

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

澎湖監獄黑水虻對廚餘處理之碳排放量研究

Study on the Carbon Footprint and Emissions of Black Soldier Fly
in Food Waste Management at Penghu Prison

邱勝飛

Sheng-Fei Chiou

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 112 年 6 月

June 2023

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

澎湖監獄黑水虻對廚餘處理之碳排放量研究

Study on the Carbon Footprint and Emissions of Black
Soldier Fly in Food Waste Management at Penghu Prison

研究生： 吳勝承

經考試合格特此證明

口試委員： 蔣正偉
陳嘉音
洪耀明

指導教授： 洪耀明

系主任(所長)： 周建明

口試日期：中華民國 112 年 5 月 26 日

誌謝

本論文的完成得益於許多人的支持和幫助，尤其我要感謝我的導師洪耀明教授，在我眼中他總有做不盡的事情，在百忙之中還要努力找出時間指導我提供我建議，讓我能順利完成這篇論文。教授不僅專業及知識淵博，凡有機會就努力精進自己，對待學生有教無類，教導時耐心細緻，在研究的路上給予了我極大的支持並適時的給予方向，讓我可以工作忙碌之餘，又能兼顧進度，縱然在職學習會覺得辛苦，但只要想到教授在百忙之中依然能夠不厭其煩的教導我，我便覺得受到了激勵，研究時不再懈怠，完成論文再回顧來看，讓我覺得一切的辛苦都是值得的。



摘要

黑水虻是一種環境友善的資源昆蟲，是自然界碎屑食物鏈中重要的一環，其不僅能快速處理畜禽有機資源物外，更能將之轉化為昆蟲蛋白做為動物性蛋白質替代飼料，用以取代豆粉或魚粉，而虻肥又可被應用做為天然的土壤改良資材，其改善耕地土壤普遍酸化，同時可以達成資源再生、農畜生產與環境保育的三個永續發展目標。許多研究驗證了黑水虻在處理有機廢棄物的優勢，甚至可取代傳統焚化爐之功能，同時我國政府有關單位更結合近年 2050 年淨零碳排之相關政策，將黑水虻生物處理系統（BIO-BSF System）」應用於降低碳排量等相關應用。

2050 淨零碳排是近年來許多國家針對溫室氣體抑制的首要目標，我國政府對此也採用了多種應對方式來追隨此潮流，本研究主要針對澎湖監獄黑水虻固碳之碳排量進行探討，因監獄所收容之受刑人人數眾多，造成每日廚餘量驚人，本研究將探討黑水虻於澎湖監獄中所帶來的效益及相關影響，其中將以黑水虻解決廚餘之成效結合碳足跡結果差異作為探討主軸，進以了解澎湖監獄在使用此種方式後，平均年檢二氧化碳量與碳吸收量，並與其餘方式(焚化、堆肥)進行溫室氣體排放量比較，並提出對於此技術應用於固碳排放之相關建議。

關鍵詞：黑水虻、淨零碳排、溫室氣體、碳足跡

ABSTRACT

Black soldier flies are an environmentally friendly resource insect and an important part of the natural debris food chain. They can quickly process organic resources from livestock and poultry and convert them into insect protein as an animal protein substitute for feed, replacing soybean meal or fish meal. Moreover, the resulting larvae can be used as natural soil improvement materials, which can improve the generally acidic farmland soil and achieve the three sustainable development goals of resource recycling, agricultural and livestock production, and environmental conservation. Many studies have confirmed the advantages of black soldier flies in processing organic waste, and they can even replace the functions of traditional incinerators. In addition, the government in our country has combined relevant policies related to achieving net-zero carbon emissions by 2050 in recent years and applied the "BIO-BSF System" to reduce carbon emissions.

Achieving net-zero carbon emissions by 2050 is the primary goal of many countries in recent years to suppress greenhouse gas emissions, and the government in our country has adopted various response measures to

follow this trend. This study mainly focuses on exploring the carbon emissions of black soldier flies in carbon sequestration in Penghu Prison. Due to the large number of inmates in the prison, the amount of daily kitchen waste is astonishing. This study will explore the benefits and related impacts brought by black soldier flies in Penghu Prison. It will focus on the effectiveness of black soldier flies in solving kitchen waste and combine the differences in carbon footprint results as the main research axis to understand the average annual CO₂ emissions and carbon absorption in Penghu Prison after using this method, and compare greenhouse gas emissions with other methods such as incineration and composting. Finally, relevant suggestions for the application of this technology in carbon sequestration are proposed.

***Keywords:* Black Soldier Fly, Net-zero Carbon Emissions, Greenhouse Gases, Carbon Footprint**

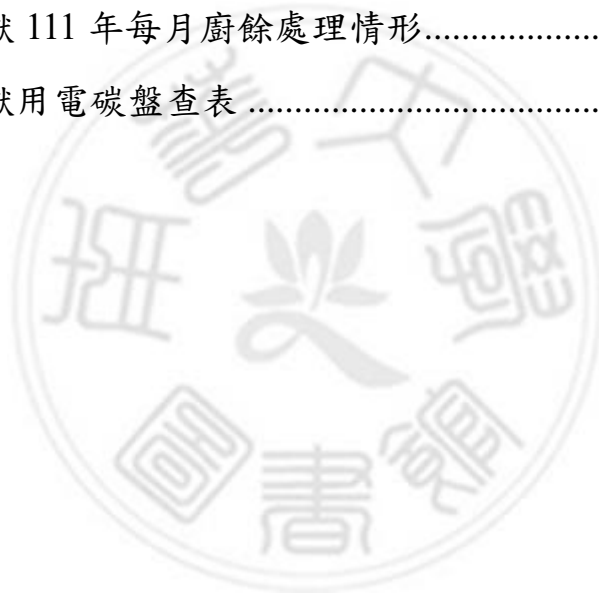
目錄

誌謝.....	I
摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	3
1.3 研究目的	5
1.4 研究限制	7
1.5 研究流程	8
第二章 文獻探討.....	10
2.1 淨零碳排	10
2.1.1 淨零碳排之定義	10
2.1.2 淨零碳排之發展	11
2.1.3 淨零碳排相關研究	13
2.2 碳排放	14
2.2.1 碳排放定義	14
2.2.2 碳排放相關研究	15
2.3 溫室氣體排放準則.....	16
2.3.1 碳排放查驗基礎 ISO 14064-1	16
2.3.2 碳足跡標準-ISO 14067	19
2.3 廚餘量介紹.....	20

2.4 黑水虻生物處理系統	22
2.4.1 生物處理系統之定義	22
2.4.2 黑水虻技術發展	23
2.4.3 黑水虻技術相關研究	25
第三章 研究方法	27
3.1 澎湖監獄簡介	27
3.1.1 澎湖監獄	27
3.2 研究架構	29
3.3 碳排放量計算方法(IPCC).....	30
3.4 溫室氣體盤查涵蓋範疇.....	32
3.5 黑水虻去化廚餘間接排放量介紹.....	32
第四章 碳排放量計算結果分析	34
4.1 澎湖監獄廚餘量狀況-描述性統計	34
4.2 澎湖監獄黑水虻處理狀況-描述性統計	35
第五章 結論與建議	46
5.1 結論	46
5.2 建議	47
參考文獻.....	48

圖目錄

圖 1.1 經濟部 2020 減碳重點	1
圖 1.2 研究流程.....	9
圖 2.1 美國實行淨零碳排所需之預期花費	12
圖 2.2 溫室氣體方案	17
圖 3.1 澎湖監獄.....	28
圖 3.2 澎湖監獄.....	32
圖 4.1 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形.....	35
圖 4.2 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形.....	37
圖 4.3 澎湖監獄用電碳盤查表	42



表目錄

表 2.1 碳排放與空氣汙染物比較	14
表 2.2 一般廢棄物產生量	20
表 3.1 ISO/TS 14067 量化及報告原則	29
表 4.1 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形.....	34
表 4.2 111 年澎湖監獄各月黑水虻處理情況.....	36
表 4.3 廚餘特性分析	37
表 4.4 黑水虻處理之排放量	39
表 4.5 澎湖監獄 GHGS 排放量總表	41



第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著時代的演變，氣候變遷問題隨著世界潮流浮上檯面，各國也致力於面對全球氣候日益嚴峻之問題，世界各國也陸陸續續藉由各種方式對於節能減碳進行相對應的措施。而對此聯合國也舉行了一系列的國際會議與談判，期望藉由相關規定與條款，在全世界範圍內採取有效的措施，以減緩目前全球氣候變遷與暖化之問題。也因此截至 2022 年，全球已有 138 個國家宣布推動「淨零排碳」，其中我國在 2022 年我進行之淨零排放，主要是以先低碳後淨零之方式進行(經濟部，2022)，其架構如圖 1.1 所示。

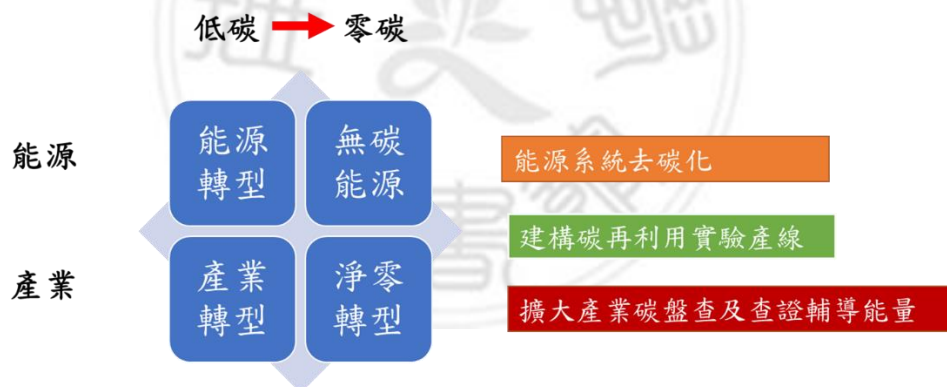


圖 1.1 經濟部 2020 減碳重點

資料來源:經濟部，2022。

此外我國總統於 2021 年 4 月 22 日世界地球日時也曾宣示 2050 淨零轉型是台灣的目標，其中不僅提及全球暖化問題、淨零碳排國際趨勢，更點明了因我國為出口導向國家，因此綠色供應鏈與碳關稅更為我國發展之重點(行政院國家永續發展委員會，2022)。根據世界經濟論壇(The World Economic Forum, WEF)所提出之報告顯示，在全球

產業中以食品、建築、時尚、快速消費品、電子、汽車、專業服務和運輸業，為全球二氧化碳排放量最高的八項產業，台灣能源局對此也針對民間企業進行相關的規範，期望各企業在淨零轉型的低碳政策配合下，能夠因應與掌握低碳產業鏈之發展契機，將減碳挑戰轉換為成長機會(黃彥翔，2022)。

根據環保署對於碳排放或是碳足跡的定義，碳足跡(Carbon Footprint)係指無論是個人或是企業組織再進行一項活動或產品生產的生命週期中，直接或是間接所產生或是連帶發生的溫室氣體排放，其中可以牽涉的是也就是從一個產品或是一個活動的原物料開採與製造、組裝...等，所產生的溫室氣體排放量，都要將之列入碳足跡的計算之中，也因此無論是從消費端或是生產端，皆有可能牽涉整個碳排放的計算過程中，而對此我國行政院環保署也於2009年12月即開始發布碳標籤圖示，期望藉由此種方式來顯示產品或是服務整個生產歷程中碳排放量的標示(譚仲宇，2022)。而對此綠色和平組織(2021)也提出如何有效進低碳排放的過程，諸如常見的食物的選擇、避免塑料包裝品、選用電動及節能電器設備皆為較容易做到的一種方式。

蔡書憲(2021)等人研究中也指出，全球消費者在飲食習慣上也因為近年來環境意識與健康意識的提升，食用植物肉有利於減少碳排放及能源消耗的消費習慣也漸漸深入食品市場的推動。而面對著淨零排放已成全球趨勢的情況下，諸如歐盟將於2023年將開徵碳關稅，部分產業要求繳交碳排放量費用，進口企業也需申報，對此世界各國邁向減碳排放這個目標，已經是一種不得不面對的重要課題，而面對此種方式，全球許多企業也慢慢響應進行碳盤查之行動，然而對於我國企業而言進行碳盤查卻也出現了相關的問題，諸如碳盤查成本增加、

排放係數等問題(陳映璇，2022)。

綜觀上述可以發現，近年來在全球無論是政府或是民間企業，甚至於到消費者，皆對於如何有效降低碳排放有一定的想法或是環保意識，因此本研究有鑑於近年經濟部對於我國政府有關單位進行有效降低碳排放的相關政策，諸如碳足跡檢視或是碳盤查等，將針對澎湖監獄如何有效進行降低碳排放的相關計畫進行探討。

