

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：國小甲組

組 別：生應(一)：機電與資訊

作品名稱：魔法汁紫：pH 變色 AI 探測

關 鍵 詞：紫色高麗菜汁、酸鹼溶液分析、AI 影像辨識

編 號：

魔法汁紫：pH 變色 AI 探測

本研究受自然課啟發，旨在開發一套能有效替代蝶豆花的天然酸鹼指示系統，並結合 AI 影像辨識實現自動化 pH 值預測。

研究初期針對蝶豆花、紫色高麗菜、藍莓汁及肯氏蒲桃汁進行篩選。實驗證實：紫色高麗菜汁在 pH2 至 pH13 區間具備最廣的顯色跨度，其「階梯式變色」特徵克服其他植物在強鹼環境下變色不明顯的侷限。

第二階段利用 iPa 採集生活上的飲品與藥劑影像資料集，並導入 MobileNetV2 輕量化神經網路。結果顯示，模型在 40 輪訓練內即達成收斂，平均絕對誤差(MAE)穩定維持在 0.79 至 1.5 之間，且具備優異穩定性，能有效排除樣本背景色干擾。本研究成功將肉眼目視比較顏色轉化為精確數據，未來計畫開發「智慧快測 APP」，將科學檢測推廣至日常生活。

目次

摘要	.....	1
目次	.....	2
壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)	.....	3
貳、研究設備與器材	.....	7
參、研究過程或方法	.....	8
肆、研究結果	.....	16
伍、討論	.....	19
陸、結論	.....	20
柒、參考文獻資料	.....	22

壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

一、研究動機：

本研究的靈感源自於三年級自然科學課程。老師帶領我們利用蝶豆花水作為天然酸鹼指示劑，觀察其在不同液體中所產生的顏色變化。這項實驗引發我們好奇：除了蝶豆花水之外，生活中是否還有其他富含天然色素的植物，也能產生良好的酸鹼變色效果，並有機會成為蝶豆花水的替代指示劑？

基於上述觀察，本研究進一步思考：這些天然指示劑在不同 pH 值中所呈現的顏色變化，是否具有規律性的層次差異。若植物色素在酸鹼環境中的變色具有穩定且可辨識的規律，便有機會建立一套標準化的色彩對照系統，作為判讀酸鹼值的依據。若能結合現代人工智慧影像辨識技術，透過拍照擷取顏色資訊，再由電腦進行判讀，或許能更客觀且準確地對應出液體的 pH 值。

為了實現這個想法，我們參考學長姐過去利用蝶豆花結合影像辨識的文獻，並擴展到多種植物材料，探討其酸鹼變色規律與辨識可行性。我們希望透過不同植物的天然變色特性，結合人工智慧的客觀分析，發展出另一套兼具趣味性、實用性與科學性的天然酸鹼指示劑檢測系統。

二、研究目的：

- (一)**多樣性篩選**：探討多種天然植物萃取液作為酸鹼指示劑的可行性，並建立不同植物色素在各酸鹼值下的變色圖譜。
- (二)**效能評估與優化**：觀察與比較多種天然指示劑的變色細緻度，進而找尋具備「線性變色」特質的指示劑。
- (三)**智慧化模型建立**：透過訓練影像辨識模型，分析指示劑的顏色階層，研發一套能預測 pH 值的科學檢測系統，將傳統觀測轉化為數據的精準分析。

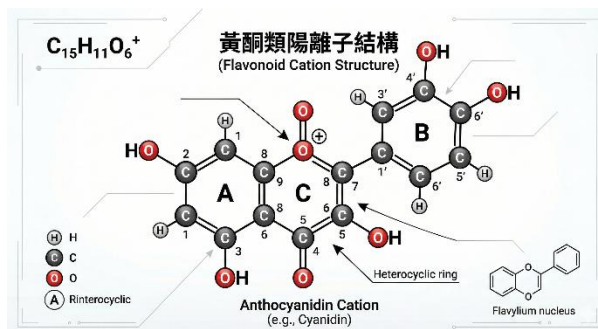
三、文獻回顧：

(一) 花青素

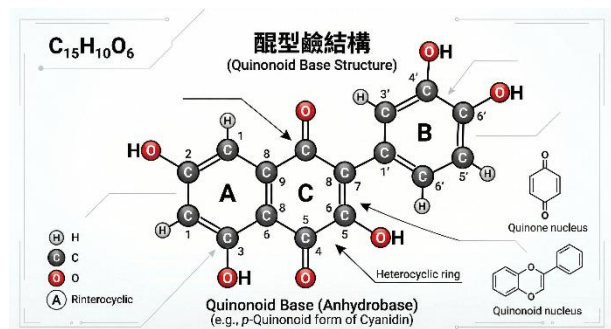
花青素（Anthocyanins）屬於類黃酮類（Flavonoids）物質，是一種廣泛存在於自然界植物中的水溶性色素，如藍莓、蝶豆花、肯氏蒲桃與紫色高麗菜（紫甘藍）等。花青素最顯著特性是其顏色會隨環境中氫離子濃度（pH 值）而改變。造成這種現象的主因，是分子的核心結構發生「平衡移動」：當環境的酸鹼度改變時，分子的結構會重新組合，進而改變它對可見光的吸收與反射波長，讓我們看到不同的顏色。花青素在不同 pH 值下的結構與顏色變化表：

類型	pH 值	花青素結構	呈現顏色	變色原因（原理探討）
酸性環境	pH < 7	黃酮類陽離子	穩定的紅色	在強酸中，結構會吸收綠光，並將紅光反射出來。
中性環境	pH ≈ 7	醌型鹼 Anhydrobase	紫色	隨著酸性減弱，分子失去質子，吸收波長發生偏移，反射出的光線轉變為紫色。
鹼性環境	pH > 7	查耳酮 Chalcone	黃綠色	隨著鹼性增強，波長再次偏移，顏色最終轉向黃綠色。

