



國立臺灣大學獸醫專業學院獸醫學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Veterinary Medicine

School of Veterinary Medicine

National Taiwan University

Master's Thesis

禽肉產品碳排放檢視及改善措施之研究

—以白肉雞屠宰場為例

Study on Calculation and Improvement Measures of Carbon
Footprint of Poultry Meat Products in Slaughterhouse

蕭瑞宏 撰

Jui-Hong Hsiao

指導教授：周崇熙 博士

Advisor: Chung-Hsi Chou, Ph.D.

中華民國一一三年六月

June, 2024

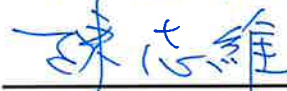
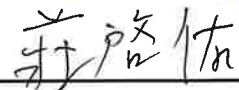
國立臺灣大學（碩）博士學位論文
口試委員會審定書

禽肉產品碳排放檢視及改善措施之研究
—以白肉雞屠宰場為例

Study on Calculation and Improvement Measures of
Carbon Footprint of Poultry Meat Products
in Slaughterhouse

本論文係蕭瑞宏君（R09629016）在國立臺灣大學獸醫學系、所完成之碩（博）士學位論文，於民國一一三年六月二十六日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

周 崇 熙	 (簽名)
(指導教授)	
蔡 向 榮	
賴 敏 銓	
陳 志 維	
莊 啟 佑	

系主任、所長

 (簽名)

誌謝



回想這幾年念研究所的時間不算短，工作、課業及家庭三頭燒，不斷地熬夜與犧牲假日，一路走來點滴在心頭，這段時光與學習經驗都是值得珍惜與回憶的。

本論文能順利完成，要感謝的人很多，最想感謝的是指導教授周崇熙老師，無論在學業及研究上的細心指導，使學生在研究過程所碰到的問題都能找出解決之道，除此之外更讓我學到更重要的學習態度與待人處世的道理，在此致上由衷的敬意與感謝。同時感謝口試委員蔡向榮教授、賴敏銓助理教授、陳志維助理教授及莊啟佑助理教授的指導，讓本論文能更趨臻備。

此外，亦要感謝所上的師長張紹光教授及楊文淵助理教授，在求學過程中給予的專業指導與經驗分享，使我獲益良多。感謝班上同學政緯、宛平、佑承及承恩，在我求學期間的相互砥礪與支持。也特別感謝總署林志憲組長、長官與同仁們的支持，使我能順利完成學業。

最後我想感謝辛苦培育我的父母及寶貝兒子安辰、宥鈞，有你們的支持讓我更可致力完成進修目標，也感謝所有幫助我、關心我的每個人，謝謝你們。

蕭瑞宏 謹誌

中文摘要



屠宰是肉製品生產的重要過程，是碳排放的關鍵來源之一，瞭解屠宰流程的碳排放熱點，能作為改善產品碳足跡的依據。關於碳足跡管理的國際標準中有 ISO 14064 和 ISO 14067，ISO 14064 是用於指導組織量化和報告其溫室氣體排放，這包括直接和間接的排放，並提供了一個框架，幫助組織確定和實施溫室氣體減排目標，這項標準有助於企業評估其對氣候變化的影響，並制定相應的減排策略；而 ISO 14067 則是一個指導企業評估產品碳足跡的標準，它提供了一套方法，幫助企業量化其產品的碳排放量，並通過採取相應的減排措施來減少這些排放，這有助於企業更好地了解其產品對氣候變化的貢獻，並促使它們採取更環保的生產方式。此兩項標準的實施皆有助於推動企業向更永續性的發展方向轉變，減少對環境的負面影響。因糧食系統於全球溫室氣體排放佔比近 1/3，其中肉品生產更視為大宗項目，隨著全世界人口不斷的上升，可以預期對於肉品的需求及消費將大幅增加，進而導致嚴重的環境衝擊，因此改變肉品生產方式以減少環境衝擊是重要課題。本研究以臺灣 2 家（皆為臺灣前 10 大家禽電宰廠）具有於三個屠後檢查站之白肉雞屠宰場為調查標的，盤查其於 2021 年度屠宰白肉雞所排放的總碳量，並對各場屠程實狀分析熱點及排碳佔比，同時提出可供未來改善的建議。主要研究方向有三：(i) 單位碳足跡分析；(ii) 各階段排碳量分析；(iii) 各項目排放量分析。結果如下：(i) A 屠宰場年屠宰量為 18,246,909 隻(屠體總重 40,136 公噸)，總排放量為 7,231.190 噸 CO₂e，



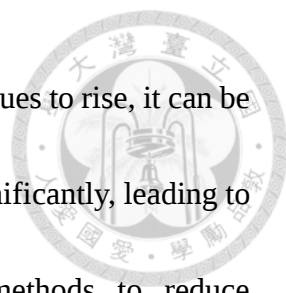
平均屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.180 kgCO₂e/kg，平均屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.396 kgCO₂e/隻；B 屠宰場年屠宰量為 20,835,775 隻（屠體總重 43,547 公噸），總排放量為 5,242.072 噸 CO₂e，平均屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.120 kgCO₂e/kg，平均屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.252 kgCO₂e/隻；(ii) 屠宰分切階段 A 屠宰場排碳佔比達 93.36%，B 屠宰場達 77.70%；廢棄物處置階段 A 屠宰場占 6.61%，B 屠宰場占 22.16%；廢棄物運輸階段 2 家屠宰場排碳佔比皆小於 1%；(iii) A 屠宰場排放熱點以電力為主要排碳貢獻占 71.76%，次之為製冷設備冷媒逸散占 11.76%，而鍋爐使用之天然氣占 6.97%及廢水處理占 5.09%；B 屠宰場排放熱點電力排碳貢獻占 62.53%，次之為廢水處理占 21.63%，而鍋爐使用之液化石油氣占 8.59%及製冷設備冷媒占 6.01%。比較國外相關調查，臺灣此形式之白肉雞屠宰排碳單位量較高。進一步分析兩場的明顯差異包括製冷設備的設置及熱能化石燃料項目選擇，致使 A 場在電力、冷媒逸散及熱能使用項目的排碳量偏高；此外改善廢污水處理模式（例如 B 場加設甲烷收集設備）也將有效降低排放總量。因應未來的碳權管理，設備升級、改善流程與效率及再生能源利用都是必要措施，屠宰產業宜儘早針對個別場區進行碳盤查，瞭解個別場域的碳排熱點，以規劃未來減碳作為。

關鍵字：禽肉、碳排放量、屠宰場、生命週期評估、ISO 14067、排放熱點、碳權

英文摘要



Slaughtering is an important process in the production of meat products and one of the key sources of carbon emissions. Understanding the carbon emission hotspots in the slaughtering process can be used as a basis for improving the carbon footprint of products. The international standards related to carbon footprint management include ISO 14064 and ISO 14067. ISO 14064 is used to guide organizations in quantifying and reporting their greenhouse gas emissions, including both direct and indirect emissions. It provides a framework to assist organizations in identifying and implementing greenhouse gas reduction targets. This standard helps businesses assess their impact on climate change and develop corresponding emission reduction strategies; ISO 14067, on the other hand, is a standard guiding businesses in assessing the carbon footprint of their products. It provides a methodology to help companies quantify the carbon emissions of their products and reduce these emissions through corresponding mitigation measures. This aids businesses in better understanding the contribution of their products to climate change and encourages them to adopt more environmentally friendly production methods. The implementation of these two standards helps drive businesses towards more sustainable development, reducing their negative impact on the environment. Because the food system accounts for nearly 1/3 of global greenhouse gas emissions, and meat

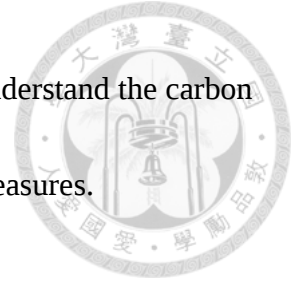


production is considered a bulk item, as the world's population continues to rise, it can be expected that the demand and consumption of meat will increase significantly, leading to serious environmental impact, so changing meat production methods to reduce environmental impact is an important issue. This study takes two broiler slaughterhouses in Taiwan (both of which are among the top 10 largest poultry slaughterhouses in Taiwan) with three post mortem inspection stations as the subject of investigation, and examines the total carbon emissions emitted by slaughtering broilers in 2021. It also analyzes hot spots and carbon emission proportions of each slaughtering process, and puts forward suggestions for future improvements. There are three main research directions: (i) unit carbon footprint analysis; (ii) analysis of carbon emissions at each stage; (iii) analysis of emissions from each item. The results are as follows: (i) The annual slaughtering quantity of SA is 18,246,909 birds (the total carcass weight is 40,136 metric tons), the total emissions are 7,231.190 tons of CO₂e, the average unit carbon footprint per kilogram of slaughtered chickens is 0.180 kgCO₂e/kg, the average unit carbon footprint of each slaughtered chicken is 0.396 kgCO₂e/bird; the annual slaughtering quantity of SB is 20,835,775 birds (total carcass weight 43,547 metric tons), the total emissions are 5,242.072 tons of CO₂e, the average unit carbon footprint of each kilogram of slaughtered chickens is 0.120 kgCO₂e/kg, and the average unit carbon footprint of each slaughtered



chicken is 0.252 kgCO₂e/bird; (ii) the carbon emission ratio of SA in the slaughtering and cutting stage is 93.36%, and that of SB is 77.70%; waste disposal stage in the SA accounts for 6.61%, and in the SB accounts for 22.16%; in the waste transportation stage, the carbon emissions of the two slaughterhouses are both less than 1%; (iii) At SA, the primary carbon emission hotspot is electricity, accounting for 71.76% of emissions, followed by refrigerant leakage from refrigeration equipment at 11.76%, with natural gas used in boilers contributing 6.97%, and wastewater treatment contributing 5.09%. At SB, the main carbon emission hotspot is electricity, contributing 62.53% of emissions, followed by wastewater treatment at 21.63%, with liquefied petroleum gas used in boilers contributing 8.59%, and refrigerant leakage from refrigeration equipment contributing 6.01%. Comparing with other countries, the carbon emissions per unit of broiler slaughtered from this style in Taiwan are higher. Further analysis reveals significant differences between SA and SB, including the refrigeration equipment and the usage of fossil fuel for heating, resulting in higher carbon emissions in SA in electricity, refrigerant leakage, and energy for heat. Additionally, optimization the wastewater treatment mode (such as installing methane collection facility in SB) would also effectively reduce the total emissions. In response to future carbon credit management, upgrading equipment, improving efficiency, and choosing renewable energy are necessary. The slaughter

industry should conduct carbon audits for individual sites early to understand the carbon hotspots of each location, in order to plan future carbon reduction measures.



