

中 華 民 國 第 6 4 屆 中 小 學 科 學 展 覽 會

作品說明書

科別：農業與食品學科

組別：高級中等學校組

作品名稱：

錦鯉魚種類、品項、疾病與成長應用於 APP 之研究

關鍵詞：錦鯉、影像辨識、YOLOv7

編號：

摘要

本研究團隊以 PyTorch 還有 YOLOv7(You Only Look Once version 7)等開源程式碼為基底開發錦鯉魚辨識系統，追加其他品種鯉魚的能力與各類疾病之辨識能力，使其全面化。

在市場調查後，也針對鯉魚玩賞者開發了一款功能完整的應用程式，可依花紋、顏色，從真鯉、淺黃錦鯉、紅白、大正、昭和、黃金、寫鯉、德國錦鯉、皮光錦鯉、五色，此 10 種品種中，判別該錦鯉魚的正確品種並標註大小；從立鱗病、爛鰓病、潰瘍症 3 種疾病中，分析可能患病的類型；依據先前市場調查各種鯉魚的出售價格，做出相對的估價，令入門玩家更簡易、快速的辨識不同鯉魚，以免購買到不符合理想的魚種。

實際開發並投入測試後，錦鯉魚品種辨識系統的 mAP(mean Average Precision)達到了 0.56，Precision 與 Recall 也都到達 0.8 至 0.9 的區間，應用程式經過錦鯉魚養殖者試用，得到其建議及肯定回應。

壹、前言

一、研究動機

本研究鑒於國人對錦鯉魚種類認知不足，亦不知錦鯉魚各物種品質鑑定方式，往往到魚場只能任憑賣家漫天開價與推薦，最後買到高於市價品種，不但如此，有些新手對錦鯉魚飼養方式，疾病預防與治療，一無所知，造成買到的錦鯉魚，因飼養不當且沒有及時治療，到最後造成心愛的魚隻死亡。鑑於此，本研究欲開發一款可辨識錦鯉魚種類，令鯉魚買家在購買錦鯉魚時，可以加快辨識效率，並快速提供魚之相關資訊之應用程式。於應用程式內建置錦鯉魚種類辨識系統並置入品質鑑定功能，可提供用戶估計魚隻價格，同時針對錦鯉魚常見疾病作辨識，讓喜歡錦鯉魚的國人，能透過本開發軟體，獲得更多錦鯉知識，並學習錦鯉魚飼養與疾病防治等議題。

二、研究目的

本研究團隊針對買家增添其他新功能與魚隻成長監測，以下為此次研究目的：

- (一) 錦鯉魚種類辨識系統建置。
- (二) 錦鯉魚品質鑑定方式建置。
- (三) 錦鯉魚疾病判定與預防治療方式設計。
- (四) 魚隻成長監測系統設計。

貳、研究設備與器材

表一：硬體設備

項目	型號	數量
筆記型電腦	Acer Aspire E 15	1 台
手機	SAMSUNG A53	2 台
GPU	Tesla T4	1 個

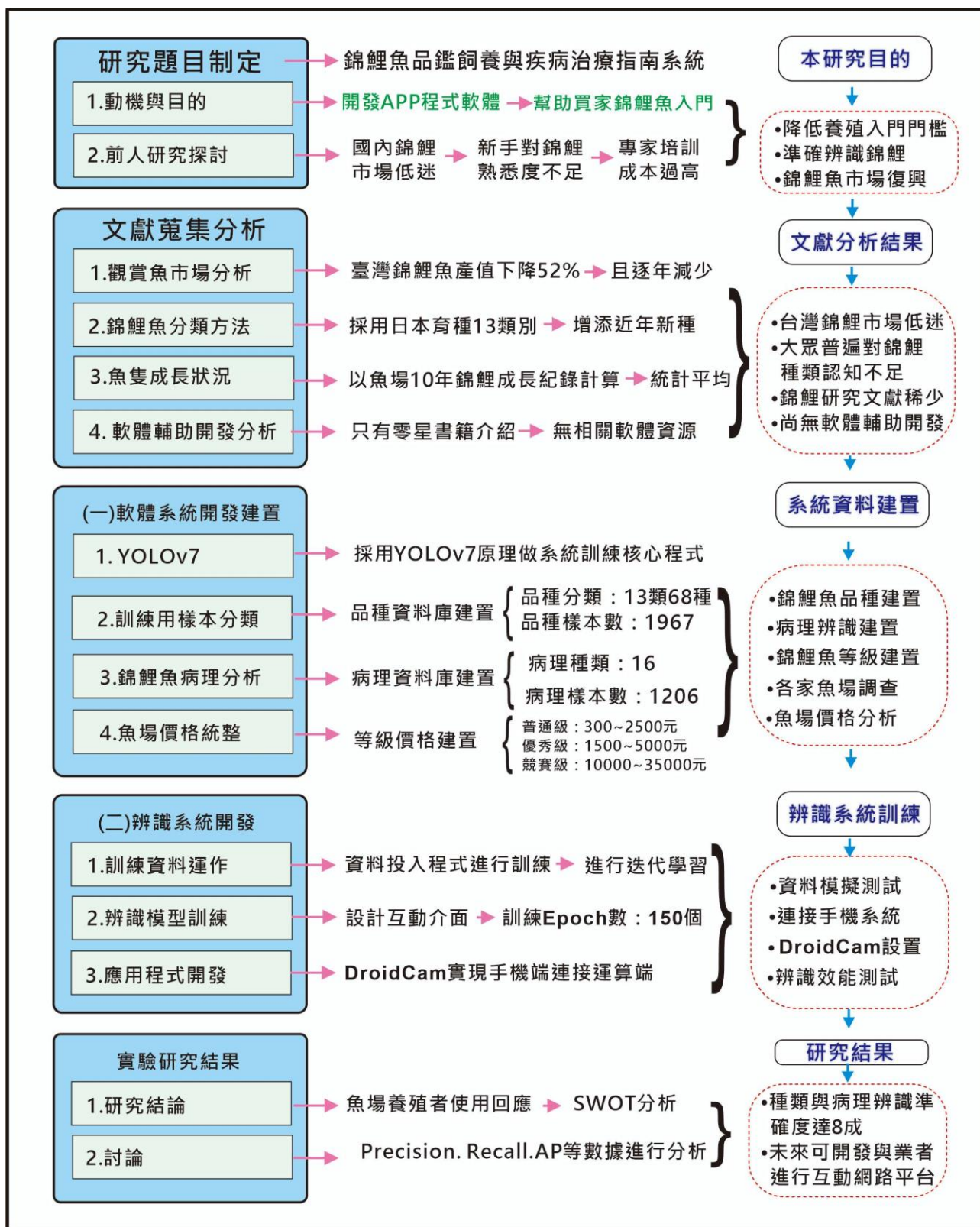
表二：軟體設備

軟體名稱	應用範圍 / 功能
Vscode	跨平台的原始碼編輯器，支援語法突顯、程式碼自動補全、程式碼重構功能。
Android Studio	為 Android 平台開發程式的整合式開發環境。
Python	用來開發腳本或應用程式的直譯語言。
Pytorch	開源的 Python 機器學習庫，應用於人工智慧領域。
CUDA	可利用 NVIDIA 的 GPU 進行圖像處理之外的運算。
Labelimg	影像標註工具，可用來標示照片中的物體，並將其製作成用於訓練深度學習引擎的資料集。
DroidCam	將計算機與手機連接的 PC 客戶端。
Roboflow	用於自動標註樣本的應用程式。

參、研究過程與方法

一、研究流程

辨識為了開發出錦鯉魚辨識應用程式，讓用戶可以通過拍攝或上傳圖片來識別錦鯉魚品種，並提供相關資訊和建議。本研究團隊收集國內各大魚場各類錦鯉品種及交易價格並進行市場現況調查。接著，收集各種錦鯉魚品種的圖片和相關資訊，確保資料庫中有足夠的樣本以供系統進行比較。在資料前處理階段，使用標示工具對樣本圖片進行標註，再投入捲積神經網路中進行訓練。在比較眾多捲積神經網路架構後，本研究團隊決定使用YOLOv7，來辨識不同品種的錦鯉魚。



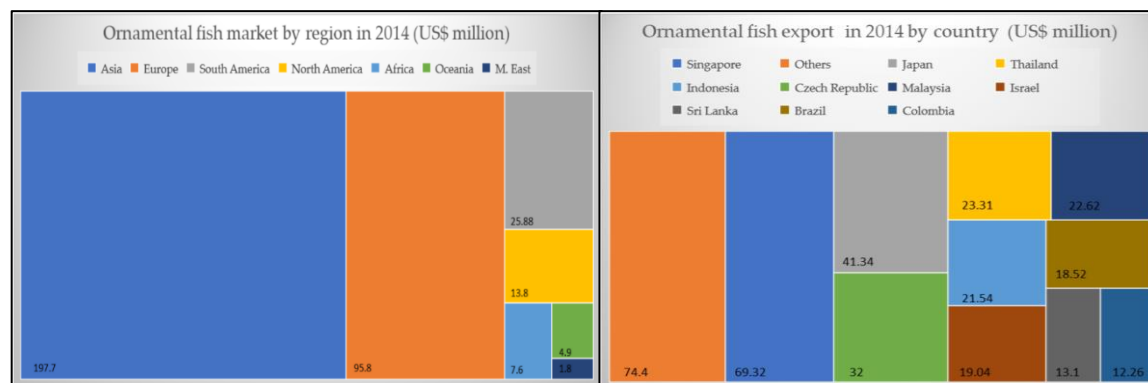
圖一、實驗流程圖（資料來源：研究者自繪）

二、文獻蒐集

(一) 國內外觀賞魚市場及錦鯉市場分析

1. 出口

隨著社會經濟水準提升，人們開始追求更好的生活品質，養魚成為許多人紓解壓力的選項之一，隨之而來的是觀賞魚市場價值提升，周邊產業蓬勃發展。Ploeg(2012)指出觀賞魚市場交易規模有 330 億美元，Ladisa et al.(2017)指出全球觀賞漁業的總產值約有 150 億美元。(林育生，2019)。其中亞洲市場佔全球市場 50%以上。亞洲國家中又以新加坡及日本為首。(見圖二)



圖二、全球觀賞魚市場分布（資料來源：<https://doi.org/10.3390/ani13101583>）

錦鯉魚在觀賞魚市場中，經濟價值高且需求量大，已有許多國家投入養殖。日本作為錦鯉魚發源國之一，領導著整個產業，不僅出口量為全球之冠，消費量也居於上位，各式大小品鑑會及比賽也進一步促進產業發展。台灣從1970年代開始嘗試錦鯉繁殖，在2011年時成為全球第二大錦鯉出口國，但由於錦鯉魚產業對經驗累積要求較大，願意傳承的人為數不多，這幾年國內錦鯉魚產值又呈現下滑趨勢。