1.2 研究動機

近年來碳足跡或是淨零碳排等議題帶起風潮，各國學者或是專業人員也針對淨零碳排進行相關的研究或是方針的改變，大多數用於處理這些廢物的方法並沒有改善環境質量，並且可能造成二次污染。近年來全球人口的增加意味著必須管理越來越多的有機廢物，在城市環境中產生的有機廢物通過三種主要方法進行處理：焚燒、垃圾掩埋場和堆肥，而圈養動物設施產生的廢物則被保存在瀉湖中或作為肥料放在土地上，因此近年來在許多國家，專家學者提出了黑水虻技術對於淨零碳排的相關使用(Cell, 2020)。李歡(2021)等人研究中提出，選擇垃圾廚餘處理模式，將有效時限環境效益與經濟效益最大化的情況，而研究中更指出對於回收利用率來針對碳排放進行衡量，有四種垃圾處理模式可以進行，其中包含了混合焚燒、厭氧消化、好氧堆肥與飼料化四種處理模式，其中厭氧消化對具有較好的環境效益，且同時具備降低碳排放的效果。洪耀明(2018)在 ISO 14064-1 的內容中指出生質能與生質碳對於土地或環境有一定的溫室氣體危害，因生質碳氧化所產生之二氧化碳的形成與人類運用生物原材料密切相關。

世界各國在黑水虻技術的發展與推行上，香港上水的蟲工廠「川

上生物科技」，在 2021 年 4 月獲批通過後，建造了佔地約 1.5 萬平方呎的黑水虻養殖場，預計正式投產後，每天至少處理 1 公噸廚餘，期望日後提升至 3 公噸(勞敏儀，2021)。大陸升申生物為了解決垃圾處理佔用土地之問題，其採用了單元化恒溫恒濕房間，養殖黑水虻，處理濕垃圾，建立全工業化、自動化的昆蟲蛋白轉化工廠，以垃圾為原料產出蛋白質進行整個垃圾處理過程，此外其董事長唐斌也指出，現在許多企業對於綠色環保議題，皆是藉由 ESG 視角來衡量從無害化到資源化(江蘇省城市管理與行政執法學會，2021)。有鑑於過往有許多專家學者推崇藉由垃圾處理或是廚餘回收等方式可以有效的達到降低碳排放，因此衍生出本研究之**研究動機一:現行黑水虻技術對於廚餘處理之發展**

Joly(2018)研究指出加納作為一個快速發展和城市化的中等收入國家面臨著許多挑戰，而該國在使用黑水虻技術後，也大大的改善了許多問題，在當地以具有成本效益的方式大量增加，不僅對於加納的影響甚大，也同時利用黑水虻技術改善了有機廢物問題，食物垃圾(FW) 和糞便污泥(FS)，而在其生物代謝過程中，也間接降低了碳排放。Yan(2021)等人研究黑水虻幼蟲 (BSFL) 因其在有機廢物處理方面的高性能而受到全球研究興趣和工業應用，而此種方式也在其整個代謝過程中，不僅有效處理了廚餘垃圾問題，更能降低對於碳的排放，也因此黑水虻技術近年不斷地被探討。在中國隨著餐飲行業的高速發展和城鎮化水準的提高，中國餐廚垃圾的產生量激增，2019 年中國全國餐廚垃圾產生量突破 1.2 億噸，這也大大地推動了其餐廚垃圾處理行業的發展。近年來，在中國政府友善引導下，行業迎來了投資熱潮(吳小燕，2020)。

早在 2000 年時，台灣就開始進行黑水虻技術的研究和應用，黑水虻的蟲體，既可以用於養殖龍蝦、螃蟹、魚類，為水產行業提供飼料，也可以用做寵物糧食的添加劑，可快速取代進口豆粕或魚粉這些需求量巨大的蛋白質產品，此外黑水虻攝入廚餘垃圾中的油脂後，能夠排出更優質的油脂，用於製作生物潤滑油、化妝品油、用作飼料添加劑的磷脂油等。因此在該技術產生時，黑水虻被廣泛應用於處理市場和餐廳廢棄物，同時也被用作飼料和肥料生產，在隨著黑水虻技術的發展和應用，越來越多的應用場景也出現了，包括農業、畜牧業、水產養殖等領域，而未來隨著人們對環境保護和可持續發展的意識不斷提高，黑水虻技術的應用和發展也將會越來越廣泛。我國於 2019 年發生瘟疫後，廚餘去化也成為了我國許多機構探討的一個重要議題，其中屏東監獄自 2019 年 9 月底，啟動黑水虻養殖計畫，是我國最早啟動養殖黑水虻成功的案例，其利用了黑水虻幼蟲在自然界以廚餘等腐爛有機物為食物，大量且有效率地處理廚餘，對此我國各監所單位也陸續跟進嘗試(陳崑福，2020)，而鑒於現行我國澎湖監獄也採用相關技術進行廚餘的固碳排放，比對國際上該技術之發展趨勢，衍生出本研究之研究動機二:我國監所黑水虻技術之執行成效。

1.3 研究目的

綜觀上述針對本研究之研究背景與研究動機之相關文獻探討了解到，由於消費者對於天然產品需求的增加以及對於蛋白質需求的增加，加上農業殘餘物回收的興起，促使台灣黑水虻產業的發展。隨著科技的進步，台灣黑水虻技術逐漸成熟，包括控制幼蟲和蛹的生長環境、提高繁殖率、改善收穫技術和加強幼蟲的營養管理等方面，過往

相關研究，更明確表示出，黑水虻蟲體在選擇採食餐廚垃圾的同時，其會產生高附加價值之產物，諸如黑水虻幼蟲所富含的蛋白質、脂肪等，證實其可以做為飼料等其他用途的相關研究。

此外過往許多研究也指出目前利用遺傳工程技術，成功地創造了高產量、高營養價值的台灣黑水虻品種。而誠如前述中所提及，台灣黑水虻產業也逐漸轉型，從傳統的動物飼料產業擴展至醫療用藥、化妝品、生物柴油等產業，例如，台灣黑水虻幼蟲的唾液中含有一種蛋白質，可以幫助加速傷口癒合，因此被開發成為醫療用藥；而台灣黑水虻的蛋白質和脂肪酸含量豐富，被廣泛應用於動物飼料和生物柴油等產業中。如今黑水虻技術已經成為一種廣泛應用的綠色技術，並得到了許多國家和地區的關注和支持。例如，歐盟將黑水虻列為生物廢棄物處理的重點技術之一，美國也在多個州推廣黑水虻技術的應用，在亞洲地區，台灣、日本、中國、印度等國家也都積極探索和應用黑水虻技術。

配合多數政府在面對 SDGS 等相關議題下的壓力與趨勢，且鑑於使用黑水虻來處理廚餘的方式是一種有效的生物處理方法，不僅將廚餘轉化為蛋白質飼料和有機肥料，更有效了處理食物垃圾問題。我國澎湖監獄也開始採用了黑水虻技術，澎湖監獄有效地利用該技術減少有機廢棄物的產生，同時也減少了對於焚化廠或是垃圾掩埋場的依賴。單就黑水虻幼蟲處理技術而言，除因其具有處理有機廢棄物及垃圾廚餘價值之外，依據過往相關實際處理解果指出，以 10 公噸的垃圾廚餘量來講，可以生產出 2 公噸的幼蟲和 1 公噸蟲糞，僅剩餘整體 4%~5%的剩餘物(混雜在塑料，木材等無法採食的物質內)，且在利用該項技術所使用之費用根據過往研究結果指出，其建設費遠低於主流

厭氧消化項目的相關設備。綜觀上述了解到，黑水虻技術不僅是能有效處理有機廢棄物外，同時能降低相關設備費用之成本，因此本研究期望藉由澎湖監獄在黑水虻技術的發展，根據碳盤查數據結果與其餘廚餘處理方式進行比較，藉以瞭解此技術應用之成效，因此衍生出本研究之研究目的：

研究目的一：我國監所單位在使用黑水虻技術的發展。

研究目的二：黑水虻技術使用在廚餘處理應用上，對於淨零碳排的實際影響。

1.4 研究限制

本研究之研究對象以澎湖監獄對於黑水虻技術使用上的成效進行排放量調查，其中將根據實際於澎湖監獄中所獲得之黑水虻技術使用上的統計資料為主，但主要限制在於其中主要包含了廚餘數量表與黑水虻處理量，藉以結合 ISO 14067 之碳足跡進行，期望透過此種方式有效的運行政府所推行之以大帶小的方式，推行淨零碳排的各種方針。然而根據過往相關研究指出，黑水虻技術在實踐循環農業或是相關飼養規模與發展上是受到極大限制，其中包含了廢棄物清除業者或從事廚餘去化相關業者，就必須受到許多法規限制，諸如業者須使用黑水虻去化廚餘、蟲體蟲糞飼料化等情況，光資格與法規就有許多種，涵蓋須先向經濟部做工廠登記、營業登記，之後又受《飼料管理法》、《肥料管理法》等農委會法規規範，主管機關分散、權責模糊且法律缺乏整合等問題，上述對於黑水虻技術之相關條件而言，若是以一般產業來說要實踐是極其苛刻的條件限制。

然而以本研究來說，上述法規等相關問題並不包括在本研究之探

討中，對於本研究來說，養殖黑水虻的門檻不高，許多人都能輕易上手，但不論是要去化廢棄物或製成飼料、肥料，都需要先確保黑水虻族群數量，才能維持處理量能、降低生產成本和穩定產品品質，且此部分與本研究之議題內容較相關，然而這也成為了本研究在使用相見樹上的研究限制，因能夠取得的資料源為研究限制的主要問題，此外本研究跟主要是依據實際於澎湖監獄中所獲得之黑水虻技術使用上的統計資訊為主，因此研究中所採用的統計資料主要時間區段為目前澎湖監獄可獲取的資料區間為限制，是無法做到最新資料的更新，因此會有時間限制問題存在。

1.5 研究流程

本研究首先根據研究背景與研究動機，確立本研究之研究目的及問題後，針對相關議題之文獻進行資料蒐集並探討之，前述部分採用文獻探討法進行探討，要藉由文獻探討之方式了解現行黑水虻技術的發展與其建立在現行淨零碳排議題上的相關鏈結，最後探討澎湖監獄採用黑水虻技術下對於整個監所在碳排量降低的執行成效，驗證近年來備受矚目的固碳技術應用，是否黑水虻技術有其價值存在，貨是可以受我國各企業或是機關所用，進以提升我國在固碳排放技術應用之提升。

本研究之研究流程(如圖 1.2)主要藉由前述之研究動機與研究目的衍生出本研究之研究目的，而基於研究目的下，本研究主要期望透過配合 ISO 14067 標準下進行碳足跡計算，藉以了解研究客體在透過黑水虻技術下，對於澎湖監獄在黑水虻技術下所降低之碳排

放量與傳統廚餘處理方式所產生之碳排放量差異，因此本研究採用「調查研究法」以實地調查來進行量化分析，進而了解研究客體之廚餘碳足跡情形。研究中將採用以下幾種資料，同時將之作為計算碳足跡的主要數據，其中包含了運至環保局、拿去養黑水蛇、生廚餘幾項目，最後藉由國內碳足跡計算器進行計算。

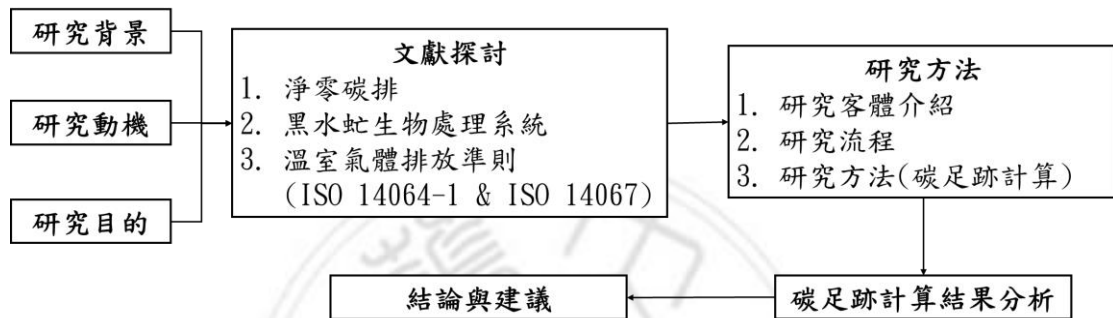


圖 1.2 研究流程
資料來源:本研究整理

第二章 文獻探討

本章節主要透過網路資料的蒐集、歸納彙整與本研究相關之內容，其中涵蓋之範疇包含了淨零碳排、黑水虻生物處理系統（BIO-BSF System）的應用、固碳排放量...等內容進行相關研究及各理論之應用探討，以此做為本研究之文獻研究基礎，並藉由彙整之方式，讓讀者能夠有效了解各議題之間之相關鏈結。

2.1 淨零碳排

2.1.1 淨零碳排之定義

McKinsey & Company (2022)指出淨零是一種理想狀態，其中釋放到地球大氣中的溫室氣體 (Green House Gas, GHG) 數量與移除的 GHG 數量保持平衡，需要社會大眾共同努力進行脫碳才能達到淨零排放。澳大利亞氣候委員會(Climate Council)將淨零碳排(Net Zero Emissions, NZE)定義為在產生的溫室氣體排放量和從大氣中排出的溫室氣體排放量之間實現總體平衡，此外該組織認為淨零碳排即是指人們仍然可以產生一些溫室氣體的排放，只要它們被各種方式獲得減少，即大氣中已經存在的溫室氣體經過一定的過程而遭受抵消，即被稱為淨零，而該過程可能是種植新森林、直接空氣捕獲之類的降壓技術...等，這也意味著人們產生的排放量越多，則需要從大氣中去除的二氧化碳就越多(該過程稱為封存)以達到淨零(Climate Council, 2020)。Krishnan(2022)認為淨零碳排即是指減少大氣中溫室氣體排放的積累。National Grid(2022)認為淨零是指產生的溫室氣體量與從大氣中清除

