

丁同學	回饋建議
書審老師A	<p>製作精良，內容一目瞭然，有豐富文獻探討實驗目標及相關研究資料。</p> <p>養育生命不易，看得出過程十分用心照顧實驗動物，惟建議提供其後續去向。</p> <p>建議使用正式的文獻引用格式，將所參考的文獻標註於作品最後。</p>
書審老師B	作品展現出個人的興趣及研究的用心。
書審老師C	<p>目錄可以具體呈現內容架構</p> <p>可以補上遇到的困難及解決問題</p> <p>小論文要附上資料來源</p>



永誠學校財團法人臺中市大明高級中等學校

## 自主學習成果 - 高中組

多元化中的選擇與學習：探索小雞印痕現象與學習行為

普通科 三年一班

姓名：丁同學

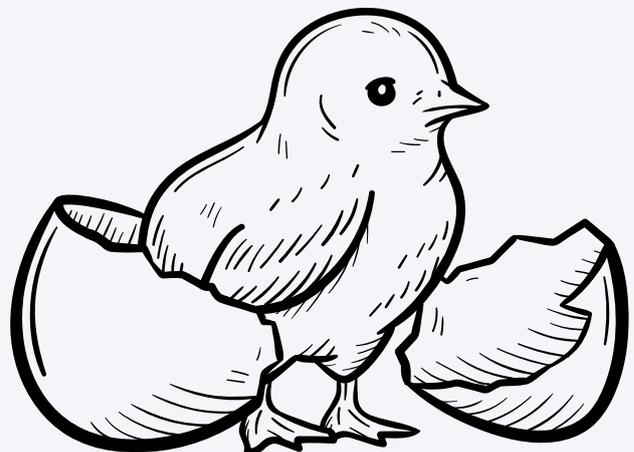
指導教師：劉雅慧老師

# 目錄

序章、百字簡述	-----	p.3
壹、研究動機	-----	p.4
貳、研究目的	-----	p.4
參、文獻探討	-----	p.4
肆、研究方法	-----	p.7
伍、研究分析與結果	-----	p.10
陸、研究結論與建議	-----	p.14
柒、心得與反思	-----	p.15
捌、我所負責之工作	-----	p.16

# 序章、百字簡述

本自主學習計畫意旨透過孵育小雞、讓其接觸特定目標物及進行走迷宮實驗等三個階段。我們發現，小雞在孵化後會迅速學會跟隨母雞或人類行動，顯示出印痕學習的能力；在接觸特定目標物後，小雞表現出對該物體的傾向性，顯示印痕學習的現象；在走迷宮實驗中，小雞展現出對環境的導向能力，並能根據經驗做出適應性行為。簡言之，本自主學習計畫深入探討了小雞的印痕學習行為，並進一步了解了其對環境的適應能力。



## 壹、研究動機

有關生物印痕作用(Imprinting)的內容我們早已在生物課本上學過，但在實際看完生物老師介紹的電影《返家十萬里》後，才真正引起我們想對這神秘自然現象一探究竟的興趣。看著電影中女主角在意外成為新生雛雁所認定的「媽媽」後，小雁鴨們跟著她學步、飛行、覓食等重要生存技能，最後成功遷徙到過冬地點，而這些動人場景，使我們不禁深思起是否能夠效仿電影中透過自行孵化小雞的方式，令其將我們所設定的物品銘印成牠們的「母親」，來進一步探討印痕作用之於雞的作用，揭開雞的印痕的神秘面紗。

## 貳、研究目的

被譽為「現代動物行為學之父」勞倫茲（Konrad Lorenz）透過研究雁鴨與鵝的每日作為長達數十年後，向大眾提出著名的「印痕學說（Imprinting theory）」，此學說表示小動物出生後的第一次學習，會永遠留在腦海中。我們覺得此現象很有趣，所以想透過此次實驗來達成下列目標：

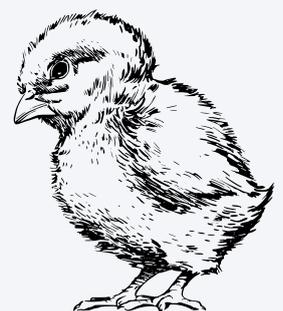
- （一） 親手孵育小雞，並觀察記錄其生長歷程。
- （二） 透過使小雞銘印特定目標物，研究小雞的印痕學習行為。
- （三） 透過走迷宮實驗，探討小雞的行為。



