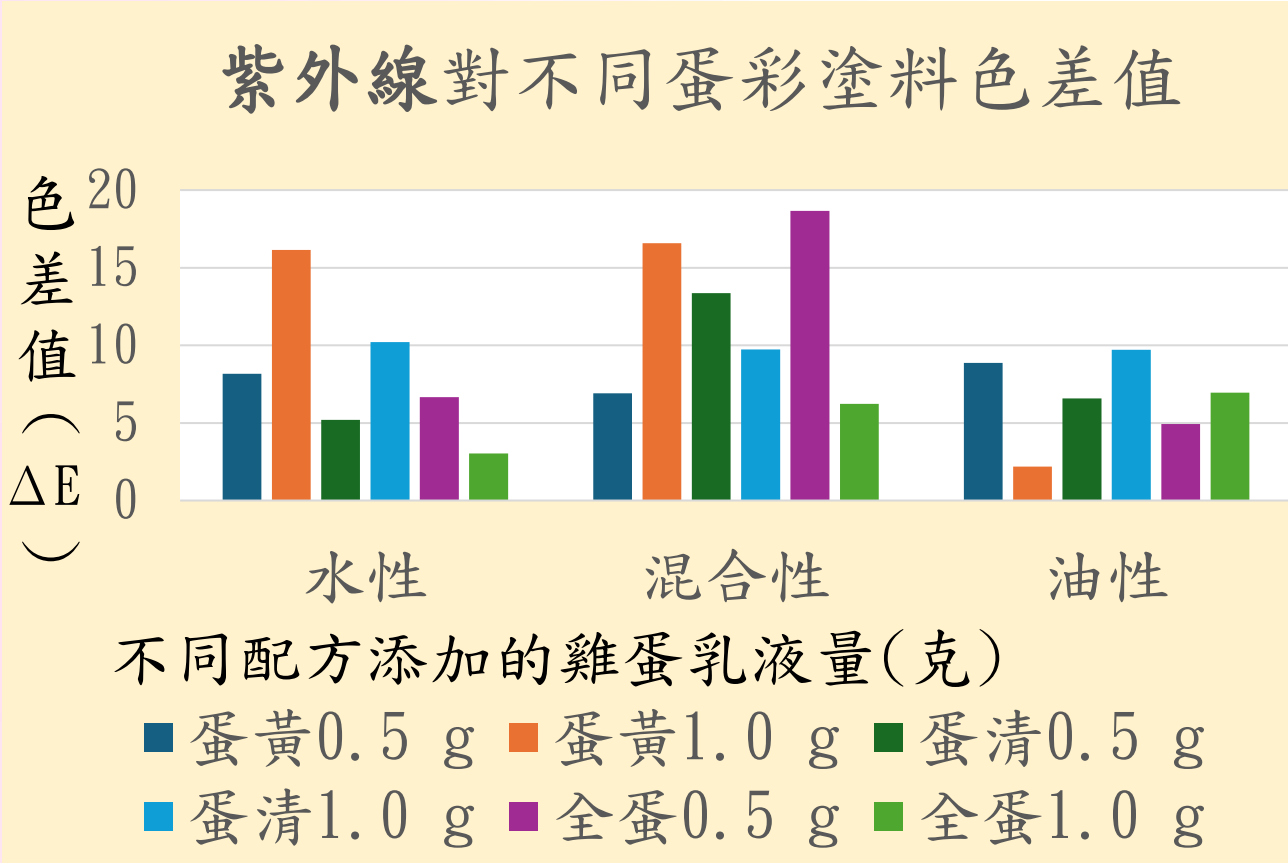
2. 結果分析：

使用全蛋、蛋黃和有機色粉進行調配，色相較接近色彩三原色，無機色粉彩度小、亮度低。

實驗3-1 探討紫外線對於不同配方的坦培拉塗料所產生的變化

1. 實驗結果：

配方	蛋黃 0.5g	蛋黃 1.0g	蛋清 0.5g	蛋清 1.0g	全蛋 0.5g	全蛋 1.0g	
水性	顏色						
	L*	78.89	74.81	86.23	76.47	87.85	84.49
	a*	16.73	23.72	13.63	20.79	11.83	14.51
	b*	18.34	19.42	15.84	26.55	7.92	10.85
	ΔE2-ΔE1	8.17	16.16	5.20	10.20	6.66	3.04
混合性	顏色						
	L*	79.04	75.45	77.24	64.53	81.20	73.56
	a*	15.38	21.17	19.53	30.18	13.94	23.45
	b*	18.49	19.57	18.85	19.23	6.62	12.09
	ΔE2-ΔE1	6.90	18.59	13.37	9.74	18.67	6.22
油性	顏色						
	L*	69.78	63.02	83.58	84.73	87.14	82.54
	a*	24.71	30.17	15.82	14.68	12.85	16.91
	b*	20.01	21.80	12.99	14.47	6.34	8.54
	ΔE2-ΔE1	8.87	2.19	6.58	9.72	4.92	6.96



2. 結果分析：

- (1) 油性蛋彩塗料照光前後色差值最小，耐光效果最好。
- (2) 混合性蛋彩耐光效果較水性蛋彩塗料差。
- (3) 六種有機、無機色粉經過7天連續照光無褪色。

實驗3-2 探討酸鹼性對於不同配方的坦培拉塗料所產生的變化