表三、國內錦鯉出口值統計

年份(民國)	產量(尾數)	產值(台幣千元)	出口量(尾數)	出口值(台幣千元)
99	3,362,518	215,892	114,009	91,995
100	1,003,435	234,533	249,034	36,238
101	2,194,360	194,569	146,504	29,669
102	1,903,527	159,575	117,523	25,895
103	1,866,341	133,008	90,195	21,025
104	2,062,520	143,744	35,708	15,475
105	568,526	121,013	48,566	28,499
106	480,948	108,294	35,969	23,687
107	651,370	152,115	70,980	64,130
108	484,099	113,720	44,760	35,785

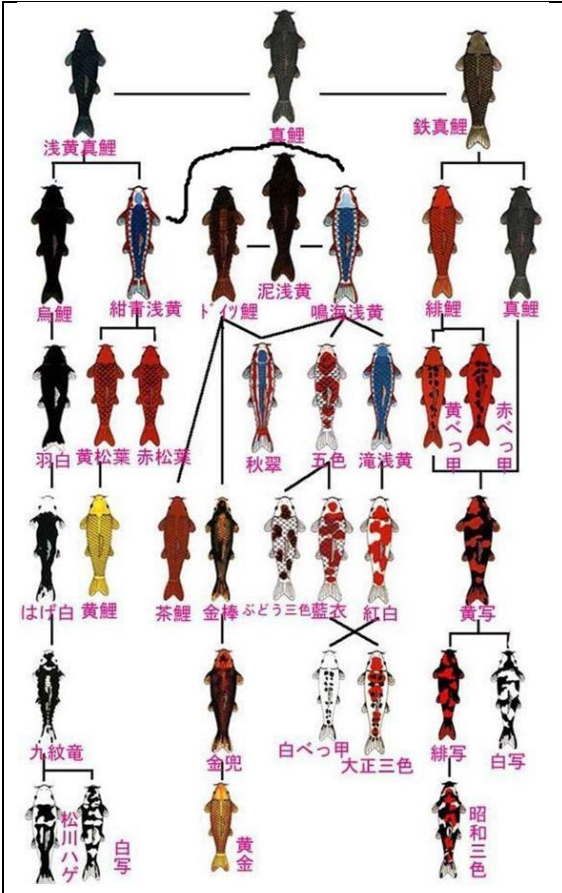
資料來源：行政院農業部漁業署

(二) 錦鯉魚養殖歷史

錦鯉魚的培育歷史，最早可從中國三國時期開始，中國以紅鯉做育種，而後期真正將錦鯉魚發揚光大的卻是日本人，經文獻調查，日本以真鯉育種，跟中國育種紅鯉不同。錦鯉開始培育時品種不多，著名的有「鹿子」(魚身白底，遍布鹿斑之紅鱗的小圓點)、「頭巾」、「口紅」等古老品種。經過兩世紀選育，才有現在13大類約200多種品系。經過日本長期改良，二十世紀用”nishiki koi”。日本發音命名錦鯉。以下為日本培育的品種。

1998年之後，台灣錦鯉業者劉譽義改良培育的品種，白金蝴蝶龍鯉，外加台灣錦鯉女王鍾瑩瑩培育改良的輝龍錦鯉，成功打入國際市場，並締造我國成為錦鯉國際出口的第二名，然而好景不常，近年來中國錦鯉業者加入錦鯉國際市場，憑藉著量大與成本低廉，我國錦鯉市場一片低迷，基於此本研究結合電子科技，開發適合大眾認識錦鯉種類、飼養入門與疾病預防系統，藉此喚起國人對錦鯉的購買意願。

本研究多方蒐集資料發現，錦鯉魚研究與認知的書籍甚少，大多出自於日本翻譯書冊，國人對錦鯉品種鑑定、價位、飼育環境、疾病治療皆無所知。(鍾瑩瑩，2022)探究不同國籍對錦鯉魚購買喜好的區別，是否受到文化背景影響，結果顯示一般購買者對於錦鯉魚體色，市場流行趨勢影響購買意願，專業購買者則十分講究血統與比賽評審標準。



圖三、13大類錦鯉的譜系

品 種	作出年	作出地	作出者	備 考
紅 白	明治22年 (1890年)	小千谷市	広井国蔵	
秋 翠	明治39年 (1906年)	東京都深川	秋山吉五郎	ドイイ・浅黄
大正三色	大正6年 (1917年)	山古志村	星野榮三郎	紅白・別甲
黄 写り	大正9年 (1920年)	山古志村	佐藤与兵衛	黄別甲・真鯉
黄 写り	大正9年 (1920年)	山古志村	星野榮三郎	黄写り・黄写 (固定)
白 写り	大正13年 (1925年)	山古志村	峰村一夫	黄写三色・白別甲 (川上寅吉)
昭和三色	昭和2年 (1927年)	山古志村	星野重吉	黄写・松川バケ
昭和三色	昭和2年 (1927年)	小千谷市	星野重七郎	昭和・白写 (固定)
黄 鯉	昭和5年 (1930年)	山古志村	松井佳一	S11年現在の錦鯉を花鯉と名称した。
金 兜	昭和17年 (1924年)	山古志村	高野伊勢松	金棒・富士銀
黄 金	昭和22年 (1947年)	山古志村	青木沢太	金兜・金富士
オレンジ黄金	昭和56年 (1956年)	小千谷市	片岡正徳	浅黄・黄金 (1963年固定)
ドイツ黄金	昭和33年 (1958年)	山古志村	酒井富栄	黒ドイイ・黄金
金黄写り	昭和33年 (1958年)	山古志村	高橋藤蔵	黄金・黄写り
張分黄金	昭和35年 (1960年)	山古志村	酒井富策	黄金より
松葉黄金	昭和35年 (1960年)	小千谷市	間野榮三郎	
孔雀黄金	昭和35年 (1960年)	小千谷市	平沢利雄	松葉張分・秋翠
プラチナ黄金	昭和38年 (1963年)	富山県魚津市	吉岡忠夫	赤目黄鯉・秋黄金
越の緋色 (みどり鯉)	昭和38年 (1963年)	富山県魚津市	吉岡忠夫	秋翠・山吹黄金
紅光輝	平成2年 (1990年)	小千谷市	鈴木富栄	ドイイ五色・ドイイ孔雀
金輝電	平成2年 (1990年)	山古志村	渡辺一治	ドイイ金電・ドイイ金昭和・金電=九紋電・銀松葉
輝黒電	平成4年 (1992年)	小千谷市	青木春雄	九紋電・菊水
紅輝黒電	平成4年 (1992年)	小千谷市	青木春雄	九紋電・菊水
銀 河	平成10年 (1998年)	小千谷市	片岡哲太郎	銀鱗羽白・五色・元黒孔雀

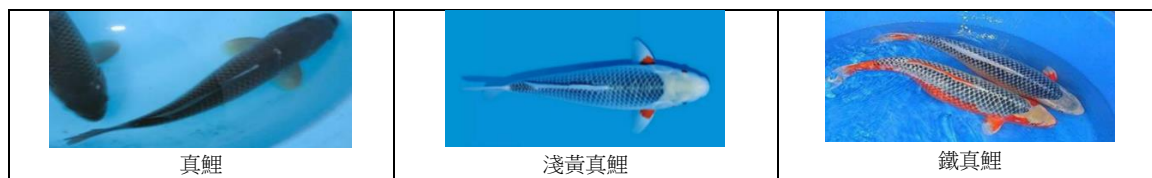
圖四、1998年之前日本人培育的品種

資料來源：修改自錦鯉之鄉原創手冊

(三) 錦鯉魚品種統整

1. 真鯉

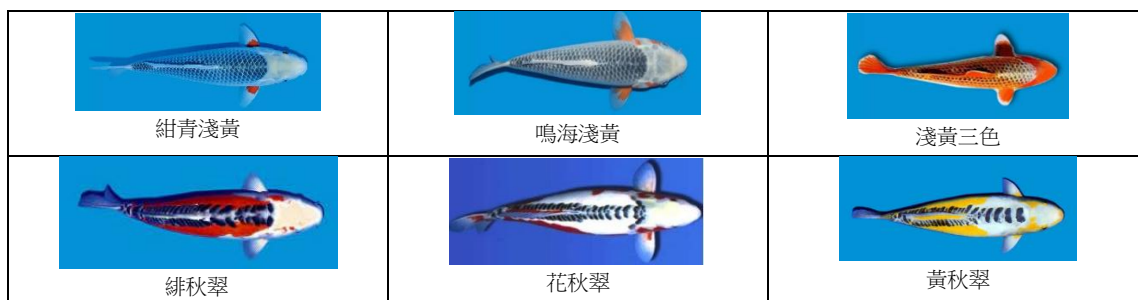
日本最初用真鯉變異，衍伸出淺黃真鯉、鐵真鯉。淺黃真鯉經過選育，可成為烏鯉和紺青淺黃。鐵真鯉是鐵鏽色，此種中有較多的紅色，故後代中有的分離出緋鯉。



圖五、真鯉系列（資料來源：本研究自行拍攝）

2. 淺黃與秋翠錦鯉

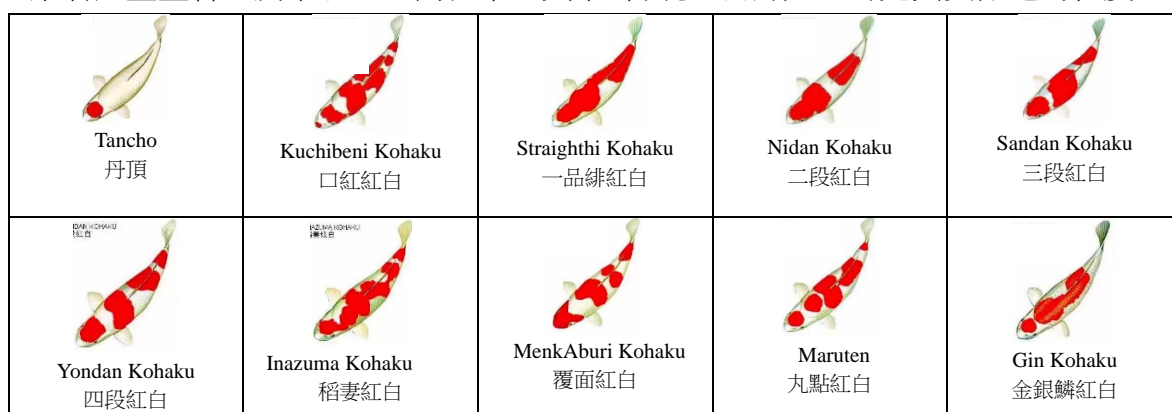
淺黃為古老品系。特徵是魚背呈現深藍或淺藍色，魚鱗邊緣為白色，兩頰鰭、腹部與鰭根部為紅色。秋翠為雜交種，背部有條帶狀鈷藍色魚鱗，魚身下腹為鮮紅色。