## 參、文獻探討

### 一、印痕現象的生成與功效

「印痕現象」(Lorenz, 1973)，亦可稱為「銘印、印記、印跡、印隨」，是晚熟動物（出生後無法獨立生存，不可或缺父母不斷照顧的動物）行為學中的一種學習模式。該現象指的是新生幼體在出生後會將其所見的「第一個會動的物體」視為牠的父母，並透過追隨牠們以學習生存技巧，為提高己身存活率的一種手段。根據日本帝京大學和北海道大學在《自然·通訊》上發布的研究成果顯示，雛雞印痕敏感期的開始由甲狀腺激素 3,5,3'-三碘甲腺原氨酸 (T3) 決定，藉由小雞腦血管內皮細胞中的T3快速流動來啟動非基因組機制，使小雞產生名為孝道印記的學習行為。此外，該實驗亦證實了縱使是已過了敏感期的非印記幼雞，亦可透過對其注射T3來引發印痕現象的產生，可見T3之於雞的物種延續扮演著何等重大的角色(Shinji Yamaguchi, et al., 2012)。除了有助於幼體的生存，印痕現象也在動物的繁衍上有著一定的影響。例如，某些雛鳥會在成熟後選擇跟與自己外觀最相似的對象進行交配，這種現象被稱為選型交配 (Assortative mating)，亦稱為「印痕選擇」。由此可知印痕現象不僅可以協助人類更進一步的了解動物的行為學，也對世界生物多樣性保育有一定的啟示作用。



## 二、影響小雞孵化與生長的因素

小雞孵化與生長的順利與否，主要與溫度、濕度及孵化時轉蛋的頻率有關。首先是溫度，小雞在孵化期所需的溫度會一天天下降，最終會落在37.3~37.5度，而在生長過程中，溫度太低會造成小雞營養吸收不良；溫度過高，會導致過度飲水、體內水分過多而常拉肚子。接著是濕度的掌控，孵化期濕度過高會使水分蒸發過少，妨礙胚胎氣體交換；濕度過低，則會導致雞蛋內的水分蒸發過多，兩者都會影響小雞的正常代謝，使小雞體質虛弱。最後，轉蛋的各項細節亦攸關大局，在開始孵蛋的1~18天內，必須勤勞轉蛋。不轉動雞蛋易導致胚胎無法順利在蛋黃上生長，造成雛雞在蛋殼裡窒息或難產的風險，且翻蛋次數越多，孵化率也越高。我們的小雞最後能順利出生，多虧了勤勞的轉蛋。（Gregory S. Archer, 2017）

## 三、關於雞的研究

作為世界上為數最多的脊椎動物之一，雞因為缺乏像猩猩、人猿等靈長類所擁有的複雜心理特徵，導致牠在普遍大眾認知中是一種智力低下的生物。然而根據多項國內外研究雞的結果顯示牠們其實遠比我們想像的還聰明，牠們能夠數數（Rugani R, et al., 2009）、對同類展現同理心（Marino L, 2017）、擁有想像未來的能力（Abeyesinghe, 2005）等，同時牠們也是印痕學習現象最顯著的物種之一，這些實驗成果向我們展示了雞的多元智能。此外，關於雞的辨色能力到底有多好也是眾說紛紜。在實際查過資料後，我們發現雞不僅能夠分辨色彩（Ham AD, Osorio D, 2007），甚至相較於人類雞擁有更好的顏色敏銳度，這也造就了牠們眼中的世界與我們有極大差距，好比說人所看到的白色光線，對雞而言則成了紅色或淺藍色。在搜索完相關資料後，我們打算結合印痕現象，設計出一個實驗來同時驗證雞的辨色能力與印痕對生物的影響。