的量之間的平衡，當每年所添加的數量不超過取走的數量時，即可稱達到淨零。

淨零排放並非不排放任何溫室氣體，而是透過各種技術或是方式，讓人為造成的溫室氣體排放極小化，再利用負碳技術、森林碳匯...等方式進行抵消，進以達到淨零排放。其中淨零碳排的公式如下：

$$(\text{能源排放} + \text{非能源排放}) - (\text{負碳技術} + \text{自然碳匯}) = 0$$

而我國經濟部(2022)對於能源排放也做出了相關的定義涵蓋了煤碳、石油、天然氣等溫室氣體的排放；非能源排放之定義為工業製造、農業或是廢棄物...等產業廢棄之間接排放；負碳技術則是指近年來較常見的碳捕集封存技術(CO₂ Capture, Storage; CCS)、能源再利用(CO₂ Capture, Utilization, Storage; CCUS) (經濟部，2022)。

2.1.2 淨零碳排之發展

2050年淨零排放是IEA所規範之情境，該情境顯示了全球能源部門直至2050年實現二氧化碳淨零排放的實現路徑，儘管該路徑狹隘，但各國在實行該情境路徑時，皆符合聯合國所提出之SDGs發展目標(IEA, 2022)。世界各國規劃並預期至2030年時之能源普及與空氣質量及部分有重大改善，此部分與IPCC 2022年於Global Warming of 1.5°C特別報告中所提及之內容相符，該報告指出全球氣溫升溫控制限制在1.5°C取決於未來幾十年的GHG排放量，其中2030年溫室氣體排放量的降低導致將升溫峰值保持在1.5°C的可能性更高，這也是近年來為何各個國家都將碳排放量成為一重大影響指標(IPCC, 2022)。McKinsey & Company (2022)使用綠色金融系統網絡(NGFS)的2050年淨零情景模擬了一條假設的、有序的通往1.5°C的路徑。

這提供了與淨零過渡相關的經濟成本和社會調整的數量級估計。

Mckinsey(2022)指出執行淨零排放對於各國經濟轉型具有極大的意義，其相關報告指出對於一國家進行淨零碳排的同時，須同時考量需求、資本分配、成本和就業等實際情況，以美國目前情況來看，直至 2050 年美國實行淨零碳排相關政策後，能源和土地使用系統的實物資產年度支出需要比現在增加約 60%，平均每年增加 3.5 萬億美元(如圖 2.1 所示)。

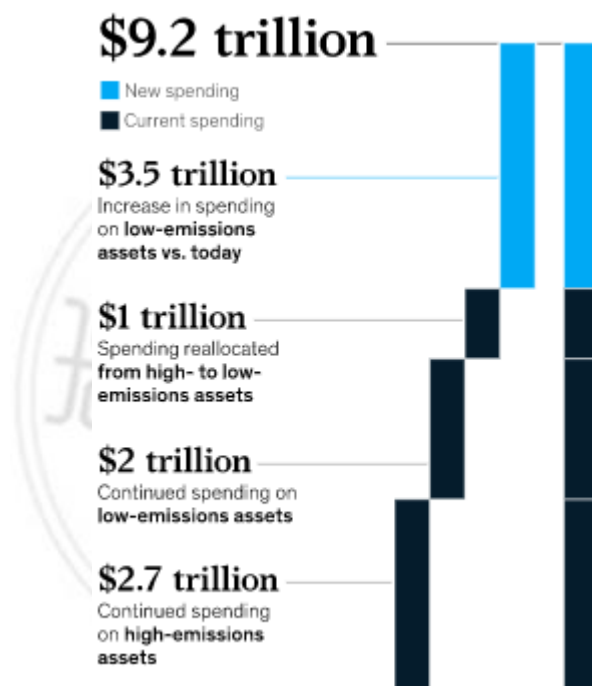


圖 2.1 美國實行淨零碳排所需之預期花費
資料來源:Mckinsey (2022)

目前我國在淨零碳排的發展上，目前已修訂相關法條並將 2050 年淨零排放目標納入我國在經濟發展上的相關目標，我國經濟部部長王美花於 2021 年提出 2x2 淨零轉型框架，根據該框架我國將開始利用成熟的能源和碳減排技術，補足目前綠色經濟之缺口，向低碳經濟進行轉型，同時未來也將透過氫能投資、循環經濟及碳捕捉利用和封存(CCUS) 技術和解決方案來實現零淨排放(International Trade

Admission, 2022)。我國行政院節能減碳辦公室於 2022 年 3 月也公布台灣 2050 年淨零排放之軌跡和行動路徑，其中將基於「能源轉型」、「產業轉型」、「生活方式轉型」和「社會轉型」四大轉型戰略，輔以「十二大戰略」進行相關策略與施政，該路徑旨在為我國能源、工業和生活轉型方面預期增長的關鍵領域制定行動計劃，以實現淨零轉型目標(Environment Protect Administration, 2022)，如圖 2.2 所示。此外我國政府於公布淨零路徑後，更宣布要透過供應鏈「以大帶小」之方式進行，其中不僅僅是藉由大企業帶協力廠商一起減碳，更藉由大企業推動內部減碳過程中的種種管理方式，協助中小企業進行碳盤查，其中誠如台達電協助供應鏈廠商進行碳盤查、台泥協助供應商盤點碳足跡...等形式，這些皆是近年來以大帶小宣布後，有目共睹之作為。(馬瑞璿、簡永祥、林海、鄭朝陽，2022)

綜觀上述可以知道，無論是我國或是世界各國，在進行淨零排放之發展皆是透過各種手段在執行之，而淨零碳排也因此成為了國際趨勢與潮流，我國也正與時俱進執行之。

2.1.3 淨零碳排相關研究

Maria(2021)等人研究指出化石燃料燃燒產生的能量總是會產生二氧化碳，導致對 CO₂ 值的相當大的環境關注世界上生產的，排放量的增加給減少大氣中這種氣體的數量帶來了重大挑戰。研究回顧了 CCUS 設施的最新進展以及氣候積極解決方案的實施，例如具有碳捕獲和儲存的生物能源以及直接空氣捕獲。Anissa & Frauke(2021)分析了瑞典能源密集型行業脫碳的各種技術軌跡和關鍵政策，其中電氣化、向低碳燃料的燃料轉換以及無化石鋼鐵生產和 CCS 等技術突破需

要將能源密集型行業的排放量降至淨零，該研究之結論為在財政和政治支持下，到 2045 年對能源密集型行業進行深度脫碳在技術上是可行的。資產擁有者聯盟(Asset Owner Alliance, AOA)2021 年報告指出對於淨零碳排的重點必須放在能源、城市、基礎設施和工業系統的深度脫碳上，以及扭轉排放增長土地使用系統，然而對 CDR 和負排放技術和解決方案的投資也將是互補的，也是加速進步並將全球平均升溫保持在 1.5°C 的必要條件。Florence(2021)等人研究藉由綠色投資角度進行減碳預測模擬實驗，其研究結果提供了一個額外的碳定價情景，用於綠色投資的綜合政策包進行比較。

2.2 碳排放

2.2.1 碳排放定義

綠色和平(2022)指出碳排放也是空氣污染物的一種，碳排放泛指溫室氣體排放，包括水蒸氣、二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物、臭氧等，主要來自於燃燒以煤碳、石油與天然氣為主的化石燃料，因組成以二氧化碳為主，故被稱為「碳排放」。相較 PM2.5 等空氣污染物，碳排放由於無色無味，且對人體沒有直接健康影響，容易被人忽略，兩者主要來源為(1)人為:化石燃料的使用、工業化畜牧、毀林…等；(2)自然:沙塵暴、森林火災、火山活等。下表比較兩者不同之處？

表 2.1 碳排放與空氣汙染物比較

類別	種類	影響
空氣汙染物	氮氧化物、硫氧化物、一氧化碳、自由基、氮氣、懸浮微粒...等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 對人體有直接傷害。 ■ 不會吸收太陽輻射熱能。
碳排放 (溫室氣體)	水蒸氣、二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物...等	<ul style="list-style-type: none"> ■ 無色、無味、無臭。 ■ 對人體無直接傷害。 ■ 造成全球暖化。

資料來源:綠色和平(2022)

中租太陽能電廠(2019)將碳排放定義為，指人類因為從事某件活動，直接或間接產生的溫室氣體，這些溫室氣體的總重量就被稱為碳排放量，而其中在各種溫室氣體中，二氧化碳在大氣中的佔比最多，所以二氧化碳的重量是最常見的碳排放衡量標準。比如生產一度電，會產生 0.554 公斤的二氧化碳，也可以解釋為「生產電力會產生碳排放，而每度電的碳排放量為 0.554 公斤」，因此除了使用石化燃料並直接產生二氧化碳的交通工具、電力、工廠等，食品也可納入碳排放的計算。美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)2017 年報告指出美國家庭平均每年從交通、電力、供暖和廢物生產中產生 54,462 磅二氧化碳，這意味著平實的汽車使用、居家行為之加熱或冷卻等行為、家用電器使用等構成了家庭碳足跡的主要成分。

2.2.2 碳排放相關研究

為了達到全球淨零排放目標，碳排放量必須大幅下降，Jiaxiang & Yunhu(2022)指出碳排放量增長的速度，凸顯了確定碳排放模式結構性突破的必要性，其研究藉由機器學習之方式進行資料模擬，研究結果強調了非氣候政策在減少碳排放方面的重要性。Tomberlin (2020)等人針對生產線層面整合大型數據進行分析模擬，其研究針對美國 252 家工廠進行了生命週期碳分析，結果表明一公噸紙產品產生的溫室氣體排放量的生產加權平均值為 942 千克二氧化碳當量(kg CO₂eq)，此外溫室氣體排放量因紙漿和紙張等級而異，因此其研究認為，燃料是溫室氣體排放的最大貢獻者，應成為紙漿和紙張等級減排戰略的重點。Shanshan (2021) 等人研究考察了 2000-2018 年中國 CO₂ 排放與經濟

增長、產業結構、城鎮化、研發 (R&D) 投入、實際利用外資、能源消費增速之間的關係，該研究結果表明，並非所有省份都應該發展工業化，應該藉由城鎮化角度來執行，一個省份存在一個最優區間，此種這測模式將能在最佳範圍內，將 CO₂ 排放量降至最低，同時此種方式也是讓能源使用和效率方面技術創新的結果。

2.3 溫室氣體排放準則

2.3.1 碳排放查驗基礎 ISO 14064-1

目前我國政府所推行之溫室氣體排放量盤查，即是以 ISO14064-1 管理系統進行組織內所有可能產生溫室氣體的來源，進行排放源清查與數據蒐集。而其中 ISO14064 溫室氣體管理系列標準含有三項子標準，各子標題分別說明了組織與專案層級，透過相關規範與指引要求事項來做為相關的規範準則：

(一)、ISO 14064-1(2018)：主要是以「組織層面」進行探討，其定義為：企業各組織內部中，組織層級在溫室氣體排放與移除之量化及報告附指引之規範。ISO 14064-1 是溫室氣體盤查的第一套標準守則，是任何一位永續人員都必須熟悉的，直接針對整個企業所有活動與溫室氣體排放源進行清算，在尺度上被稱為「大門到大門」(Gate-to-gate) 的標準。

(二)、ISO 14064-2(2019)：以「專案層面」執行之，其定義為：企業之計畫層級需針對該司之溫室氣體排放減量或移除增量之量化、監督及報告附指引之規範。此條規範主要是要讓企業擬訂「減碳計畫專案」時有一個依據，因此在尺度上並不是以整間公司去考

量，而是以一個「減碳專案」為單位，提供永續人員指引去設計、執行、報告一個合理的「減肥計劃」。

(三)、ISO 14064-3(2019)：以「查證/確證層面」為執行基礎，其定義為：溫室氣體主張之確證與查證附指引之規範。ISO 14064-3 就不是給企業用的指引了，而是提供給第三方「查證機構」所使用的，針對企業的溫室氣體排放清冊（清冊＝盤查報告）與減碳努力的成效進行實際檢驗的指引規範。而哪些第三方單位符合資格可以來檢驗？這個挑選標準就是 ISO 14065，並且由主管機關(環保署)進行挑選公告(ESG 永續雲，2023)。