目次



口試委員審定書.....#	
誌謝.....i	
中文摘要.....ii	
英文摘要.....iv	
目次.....viii	
圖次.....xii	
表次.....xiv	
第一章 緒言.....1	
第二章 文獻回顧.....3	
第一節 氣候變遷.....3	
第二節 國際碳足跡的政策與盤查現況.....5	
第三節 臺灣碳足跡的政策與盤查現況.....7	
第四節 碳足跡數據品質評估分析.....12	
第三章 材料與方法.....15	
第一節 碳足跡認證標準.....15	
生命週期評估與碳足跡盤查.....15	
產品碳足跡的盤查與計算.....16	

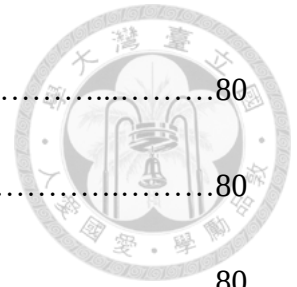
第二節 碳足跡盤查說明.....	21
盤查標準及邊界.....	21
盤查對象、目的及期間.....	21
盤查範疇.....	22
第三節 碳足跡計算方法與排放量計算.....	26
計算方法.....	26
排放量計算.....	28
第四章 調查結果.....	37
第一節 A 屠宰場碳排放量計算結果分析.....	37
分配原則與假設.....	37
計算結果與分析.....	39
數據品質分析.....	40
第二節 B 屠宰場碳排放量計算結果分析.....	41
分配原則與假設.....	41
計算結果與分析.....	42
數據品質分析.....	43
第三節 2 家屠宰場碳足跡計算結果分析.....	44
單位碳足跡分析.....	44





各階段排碳量分析.....	44
各項目排放量分析.....	45
第五章 討論.....	47
第一節 2 家屠宰場分析比較.....	47
電力.....	47
鍋爐燃料.....	48
廢水處理.....	49
第二節 產品碳足跡差異比較.....	52
影響產品碳足跡的因子.....	52
國際與臺灣畜禽肉產品碳足跡比較.....	59
第三節 畜禽肉產品碳足跡熱點分析.....	62
碳足跡熱點.....	62
國際與臺灣畜禽屠宰階段碳足跡熱點分析.....	64
第四節 改善措施探討.....	66
能源使用.....	66
冷媒逸散.....	70
副產品及廢棄物.....	71
廢水處理.....	76

第五節 建議.....	80
冷媒設備的清點與計算.....	80
廢水處理設備.....	80
第六章 結論與展望.....	82
參考文獻.....	86



圖次



Figure 1. In 2015, food-system emissions amounted to 18 Gt CO ₂ equivalent per year globally, representing 34% of total GHG emissions.....	128
Figure 2. The food system accounts for nearly 1/3 of global greenhouse gas emissions, and meat production is even considered a large item.....	129
Figure 3. CFP-PCR livestock and poultry meat and edible offal-life cycle scope.....	130
Figure 4. System boundaries in this study.....	131
Figure 5. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in SH A.....	132
Figure 6. The proportion of carbon footprint in the slaughtering and cutting stage of SH A.....	133
Figure 7. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process of SH A.....	134
Figure 8. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in SH B.....	135
Figure 9. The proportion of carbon footprint in the slaughtering and cutting stage of SH B.....	136
Figure 10. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process	



of SH B.....	137
Figure 11. Comparison of unit carbon footprint emissions of two SHs.....	138
Figure 12. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in two SHs.....	139
Figure 13. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process of two SHs.....	140

表次



Table 1. Data quality indicator matrix.....	99
Table 2. Single indicator data quality level conversion table.....	100
Table 3. Carbon footprint data quality grading standards.....	101
Table 4. Carbon footprint activity data sources of SH A.....	102
Table 5. Carbon footprint activity data sources of SH B.....	103
Table 6. Emission factors and sources.....	104
Table 7. Emission factor of refrigeration equipment.....	105
Table 8. Global warming potential.....	106
Table 9. Refrigeration equipment estimation and determination.....	107
Table 10. Carbon emission table for each stage of the slaughtering process in SH A...	108
Table 11. Carbon emissions per unit carbon footprint of SH A.....	109
Table 12. SH A carbon footprint data quality grade calculation table.....	110
Table 13. Carbon emission table for each stage of the slaughtering process in SH B...	111
Table 14. Carbon emissions per unit carbon footprint of SH B.....	112
Table 15. SH B carbon footprint data quality grade calculation table.....	113
Table 16. Unit carbon footprint emissions.....	114
Table 17. SH A's emission hot spots.....	115



Table 18. SH B's emission hot spots.....	116
Table 19. Electricity consumption per unit for slaughtering.....	117
Table 20. Carbon emissions from boiler fuel.....	118
Table 21. Unit calorific value of slaughtering dehairing procedure.....	119
Table 22. Carbon emissions of SH A's boilers using alternative fuels under the same calorific value conditions.....	120
Table 23. Wastewater treatment data.....	121
Table 24. Ratio of slaughtering and wastewater treatment in 2 SHs.....	122
Table 25. Wastewater treatment methods and methane correction coefficient.....	123
Table 26. Methane emissions and total carbon emissions from wastewater treatment...	124
Table 27. Estimation of nitrous oxide carbon emissions from wastewater treatment....	125
Table 28. Summary of global carbon footprint studies associated with beef production Carbon footprint values given in italics have been converted to kg CO ₂ e per kg LW.....	126
Table 29. Comparison of carbon footprints of international and Taiwan poultry products.....	127

第一章 緒言



肉類產品在人類飲食中扮演著重要的角色，提供了豐富的蛋白質、維生素和礦物質，對於維持身體健康至關重要。而隨著全世界人口不斷的上升，可以預期對於肉品的需求及消費將大幅增加，進而導致嚴重的環境衝擊。於 2015 年，糧食系統的碳排放量在全球一年已達 180 億噸 CO₂e，佔比達溫室氣體總排放量的 34% (Crippa et al., 2021)，其中碳排放量最大的來源是農業生產及土地利用/土地利用改變（如 Figure 1 所示），剩餘部分則為供應鏈各階段的排放：零售端、運輸、消費、燃料消耗、廢棄物管理、加工及包裝等。

隨著近年氣候變遷，導致全球環境發生了異常現象：全球平均氣溫上升、極端氣候、海平面上升、冰川融化、海洋酸化及環流變化、生態系統影響、乾旱和水資源不均衡等，氣候變遷不僅對自然環境產生影響，對人類社會、經濟和健康亦構成了挑戰。有鑑於此，世界各國紛紛採取行動，將淨零碳排當作最重要的環境政策目標，其中又以歐盟最為積極，因減緩氣候變遷的意識逐漸提高，「產品碳足跡」越來越受到重視，無論是購買食材或交通運輸，透過測量碳足跡，人們可以了解到其生活、活動及產品製程等對氣候的影響，進而採取相關減碳措施，以減緩氣候變遷。

糧食系統於全球溫室氣體排放佔比近 1/3，其中肉品生產更視為大宗項目（如 Figure 2 所示），相同的產品在不同的生產者之間用不同的方式進行生產，所產生的碳排放量差異有時可高達 50 倍以上 (Poore et al., 2018)，因此改變肉品生產方



式以減少環境衝擊是重要課題。為有效減少肉品生產過程之碳排放量，可透過產品碳足跡及生命週期評估（Peters et al., 2010; Ledgard et al., 2011），了解整個生產過程中原料取得、製造、運輸、使用、廢棄物處置及回收等階段之溫室氣體排放量，這包括二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）和一氧化二氮（N₂O）等氣體，其中從肉品的生命週期評估可以得到，又以製造階段（動物飼養、屠宰及加工）的碳排放量為大宗（Wiedemann et al., 2015）。計算產品碳足跡有助於評估其對氣候變化的影響，了解各階段之碳排放熱點，進而研擬相關減碳措施，調整及改善生產方式，以減少產品在整個生產過程所產生之碳排放量。

第二章 文獻回顧



第一節 氣候變遷

氣候變遷是指氣候模式和氣象條件的長期變化，這些變化可以影響地球各個方面，包括生態系統、人類社會、水資源和糧食生產等。而全球暖化(Global Warming)現象，指的是大氣和海洋中的溫室氣體過量（包括二氧化碳、甲烷、水蒸氣、氧化亞氮），使地球猶如被籠罩在厚厚的溫室中，太陽照射的熱量難以散去，導致溫度升高，引發各種極端天氣如乾旱、暴雨、熱浪等。

氣候變遷的成因包括自然因素和人為因素，但在過去一個多世紀中，人類的活動已經成為氣候變遷的重要推動力。在 2013 年，以全球 1,300 位獨立科學專家組成的聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC），在第五次評估報告表示：「有超過 95%的機率顯示（依據第一工作組決策者摘要研究結果，按照置信度進行評級為 Extremely likely），人類行為是過去 50 年來造成暖化現象的主要原因。」，大幅度開墾林地、拓展農業和工業發展，造成溫室氣體排放增加，加上大量地燃燒化石燃料，如煤炭和石油，致使大氣中的二氧化碳濃度越來越高，進而導致全球暖化。

當平均氣溫和海洋溫度升高，導致極地區域的冰川和冰蓋融化，對全球海平面上升產生影響。這可能對低海拔和沿海地區產生嚴重的影響。

除此之外，降水模式改變和亞熱帶地區的沙漠化，使極端氣候事件的頻率和強



度也在增加，包括極端高溫、洪水、颶風和乾旱等。各種天災襲擊將在全球造成嚴重的生命與財產損失。全球暖化不僅是氣候模式受影響，更衝擊對環境極為敏感的生態，包括物種遷徙、生態系統平衡破壞以及海洋酸化等，甚至引起大規模物種滅絕，以及糧食危機等問題。氣候變遷對社會和經濟系統也產生重大影響，包括農業收成的變化、水資源供應的不確定性及自然災害風險的增加，若收成與供給不再穩定，將對於全球經濟造成動盪，更可能引發爭奪資源的政治風險。

若此情況持續下去，全球表面溫度很有可能在未來數十年持續上升，科學家預測在下一個世紀內，全球升溫可能達到攝氏 1.4 度到 5.6 度，為了因應這些挑戰，聯合國於 2015 年 12 月 12 日在法國巴黎召開第 21 屆聯合國氣候變遷大會(COP21)並通過「巴黎協定」，該協定是由聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）的締約國制定，並於 2016 年 11 月 4 日正式生效，各國首次同意「本世紀末以前，必須控制地球升溫於攝氏 2 度以內」，並且各國每五年必須檢討「國家自定減碳貢獻」（Nationally Determined Contributions，NDCs）。

隨後 IPCC 在 2018 年時，發布新的研究報告，建議各國必須以 1990 年平均溫度為參考基準，進一步將地球升溫控制在攝氏 1.5 度之內，更指出 2030 年的碳排放量必須減少 45%，2050 年達到淨零碳排（碳中和），這是防止氣候變遷帶來嚴重災難的唯一方法。

第二節 國際碳足跡的政策與盤查現況



為因應全球氣候變遷效應，全球已有超過 130 個國家宣布推動在 2050 年前達成淨零碳排，於 2019 年，歐盟執行委員會（European Commission）提出了在 2030 年達到溫室氣體排放量（與 1990 年相比）減少 55% 之階段性目標，以及未來在 2050 年，歐洲可實現氣候中和（Climate neutral）的中長期減量目標。到了 2021 年 7 月該委員會於第 26 屆聯合國氣候變遷大會（COP26）提出落實「降低 55% 溫室氣體排放方案」（Fit for 55 package）的各項相關措施，其中又以「碳邊境調整機制」（Carbon Border Adjustment Mechanism，CBAM）最受矚目，該措施未來在美日韓等國也有意跟進。

CBAM 主要是針對全球進口至歐盟之特定列管產品徵收碳排放費用，透過明訂出口國產品的碳排放量額度，若超過進口國規範，進口商除須購買「碳權」外，也將會面臨產品被課徵碳關稅。依據碳排放量，進口商需完成採購相對應的 CBAM 憑證（CBAM Certificate），產品才能進入歐盟。但如果是非歐盟的生產商，只要提供產品在非歐盟國家已依據碳價格支付費用的相關證明，進口商則可以抵消歐盟 CBAM 憑證的採購費用。

也就是說，CBAM 鼓勵產品在出口國就進行減碳，因此若該商品已有在其他國家繳交排碳費用，即可扣減其所需購買的 CBAM 額度，設立 CBAM 的用意，就是希望此舉可以有效降低全球碳排。此外，CBAM 的措施亦可避免有「碳洩漏」



（Carbon Leakage）的情況，碳洩漏指的是，高碳排產業為了躲避嚴格的碳排放規範，會選擇外移到碳排放規範較為寬鬆的國家的現象。當生產移轉至境外後，也導致境內進口產品的需求增加後，碳排放量也隨之提高，因此對進口商品徵收碳關稅，可確保了進口商品的碳成本與國內商品相符，促使全球市場上的競爭更為公平。

CBAM 已於 2023 年 10 月開始試行，主要僅要求進口廠商提交碳排放數據，尚不需繳納費用，並將在 2026 年 1 月 1 日正式開始付費，初期涵蓋五大高碳排產業（水泥、鋼鐵、鋁、肥料、電力），歐盟碳排放交易系統（The European Union Emission Trading System）免費碳排放配額逐漸減少，最終在 2034 年全面取消配額。