# 肆、研究方法

## 一、研究流程

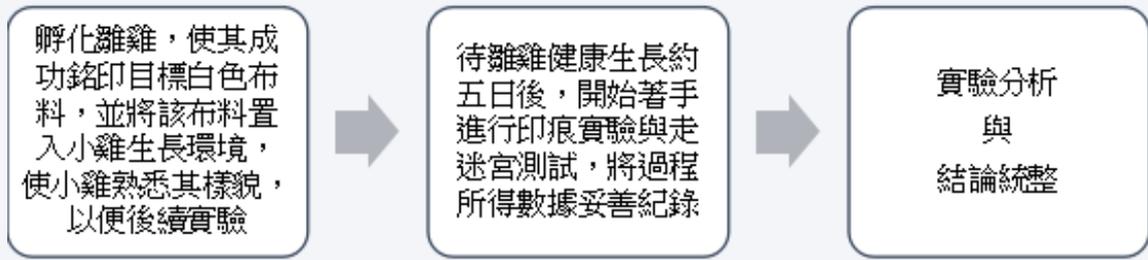


圖1、研究流程（圖1來源：研究者自行繪製）

## 二、研究方法與步驟

### （一）實驗一：小雞孵化及飼養

考量到孵化成功率、飼養難易度、價格等因素後，本次實驗我們選以日本矮雞作為觀察對象，以下為孵化步驟：

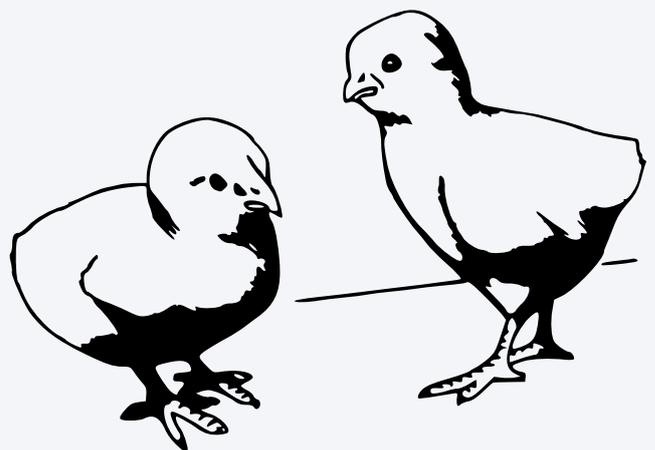
- 1、把雞蛋上的汙穢擦拭乾淨。
- 2、加小調整孵化器中的濕度到60%以下，溫度控制在攝氏35度~40度之間。
- 3、將蛋鈍端朝上傾斜45°放入機器，每天轉動蛋至第十八天，每次轉蛋角度為90°。（註：其轉動方向為水平轉動）
- 4、第五天開始第一次照蛋，先確認胚胎發育的情況，血管應向四處延伸，同時將無法繼續孵化的無受精或死精蛋取出，此時既可觀察胚胎內的血管，由卵黃處向四處延伸。
- 5、第十三日第二次照蛋，胚胎要能夠動，血管變得粗大。
- 6、第十八日第三次照蛋，如果為發育健康的蛋應幾乎為一團黑。
- 7、第十九至二十一天發生期停止轉蛋，將旋轉盤移出。
- 8、孵化雞放入自製育雛箱中，提供飲水及飼料，每日測量體重並記錄。

## (二)「變色的布料媽媽」——探討小雞的印痕現象與辨色能力

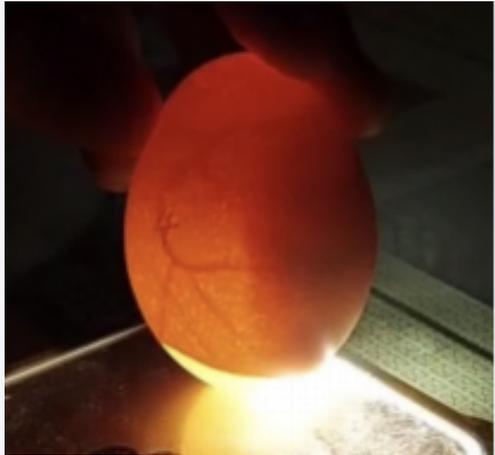
- 1、用五日齡的小雞進行有無辨色能力的實驗。
- 2、準備紅色、白色、藍色及彩色的布料，並以紙板製作一個Y字型的走道。
- 3、在Y字型走道的一端放上藍色的布料，一端放上成功印痕的白色布料。
- 4、將小雞放至Y字型走道的交岔口，確保其能看見兩條不同顏色的布料。
- 5、觀察小雞的走向，將記錄結果。
- 6、交換布料位置，重複步驟3~4。
- 7、依序用紅色及花色布料與印痕過的白色布料重複步驟3~6。