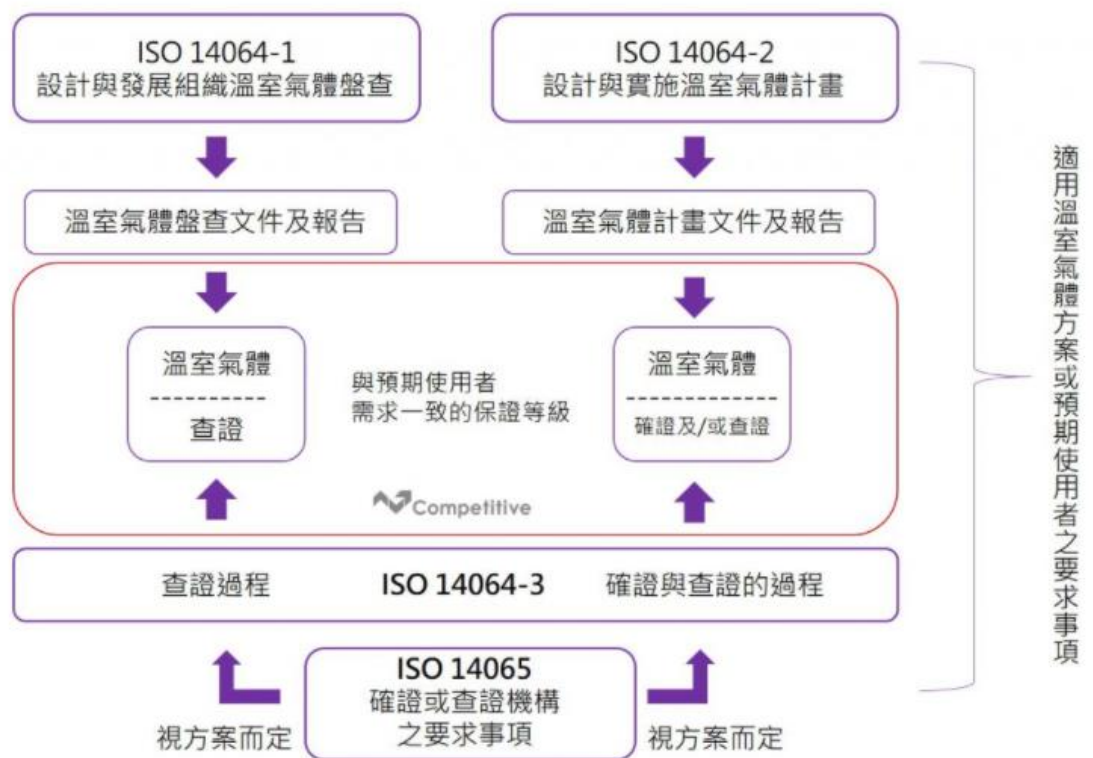


圖 2.2 溫室氣體方案

資料來源: 競爭力企管顧問團隊(2020)

其中，ISO14064-1 標準，是以公司企業或是組織作為其標準所建立的基本架構或是碳盤查基礎，就此單位進行溫室氣體盤查的設計、發展、管理及報告之原則與要求來進行整體規範。整個標準

中包含了針對組織或公司在溫室氣體排放的界定、對於組織溫室氣體排放與移除的部分進行量化，並鑑別組織與公司特定的溫室氣體管理改善措施或活動之要求事項，以此針對盤查的品質管理、報告、內部稽核及組織在查證活動的責任之要求事項與指引(財團法人塑膠工業技術發展中心，2022)。整體而言，ISO 14064-1 標準規範之盤查作業，主要可依循下列幾項原則，包含：相關性、完整性、一致性、準確性及透明度等(Leadership,2019):

(一)、相關性(Relevance):

對於企業組織而言，利用有效工具或是方式選擇合適的預期使用者需求之溫室氣體源、溫室氣體匯、溫室氣體儲存庫、數據及方法，考量預期使用者、適用溫室氣體類型與選用準則等之相關性。

(二)、完整性(Completeness):

該規範中為了避免誤導規範使用者在進行編列過程問題，該規範納入報告之邊界內所有相關的溫室氣體排放與移除，組織需考量所有涵蓋之營運單位、製程、活動與設施之排放源。

(三)、一致性(Consistency):

而為了使採用規範之緝獲或組織在溫室氣體相關資訊具備參考價值，組織對於盤查邊界的設定須注意是否與基準年做法一致，且相同設施之前後期間均採行同一量化方法；如活動數據的統計與排放係數的引用來源。

(四)、準確性(Accuracy):

為有利於進行盤查之公司依據實際情況進行決策，藉以降低其偏差與不確定性，組織應注意盤查之量化方式；誠如活動數據與排

放係數，此種作法應為最能反應實際排放狀況，且相關數據須經由定期校驗儀器量測而得，並須確認校驗結果符合規範。

(五)、透明度(Transparency):

為使溫室氣體相關資訊能充分地有效利用，以利預期使用者在藉由資訊彙整後之內容與結論，做出合理且具高可信度及可靠度的決策，組織企業應取得所有與溫室氣體相關的佐證資訊；諸如相關指標的建立、計算方法的運用、文件變更及活動數與排放係數等 (Leadership,2019)。

此外 ISO14064-1 之溫室氣體方案、準則、保證等級及事業登錄資料，組織應注意以下幾項查證重點，分別為:組織邊界、營運邊界、基準年排放量、量化方法、計畫文件與間接溫室氣體盤查 (Leadership, 2019)。

2.3.2 碳足跡標準-ISO 14067

相較於 ISO 14064-1，ISO 14067 專門管理企業組織的產品或服務所產生之碳足跡，針對生命週期內，直接與間接產生的溫室氣體排放量，設定一致性規範與計算方法。為了因應全球淨零排放趨勢，各大企業甚至中小企業開始針對產品與服務，進行碳足跡計算，ISO 14067 為產品碳足跡的量化原則與標準，提供各國、政府和企業一套一制性規範與計算方法。國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 於 2013 年公布碳足跡 ISO/TS 14067 技術規範，為企業生產的產品及服務提供一種計算碳足跡的方法，同時該碳足跡盤查標準，也同時能做到盤查並分析產品生命週期各階段的溫室氣體排放量。

而產品碳足跡 (Product Carbon footprint) 是指商品 (或服務) 在整個「生命週期」中因直接及間接活動所排放與移除的溫室氣體總量。根據近年來相關盤查結果了解到，多數企業所產生的最大碳排放量是會發生於「上下游運輸」或「使用階段」的排放量最大，因此企業應多加思考計算各階段的碳排放，才能確切了解到碳排放的呈現(Leadership, 2023)。此外 ISO 14067 與 ISO 14064-1 的差異主要在於 ISO 14067 是計算一個產品的總排碳量，而 ISO 14064-1 是計算一個工廠(組織)的總排碳量，儘管兩者皆是做碳盤查，但其基準是有所差異的(譚仲宇, 2022)。

2.3 廚餘量介紹

在我國處理廚餘上，實際上政府也耗費了許多心力在針對此類問題進行相關的處理，根據行政院環保署(2022)最近公布的數據，台灣每年產生的廚餘量高達約 48 萬公噸(如表 3.2 所示)，占總垃圾量的 40%以上，這些廚餘大多以掩埋方式處理，但是掩埋會產生大量的溫室氣體排放，造成嚴重的環境問題，因此，有效地處理廚餘成為了當前環保工作的重點之一。

表 2.2 一般廢棄物產生量

統計期	總產生量	一般垃圾量	資源垃圾量	廚餘量	平均每人每日一般廢棄物產生量
111 年 12 月	943058	400175	503231	39651	1.308
111 年 11 月	923937	375509	507648	40781	1.326
111 年 10 月	928293	385122	501734	41437	1.29

111年 9月	928387	396183	490189	42015	1.334
111年 8月	970059	417799	509454	42806	1.349
111年 7月	949635	406343	500814	42478	1.321
111年 6月	951323	411935	497696	41692	1.367
111年 5月	950026	403385	505447	41194	1.321
111年 4月	926212	389303	496607	40302	1.328
111年 3月	935735	401632	493777	40326	1.296
111年 2月	841117	361912	443066	36139	1.287
111年 1月	991008	450127	500827	40054	1.368
111年	1123879 3	4799426	5950490	48887 6	1.32

資料來源：環保統計查詢網(2023)

根據台灣行政院環保署的相關說明，廚餘指的是由家庭、餐廳、醫院、學校、公司等單位所產生的廚餘食物殘渣，包括剩飯剩菜、果皮果核、蔬菜殘渣、魚骨等。若這些廚餘不妥善處理，容易產生異味、滋生病菌，也會產生甲烷等溫室氣體，對環境造成傷害。然而自從2019年開始，我國在垃圾處理上早已與傳統養豬堆肥方式大相逕庭，過去我國約六成廚餘皆透過養豬去化，但在因為非洲豬瘟案例發生之後，因政府嚴格規定，這也讓各縣市政府在面對大量廚餘前提下，祭出了許多不同的處理方案，誠如以下幾種方式：(一)、大量無法養豬的廚餘，送往垃圾掩埋場進行堆肥、自然熟化；(二)、提升既有廚餘處理廠量能，進行資源化利用；(三)、若堆肥空間或處理設施的量能不足，則

將送至焚化廠，併同垃圾處置(環境資訊中心，2021)。

因此有鑑於上述各縣市政府對於廚餘處理部分所進行的相關執行方針，也衍生出本研究對於廚餘處理之重要性與其高價值性的存在，這也讓本研究在整體研究價值上更具意義。

2.4 黑水虻生物處理系統

2.4.1 生物處理系統之定義

生物處理(BIO-BSF System)是指一種透過細菌將廢水中的污染物(例如：有機物及氮氣等)轉變成無害物質(如甲烷、二氧化碳或氮氣等)的處理方法。構成生物處理(生化氧化還原反應)進行的要素主要有三個部份，分別微電子提供者(Electron Donor)、電子接受者(Electron Acceptor)與碳源(Carbon Source)，其中細菌透過電子提供者(被氧化)與電子接受者(被還原)的過程，獲得維持生理機能所需的能量，同時細菌會將進行生化氧化還原反應中一部分的電子，與碳源一起反應合成新的細胞(林翰磷，2020)。翁煥廷(2015)生物處理系統的原理為自然的處理程序，是一種藉由自然界水體中之微生物代謝作用的方式，有效分解有機物質之特性，以工程改良方式利用微生物的代謝作用來去除廢(污)水中溶解性與膠體有機物質，被去除之有機物質轉換為生物體(Biomass)，藉由沉澱分離及排泥而去除，其中又可以依照處理成幾種微生物的分為，如下所示：

1. 依功能分類
 - a. 自營菌(以無機碳為能量來源)
 - b. 異營菌(以有機碳為能量來源)

2. 依需氧與否分類
 - a. 好氧菌(需提供氧氣 O₂)
 - b. 厭氧菌(不需提供氧氣 O₂)
 - c. 兼氣菌(可適應有氧及無氧環境)
3. 依微生物生長型態分類
 - a. 懸浮生物處理法(以活性污泥法為代表)
 - b. 固定生物膜法(以旋轉生物盤法)
4. 依適溫範圍分類
 - a. 低溫菌(最佳生長溫度為 0~20°C)
 - b. 中溫菌(最佳生長溫度為 25~40°C)
 - c. 高溫菌(最佳生長溫度為 50~60°C)

而在我國最常見的生物處理程序，即是廢水生物處理，但也由於需要經費與人力問題，因此時常發生則限於經費及人力不足，操作管理上常有不足或疏忽之處，

當生物處理系統異常時，未能及時採用有效應變措施以進行控制，加上環保單位稽查嚴格，常造成使用該方法者的困擾，因而使用上會被多加考量(張聖雄，2006)。

2.4.2 黑水虻技術發展

黑水虻技術在台灣的研發和應用始於 2010 年，從基礎生產的勞動密集型、經驗密集型農業生產力 1.0 時代，發展到規模化生產的技術密集型、機器密集型農業生產力 2.0 時代。過去，畜牧有機質主要通過微生物堆肥工藝生產有機肥循環施用於農田。黑水虻未來的大規模應用實現生產可再生有機資源，加快有機資源循環利用速度，生產

動物蛋白替代飼料供食品或飼料用，提煉動物脂肪酸生物質能源，用作生物柴油或潤滑油。羽化後的蛹殼含有豐富的幾丁質，可從中提取殼寡糖，用作飼料添加劑或美容藥材，抑制有害微生物的滋生或用作傷口敷料的原料。有機物經處理後的殘渣將成為低碳有機鱈科碳天然肥料，可直接用於改善耕地土壤理化性質。黑水虻的應用畜牧資源循環利用不僅解決了有機物的處理，還衍生出高附加值的副產品，從而實現畜牧資源的可持續循環利用，創造新的生物經濟產業(梁世祥，2016)。

無論是我國或是世界各國，在廚餘處理上在過往經常看到的傳統方式即是透過生廚餘堆肥、熟廚餘養豬兩種方式進行，但廚餘的處理往往成為該地區的環境問題，這也致使世界各國在發展解決廚餘問題的顯學發展(林尹筑，2021)。段紀義(2022)等人研究指出，目前我國在採用黑水虻技術處理廚餘過程中，不僅僅在養殖過程，無明顯惡臭產生，同時可改善廢棄物衍生蚊蟲等環境衛生等問題，此外該技術對於食品產業而言，黑水虻處理方案或可取代傳統廢棄物烘乾、焚化方式，除可減少燃料油及電力使用，亦可降低 CO₂ 排放，相對於對整個動物膠生產程序，亦可符合綠色工廠要求。

目前黑水虻技術在台灣以桃園龍潭巨獸綠色科技公司所創立的「黑水虻生物處理系統」較備受矚目，該司的生物處理技術主要是以農業的黑水虻做為基礎，轉為工業化的生產模式，高效處理各種有機廢棄物，同時也產生珍貴的蛋白質及肥料，達成完美的綠色循環(林尹筑，2021)。梁世祥(2010)等人研究指出，黑水虻對於我國在循環農業上之應用是非常實用的，其與微生物堆肥轉換相比效率較高，能效率轉換各種農畜剩餘資材為虻蟲生物質與虻糞土壤改良資材，有助於資