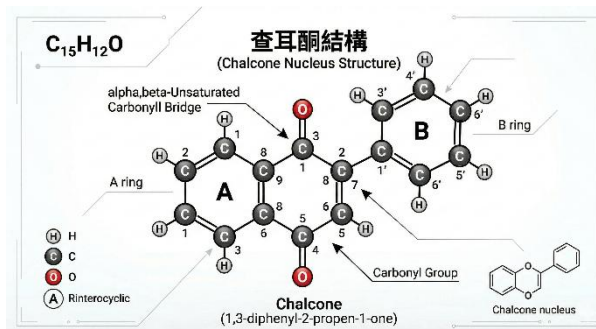
▲表一：蝶豆花水溶液與其他水溶液的顏色變化比較圖



▲圖一：黃酮類陽離子結構 (Gemine 生成)



▲圖二：醌型鹼結構 (Gemine 生成)



▲圖三：查耳酮結構 (Gemine 生成)

(二) 四種天然指示劑與酸鹼值的關聯性

自然界中雖有許多植物富含花青素，但因其分子構造比例及植物本身內含酸鹼值（如有機酸含量）之差異，導致其受環境 pH 值誘導變色時，變色的靈敏度和顏色範圍也會不太一樣。針對本研究選用之四種材料，其特性彙整如下：

1. 紫色高麗菜：

研究指出，紫色高麗菜含有數十種結構相異的花青素成分，變色範圍非常完整。其呈色能明確區分酸性與中性，更具備辨識強鹼與弱鹼之精準度。

2. 蝶豆花：

其主要成分為「蝶豆花青素 (Ternatins)」，特點在於分子結構相對穩定。蝶豆花對於酸性程度之微小波動具有顯著的色彩感測力，因此常被運用於食品科學（例如：變色漸層飲料）

3. 藍莓與肯氏蒲桃：

此二種果實雖含有極高濃度的花青素，但因果實內部蘊含豐富的有機酸，導致其提取原液之初始狀態即呈現偏酸性。

(三) 非線性回歸 Nonlinear Regression

在初步科學觀察中，研究者常假設變因間呈線性關係；然而，根據統計學原理與多項實證研究，自然界現象之演變多趨向於曲線特質。以植物生長速率或發熱包升溫過程為例，受限於生物養分儲備或化學反應物分量之限制，其物理量（高度、溫度）不會呈無限線性增長，而是在達到「飽和點」後趨於平緩，呈現顯著的 S 型曲線（Sigmoid Curve）規律。此類非線性的數據軌跡，必須透過非線性回歸模型進行擬合。

研究指出，相較於傳統線性模型，非線性模型能更精準地捕捉數據中的轉折點（Inflection Points）。在 pH 值辨識實驗中，花青素的顏色跳變（如紫轉藍、綠轉黃）往往具備非線性的突發特徵，而非均勻的色彩遞進。因此導入正確的曲線模型不僅能協助研究者精確預測化學反應之臨界點，更能賦予實驗數據更嚴謹的科學邏輯與判讀說服力。

(四) 深度學習 Deep Learning

深度學習是人工智慧的一個分支，它建立「類神經網路」數學模型，模仿大腦神經元傳遞訊號，透過多層的運算，讓電腦自動從影像中提取**特徵值 (Features)**。核心概念如下：

1. 特徵提取 Feature Extraction：

(1)說明：利用「卷積運算」將像素轉換為關鍵資訊(如顏色邊界、飽和度)。

(2)例子：AI 能自動分辨蘋果的「平滑反光」與高爾夫球的「表面小凹洞」。

2. 多層神經網路 Multi-layer Neural Networks：

(1)說明：由多個「運算層」組成，層數越多能處理的邏輯越複雜。

(2)例子：像工廠流水線，第一層辨識顏色，第二層排除反光雜訊，最後輸出 pH 值。

3. 模型訓練與優化 Training & Optimization：

(1)說明：透過「損失函數」測量誤差，並以調整運算權重。

(2)例子：像練習投籃，根據每次偏離目標的距離，不斷修正出力與角度直到精準命中。

(五) 歷年科展參考案例

作品名稱	說明
《蝶豆幻影：pH 變色探測》	作品屆別：新竹市第 43 屆國中小科展 研究重點：探討蝶豆花指示劑的變色與影像辨識關聯。
《蝶豆花變色的奧秘》	展出屆別：臺中市第 60 屆中小學科展 研究重點：探討蝶豆花水在不同 pH 值下的變色機制，並與紫甘藍汁進行比較。
《食紫大動－尋找食在安心的魔法色素》	展出屆別：全國第 54 屆中小學科展
《變變變－找出植物界最佳的天然指示劑》	展出屆別：台北縣 中小學科展(大觀國小)

