

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability


College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

黑水虻循環經濟創新商業模式建立

Establishment of an Innovative Business Model for the Circular
Economy of Black Soldier Fly



游璩駿

Qu-Jun You

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 110 年 12 月

December 2021

南 華 大 學
永續綠色科技碩士學位學程
碩 士 學 位 論 文

黑水虻循環經濟創新商業模式建立
Establishment of an Innovative Business Model for the Circular
Economy of Black Soldier Fly

研究生： 劉詠駿

經 考 試 合 格 特 此 證 明

口試委員： 蔡正華
陳柏青
凌耀明

指導教授： 凌耀明

系主任(所長)： 凌耀明

口試日期：中華民國 110 年 12 月 24 日

誌謝

由於想要研究黑水虻的養殖，有次到嘉義邑米社大拜訪吳前理事長，當時在社大農場偶然的碰到林文賜教授，交換名片後看到林教授服務單位是南華大學永續綠色科技學程碩士學程。『永續綠色科技』這幾個字讓從事物聯網科技產業的我產生了興趣，在永續中心執行長洪教授積極地介紹學程特色與師資陣容，有幸讓我再度成為學生。

來到南華大學永續綠色科技學程碩士班，認識各個不同領域的學長姐以及同學。教學相長除了得到來自老師專業教學外，也從學長姐與同學身上學習到不同產業的知識與經驗。系所教授們的教學貼近時事，班上舉辦了幾次校外教學讓學習不僅僅是得知理論與標準外也走到戶外實地參訪與瞭解。

藉此要感謝指導教授洪耀明博士、林文賜教授、陳柏青院長，在教學中不斷的提攜、指引我們，讓我們釐清並找出論文的方向及重點，得以孕育出這份論文；在洪老師淵博的學養與寬廣的視野指導下，提供給我論文寫作過程中最大的支撐，撰寫過程中鉅細靡遺的指導及循循善誘的鼓勵，協助我突破瓶頸。

最後，我感謝我的家人，在求學階段支持與陪伴，讓我得以順利完成學程，讓我的眼光更寬闊、工作更順遂，不僅提升個人人生領域，結交到更多好友；最後，謹以一顆感恩的心，將學習成果分享給關心我的師長、朋友、及家人。

學生 游璩駿謹誌

中文摘要

廚餘因為去化不易，常造成環境污染問題，而黑水虻可以去化廚餘，蟲體可以有多種用途，本研究以循環經濟理念，建立黑水虻循環經濟商業模式，首先於青泉谷友善永續農舍，以環境控制系統，建立養殖黑水虻環境，在臺灣北部的冬天成功的讓成蟲交尾繁殖產卵，形成了生質廢棄物提供給黑水虻食物來源，將黑水虻的幼蟲做為農場雞隻飼料補充來源，再將產出的雞蛋推展到市場銷售，產生收益，若不計算雞蛋收益，單純就未來廚餘去化機制，一年即可損益兩平，成為成功之商業運作模式。

關鍵詞：循環經濟、黑水虻、生質廢棄物、商業模式



ABSTRACT

Food waste often causes environmental pollution problems. Black Soldier Fly can eliminate food waste, and the insect body can have many uses. Therefore, this research uses the concept of circular economy to establish a Black Soldier Fly circular economy business model. First, Yu Qing Spring Valley's friendly and sustainable farmhouses have established an environment for breeding Black Soldier Fly, and successfully laying eggs in the winter in northern Taiwan. The biomass waste is formed to provide the Black Soldier Fly as a food source, and then the Black Soldier Fly larvae are used as a supplementary source of farm chicken feed, and then the produced eggs are promoted to the market to generate income. If the egg income is not calculated, simply relying on the future food waste de-removal mechanism, the profit and loss can be equalized in one year, and it has become a successful business operation model.

Keywords: circular economy, Black Soldier Fly, biomass waste, business model

目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	1
1.3 研究目的.....	3
1.4 研究架構.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 氣候變遷.....	5
2.2 循環經濟.....	5
2.3 黑水虻循環經濟.....	7
2.3.1 生長特性.....	7
2.3.2 昆蟲蛋白飼料應用.....	8
2.3.3 減碳效益.....	12
第三章 研究方法.....	15
3.1 研究流程與地點.....	15
3.1.1 研究流程.....	15
3.2. 研究地點.....	15
3.2 黑水虻生長環境營造.....	18
3.2.1 黑水虻生長特性.....	18
3.2.2 生長棲地營造.....	19
第四章 結果與討論.....	27
4.1 生長營造分析.....	27
4.2 黑水虻食物鏈.....	38
4.3 黑水虻循環經濟效益評估.....	41
4.4 處理廚餘利潤分析.....	41

4.5 市場擴展計畫.....	42
第五章 結論與建議.....	44
5.1 結論	44
5.2 建議	44
參考文獻.....	46



圖目錄

圖 1 研究流程圖.....	4
圖 2 台灣 2020-2050 循環經濟政策.....	7
圖 3 行政院農業委員會農牧字第 1100042788 號公告.....	10
圖 4 行政院農業委員會農牧字第 1100042788 號公告內文.....	11
圖 5 109 年全年廚餘回收每月重量.....	13
圖 6 廚餘各種處理方式之碳排放.....	14
圖 7 黑水蛇循環經濟模式研究流程.....	15
圖 8 研究地點.....	16
圖 9 瑞芳地區 2020 年相對濕度.....	17
圖 10 瑞芳地區 2020 年溫度紀錄表.....	17
圖 11 黑水蛇生活史.....	18
圖 12 黑水蛇生長貨櫃.....	20
圖 13 貨櫃繁殖區防蟲網架設.....	21
圖 14 模擬日照 LED 燈.....	24
圖 15 環境控制與數據收集電控盤建置.....	25
圖 16 養殖區建置.....	26
圖 17 青泉骨友善永續農舍.....	28
圖 18 保溫貨櫃建置可調節溫濕度裝置.....	28
圖 19 黑水蛇養殖貨櫃左邊為養殖櫃，右邊為繁殖櫃.....	29
圖 20 貨櫃內黑水蛇養殖情形.....	29
圖 21 黑水蛇養殖區.....	30
圖 22 黑水蛇繁殖貨櫃區.....	30

圖 23 黑水蛇貨櫃內繁殖交尾情形.....	31
圖 24 青泉谷友善永續農場環境中控畫面.....	31
圖 25 黑水蛇養殖溫度監控趨勢圖.....	32
圖 26 黑水蛇養殖濕度監控趨勢圖.....	32
圖 27 貨櫃內繁殖產出的蟲卵.....	33
圖 28 集中的卵孵化第一天.....	33
圖 29 豆渣養殖五天的黑水蛇幼蟲.....	34
圖 30 豆渣養殖 10 天的黑水蛇幼蟲.....	34
圖 31 變黑準備進入育蛹期.....	35
圖 32 移動式繁殖區的黑水蛇成蟲.....	35
圖 33 移動式繁殖區的黑水蛇成蟲進行交尾.....	36
圖 34 2021 年 11 月瑞芳地區中央氣象局溫度紀錄表.....	36
圖 35 2021 年 11 月瑞芳地區中央氣象局濕度紀錄表.....	37
圖 36 農舍內放牧的雞隻吃黑水蛇的情形.....	38
圖 37 濃稠蛋白與蛋黃的外觀呈現受到肯定.....	38
圖 38 農舍雞蛋的型錄售價.....	39
圖 39 青泉谷友善永續農舍雞蛋的銷售店舖之一.....	39
圖 40 青泉谷友善永續農舍雞蛋的社團直銷.....	40
圖 41 青泉谷友善永續農舍雞蛋的網路平台直播銷售.....	40
圖 42 黑水蛇處理的經濟效益.....	41
圖 43 黑水蛇產業利潤分析.....	42
圖 44 黑水蛇養殖市場擴展計畫.....	43

表目錄

表 1 黑水蛇做為飼料的利益.....	12
表 2 表青泉谷友善永續農舍黑水蛇養繁殖單元.....	24
表 3 廚餘處理與黑水蛇經濟效益表.....	42



第一章 前言

1.1 研究背景

研究者在科技產業超過廿年，資訊科技產業可以說是一年一小變、三年一大變，沈浸產業多年後投入了產品開發。2014 年開始陸續推出 AIOT 物聯相關應用的端點產品：智慧家庭的 LeOne 雲端空調小管家、CloudView Pro 無人機房智能監控主機、CloudCastle 雲城堡、JiiMoo 長距離無線 IOT 終端設備以及 PlusEDGE 物聯跨界 AIOT 中控平台等。

有句名言-Connecting People『科技始終來自於人性』，任何科技的生成就是為了服務人們的各式需求；而人類自古至今生活中的各項需求除了形成各項的交易經濟行為外，為此資訊科技化的現代，透過不斷的革新創造出更多、更獨特、更先進的產品或應用。因此工業化的大量開採天然資源，製造出符合人們期望的各種商品；也因為產業競爭，各個現代化工廠挑燈夜戰，爭取市場的最大份額，同樣的商品有許多不同品牌、樣式與花色，商店比鄰而立為了要讓人們方便消費。

過度生產的經濟模式產生了天然資源被嚴重開採，大量工業生產的結果造成環境污染，地球上的自然生態系開始被破壞，氣候開始出現了異常，天然的生態環境開始被破壞，許多物種受了影響大量滅絕，人們開始留意並思考如何進行保護自己居住的地球，因此開始進行綠色革命，資源再利用，減碳循環概念逐漸被注視在經濟的活動中。

1.2 研究動機

『地球就只有一個，大家來環保愛地球』，曾經有段時間常聽到這樣的宣傳用語，當時是在提醒大家，別製造垃圾愛護居住的環境，讓居

住的環境可以更舒適；不過因為地球南北極的冰層開始迅速融化，異常氣候陸陸續續在世界各洲發生，大雨大洪水等等，地球被過度使用，開始反撲警示人們，為此聯合國也召開相關因應的討論與會議，提出如何來減緩並訂定策略與方向。