歐盟 CBAM 正式上路後，代表非歐盟廠商都要提供原國家已經支付當地碳價相關費用證明，以抵銷歐盟碳邊境調整機制憑證的採購費用，若臺灣未實施任何碳定價，2026 年歐盟的 CBAM，將衝擊水泥業、化材業、金屬業等高碳排產業的產值，再加計美日韓的碳關稅擴大徵收範圍，電子電機業也可能受到影響，對臺灣產業影響甚鉅，因此若要避免臺灣出口產品被歐盟課徵碳關稅，可盡快提出與歐盟碳價格相近的碳定價制度，除了提高產業的國際競爭力外，也可帶動消費與投資，促進國內生產毛額（GDP）成長，還能加速臺灣減碳成效，有助於達成 2050 淨零碳排目標。

第三節 臺灣碳足跡的政策與盤查現況



為因應國際淨零排放趨勢及全球環境變遷，112 年 2 月 15 日總統公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，完備我國氣候法制基礎，納入 2050 淨零排放目標，制定氣候變遷調適策略，降低與管理溫室氣體排放，善盡共同保護地球環境之責任，並確保國家永續發展。環境部為強化我國因應氣候變遷政策擬定推動及執行，落實階段管制目標管考作業，並因應國際碳關稅及供應鏈減碳趨勢，加速推動碳定價、強化碳盤查機制，尋求減碳技術及策略，以達成西元 2050 年淨零排放目標（環境部氣候變遷署，2023）。

「氣候變遷因應法」全文計 7 章，63 條，修正重點包含納入 2050 年淨零排放目標、確立部會權責、增列公正轉型、強化排放管制及誘因機制促進減量、徵收碳費專款專用、增訂氣候變遷調適專章、納入碳足跡及產品標示管理機制，同時發展低碳與負排放技術及產業、補助及獎勵投資溫室氣體減量技術等，以促進溫室氣體減量及低碳經濟發展（環境部氣候變遷署，2023）。

臺灣的碳費政策針對的是年排放量達到一定標準以上的企業。根據 2023 年的規定，年排放量達到 2.5 萬噸二氧化碳當量以上的企業需要繳納碳費。這些企業涵蓋了高排放的工業部門，例如能源、鋼鐵、水泥等行業。政策的目的是促使高排放企業減少碳排放，轉向更環保的生產方式。屠宰業因年排放量不致於達 2.5 萬噸二氧化碳當量，依現行規定無須繳納碳費，惟未來年排放量規定有可能下修調整，肉



品相關產業仍可提早進行相關減碳措施。

除了環境部辦理相關政策及減排措施外，農業部改制前行政院農業委員會於 2021 年 9 月 10 日成立「氣候變遷調適及淨零排放專案辦公室」，統籌規劃農業部門因應氣候變遷政策，並於 2022 年 2 月 9 日舉辦「邁向農業淨零排放策略大會」，擬定 4 大主軸共 19 項策略 59 項措施，作為農業部門推動 2040 年淨零排放之具體架構。該會議依據農糧、林業、漁業、畜牧及生態環境 5 大產業分別進行討論，畜牧產業結論包含飼養管理、糞尿管理及碳排估算。我國隨著畜禽飼養系統及技術之精進，積極建立或滾動式更新畜禽腸胃發酵及糞尿管理之本土化碳排係數便相當重要，建立或更新畜禽產品碳足跡，如豬肉、雞肉、雞蛋、鮮乳等，並積極應用智慧化生產設施，減少畜禽產品生產之碳足跡，都是未來可推動的重要措施。

我國現階段在畜禽糞尿管理和腸胃發酵方面的碳排放已經有了一些相關數據和排放係數（國家溫室氣體排放清冊，2022），這些數據和係數對於精確計算和監測畜禽產業的碳足跡至關重要，說明如下：

一、糞尿管理排放：畜禽糞尿管理排放主要涉及甲烷（CH₄）和氧化亞氮（N₂O）的排放。這些排放來自糞尿的儲存和處理過程，如液態糞尿儲存、堆肥和沼氣發電等。環境部環境保護署和農業相關機構已經提出了一些具體的排放係數，例如：

（一）甲烷排放係數：液態糞尿儲存和處理過程中的甲烷排放係數依據不同的管理



方式有所不同。

(二) 氧化亞氮排放係數：堆肥過程中產生的氧化亞氮排放係數。

二、腸胃發酵排放：畜禽腸胃發酵（特別是反芻動物如牛的腸胃發酵）是另一個重

要的甲烷排放來源，這些甲烷來自動物消化過程中微生物的發酵活動。根據不

同畜種和飼養方式，我國已經制定了一些腸胃發酵的甲烷排放係數，例如：

(一) 牛的腸胃發酵甲烷排放係數：依據牛的品種、飼養方式和飼料配方，計算每

頭牛的甲烷排放量。

(二) 豬和家禽的排放係數：相對於反芻動物，豬和家禽的腸胃發酵甲烷排放量較

低，但仍有相關的數據和係數。

三、實例與應用：這些排放數據和係數已應用於多項研究和實踐中。例如，農業研

究機構和大學進行了多項關於畜禽糞尿管理和減排技術的研究，並在農場進

行了實地測試，驗證不同管理方式的減碳效果：

(一) 沼氣發電：一些畜牧場利用沼氣發電技術處理糞尿，不僅減少甲烷排放，還

能轉化為能源。

(二) 改進飼料配方：通過改進飼料配方減少動物腸胃發酵過程中的甲烷排放，這

些技術在臺灣的一些畜牧場已經得到應用和推廣。

四、未來發展：隨著技術進步和政策支持，臺灣的畜禽產業在碳排放管理和減碳方

面有望取得更大進展。未來可能的發展方向包括：



- (一) 精細化管理：利用大數據和物聯網技術提高糞尿管理和飼養過程的精確度。
- (二) 政策激勵：加強政府補助和激勵措施，鼓勵更多農戶採用低碳技術。
- (三) 國際合作：借鑒國際先進經驗和技術，提升臺灣畜禽產業的減碳能力。

依據「氣候變遷因應法」第 3 條第 18 款規定，「碳足跡」係指產品由原料取得、製造、配送銷售、使用及廢棄處理等生命週期各階段產生之碳排放量，經換算為 CO₂ 當量的總和。另第 37 條第 1 項規定：「中央主管機關得公告一定種類、規模之產品，其製造、輸入或販賣業者，應於指定期限內向中央主管機關申請核定碳足跡，經中央主管機關審查、查驗及核算後核定之，並於規定期限內依核定內容使用及分級標示於產品之容器或外包裝。」，顯示各項產品碳足跡盤查勢在必行，進而促使消費者以行動選擇低碳產品，環境部訂定產品碳足跡標示之相關規範，揭露產品碳足跡，讓民眾了解產品於完整生命週期中所產生的碳排放量，進而帶動全民綠色消費行動（環境部氣候變遷署，2024）。

在臺灣，畜禽產品碳足跡的計算和監測多集中於飼養、飼料管理和糞尿處理等階段，但在屠宰階段仍尚無相關碳排放數據及係數。屠宰階段是產品碳足跡評估中的一個必要環節，是牧場端及消費端之間的重要中樞，且屠宰和加工過程也會產生相當量的溫室氣體排放，建立相關碳排放數據及係數為不可或缺的措施。

本研究報告探討 A 屠宰場及 B 屠宰場（目前全國家禽屠宰場共 118 家，該 2 家皆為臺灣前 10 大家禽電宰廠）執行之家禽屠宰程序產出禽肉產品過程，所產生

並排放於大氣中之溫室氣體量，其標的僅屬於家禽肉產品碳足跡之製造階段其中一部分，非涵蓋產品全生命週期，期望為本土碳足跡係數做出貢獻。





第四節 碳足跡數據品質評估分析

全球暖化與氣候變遷已成為國際間關注的重要議題，各國皆積極推動產品生命週期碳排放量之估算並以碳標籤標示方式呈現計算結果，以鼓勵廠商揭露產品碳足跡資訊。而生命週期評估（LCA）或產品碳足跡（CFP）之計算結果受到數據品質的影響極大，當生命週期評估（LCA）或產品碳足跡（CFP）結果要對外進行溝通時，若能清楚呈現各數據資料資訊，將更有助於溝通。

本研究報告依據 ISO 14067：2018 之規定進行數據品質分析。參考環境部改制前行政院環境保護署碳足跡數據品質評估手冊（環境部，2013），採用國際間常用之數據品質指標評估（系譜矩陣）方式，並考量碳足跡計算數據取得之難易度，以「可靠性 Reliability, Re」、「完整性 Completeness, Co」、「時間相關性 Time-related Representativeness, TiR」、「地理相關性 Geographical Representativeness, GeR」與「技術相關性 Technology Representativeness, TeR」作為數據品質指標，每項指標依數據品質差異區分為 5 個等級（1~5 分），各指標與數據品質描述如 Table 1。

首先將各項目之活動數據（DQR_{Ai}）與排放係數（DQR_{Ei}），依數據品質指標矩陣（如 Table 1 所示）進行等級評分，並依排放量=活動數據×排放係數的概念，計算單一指標得分（DQR_{Ni}），如式 1。

$$\boxed{DQR_{Ni} = DQR_{Ai} \times DQR_{Ei}} \dots\dots\dots (式 1)$$

DQR_{Ni}：投入/產出項之單一指標得分



DQR_{Ai} ：各投入/產出項之活動數據之系譜矩陣評估分數

DQR_{Ei} ：各投入/產出項之排放係數之系譜矩陣評估分數

單一指標得分(DQR_{Ni})對應單一指標數據品質等級轉換表(如 Table 2 所示),
轉換取得單一指標數據品質等級 (DQR_i)。並將單一指標數據品質等級 (DQR_i)
帶入公式 (式 2), 計算單一投入/產出項目數據品質得分 (DQR)。

$$DQR = (Re + Co + TiR + GeR + TeR + Xw \times 5) / 10 \dots\dots\dots (式 2)$$

DQR ： 單一投入/產出數據品質得分

Re ： 可靠度指標等級

Co ： 完整性指標等級

TiR ： 時間相關性指標等級

GeR ： 地理相關性指標等級

TeR ： 技術相關性指標等級

Xw ： 在數據品質指標中所獲得之最弱的品質水平(亦即最高的數值)

單一投入/產出項目數據品質得分 (DQR) 帶入數據品質權重公式 (式 3), 計算單一投入/產出數據品質權重 (DQR_w)。最後將各項 DQR_w 相加, 並按照碳足跡排放量佔比放大回 100%, 得整體數據品質得分 (DQR_{Total}) (式 4)。並依整體數據品質分級標準 (如 Table 3 所示) 給予等級結果, 即完成數據品質評估與計算。



$$\boxed{DQR_w = DQR \times F_i} \dots\dots\dots (式 3)$$

DQR_w ： 單一投入/產出項之數據品質權重

DQR ： 單一投入/產出數據品質得分

F_i ： 單一投入/產出項碳足跡排放量佔總體排放量之百分比比例

$$\boxed{DQR_{Total} = (\sum DQR_w) / (\sum F_i)} \dots\dots\dots (式 4)$$

DQR_{Total} ： 整體數據組之數據品質分數

DQR_w ： 單一投入/產出項之數據品質權重

F_i ： 單一投入/產出項碳足跡排放量佔總體排放量之百分比比例

•

第三章 材料與方法



第一節 碳足跡認證標準

生命週期評估與碳足跡盤查

溫室氣體導致的氣候變化是全世界目前最關切的永續議題，因此相關的國際協定（京都議定書、哥本哈根會議等）、國際標準（ISO 14064-1:2018 - 《溫室氣體第 1 部分：組織層面的量化和報告指南及要求》、ISO 14067:2018、PAS 2050）等皆是期望各國家可以經由其各領域的產業能理解其產業/產品碳排放的狀況後，各自努力地減少溫室氣體排放，使得以控制氣候變化的影響。為達到「減碳」，必須要先調查「比較基準」，也就是產品第一次計算的碳足跡，但要實現有效的碳排放減量，首先需要建立一個科學、合理的量化碳排放評估機制。由「產品碳足跡」一詞可以了解是指在產品「全生命週期」各階段（原料、製造、運輸、使用、回收／棄置）溫室氣體的排放和移除量的總和，使用二氧化碳當量作為量化標準（黃文輝、朱志弘，2015）。