圖六、淺黃與秋翠系列（資料來源：本研究自行拍攝）

3. 紅白

紅白為「御三家」（紅白、大正、昭和）最受注目的品系，白底紅斑。我國錦鯉業者鍾瑩瑩曾經創下以5500萬台幣，買下S傳說紅白錦鯉，可見其受歡迎的程度。



圖七、紅白錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

4. 大正（三色錦鯉）




比紅白在多黑斑點，但以紅斑為主，胸鰭呈線墨者佳，具備白、紅、黑三色。

 Marutent Taisho Sanshoku 九點大正三色	 Nidan Taisho Sanshoku 二段大正三色	 Yongdan Taisho Sanshoku 四段大正	 Kin Rin Sanshoku 金銀鱗大正
 Tanchō Sanshoku 丹頂三色	 Aka Sanshoku 赤三色	 Menkaburi Sanshoku 赤三色	 Kunchibeni 口紅三色

圖八、大正與三色錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

5. 昭和






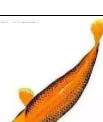
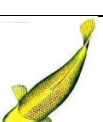
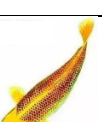
昭和和大正皆為三色錦鯉，最大差別是昭和以墨色為基底，且墨呈現渾厚塊狀，胸鰭出現墨元。

 Tanchō Showa 丹頂昭和	 Maruten Showa 九點昭和	 Kin Showa 金昭和	 Kindai Showa 近代昭和
---	--	--	---

圖九、昭和錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

6. 黃金與松葉

黃金特徵為金黃具光澤的鯉魚，頭部需乾淨且有光澤，鱗片前緣皆光澤明顯的復鱗。松葉與淺黃錦鯉同屬古老品系，片鱗上有黑色斑紋。若紅色鱗片上浮現白色斑紋，則為白松葉。

 Orenji Ogon 橙黃金	 Yamabuki Ogon 山吹黃金	 Purachina Ogon 陶瓷黃金	 Hi Ogon 緋黃金
 Gin Matsuba 銀松葉	 Aka Matsuba 赤松葉	 Kin Matsuba 金松葉	 Orenji Matsuba 橘松葉

圖十、松葉錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

7. 寫鯉

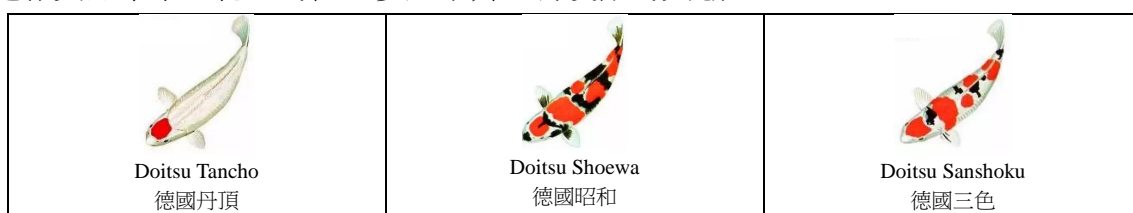
寫鯉是昭和三色中培育出來，體色以黑色為基底，上面有三角形的白斑紋、黃斑紋或紅斑紋，部分寫鯉具有銀鱗效果。



圖十一、寫錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

8. 德國錦鯉

為德國的錦鯉與日本錦鯉進行雜交培育特選品系。依據觀賞的條件，德國錦鯉分為革鯉、鏡鯉、鎧鯉和不規則鱗四種。其中革鯉表皮如同皮革，全身無鱗，鏡鯉表皮具光澤，像鏡面一樣光滑，鎧鯉顏色多呈灰黑色，觀賞價值不高，不規則鱗鯉：是雜交品系中，花斑的位置參差不齊，有凌亂的美感。



圖十二、德國錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

9. 皮光錦鯉

為寫鯉之外的鯉魚與黃金鯉雜交培育而成，包含品系有貼分：金銀二色斑紋的錦鯉，頭部乾淨，覆輪明顯；菊水錦鯉：德系山吹貼分中，側腹部有波型或斑狀花紋的稱為「菊水」；錦水錦鯉：秋翠的變種皮光鯉。金富士：紅白的皮光鯉，紅白與黃金鯉雜交產生。



圖十三、皮光錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

10. 衣、五色與別甲

衣錦鯉是淺黃和紅白雜交產物，其特徵是紅斑上有藍色或墨色滲入鱗片。五色同樣為雜交，由淺黃和三色錦鯉配對，身上有白紅黑藍靛，五種顏色。別甲以白色或紅色為基底，身上有小塊墨斑，基本體色兩色，墨斑與大正相似，頭部沒有墨斑。

 Budogoromo 葡萄衣	 Aigoromo 藍衣	 Sumigoromo 墨衣	 Goshiki 五色
 Shirobekko 白別甲	 Kibekko 黃別甲	 Akabekko 赤別甲	

圖十四、衣、別甲錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

11. 其他特殊錦鯉

單色鯉的黃鯉、赤鯉、綠鯉、黑鯉與烏鯉。由泥淺黃錦鯉選育而出的茶鯉，體態巨大。變種鯉的禿白、羽白、九紋龍與落葉時雨。

 Kigoi 黃鯉	 Benigoi 赤鯉	 Midrigoi 綠鯉	 Magoi 黑鯉	 Karasu 烏鯉
 Chagoi 茶鯉	 Hageshiro 禿白	 Kumonryu 九紋龍	 Hajiro 羽白	 Ochiba Shigure 落葉時雨

圖十五、特殊錦鯉系列（資料來源：本研究修改自<https://kknews.cc/zh-tw/news/gjebbn9.html>）

（四）錦鯉魚疾病統整

錦鯉飼養環境與疾病治療問題，對想要入門錦鯉的新手是個難題，（葉馬斯騰，2017）尤其在錦鯉疱疹病毒（Koiherpesvirus, KHV）流行期間，造成業者與買家因魚隻大量死亡的嚴重損失，經濟重創之下，業者紛紛歇業，讓喜愛錦鯉的新手放棄購買意願，導致錦鯉銷售量無論是內銷與外銷，皆逐年下滑，若無法提升購買者意願，我國錦鯉業者將會成為絕響。

1. 鰓腫病：孵化後一個月的稚魚，開始攝取人工飼料時易發生。
2. 立鱗病：通常為水質不佳造成。初春易發生，夏季水溫升高時則發病率下降。
3. 白點病：水溫變化劇烈時易發生，提高水溫可降低症狀。
4. 水黴病：由病原體菌絲組成，菌絲侵入於魚表皮，外露部叢生於水中呈毛皮狀。
5. 爛鰓病：最常發生的疾病，原因不明，尤其在水溫達二十度以上的高溫環境。
6. 錨蟲：錨狀蟲體，寄生在皮下、鰭或口腔中，有時一條魚寄生多達數十條。

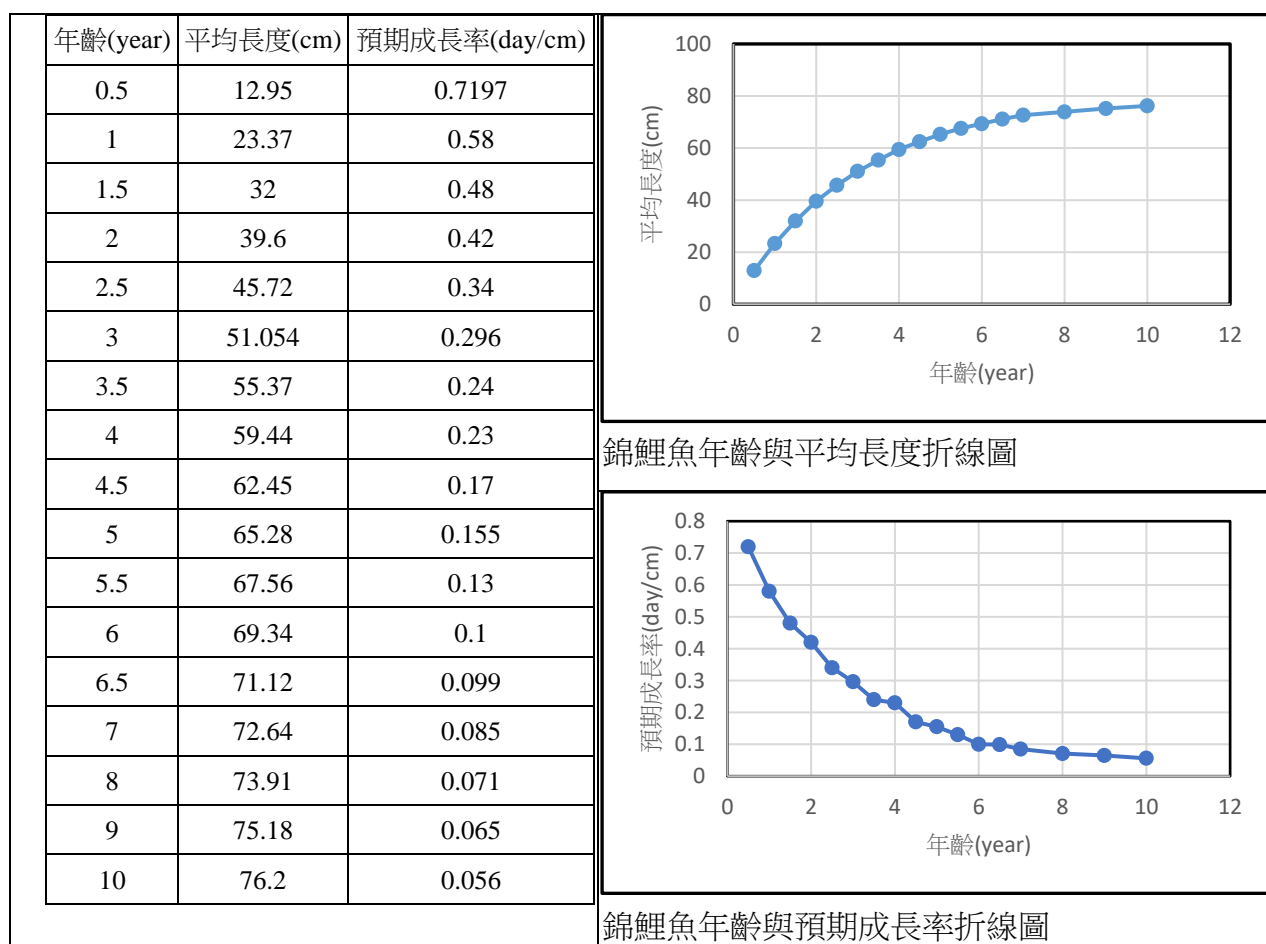
7. 魚蝨：被寄生的魚在游泳時會以身體磨擦池底、岩石或魚群聚在池中一隅。
8. 浮鰓病：魚浮鰓脂肪的變質或受壓迫造成。不易消化的飼料、溫差為主因。
9. 腸滿：生殖腺的惡性腫瘍或腹部產生腫瘤造成，其中可發現癌狀粒子。
10. 腰萎病：可能為藥物中毒、給餌過量或馬達漏電造成。
11. 氣泡病：高溫綠水中飼養的稚魚易發生。症狀頭部或魚鰭上發生氣泡。
12. 疱疹病毒：本病由 *Alloherpesviridae* 科的 Koi Herpesvirus，傳染死亡率極高。
13. 爛嘴病：嘴吻或其周圍發炎而呈黃色或紅色甚至潰爛。
14. 潰瘍症：最初魚體出現白點，然後擴大惡化，導致鱗片脫落、暴露筋肉。
15. 表皮增殖症：以紅白或三色鯉為主，有時角膜或結膜等有紅色素的地方發生。
16. 穿孔症：鞭毛蟲感染，減弱寄主腸內黏膜的吸收能力，導致缺鈣而穿孔。