1. 實驗結果：

配方	水性	混合性	油性
時間	浸泡前	浸泡後	浸泡前
酸性			
中性			
鹼性			

色粉比較

	水	酸	中	鹼
蛋水				
白水				
蛋混				
白混				
蛋油				
白油				
全油				

2. 實驗分析：

- (1) 浸泡酸性水溶液掉色程度：油性 < 混合性 < 水性。
- (2) 浸泡中性水溶液掉色程度：油性 < 混合性 < 水性。
- (3) 浸泡鹼性水溶液掉色程度：三者皆掉色情形嚴重。
- (4) 無機色粉掉色程度比有機色粉輕微。

實驗3-3 探討溼度對於不同配方的蛋彩塗料所產生的變化

1. 實驗結果：

配方	無機色粉			有機色粉		
	蛋白	蛋黃	全蛋	蛋白	蛋黃	全蛋
水性						
混合性						
油性						

2. 實驗分析：

- (1) 潮濕環境中的水氣會影響蛋彩塗料呈現的顏色效果。
- (2) 油性和混合性配方的數值變動小。
- (3) 無機色粉比有機色粉更能保持色彩的穩定性和耐久性。

實驗3-4 模擬炎熱潮濕的台灣環境，防腐材對於不同配方的蛋彩塗料的保護程度

1. 研究原因：雞蛋中的蛋白質具有易腐敗性，然而多次上色實驗後，肉眼觀察並未發現發霉現象。

2. 實驗結果：

配方	黃水(不加醋)	黃油(不加醋)	蛋混(不加醋)	黃水(加醋)	黃油(加醋)	蛋混(加醋)
照片						
發霉位置	塗料上側	吐司下側	無	無	無	吐司邊緣
蛋彩發霉	✓	×	×	×	×	×



【空白實驗】

配方	蛋黃	蛋清	全蛋
照片			
發霉位置	塗料中間	塗料周圍	中間及邊緣



3. 實驗分析：

- (1) 空白實驗中，蛋液正常均會發霉，油是最不容易發霉的。
- (2) 加醋後，蛋白、蛋黃乳液的黴菌仍會生長。
- (3) 利用全蛋乳液調配，無論是否有加醋，皆有黴菌產生。
- (4) 三種雞蛋乳液則以蛋黃最不易發霉。