基本上，碳足跡盤查資料收集與計算過程大致與生命週期評估一致，且數據合理性判斷步驟亦相同，兩者間的差別僅在於生命週期評估的環境衝擊項目較多，包括溫室效應、臭氧層破壞、酸雨（酸沉降）、光化學煙霧、優養化、土地利用及人體健康等均可予以量化評估（Rivera-Huerta et al., 2016），而碳足跡卻僅著重在溫室氣體造成之全球暖化衝擊效應的單一議題探討，故相較於生命週期評估需將不同

的衝擊因子先進行分類，再量化成相對應之當量並進行加總或權重化，以轉化為決策者容易瞭解之資訊，碳足跡則可省去此繁瑣且複雜之計算處理過程。換言之，碳足跡為生命週期評估的一部分，但由於僅考量溫室氣體，因此其計算概念相較之下就比生命週期評估簡化許多且易於推廣，故儘管碳足跡相關標準或制度的發展僅有短短幾年，但經國內外產、官、學、研各界近年來努力推動之下，卻已成為生命週期評估各項環境衝擊指標中最成熟之技術（盧怡靜、呂穎彬，2014）。

產品碳足跡的盤查與計算

碳足跡的盤查與計算的方法，依五個步驟進行（環境部，2010），這是結合了 ISO 14044 生命週期評估的盤查步驟及環境部碳足跡數據品質，包括：

步驟一：目標與範疇（系統邊界）界定

步驟二：數據收集的準備

步驟三：數據收集

步驟四：碳足跡計算

步驟五：碳足跡數據品質評估

一、步驟一：目標與範疇（系統邊界）界定

按計算結果應用之策略，決定下列事項：

（一）計算之目標：確定產品名稱。

（二）計算範疇（系統邊界）界定：計算該產品碳足跡應包含的範圍（若該產品有



第三類環境宣告、產品環境足跡或碳足跡宣告用產品類別規則（product category rule，PCR）時，應依其規則內文之規定辦理。）。

（三）功能單位或宣告單位：

- 1.產品之功能單位或宣告單位：如 1 個、1 棟、1 公斤等，主要以能理解同類型產品間的差異為主，方便比較。
- 2.若 PCR 另有規定者從其規定。

（四）假設／限制：

當執行此碳足跡計算時有某些限制條件（如：缺乏某些資訊），以及為了克服這些限制所需做成的假設，應清楚描述於報告中。

二、步驟二：數據收集的準備

（一）繪製製程地圖

- 1.製程地圖能協助確認應計算碳足跡的範圍。
- 2.應分為 5 個階段繪製製程地圖：
 - （1）原料：包含所使用的材料（並須納入運輸到現場），最簡單的理解方式是所有須花錢購買的物質皆應納入。
 - （2）生產製造：用電、用油以及所產生污染排放的控制（廢棄物處理、廢水處理、廢氣處理），以及會產生溫室氣體排放的其他因素（如冷媒逸散、其他二氧化碳的排放）。

(3) 運輸：一般是指產品的運輸，若是建築物則無運輸建築物的問題。

(4) 使用：在目標產品的計算範圍內，所有與排碳有關的項目主要是能源使用（用電），且與使用年限有關時，且應包括維護所需的耗材及耗能。

(5) 回收/棄置：目標產品於使用年限之後，需處理、棄置，及可回收的項目及數量也會影響碳足跡的數值。

三、步驟三：數據收集

針對步驟二所分類出來的各項目進行其使用數量的資料蒐集，作為下一步驟計算產品碳足跡的依據，包括如下：

（一）各項目數據收集

- 1.應儘量蒐集平均的數值，若能以一整年的資料（使用能源與物料的項目與數量）最佳。
- 2.可排除較不重要（少量或低排放）的項目，若以量化的方式表示，是指占碳排放總量不到 1%的任何單一項目，但是，總量不得超過整個產品碳足跡的 5%，且應列出清單。
- 3.所蒐集之數據資料，應留下對應之紀錄或單據。
- 4.於產品範圍內共同使用區域之數據如：辦公區域、員工餐廳、宿舍及路燈等所蒐集到的數據，理論上不應剔除。

（二）各項目數據確認



在數據蒐集的過程中應執行數據正確性的查核。確認方式可包含質量平衡、最少能源需求（如使用電力度數）或與累積歷史資料觀察比較……等。經由此類確認程序若發現數據明顯異常時，需要進行了解原因，並進行必要之修正。

（三）分配

能源、電力可能會涉及分配，如分攤使用機器設備、或同類作業時間之比例分配、或依處理數量比、或依處理重量比……選擇合理者進行合理之分配，此分配之行為應作成書面紀錄備查，以作為取信於審核者。

（四）數據整理應以書面或電子檔案留下整理過程，以利於後續追蹤。

四、步驟四：碳足跡計算

經由步驟三收集各投入項目及其數據之後，於計算碳足跡時亦須選用各項目適當之排放係數。

（一）排放係數之選用，優先順序為：

- 1.所有使用項目及其使用數量的盤查。
- 2.再乘上碳排放係數，以計算完成產品之碳足跡（應選用合宜之碳排放係數，包含最符合時間、地理位置與生產技術之排放係數（碳排放係數合宜程度，可以步驟五之數據品質計算結果呈現）。

（二）碳足跡計算：產品碳足跡之計算係將各使用項目的碳係數與使用數量相乘。

碳足跡計算之公式：產品碳足跡數值＝ $\sum$ 〔各項目之碳排放係數×使用數量〕

五、步驟五：碳足跡數據品質評估

碳足跡計算同時，亦應進行數據品質等級之評核。評估的方式可依前述第二章

文獻回顧第四節碳足跡數據品質評估分析方法及環境部「碳足跡數據品質評

估手冊」中之評估流程進行（黃文輝、朱志弘，2015）。

第二節 碳足跡盤查說明

盤查標準及邊界

本研究執行碳足跡盤查主要依循於 2018 年 8 月正式公布之國際標準 ISO 14067：2018 產品碳足跡量化要求與指引，其取代原有技術規範 ISO/TS 14067：2013，為全球認可碳足跡量化原則。並同時參考國內環保署公布之碳足跡產品類別規則（Carbon footprint of a product category rules, CFP-PCR）— 家畜禽肉及食用雜碎（第 2.0 版），針對其生命週期範圍製造階段之家禽屠宰程序進行碳足跡排放盤查（如 Figure 3 所示），並擬定本研究之系統邊界（如 Figure 4 所示）。

盤查對象、目的及期間

本研究盤查對象以屠宰規模及類型相似之家禽（雞）屠宰場為原則，因屠宰程序受到屠宰量及雞隻品種而有差異，故擇定以屠後檢查站有 3 個檢查站，且以白肉雞為主要屠宰產品之屠宰場，旨在揭露標的產品家禽屠宰產出禽肉產品程序，從毛雞進場、屠宰分切、冷凍冷藏至產出禽肉產品過程產生之溫室氣體排放量，並藉此排放量作為未來減少溫室氣體排放活動之參考。

會選擇白肉雞此項品種作為盤查對象，主要因素有以下 3 點：

1. 有色雞的品種眾多且大小不一。
2. 在臺灣目前尚無白肉雞屠宰相關之碳排數據。
3. 在臺灣禽肉是相當重要之畜產品，國人對於禽肉之食用量已慢慢超過對於豬肉

之食用量(於 2022 年每人每年禽肉之食用量為 43.12 公斤,豬肉之食用量為 36.00 公斤)。



本研究擇定之 2 家屠宰場皆位於桃園市,分別為 A 屠宰場及 B 屠宰場,其地理位置相近可減少氣候因素影響差異,盤查期間為 2021 年 1 月 1 日至 12 月 31 日。

盤查範疇

一、產品介紹與功能單位

(一) 產品組成

本研究碳足跡盤查產品為家禽(白肉雞)屠宰程序產出禽肉產品過程,所產生並排放於大氣中之溫室氣體量。本次進行產品碳足跡盤查計算的產品為 A 屠宰場及 B 屠宰場 2021 年家禽屠宰程序。

家禽屠宰程序之碳足跡共分為三大階段,包含屠宰分切、廢棄物運輸與廢棄物處置階段。屠宰分切階段係指毛雞進入屠宰場電宰後產出包裝雞肉產品,放置於冷凍冷藏庫儲存過程,未考量包裝材料與調味料等雞肉之原材料。廢棄物運輸階段係指將不可再利用之固體廢棄物運送至廢棄物處置場過程。廢棄物處置階段包含廢水處理與固體廢棄物處理過程。

(二) 產品特性敘述

本報告之屠宰產品為白肉雞,其毛雞經過人道致昏放血、燙脫毛、掏內臟、最終處理、冷卻與分切包裝、冷藏與冷凍等屠宰程序,並包含此過程產



生之廢棄物運輸及處置。

(三) 產品功能單位

依據國際 ISO 14067：2018 碳足跡標準，本產品的功能單位定義為屠宰

每公斤毛雞過程產生之溫室氣體二氧化碳當量。

二、系統邊界

(一) 系統邊界界定

本研究以屠宰場大門到大門（Gate to Gate）為盤查範圍，將系統邊界設定為毛雞活體運至屠宰場後，開始屠宰、分切包裝至冷凍冷藏雞肉產品之過程。此外，由於從屠宰到產出販售之肉品，必定會產生固體廢棄物與廢水，因此廢棄物之運輸與處置過程亦須納入系統邊界。碳足跡系統邊界共分為 3 階段，涵蓋屠宰分切階段、廢棄物運輸階段、廢棄物處置階段，三階段細節描述如下：

1. 屠宰分切階段

從毛雞進場、吊掛電擊、割喉放血、脫毛、掏肛、取內臟、入冷卻槽、屠體分切、包裝等能資源使用，亦包含屠宰場內所有運輸過程，如產線或機具搬運。由於此階段涵蓋包裝過程，包裝過程使用的能資源因無法明確與屠宰分切區分，故納入計算，但排除包裝使用之包裝材料及調味料。

2. 廢棄物運輸階段



此階段廢棄物係依據廢棄物清理法定義，能以搬動方式移動之固態或液態物質或物品，其中包含於營建、製造、加工、修理、販賣、使用過程所產生目的以外之產物。其最終不可再利用廢棄物，其運送至處理場之運輸過程。

3. 廢棄物處置階段

此階段包含不可再利用廢棄物處置及廢水處理。

此外，本研究盤查系統邊界針對家禽屠宰程序，部分程序將不納入系統邊界，分述如下：

(1) 包裝程序(材料、調味料)

屠宰後產出之各型式產品包裝材料，以及依據客戶需求將產品進行調味之調味料，其非屬屠宰必要程序，故不納入系統邊界。

(2) 可再利用廢棄物

屠宰程序產生的可再利用廢棄物之運送與處置，如死廢畜禽、羽毛、食品加工污泥、屠宰下腳料等，其屬於下游廠商之上游原料運輸階段，避免重複計算，故不納入本碳足跡系統邊界。

(二) 系統邊界流程圖

本碳足跡系統邊界共分為 3 階段，涵蓋屠宰分切階段、廢棄物運輸階段、廢棄物處置階段，各階段流程圖如 Figure 4。

(三) 計算之溫室氣體種類與排放源

碳足跡盤查溫室氣體共涵蓋 7 種，包含二氧化碳(CO_2)、氧化亞氮(N_2O)、

甲烷(CH_4)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF_6)

及三氟化氮(NF_3)。依據盤查屠宰場活動與設備，主要排放源為二氧化碳

(CO_2)、氧化亞氮(N_2O)、甲烷(CH_4)與氫氟碳化物(HFCs)四種溫室

氣體，最終皆轉換為二氧化碳當量表示。



第三節 碳足跡計算方法與排放量計算

計算方法

本報告主要採用排放係數法計算排放量，係依據活動量及碳足跡排放係數，進行碳足跡排放量計算。另製冷設備冷媒逸散及廢水處理程序的溫室氣體排放，考量碳足跡係數與實際現況之差異，採用合適的計算方法，以下說明：