## (三)「走迷宮實驗」——探討小雞的學習能力

- 1、以紙箱與紙板製作簡易迷宮。
- 2、在迷宮終點放置印痕成功的白色布料與飼料。
- 3、在迷宮上方加蓋一層透明壓克力板，防止小雞跳出迷宮。
- 4、將各隻小雞逐個放至迷宮起始點。
- 5、紀錄小雞抵達終點所需時間。
- 6、此實驗共做五輪，每回重複走迷宮五輪，以此計算平均時間。



(四) 實驗照片

 A clear plastic incubator with a yellow base containing several light-colored, round fertilized eggs. The incubator has a digital display and buttons on the front.	 A single egg is held in a person's hand and illuminated from below by a bright light, revealing its internal structure through candling.
<p>受精蛋與孵化器</p>	<p>第三次照蛋</p>
 A person wearing a dark blue jacket is carefully holding a small, dark-colored bird chick in their hands, performing an artificial assistance procedure.	 A group of small, dark bird chicks are sitting on a white towel inside a cardboard box, with their wings spread out to dry.
<p>人工助產</p>	<p>孵化後烘乾羽翼</p>
 A bird is seen inside a complex maze structure made of glass and wood, used for behavioral experiments.	 A small dark bird is on a surface next to a piece of white fabric with a red circle and a red 'X' marked on it, illustrating the 'color-changing fabric mother' experiment.
<p>迷宮實驗</p>	<p>「變色的布料媽媽」實驗 (右方為印痕物)</p>

## 伍、研究分析與結果

### 一、實驗一：小雞的孵化與生長情形

(一) 受精卵共六個，最後成功孵化出四隻小雞，孵化率六成六。為方便日後進行實驗時能成功辨別各隻小雞，我們依照四隻小雞各自獨有的外貌特徵為之稱號及命名 (如表1)。

表1：每隻雛雞所對應的編號

編號	01	02	03	04
特徵	白色肚子	黃色腳	灰色羽毛	黑色腳

(表1來源：研究者繪製與紀錄)

### (二) 體重變化紀錄

正常小雞一周的體重大約為70g左右，但根據表2的數據，我們可以發現四隻小雞都比標準體重輕。我們推測這可能是由以下三種原因導致的。首先，四隻小雞都是人工助產出生的，可能導致天生較虛弱。其次，濕度和溫度在孵化過程中可能未被精確控制，造成胚胎消化吸收功能受損。再者，成長環境溫度可能過高，刺激小雞喝太多水，常拉肚子，影響生長發育。這些都是可能導致牠們長期虛弱的因素，難產我們沒辦法避免，但若在牠們成長的過程中濕度與溫度我們可以再控制得更精確點，小雞便可能能夠更順利健康的成長。

表2：體重變化紀錄

輪別 日齡	01	02	03	04
二	21.57	23.46	21.56	23.08
四	25.62	31.32	24.84	29.00

六	31.92	34.41	44.76	40.61
八	39.66	37.49	50.28	47.58
十	43.16	40.16	60.86	54.82
十二	49.30	45.44	68.62	62.34
十四	58.16	51.94	80.42	71.24
十六	79.24	64.22	96.26	89.22
十八	109.98	91.58	125.88	122.92
二十	132.88	108.88	144.28	145.88
二十二	143.78	117.86	153.88	160.76
二十四	173.68	140.68	179.88	190.68

(表2來源：研究者繪製與紀錄)

## 二、實驗二：「變色的布料媽媽」 ——探討小雞的印痕現象與辨色能力

變色的布料媽媽此實驗，我們同時驗證了小雞的變色能力與印痕作用的具體展現。根據表3之數據可以得知，編號01、04在六次測驗有五次選擇了白色布料（印痕物），而編號02則是六次都選擇白色布料，推測為有成功印痕。整體而言四隻小雞在24次測驗中牠們正確地選擇印痕物之次數高達19次，唯其中選擇錯誤之情況，我們推測可能為原因可能如下：