▲表二：歷年科展參考案例

貳、研究設備及器材

一、天然指示劑實驗器具：

燒杯	滴管	小量杯	玻棒
			
PH 值檢測劑	料理溫度計	濾網	
			

▲表三：天然指示劑實驗器具

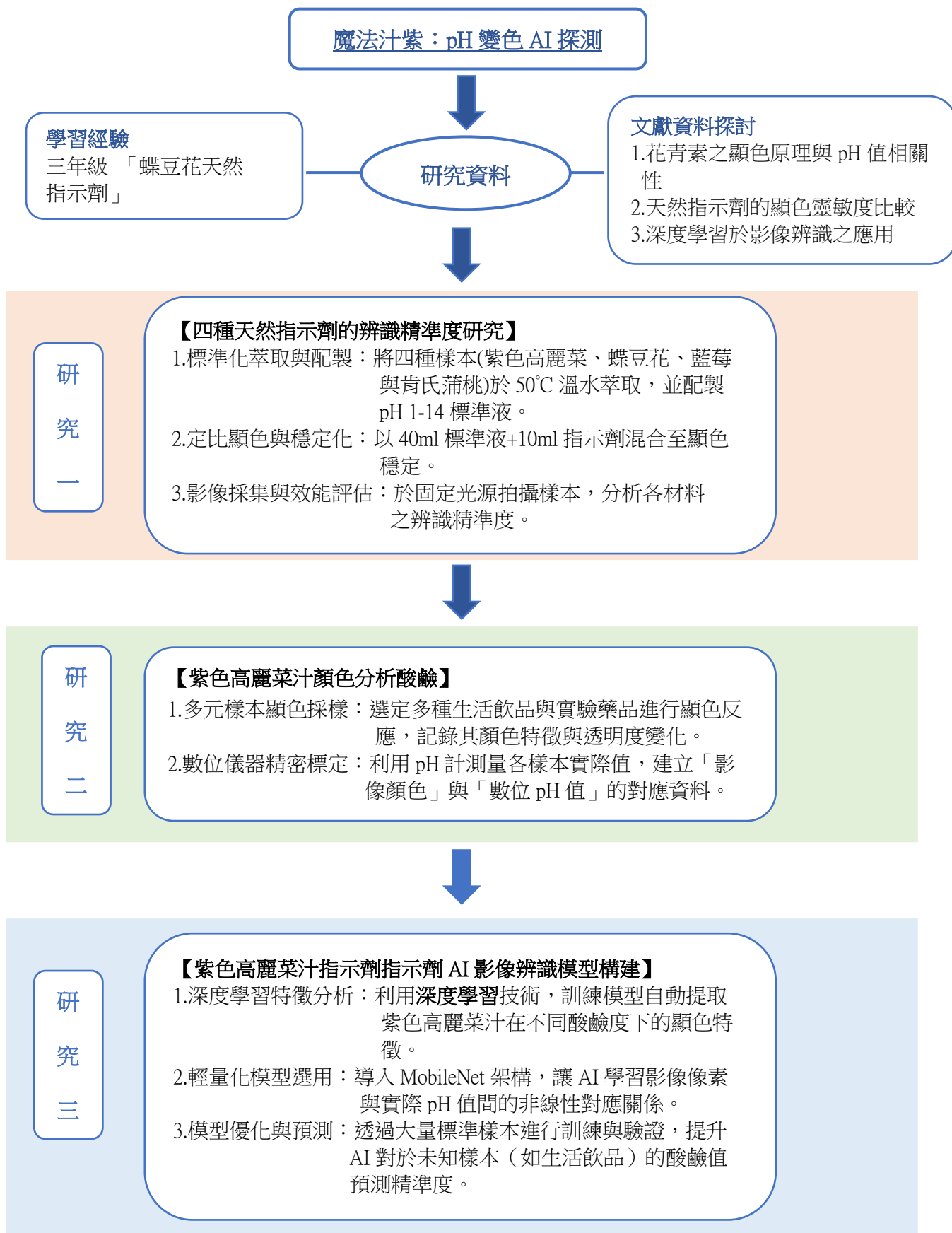
二、樣本材料：

項目	指示劑	實驗化學藥劑	飲料 (茶類)	飲料 (非茶類)	其他類
代表	紫色高麗菜汁、 蝶豆花水、 藍莓汁、 肯氏蒲桃汁	醋、石灰水、 碳酸氫鈉、 氫氧化鈉、 小蘇打水、 檸檬酸	冷翠金萱烏 龍、麥仔茶、 日式綠茶、麥 香綠茶	蜂蜜檸檬水、 蘋果汁、椰子 水、冰釀果醋、 FIN 運動飲料、 老虎牙子、奧 利多水、雪碧	鹽水、味精

▲表四：樣本材料

參、研究過程或方法

一、研究架構圖：



二、研究一：四種天然指示劑的辨識精準度研究

(一) 為什麼使用這四種天然指示劑做辨識分析？

本研究選用紫色高麗菜、蝶豆花、藍莓及校園常見之肯氏蒲桃為材料，主因其富含花青素且取得便利。實驗初步結合肉眼觀察與 pH 計測量，探究各色素在 pH1 至 pH 14 下的呈色反應，並針對濃度、透明度與靈敏度等未知變因進行分析。透過橫向對比，除了驗證校園植物開發為感測工具的潛力，更旨在篩選出變色穩定且具辨識價值的樣本，為後續 AI 模型訓練奠定精確的數據基礎。

(二) 四種天然指示劑之配製

1. 天然指示劑原液萃取：

- (1) 選樣與定量：秤取定量的紫色高麗菜、藍莓 20 顆、肯氏蒲桃 20 顆、20 朵乾燥蝶豆花。
- (2) 高溫浸泡：分別加入 500ml、50 度的飲用水，充分萃取花青素。
- (3) 純化過濾：使用濾網移除殘渣，取得純淨且顯色穩定的指示劑原液。

2. pH 標準緩衝液配製：

- (1) 利用強酸（醋酸）與強鹼（氫氧化鈉）進行滴定校正。
- (2) 精準配製 pH 1 至 pH 14 標準梯度溶液作為顯色基準。

3. 定比顯色反應：

- (1) pH 標準液製作：選取多種常見的飲料和實驗用藥品，當作檢驗標準液。
- (2) 比例控制：維持 40ml 標準液+ 10ml 指示劑。
- (3) 震盪穩定：混合後充分震盪，靜置確保化學反應完全且顏色表現規律穩定。

4. 數據採集與效能評估：

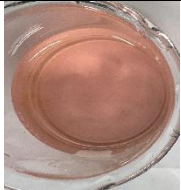



- (1) 影像擷取：於固定光源與標準背景下拍攝各組樣本。
- (2) 辨識分析：比對肉眼觀察結果與 pH 計數值，分析四種材料在各酸鹼值下的辨識精準度。

(三) 四種天然指示劑的辨識度：

1. 紫色高麗菜汁指示劑：

(1) 表現：具備最廣的色譜跨度（粉紅、紫、藍、綠、黃），顏色隨 pH 值變動顯著。

(2) 優勢：階梯式變色，能提供 AI 模型最精準的辨識特徵。




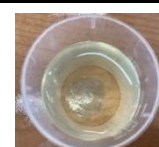
品項	蘋果汁	運動飲料	鹽水	石灰水
照片				
pH 值	3.8	5.2	7.3	12.1