一、碳足跡係數法計算項目：

包括固定式燃燒—液化石油氣、柴油—移動式燃燒、汽油—移動式燃燒、外購電力、自來水、固體廢棄物清運、固體廢棄物焚化。

二、製冷設備排放計算：

屠宰場營運時須使用大量的製冷設備，惟目前國家未公告不同種冷媒碳足跡生命週期排放係數，且參考之生命週期軟體冷媒碳足跡僅涵蓋製造階段，故為更符合屠宰過程冷媒造成之相關排放，使用階段另參考聯合國政府間氣候變化專門委員會（IPCC）方法學，以設備年逸散係數計算排放量，設備年逸散係數及全球暖化潛勢（Global Warming Potential, GWP）說明詳「廢水處理排放計算」項下第（三）點說明。

三、廢水處理排放計算：

屠宰過程與清洗屠宰場設備會產生大量廢水，且根據文獻顯示廢水中總氮（Total Nitrogen, TN）、生化需氧量（Biochemical oxygen demand, BOD）、化



學需氧量 (Chemical Oxygen Demand, COD) 高，與現有公佈之生活污水與事業廢水處理碳足跡假設情境差異甚大，故以 IPCC 之方法計算廢水處理甲烷與氧化亞氮排放量，並加入廢水處理廠之用電，作為廢水處理過程溫室氣體排放計算，詳「廢水處理排放計算」項下第 (三) 點說明。

(一) 活動數據來源

本報告活動數據皆由 A 屠宰場及 B 屠宰場提供，2 家屠宰場各項活動數據資料來源如 Table 4 及 Table 5。

(二) 碳足跡係數來源

本報告碳足跡係數主要引用環保署產品碳足跡資訊網所公告的排放係數，並選用性質相近及年份較近之係數，彙整碳足跡係數如 Table 6。

因冷媒缺乏國內本土碳足跡係數，本報告參考國外 SimaPro 碳足跡資料庫係數，其僅有 R134A 冷媒製造階段之係數，故假設各種類冷媒製造階段碳排放皆相似，以 R134A 冷媒計算各種類冷媒製造階段之碳排放量。另廢水處理過程之甲烷及氧化亞氮逸散排放，則參考國家溫室氣體排放清冊之相關排放係數，以符合實際處理狀況。

(三) 全球暖化潛勢 (GWP) 來源及設備冷媒年逸散係數

本報告製冷設備冷媒逸散量相關係數，主要引用國家溫室氣體排放係數管理表 6.0.4 版，製冷設備冷媒年逸散係數如 Table 7。參考 IPCC 最新公

告第 6 次評估報告 (AR6) 之全球暖化潛勢值 (GWP)，詳如 Table 8。



排放量計算

依據上述取得之活動數據、碳足跡係數、冷媒年逸散係數、排放係數與全球暖化潛勢，進行溫室氣體排放量化，以下說明 2 家屠宰場各項目量化計算方法：

一、A 屠宰場（以下各項目計算公式係數值如 Table 6 所示）：

（一）汽油：公務車

場內公務車大部分至配合廠商（全峰加油站），並採用月結方式核銷，僅少數至其他加油站則以發票作為佐證。因月結有跨月份情形，故以加油日期於 2021 年期間為原則（式 5）。

$$\text{排放量} = \text{汽油使用量(L)} \times \text{車用汽油(移動源使用)係數} \dots\dots\dots (\text{式 5})$$

（二）柴油：鍋爐、公用油槽

1. 鍋爐：自 2021 年 5 月起鍋爐燃料由柴油改為天然氣，故計算 2021 年 1～4 月之鍋爐柴油使用量（式 6）。

$$\text{排放量} = \text{柴油使用量(L)} \times \text{柴油(固定源使用)係數} \dots\dots\dots (\text{式 6})$$

2. 公用油槽：提供場內堆高機及緊急發電機使用，因 2020 年緊急發電機無運轉，故假設油槽柴油皆為堆高機使用，採用移動源之係數（式 7）。

$$\text{排放量} = \text{柴油使用量(L)} \times \text{柴油(鐵路運輸與非道路運輸移動源使用)}$$

係數.....(式 7)



(三) 天然氣：鍋爐

自 2021 年 5 月起鍋爐燃料由柴油改為天然氣，故資料蒐集期間為 2021 年 5～12 月（式 8）。

$$\text{排放量} = \text{天然氣使用量(m}^3\text{)} \times \text{天然氣(固定源使用)係數} \dots\dots\dots (\text{式 8})$$

(四) 冷媒：製冷設備

國內碳足跡資料庫缺少冷媒完整碳足跡係數，因此將冷媒生命週期區分為製造階段及使用階段分別計算。

1. 製造階段：參考國外 SimaPro 碳足跡資料庫係數，其僅有 R134A 冷媒製造階段係數，故假設各種類冷媒製造階段碳排放皆相似，以 R134A 冷媒計算各種類冷媒製造階段之碳排放量（式 9）。

$$\text{排放量} = \text{各製冷設備冷媒填充量(kg)} \times \text{設備冷媒逸散係數(kg/kg)} \times \text{R134A 冷媒製造係數} \dots\dots\dots (\text{式 9})$$

2. 使用階段：依據製冷設備型態分為食品加工冷藏設備、冰水機及冷氣機，選擇適合之設備年逸散係數，依此計算使用階段冷媒逸散之排放量。該場缺乏製冷設備冷媒種類及填充量資訊，以相同廠牌之冷氣型號填充量推估（式 10）。

$$\text{排放量} = \text{各製冷設備冷媒填充量(kg)} \times \text{設備冷媒逸散係數(kg/kg)} \times$$

$$\boxed{\text{冷媒種類之 GWP}} \dots\dots\dots (\text{式 10})$$



(五) 電力：

場內依營業性質工廠登記分為電宰場及食品分切廠，共計 2 組電號。場

內設有集團之 Real 商店屬於出租場址，故排除該商店用電；廢水處理用電

已於廢棄物處理階段計算，故需排除廢水用電，避免重複計算（式 11）。

$$\boxed{\text{排放量} = [2 \text{ 組電號年用電量(度)} - \text{Real 商店用電量(度)} - \text{廢水處理用電量} \\ \text{(度)}] \times \text{電力碳足跡係數}} \dots\dots\dots (\text{式 11})$$

(六) 自來水：

場內依營業性質工廠登記分為電宰場及食品分切廠，共計 2 組水號。因

水費計費期間具有跨年度情形，以該計費期間之 2021 年日數比例進行用水

量分配（式 12）。

$$\boxed{\text{排放量} = 2 \text{ 組水號年用電量}(\text{m}^3) \times \text{臺灣自來水係數}} \dots\dots\dots (\text{式 12})$$

(七) 廢棄物運輸：

該場產生之不可再利用廢棄物包含有機性污泥、一般垃圾及化學混合

物，皆會申報至環境部「事業廢棄物申報及管理資訊系統」，詳細記錄清除

日期、清除業者、申報重量等資訊，並依據運輸工具選擇合適係數，有機性

污泥以大貨車運輸、一般垃圾以柴油動力垃圾車運輸、化學混合物質以小貨



車運輸（式 13）。

$$\text{排放量} = \text{各項廢棄物清除量(ton)} \times \text{運輸距離(km)} \times \text{運輸工具係數} \dots\dots\dots (\text{式 13})$$

（八）廢棄物處理：

上述之不可再利用廢棄物皆以焚化處理；係數部分選擇焚化廠性質相似，且最新之碳足跡係數。可再利用廢棄物為其他產品之上游原料，不納入計算，避免重複計算（式 14）。

$$\text{排放量} = \text{各項廢棄物清除量(ton)} \times \text{廢棄物焚化處理服務(岡山垃圾焚化廠)係數} \dots\dots\dots (\text{式 14})$$

（九）廢水處理：

A 屠宰場依法規定設立廢水處理廠，採用好氧處理程序，而國內廢（污）水處理服務碳足跡係數，其產業類型及處理程序與該場差異性大，故將不採用本土廢（污）水處理服務碳足跡係數。

參考我國溫室氣體排放清冊之廢水處理與放流，屠宰業屬於事業廢水範疇，依事業廢水申報之化學需氧量（COD）濃度計算甲烷排放。因該行業無須申報事業廢水之總氮濃度（TN），缺乏氧化亞氮排放計算之活動數據，暫忽略其排放量。故廢水處理廠排放量為處理過程之甲烷排放量及用電排放量之總和（式 15；式 16）。

$$\text{廢水處理排放量} = \text{處理過程排放量} + \text{廢水廠用電排放量}$$

$$\begin{aligned} \text{處理過程甲烷排碳量} &= \text{年廢水處理量(m}^3\text{)} \times 10^3 \text{ (L/m}^3\text{)} \times \text{COD 濃度} \\ &\quad \text{(mg/L)} \times 10^{-6} \text{ (kg/mg)} \times \text{最大甲烷產生量} \\ &\quad \text{(kgCH}_4\text{/kgCOD)} \times \text{甲烷修正係數} \times \text{GWP} \end{aligned}$$

(式 15)

$$\text{廢水廠用電排放量} = \text{年用電量(度)} \times \text{電力碳足跡係數} \dots\dots\dots \text{(式 16)}$$

二、B 屠宰場（以下各項目計算公式係數值如 Table 6 所示）：

（一）汽油：公務車

廠內公務車採用油卡月結單為汽油使用量佐證（式 17）。

$$\text{排放量} = \text{汽油使用量(L)} \times \text{車用汽油(移動源使用)係數} \dots\dots\dots \text{(式 17)}$$

（二）柴油：發電機與堆高機

添購之柴油提供廠內發電機與堆高機使用，由於未明確區分兩者用油，

2021 年供應發電機柴油甚少，故假設油槽柴油皆為堆高機使用，採用移動

源之係數（式 18）。

$$\begin{aligned} \text{排放量} &= \text{柴油使用量(L)} \times \text{柴油(鐵路運輸與非道路運輸移動源使用)} \\ &\quad \text{係數} \dots\dots\dots \text{(式 18)} \end{aligned}$$

（三）液化石油氣



採購液化石油氣數量提供磅單資料核對，液化石油氣分別提供廠內提供屠宰場與化製場使用，並在兩處設有分錶。盤查系統邊界內僅需參考屠宰過程，故參考屠宰場分錶紀錄，作為液化石油氣使用量（式 19）。

$$\text{排放量} = \text{液化石油氣使用量(kg)} \times 1.818(\text{L/kg}) \times \text{液化石油氣(固定源}$$

$$\text{使用)係數} \dots\dots\dots (\text{式 19})$$

（四）冷媒：製冷設備

國內碳足跡資料庫缺少冷媒完整碳足跡係數，因此將冷媒生命週期區分為製造階段及使用階段分別計算。

1. 製造階段：參考國外 SimaPro 碳足跡資料庫係數，其僅有 R134A 冷媒製造階段係數，故假設各種類冷媒製造階段碳排放皆相似，以 R134A 冷媒計算各種類冷媒製造階段之碳排放量（式 20）。

$$\text{排放量} = \text{各製冷設備冷媒填充量(kg)} \times \text{設備冷媒逸散係數(kg/kg)} \times$$

$$\text{R134A 冷媒製造係數} \dots\dots\dots (\text{式 20})$$

2. 使用階段：依據製冷設備型態，選擇適合之年逸散係數，依此計算使用階段冷媒逸散之排放量。該場缺乏冷氣填充量資訊，以相同廠牌之冷氣型號填充量推估（式 21）。

$$\text{排放量} = \text{各製冷設備冷媒填充量(kg)} \times \text{設備冷媒逸散係數(kg/kg)} \times$$

$$\text{冷媒種類之 GWP} \dots\dots\dots (\text{式 21})$$



(五) 電力：

場內僅 1 組電號，並自行設置 3 個分錶，分別為化製場、廢水處理廠、10 噸製冰機。屠宰分切階段總用電，須以電號總年用電量扣除化製場與廢水處理廠用電。廢水處理用電於廢棄物處理階段計算（式 22）。

$$\boxed{\text{排放量} = [\text{電號總年用電量(度)} - \text{化製場用電(度)} - \text{廢水處理廠用電量(度)}]} \\ \times \boxed{\text{電力碳足跡係數}} \dots\dots\dots (\text{式 22})$$

(六) 自來水：

場內僅 1 組水號，且未涉及跨年度計費情形，故無需考慮用水量分配情形（式 23）。

$$\boxed{\text{排放量} = 1 \text{ 組水號年用電量(m}^3\text{)} \times \text{臺灣自來水係數}} \dots\dots\dots (\text{式 23})$$