2015 年，聯合國宣布了「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，當中就減緩氣候變遷定出了指引以及目標，有 193 個國家同意在 2030 年前共同努力、邁向永續。不過異常氣候的嚴重讓居住在地球的人們些需要更積極，因此於 2021 年 11 月 1 日至 11 月 12 日，在蘇格蘭格拉斯哥舉行的第 26 屆聯合國氣候變遷大會 (Conference of the Parties 26, COP26)，會中有 40 多個國家承諾到 2050 年前逐步淘汰煤炭；100 個國家的領導人承諾到 2030 年結束或減少森林砍伐；美國和歐盟宣布將合作減少甲烷排放。此外 2021 年 11 月 13 日，會議通過《格拉斯哥氣候公約》，公約要求維持巴黎協定，把全球氣溫升高幅度控制在 1.5 攝氏度以內的目標，以及逐步減少煤炭使用。

因此減碳是全球各地注重的大議題，經濟的活動不再是直線的思考，人們開始重視生活中的消費行為與減碳是否產生了關聯，循環經濟開始被發展與重視。『酒研倘賣無』是大家耳熟能詳朗朗上口的一首歌，這是一個很基礎『循環經濟』的概念，可以資源再利用產生環境保護的功效，而就在我們生活中多用一點心思，舉手之勞也都可以做到減碳的行為。而企業也能落實在經營中，當然國家政府的重視與產業支持也會是一個重要的推動力。

偶然的機會參加一場由林信仁牧師擔任講師的課程，介紹可以分解腐食有機物的昆蟲，深入了解並拜訪畜產試驗所梁世祥博士，以及邑米社大的吳孟坤校長，分析科技農業的目前狀態，察覺透過黑水虻來處理

有機生質廢棄物，並且產生各項關聯性的應用，可以形成一個完整的循環經濟的生態鏈，由於黑水虻的產業在台灣尚未成形，目前是啟蒙階段未來的發展空間無限，因此決定投入黑水虻循環經濟的新創應用研究。

1.3 研究目的

本研究建立黑水虻循環經濟模式，透過廚餘處理，養殖黑水虻等相關文獻探討及實際實作實驗，開發設計出適合北台灣的移動式黑水虻環控養殖系統，並研究出最佳的經營型態，來進行未來下一階段的企業發展規劃參考，提出後續經營模式，作為推動綠色經濟、循環經濟及低碳經濟之參考依據。

1.4 研究架構

依研究重點將本文分成五章，如圖 1 所示，各章內容簡述如下，第一章前言，分為研究背景、研究動機、研究目的與本文組織；第二章文獻回顧，分為綠色經濟、循環經濟、低碳經濟；第三章研究方法，分為研究架構、研究對象與研究流程與方法；第四章結果與討論，分為市場擴展計畫、低碳經濟、減碳環保又賺錢，第五章為結論與建議。

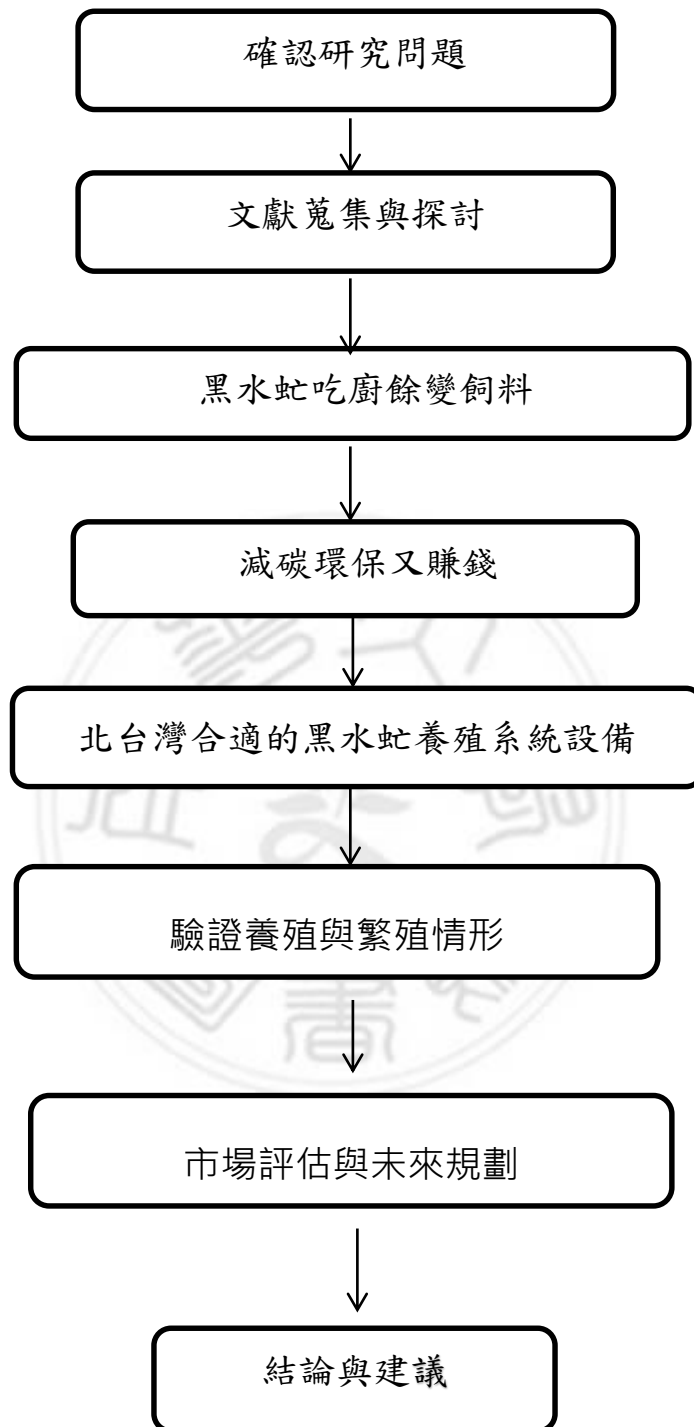


圖 1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 氣候變遷

工業革命以來，逐漸增加的碳排放，造成溫室效益，並產生極端氣候，許多國家地方湖泊乾涸產生了缺水，異常的暴雨產生了大洪水，這些與過往不一樣的變化，就是氣候變遷所造成對結果，唯一的辦法就是要大幅漸少溫室氣體的釋放，並且要致力於減少二氧化碳的存在。聯合國氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）的最新報告指出，與工業化之前相比，全球溫度急速上升了 1.1°C ，且正在朝著上升 1.5°C 快速攀升，2015年全球批准通過的《巴黎協定》即闡明，要讓全球升溫幅度減至 1.5°C 內。

2.2 循環經濟

台灣為因應氣候變遷，建立台灣2020-2050循環經濟政策如圖2
台灣2020-2050循環經濟政策，顯示循環經濟為重要發展方向。

綠色經濟、循環經濟和低碳經濟本質上都是符合永續發展理念的經濟發展模式，在指導思想上完全相同：相同的系統觀，即人類和自然界相互依存、相互影響；相同的發展觀，即經濟發展要在資源環境的承载力範圍內；相同的生產觀，即節省資源的投入，提高利用效率，進行潔淨生產；相同的消費觀，即適度消費、物質盡可能多次利用和循環利用；相同的最終目標，即促進人與自然和諧並存，實現可以永續發展。因此，發展綠色經濟、循環經濟、低碳經濟在本質上是一致的。

由對於綠色經濟、循環經濟、低碳經濟內涵的解讀可知，三者針對的具體問題、作用範圍和方式上存在一定區別，綠色經濟泛指人與自

然和諧的，或者說資源節約、環境友好的經濟活動及其結果，是個涵蓋面很廣的概念，包括生產、流通、分配、消費等經濟活動的各環節，也包括環境保護和生態建設活動。循環經濟、低碳經濟都屬於綠色經濟範疇。

循環經濟指的是生態經濟大系統良性循環的經濟形態，強調通過自然資源的節約利用、物品的再利用以及廢棄物的資源化和無害化，將經濟系統對於自然生態系統的壓力控制在可承載的範圍內，不再把問題留給下一代，並充分利用自然生態系統各項能量的轉化能力，將經濟系統和諧地融入自然生態系統的物質和能量循環之中。在實踐層面，循環經濟由於通過貫徹減量化、再利用、再循環的原則推進資源節約和環境友好，更具有可操作性，也可以將其看做是綠色經濟的實現途徑。

低碳經濟或者說低碳發展的主要目的是應對氣候變化、減少溫室氣體排放，它是綠色經濟的一個重要組成部分。低碳發展要求實現產業、生活消費和能源的低碳化，減少經濟發展中的溫室氣體排放。從減少碳消耗、提高能源利用效率、減少碳排放的角度來看，它是發展循環經濟的一個具體途徑。同時，發展循環經濟包括所有自然資源的珍惜使用和所有廢棄物、污染物的減少排放，是推動低碳發展的有效途徑之一。

總之，綠色經濟、循環經濟和低碳經濟在本質上和指導思想上是完全一致的，只是針對具體問題，側重點和關注的領域有所區別。目前，我國已進入全面建設小康社會的關鍵時期，如何突破經濟增長的資源環境瓶頸，保持國民經濟持續、快速、健康發展，已經成為我國經濟發展面臨的重大問題。