源循環再利用。目前我國許多農場，若能導入黑水虻應用，能有效處理場內的各種有機資源物為可再利用的原料，不僅實現農場資源場內再利用循環，還能減少廢棄物處理成本，達成資源再生、永續經營之目標。

我國農委會畜產試驗所新竹分所長賈玉祥表示，目前黑水虻技術應用，在荷蘭、美國等世界學術網絡中已經討論多年，但我國近四、五年才開始正式研究，因此畜試所在考量解決畜牧廢棄物為出發點的考量下，開始了對黑水虻的深入研究與應用測試(南華大學永續中心，2017)。近年來聯合國糧食及農業組織 (FAO) 統計，全球平均有超過三成的糧食是被丟棄及浪費的，而透過黑水虻處理有機廢棄物的相關技術，近幾年在全世界各地大量發展，這種藉由生物「轉化」有機廢棄物、使廢棄資源利用最大化的相關技術如今已成為廚餘處理等項目的新寵兒(周郁芹，2022)。

2.4.3 黑水虻技術相關研究

生物廢物對全球廢物的貢獻很大問題 (Gustavsson et al., 2011; Wilson et al., 2015)。目前許多學者皆指出目前的生物廢物處理上經常得不到安全管理，因而導致養分、能量和水的浪費 (Chen et al., 2020; Diener et al., 2014; Hoornweg & Bhada-Tata, 2012)。生物廢物管理還導致全球挑戰，例如城市健康狀況不佳、自然環境退化環境和氣候變化。黑水虻幼蟲 (BSFL) 處理是一種新興的生物廢物處理技術 (Gold et al., 2018; Zurbrugg et al., 2018)。Mutafela & Richard(2015)使用黑水兵蠅 (BSF) 工藝的有機廢物管理鏈增值的渴望，如果應用於有機廢物管理鏈，該過程可能有助於更綠色的能源供應 (生物柴油) 以及為

動物、魚類和寵物行業提供可持續的蛋白質供應。



第三章 研究方法

本研究主要目的是在探討澎湖監獄利用 ISO 14067 之標準進行碳足跡計算，因此本研究之研究方法將依循著 ISO 14067 的碳足跡計算標準來進行研究，此外將根據本研究之研究動機與研究目的，同時藉由文獻探討根據過往學者對於相關評估法之理論基礎，進一步地採用 ISO 14067 之方式，來進行資料的蒐集與驗證，同時藉由統計分析方法，驗證本研究之假說是否成立。

本章節共計三節，其中第一節為研究客體介紹，主要簡單介紹澎湖監獄的歷史與現行使用情況；第二節為研究架構，主要藉由研究架構圖確認本研究之各個流程之間的關係；第三節碳足跡計算方法。

3.1 澎湖監獄簡介

本研究主要研究對象為澎湖監獄執行黑水虻技術對於碳排放量減低的執行計畫為研究對象，其中主要為現行我國監所機關在屏東監所首創黑水虻生物技術使用上，不僅獲得相對成效外，更成功地讓矯正者有新的工作機會等，利用黑水虻技術進行碳排放量的降低也能夠有效的配合地方政府對於淨零碳排的政策推廣與相關計畫執行。

3.1.1 澎湖監獄

現今的澎湖監獄始於民國 38 年由謝福慈為澎湖監獄典獄長負責籌備，旋復改派單秀驊接任。早年由於在由於民國 40 年所建舍房過於簡陋，於民國 73 年開始配合法務部所推行之「改善監所六年計劃」，於 77 年底完工遷入現址，建築總面積 10,246.35 坪，圍牆縱長 315

公尺、橫寬 230 公尺、圍牆內面積 7.245 公頃，建築型態方正莊嚴(如下圖所示)。

此外為應因法務部矯正署成立，於民國 100 年 1 月 1 日機關名稱變更為法務部矯正署澎湖監獄，法務部矯正署澎湖看守所及法務部矯正署澎湖少年觀護所合署辦公。



圖 3.1 澎湖監獄

資料來源：法務部矯正屬澎湖監獄(2020)

3.2 研究架構

而本研究之研究架構主要將遵循 ISO 14067 之準則進行研析，其中將分為三個主要結構，分別為界定界線、資料蒐集、結果分析與建議。ISO 14067 主要是藉由 ISO 14040 及 ISO 14044 標準中的生命週期方法作為基礎，因此由生命週期角度來看，產品碳足跡之量化與溝通，須講整個產品生命週期納入考量，進而建構產品碳足跡，其中所應用之生命週期評估方法，需要採用反覆評估法、科學探討法，以及開放、參與式流程，因此本研究也將遵循該標準之「相關、完整、一致、準確、透明、公平、避免重複計算」原則進行，如下表 3.1 所示。最後總和分析結果，提出本研究對於澎湖監獄現行黑水虻固碳技術在整體成效及未來因應方式進行建議。

表 3.1 ISO/TS 14067 量化及報告原則

計算原則	操作原則
生命週期角度	制定產品碳足跡量化以及溝通應將產品所有的生命週期(包括原材料獲得、製造、運輸/分配、使用以及生命終端)階段考慮在內。
相關方法及功能單位	產品碳足跡結果是以產品的功能單位計算得出。
相關性	就產品或系統特定的零件選擇合適的資料及方法評估其溫室氣體排放量。
完整性	將目標產品或部分系統中有助於減少溫室氣體碳排的溫室氣體排放量及減除量包含在內。
一致性	在實施產品碳足跡期間，製造商應採用一致的假設、方法以及資料。
準確性	減少錯誤及不確定性。
透明性	應標註相關的計算方法及資料來源。

而在資料分析部分，本研究主軸在於了解澎湖監獄在廚餘處理

上經由黑水虻技術應用的協助差異，是否比起傳統其採用堆肥之方式進行有不一樣的效果，因此在研究架構上，主要將根據兩種不同的方式探討之，其中本研究將依據 IPCC 排放指南，計算以堆肥方式處理廚餘過程中 GHGs 排放量，其主要及假測將生物源排放 (Biogenic Emission) 列入 GHGs 計算。

3.3 碳排量計算方法(IPCC)

本研究將藉由向澎湖監獄索取其相關數據資料，進行資料清理，藉由統計軟體 SPSS 22 版進行基礎資料分析，同時將數據整理後之結果採用 IPCC 排放指南內所提供之計算方法，進行資料計算。

針對廚餘碳排量部分，本研究將採用 IPCC 排放指南中計算廚餘透過焚化級堆方式處理之過程所產生的 GHGs Emissions(GHG)排放量(千噸，Gigagram，Gg)，其中主要的假設條件是將生物排放源納入 GHGs 計算，因此以下將 GHGs 排放量之計算方式分為「焚化 GHGs 排放量」計算與「堆肥 GHGs 排放量」計算，如下所示：

$$\text{公式一：焚化GHGs碳排量} = K \times (KW) \times C \times \frac{44}{12}$$

備註：

K 為廚餘量(Gg)；

KW 為廚餘含水量(%)；

C 為碳原子含量(%)；

(44/12)為 C 到 CO₂ 轉換因子。

而堆肥過程中，主要是以堆肥發酵所累積之發酵熱，會使溫度上升至 70~80 度，此方法可以殺死病原菌及寄生蟲卵，藉以避免施用於農田時汙染環境，因此堆肥所產生的 GHGs 主要是以 N₂O 為主，因此以 IPCC 排放指南中計算 N₂O 排放公式作為堆肥碳排量之計算，

如下所示：

$$\text{公式二：堆肥GHGs碳排量} = (M \times EF) \times 10^{-3} \times GWP$$

備註：

M 為有機廢棄物生物處理量(Gg)(扣除廚餘含水量(%)及灰份(%))；

EF 為排放因子(g CH₄/kg，依 IPCC 排放指南，EF 假設為 0.6)；

GWP 依 IPCC 第四次評估報告為 298(無單位)。

此外由於本研究主要是藉由碳排放量計算之方式，了解澎湖監獄在黑水虻技術應用上，相較於傳統廚餘處理方式所造成之碳排放量差異進行衡量，因此本研究將於第四章探討傳統廚餘處理方式與黑水虻生物處理方式進行比較。

而黑水虻去化廚餘的方法，主要是運用黑水虻生命週期及生物特性，將廚餘運用黑水虻轉換成有機肥，可根據需求、環境、空間不同而設計出不同的作法，無非是根據成蟲的趨縫性、趨味性來營造其環境，作為設計及製作肥桶或堆肥區的原理。本研究參考 Salomone et al.(2017)對於黑水虻去化廚餘之研究進行計算，其中黑水虻處理一噸生物廢物，平均 CH₄ 產量為 0.4g、N₂O 產量為 8.6g，因此黑水虻對於 1Gg 之廚餘產量所產生之 GHGs 為 0.009Gg。

3.4 溫室氣體盤查涵蓋範疇

對於本研究來說，除了最主要的黑水虻去化廚餘排碳量以外，另一個可能也會產生溫室氣體的部分在於機器使用上的能源間接排放量。根據環保署溫室氣體排放量盤查作業指引中所提及之內容，我國在溫室氣體盤查中，需要考量國際溫室氣體盤查涵蓋範疇 (SCOPE) 中所提及的幾個範疇，其中包含了直接排放(範疇一)、能源間接排放(範疇二)、其他間接排放(範疇三)，大致內容如下圖 2 所示。其中關於本研究中再運用黑水虻技術進行實際去化廚餘探排量的過程中，不可忽略的部分在於機器的使用，因此在本研究中也將納入黑水虻技術應用相關的處理機器，以更精準的計算在黑水虻去化碳排量過程中所衍生或是減少的溫室氣體排放量情況。

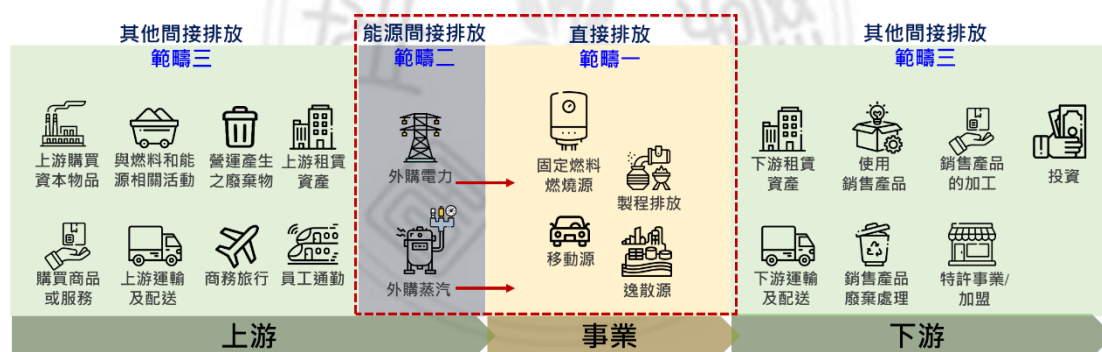


圖 3.2 澎湖監獄

資料來源: ISO 14064-1:2018 講義(2018)

3.5 黑水虻去化廚餘間接排放量介紹

根據前述幾項對於去化廚餘的相關資料結果顯示，本研究中主要是以黑水虻技術應用來進行相關的廚餘處理，也因此本小節將簡單介紹同時闡述本研究中以黑水虻去化廚餘所產生之能源間接排放量部分，其中除了前述本研究中所提及之黑水虻處理 1Gg 之廚餘產量所

產生之 GHGs 為 0.009Gg 之外，本節將探討其用電情形與計算方式，根據張麗琴(2021)研究指出，在飼養黑水虻過程中，需要透過通風確保飼養室內的空氣循環，同時也電燈照明設備以吸引黑水虻進行籠中交配，並照亮整個飼養室，然而此部分礙於研究限制問題，因此本研究中也藉該文獻內容所衍生之用電量進行計算，以作為本研究中每月在對於黑水虻飼養上之用電量計算，其中每天通風用電 1.76 度，照明用電 1.10 度，另外 10 噸食品廢物可以生產 300 公斤幼蟲，所以黑水虻處理 1 噸廚餘每天用電 0.086 度。

而另一部分飼養前之廚餘處理，在澎湖監獄採用了「克立爾 CAC-4000CX 二代商用廚餘機」與「CAC-2200CX 二代商用乾溼分離機(脫水機)」的機器進行廚餘處理(CleaAir, 2023)，其主要功率為 4000W / 5.36 匹馬力與 2200W / 2.95 匹馬力，處理容量為 3.5 噸，因此本研究皆結合該機器與黑水虻養殖用電作為能源間接排放量之計算。

第四章 碳排量計算結果分析

本研究主要藉由索取澎湖監獄於 111 年所蒐集而得之廚餘量數據及黑水虻生物處理數據，依序藉由描述性統計了解目前澎湖監獄在整個廚餘數據上的資料，同時透過碳排放量計算了解目前澎湖監獄總廚餘量與餵養黑水虻所用之廚餘量在碳排放量之差異，藉以了解澎湖監獄在採用黑水虻生物技術後，並利用其差異結果進行比較。