- (一) 以選擇錯誤次數達50%的編號03為例，可能其出生時未能成功印痕白色布料。

(二) 扣除推測未成功印痕的編號03，其餘小雞在測驗5及測驗6中選擇錯誤之次數最多，我們推測可能是因彩色的布上亦帶有白色色塊，小雞之視覺高度正好對上這些色塊，因而被誤導。

表3：各色布料配對與各小雞的選擇

選擇顏色 編號	布料顏色	1. 白色與藍色布料	2. 白色與藍色布料(換方向)	3. 白色與紅色布料	4. 白色與紅色布料(換方向)	5. 白色與彩色布料	6. 白色與彩色布料(換方向)
01	白色	白色	白色	白色	白色	白色	彩色
02	白色	白色	白色	白色	白色	白色	白色
03	白色	藍色	紅色	白色	彩色	白色	白色
04	白色	白色	白色	白色	白色	白色	彩色

(表3來源：研究者繪製與紀錄)

### 三、實驗三：「走迷宮實驗」——探討小雞的學習力

製作迷宮實驗，主要是想觀察小雞的「習慣學習」能力。雖然一開始小雞會因為恐懼新環境而拉肚子，然後站在原地不動，但過程中我們以巢中同伴的叫音、飼料、印痕物（白色布料）等作為誘導物，反覆讓小雞走相同的迷宮，一再刺激其習慣學習能力，使牠們完成迷宮的時間一次次縮短，秒數皆有明顯下降(參見表4、圖2)，尤其在第一輪和第二輪的平均耗時上相差甚多。

可以看出經過一輪的走迷宮測驗後，小雞對迷宮的空間認知度已大大提升。透過實驗數據，我們確實發現小雞的學習能力比我們想像中的強很多。

表4：走迷宮實驗之各輪所需秒數

平均秒數(秒) 編號	第一輪	第二輪	第三輪	第四輪	第五輪
01	358	103	84	97	59
02	423	177	144	118	123
03	381	201	144	111	103
04	263	122	102	72	43

(表4來源：研究者繪製與紀錄)

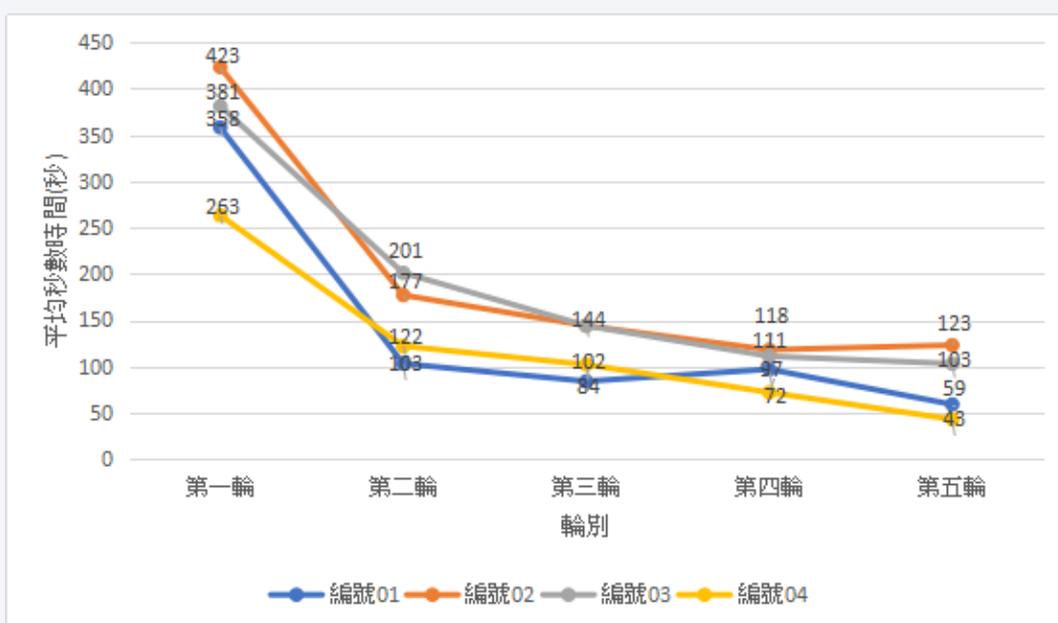


圖2：各小雞走迷宮所需平均時間變化圖 (圖2來源：研究者繪製與紀錄)