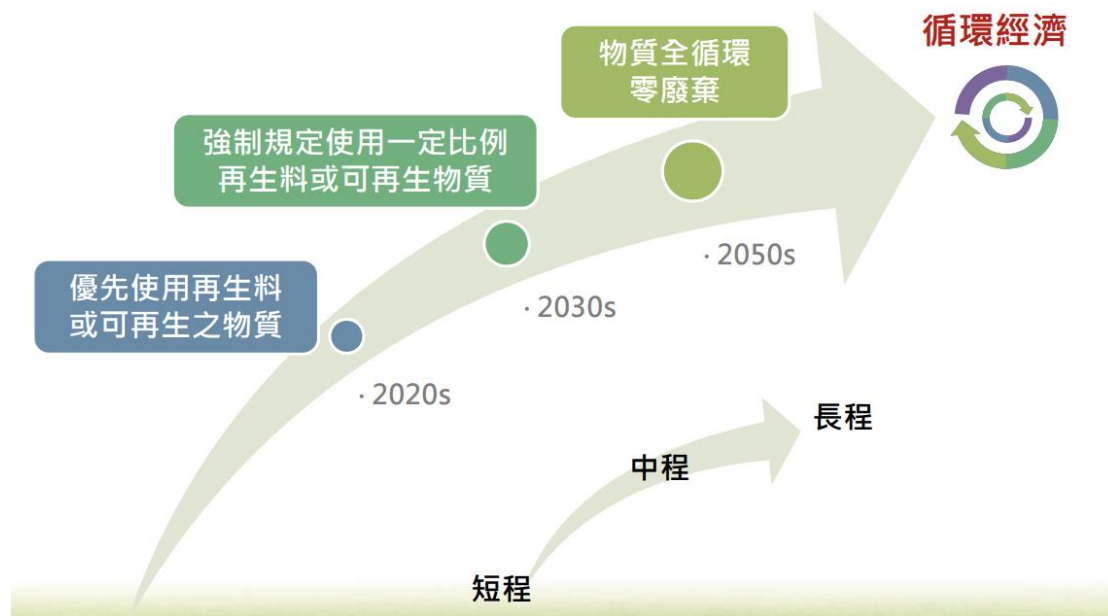


圖 2 台灣 2020-2050 循環經濟政策

資料來源：賴瑩瑩，推動循環經濟－廢棄物資源化簡報(2018)，行政院環境保護署 廢棄物管理處

2.3 黑水虻循環經濟

黑水虻(Black Soldier Fly)原產於南美洲，是一種食腐性昆蟲，近年被視為推動「永續農業」的重要角色。其幼蟲靠吃廚餘、動物糞便、動植物屍體等腐爛有機廢棄物維生，可將有機廢物轉化為富含脂肪和蛋白質的有價值生物質，且過程對環境友善，因此萃取其中蛋白質、脂質及幾丁質加以利用。換言之，牠在解決環境污染的同時，又創造了經濟價值，締造了一個完整的循環經濟系統。

2.3.1 生長特性

黑水虻生命週期最短只有 28 天，最長可達 280 天，適合生長在北緯 45 度到南緯 40 度這個溫暖的地帶，卵孵化成蟲後會一直吃東西，以

廚餘、動物糞便、動植物屍體等有機物質為食，最終可以長大 4,000 倍，育蛹期前的成蟲每隻重量大約 0.2 公克，而 5,000 隻成蟲可以達到 1 公斤的重量。卵的孵化期大約 3~4 天，而幼蟲的成長週期則有 18 天左右，經過 4 天左右的蛹期，黑水虻便會羽化為成蟲；而黑水虻成蟲僅剩 5 至 7 天左右的生命。羽化之後的黑水虻將不再進食，僅靠「水」維繫生命，此時，牠唯一的工作就是交配與產卵。

2.3.2 昆蟲蛋白飼料應用

由於世界人口不斷的增長、隨著經濟發展、更高的消費能力和不斷變化的消費者偏好，估計未來全球農業生產含畜產品等的食物需求將大幅增加，尤其人口眾多的中國與印度以及非洲等發展中國家，未來的肉類需求量估計是逐年 1.9% 的增長，如何因應肉類消費所帶來擴增動物飼料消耗所引發的複雜問題，成為全球性的議題。

聯合國糧農組織 (The Food and Agriculture Organization, FAO) 和荷蘭 Wageningen University and Research Centre (WUR) 於 2013 年出版「Edible insects: future prospects for food and feed security (食用昆蟲:糧食和飼料安全的未來前景)」，指出 2011 年的世界飼料總產量達 8.7 億公噸，全球商業飼料產值約為 3,500 億美元，其中飼料為畜牧生產最重要的成本，占總成本 70%，這當中又以蛋白質成分的成本最高，並預期至 2050 年飼料總產量必須增加 70% 才能養活全世界，由於動物和魚飼料主要原料為魚粉、魚油、豆粕和其他幾種穀物 (FAO 2013)，截至 2020 年全球飼料的總產量已達 11.88 億公噸，其中最大的增長來自肉雞、豬、水產和寵物飼料行業(林盈甄, & 莊凱恩, 2021)。如此大量的成長需求，因此黑水虻能將大自然

可以腐食物質轉換為高單位的昆蟲蛋白，這將會是未來的地球生物極佳蛋白質的替代選擇。

而行政院農委會法規如圖 3 及圖 4，規範水分含量 13% 以下黑水蛇蟲乾貨蟲粉可提供為禽類與水產飼料添加來源，黑水蛇的養料來源不再限制為植物性。



正 本

檔 號：
保存年限：

行政院農業委員會 公告

發文日期：中華民國110年7月15日
發文字號：農牧字第1100042788號



主旨：預告修正「可供給家畜、家禽、水產動物之飼料」第二點。
依據：行政程序法第一百五十一條第二項準用第一百五十四條第一項。

公告事項：

- 一、修正機關：行政院農業委員會。
- 二、修正依據：飼料管理法第三條第一項。
- 三、「可供給家畜、家禽、水產動物之飼料」第二點修正草案如附件。本案另載於本會全球資訊網站(網址：<https://www.coa.gov.tw>)。
- 四、對於本公告內容有任何意見或修正建議者，請於本公告刊登公報隔日起60日內陳述意見或洽詢：
 - (一)承辦單位：行政院農業委員會畜牧處。
 - (二)地址：臺北市中正區南海路37號。
 - (三)電話：(02)2312-5829。
 - (四)傳真：(02)2381-7566。
 - (五)電子郵件：peimeichen@mail.coa.gov.tw。

主任委員 傅喜仲

第1頁 共1頁

圖 3 行政院農業委員會農牧字第 1100042788 號公告

修正規定	現行規定	說明
<p>2.動物性飼料</p> <p>2.1 乳製品</p> <p>2.1.1 乳粉</p> <p>2.1.2 乳清</p> <p>2.1.3 乳糖</p> <p>2.1.4 乳蛋白製品</p> <p>2.1.5 發酵產物</p> <p>2.2 血粉、血漿粉、血漿蛋白、濃縮副產物，限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.3 家畜、家禽之肉塊、肉粉、肉骨粉、骨粉、油粕及其他副產物，限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.4 家畜、家禽、水產動物油脂。但家畜、家禽油脂限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.5 蛋粉及其他副產物</p> <p>2.6 水解產物</p> <p>2.7 水產動物與其加工產品及加工副產物</p> <p>2.8 發酵產物</p>	<p>2.動物性飼料</p> <p>2.1 乳製品</p> <p>2.1.1 乳粉</p> <p>2.1.2 乳清</p> <p>2.1.3 乳糖</p> <p>2.1.4 乳蛋白製品</p> <p>2.1.5 發酵產物</p> <p>2.2 血粉、血漿粉、血漿蛋白、濃縮副產物，限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.3 家畜、家禽之肉塊、肉粉、肉骨粉、骨粉、油粕及其他副產物，限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.4 家畜、家禽、水產動物油脂。但家畜、家禽油脂限使用於反芻動物以外之家畜、家禽或水產動物</p> <p>2.5 蛋粉及其他副產物</p> <p>2.6 水解產物</p> <p>2.7 水產動物與其加工產品及加工副產物</p> <p>2.8 發酵產物</p>	<p>一、為符合產業實務所需，增列水蚯蚓為可使用之型態，惟為確保飼料品質並為避免動物疫病傳播，仍應有如加熱乾燥等病原不活化的處理過程，爰配合增列水分含量之限制。</p> <p>二、另參酌歐盟 COMMISSION REGULATION 2017/893 條例內容，除植物性來源外，尚有魚粉等 10 種動物性原料，經查亦為本公告 2.動物性飼料之範疇，且廚餘於我國，經向直轄市、縣（市）環境保護主管機關申請核准後，即可再利用作為飼料或飼料原料，又目前黑水蚯在處理（再利用）廚餘等類物質的效果良好，爰為配合國家發展循環經濟，調整水蚯飼養基質不限於植物性飼料。</p>

圖 4 行政院農業委員會農牧字第 1100042788 號公告內文

行政院農委會畜產試驗所梁世祥助理研究員，分析黑水虻做為飼料的利益。

表 1 黑水虻做為飼料的利益

項目\物種	公土雞	仔豬	石斑魚	白肉雞	銀鱸魚	白蝦	泰國蝦
執行年度	2016	2017	2017	2018	2019	2019	2020
產品	育蛹粉	預蛹粉	育蛹粉	幼蟲粉	全脂 or 脫脂幼蟲粉	幼蟲粉	脫脂幼蟲粉
取代魚粉	100%	50 or 100%	20-60% 魚飼料	50 or 100%	20-40%	20%	20-60%
飼料轉換率	相當	相當	相當	相當	相當	相當	相當
節省飼料成本 (N.T./kg)	0.75-1.5	0.75-1.5	6.42	0.75-1.5	0.5-1	0.5	0.5-1.5

資料來源：行政院農委會畜產試驗所梁世祥助理研究員

2.3.3 減碳效益

全球每年浪費的食物可能多達 1/3 的比例、重量估計達到 13 億噸的食物。減少全世界的食物浪費對於減緩氣候變遷問題將會有極大的幫助。因為廚餘產生的溫室氣體佔全球排放總量居於第 7 位，全球廚餘的溫室氣體排放約為 33 億噸，如果全是出自單一國家，這個國家就會成為全球第 3 大汙染國，僅次於中國和美國(黃維德，2016)，以桃園市為例 108 年廚餘處理費 1.79 億元，處理 45,260 噸廚餘 (124 頓/日，處理費 3,900 元/噸)，而處理費用由於工資及物價波動造成逐年上漲趨勢，因此處理廚餘並轉化成飼料提供來源，將會是未來的一個新興產業，良好的規劃將會是一個好的投資項目。台灣家庭廚餘每年產出大約 50 萬公噸左右 (行政院環保署環保統計查詢網站，網址：<https://stat.epa.gov.tw/>)。2020 全台廚餘產生量高焚化量能減、掩埋量增，2020 年台灣首度迎來人口負成長，但廢棄物卻未減量。環保署統計，2020 年全台一般廢棄物總量 986 萬 9675 噸，為有統計以來的新高。2020 年一般廢棄物總量較 2019 年成長約 0.5%，增加了 5.7 萬

噸；當中可再細分，約有 53%為資源垃圾、41%一般垃圾、5%廚餘。廚餘的年成長率更是高達 6.3%，平均每人一年產生 22.2 公斤的廚餘與 417 公斤的一般廢棄物。（孫文臨，<https://e-info.org.tw/node/230486>）。台灣環保署統計，一般垃圾約含有 1/3 以上的廚餘，目前每年廚餘產生量約 50 萬噸，以往廚餘可以養豬，去化問題不大。2019 年起為防止非洲豬瘟擴散禁止廚餘養豬，很多廚餘混入焚化爐燒掉，導致空污、戴奧辛及重金屬等嚴重問題。行政院環保署統計民國 109 年全年廚餘回收重量為 529,566 噸如下圖：