4.1 澎湖監獄廚餘量狀況-描述性統計

本小節將藉由描述性統計根據現有澎湖監獄之數據資料進行探討，藉以了解澎湖監獄於 111 年所產生之廚餘總量及應用各種方式處理廚餘的數據。如下表 4-1 所示。

表 4.1 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形

月份	運至環保局(kg)	拿去養黑水虻(kg)	生廚餘(kg)
1	21530	1248	1932
2	19810	0	1903
3	22830	0	2002
4	17520	1591	1918
5	17670	2927	2721
6	14040	7667	2345
7	4430	11300	2201
8	9370	4870	1660
9	15980	0	1910
10	12930	1067	974
11	12400	3244	1887
12	8150	5921	2115
總計	176660	39835	23568
平均數	14721.67	3319.58	1964.00
標準差	5583.31	3533.35	414.16

資料來源:澎湖監獄，本研究整理

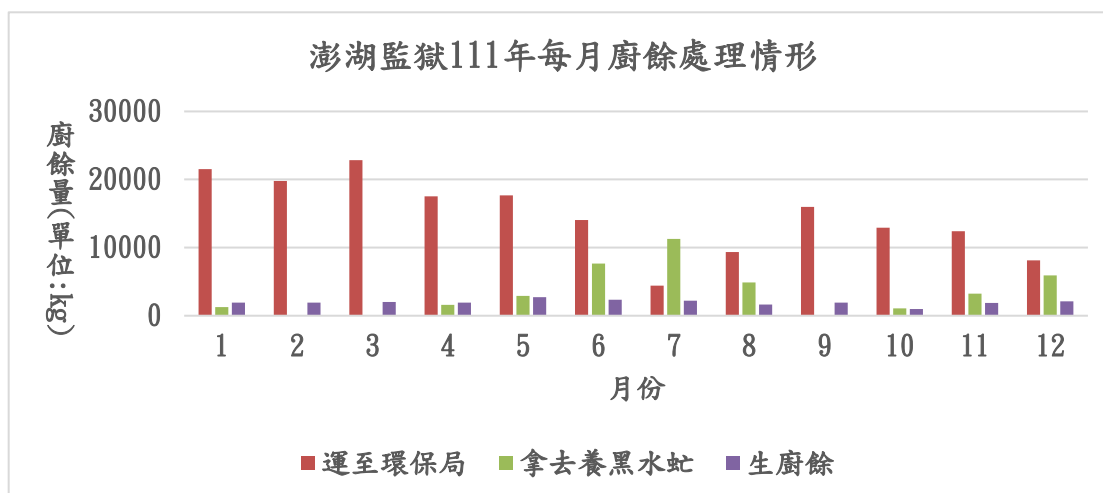


圖 4.1 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形

觀察上述之廚餘處理方式，可以很明確的瞭解到，在澎湖監獄 111 年廚餘處理情形，其中生廚餘 111 年總計為 23,568kg，而熟廚餘部分共計 216,495 kg(運至環保局共計 176,660 kg、餵養黑水蛇共計 39,835 kg)，而平均數分別為運至環保局 14,721.67kg、餵養黑水蛇為 3,319.58 kg、生廚餘為 1,964 kg。而藉由圖 2 我們很明顯的可以了解到，在 111 年 6 月份以前，澎湖監獄之廚餘處理皆是以運至環保局為主要的處理方式，而在 111 年 6 月份後，提供給餵養黑水蛇部分開始增加，然而為何會出現 8 月份後下降之情形，主要原因為疫情之影響所造成。但整體而言卻有個部分是需要再詳細的了解的，是餵養黑水蛇之廚餘量至 12 月陸續回升，但是運至環保局之廚餘總量卻有下滑之趨勢，此部分並未在本研究之範疇中，因此並未詳加描述。

4.2 澎湖監獄黑水蛇處理狀況-描述性統計

而根據澎湖監獄所獲取之黑水蛇處理量部分來進行探討，其將之分為去化廚餘量、繁殖蟲卵量與作為有機肥的三種情況，如表 4-2 所示：

表 4.2 111 年澎湖監獄各月黑水蛇處理情況

111 年	去化廚餘量 (公斤)	繁殖蟲卵量 (克)	有機肥(公斤)	備註
1 月	1928	132	355	
2 月	0	8	0	
3 月	0	178	0	
4 月	2064	34	357	
5 月	1816	33	333	
6 月	3234	426	369	
7 月	7075	1502	602	(完全去化全 監廚餘)
8 月	4358	542	1203	疫情中斷
9 月	2433	84	305	疫情中斷
10 月	4183	403	371	
11 月	5118	859	1180	
12 月	7413	259	780	
總計	39622	4460	5855	
平均數	3301.83	371.67	487.92	
標準差	2318.76	418.28	374.71	

資料來源:澎湖監獄，本研究整理

根據上表之結果可以明確了解到，澎湖監獄運用黑水蛇生物處理技術在處理廚餘總量上，於 111 年共計以處理了 39,622 kg，而用於繁殖黑水蛇蟲卵量之總年度廚餘量達 4,460 kg，而作為有機肥之廚餘量整年度為 5,855 kg。

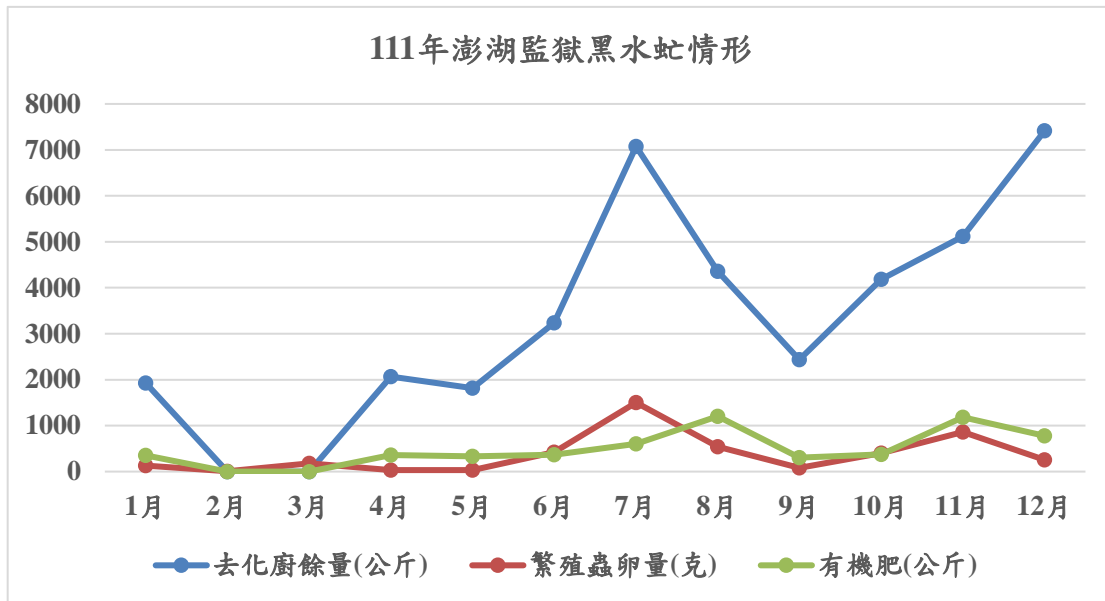


圖 4.2 澎湖監獄 111 年每月廚餘處理情形

而根據圖 3 之結果，可以了解到黑水蛇在作為去化廚餘量部分，於 111 年 7 月時，據澎湖監獄之紀錄已達完全去化整個監獄的廚餘量，即代表澎湖監獄藉由黑水蛇生物技術處理全監獄廚餘是有辦法執行的，因此在後面的分析探討中，我們可以假設當黑水蛇生物技術有辦法在處理全監廚餘情況下，其與未採用黑水蛇生物技術處理下的差異，藉以進行探討。

4.3 澎湖監獄廚餘 GHGs 排放量計算

針對澎湖監獄廚餘碳排量部分，根據 4.1 之數據結果，我們可以了解到澎湖監獄在 111 年實際廚餘總量，因此我們將之用傳統廚餘處理方式之焚化與堆肥兩種方式進行計算，同時計算黑水蛇去化廚餘碳排量，綜合三者之結果比較，了解三者之 GHGs 排放量之差異。

其中根據本研究所提及之三種方式 GHGs 排放量計算方式，首先要先確認廚餘特性參數，因此本研究參考台北市政府環境保護局(2003)之廚餘特性分析結果，其結果如表 4-3 所示。

表 4.3 廚餘特性分析

分析項目	測值	分析項目	測值
含水量	75.94(%)	N	0.94(%)
灰份	5.48(%)	P	0.24(%)
可燃份	18.58(%)	K	0.18(%)
高位發熱熱值	1308(Kcal/Kg)	C	11.26(%)
低位發熱熱值	798(Kcal/Kg)	H	1.81(%)
pH	6.05	O	9.68(%)
EC	39,200(μmho/cm)	C/N	11.98

資料來源:台北市政府環境保護局(2003)

而根據上述之三種廚餘處理方式進行 GHGs 排放量計算，其中根據澎湖監獄所提供之數據值顯示，於 111 年澎湖監獄總計廚餘量為 176660 公斤，根據 IPCC 之方法，需將之轉換為千噸(Gg)之單位，因此其結果換算結果為 0.17666Gg/年，而在 GHGs 排放量計算中，誠如前述研究方法中所提及之 IPCC 指南之計算方法，其中 KW(%)、C(%)、EF、GWP 之參數皆是以固定值進行計算，其中 KW(%)=75.94(%)、C(%)=11.26、EF=0.6、GWP=298。以焚化方式進行處理時，其計算過程應為：

$$GHGs\ Emission = K \times (1 - KW) \times C \times \left(\frac{44}{12}\right)$$

其中：

K=0.17666Gg、KW(%)=75.94(%)、C(%)=11.26、EF=0.6、GWP=298，

其計算結果為：

$$GHGs\ Emission = 0.17666 \times (1 - 75.94\%) \times 11.26\% \times \left(\frac{44}{12}\right) = 0.01754864829\ (Gg)$$

而堆肥排放量計算，採用 IPCC 排放指南生物處理 N₂O 排放公式如下所示：

$$GHGs\ Emission = (M \times EF) \times 10^{-3} \times GWP$$

其中 M 為有機廢棄物生物處理量(Gg)，須先扣除扣除廚餘含水量(%)及灰份(%)，因此 M=0.17666-(0.17666*75.94%)-(0.17666*5.48%)，意即：

$$M=0.17666-0.1341556-0.00968097=0.03282343(Gg)；$$

EF 為排放因子(g)，依照 IPCC 排放指南定義，EF 假設為 0.6；

$$GWP=298$$

$$GHGs\ Emission = (0.03282343 \times 0.6) \times 10^{-3} \times 298=0.00586882928$$

針對黑水虻碳排量計算上，本研究參考 Salomone et al.(2017)對於黑水虻去化廚餘之計算，該研究主要是針對黑水虻在各成長生命週期間對於有機廢棄物之生物轉化能力進行研究，其研究指出，在理想條件下，幼蟲大約需要兩週時間才能成熟，黑水虻幼蟲經過 5 個幼蟲階段；到達蛹前階段時，幼蟲會與基質分離：幼蟲需要離開糞便才能成功化蛹成成蟲，因此很容易將幼蟲與堆肥分離，生物轉化後，人工分離幼蟲和堆肥產品，而部分則被保留以進化成蛹，並維持生產鏈。

此外根據 Lindberg(2022)等人研究指出，其研究指出黑水虻處理 1kg 的有機廢棄物(即 0.001Gg(1kg) N₂O 之排放量在 0.37 kg 至 0.86 kg (CO₂ /kg)，平均產生 N₂O 排放 8.6g，而 CH₄ 之排放量為 0.4g，如表所示。

表 4.4 黑水虻處理之排放量

Empty Cell	Empty Cell	Larvae [kg]	Residues [kg]	CO ₂ [kg]	CH ₄ [g]	N ₂ O [g]	NH ₃ [g]
<i>Current study</i>							

Empty Cell	Empty Cell	Larvae [kg]	Residues [kg]	CO ₂ [kg]	CH ₄ [g]	N ₂ O [g]	NH ₃ [g]
	Orange peels	17-52	180-422	77-147	0.3-0.9	0.04-0.1	0.0-78
	BC trimmings	14-64	23-243	47-62	0.07-2.2	1.4-5.2	5.4-342
	FW control	142 ± 7	134 ± 7	115 ± 33	0.06 ± 0.01	0.6 ± 0.1	1.8 ± 1.3
<i>BSFL composting</i>							
	Food waste ^a	120-190	570-640	92-100	1.0-3.0	0.19-1.0	Below detection limit
	Biowaste^b	220	320	-	0.4	8.6	-
	Food waste ^c	19-136	-	26-48	0.06-0.79	0.06-0.50	0.05-0.50

資料來源: Lindberg et al. (2022)

此外對於黑水虻所需處理之廚餘，主要是經由廚餘機處理後之有機廢料，其中即以扣除水份等部分問題，根據過往相關學者研究指出，黑水虻在處理有機廢料過程中，會因為其生命週期期程、天氣狀態、有機廢棄物狀態等因素而有所影響，但本研究並非是要詳細探討黑水虻在處理不同型態有機廢料所產生之排放量，鑑此本研究主要是根據 Linberg(2022)等人 5 之研究結果進行排放量計算，鑑此本研究對於黑水虻排放量計算，即是採用期對於 0.001Gg(1kg)之廚餘產量所產生之 GHGs 為 0.9g 之固定式進行計算，其中即包含了 CH₄ 的 0.4g 與 N₂O 的 8.6g。