(七) 廢棄物運輸：

B 屠宰場產生之不可再利用廢棄物為僅固體廢棄物，其餘之羽毛、斃死雞、食品加工污泥、屠宰下腳料等皆能再利用，故未納入碳足跡排查範疇。該場以柴油動力垃圾車清運，故採垃圾車清除運輸一般廢棄物（柴油）係數（式 24）。

$$\boxed{\text{排放量} = \text{固體廢棄物清運量(ton)} \times \text{運輸距離(km)} \times \text{垃圾車清除運輸}} \\ \boxed{\text{一般廢棄物(柴油)}} \dots\dots\dots (\text{式 24})$$



(八) 廢棄物處理：

不可再利用廢棄物皆以焚化處理；係數部分選擇焚化廠性質相似，且最新之碳足跡係數。可再利用廢棄物為其他產品之上游原料，不納入計算，避免重複計算（式 25）。

$$\text{排放量} = \text{各項廢棄物清除量(ton)} \times \text{廢棄物焚化處理服務(岡山垃圾焚化廠)係數} \dots\dots\dots (\text{式 25})$$

(九) 廢水處理：

該場依法規定設立廢水處理廠，採用厭氧處理程序，而國內廢（污）水處理服務碳足跡係數，其產業類型及處理程序與本廠差異性大，故將不採用本土廢（污）水處理服務碳足跡係數。

參考廢（污）水處理服務碳足跡產品類別規則（Carbon Footprint of Products - Product Category Rules, CFP-PCR）與廢水處理公告之碳足跡係數，廢水處理服務階段之物理處理、生物處理與化學處理之相關能資源消耗佔比最大，故參考我國溫室氣體排放清冊之廢水處理與放流，屠宰業屬於事業廢水範疇，依事業廢水申報之化學需氧量（COD）濃度計算甲烷排放。因該行業無須申報事業廢水之總氮濃度（TN），缺乏氧化亞氮排放計算之活動數據，暫忽略其排放量。故廢水處理廠排放量為處理過程之甲烷排放量及用電排放量之總和（式 26；式 27）。

廢水處理排放量 = 處理過程排放量 + 廢水廠用電排放量

$$\begin{aligned} \text{處理過程甲烷排碳量} = & \text{年廢水處理量}(\text{m}^3) \times 10^3 (\text{L}/\text{m}^3) \times \text{COD 濃度}(\text{mg}/\text{L}) \\ & \times 10^{-6} (\text{kg}/\text{mg}) \times \text{最大甲烷產生量} \\ & (\text{kgCH}_4/\text{kgCOD}) \times \text{甲烷修正係數} \times \text{GWP} \end{aligned}$$

(式 26)

$$\text{廢水廠用電排放量} = \text{年用電量}(\text{度}) \times \text{電力碳足跡係數} \dots\dots\dots (\text{式 27})$$

第四章 調查結果



第一節 A 屠宰場碳排放量計算結果分析

分配原則與假設

A 屠宰場盤查系統邊界部分排放量計算需進行分配與假設，分述如下：

一、公用柴油槽

場內設有公共柴油槽，提供場內堆高機及緊急發電機使用，由於 2021 年緊急發電機並無運轉，故無柴油使用，因此合理推估公用柴油槽皆為堆高機使用（非道路運輸移動源）。

二、冷媒排放量計算

冷媒尚缺乏國內本土碳足跡係數，本報告參考國外 SimaPro 碳足跡資料庫係數，其僅有 R134A 冷媒製造階段之係數，故假設各種類冷媒製造階段碳排放量皆相似，以 R134A 冷媒計算各種類冷媒製造階段之碳排放量。冷媒使用階段另參考 IPCC 方法學，以設備年逸散係數計算排放量。因此，冷媒排放量為製造階段及使用階段之總和。

A 屠宰場製冷設備冷媒種類及填充量資訊不完整，僅提供設備清單及部分設備銘牌，另依現場輔導表示冷媒由場內自行購買 R22 冷媒，委由維護保養場商填充，故假設冷媒種類皆為 R22，以下說明冷媒推估假設方法及判定原則。



(一) 具有設備功率或噸數資訊

1. 冷凍機：依既有及他場具有設備資訊推估，20~30HP 壓縮機其冷媒填充量約 100kg，以每 25HP 填充量為 100kg 推估。

未來若可取得設備功率資訊，應可較準確推估冷媒填充量。

2. 冰水機：依他場具有設備資訊推估，冰水機組 200RT 其冷媒填充量約 160 kg。以每 20RT 填充量 16 kg 推估。

(二) 無任何設備資訊

1. 冷凍機：依本場已提供之冷凍機冷媒資訊，區分為小型（約-2°C）、中型及大型（低於-20°C）共 3 類，依設備名稱初步判定其類別，冷媒填充量如 Table 9。
2. 冰水機/空調機：本場冰水機多數為 60RT，以每 20RT 填充量 16 kg 推估，故每台填充量為 48 kg，冷媒填充量如 Table 9。
3. 辦公室冷氣機：假設辦公室冷氣差異性小，依場內既有冷氣資訊之冷氣填充量推估。每台填充量 2.3 kg。

三、電力排放量計算

A 屠宰場內設有旗下品牌商店，其用電量涵蓋於本場總電錶中（占比為 1.74%），其另裝設電力分錶紀錄使用量並依此收費；場內廢水處理用電量亦涵蓋於本場總電錶中，依水污染防治措施另裝設分錶並定期申報，然廢水處理用

電已納入廢棄物處理階段計算，於屠宰分切階段用電需扣除，故本場實際用電量為總用電量扣除商店及廢水處理之用電量。



四、廢水處理

廢水處理過程之溫室氣體排放包含甲烷 (CH_4) 及氧化亞氮 (N_2O)。參考我國溫室氣體排放清冊之廢水處理與放流，廢水處理之甲烷排放需以進流水化學需氧量 (COD) 濃度計算；氧化亞氮排放則以進流水總氮 (TN) 濃度計算。

該場廢水處理設施採好氧處理，假設其管理完善，甲烷會從沉澱池和細菌囊胞排放出來，甲烷修正係數介於 0-0.1，本報告採用中間值 0.05 計算。

由於屠宰業事業廢水無須申報總氮濃度，缺乏氧化亞氮排放計算之活動數據，故暫忽略其排放量，待未來具有完整活動數據則必須納入計算。

計算結果與分析

依據系統邊界碳足跡盤查結果總排碳量為 7,231.190 噸 CO_2e ，各階段項目排碳量如 Table 10。以屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.180 $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ ；以屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.396 $\text{kgCO}_2\text{e/隻}$ 。此處毛雞定義為經屠宰衛生檢查獸醫師屠前檢查判定合格後，准予吊掛屠宰之數量（已排除屠前廢棄），平均每隻毛雞重量為 2.20 公斤，詳 Table 11。

屠宰程序各階段碳足跡以屠宰分切階段占 93.36% 為大宗，其次廢棄物處理階

段占 6.61%，廢棄物運輸階段僅占 0.03%，各階段碳足跡佔比如 Figure 5。進一步分析屠宰分切階段各項目碳足跡佔比（如 Figure 6 所示），以電力為主要來源占 76.86%，其次為製冷設備冷媒占 12.59%，鍋爐天然氣占 7.47%，以上排碳量占屠宰分切階段共 96.92%。

由屠宰程序各項目排碳佔比（如 Figure 7 所示）顯示，家禽屠宰程序碳足跡主要貢獻來自電宰過程之設備電力使用，且於屠宰過程需維持肉品鮮度，需於低溫環境及迅速冷凍冷藏保存，因此製冷設備冷媒逸散亦為高排碳量項目。

數據品質分析

依前述第二章文獻回顧第四節碳足跡數據品質評估分析方法進行碳足跡數據品質評估分析，本數據品質分析計算加總大於 90% 碳足跡排放項目，包括電力、冷媒、天然氣與廢水處理共四項，占總排放的 95.57%。依據上述數據品質評估與計算，評估結果如 Table 12，整體數據組織數據品質得分（ DQR_{Total} ）1.32，為高品質數據。



第二節 B 屠宰場碳排放量計算結果分析

分配原則與假設

B 屠宰場盤查系統邊界部分排放量計算需進行分配與假設，分述如下：

一、柴油使用

B 屠宰場內購買之柴油，分配給發電機與堆高機兩項設備使用，惟無分別記錄兩者之用油量，故假設發電機用油甚少，合理推估堆高機為使用柴油的主要排放設備，採用柴油（非道路運輸移動源使用）碳足跡係數估算排放量。

二、冷媒排放量計算

冷媒尚缺乏國內本土碳足跡係數，本報告參考國外 SimaPro 碳足跡資料庫係數，其僅有 R134A 冷媒製造階段之係數，故假設各種類冷媒製造階段碳排放量皆相似，以 R134A 冷媒計算各種類冷媒製造階段之碳排放量。冷媒使用階段另參考 IPCC 方法學，以設備年逸散係數計算排放量。因此，冷媒排放量為製造階段及使用階段之總和。

三、電力排放量計算

B 屠宰場僅 1 電號，總電表下又分為廢水處理場、化製場與 10 噸製冰機之分錶。羽毛化製為廢棄物再利用部分未納入本次盤查範圍，故排除化製場用電，廢水處理場用電歸類於廢棄物處置階段。總電表之用電度數扣除化製場與廢水處理場用電為屠宰場用電，由於場內辦公室與屠宰場區域之用電未切分，



故一併歸類屠宰分切階段。

四、廢水處理排放計算

因屠宰業無須申報事業廢水之總氮 (TN) 濃度，故無相關資料，以至於無法計算廢水處理過程氧化亞氮排放，故本次盤查廢水處理場排放量為處理過程之「甲烷排放量」及「用電排放量」之總二氧化碳當量表示。根據該場廢水處理程序，廢水處理經厭氧反應池，故須採用厭氧反應之係數。實際現況未達完全厭氧狀態，處於兼氧狀態，參考國家溫室氣體排放清冊 (2022)，故選擇介於 0-0.3 之甲烷修正係數，本報告採用 0.2 計算。

計算結果與分析

依據系統邊界碳足跡盤查結果總排碳量為 5,242.072 噸 CO₂e，各階段項目排碳量如 Table 13。以屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.120 kgCO₂e/kg；以屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.252 kgCO₂e/隻。此處毛雞定義為經屠宰衛生檢查獸醫師屠前檢查判定合格後，准予吊掛屠宰之數量（已排除屠前廢棄），平均每隻毛雞重量為 2.09 公斤，詳 Table 14。

屠宰程序各階段碳足跡以屠宰分切階段占 77.70%為大宗，其次廢棄物處置階段占 22.16%，廢棄物運輸階段僅占 0.14%，各階段碳足跡佔比如 Figure 8。針對屠宰分切階段分析各項目碳足跡佔比(如 Figure 9 所示)，以電力為主要來源占 80.47%，其次為液化石油氣占 11.06%，第三為冷媒占 7.73%，以上排碳量占屠宰分切階段

共 99.25%。



由屠宰程序各項目排碳佔比 Figure 10 顯示，家禽屠宰程序碳足跡主要貢獻來自電宰過程之設備電力使用占 62.53%。液化石油氣為鍋爐燃料，使用於屠宰分切階段之脫毛程序，故也是排碳量佔比高的項目。此外，屠宰過程為維持肉品鮮度，需於低溫環境及迅速冷凍冷藏保存，因此製冷設備冷媒逸散亦為高排碳量項目，其中場內大型冷凍冷藏設備大多填充 R22 冷媒，為主要冷媒逸散排放來源。另廢棄物處置階段之廢水處理占碳足跡 21.63%，由於 B 屠宰場內廢水處理場採厭氧處理，且屠宰場廢水特性含較多 COD，廢水處理過程中易產生甲烷逸散，為廢水處理主要的碳排放，其次為廢水處理場之用電排放。

數據品質分析

依前述第二章文獻回顧第四節碳足跡數據品質評估分析方法進行碳足跡數據品質評估分析，本數據品質分析計算加總大於 90% 碳足跡排放項目，包括外購電力、廢水處理、液化石油氣與冷媒排放共四項，占總排放的 94.66%。依據上述數據品質評估與計算，評估結果如 Table 15，整體數據組織數據品質得分 (DQR_{Total}) 1.1677，為高品質數據。