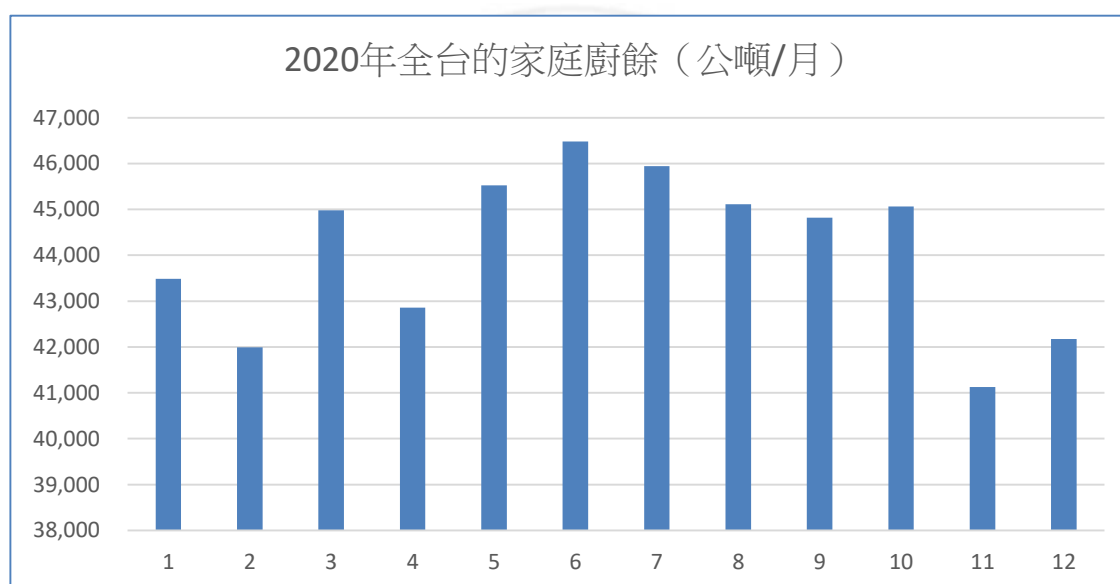


圖 5 109 年全年廚餘回收每月重量

資料來源：行政院環保署環保統計網（網址：<https://stat.epa.gov.tw/>）

以桃園市為例，2019 年 4 月開出了總金額 1.79 億元，委託處理 45,260 噸廚餘的標案，該案規範投標廠商必須採用生物處理方式來處理廚餘，可以透過飼養蚯蚓、黑水虻及蟑螂等昆蟲生物來處理廚餘，並且將處理後的廚餘再利用成為培養土，因此每噸的處理費用為 3,954 元（呂國禎，2019），依行政院環保署 2019 年全台廚餘統計量算出的縣市

政府處理費用經濟規模達新台幣 20 億元，除此之外再加上農業廢棄物以及各式食品加工廠等生質廢棄物市場處理的整個經濟規模超過新台幣 50 億元以上。

採用 IPCC 排放指南計算焚化、養豬、堆肥及厭氧消化方式處理或回收 GHGs 排放量，求得排放量由高至低分別為焚化 6.9772Gg、養豬 3.8897Gg、堆肥 2.3419Gg、厭氧消化 0.6549Gg。黑水虻處理一噸廚餘產生 12 公斤的碳排放（[天下雜誌 CSR@天下 2021.05.27](http://www.csr.com.tw/article/42006)，<https://csr.cw.com.tw/article/42006>）。此外，黑水處理生質廢棄物幾乎零碳排，廚餘再利用處理的碳排放最低如圖 6 廚餘各種處理方式之碳排放。

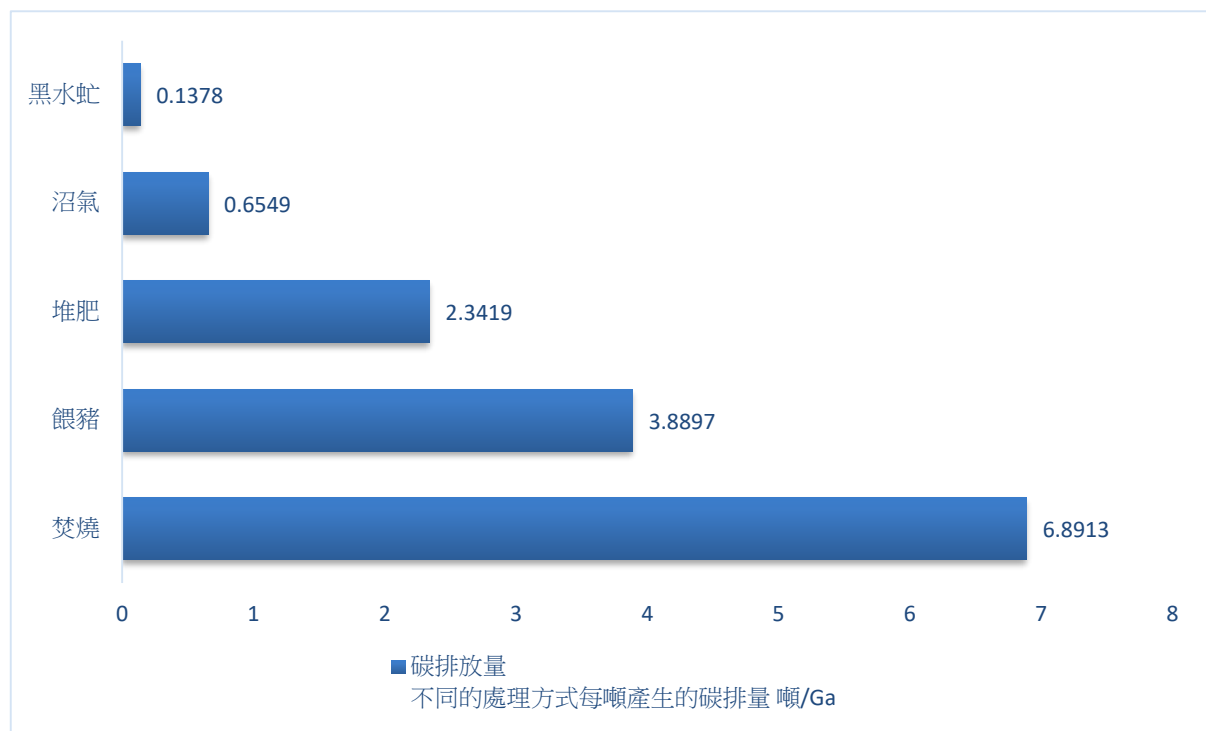


圖 6 廚餘各種處理方式之碳排放

資料來源：陳鴻烈、廖英洲、許振峯、周孟融（2012）

第三章 研究方法

本研究目的為農場內建立黑水虻的循環經濟模式：收取豆腐工廠豆渣廢棄物餵養黑水虻後，作為農場內飼養的雞隻蛋白質來源添加；而雞隻生產的雞蛋透過品牌建立於市場進行推廣與銷售；朝向建立一個標準廚餘、黑水虻、雞隻、雞蛋的循環經濟模式，進行實作研究。

3.1 研究流程與地點

3.1.1 研究流程

本研究流程由認識黑水虻開始，準備養殖的設備與環境控制裝置。開始進行養殖後，針對黑水虻的成長以及繁殖產卵的情況，進行環境控制的調校，以達到完整黑水虻循環經濟模式，研究流程如圖 7 黑水虻循環經濟模式研究流程。

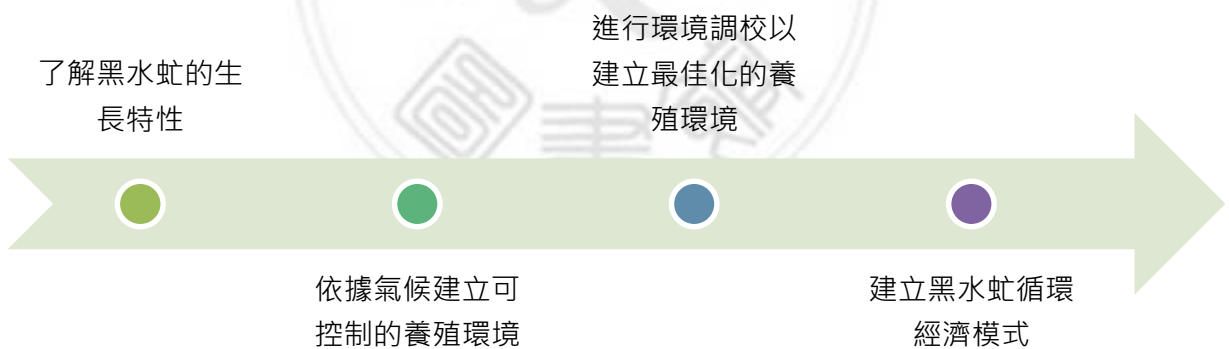


圖 7 黑水虻循環經濟模式研究流程

3.2. 研究地點

本研究場域『青泉谷友善永續農舍』如圖 8 研究地點，新北市瑞芳區介於基隆交界，與四腳亭火車站 1.2 公里，高速公路交流道口 3.9 公里，交通方便且無任何大型工業廠房，是非常適合進行無污染飼養或種植的環境，Google 地圖紅線圈起來位置為青泉谷友善永續農舍的所