綜觀上述對於三種處理廚餘之方式，計算結果如表 4.5 之澎湖監獄 GHGs 排放量總表所示，總體可以證實，在三種排放量中，焚化之方式排放量高於堆肥，而經由黑水虻去化作用所處理之排放量最低。

表 4.5 澎湖監獄 GHGs 排放量總表

項目	焚化	堆肥	黑水虻去化
廚餘量(Gg)		0.17666Gg	
KW(%)	75.94		
C(%)	11.26		
EF		0.6(g)	
GWP		298(無單位)	0.009
GHGs 排放量(Gg)	0.01754	0.00587	0.00159

資料來源:本研究整理

藉由表 4-4 可以知道若是將澎湖監獄整年度的廚餘之 GHGs 排放量加以彙整探討下，若是澎湖監獄全部的廚餘運用傳統的廚餘處理方式，其中本研究將之分為焚化與堆肥，焚化 GHGs 排放量為 0.01754、堆肥 GHGs 排放量為 0.00587，而黑水虻廚餘去化之 GHGs 排放量為 0.00159，整體而言可以了解到黑水虻廚餘去化之方式在處理澎湖監獄廚餘上其 GHGs 排放量是差異極大的。

4.4 澎湖監獄黑水虻去化廚餘之能源間接排放量

根據前述對於黑水虻技術應用上的相關內容與用電計算，本研究針對黑水虻在養殖與廚餘前置處理上之能源間接用電進行相關計算，其中處理量儘管在前述以詳盡說明每月處理量，但以澎湖監獄目前在廚餘處理量來說，平均每月廚餘處理量為 3428.92 公斤，意即每月平均處理量為 3.42892 公噸，而澎湖監獄本身機器能處理之容量即一次高達 3.5 噸，因此澎湖監獄並非是每日都在進行廚餘處理，在澎湖監獄是每週啟用該機器進行廚餘處理，其原因為單日處理量並未達需使

用機器直接執行之標準，因此在本研究中以 2022 年的 52 週，一天 3 小時，每週開 5 天，因此每週使用機器 15 小時進行計算，因此在機器使用上之度數計算如下：

$$\begin{aligned} \text{使用度數} &= \frac{\text{消耗功率}(W) * \text{使用小時}(H)}{1000} \\ \text{澎湖監獄廚餘機年使用度數} &= \frac{(2200W + 4000W) * 15 * 52}{1000} \\ &= 4836 \text{ 度/年} \end{aligned}$$

此外每日通風用電 1.76 度、照明用電 1.10 度，因此在整年度通風佳照明用電度數計算如下：

$$\text{年通風用電} + \text{年照明用電} = (1.76 + 1.10) * 365 = 1043.9 (\text{度/年})$$

綜觀上述之內容結合 ISO14064-1:2018 排放源分類中對於外購電力之溫室氣體排放量(CO₂e)計算，其結果如下所示：

溫室氣體排放量(CO₂e)

$$= \text{用電度數}(\text{千度/年}) * \text{碳盤查清冊係數}(0.502 \text{ kgCO}_2\text{e/度})$$

$$= (4836 + 1043.9) / 1000 * 0.502 = 2.95 \text{ kgCO}_2\text{e/公噸}$$

本研究之用電碳盤查結果，如下圖 4.3 所示。

電力使用		使用量/外售量 (千度/年)	排放係數 (公噸/千度)			購電來源	溫室氣體排放量			
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O		CO ₂ (公噸/年)	CH ₄ (公噸/年)	N ₂ O (公噸/年)	總溫室氣體 (公噸CO ₂ e/年)
外購電力	台電	5.8799	0.502	0	0	台電	2.95	0.00	0.00	2.95
	汽電共生廠						0.00	0.00	0.00	0.00
自發電力外售(1號機)						—	0.00	0.00	0.00	0.00
自發電力外售(2號機)							0.00	0.00	0.00	0.00
外購電力使用排放總合(範疇2)：							2.95	0.00	0.00	2.95
外售電力排放總合：							0.00	0.00	0.00	0.00

圖 4.3 澎湖監獄用電碳盤查表

根據上圖碳盤查結果可知，澎湖監獄在一年中利用黑水虻去化廚餘之外購電力所產生的溫室氣體排放量為 2.9 (GgCO₂e/年)。

4.5 減碳策略研擬與碳排量計算效益

以減碳策略研擬來說，綜觀各國在減碳策略研擬應用方面，黑水虻技術可以發揮以下作用，此外更可以結合其他措施，如植樹造林、提高能源利用效率等，來實現更加有效的減碳效果：

1. **促進土壤碳迴圈**：黑水虻技術通過在黑色壤土中增加土壤有機質含量，促進了土壤碳迴圈，提高了土壤碳匯能力，從而有助於減少大氣中的二氧化碳含量。
2. **改善土壤品質**：黑水虻技術可以提高土壤品質和肥力，改善土壤結構和保水性，從而有助於提高作物生產效率和減少化肥的使用。
3. **保護生物多樣性**：黑水虻技術通過增加土壤生物多樣性和生態系統功能，有助於保護生物多樣性和生態系統穩定性。
4. **降低生產成本**：黑水虻技術可以減少化肥的使用，降低生產成本，提高生產效益。

而若是單純針對廚餘處理部分，黑水虻生物技術的使用，可以讓整個澎湖監獄在廚餘處理上，GHGs 排放量降低很多，同時我們結合描述性統計中的各月資料可以發現，在 111 年 7 月時，澎湖監獄之資料即已指出，透過黑水虻去化廚餘，已可以完全處理澎湖監獄整個監獄的廚餘量，而鑒於過往澎湖監獄之資料可以發現，在採用黑水虻技術與採用後期間，澎湖監獄在廚餘的處理上，主要都是運到環保局處理，而理所當然的本研究採用了焚化與堆肥作為廚餘處理的傳統方式，

因此本研究將之與黑水虻進行比較。

以全球各地來說，世界各國藉由黑水虻生物技術處理廚餘的部分，有許多政策與策略發展，誠如中國、澳洲等地在此技術的發展，皆有國家政策在協助推行。而近年來我國在推行黑水虻相關技術上，除了處理各類有機廢棄物外，也開始出現了許多循環經濟之相關計畫，此現象也成為了我國公家機關在減碳策略研擬上的一個重大發展，以科技部之計畫「以黑水虻處理高濃度有機污泥技術之開發及產品安全性評估」為例，其即是藉由與學校進行配合，藉此計畫評估黑水虻在處理有機污泥技術上的開發。

因此綜觀上述之結論可以了解到，對於澎湖監獄來說，以黑水虻減碳排放來進行廚餘處理之相關研擬策略，實際上配合本研究中之減碳效益，可以很明確的瞭解到，若是單純以廚餘總量來進行比較，可以很明確地發現黑水虻廚餘去化之方式在處理澎湖監獄廚餘上其GHGs排放量是差異極大的，因此在策略研擬上可以結合黑水虻之特性，不僅僅可以結合現有澎湖監獄在獄友服務的相關內容，同時可以有效的結合商品製作、產學合作...等方式，不僅僅可以同時讓整個澎湖監獄在減碳排放上達到政府預期以大帶小之示範，也可以進行相關商品開發等提升澎湖監獄之減碳排放效益。

4.6 建議碳中和之方式

根據澎湖監獄來說，實際上若是藉由碳盤查之方式進行碳排放量的探討，實際上有許多可以進行探討的碳中和方式，但根據本研究之研究主軸來說，係以黑水虻作為研究之主體，因此本研究主要是針對黑水虻之碳中和方式來探討，黑水虻的碳中和方式意即透過運用黑水

蛇本身的習性與去化機能，針對廚餘及禽畜有機廢棄物去化之質能再利用，除了藉由黑水蛇的養殖提升堆肥效率外，快速去化有機物外又解決惱人的臭味及一些飼養問題也是黑水蛇的效益。

根據過往許多學者的研究及本研究之研究結論，黑水蛇有以下幾種適合澎湖監獄進行碳中和的方式，如下所示：

1. 黑水蛇幼蟲的堆肥速度相較於傳統堆肥方式在處理廚餘時，速度快了 2~3 倍之多，且相較於一般有機肥而言，其肥份及有機物質...等較佳。

2. 利用廚餘來飼養黑水蛇的方式，不僅額外可以藉此萃取生物柴油量及電能量，更能促成碳吸收量。

3. 廚餘以焚化、養豬、堆肥及黑水蛇等方式處理，其所產生之溫室氣體（Green House Gas, GHGs）排放量，根據本研究及各研究之結果指出，以黑水蛇生物技術進行處理所產生的 GHGs 排放量最少。

第五章 結論與建議

5.1 結論

隨著時代的演變，剩食處理已成為了全球人類所需面對的問題，然而在面對剩食問題時，我們所消耗掉的或是產生的碳排放量，可能來自於運輸過程、焚化過程等資源的投入，甚至可將之細分為地力、肥料、水資源消耗、能源消耗...等，而世界各國為了減緩焚燒與掩埋所造成的環境衝擊，也紛紛投入了相關技術進行剩食處理，然而我國面對有機廢棄物處理方式相較於國外的推進，我國是相對弱勢的，因此本研究期望藉由政府機關進行「以大帶小」的示範，有效的透過資料的數據驗證、機關示範...等，讓各公家單位或是企業能夠參酌之。

而本研究主要期望是藉由政府機關之澎湖監獄作為黑水虻生物技術示範，了解其相較於過往傳統廚餘處理方式上，是否能產生較少的 GHGs 排放量，藉此也可以將之作為未來政府或是企業等有關單位在處理該司之剩食問題或是其餘有機廢棄物等問題，有更好的選擇。

根據本研究之研究數據分析結果得知，澎湖監獄一整年度的廚餘總量，若是藉由黑水虻生物技術進行去化，其相對於堆肥或是焚化方式處理廚餘，所產生的 GHGs 排放量是相對少的，而黑水虻在整個成長過程中的習性，或是其能額外產生的價值，是非常具有農業循環經濟效益，除了可以快速處理有機廢棄物，轉換成蟲蛋白做為動物性蛋白質替代飼料，同時也能取代魚粉...等，而經虻蟲處理完畢的虻肥，更可應用做為天然的土壤改良資材，用以改善土壤酸化問題，係屬於一種具備前瞻性的有機資源。因此對於本研究來說，黑水虻生物技術

之應用在各大監所若是有地方可以進行相關處理，不僅解決了廚餘等有機廢棄物之問題外，更可以達政府所期待之碳排放量降低的情況。

5.2 建議

對於本研究之研究結論來說，實際上不僅僅看到的是數值上的改變，更可以了解到黑水虻在處理有機廢棄物上的種種價值，而本研究也建議未來澎湖監獄在固碳排放技術或是獄友服刑時所需進行的相關課程與勞動服務時，能夠將此技術結合之，將可以讓此技術能更具價值性，也同時達到了固碳排放效益，以下也提出兩點建議：

1. 澎湖監獄可以透過黑水虻的飼養，讓獄友在服役中能夠進行黑水虻幼蟲之脂肪回收，藉由其知方進行生質柴油與潤滑油的生產，或是回收其昆蟲蛋白作為飼料、保健食品...等，進以製造相關產品。
2. 結合澎湖監獄之區域範圍，無論是農作物的種植或是植樹造林之情況下，可以透過其農業循環競技效益，改善酸性土壤問題，更可藉由黑水虻副產品的產生(虻肥)，施用於農業耕地或是植樹造林過程中，作為天然肥料。

透過整個黑水虻技術在監獄的發展下，不僅僅對於澎湖監獄之環境污染改善方面，明顯的改善了廢棄物產生惡臭、蚊蟲等環境不佳問題，相對在廢棄物存放、清運及處理上均可有效改善，因此整體來說在澎湖監獄實際操作與運用黑水虻生物技術而言，養殖黑水虻法去化食品廢棄物，可完全取代食品廢棄物烘乾及堆肥程序，這也完全可以讓整個監所查到去化廚餘之效益，實則為有關單位可以效仿與投入的前瞻性生物技術。

參考文獻

一、英文部分

1. Andreas Obrecht, Myriam Pham-Truffert, Eva M. Spehn and Davnah Payne. (2021). Achieving the SDGs with Biodiversity. Biodiversity Science-Policy.
2. Andrew S. Erickson and Gabriel B. Collins. (2021). China Is Disrupting the Ocean's Blue Carbon Sink. U.S. Naval War College's China Maritime Studies Institute.
3. Antonello Sala, Dimitrios Damalas, Lucio Labanchi, Jann Martinsohn, Fabrizio Moro, Rosaria Sabatella & Emilio Notti Scientific Data volume. (2022). Energy audit and carbon footprint in trawl fisheries. Sci Data 9, 428 (2022). Source: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01478-0>.
4. Climate Council, 2020. What does net zero emissions mean? Climate Council. Source: <https://www.climatecouncil.org.au/resources/what-does-net-zero-emissions-mean/>.
5. Dan Laffoley & Gabriel Grimsditch. (2009). The Management of Natural Coastal Carbon Sinks. ResearchGate. Source: https://www.researchgate.net/publication/252896445_The_Management_of_Natural_Coastal_Carbon_Sinks.
6. Emily Cox¹, Miranda Boettcher, Elspeth Spence and Rob Bellamy. (2021). Casting a Wider Net on Ocean NETs. Sec. Negative Emission

- Technologies. 02 February 2021.
7. Environment Protect Administration. (2022). Taiwan 2050 Net-Zero Roadmap. Environment Protect Administration.
Source:<https://www.english-climatetalks.tw/net-zero-roadmap>.
 8. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., et al. (2019). Global carbon budget 2019. *Earth Syst. Sci. Data* 11, 1783–1838. doi: 10.5194/essd-11-1783-2019.
 9. Hauck J, Zeising M, Le Quéré C, Gruber N, Bakker DCE, Bopp L, Chau TTT, Gürses Ö, Ilyina T, Landschützer P, Lenton A, Resplandy L, Rödenbeck C, Schwinger J and Séférian R (2020) Consistency and Challenges in the Ocean Carbon Sink Estimate for the Global Carbon Budget. *Front. Mar. Sci.* 7:571720. doi: 10.3389/fmars.2020.571720.
 10. IEA(2022).Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE).IEA.
Source:<https://www.iea.org/reports/world-energy-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>.
 11. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. (2019). Mitigating climate change through coastal rcosystem management. The Blue Carbon initiative. Source:
<https://www.thebluecarboninitiative.org/>.
 12. International Trade Admission (2022). TAIWAN NET-ZERO EMISSIONS BY 2050. International Trade Administration.
Source:<https://www.trade.gov/market-intelligence/taiwan-net-zero-emissions-2050>.
 13. Inves Taiwan. (2017). Penghu CountyRegional Information. Inves

Taiwan.