圖十六、16種常見錦鯉疾病（資料來源：農業部獸醫研究所網站、海港錦鯉網站與自行拍攝。）

（五）錦鯉成長階段分析

本研究訪問欣昌、和松、鯉池苑、A.Li御三家、承軒錦鯉園業者，大致歸納出錦鯉成長階段。錦鯉從出生到前半年，每天平均成長0.72cm，之後在0.5-1年時，每天平均成長0.58cm，平均計算，錦鯉1歲體長約23.4cm。第2年錦鯉每天平均成長降至0.54cm。滿2歲的錦鯉，體長達到39.6cm。隨著年歲增加，錦鯉成長會逐漸減緩。若將基因、品種、飼養空間、飼料、水質、溫度、溶氧量、性別、疾病、水流與水深壓力等考量因素加入皆會影響到錦鯉成長。因此本研究以最受喜愛的紅白錦鯉成長過程作圖，參照和松錦鯉業者張堂恩先生紀錄，繪製10年錦鯉成長折線圖，由圖可看出錦鯉成長至6年後，成長曲線趨緩，10年後成長幾乎停滯。



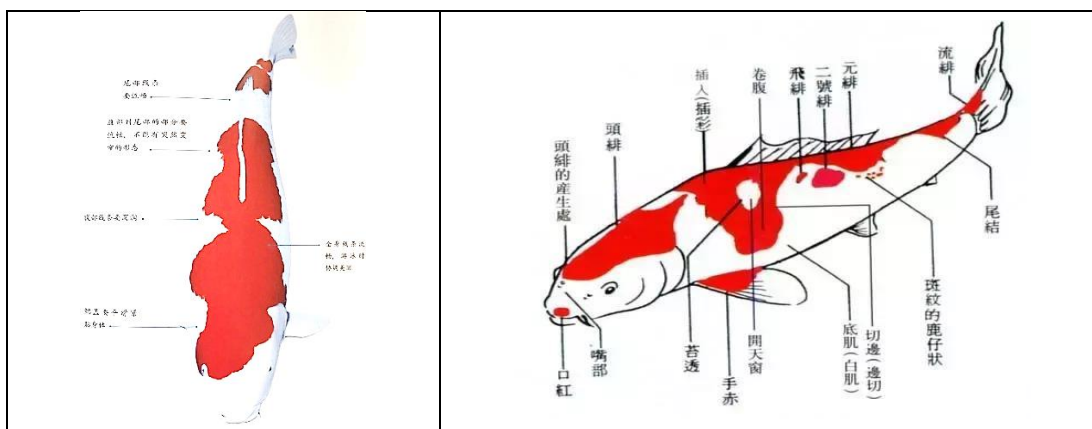
圖十七、錦鯉魚年齡平均長度與預期成長率（資料來源：參考和松錦鯉園紅白錦鯉成長紀錄簿。）

（六）錦鯉品質鑑定

誠如先前所述，錦鯉魚是一種高經濟價值的觀賞魚，其中可分為中國鯉與日本錦鯉兩種，目前市場交易主流為日本錦鯉，其中依據等級又可分為池塘錦鯉、觀賞錦鯉與逸品錦鯉三種。根據等級的不同，價格可從千元內到數千萬不等，日前在日本廣島舉辦的國際錦鯉拍賣會拍出了價值5500萬新台幣的紅白錦鯉:S傳說，顯示了錦鯉的經濟價值。錦鯉魚被許多人視為藝術品，價格受許多因素影響，如:個人喜好、體態、魚齡等，由於篇幅及時間因素，本研究僅針對御三家做價格分布之分析，以：紅白、大正與昭和為前提，評鑑方式採用錦鯉魚普通級、優良級與競賽級規則，以下為御三家準則：

1. 紅白：

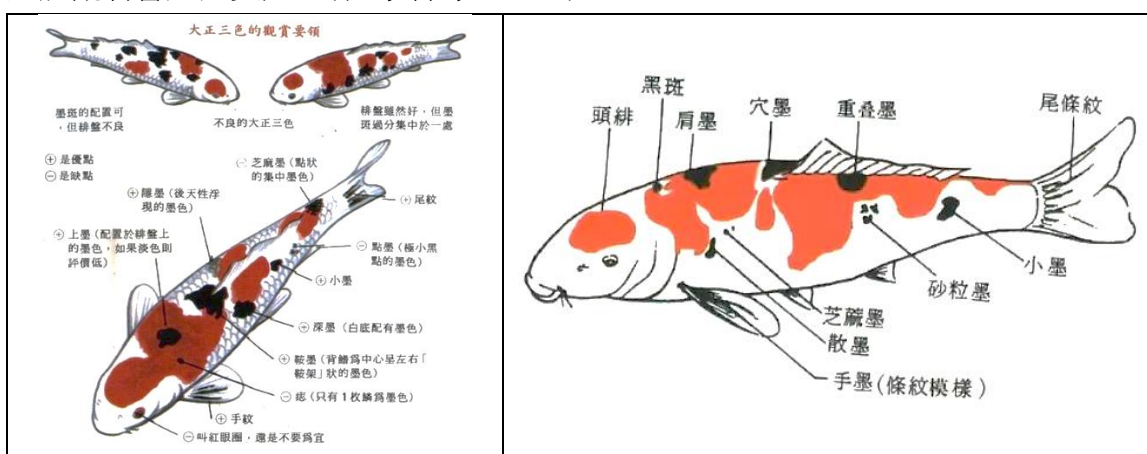
紅白最注重肩與背部紅緋，肩部緋盤顏色鮮明，為評鑑重點。肩部緋盤分部須勻稱。（許品章，2014）頭部後半緋盤呈現蜂腰狀，觀賞價值較高。花紋分布需左右對稱，花紋形狀大小亦為評鑑重點。



圖十八、紅白品鑑重要位置分布圖（資料來源：修改自<https://kknews.cc/zh-tw/pet/e9jzmv.html>）

2. 大正：

大正以紅白為基礎增添墨色，墨質輪廓邊際線要清晰可分，沙粒墨、芝麻墨或散墨皆會影響品鑑。大正墨紋最好能大小均勻，分不適當，若墨紋大小差異過大，整體觀看會太過突兀。（占家智等，2014）



圖十九、大正品鑑重要位置分布圖（資料來源：修改<https://kknews.cc/zh-tw/pet/e9jzmv.html>）

3. 昭和：

昭和排盤位置，與紅白及大正相同，但墨黑部分比大正更加明顯，因墨色凸顯，其交織形成的紋路與紅白及大正差異甚大，其排盤為基底與墨黑相互呼應，邊界不清的散墨或淡墨皆影響價格。（占家智等，2014）



圖二十、昭和品鑑重要位置分布圖（資料來源:修改<https://kknews.cc/zh-tw/pet/e9jzmv.html>）

（七）辨識程式開發

1. PyTorch

PyTorch基於C++實現，是由Meta Platforms的人工智慧研究團隊開發的Python機器學習庫。(PyTorch官方網站, 2024)深度學習軟體如特斯拉自動駕駛、Hugging Face的Transformers皆有PyTorch的應用。(PyTorch, 2019)PyTorch具有張量運算的功能，以及多種深度學習網路(Deep Learning Network)的實現，並包含多種損失函數(Loss Function)。PyTorch可以被運用在輝達(Nvidia)公司開發的統一計算架構(Compute Unified Device Architecture, CUDA)上，以利用通用圖形處理器(GPGPU)加速實現人工智慧演算。(PyTorch, 2024)

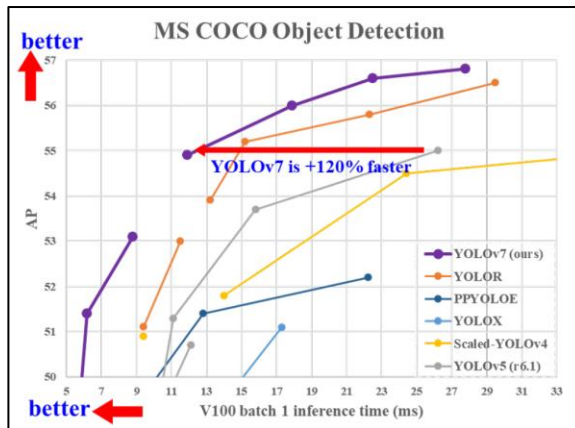
2. YOLOv7(You Only Look Once version 7)

初代的YOLO演算法由Joseph Chet Redmon開發，用來即時辨識影像中的物體 (Joseph Chet Redmon, 2023)。YOLOv7由曾經研發YOLOv4的王建堯博士、Alexey Bochkovskiy 與廖弘源所長進行開發，繼承了YOLOv4的Backbone、Neck與Head三大結構分別負責特徵擷取、特徵融合、以及預測類別 (A. Bochkovskiy et al., 2020)。

YOLOv7專注於提升模型訓練之程序，從而在不增加訓練模塊之推論成本下，以增加訓練成本為代價大幅提升模型之精確度，作者將其稱為bag-of-freebies，包含重新參數化(Re-parameterization)、動態標籤分配 (Dynamic Label Assignment Strategy) 等策略之應用。(YOLOv7)另外，YOLOv7亦引入了CBAM注意力機制、級聯模型縮放(Compound Model Scaling)等作法提高模型在不同設備訓練時的學習效率。(C.-Y.