在地；唯獨地處臺灣北端氣候秋冬季多雨，濕度高氣溫較低，因此必須要有相對可環控的設施或環境來進行。

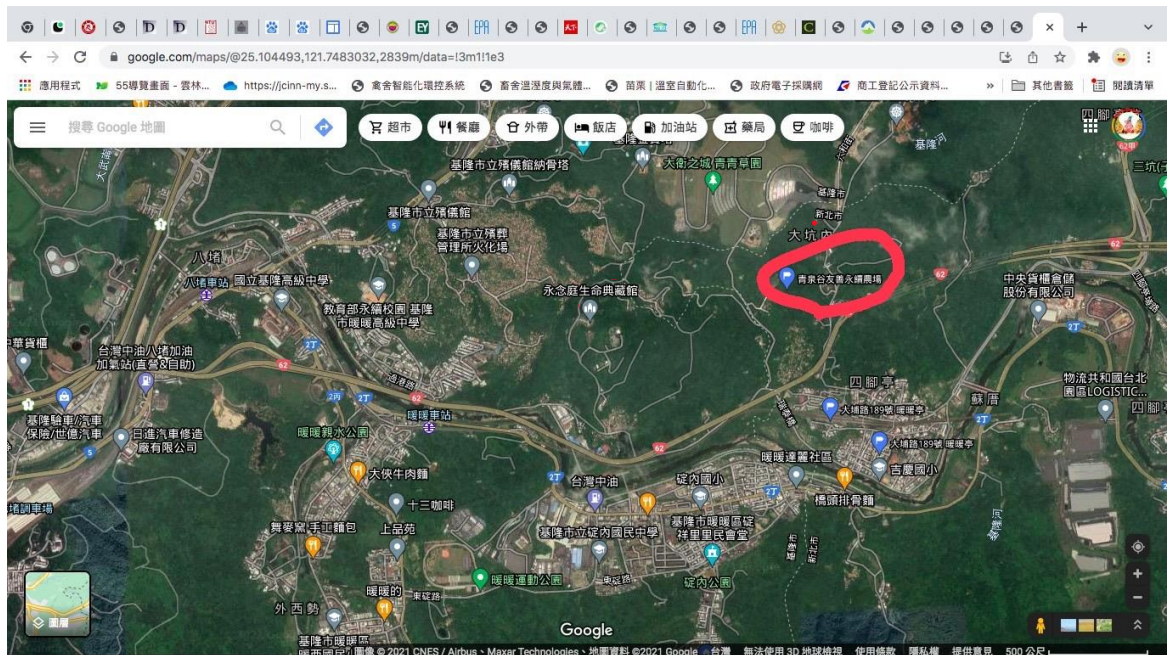


圖 8 研究地點

農場地點在新北市瑞芳區，位於臺灣東北角，屬於典型東北季風的影響地域，使得氣候上終年有雨、雨日長的濕潤多雨特徵，雨量分佈冬季佔七成，夏季佔三成，冬季以綿密長久的陰雨天著稱，從每年十月底延續到次年三月中旬；而平均年雨量大約四千公釐，為典型的冬雨區，如圖 9 瑞芳地區 2020 年相對濕度。夏季的西南季風由於南邊的山嶺阻隔，所以感覺不是很明顯，倒是陸地與海洋的相接，因受陽光照射吸熱及輻射散熱的溫差效應，使得農場周遭夏季的氣溫比北部較內陸地區稍低，感覺較涼爽。夏天雨量的主要來自颱風，有時會有雷陣雨，梅雨及鋒面雨的量較小，降雨的強度則以颱風帶來的雨量最強。氣溫冬季平均為攝氏十五度，夏季為攝氏二十八度，但冬天因為東北季風影響而風大且潮濕，所以會感覺更冷，夏天因為山風海風的吹拂，使得晴朗炎熱的天氣涼爽不少，形成冬夏兩季節在氣溫及濕度感受上的強烈對比，如圖 10 瑞芳地區 2020 年溫度紀錄表。

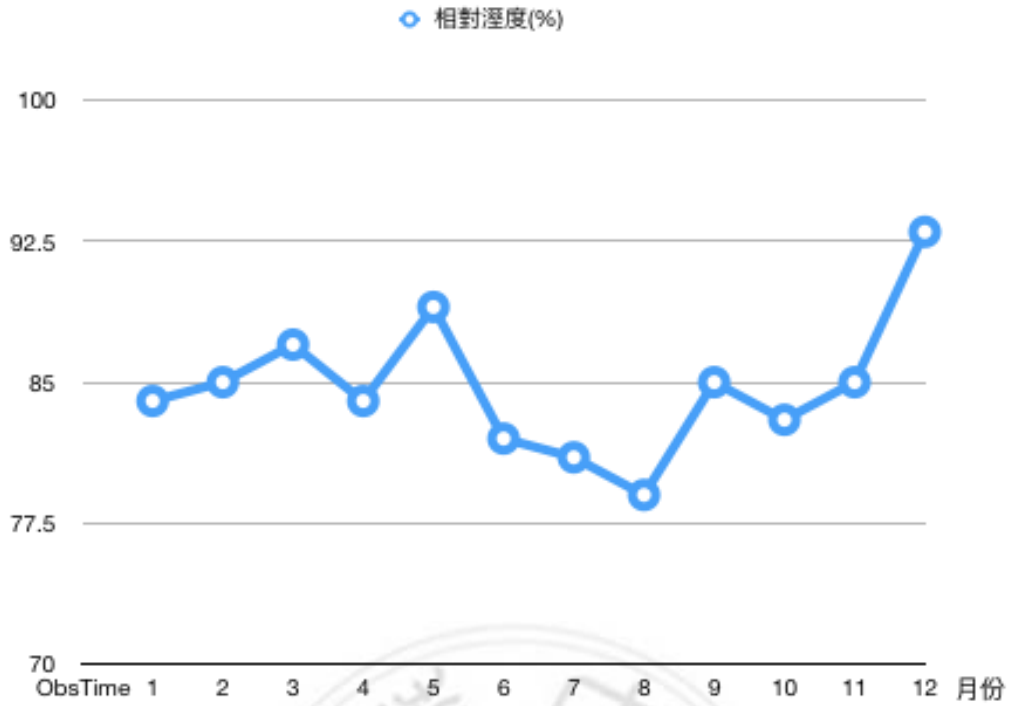


圖 9 瑞芳地區 2020 年相對濕度

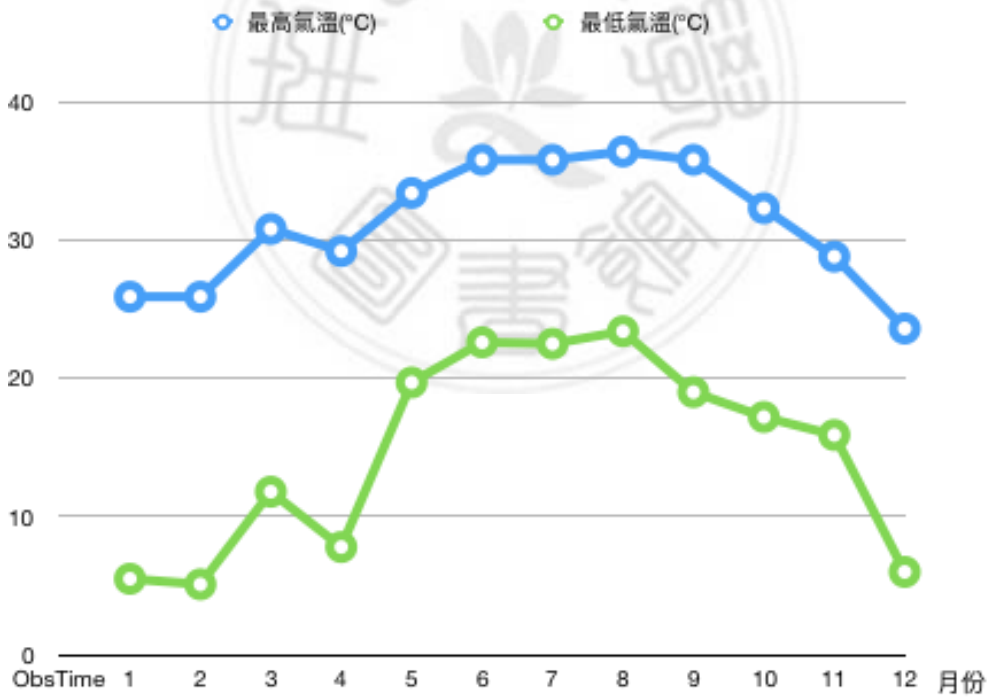


圖 10 瑞芳地區 2020 年溫度紀錄表

3.2 黑水虻生長環境營造

3.2.1 黑水虻生長特性

黑水虻從孵化到成蟲有四個階段，如圖 11 黑水虻生活史，每個階段都有其喜好的生物特性。

雷明港(https://www.sohu.com/a/440085501_787192)認為黑水虻成蟲繁殖的適宜溫度是 28°C，從收穫到預蛹這段時間約為 20 天左右，並且在 15°C 的低溫條件下，黑水虻的卵無法孵化，幼蟲全部死亡，預蛹死亡率高達 80.9%，總體成活率僅為 5%，而當溫度高於 33°C 以上時，則會導致黑水虻各階段死亡率為 100%。姬越等研究發現，在 28°C 條件下幼蟲階段的發育參數能夠達到最優，而成蟲羽化率對溫度適應範圍較為寬泛。相對濕度方面，70%~75% 的相對濕度最適合黑水虻的繁殖。該研究者證明了相對濕度為 70% 更適合黑水虻的生長發育。因此黑水虻的生繁殖環境最佳情形是在 28°C 和 75% 相對濕度。

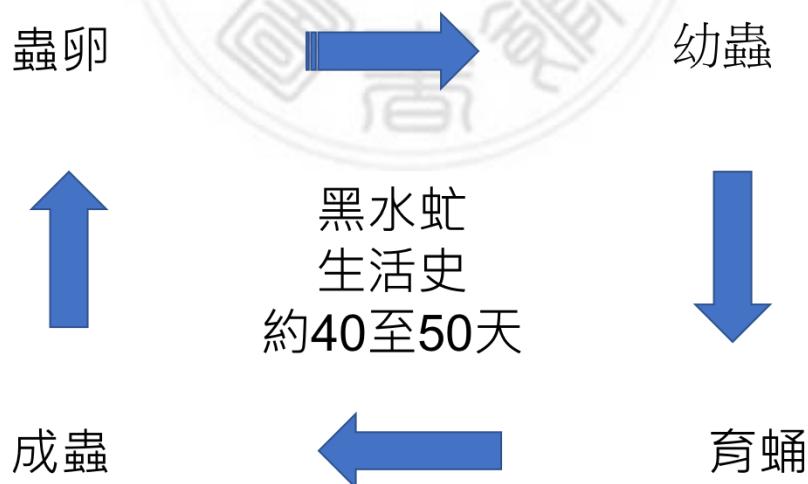


圖 11 黑水虻生活史

3.2.2 生長棲地營造

黑水虻生長發育的適宜溫度，溫度過低黑水虻幼蟲取食量減少，影響其生長發育，低溫時成蟲不產卵；溫度過高可導致黑水虻幼蟲停止取食；因此本研究將在農舍內建立起一個可以控制的養殖環境。