▲表五：紫色高麗菜汁指示劑變色區間(本區域照片由作者拍攝)

2. 蝶豆花水指示劑：

(1) 表現：於中性至鹼性區間顯色穩定。

(2) 優勢：顯色邏輯清晰，適合做為基礎對照標本。



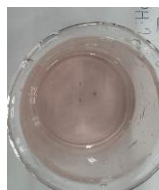

品項	蜂蜜水+檸檬酸	老虎牙子	汽水+小蘇打	麥仔茶+漂白水
照片				
pH 值	3.8	5.3	7.3	13.0

▲表六：蝶豆花水指示劑變色區間(本區域照片由作者拍攝)

3. 藍莓汁指示劑：

(1) 缺陷：色彩飽和度低，鹼性區間顯色暗沉偏灰。

(2) 影響：影像特徵不鮮明，易受環境光干擾，導致 AI 判讀困難。


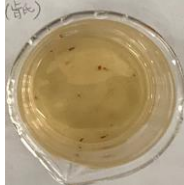


品項	雪碧	冷翠金萱烏龍	食鹽水	氫氧化鈉
照片				
pH 值	3.2	5.2	7.5	13.0

▲表七：藍莓汁指示劑變色區間(本區域照片由作者拍攝)

4.肯氏蒲桃汁指示劑：

(1)缺陷：色彩層次單一，多集中於淡黃與淡褐色。

(2)影響：變色靈敏度不足，難以區分細微的 pH 值差異。

品項	蘋果汁	冷翠金萱烏龍	味精水	石灰水
照片				
pH 值	3.8	5.2	7.5	12.4

▲表八：肯氏蒲桃汁指示劑變色區間(本區域照片由作者拍攝)

(四) 研究結果：


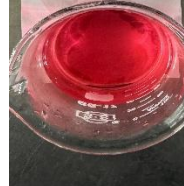
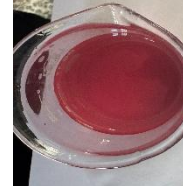
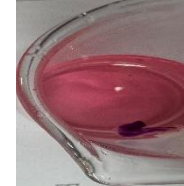
綜合色彩對比度、顯色靈敏度及樣本代表性三項指標，紫色高麗菜汁在跨度大的 pH 值檢測中表現最為優異。為追求 AI 影像辨識模型之最高精準度，本研究決定選定其作為「研究二」建構標準化影像資料集之核心材料。

三、研究二：紫色高麗菜汁顏色分析酸鹼

基於研究一之結果，本研究選定紫色高麗菜汁作為 AI 影像辨識的指示劑。為此，我們利用 iPad 系統性地記錄各項樣品加入指示劑後的顏色變化，並同步彙整影像與相關物理參數；所有數據經標準化處理後，建構成一套完整的影像資料集，作為後續模型訓練與分析之基準。



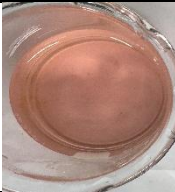

(一) 資料集內容如下：

1.檢測後 pH 2.0-2.9：

品項	醋	醋	蘋果汁+醋 (10 毫升)	奧利多水+醋 (2 茶匙)
照片				
pH 值	2.4	2.5	2.6	2.8




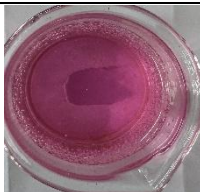
▲表九：檢測後 pH 2.0-2.9(本區域照片由作者拍攝)

2. 檢測後 pH 3.0-3.9 :

品項	茉莉柚茶	蘋果汁	蘋果汁	奧利多水+醋 (1 茶匙)
照片				
pH 值	3.0	3.3	3.7	3.9




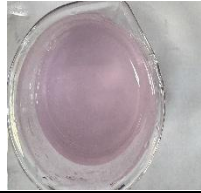
▲表十：檢測後 pH 3.0-3.9 (本區域照片由作者拍攝)

3. 檢測後 pH 4.0-4.9 :

品項	蜂蜜檸檬水	冰釀果醋	FIN	雪碧+碳酸氫 鈉(0.5 茶匙)
照片				
pH 值	4.1	4.4	4.6	4.7

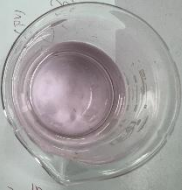



▲表十一：檢測後 pH 4.0-4.9 (本區域照片由作者拍攝)

4. 檢測後 pH 5.0-5.9 :

品項	運動飲料	運動飲料	雪碧+氫氧化鈉 (0.5 茶匙)	椰子水
照片				
pH 值	5.2	5.3	5.6	5.9





▲表十二：檢測後 pH 5.0-5.9 (本區域照片由作者拍攝)

5. 檢測後 pH 6.0-6.9 :

品項	雪碧+氫氧化 鈉 (0.5 茶匙)	蝶豆花水	蝶豆花水	蝶豆花水
照片				
pH 值	6.2	6.5	6.8	6.8

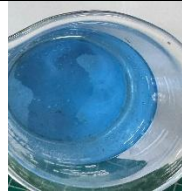
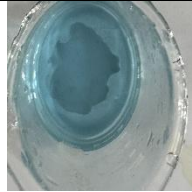


▲表十三：檢測後 pH 6.0-6.9 (本區域照片由作者拍攝)

6. 檢測後 pH 7.0-7.9 :

品項	雪碧+小蘇打水(0.5 茶匙)	鹽水	味精	味精
照片				
pH 值	7.0	7.3	7.7	7.8



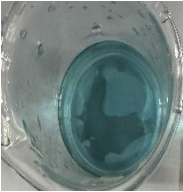
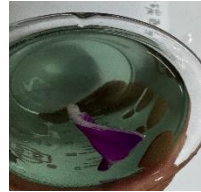
▲表十四：檢測後 pH 7.0-7.9 (本區域照片由作者拍攝)

7. 檢測後 pH 8.0-8.9 :