Wang et al., 2022a)

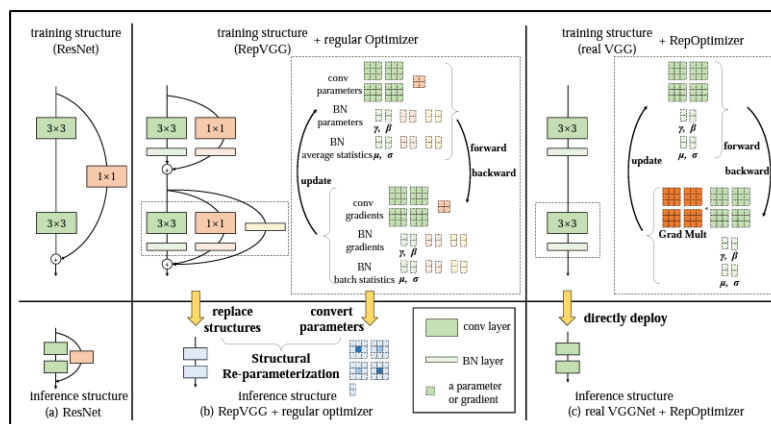
附圖二十一為YOLO作者使用MS COCO資料及進行模型訓練後所獲得的執行效能與執行速度對照圖。在5 FPS到160 FPS的範圍內YOLOv7的速度和準確性超越了所有已知的物件檢測器，並且在GPU V100或30 FPS以上的實時物件檢測器中擁有最高的56.8%AP準確性，無論是在物體類別辨識的正確率或是執行速度皆有超過前代YOLO物件辨識神經網絡的表現。(C.-Y. Wang et al., 2022a)



圖二十一、YOLOv7執行效果測試圖（資料來源：C.-Y. Wang et al., 2022a）

(1) 模塊級重新參數化(Module-level Re-parameterization)

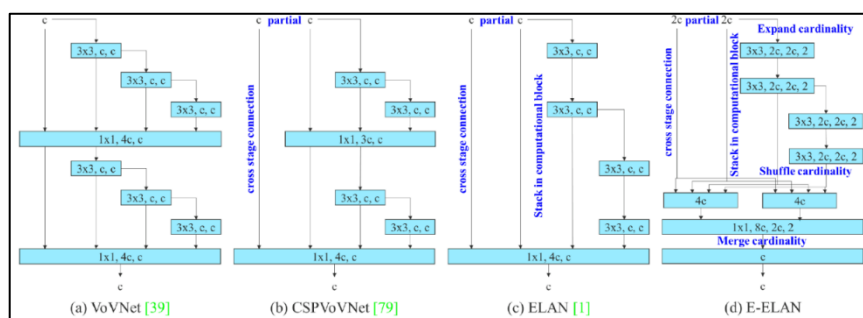
模塊重新參數化是電腦科學中的一種策略，藉由利用參數整合多個不同迭代次數的模塊進行權重平均，使多個不同分支的模塊與一個獨立運作的模塊效果等價。YOLOv7應用了重新參數化的原理，儘管意味著提高了訓練模型的成本，卻能夠有效預防梯度消失等問題，並且更為有效的探索資料集之樣本空間。(C.-Y. Wang et al., 2022a)



圖二十二、模塊級重新參數化（資料來源：C.-Y. Wang et al., 2022a）

(2) E-ELAN網路架構(Extended efficient layer aggregation networks)

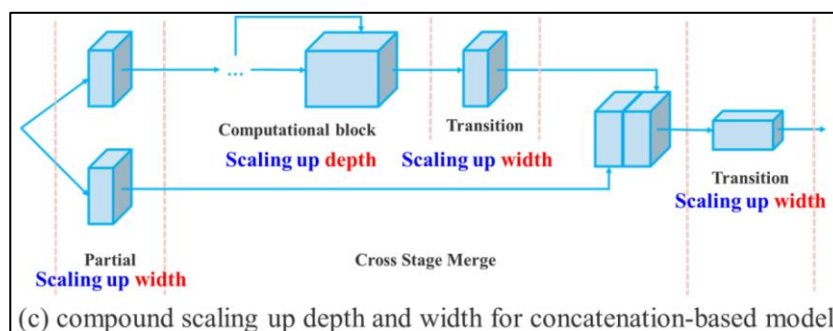
YOLOv7參考了ELAN網路 (C.-Y. Wang et al., 2022b) 的作法，透過串接不同步數(step)的CBS模組實現高效率的神經網絡，藉由不同深度的捲積神經網絡，模型得以更有效的學習與收斂。另外，YOLOv7所開發的E-ELAN透過了擴張(expand cardinality)、合併(merge cardinality)、隨機(shuffle cardinality)等方式擴展網路，從而獲得更好的學習效果。(C.-Y. Wang et al., 2022a)



圖二十三、E-ELAN網路架構 (資料來源：C.-Y. Wang et al., 2022a)

(3) 級聯模型縮放(Compound Model Scaling)

在YOLOv7中，為了調整模型的規模大小以提高模型在不同的運算速度之需要，YOLOv7作者引入了模型縮放的作法。藉由將過渡層(Transition Layer)的寬度與運算塊(Computational block)的深度進行等比例的上採樣(Upscaling)，即能在不破壞模型最終結構下將模型進行縮放，保持原設計時的性質。(C.-Y. Wang et al., 2022a)



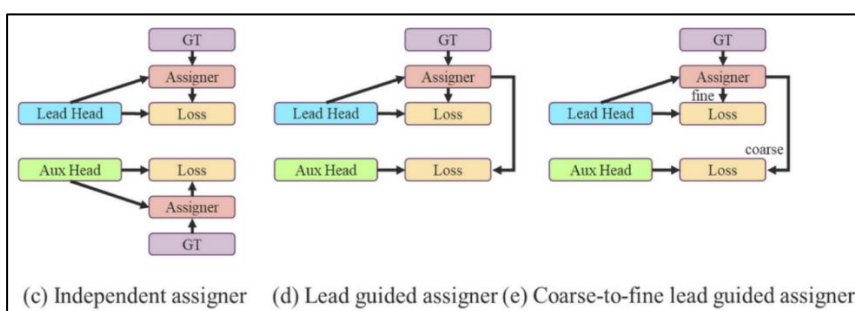
圖二十四、級聯模型縮放 (資料來源：C.-Y. Wang et al., 2022a)

(4) 動態標籤分配 (Dynamic Label Assignment Strategy)

在傳統的基於錨點(Anchor-based)模型中，開發人員經常使用固定的閾值(thresholds)的錨框(Anchor)作為分辨正負樣本的依據。(T.-X. Zhang, 2022)然而，

固定的閾值卻忽略了個樣本間在形狀、大小之間的差異之處。因此，YOLOv7引入了基於預測生成自適應性閾值的標籤分配(Label Assignment)策略。(C.-Y. Wang et al., 2022a)

YOLOv7具有多個Head層，包含在模型最終學習到的Lead Head(Lead Head Layer)與模型中間層產生的Aux Head(Auxiliary Head Layer)。而YOLOv7作者將負責與基準事實(Ground Truth)分配軟標籤(Soft Label)的過程稱為Assigner，其中以Lead Head基於基準事實(Ground Truth)所學習的Soft Label即為精標籤(Fine Label)，因其較高的精確性(Precision)具有較高權重，而Aux Head則負責指導Soft Label，以提高學習的召回率(Recall)。(C.-Y. Wang et al., 2022a)



圖二十五、動態標籤分配（資料來源：C.-Y. Wang et al., 2022a）

三、實驗設計

本研究擷取了3000份錦鯉魚的樣本，將取得的樣本依據類別分類完成，利用Roboflow平台對樣本圖片自動進行正負樣本的框選。完成資料框選並進行人工處理後，利用YOLO進行模型訓練。本研究執行150個Epoch訓練，並調整參數優化訓練過程。接著，本研究結合Python的Tkinter套件撰寫了模型的使用者介面(User Interface, UI)進行整合，並將開發完成之應用程式進行測試。本研究利用AP指標了解模型訓練的情形，並分析模型運行的效果。

Index	Parameters	Layer Name	Output Shape
69	-2 1 33024	models.common.Conv	[256, 128, 1, 1]
70	-1 1 73856	models.common.Conv	[128, 64, 3, 1]
71	-1 1 36992	models.common.Conv	[64, 64, 3, 1]
72	-1 1 36992	models.common.Conv	[64, 64, 3, 1]
73	-1 1 36992	models.common.Conv	[64, 64, 3, 1]
74	[-1, -2, -3, -4, -5, -6] 1	models.common.Concat	[1]
75	-1 1 65792	models.common.Conv	[512, 128, 1, 1]
76	-1 1 0	models.common.MP	[1]
77	-1 1 16640	models.common.Conv	[128, 128, 1, 1]
78	-3 1 16640	models.common.Conv	[128, 128, 1, 1]
79	-1 1 147712	models.common.Conv	[128, 128, 3, 2]
80	[-1, -3, 63] 1	models.common.Concat	[1]
81	-1 1 131584	models.common.Conv	[512, 256, 1, 1]
82	-2 1 131584	models.common.Conv	[512, 256, 1, 1]
83	-1 1 295168	models.common.Conv	[256, 128, 3, 1]
84	-1 1 147712	models.common.Conv	[128, 128, 3, 1]
85	-1 1 147712	models.common.Conv	[128, 128, 3, 1]
86	-1 1 147712	models.common.Conv	[128, 128, 3, 1]
87	[-1, -2, -3, -4, -5, -6] 1	models.common.Concat	[1]
88	-1 1 262656	models.common.Conv	[1024, 256, 1, 1]
89	-1 1 0	models.common.MP	[1]
90	-1 1 66048	models.common.Conv	[256, 256, 1, 1]
91	-3 1 66048	models.common.Conv	[256, 256, 1, 1]
92	-1 1 590336	models.common.Conv	[256, 256, 3, 2]
93	[-1, -3, 51] 1	models.common.Concat	[1]
94	-1 1 525312	models.common.Conv	[1024, 512, 1, 1]
95	-2 1 525312	models.common.Conv	[1024, 512, 1, 1]
96	-1 1 1180160	models.common.Conv	[512, 256, 3, 1]
97	-1 1 590336	models.common.Conv	[256, 256, 3, 1]
98	-1 1 590336	models.common.Conv	[256, 256, 3, 1]