第三節 2 家屠宰場碳足跡計算結果分析

單位碳足跡分析

A 屠宰場經吊掛電宰之毛雞年屠宰量（排除屠前廢棄）為 18,246,909 隻，平均每隻白肉雞重量為 2.20 公斤，故屠宰重量為 40,143,200 公斤。A 屠宰場屠宰程序總排碳量為 7,231.190 噸 CO₂e，以屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.180 kgCO₂e/kg；以屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.396 kgCO₂e/隻。

B 屠宰場經吊掛電宰之毛雞年屠宰量（排除屠前廢棄）為 20,835,775 隻，平均每隻白肉雞重量為 2.09 公斤，故屠宰重量為 43,546,707 公斤。B 屠宰場屠宰程序總排碳量為 5,242.072 噸 CO₂e，以屠宰每公斤毛雞之單位碳足跡為 0.120 kgCO₂e/kg；以屠宰每隻毛雞之單位碳足跡為 0.252 kgCO₂e/隻（如 Table 16 所示）。

由單位碳足跡排碳量結果可知，屠宰每公斤毛雞單位排碳量 A 屠宰場高於 B 屠宰場約 1.5 倍 (0.06 kgCO₂e/kg)，顯示 A 屠宰場於整體屠宰排碳量相對較高；若以屠宰每隻毛雞單位排碳量，由於 A 屠宰場平均毛雞重量（2.20 公斤）較重，故其排碳量高於 B 屠宰場約 1.57 倍（如 Figure 11 所示）。

各階段排碳量分析

由 2.1 節可知屠宰每公斤毛雞單位碳足跡，A 屠宰場排放量高於 B 屠宰場約 1.5 倍，另深入探討屠宰程序之主要排放來源。由屠宰程序各階段排碳量顯示（如 Figure 12 所示），2 家屠宰場皆以「屠宰分切」階段排碳量佔比最高，「廢棄物處理」



階段次之，而「廢棄物運輸」階段僅包含一般垃圾、有機性污泥及化學混合物（極少量），且送至鄰近桃園市地區內之廢棄物處理場，運輸距離短，使得廢棄物運輸排碳佔比低（皆小於 1%）。

另各別分析 2 家屠宰場各階段排碳量，A 屠宰場屠宰分切階段排碳佔比達 93.36%，廢棄物處置階段占 6.61%；B 屠宰場屠宰分切階段占 77.70%，廢棄物處置階段占 22.16%。由此可知，2 家屠宰場雖以屠宰分切階段排碳量較高，而 B 屠宰場在廢棄物處置階段亦有一定規模之排碳佔比。

各項目排放量分析

一、A 屠宰場

A 屠宰場排放熱點以電力為主要排碳貢獻占 71.76%，次之為製冷設備冷媒逸散占 11.76%，而鍋爐使用之天然氣占 6.97%及廢水處理占 5.09%，如 Table 17。

電力為屠宰過程之設備使用，包含產線吊掛設備、冷凍冷藏設備、製冰機等，而為維持肉品鮮度及保存，場內製冷設備機組共計 42 台，使得其冷媒逸散排碳量佔比高，同時也提升電力使用量；天然氣用於雞隻脫毛程序之鍋爐燃料，自盤查年度 5 月起燃料由柴油（Diesel）改為天然氣，非整個年度使用量，故推測未來天然氣排碳佔比應會增加；依廢(污)水排放地面水體許可證申請之廢水處理場之設計，其廢水處理場屬於好氧處理程序，好氧處理甲烷逸散係數（妥善處理介於 0-0.1）低於厭氧處理（淺厭氧塘 0-0.3），因此廢水處理排碳佔比較低。



二、B 屠宰場

B 屠宰場排放熱點電力排碳貢獻占 62.53%，次之為廢水處理占 21.63%，而鍋爐使用之液化石油氣占 8.59%及製冷設備冷媒占 6.01%，如 Table 18 及 Figure 13。

電力為屠宰過程之設備使用，包含產線吊掛設備、冷凍冷藏設備、製冰機等，故以電力排碳為大宗，另由於場內製冷設備機組共計 22 台，數量較少，其冷媒逸散排放佔比低；依廢（污）水排放地面水體許可證申請之廢水處理場之設計，其廢水處理場屬於厭氧處理程序，於現場輔導實際情況為兼氧狀態，其甲烷逸散係數仍大於好氧處理，以致廢水處理排碳量較高；液化石油氣（LPG）用於雞隻脫毛程序之鍋爐燃料，亦為碳足跡主要排碳熱點之一。

第五章 討論



第一節 2 家屠宰場分析比較

電力

針對屠宰場主要排放源電力進一步分析，以屠宰每公斤毛雞之單位用電量分別 A 屠宰場為 0.219 度/kg，B 屠宰場為 0.128 度/kg；以屠宰每隻毛雞之單位用電量分別為 A 屠宰場 0.482 度/隻，B 屠宰場 0.267 度/隻，由於 A 屠宰場平均毛雞重量（2.20 公斤）較重，故其用電量高於 B 屠宰場約 1.81 倍（如 Table 19 所示）。

整體屠宰單位用電量分析顯示，A 屠宰場屠宰投入用電量皆高於 B 屠宰場，推測可能其原因如下說明：

一、製冷設備數量差異：A 屠宰場因產品訂單需求，部分產品需暫時冷凍冷藏保存，

其場內相關冷凍冷藏及製冰設備共計 42 台，而 B 屠宰場場內製冷設備約 22 台，使得 A 屠宰場用電量較高。此外，製冷設備數量多同時也造成其冷媒逸散量大。（A 屠宰場冷媒逸散占 11.76%）

二、其他非屠宰程序用電：場內用電包含屠宰、分切、包裝、調味等工作程序，因無另外裝設設備分錶，無法明確區分各程序的用電量，推測是否有特殊非屠宰程序用電量而造成差異。（如特殊包裝或需調味產品數量大）

三、氣冷空橋：A 屠宰場相較 B 屠宰場有多出氣冷空橋部分（隧道式），因 A 屠宰場之屠宰作業場區與分切加工場區位於不同建築物內，於屠宰作業流程結束



後，透過氣冷空橋將屠體輸送至分切加工場區進行分切加工，該空橋全長 85 公尺，寬 13.8 公尺，高 17.5 公尺，輸送時間為 6 分鐘，全程溫度控制為-2~2℃。

四、預冷槽：2 家屠宰場預冷槽數量、長度、停留時間及溫度不同，導致用電量不

同，分述如下：

(一) A 屠宰場：

- 1.預冷槽 I：長度 5 公尺，停留時間 10 分鐘，溫度 20℃。
- 2.預冷槽 II：長度 10 公尺，停留時間 35 分鐘，溫度 4℃。
- 3.預冷槽 III：長度 6.3 公尺，停留時間 15 分鐘，溫度 4℃。
- 4.預冷槽 IV：長度 6 公尺，停留時間 15 分鐘，溫度 3℃。

(二) B 屠宰場：

- 1.預冷槽 I：長度 3 公尺，停留時間 5 分鐘，溫度 23℃。
- 2.預冷槽 II：長度 7.3 公尺，停留時間 20 分鐘，溫度 17℃。
- 3.預冷槽 III：長度 11 公尺，停留時間 30 分鐘，溫度 2℃。

鍋爐燃料

2 家屠宰場於脫毛程序使用之鍋爐燃料不同，A 屠宰場於 5 月份後鍋爐燃料由柴油改為天然氣，B 屠宰場鍋爐則使用液化石油氣，鍋爐燃料排碳量如 Table 20。由鍋爐排碳量結果顯示，A 屠宰場毛雞量皆少於 B 屠宰場，但其脫毛使用之鍋爐



總排碳量卻較高（即屠宰每公斤所需熱值高），如 Table 21，可能受到燙毛溫度、燙毛時間及脫毛時間影響，分述如下：

一、A 屠宰場：燙毛溫度 $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、燙毛時間 114 秒及脫毛時間 23 秒。

二、B 屠宰場：燙毛溫度 $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、燙毛時間 90 秒及脫毛時間 60 秒。

此外，由燃料排碳係數分析，若以 A 屠宰場產生相同熱值條件下，改用低碳排燃料（如天然氣或液化石油氣）亦可達到減量效益，如 Table 22。

廢水處理

本次盤查廢棄物處置階段碳排放主要為廢水處理，相對廢棄物焚化處理排放量較為顯著，2 家屠宰場廢水處理排放皆高於總排放的 5%。由於屠宰場廢水具總氮（Total Nitrogen, TN）、生化需氧量（Biochemical oxygen demand, BOD）、化學需氧量（Chemical Oxygen Demand, COD）量高的特性，不適合使用國內公告之廢（污）水處理服務碳足跡係數計算，故本次碳足跡盤查廢水處理排放計算「處理過程甲烷排放」與「廢水處理場用電」兩項的排放，「處理過程之氧化亞氮（ N_2O ）排放」因兩場皆無相關數據故未納入計算。

屠宰業為國內納管廢水處理產業，放流水標準限值為生化需氧量（BOD）80（m/L）、化學需氧量（COD）150（m/L）。本次盤查兩場廢水處理方式不同，A 屠宰場採好氧處理，而 B 屠宰場採厭氧處理。首先針對 2 家屠宰場廢水處理基本數值分析（如 Table 23 所示），雖 B 屠宰場廢水處理量較大，但平均 COD 濃度較低；



計算年度廢水處理 COD 總重量，兩場分別為 A 屠宰場 508,272.00 (公斤)、B 屠宰場 652,006.99 (公斤)。

由於屠宰過程產生的血水與生物組織碎屑，造成屠宰過程與清洗設備之廢水 BOD、COD、TN 含量高，應與屠宰量有關。比較兩場數據，B 屠宰場毛雞屠宰隻數為 A 屠宰場的 1.14 倍；B 屠宰場毛雞屠宰重量為 A 屠宰場的 1.08 倍；B 屠宰場廢水處理 COD 總重量為 A 屠宰場的 1.28 倍，三上述數據共同檢視 (如 Table 24 所示)，B 屠宰場單位屠宰程序產生廢水 COD 重量較高，推測可能是廢水進流前處理差異。

B 屠宰場場內設有化製場，屠宰場廢水會先經過化製場，將毛雞羽毛攔截，再進入廢水處理場，而 A 屠宰場則未設有化製場。B 屠宰場化製場產生羽毛後需要沖洗設備，剩餘的羽毛粉進入廢水處理程序，可能使單位屠宰程序廢水 COD 重量較高。

針對 2 家屠宰場廢水處理程序比較，A 屠宰場採好氧處理，而 B 屠宰場採厭氧處理，廢水處理經厭氧反應池，不同廢水處理方式將影響事業廢水之甲烷排放修正係數的選用，如 Table 25。廢水經厭氧處理甲烷產生量較好氧處理大。本次盤查 A 屠宰場甲烷修正係數選用 0.05，甲烷排碳量為 177.260 tCO₂e；B 屠宰場係數選用 0.2，甲烷排碳量為 909.550 tCO₂e。從兩數據可見，使用何種廢水處理方式將顯著影響整體廢水處理溫室氣體排放，本次盤查較保守選用數值較小之甲烷修正係



數。若 A 屠宰場廢水處理場管理不善，產生厭氧的情況，甲烷排碳量約為目前的 6 倍；B 屠宰場原廢水處理場設計規格為深厭氧塘，若完善的厭氧處理甲烷排碳量約為目前的 4 倍。假設廢水處理甲烷排碳量提高，將超過廢水處理過程的用電碳排放，甚至倍數提高廢棄物處理階段佔比，若 B 屠宰場廢水處理為完善的厭氧處理，總碳排碳量為 3862.506 tCO_{2e}，甚至會高於屠宰分切階段電力的排碳量（如 Table 26 所示）。

廢水處理場處理過程也會產生氧化亞氮的排放，惟兩場無廢水總氮含量(TN)數值，故無法計算其排放量。參考針對家禽屠宰廢水之文獻（Fatima et al., 2021），廢水總氮濃度介於 162.6-563.8（mg/L），計算氧化亞氮的排碳量如 Table 27。相較於廢水處理過程甲烷排放，氧化亞氮的排碳量較低，但也不能因此忽略，若未來有蒐集相關數據也需要納入碳足跡盤查。