品項	小蘇打水+雪碧(10 毫升)	小蘇打水	碳酸氫鈉	碳酸氫鈉
照片				
pH 值	8.4	8.6	8.9	8.9




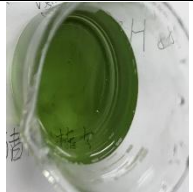
▲表十五：檢測後 pH 8.0-8.9 (本區域照片由作者拍攝)

8. 檢測後 pH 9.0-9.9 :

品項	碳酸氫鈉	碳酸氫鈉	碳酸氫鈉	蜂蜜水+小蘇打水(1 茶匙)
照片				
pH 值	9.0	9.0	9.3	9.7

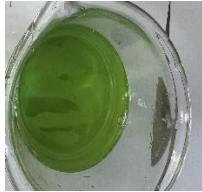
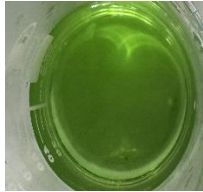
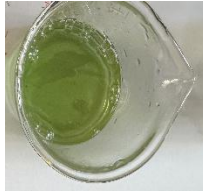
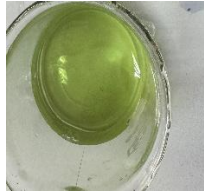
▲表十六：檢測後 pH 9.0-9.9 (本區域照片由作者拍攝)

9. 檢測後 pH 10.0-10.9 :

品項	澄清石灰水+雪碧(10 毫升)	蜂蜜水+氫氧化鈉(1 茶匙)	冰釀果醋+氫氧化鈉(1 茶匙)	日式綠茶+氫氧化鈉(1 茶匙)
照片				
pH 值	10.0	10.5	10.7	10.9

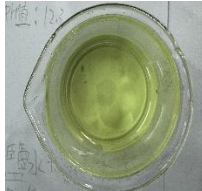
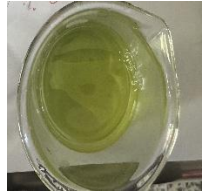
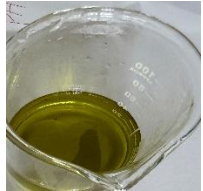

▲表十七：檢測後 pH 10.0-10.9 (本區域照片由作者拍攝)

10. 檢測後 pH 11.0-11.9 :

品項	冰釀果醋+氫 氧化鈉(1 茶匙)	蜂蜜水+氫氧 化鈉(0.5 茶匙)	冰釀果醋+氫 氧化鈉(1 茶匙)	冰釀果醋+氫 氧化鈉(1 茶匙)
照片				
pH 值	11.0	11.4	11.8	11.8


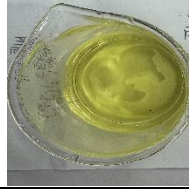
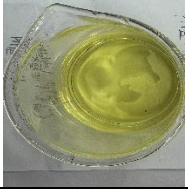
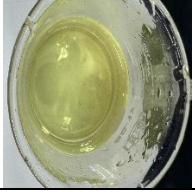
▲表十八：檢測後 pH 11.0-11.9 (本區域照片由作者拍攝)

11. 檢測後 pH 12.0-12.9 :

品項	石灰水	蜂蜜水+氫氧 化鈉(1 茶匙)	日式綠茶+氫 氧化鈉(1 茶匙)	蝶豆花+氫氧 化鈉(1 茶匙)
照片				
pH 值	12.1	12.3	12.7	12.9

▲表十九：檢測後 pH 12.0-12.9 (本區域照片由作者拍攝)

12. 檢測後 pH 13.0-13.9 :

品項	氫氧化鈉	氫氧化鈉	氫氧化鈉	氫氧化鈉
照片				
pH 值	13.0	13.1	13.1	13.2

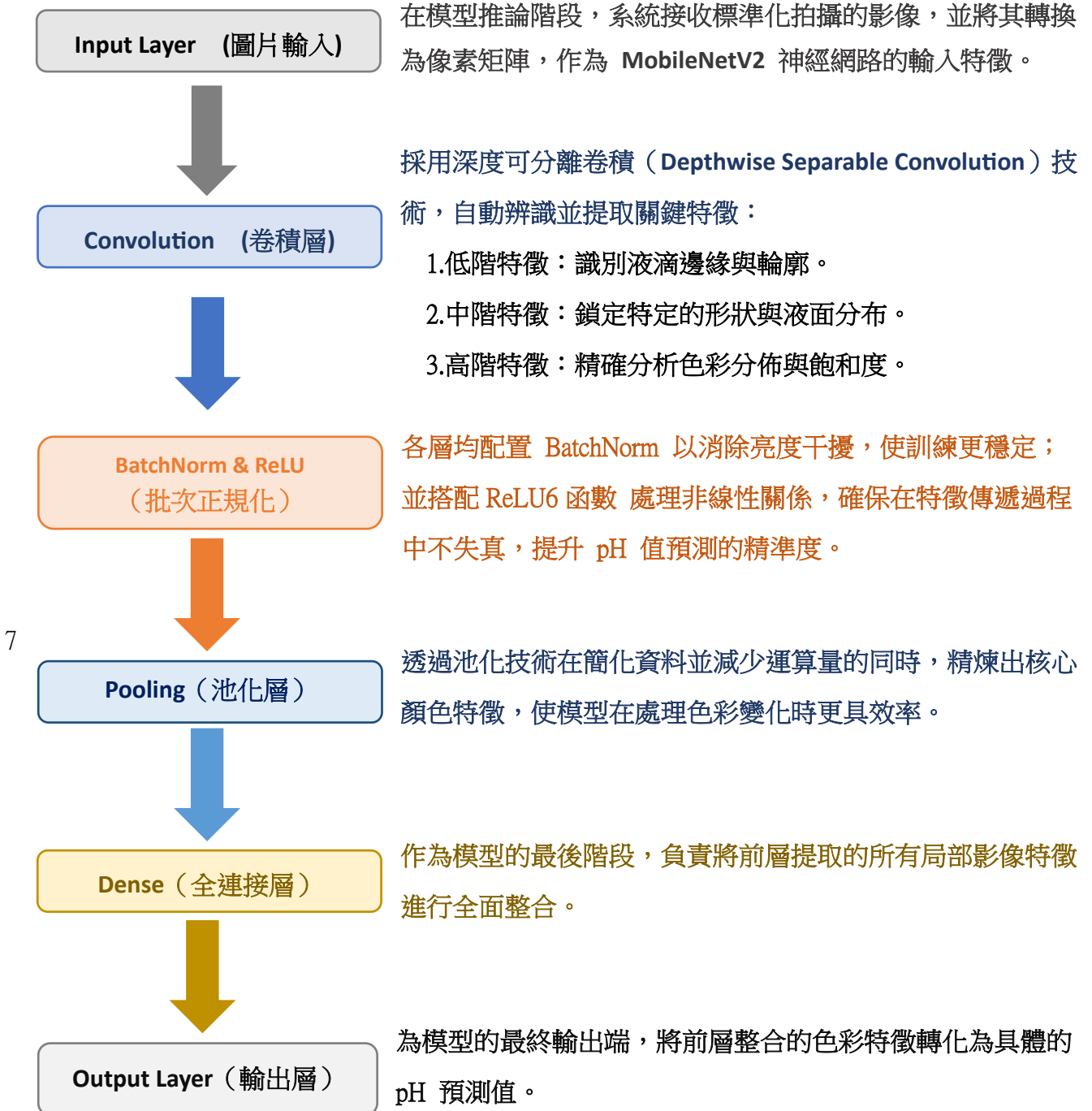
▲表二十：檢測後 pH 13.0-13.9 (本區域照片由作者拍攝)