圖二十六、YOLO訓練過程示意圖

本研究統計模型實驗中的TP (True Positive)、FP (False Positive)、TN (True Negative)、FN (False Negative)，計算模型的Precision(「所有被檢測為目標」但「正確分類為目標」的比例)和Recall(資料中的「所有目標」但「正確分類為目標」的比例)。接著，利用以下公式計算本模型的AP(Average Precision)指標。

$$AP = \frac{1}{11} \sum_{r \in \{0,0.1,0.2,\dots,1\}} AP_r = \frac{1}{11} \sum_{r \in \{0,0.1,0.2,\dots,1\}} P_{interp}(r)$$

$$P_{interp}(r) = \max_{\hat{r} \geq r} p(\hat{r})$$

肆、研究結果

一、魚隻成長狀況統整

(一) 成長狀況與價格分布

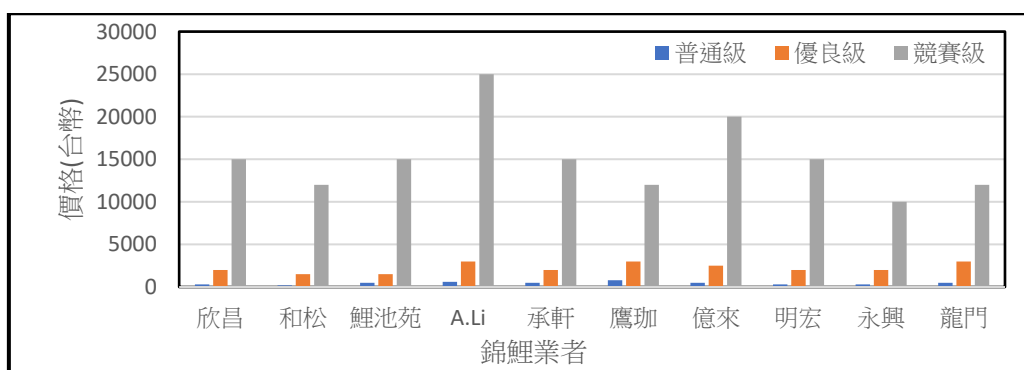
以錦鯉御三家為主軸，經過研究與各方詢問統整，本研究團隊得出以下結論：由於錦鯉主要價值在於其花色分布，大小與否對價格影響不大，真正影響價格因素僅有花色以及體態，花色、體態優秀的魚隻，在 5~20 公分時就已經可以開出天價，普通魚隻即便長成成魚，其價格依舊無法與優秀魚隻比擬，若是再考量到營養不良使魚隻年齡與體長不符的問題，可以說魚隻成長率與價格並無直接關係。

以下為御三家價格參考值，統計自欣昌、和松、鯉池苑、A.Li 御三家、承軒錦鯉園、鷹珈錦鯉、億來錦鯉、明宏養殖場、永興錦鯉、龍門錦鯉等十家業者。

表四、錦鯉業者紅白價格參考值

魚場 等級	欣昌	和松	鯉池苑	A.Li	承軒	鷹珈	億來	明宏	永興	龍門
普通級	300	200	500	600	500	800	500	300	300	500
優良級	2000	1500	1500	3000	2000	3000	2500	2000	2000	3000
競賽級	15000	12000	15000	25000	15000	12000	20000	15000	10000	12000

資料來源：本研究統計，價格依台幣計算。

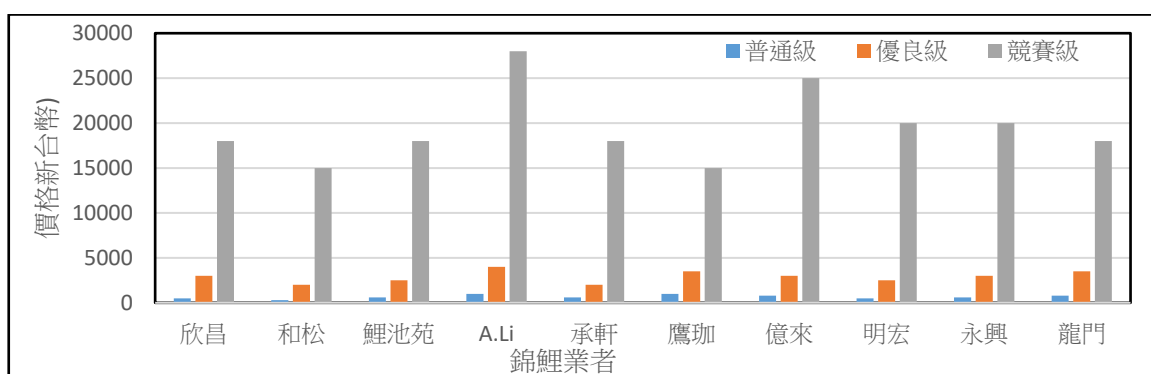


圖二十七、各家錦鯉業者紅白等級價格參考值（資料來源：本研究統計）

表五、錦鯉業者大正價格參考值

魚場 等級	欣昌	和松	鯉池苑	A.Li	承軒	鷹珈	億來	明宏	永興	龍門
普通級	500	300	600	1000	600	1000	800	500	600	800
優良級	3000	2000	2500	4000	2000	3500	3000	2500	3000	3500
競賽級	18000	15000	18000	28000	18000	15000	25000	20000	20000	18000

資料來源：本研究統計，價格依台幣計算。

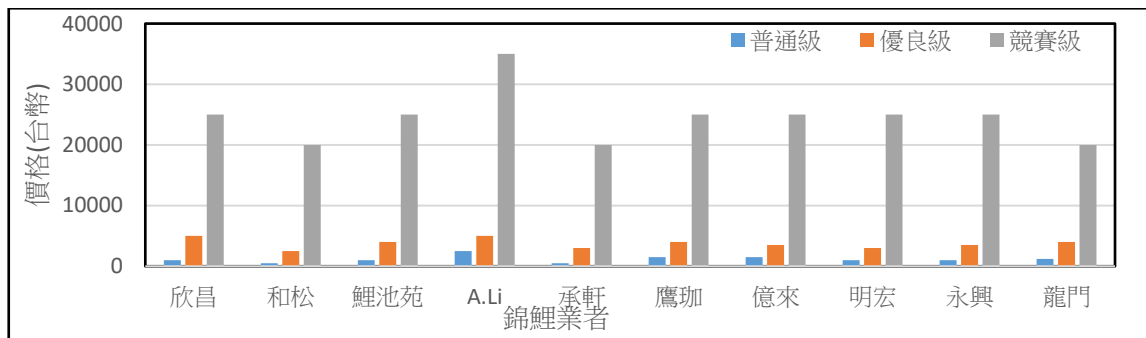


圖二十八、各家錦鯉業者大正等級價格參考值（資料來源：本研究統計）

表六、錦鯉業者昭和價格參考值

魚場 等級	欣昌	和松	鯉池苑	A.Li	承軒	鷹珈	億來	明宏	永興	龍門
普通級	1000	500	1000	2500	500	1500	1500	1000	1000	1200
優良級	5000	2500	4000	5000	3000	4000	3500	3000	3500	4000
競賽級	25000	20000	25000	35000	20000	25000	25000	25000	25000	20000

資料來源：本研究統計，價格依台幣計算。

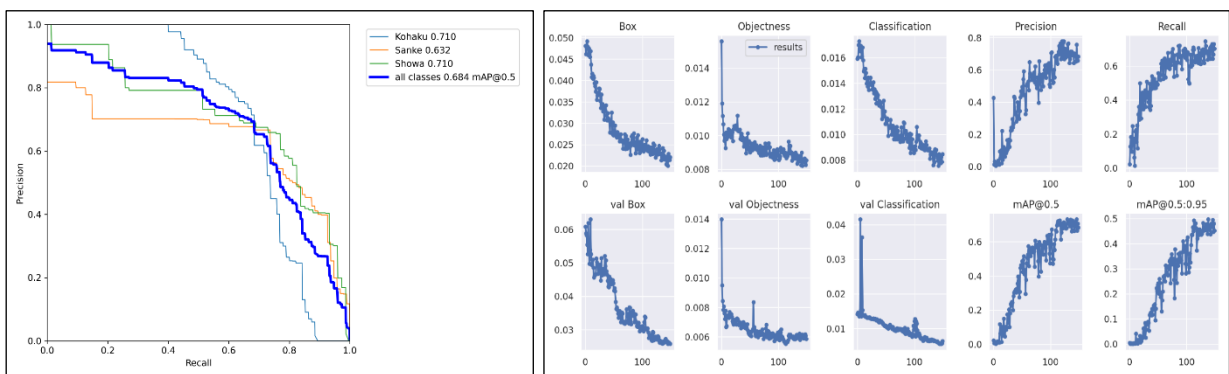


圖二十九、各家錦鯉業者昭和等級價格參考值（資料來源：本研究統計）

二、辨識系統開發成果

（一）模型訓練結果

本研究選用真鯉、淺黃錦鯉、紅白、大正、昭和、黃金、寫鯉、德國錦鯉、皮光錦鯉、五色，10 種較常見的錦鯉魚品種作為訓練樣本。根據圖二十九顯示，模型之 **Precision** 和 **Recall** 隨著訓練蝶帶次數增加而逐步上升，而模型的損失也呈現下降趨勢，顯示本研究模型可以藉由錦鯉魚樣本進行有效學習且能區分不同魚種的特徵。而錦鯉魚疾病種類眾多，本研究以立鱗病、爛鰓病、潰瘍症，此三種較常見且易辨識的疾病為樣本進行訓練。