柒、結論

一、蛋彩塗料調配訣竅：

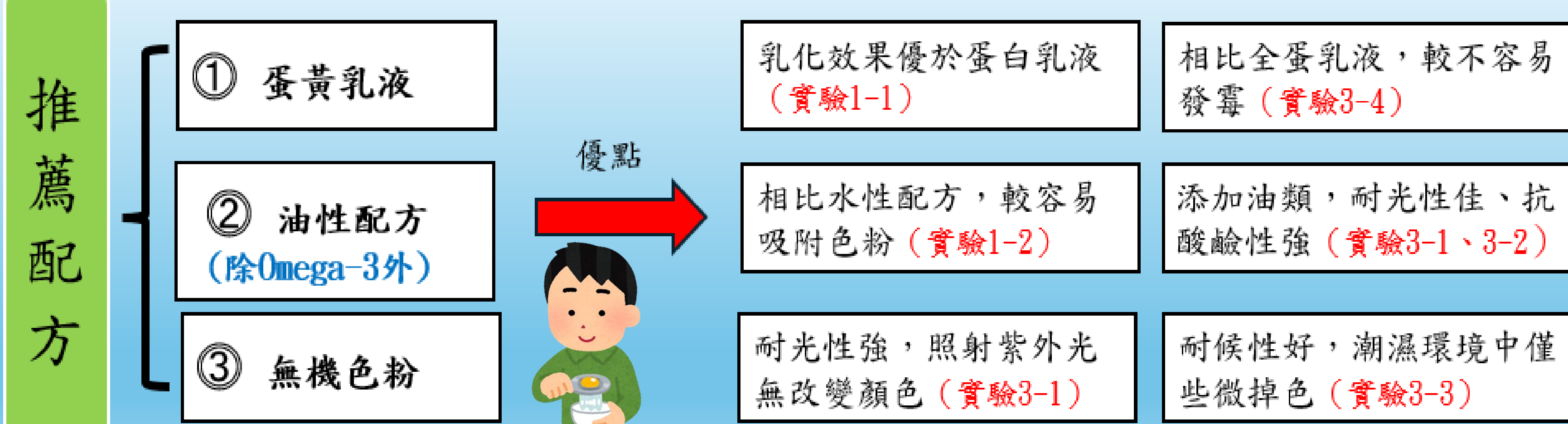
1. 色粉中加入雞蛋，蛋白質作為結合劑，藉由乳化現象將色粉顆粒包裹起來，形成穩定懸浮液，脂質可以提高流動性和光澤度，增加攪拌速度、攪拌時間有利於乳化。
2. 蛋清脂質少、水分較多，使得塗料飽和度低、不易乳化，乾燥後色粉沒有附著力，古人較少使用。當添加酸、鹼、偏中性物質調配蛋白塗料，能讓色差值保持在一定範圍內。

二、蛋彩畫保存取決於以下幾個因素：

1. 避免紫外線照射—可使用油性坦培拉塗料或加蛋黃或是蛋液提高抗紫外線效果。
2. 避免酸鹼性物質接觸—可使用油性坦培拉塗料耐酸鹼性最佳，鹼性物質最容易破壞蛋白質結構。
3. 保存在乾燥環境—可添加油類可提高在潮濕環境中的穩定性。
4. 防止發霉—台灣潮濕多雨，為避免發霉，可使用蛋黃或適時添加醋抑制黴菌生長。
5. 色粉選擇影響—無機色粉的優點耐光性強、耐候性好，但缺乏色彩的鮮艷度和多樣性，有機色粉則相反。



三、畫作剝落和褪色是個複雜的問題，涉及多個因素，透過分析《最後的晚餐》，我們得到下列蛋彩畫推薦配方。



未來展望

計劃深入研究蛋彩畫檢測工具的改進，探索新的發現。儘管色粉選擇受到限制（需排除重金屬及其他有毒或不穩定成分），但透過色彩三原色的組合，我們期望這份新的蛋彩塗料製作指南能夠提升未來畫作的品質和保存期限。

捌、參考資料及其他

蛋彩畫的源流與發展。查詢日期2023.09.20，資料來源：<https://reurl.cc/g4rgZV>
 劉孔喜《坦培拉繪畫藝術研究》，北京：安徽美術出版社，2017年。
 游承暉、陳政心、林舒嫻、李楨馨(2019)。中華民國第59屆中小學科學展覽會作品說明書。絕世好漆—以牛奶和教室粉筆自製塗漆。查詢日期2023.12.06，資料來源：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSP2019-080217.pdf>
 張瑜泰(2020)。傳統坦培拉架上繪畫黏著劑材料—蛋彩坦培拉展色劑配方初探。查詢日期2023.12.13，資料來源：<https://reurl.cc/13zmrQ>
 油畫媒介劑大解析(上)，查詢日期2024.05.20。資料來源：<https://reurl.cc/5vEoVY>