1. 設置可保溫的環境

本研究採行設置 20 呎保溫貨櫃兩只，分別作為繁殖與養殖使用。



(a) 貨櫃正面



(b) 貨櫃背面



(c) 貨櫃內側

圖 12 黑水蛇生長貨櫃

2. 貨櫃內進行防蟲隔網

貨櫃內進行防蟲網佈置，目的讓黑水虻成蟲在一個可控可管理的區域內活動，避免管理人員進出操作或是其他因素造成往外飛出無法控管。



圖 13 貨櫃繁殖區防蟲網架設

3. 模擬日照燈光建置

從 Tomberlin 和 Sheppard 於 2002 年的研究觀測，發現成蟲飼養於 22°C 以上的條件時，光照強度與交配的數量成正比，當光照強度低於 63 日照時，沒有觀察到交配行為；而光照強度大於 200 日照時，交尾行為可達 75%。依觀測紀錄分析，時間區段與交配成負相關性。大自然仍為生命最好的孕育溫床，太陽光下的黑水虻成蟲交配率高，若遇陰雨天可以依植物燈補充光照，由此可見，黑水虻規模飼養，最經濟效益的照明還是太陽光。黑水虻最佳溫度 25°C-32°C，空氣相對濕度 60%最宜，大量黑水虻成蟲既會進行交配，待交配 2-3 天後，自

可收得數量豐碩的有效蟲卵（黃，2008），因此本研究採用的模擬日照 LED 燈如圖 14 模擬日照 LED 燈，規格如下

- (1) 防水投射燈 Black Soldier Fly Breeding LED 系列
- (2) 色溫：4000K 系列+UVA 系列
- (3) 功率因數 Pf : >0.90
- (4) 防護等級：IP65
- (5) 工作電壓：85-265V 恆流驅動
- (6) LED 功率：50W/100W/150W
- (7) 亮度/W：4000K>110 lm/W
- (8) 燈具照明角度 180~220 度。

使用交流寬電壓, 恆流驅動, 恆定工作電流.

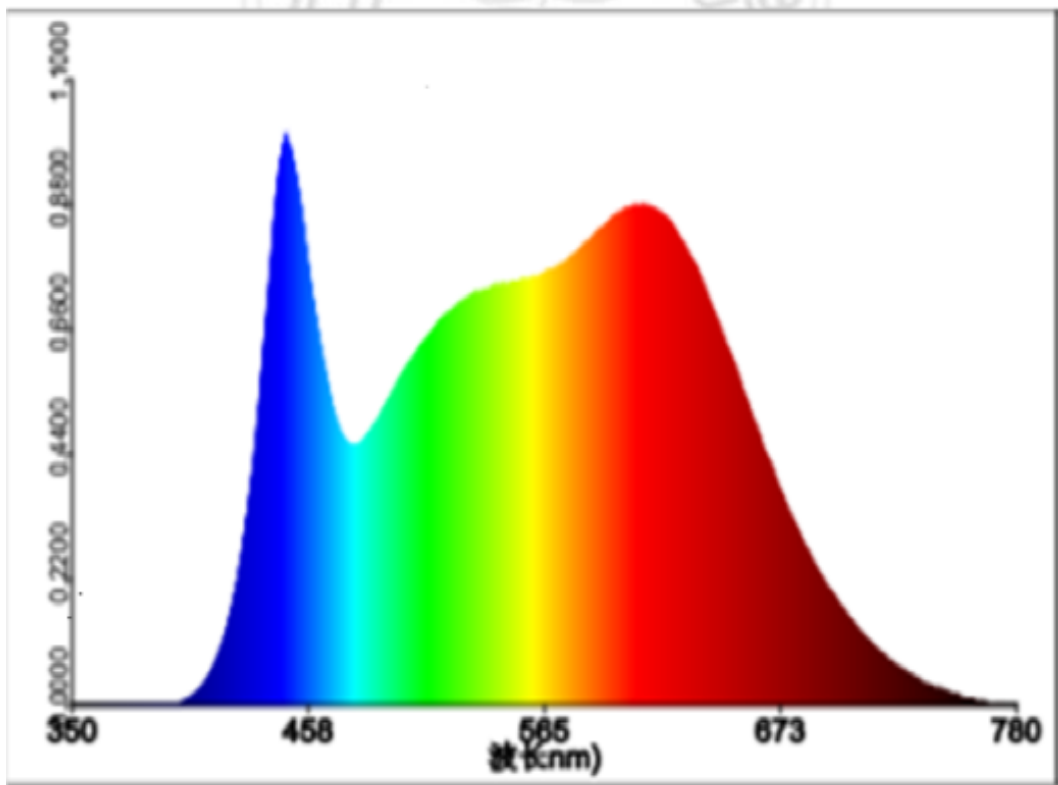
- (9) 光譜設定說明: 藍光吸引向光性, 紅光誘發性成熟. UV 模仿自然界太陽光. 綠光模仿自然界反射光.



(a) BSF 專用 LED 燈正面



(b) BSF 專用 LED 燈背面



(c)BSF 專用 LED 燈光譜



(d)繁殖區模擬日照LED燈光架設

圖 14 模擬日照 LED 燈

4. 環境控制與數據收集控制設備建置

貨櫃設置擺設定位後，分為養殖區以及繁殖區如下表所述的設置。

表 2 表青泉谷友善永續農舍黑水虻養繁殖單元

項目	養殖區	繁殖區
作業空間	20 呎保溫貨櫃 A	20 呎保溫貨櫃 B
燈光	一般照明	專用 LED 燈
傳感器	溫濕度 Sensor	溫濕度 Sensor
除濕機	V	V
電暖器	V	V
防蟲網	X	V
通風設備	變頻負壓風扇	變頻負壓風扇
層架	左右兩側	育蛹擺放區
控制箱	PLC+無線傳輸	PLC+無線傳輸

本研究兩座設施配線施作將溫濕度 Sensor 透過 Modbus 訊號線拉至區域入口處右方；而燈光、除濕機、電熱器以及變頻負壓扇控制電路一樣配線至入口處右方，線路集中於電控箱搭配 PLC 以及長距離無線傳輸

周邊，將控制與訊號集中於 PlusEDGE 軟體進行排程以及遠端作業，如圖 15 環境控制與數據收集電控盤建置



圖 15 環境控制與數據收集電控盤建置

5. 養殖區鐵架架設

本研究透過 20 呎保溫貨櫃進行黑水蛇的養殖與繁殖，為求量化所以規劃為養殖與繁殖分成 A、B 兩只貨櫃，而養殖區的空間要進行最大化養殖量，請鐵工廠訂製兩座層架擺放在貨櫃內，每座層架依人體工學最適宜高度建置四層，每層最多可以擺放七個 650 編號的密林盆。如圖

16 養殖區建置



圖 16 養殖區建置



第四章 結果與討論

本研究透過設置 20 呎保溫貨櫃，於新北市瑞芳區青泉谷友善永續農舍，建立一套模組可移動式黑水虻養殖與繁殖環境，由於本研究區域地處偏北，秋冬時序溫濕度不適宜養殖與繁殖黑水虻；本研究案透過環境溫溼度偵測與調控溫濕度的設備，成功繁殖並開始進入可以準量化生產階段。透過收取農場附近豆腐豆漿工廠的豆渣廚餘，供給貨櫃內養殖的黑水虻的幼蟲，養殖出來得幼蟲除了繼續進行繁殖外，並提供給農舍內的雞隻作為飼料蛋白質以及幾丁質營養來源；而產出的雞蛋用自有品牌『青泉谷』生成了一套循環經濟創新商業模式。

4.1 生長營造分析

本研究添購兩只的 20 呎保溫貨櫃進行改裝，拆除貨櫃內的所有設備，區分養殖區以及繁殖區。養殖區裝置密臨盆堆疊使用的鐵層架，改裝加上變頻負壓風扇，並裝設溫濕度傳感器，增加可控制電源提供給除濕機與電熱器使用，完成監測單元與控制單元的控制盤安裝即開始養殖；而繁殖區則加裝防蟲網以及養蟲的專用模擬自然光的 LED 燈光。