(二) 紫色高麗菜汁指示劑變色成果：

1. 顯色廣度高：成功涵蓋 pH 2.0 至 pH 13.0 的區間，顏色從粉紅、紫、藍、綠至黃色，層次鮮明。
2. 變色非線性：顏色隨 pH 值呈「階梯式」變化，在特定酸鹼轉折點會產生顯著色彩突跳，具備高度的辨識特徵。
3. 樣本多樣性：資料集納入生活常用飲品（如雪碧、蜂蜜水、醋）作為基質，驗證指示劑在複雜樣本下的顯色穩定性。

四、研究三：紫色高麗菜汁指示劑 AI 影像辨識模型構建

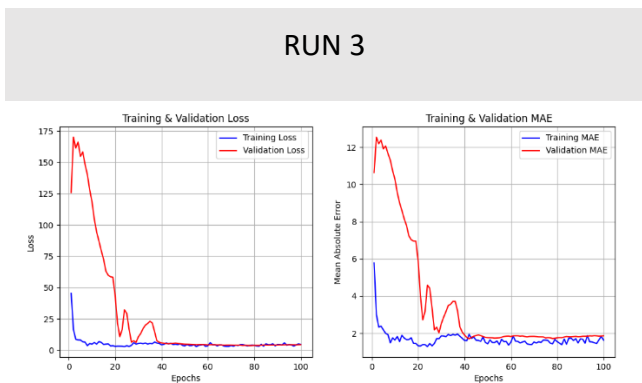
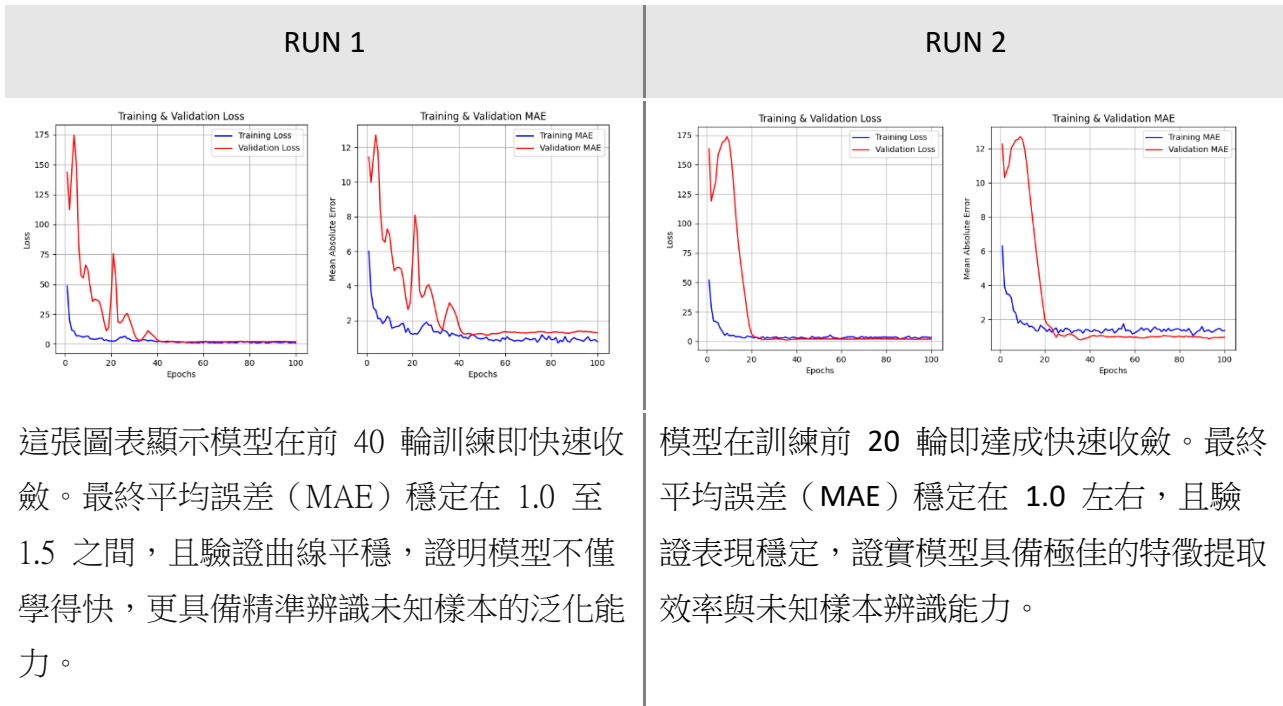
本研究利用深度學習技術探討紫色高麗菜汁指示劑之顯色規律。透過 MobileNetV2 深度學習架構，針對標準化拍攝之樣本影像進行訓練。藉由模型強大的非線性擬合能力，能克服環境光線與化學反應的細微差異，建立精確的酸鹼值預測系統。模型處理流程如下：