## 陸、研究結論與建議

### 一、研究結論

- (一) 印痕作用中所言的「第一個會動的物體」不一定是小雞剛孵化出來的瞬間所見者，而是指在其視覺能力發展後，能夠清晰看到並對其進行選擇和學習的第一個移動物體，可能在小雞孵化後的一段時間內出現。從實驗中四隻小雞皆為人工助產而生，大多卻能成功印痕上非其出生後第一眼所見之白色布料可證。
- (二) 在孵化後初期觀察到，雛雞在孵化初期會表現出一定程度的社會性行為。雖然牠們未曾真正體驗過野外生活，但牠們似乎對彼此的存在產生了某種程度的關注和互動。這可能暗示著即使在孵化後不久，動物也可能具有一些基本的社會認知和互動傾向。
- (三) 由走迷宮平均耗時隨實驗次數增加而明顯下降可知雛雞具有一定的學習與認知能力，能夠辨識特定的視覺或空間特徵，以幫助牠們在迷宮中尋找正確的路徑。
- (四) 小雞顏色的感知雖主要只基於三種錐狀細胞，但依實驗結果所證其足以辨別基本的紅色、藍色及白色。
- (五) 影響小雞能否順利破殼與否之因素眾多，包括孵化時的溫度與濕度、胚胎的發育程度、蛋殼的質量、厚度等，每個能成功誕生於這世界的小生命皆為奇蹟。

## 二、研究建議

- (一) 雖然在實驗中使用的樣本數量有限，但研究結果仍然提供了有關日本矮雞幼雛行為和感知能力的一些初步洞察。進一步的研究可以擴大樣本規模，並且可以針對不同品種的雞進行比較，以更深入地理解雞隻的行為和感知發展。
- (二) 本次實驗呈現了動物行為研究的複雜性，並提醒我們分析實驗結果時應考慮到各種可能的因素。每隻雛雞的個體差異、成長環境、以及過去的生長經驗都可能對其行為和感知能力產生影響，因此在得出普遍性結論之前，需要深入的研究和分析。而在實驗動物的培育及照顧方面也須準備充足的供其使用，才能確保有健康的實驗動物以呈現正確的結果。

## 柒、心得與反思

這次的實驗讓我深入了解了動物行為學中的印痕學說，這是由勞倫茲提出的一個極具影響力的理論。透過親手孵化小雞並密切觀察其成長過程，我們得以目睹生物在出生後的第一次學習對其行為模式形成的關鍵性影響。這是一個令人驚奇的過程，從一顆蛋開始，到孵化出一隻活潑的小雞，每一步都充滿了生命的奇妙。在此過程中，我們特別關注小雞對光線、溫度和食物等環境因素的反應，並觀察到這些經驗對其後續行為的影響。

其中，最令我因象深刻的實驗是「變色的布料媽媽」，將特定目標物置於小雞附近。而實驗結果顯示，小雞對於第一次接觸的物體會產生極大的興趣和記憶，甚至會嘗試去與之互動。這證實了勞倫茲所提出的印痕學說，即動物在早期學習中形成的記憶對其後續行為有著深遠的影響。

簡言之，這些觀察不僅加深了我對動物行為的理解，也激發了我對生物學更深層次的興趣和探索。這次實驗讓我深刻體會到了生物學中的奇妙和複雜性，也為我未來的學術探索提供了新的方向和啟示。

## 捌、我所負責之工作

一、我是整個自主學習計畫的發想者，負責規劃學習進度、分配工作、設計實驗及採買計畫所需物品。

- (一) 雛雞實驗之設計。
- (二) 雛雞實驗道具製作。
- (三) 孵化雛雞道具之採買。
- (四) 照顧雛雞並記錄其體重之變化。



圖3：組員們之合影（圖3來源：研究者拍攝）