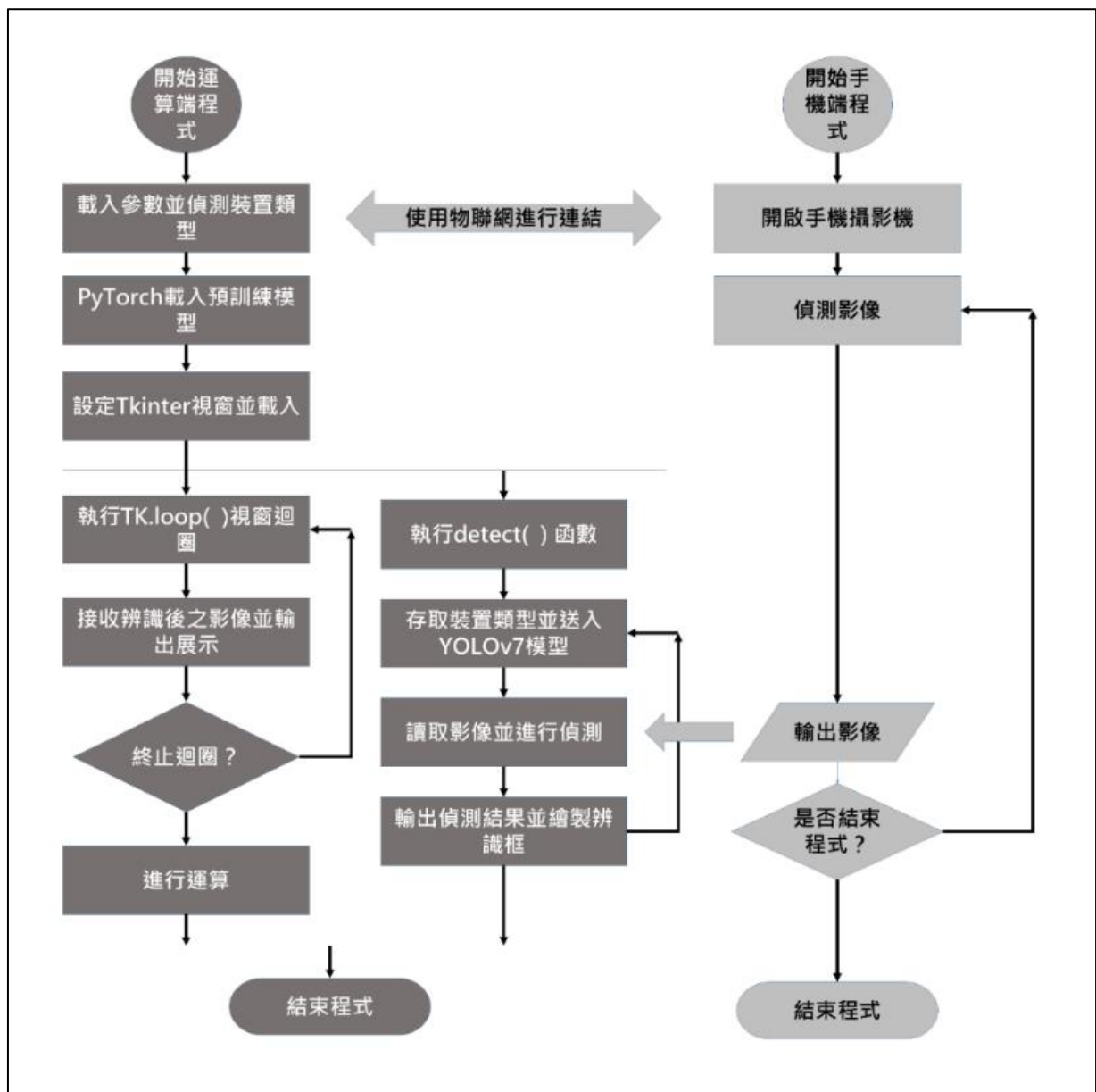


圖三十：模型訓練過程數據趨勢圖（資料來源：研究者自繪）

三、程式開發結果

（一）介面開發

在本研究的軟體開發中，我們採用 **PyTorch** 實現了 **YOLOv7** 深度學習網路模型。該軟體分為兩個主要部分：手機端和運算端。運算端可以是筆記型電腦或雲端計算設備，視使用者需求進行調整。我們利用 **DroidCam** 軟體將手機作為網路攝影機，並通過 **IP** 位置將手機與運算設備以物聯網的方式進行即時連接。手機端負責獲取影像，而運算設備則處理輸出的辨識資料。



圖三十一：程式流程圖（資料來源：研究者自繪）

本研究利用PyTorch框架中的函式進行模型載入與最佳化，並採用CUDA half加速模型的執行。此外，我們透過Python的Tkinter套件撰寫了模型的使用者介面（User Interface，UI）。為了有效協調Tkinter介面迴圈與辨識函式的執行，我們借助了asyncio函式庫並結合async/await的方法進行異步處理，從而實現了程式的同步執行以及適當的任務線程分配。

```

model = attempt_load(weights, map_location=device)

if trace:
    model = TracedModel(model, device, opt.img_size)

if half:
    model.half()

class App:

```

```

    async def exec(self):
        self.window = Window(asyncio.get_event_loop())
        await self.window.show()

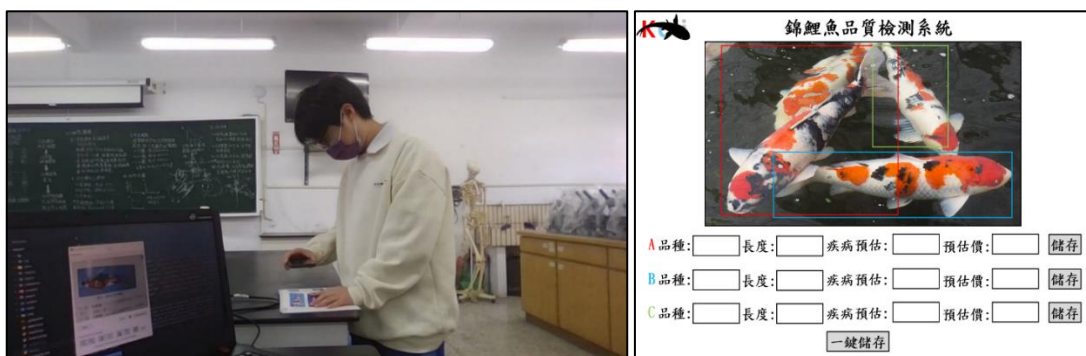
class Window(tk.Tk):
    def __init__(self, loop):
        super().__init__()
        self.loop = loop
        self.title("錦鯉魚品質鑑定系統")
        self.detection = self.loop.create_task(self.detect())

if __name__ == '__main__':
    parser = argparse.ArgumentParser()
    parser.add_argument('--weights', nargs='+', type=str, default='YOLOv7.pt',
    help='model.pt path(s)')
    parser.add_argument('--source', type=str, default="0", help='source') #
    file/folder, 0 for webcam
    opt = parser.parse_args()
    setup(opt)
    asyncio.run(App().exec())

```

圖三十二：應用程式程式碼節錄（資料來源：研究者自行撰寫）

本研究使用自行設計之軟體運行既訓練之影像辨識模型以測試其效果。在 200 份針對不同類別的測試中，我們紀錄了模型回傳之包含辨識類別及預測位置等資料並加以分析，藉以計算模型的各項機器學習能力指標，如 Precision 和 Recall 等。該 App 將手機螢幕對準帶測錦鯉魚後，會將畫面投影至電腦螢幕上，系統會自動標記畫面中的錦鯉魚品種、長度（若欲精準需放置參照物）、可能的疾病，及根據上述錦鯉價格研究做出的預估價，若使用者對該錦鯉魚有興趣，即可點取右方的儲存按鈕匯出 Excel 檔案。



圖三十三：實際操作畫面與 APP 實際運行介面（資料來源：研究者自行拍攝）

(三) 實際測試結果

本研究計算了 500 測試樣本的辨識結果輸出，並將實驗結果整理成混淆矩陣 (Confusion Matrix) 以便觀察分析。縱軸顯示實際的物件類別，而橫軸則是本研究模型的訓練結果。儘管在部分魚種的辨識效率略低於 0.7，但是在圖三五可以發現 Precision 跟 Recall 皆有良好的表現。錦鯉魚分類模型的 Precision 與 Recall 大致落在 0.7 至 0.8 之間，並經過複雜的計算，得出 mAP(mean Average Precision，所有品項 AP 之平均值) 為 0.56。

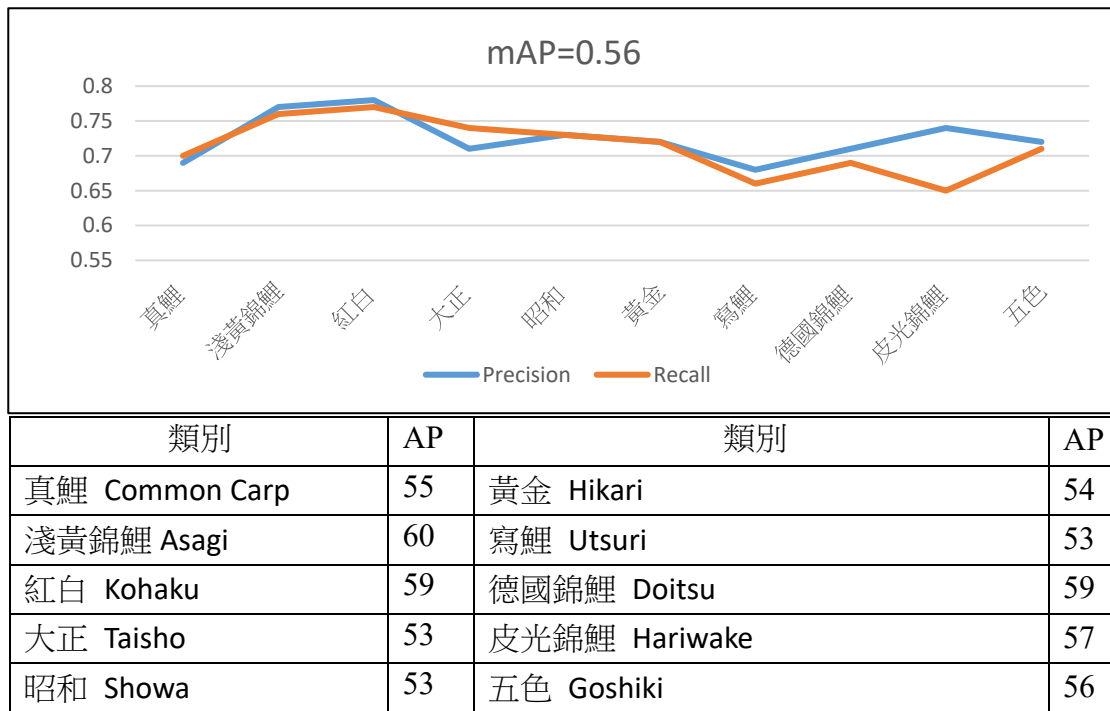
表七、10 種品種辨識結果之混淆矩陣表

	真鯉 Common Carp	淺黃錦鯉 Asagi	紅白 Kohaku	大正 Taisho	昭和 Showa	黃金 Hikari	寫鯉 Utsuri	德國錦鯉 Doitsu	皮光錦鯉 Hariwake	五色 Goshiki	background FP
真鯉 Common Carp	0.63	0.00	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	0.00	0.12
淺黃錦鯉 Asagi	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.00	0.03	0.08
紅白 Kohaku	0.01	0.00	0.73	0.03	0.06	0.00	0.03	0.00	0.01	0.03	0.03
大正 Taisho	0.06	0.02	0.04	0.70	0.03	0.02	0.00	0.01	0.06	0.01	0.03
昭和 Showa	0.00	0.00	0.06	0.07	0.69	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.02
黃金 Hikari	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.68	0.06	0.00	0.06	0.00	0.04
寫鯉 Utsuri	0.04	0.00	0.03	0.04	0.05	0.00	0.65	0.00	0.00	0.04	0.11
德國錦鯉 Doitsu	0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.06	0.14
皮光錦鯉 Hariwake	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.64	0.00	0.11
五色 Goshiki	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00	0.08	0.07	0.00	0.69	0.02
background FN	0.09	0.10	0.02	0.08	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.11	