1. 完成模組式的黑水虻養繁殖環境並進行環境監控



圖 17 青泉骨友善永續農舍



圖 18 保溫貨櫃建置可調節溫濕度裝置



圖 19 黑水蛇養殖貨櫃左邊為養殖櫃，右邊為繁殖櫃



圖 20 貨櫃內黑水蛇養殖情形



圖 21 黑水蛇養殖區



圖 22 黑水蛇繁殖貨櫃區



圖 23 黑水蛇貨櫃內繁殖交尾情形

2. 環境數據與設備中央控制

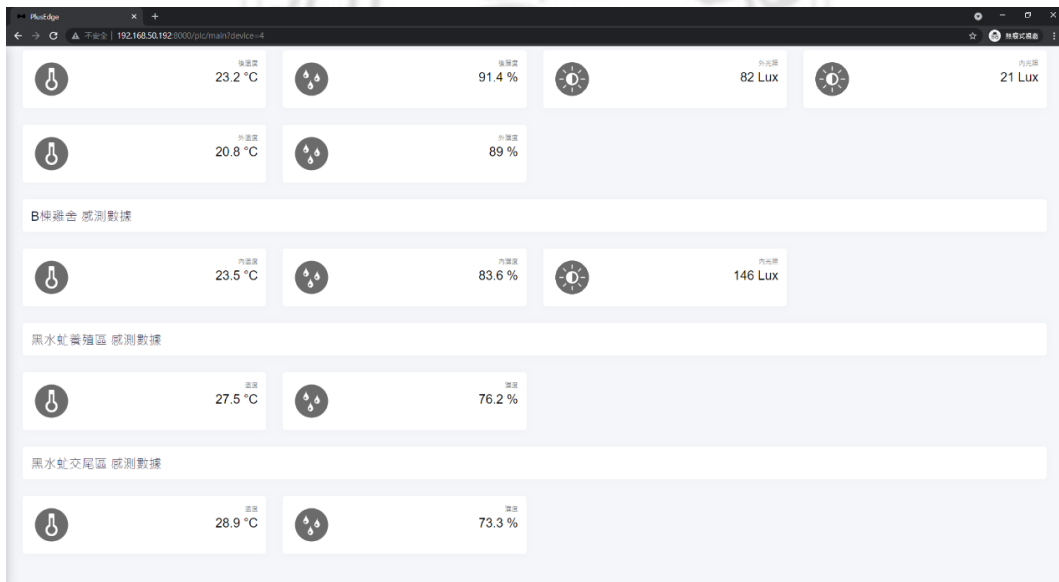


圖 24 青泉谷友善永續農場環境中控畫面

黑水虻養殖溫度監控趨勢圖

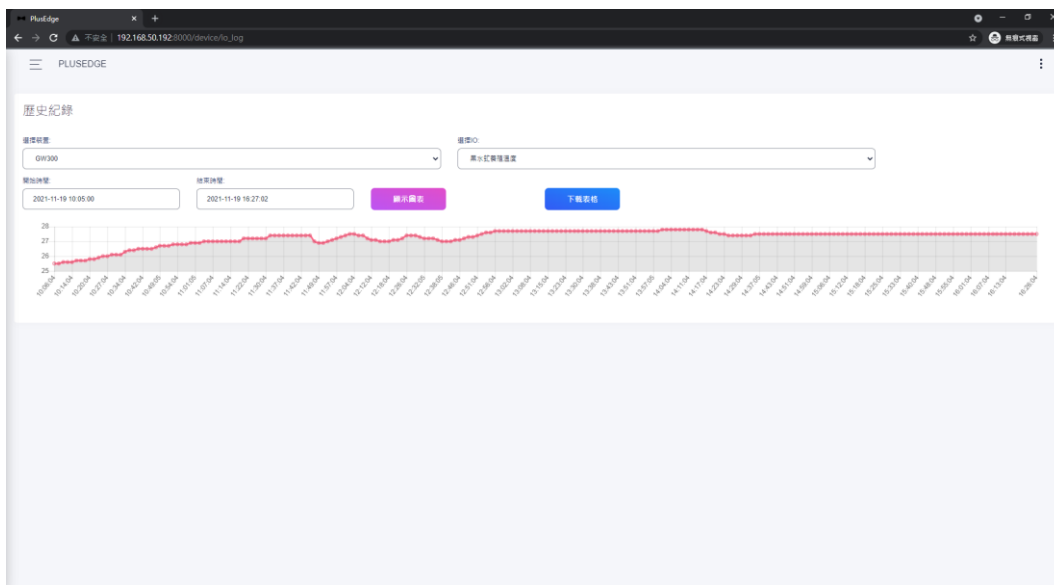


圖 25 黑水虻養殖溫度監控趨勢圖

黑水虻養殖濕度監控趨勢圖

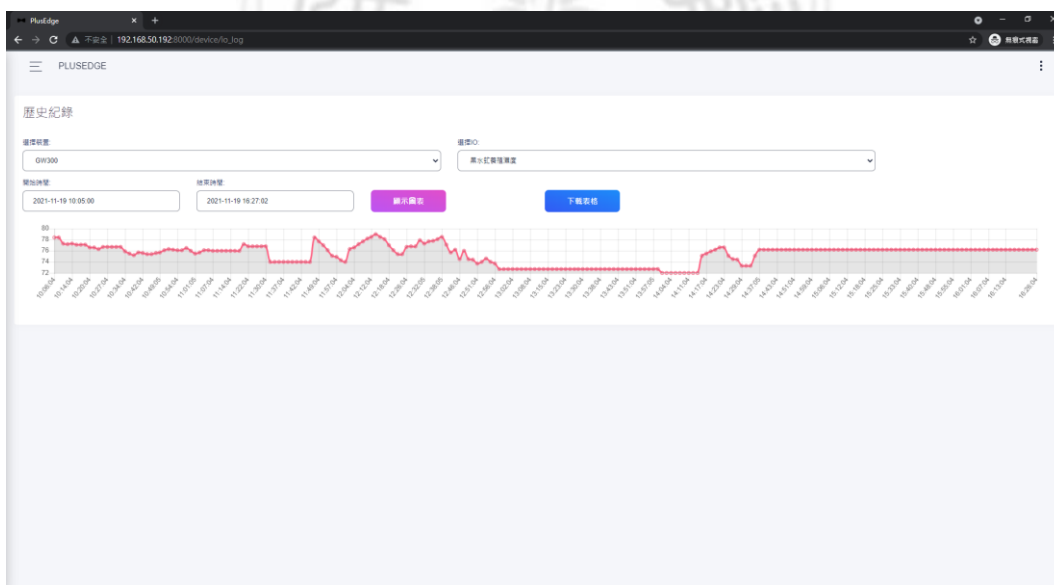


圖 26 黑水虻養殖濕度監控趨勢圖

3. 貨櫃內養殖成果紀錄



圖 27 貨櫃內繁殖產出的蟲卵



圖 28 集中的卵孵化第一天



圖 29 豆渣養殖五天的黑水蛇幼蟲



圖 30 豆渣養殖 10 天的黑水蛇幼蟲

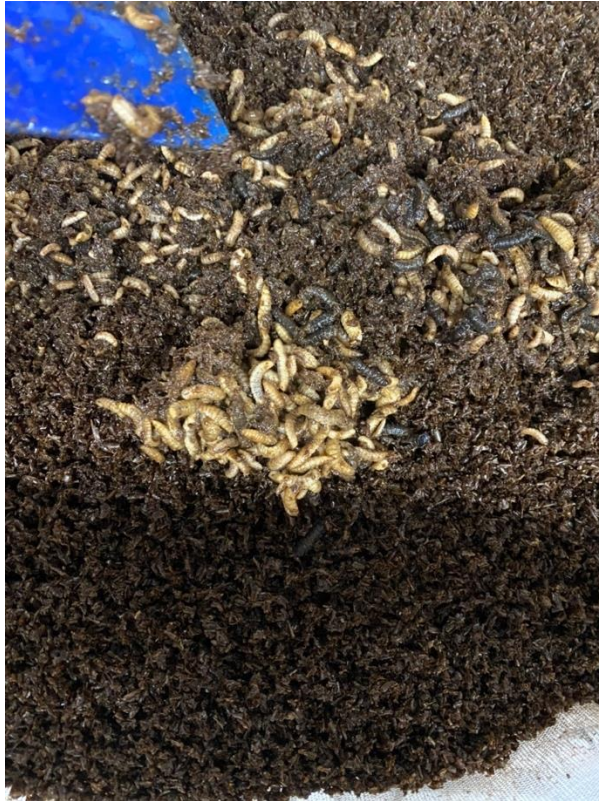


圖 31 變黑準備進入育蛹期



圖 32 移動式繁殖區的黑水虻成蟲

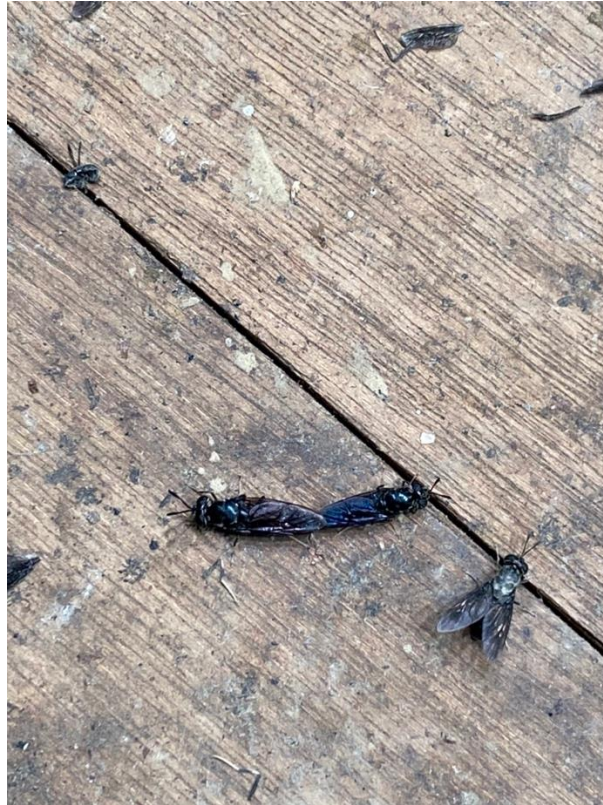


圖 33 移動式繁殖區的黑水蛇成蟲進行交尾

本研究完成一個可以維持並可透過控制的環境進行黑水蛇飼養繁殖。因此本研究環控系統控制貨櫃內的最佳溫度以及濕度，並且搭配模擬自然光的 LED 燈來進行最佳光照時間。

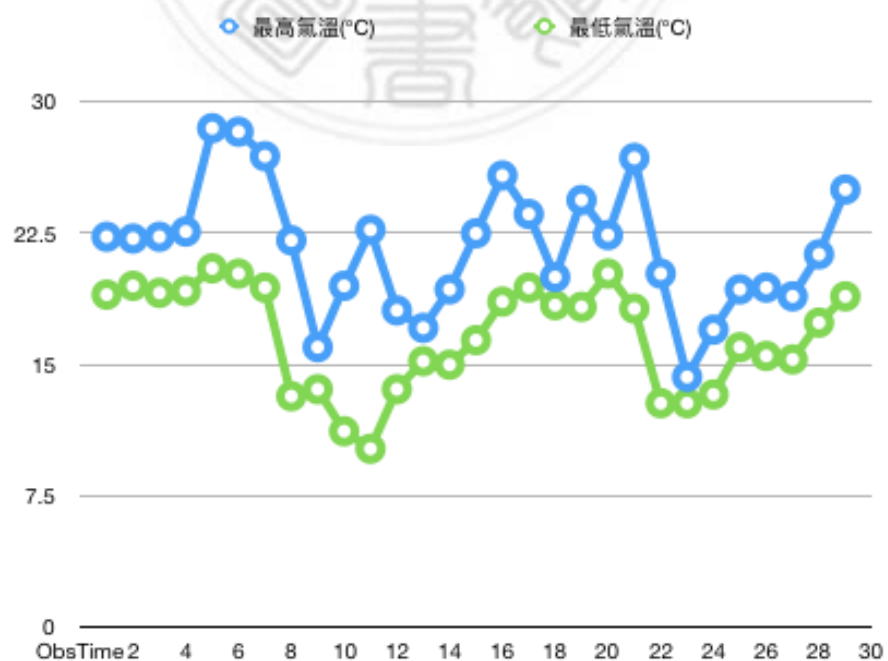


圖 34 2021 年 11 月瑞芳地區中央氣象局溫度紀錄表

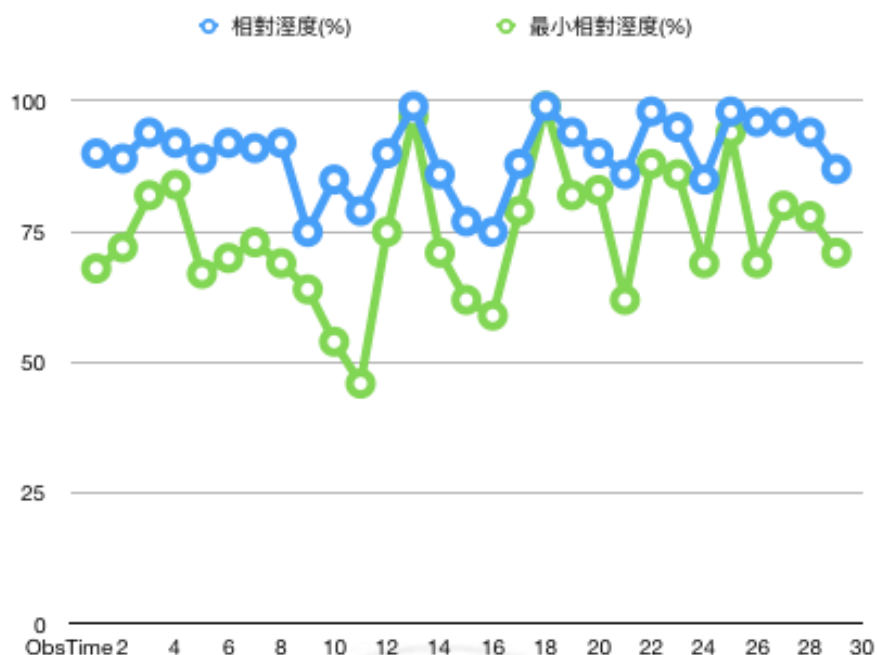


圖 35 2021 年 11 月瑞芳地區中央氣象局濕度紀錄表

本研究於 2021 年 11 月份的全豆渣養殖下，黑水虻的繁殖區每天可以收集 1 至 3 公克蟲卵，由此得知在密閉的保溫貨櫃內，燈光與溫濕度調配的宜，黑水虻依舊可以進行繁殖。養殖產出的黑水虻除了留下 5% 繼續進行繁殖。其餘的幼蟲作為農舍內雞隻飼料的蛋白質添加使用。

於畜牧場內建立廚餘餵養黑水虻養殖環境，將黑水虻轉換成農場內養殖飼料的蛋白質添加來源，建立養殖環境過程中研究出最佳處理方法。

4.2 黑水蛇食物鏈

1. 黑水蛇本身的高蛋白等成分讓雞隻產出的蛋提供雞蛋的品質。



圖 36 農舍內放牧的雞隻吃黑水蛇的情形



圖 37 濃稠蛋白與蛋黃的外觀呈現受到肯定

2. 農舍的雞蛋包裝與品牌

青泉谷 優質放牧雞蛋



圖 38 農舍雞蛋的型錄售價

產出的雞蛋採農舍的自有品牌進行銷售，售價符合平飼放牧友善養殖的價格 10-20 元區間，採取店舖，直銷還有網路平台三個方向進行推廣。店舖：



圖 39 青泉谷友善永續農舍雞蛋的銷售店舖之一

直銷：



圖 40 青泉谷友善永續農舍雞蛋的社團直銷

網路平台：



圖 41 青泉谷友善永續農舍雞蛋的網路平台直播銷售

4.3 黑水虻循環經濟效益評估

黑水虻可達到減碳環保又具備經濟效益，驗證可行性後形成具有循環經濟意涵的蛋雞養殖場的新農業模式。黑水虻的養殖效益如下圖：



圖 42 黑水虻處理的經濟效益

本研究將效益分為處理廚餘利潤分析及養殖雞隻效益，成本為廚餘處理費、養殖雞隻費及行銷費。

4.4 處理廚餘利潤分析

目前農舍每週載運豆腐工廠的豆渣六次約為 7.2 噸，每年約可以消耗 375 噸的豆渣，50%提供給場內的蛋雞做為基礎飼料的提供，另外的 50%為飼養黑水虻的養料來源，倘若申請具有環保清運以及再利用處理資質，則可以收取相關廢棄物清運費，若採桃園市政府的 3,900 元預估， $375 \text{ 噸/年} \times 0.39 \text{ 萬元} = 135 \text{ 萬元/年}$ 。而 50%的豆渣可以年產出約為 47 噸的鮮蟲，與 43 噸的蛇炭以及黑水虻的蟲卵 3.65 公斤，不含場域租金預估一年可以損益兩平，一年之後便可以開始收益。倘若處理量能提升也就是養蟲的數量增加，後續的經濟效益可預期，另外可以完成其他的經濟效益：

- 蟲體蛋白作為飼料的添加
- 蟲糞等殘留物可以做為土壤基質材料
- 蟲卵銷售可其他養殖業或環保處理業者