14. IPCC(2022).Global Warming of 1.5 °C. IPCC. Source:
<https://www.ipcc.ch/sr15/>.
15. IUCN. (2012). Blue Carbon Policy Framework. IUCN.
16. L. Lindberg, E. Ermolaev, B. Vinnerås & C. Lalander. (2022). Process efficiency and greenhouse gas emissions in black soldier fly larvae composting of fruit and vegetable waste with and without pre-treatment. Journal of Cleaner Production Volume 338, 1 March 2022, 130552.
17. Lin HJ, Lee CL, Peng SE, Hung MC, Liu PJ & Mayfield AB.(2018) The effects of El Niño-Southern Oscillation events on intertidal seagrass beds over a long-term timescale,Global Change Biology. vol.24, pp.4566-4580.
18. McKinsey & Company. (2022). Six characteristics define the net-zero transition. McKinsey & Company. January 25, 2022.
19. McKinsey & Company. (2022). What is net zero? McKinsey & Company. November 28, 2022.
20. Mckinsey. (2022). Six characteristics define the net-zero transition. Source:<https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/six-characteristics-define-the-net-zero-transition>.
21. Mekala Krishnan.(2022). Taking the first steps toward net-zero emissions. Mckinsey.
Source:<https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/taking-the-first-steps-toward-net-zero-emissions>.

22. National Grid. (2022). What is net zero? National Grid.
Source:<https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-net-zero>.
23. National Ocean Account, Experimental Estimates. (2022). Towards a National Ocean Account. National Ocean Account, Experimental Estimates. August 2022.
24. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). Southern Ocean confirmed as strong carbon dioxide sink. NOAA Research News. Friday, December 3, 2021. Source:
<https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2813/Southern-Ocean-confirmed-as-strong-carbon-dioxide-sink>.
25. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). Managing U.S. Fisheries. National Oceanic and Atmospheric Administration. Source:<https://www.fishwatch.gov/sustainable-seafood/managing-us-fisheries>.
26. R. Salomone, G. Saija, G. Mondello, A. Giannetto, S. Fasulo & D. Savastano.(2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. Journal of Cleaner Production, Vol.140, 2017, pp. 890-905.
27. Rahayu Kusdarwati. (2022). Vigilance Expected in Catfish Cultivation in Bozem Moro Krembangan Surabaya. UNAIR NEWS.
Source:<https://news.unair.ac.id/2019/08/07/vigilance-expected-in-catfish-cultivation-in-bozem-moro-krembangan-surabaya/?lang=en>.

28. Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D. et al. Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature* 592, 397–402 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z>.
29. The World Bank. (2022). The World Bank’s Blue Economy Program and PROBLUE: Supporting integrated and sustainable economic development in healthy oceans. The World Bank.
30. Tim DeVries, Corinne Le Quéré, Oliver Andrews, Sarah Berthet, Judith Hauck, Tatiana Ilyina, Peter Landshutzer, Andrew Lenton, Ivan Lima, Michael Nowicki, Jörg Schwinger, and Roland Séférian. (2019). University of Hawaii. EARTH, ATMOSPHERIC, AND PLANETARY SCIENCES.
31. United Nations. (2022). THE 17 GOALS. United Nations. Source: <https://sdgs.un.org/goals#icons>.

二、中文部分

1. CleaAir(2023)。克立爾二代商用廚餘機組合(粉碎機+乾溼分機機)CAC-4000CX。CleaAir。資料來源：
<https://www.cleaair.com/tw/specification/gwb/cac-4000cx.html>。
2. ESG 永續雲(2023)。做永續一定要懂的「3 組」數字：14064-1、14064-2、14067。ETtoday 新聞雲。資料來源：
<https://esg.ettoday.net/news/2500555#ixzz84uHGjITY>
3. Greenpeace(2021)。臺灣為什麼需要海洋保育法與 30%海洋保護區？Greenpeace。
4. Leadership(2023)。ISO 14067：2018 產品碳足跡標準。Leadership。
5. R. Salomone, et al. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, Vol.140, 2017, pp. 890-905.
6. SGS(2015)。ISO/TS 14067-「產品碳足跡量化及溝通要求及指引標準」。中小企業應對指南。
7. 中央社(2022)。海保署盤點海洋生態系碳匯量，邁向 2050 淨零碳排。聯合新聞網。2022 年 6 月 8 日。資料來源：<https://udn.com/news/story/7266/6373306>。
8. 台灣永續能源研究基金會(2022)。什麼是永續漁業？台灣與海洋永續最遠的距離。台灣永續能源研究基金會。資料來源：<https://taise.org.tw/post-view.php?ID=404>。
9. 台灣永續能源研究基金會，2022。對小國和沿海人口至關重要

- 的永續藍色經濟。台灣永續能源研究基金會。
10. 江蘇省城市管理與行政執法學會(2021)。黑水虻城市濕垃圾迴圈經濟解決方案。餐廚垃圾黑水虻生物轉化蛋白技術研討會議。2021-09-18。資料來源：
<https://www.jscgxx.com/mobile/newsshow.php?id=1426>。
 11. 行政院(2022)。台灣致力到 2050 年實現淨零排放。行政院信息服務司。資料來源：<https://english.ey.gov.tw/Page/61BF20C3E89B856/97c6b323-ca68-4d58-ae65-e2ea3838dfd2>。
 12. 行政院國家永續發展委員會(2022)。臺灣 2050 淨零排放路徑簡報。行政院國家永續發展委員會。
 13. 行政院農業委員會漁業署(2016)。沿近海漁業管理及責任制漁業之實踐。行政院農業委員會漁業署。資料來源：https://www.fa.gov.tw/view.php?theme=Coastal_fisheries&subtheme=&id=1。
 14. 行政院環境保護署(2021)。我國國家溫室氣體排放清冊報告(2021 年版)。行政院環境保護署。
 15. 吳小燕(2020)。2020 年中國餐廚垃圾處理行業新增建設專案數量增長勢頭迅猛、市場下沉趨勢漸顯。前瞻產業研究院，2020/04/17。
 16. 周郁芹(2022)。新穎與黑水虻跳出美麗新天地。聯合新聞網，2022 年 5 月 4 日。
 17. 林尹筑(2021)。地表最強清道夫吃廚餘，巨獸綠色科技用黑水虻創零排放循環系統。CSR。2021 年 5 月 27 日。

18. 南華大學永續中心(2017)。零廢棄物大突破！黑水虻分解動物糞便,又可當蛋白質飼料。南華大學永續中心，2017年5月3日。
19. 柯秀靜(2018)。廚餘肥處理服務碳足跡案例分享。經濟部，107年度中小企業節能管理輔導。
20. 柳婉郁(2022)。地球上最會吸二氧化碳的地方不是森林！專家帶你認識3個碳儲存倉庫。綠學院。資料來源:<https://www.storm.mg/lifestyle/4483435?mode=whole>。
21. 段紀義、梁世祥、周瑞興(2022)。食品廢棄物應用黑水虻處理的效益評估。工業污染防治，第155期(Sep. 2022)，p.37。
22. 段紀義、梁世祥、周瑞興(2022)。食品廢棄物應用黑水虻處理的效益評估。工業污染防治，第155期(Sep.2022)，p.37。
23. 洪耀明(2018)。ISO 14064-1:2018 溫室氣體排放盤查。南華大學永續中心。
24. 徐承堉(2015)。漁業如何永續？從漁業管理、海洋保護區到責任漁業。台灣環境資訊中心。資料來源:https://www.nmmba.gov.tw/News_Content.aspx?n=FF40572369107C6E&sms=4BD2D29B72CA27F8&s=4528A26D237B253B。
25. 馬瑞璿、簡永祥、林海、鄭朝陽(2022)。以大帶小，大廠攜供應鏈減碳。聯合報，2022年5月10日。
26. 張志鋒(2021)。探索海洋碳匯增量為導向的生態保護模式。中華人民共和國生態環境部。
27. 張惠雯(2010)。連鎖餐飲業廢棄物描述與分析及其碳足跡之研究。中國文化大學農學院生活應用科學研究所碩士論文。
28. 張惠雯(2010)。連鎖餐飲業廢棄物描述與分析及其碳足跡之研

- 究。中國文化大學農學院生活應用科學研究所碩士論文。
29. 張麗琴(2021)。黑水虻去化有機廢棄物於生質能轉換及溫室氣體排放之研究。崑山克濟大學機械與能源工程研究所博士論文。
 30. 梁世祥、楊庭豪、王思涵(2010)。黑水虻在友善農耕上之開發與應用。2019 有益昆蟲在友善農耕之應用研討會。
 31. 陳映伶(2022)。運用聯合國永續發展目標(SDGs)連結台灣海洋環境教育。新北市環境教育輔導團電子報。
 32. 陳映璇(2022)。碳盤查是什麼？減碳策略要怎麼訂？1,290 家企業碳盤查調查一次看。今周刊，2022-11-21。
 33. 陳鴻烈、廖英洲、許振峯、周孟融(2012)。IPCC 方法推估不同廚餘處理方式之溫室氣體排放。國立中興大學水土保持系博士論文。
 34. 勞敏儀(2021)。港企建首個黑水虻基地，日均清 1 噸廚餘。香港 01 新聞網。資料來源：<https://www.hk01.com/%E7%A4%BE%E6%9C%83%E6%96%B0%E8%81%9E/632966/%E8%9F%B2%E5%85%B5%E5%9C%98-%E5%B7%A5%E5%BB%A0%E5%BC%8F%E9%81%8B%E4%BD%9C-%E6%B8%AF%E4%BC%81%E5%BB%BA%E9%A6%96%E5%80%8B%E9%BB%91%E6%B0%B4%E8%99%BB%E5%9F%BA%E5%9C%B0-%E6%97%A5%E5%9D%87%E6%B8%851%E5%99%B8%E5%BB%9A%E9%A4%98>。
 35. 童凱鴻(2022)。海陸雙拼，轉廢成金，既創農牧循環兼收海洋碳匯。台糖通訊。2022 年 5 月號。
 36. 童儀展、林玉婷(2022)。食育還能怎麼推？喚醒島國人沈睡的海

- 洋基因！從懂得怎麼吃魚開始。食力。2022年5月31日。資料來源：<https://www.foodnext.net/life/education/paper/5739707650>。
37. 經濟部(2022)。2050 淨零碳排。經濟部 MOEA。資料來源：<https://www.go-moea.tw/>。
38. 鄒敏惠(2019)。澎湖新一波海洋生力軍！「永續海鮮輔導員」、「食漁教育講師」56位學員結業。環境資訊中心。2019年12月24日。資料來源：<https://e-info.org.tw/node/222170>。
39. 賴峰偉(2021)。2021 澎湖海洋年 永續漁業繁榮。中時新聞網。資料來源：<https://tw.news.yahoo.com/news/2021%E6%BE%8E%E6%B9%96%E6%B5%B7%E6%B4%8B%E5%B9%B4-%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E6%BC%81%E6%A5%AD%E7%B9%81%E6%A6%AE-201000090.html>。
40. 環保署統計查詢網(2023)。一般廢棄物產生量。環保署統計查詢網。<https://statis91.epa.gov.tw/epanet/index.html>。
41. 環境資訊中心(2021)。不能送養豬場 六成廚餘如何去化？環保署急調度掩埋、焚化、高效處理廠。環境資訊中心，2021年8月30日。
42. 譚仲宇(2022)。碳足跡標準 ISO 14067、14064 是什麼？認證步驟一次看。ESG 遠見，2022年12月14日。