Truth

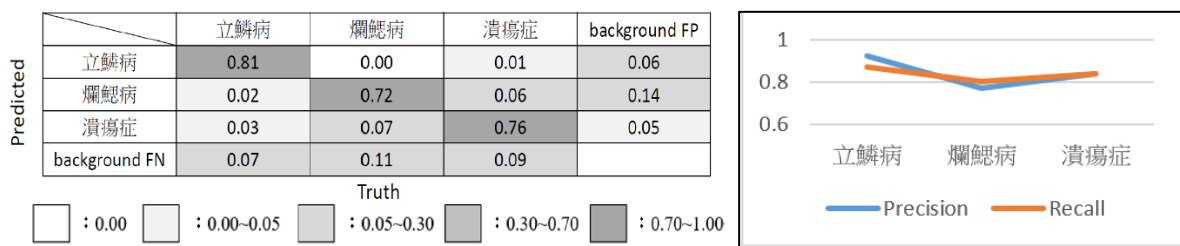
: 0.00
 : 0.00~0.05
 : 0.05~0.30
 : 0.30~0.70
 : 0.70~1.00

資料來源：研究者自繪



圖三十四、10 種品種之 Precision 與 Recall 比較圖（資料來源：研究者自繪）

由於部分疾病無法僅依靠 YOLOv7 外觀偵測系統判斷是否患病與患病是否為正確類別，本研究選用錦鯉魚身上較常見且較易辨識的立鱗病、爛鰓病、潰瘍症 3 種疾病。因為欲辨識範圍縮小，各項的辨識效率皆高於 0.7 且在圖三六可發現 Precision 跟 Recall 甚至高達了 0.8 至 0.9 之間。以上數據顯示模型可以針對錦鯉魚的類別進行分類，並辨識初期疾病特徵。



圖三十五、3 種疾病辨識結果之混淆矩陣表與 Precision 與 Recall 比較圖（資料來源：研究者自繪）

三、買家賣家比價平台

本研究結合既已蒐集之錦鯉魚樣本與漁場提供之魚隻資料，建立了一個簡易平臺提供消費者進行比價挑選，類似於網路購物商城的概念，我們允許消費者利用 APP 所擷取計算的資訊針對錦鯉魚進行挑選，以協助其選擇適合自己飼養的魚隻。

伍、結論

本研究團隊走訪了各大漁場並參考網路資料，對於錦鯉魚產業進行系統化的整理歸納，更利用所得的資訊設計了一款有益於錦鯉魚產業的應用程式。本研究成功利用電腦軟體建立了一個消費者導向跨平台運行的 APP，在手機與筆記型電腦上運作，亦確實運用 YOLOv7 神經網路針對錦鯉魚的類別及相關疾病進行了多次訓練。本研究最終得到可以即時偵測魚隻類別並提供消費者重要資訊的模型，並在實驗測試中跑出了高達 0.56 的 mAP，且模型呈現出穩定的 Precision 跟 Recall 數值，顯示其得以正確分類錦鯉魚隻。

陸、問題與討論

一、SWOT 分析

表八、SWOT 分析表

項目	SWOT 分析內容
優勢 Strengths	>不同於人工仰賴長期經驗累積，YOLOv7 系統只需將資料投入訓練即可辨識。 >分類類別擴充性強，可是使用者需要加入其他類別。 >入門者上手簡單，可以吸引初學者使用。
劣勢 Weaknesses	>若基礎訓練資料不足則無法有效訓練與進行辨識。 >辨識範圍受限於鏡頭拍攝角度，對於魚隻內部疾病或其他角度無法進行辨識。
機會 Opportunities	>目前市面上尚未有類似產品，本研究作品具有創新性。 >降低人工成本，得以使錦鯉魚產業更加自動化。 >可以擴大應用範圍，對於錦鯉魚的其他特徵進行更為細膩的分析。
威脅 Threats	>專業養殖人士對系統辨識結果可能不信任

二、手動標記過程耗時長

Labelimg 影像標註工具在標記過程中需手動操作，操作難度低但本研究樣品數量過多，過程既過於繁瑣又耗時。本研究利用 Roboflow 自動標註樣本應用程式，加快速度的同時又減少人為疏失的可能。

三、樣本資料不足

網路上品種及相關疾病圖片樣本不足，無法使 YOLOv7 辨識達到及格標準。從錦鯉魚養殖業者的宣傳影片中螢幕截圖，充當品種及相關疾病樣本圖片；在請教某錦鯉魚養殖愛好者後，他推薦錦鯉養殖實用技法這本書，該書錦鯉魚品種敘述詳細、疾病介紹充足，示意圖充足，圖文並茂，大大加快了資料蒐集速度。

四、特殊狀況較難以辨識

將程式交給養殖者進行試用後，從他口中得知部分錦鯉魚存在營養不良的情況，會影響魚隻價格，以及比賽成績，但就現有資料而言，本研究團隊無法達成這個特徵的辨識。目前解決方案僅有增加營養不良魚隻的樣本，但若是投入此類別資料進行訓練，或許會降低對正常樣本的辨識正確率。

五、價格預估無法以偏概全

本研究雖以歷年市場交易的魚隻作為價格預估標準，但並非皆是如此，藝術成面是個關鍵點，每人的審美觀各有差異，譬如東西方之差異：西方較注重藝術成面，其錦鯉魚拍賣的價格幾乎以個人的審美為主，有些在東方低價售出的錦鯉竟得以在西方拍出高價；而東方往往會有一些衡量標準，如體型、花紋等未達到印象標準，則難以用高價售出。

柒、未來展望

一、年齡辨識

本研究雖然整理了以長度辨識年齡的方法，卻未加以採用，原因出自於根據體長辨別年齡雖然在大數據下可行，但某些魚隻格外壯碩或是瘦弱，容易造成對於年齡錯誤估計，影響消費者的判斷。因此，本研究期許在未來可以利用眼睛大小與體長的比例得到更具有準確性的年齡估計公式，並撰寫程式予以實現。

二、結合 GPT

本研究實驗結果可以結合現今流行的生成式預先訓練轉換器（generative pretrained transformer, GPT）進行智能分析，提供消費者更佳人性化的體驗，可以藉由問答獲得關於錦鯉魚之專業知識與建議。

三、與專業養殖廠合作

本次研究開發之系統不盡完美，其中有部分原因為部分個體樣本數量不足，導致程式在針對疾病、價格以及體型部分辨識精準度較低。未來可與專業養殖廠合作開發，獲取更多樣本及養殖者親身養殖經驗，以便將系統調整至貼合市場需求。

四、結合教學用途

鑒於目前錦鯉魚專業辨識人員培訓期較長，使用傳統培訓方式，新一代接班人或入門者在初期可能因為對錦鯉魚了解較淺而走許多不必要的冤枉路，若是投入本應用程式結合教學訓練過程，可期望在培訓初期讓新進人員快速準確的辨識。也可結合現行 108 課綱，帶領學生進行實作課程，激起年輕世代對錦鯉魚產業的興趣，令國內錦鯉市場再起波瀾。

捌、參考文獻與資料

- 一、 鍾瑩瑩(2022)。美學經驗和文化對逸品錦鯉購買意願影響之研究—以個案研究方法之分析。雲林科技大學高階管理研究所。
- 二、 葉馬斯騰(2016)。錦鯉疱疹病毒特定基因之選殖與表現及特異性抗體的製備。國立中興大學微生物暨公共衛生學研究所。
- 三、 青山東祐(1989)。錦鯉之鄉原創手冊。小千谷市錦鯉之鄉館內簡介。
- 四、 農業部獸醫研究所網站(2023 年 10 月 2 日)。
<https://www.nvri.gov.tw/Module/DisplayPageContent.aspx?pid=q80csgpkwZg%3D>
- 五、 J. Redmon, A. Farhadi.(April 8, 2018). *YOLOv3 : An Incremental Improvement*. arXiv preprint. ArXiv:1804.02767。
- 六、 C.-Y. Wang, A. Bochkovskiy, and H. -Y. M. Liao. (July 6, 2022a). *YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors*. arXiv preprint. ArXiv:2207.02696。
- 七、 鍾瑩瑩(2022)。美學經驗和文化對逸品錦鯉購買意願影響之研究—以個案研究方法之分析。雲林科技大學高階管理研究所。
- 八、 葉馬斯騰(2016)。錦鯉疱疹病毒特定基因之選殖與表現及特異性抗體的製備。國立中興大學微生物暨公共衛生學研究所。
- 九、 青山東祐(1989)。錦鯉之鄉原創手冊。小千谷市錦鯉之鄉館內簡介。
- 十、 農業部獸醫研究所網站(2023 年 10 月 2 日)。
<https://www.nvri.gov.tw/Module/DisplayPageContent.aspx?pid=q80csgpkwZg%3D>
- 十一、 許品章(2014)。錦鯉 KOI (第二版)。化學工業出版社。
- 十二、 占家智、 姚同炎、 羊茜 (2014)。錦鯉養殖實用技法。品冠出版社。
- 十三、 C.-Y. Wang, H.-Y. M. Liao, I.-H. Yeh. (Nov 9, 2022b). *Designing Network Design Strategies Through Gradient Path Analysis*. arXiv preprint. ArXiv:2211.04800。
- 十四、 T.-X. Zhang, B. Luo, A. Sharda, G.-H. Wang. (July 11, 2022). *Dynamic Label Assignment for Object Detection by Combining Predicted IoUs and Anchor IoUs*. arXiv preprint. ArXiv:2201.09396。
- 十五、 Joseph Chet Redmon(無日期)。YOLO : *Real-Time Object Detection*。2023 年 1 月 6 日，取自 <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

- 十六、 OpenCV(Dec 29, 2022).*OpenCV modules*. from <https://docs.opencv.org/4.x/>.
- 十七、 PyTorch 官方網站(March 2, 2024). *PyTorch*. from <https://pytorch.org/>
- 十八、 PyTorch(2019 年 11 月 7 日)。*PyTorch at Tesla - Andrej Karpathy, Tesla*。〔影片〕 YouTube。
<https://youtu.be/oBklItKXtDE>
- 十九、 行政院農業委員會漁業署(2020)。 *歷年觀賞魚產業產值產量情形*。取自
<https://reurl.cc/8q0EjM>。
- 二十、 鄧文淵(2020)。 *Python 機器學習超進化：AI 影像辨識跨界應用實戰*。台北市：碁峰資訊股份有限公司
- 二十一、 Cosmas(2023)。 *Nathanailides Animals* 2023, 13, 1583. Sustainable Ornamental Fish Aquaculture: The Implication of Microbial Feed Additives。資料取自
<https://doi.org/10.3390/ani13101583>
- 二十二、 林育生(2019)。 *台灣觀賞魚產業規模與競爭力之研究*。國立中山大學海洋及環境工程學系。
- 二十三、 朱鴻鈞(2011)。 *全球觀賞魚產業發展概況與趨勢*。取自：
<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail/P20140709001-201108-201407090019-201407090019-1-5>