肆、研究結果

一、模型訓練表現：

本研究透過 MobileNetV2 進行三次獨立的訓練實驗（Run 1、Run 2、Run 3），藉以評估模型對於紫色高麗菜汁顏色辨識的穩定性與準確度。觀察 Loss（損失函數）與 MAE（平均絕對誤差）曲線，分析結果如下：

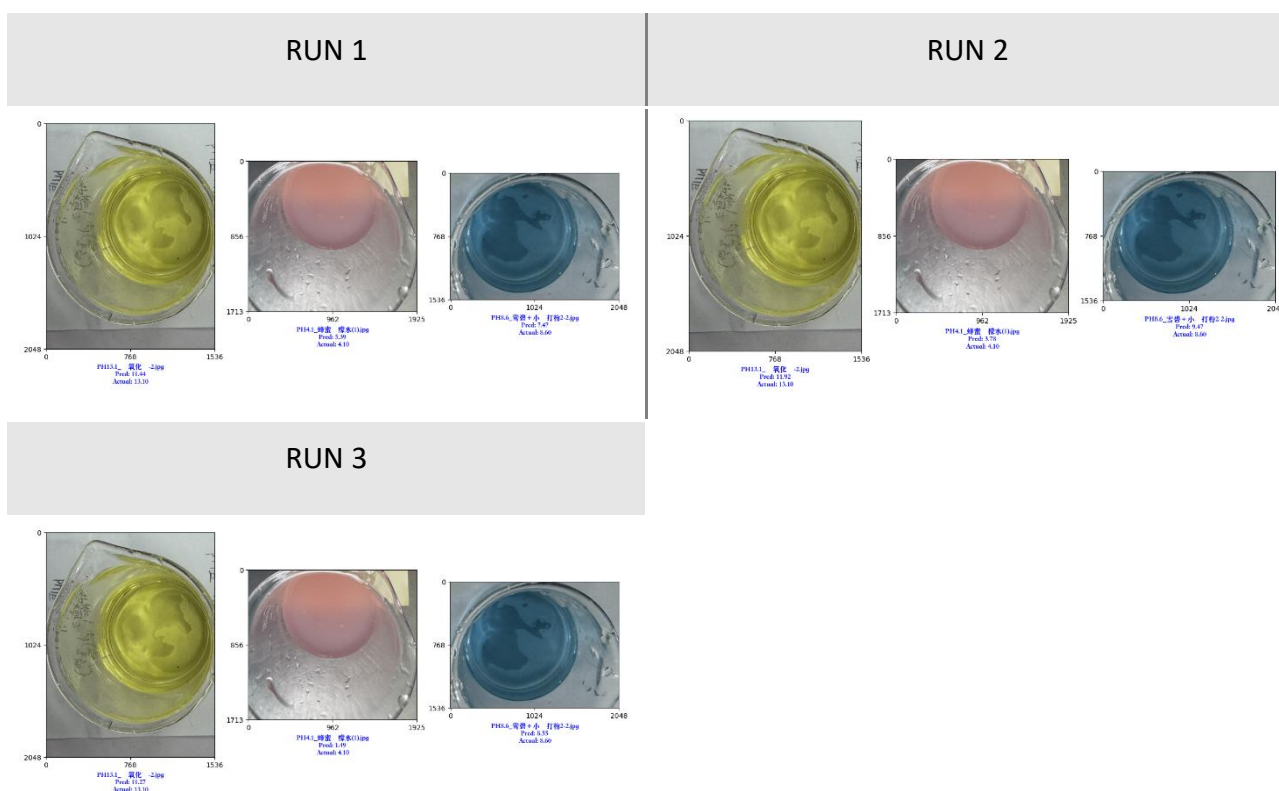


雖初期有小幅波動，但模型在 40 輪後成功收斂。最終平均誤差（MAE）穩定在 2.0 以下，展現了模型在面對干擾時優秀的自我校正能力與穩定性。

我們針對 MobileNetV2 進行了三次獨立訓練，結果彙整如下：

實驗組別	收斂速度 (Epochs)	最終平均誤差(MAE)	穩定性表現
Run 1	約 40 輪	1.4978	1.0 ~ 1.5 曲線最為平滑，學習過程穩定。
Run 2	約 20 輪	0.7922	1.0 左右效率最高，誤差值最低。
Run 3	約 40 輪成功校正	1.3596	具備自我修正能力，能克服初期波動。
總結	均在 40 輪內收斂	平均 MAE < 1.5	展現高度重複性與預測精確度。

▲表二十一：模型訓練綜合表現分析表



二、模型訓練歸納：

(一) 模型收斂與效率

1. 快速收斂：損失函數與 MAE 均在訓練前 40 輪內顯著下降並趨於平穩，證實 MobileNetV2 架構能精準提取影像特徵。
2. 低算力需求：實測推論 3 張樣本僅需 7 秒，展現極佳的偵測效率，利於移植至行動裝置進行即時判讀。

(二) 預測精確度分析 (MAE)

1. 精準誤差：經三次獨立訓練 (Run 1-3)，最低平均絕對誤差 (MAE) 達 **0.7922**。
2. 科學意義：預測 pH 值與實際值誤差穩定控制在 **1.0 以內**，在具備非線性變色特質的指示劑檢測中，精準度已具備取代傳統人工比色之潛力。

(三) 穩定性與泛化能力

1. 防過擬合：訓練集與驗證集曲線高度貼合且未發散，顯示透過 Dropout (丟棄法) 有效防止過擬合。
2. 樣本適應：面對強鹼 (氫氧化鈉)、弱酸 (蜂蜜檸檬水) 或複雜混合物 (雪碧+小蘇打) 等多元基質，模型均能穩定產出正確 pH 值。