- d. 移動式養殖設備銷售或租賃
- e. 養殖輔導顧問以及碳交易研究

目前的日處理量約為 1.2 噸的豆渣，供應給黑水虻以及農場內的雞隻。

表 3 廚餘處理與黑水虻經濟效益表

(a) 支出表				
項目	成本/年	數量	小計	合計
貨櫃	250,000	2	500,000	2,740,000
貨車	600,000	1	600,000	
雜項設施			200,000	
人員	600,000	2	1,200,000	
油水電			240,000	

(b) 收入表				
項目	公斤	單價	小計	合計
清運及處理費	375,000	4	1,462,500	2,931,750
黑水虻鮮蟲	47,000	30	1,410,000	
黑水虻蟲卵	3.65	5,000	18,250	
黑水虻蟲碳	41,000	1	41,000	



處理費

每噸廢棄物處理費 3000~8000 元，因為非洲豬瘟及疫情影響物價飆漲，處理費也一直上漲中。



蟲卵&蟲粉

每噸蟲蛋白：6萬元
每噸蟲卵：500萬元



設備銷售

設備租賃每噸每天租金 3000 元，一噸級月租金 9 萬元



碳權交易

每噸碳排 40~80 美元
每處理一噸的廚餘比焚化方法可獲 0.39 噸碳權 468~936 台幣 (均值 700 元)

圖 43 黑水虻產業利潤分析

4.5 市場擴展計畫

示範農場以智能化方式省工省時方式，建立一套標準的獲利模式。導入黑水虻昆蟲工場上游蟲卵的需求缺口，確保後續推廣過程中蟲卵能

穩定供應。推廣到租賃加盟市場，將這套模式對外擴產，加大市場市佔率。以國家隊型式提供國際蟲粉、蟲油需求，同時投入碳權交易的認證。



圖 44 黑水蛇養殖市場擴展計畫

第五章 結論與建議

5.1 結論

黑水虻養雞可以減少廚餘，轉化為有用物質，減少廢棄物，因此本研究建立黑水虻循環經濟模式，首先完成養雞食物鏈的模式，於青泉谷友善永續農舍，建立養殖黑水虻環境，在台灣北部的冬天成功的讓成蟲交尾繁殖產卵，形成了生質廢棄物提供給黑水虻食物來源，而黑水虻的幼蟲成為農場內飼養雞隻蛋白質的補充來源，接著產出的雞蛋再進行包裝推展到市場銷售，同時以本案投資回收來看，一年即可損益兩平，成為成功之商業運作模式。

本案進行黑水虻養殖環境設備為一個 20 呎淘汰的保溫貨櫃，方便移動搬遷，因此在任何需要處理大量生質廢棄物的地點，或是需要昆蟲蛋白供給的養殖場域，都可以採行本研究模式快速建置，在該採用的單位或場域形成一個符合『淨零排放，世界永續』的循環經濟模式。

5.2 建議

極端氣候對環境的影響已經迫在眉睫，要達成「2050 淨零」是世界各國的宣示目標，為了降低碳排放量、解決溫室效應、極端氣候等問題，除了世界各國，各國際大型企業和環境組織也都關注這攸關人類生存的重要議題，生活中的廚餘、農業畜牧廢棄物以及各式食品加工等的有機廢棄物除了堆肥，發電以及焚燒外，還有更先進更經濟而且符合世界潮流的處理方式，就是建立『昆蟲工廠』來處理分解，由於政府的法規不夠明確，也沒有任何的獎勵投資措施，因此『昆蟲工廠』僅止於構想與概念中，還需要政府相關高層能夠重視這符合世界減少碳排放的趨

勢。尤其高度仰賴出口外銷賺取外匯的台灣產業中，更急需建立起符合淨零排放的產業生成。



參考文獻

1. Chang, C. L. (2018). 以液化澱粉芽孢桿菌發酵黑水虻蛹殼作為雞隻機能性飼料添加物之應用. 中興大學動物科學系所學位論文, 1-105.
2. 黃育徵. (2017). 循環經濟 (Vol. 70). Common Wealth Magazine Ltd.
3. 張淑貞, 李啟陽, 董耀仁, & 陳淑佩. (2021). (農業試驗所特刊第 234 號) 2021 昆蟲應用於動物飼料產業現況研討會專刊. 農業試驗所特刊第 234 號.
4. 賴泳卉. (2019). 循環經濟模式與案例探討. 中原大學國際經營與貿易研究所學位論文, 1-79.
5. 賴瑩瑩. (2018). 推動循環經濟 - 廢棄物資源化. 行政院 3587 院會簡報. 行政院環境保護署廢棄物管理處。
6. 林盈甄, & 莊凱恩. (2021). 昆蟲蛋白在養殖漁業的發展潛力分析. 農業試驗所特刊; 第 234 號.
7. 張麗琴, & 周煥銘. (2020). 以環保昆蟲應用於廚餘堆肥之創新運用. 文化創意產業研究學報, 10(3), 21-29.
8. 廖英洲. (2014). 以溫室氣體排放量評估廚餘最佳化處理方式之研究. 中興大學水土保持學系所學位論文,