(四) 強韌性 (Robustness) 評估

1. 自我校正：部分訓練過程雖有小幅波動，但最終均能收斂穩定，顯示模型具備良好的錯誤校正能力。
2. 跨度辨識：模型能跨越 pH 4.1 至 13.1 的極大色彩差異，並有效克服液體氣泡、濁度及環境光影的非線性干擾。

伍、討論

一、題目一：為什麼在四種天然指示劑中，紫色高麗菜最適合搭配 AI 模型來辨識 pH 值？

(一) 問題分析：實驗中比較蝶豆花、藍莓、肯氏蒲桃與紫色高麗菜，為什麼最後只選一種？

(二) 討論答案：

1. **色彩跨度最廣**：紫色高麗菜的變色範圍涵蓋了紅、紫、藍、綠、黃，相較於其他植物（如肯氏蒲桃僅有淡黃與褐色），顏色層次最鮮明。
2. **特徵明顯**：AI 的影像辨識是透過「特徵提取」來工作的。紫色高麗菜在不同 pH 值下有顯著的顏色突跳（例如從紫轉藍、從綠轉黃），這種「非線性」的變化能提供 AI 更多關鍵資訊，從而降低預測誤差（MAE）。
3. **樣本獲取穩定**：紫色高麗菜四季皆有且性質穩定，不會像肯氏蒲桃受限於季節，能確保 AI 訓練數據的一致性。
4. **對比學長姐的研究**：參考過去學長姐利用蝶豆花結合影像辨識的文獻，本研究選用紫色高麗菜，建立一個更完整的全變色圖譜，使 AI 的預測範圍更全面。

二、題目二：在模型訓練結果中，「Run 2」的表現優於其他組別，這代表了什麼科學意義？

(一) 問題分析：觀察模型訓練統計表（表二十一），我們發現三次實驗中以「Run 2」的表現最為亮眼：它的收斂速度最快（僅花費 20 輪訓練就達到穩定），且平均絕對誤差（MAE）最低（數值約 1.0）。針對這項數據，我們進行以下討論：

(二) 討論答案：

1. AI 的學習效率極高：Run 2 僅用 20 輪訓練就讓誤差曲線趨於平緩，這代表紫色高麗菜影像數據特徵非常清晰。電腦能迅速在「顏色變化」與「pH 值」之間建立起正確的邏輯聯繫。
2. 判讀結果達到專業水準：MAE 數值約 1.0，代表 AI 預測的 pH 值與實驗室 pH 計測量出的真實數值，平均只相差 1.0 個單位。在利用天然植物色素進行檢測的研究中，這樣的精準度已經接近專業檢測儀器的初步水準。

陸、結論

一、研究結論

(一) 天然指示劑之效能優化與特徵萃取

經過對多種植物（蝶豆花、藍莓、肯氏蒲桃、紫色高麗菜）的橫向對比，本研究證實紫色高麗菜萃取液是較佳的酸鹼指示劑。它在 pH 2 至 pH13 的區間內，顏色變化最為豐富（涵蓋紅、紫、藍、綠、黃），且具備明顯的「階梯式變色」特徵。相較於蝶豆花在強鹼環境下變色不明顯的缺點，紫色高麗菜能提供更多特徵資訊，讓 AI 電腦更容易學習與辨識。

(二) AI 模型預測的精準表現

本研究成功利用 MobileNetV2 深度學習技術，建立了一套 pH 值智慧預測系統。經過三次獨立的訓練實驗證明：

- ◆ **預測準確**：模型的「平均絕對誤差 (MAE)」穩定保持在 1.0 至 1.5 之間，代表電腦判讀的數值與實際 pH 計測量結果非常接近，具備極高的參考價值。
- ◆ **學習效率高**：透過模型中的優化策略（如 BatchNorm 與 ReLU6），電腦只需經過 40 輪的學習就能快速掌握變色規律，展現了 AI 處理影像特徵的高效率。

(三) 系統的穩定性與環境適應力

實驗結果顯示，本辨識系統具有良好的抗干擾能力。無論是透明的汽水、帶有顏色的茶飲，或是成分複雜的化學藥劑，AI 模型都能精準捕捉指示劑的色彩飽和度與色調，排除液體本身的深淺或雜質干擾，成功將傳統的目視觀測轉化為精確的數位數據。

二、未來展望：

(一) 智慧檢測 APP 的開發與整合

未來能計畫將訓練好的 AI 模型封裝成手機「智慧酸鹼快測 APP」。利用手機鏡頭進行即時拍照辨識，並加入自動校正光線的演算法，讓一般大眾不需要購買昂貴的電子酸鹼計，只要利用天然指示劑就能隨時隨地完成科學檢測。

(二) 擴充資料庫以提升辨識能力

為了讓系統在不同環境下都能準確運作，我們規劃：

- 1.不同光源的訓練：在黃光燈下或戶外陽光下收集更多照片，讓電腦學習在不同光線下都能認出正確的顏色。
- 2.更細緻的數值測量：未來將配合高精度 pH 計，收集更多間隔更小（如 pH 0.1 單位）的數據，挑戰讓 AI 預測出更精細的酸鹼數值。

(三) 科學教育推廣

將這套系統開發成教材，讓更多同學體驗化學變色與人工智慧結合的樂趣，讓科學研究變得更科技化且更貼近生活。

柒、參考文獻資料

- 一、新竹市第 43 屆國中小科展《蝶豆幻影：pH 變色探測》：
- 二、臺中市第 60 屆中小學科展《蝶豆花變色的奧秘》
- 三、全國第 54 屆中小學科展《食紫大動－尋找食在安心的魔法色素》
- 四、台北縣 中小學科展(大觀國小) 《變變變－找出植物界最佳的天然指示劑》
- 五、全國第 42 屆中小學科展《紫色高麗菜之 X 檔案》
- 六、國立編譯館（2009）。牛頓版五上自然第三單元水溶液的酸鹼性。台北市。