第二節 產品碳足跡差異比較

影響產品碳足跡的因子

相同的畜禽肉產品在國際間或不同的研究報告中可能有不同的碳足跡，影響的因子是因為在不同的研究報告中有不同的研究方法，可能有不同的飼養管理方式、功能單位、系統邊界及分配原則，另外在不同的國家有不同的政策、地理位置及氣候等，皆是影響產品碳足跡的因子（Desjardins et al., 2012）。

雖然在許多文獻中對於畜禽肉產品碳足跡已有估算，但在各報告之間去做比較仍是有困難的（如 Table 28 所示）。Casey 等人於 2006 年發表了牛肉生產系統的溫室氣體排放量如有將淘汰乳牛用為牛肉生產來源並分配計算，將大幅降低牛肉生產的溫室氣體排放量，例如在愛爾蘭研究顯示屠宰每公斤牛隻溫室氣體排放量為 13.0 kgCO₂e/kg，如有將淘汰乳牛用為牛肉生產來源並分配計算，排放量將減少為 9.8 kgCO₂e/kg。另外還有其他因素使得研究報告之間做比較有困難，例如溫室氣體排放來源項目的不一致，排放量的計算很少有將資本財物生產製造的碳排納入作探討，如將農業機具的製造納入做計算，將有較多之溫室氣體排放量（Vergé et al., 2008）。

由於牛肉產品溫室氣體排放量相較其他食物種類產品高出許多，故以下以評估改變肉牛飼養過程為探討主題，透過不同的飼養方式、飼養期程、飼糧原料及育區土地管理情形，來比較溫室氣體排放量的差異：



一、飼養方式及飼養期程對溫室氣體排放的影響

(一) 飼養期程及生產效能的比較

飼養期程愈長，所需飼養的成本及原料愈多，且牛隻消化道的發酵作用每日皆會產生大量的甲烷，糞肥部分會產生氧化亞氮，飼糧原料生產的過程亦會產生溫室氣體的排放，故愈短的飼養期程，溫室氣體排放量則愈少 (Heflin et al., 2019)。集約型態的飼養方式因飼養期程短且日增重部分較多，生產效能較放牧型態好，故每生產 1Kg 的牛肉產品溫室氣體排放會較放牧型態少，但育區土地利用較少且糞肥集中管理因素，則造成土壤酸化較放牧型態嚴重 (Bragaglio et al., 2018; Ogino et al., 2016)。

放牧型態飼養的生產效能低且飼養期程長，溫室氣體總排放量較集約型態高，但因穀物生產需求減少，殺蟲劑及肥料使用較少，反而對於環境土壤酸化及能源消耗的衝擊性低 (Angerer et al., 2021)。

(二) 有機型態飼養的特徵

有機型態的飼養方式與放牧型態類似，較低的生產效能與較長的飼養期程一樣造成溫室氣體總排放量較集約型態高 (Buratti et al., 2017)，但因沒有使用殺蟲劑及化學肥料而大幅降低能源消耗，比放牧型態更加降低溫室氣體排放量 (Tsutsumi et al., 2018)。

二、改善飼糧原料以減少溫室氣體排放量



(一) 施肥及引入豆科植物可增加牧草生產效能

對育區進行施肥可以增加牧草產量，使牛隻飼養期縮短，進而提升牛肉生產效能，減少溫室氣體排放量，但會增加能源消耗及土壤酸化等環境衝擊 (Payen et al., 2020)。引入豆科植物可將大氣中的氮經由固氮作用固定到土壤中，減少施肥但亦有增加牧草產量效果，同時避免增加能源消耗及土壤酸化等優點 (Dick et al., 2015)。

(二) 牛隻消化道甲烷生成作用對溫室氣體排放的影響

改善牧草品質包括添加青貯料以增加澱粉並減少纖維攝取、添加硝酸鹽以減少瘤胃氫離子濃度或增加精料比例等，皆能有效降低消化道的甲烷排放。

研究指出牧草添加青貯料以增加澱粉並減少纖維攝取，在乳牛可大幅降低消化道的甲烷排放，於肉牛亦有一定的效果，而在綿羊則效果不大；而添加硝酸鹽以減少瘤胃氫離子濃度或增加精料比例等，減少消化道甲烷排放的效果則在乳牛、肉牛及綿羊三者之間差異不大。由以上研究可得知如飲食策略是與牧草成分不同有關進而影響瘤胃生理學的作用，則在不同的草食動物之間會有不同的效果，如飲食策略是增加精料比例，因原理是與甲烷生成作用的發酵路徑有關，故在不同的草食動物之間，減少消化道甲烷排放的效果差異不大 (Van Gastelen et al., 2019)。



三、育區土地管理對溫室氣體排放的影響

(一) 土壤品質及土壤碳匯

研究指出，放牧型態飼養方式溫室氣體排放量較集約型態高，如將土壤碳匯因素考量進去結論亦同，另育區土地面積愈大則碳匯效果愈多。土壤品質對碳匯作用相當重要，一旦土壤失去肥力或酸化，將使土壤中的碳重新釋放回大氣中（Hammar et al., 2022）。

土壤品質是影響土壤碳含量的重要因素。具體地，土壤品質的影響因素如下：

- 1.土壤有機質含量：土壤中的有機質是碳的主要來源，因此土壤有機質含量越高，土壤碳含量就越高。
- 2.土壤 pH 值：土壤 pH 值的高低影響了微生物的生長，微生物是土壤碳的主要轉化者。因此，土壤 pH 值越高，土壤中的碳就越容易被微生物代謝。
- 3.土壤水分：土壤水分是影響土壤碳匯的重要因素，因為水分影響了微生物的生長和代謝速率。
- 4.土壤結構：土壤結構影響了土壤中碳的含量和分布。例如，好的土壤結構有利於土壤中碳的保存和固定。

因此，通過保護和改善土壤品質，我們可以提高土壤碳含量，從而影響土壤碳匯（Morel et al., 2016）。

(二) 引入豆科植物、多年生植物及輪牧可增加土壤品質，減少溫室氣體排放



對於育區的土壤，施用化肥雖可增加生產效能，但連續施用過量的氮肥而轉化成硝酸鹽，使土壤出現酸化及肥力下降，若能種植豆科及多年生植物來增強固氮及土壤碳匯作用，可有效抵減溫室氣體的排放量。

在加拿大，飼養牛隻並同時種植多年生植物是該國長期以來減少溫室氣體排放重要的策略，多年生植物種植區域會隨著牛隻族群數增加而增加，並改變土壤碳儲存（Cezimbra et al., 2021; Liang et al., 2020）。

小麥、稻米及玉米這3種一年生植物是人類飲食及人類文明的基礎，大多數經濟作物是一年生植物，只能收穫一次，每年必須重新播種。如果人們要以工業規模種植這些糧食，通常需要耗費大量的水、肥料及能源，這導致農業成為碳及其他污染物的主要來源。翻地會危害地球的土壤，讓土壤的保水能力變差，導致養分與其他顆粒流入河中、湖泊及海洋，還會將碳釋放到大氣中，讓全球暖化惡化（González-Quintero et al., 2021）。

多年生植物可以通過吸收二氧化碳並將其儲存在植物結構，特別是在根系和果實中，來影響碳匯效果。因此，這些植物能夠減少大氣中的二氧化碳濃度，進而減少溫室效應，並有助於降低氣候變遷的速度。此外，多年生植物也可以通過促進土壤有機質累積來影響碳匯效果，土壤中的有機質可以吸收和儲存大量的碳，因此促進有機質累積也有助於吸收二氧化碳（Stanley et al., 2018）。



(三) 土地利用及土地利用改變對溫室氣體排放的影響

土地利用面積及土壤品質可影響碳匯量，進而影響溫室氣體排放量。隨著土地利用面積愈大，碳匯量則愈大，但如將土壤酸化因素考量進去，可發現土壤酸化愈嚴重時，碳匯量則有減少情形。

土地利用改變亦可大幅影響溫室氣體排放量，造林及砍伐森林同樣是土地利用的改變，但卻造成截然不同的結果，溫室氣體排放量差距將相當大，可見育區土地管理對控管溫室氣體排放上來說相當重要（Nguyen et al., 2013）。

土地利用改變可以通過幾種不同的途徑影響溫室氣體的排放，主要有以下幾點：

- 1.植物生長和土壤循環：改變土地利用方式，如森林砍伐和草原改為農田，會導致土壤中碳的釋放，從而增加二氧化碳和其他溫室氣體的排放。
- 2.畜牧產業：土地利用改變也可以影響畜牧產業，從而增加畜牧動物產生的溫室氣體（如甲烷）的排放。
- 3.水循環：改變土地利用方式也可以影響水循環，例如，森林砍伐會影響降雨分配和地下水循環，從而影響溫室氣體的排放。

因此，合理適當的土地利用政策和管理措施對於減少溫室氣體排放具有重要意義。



四、折衷取捨以減少溫室氣體排放量

(一) 半集約型態飼養方式

放牧型態飼養方式期程較長，生產效能較低，故溫室氣體排放量較集約型態高 (McGee et al., 2022)，而集約型態飼養方式溫室氣體排放量雖較低，但牛隻飼養及糞肥較集中管理，使得土壤酸化以及造成人類毒性化合物排放等情形較嚴重。集約型態飼養方式另有種植大量穀物的需求以餵飼牛隻，故能源消耗較多 (Costantini et al., 2021)，土地利用改變及化石燃料使用增加等因素亦會使溫室氣體排放大幅增加，故兩種型態飼養方式實為各有優缺點，以半集約型態飼養方式折衷取捨便相當重要 (Gonzalez-Fischer and Bilenca, 2020; Murphy et al., 2017; Pashaei-Kamali et al., 2016)。

(二) 新式整合生產系統

研究指出，牛隻放牧型態飼養系統及稻田生產系統(灌溉及收成後稻稈置於原地施肥皆會產生大量甲烷)皆為高碳排系統，如將此 2 生產系統做整合，不但可增加產能且亦可減少溫室氣體排放量 (Ogino et al., 2021)。

生產系統經整合後，牛隻可集中管理飼養，稻田生產系統收成後可將稻稈用於餵飼牛隻，增加牛隻營養及生產效能。稻稈用於餵飼牛隻後雖田地減少施肥原料，但牛隻產生的糞肥則可拿來田地用於施肥。另糞肥集中管理所產生之沼氣亦可回收再利用去生成液化石油氣，在能源消耗上亦可達到減



少的目的。2 生產系統經整合後可達到半集約型態飼養方式的效果，增加生產效能同時又不增加溫室氣體排放量。

國際與臺灣畜禽肉產品碳足跡比較

畜禽肉產品的碳足跡在國際間存在著相當大的差異，這取決於多種因素，包括數據品質（初級數據或次級數據）、生產方法、動物飼養方式、飼料組成、運輸、加工及副產品/廢棄物處置方式等（González-García et al., 2014），國際間與臺灣禽肉產品碳足跡比較如 Table 29。以下是一些可能影響碳足跡的因素：

- 一、生產方法：不同國家的農業和畜牧業生產方法可能存在差異。一些國家可能更傾向於採用環保和永續的生產方法，而另一些可能使用更傳統或資源密集的方式。
- 二、飼料組成：不同地區使用的飼料成分可能有所不同。一些地區可能更多地使用天然資源，而其他地區可能更依賴進口的飼料，這影響了畜禽的生長效率和碳足跡。像飼養禽類所需的飼料以及飼料生產方式會影響碳足跡。例如，種植禽類飼料所需的土地使用、化肥使用、運輸等都可能產生溫室氣體排放。
- 三、運輸：運輸方式和距離也是一個重要的考慮因素。運輸過程中的能源使用和排放會對碳足跡產生影響。
- 四、加工方式：畜禽肉品的加工和分銷方式也可能有所不同。更現代化和高效的加工方式通常能夠降低碳排放。



五、飼養方式：飼養方式包括放牧、圈養或混合式飼養等，這也可能對碳足跡產生影響。在家禽方面可能包括大規模工業養殖、有機養殖或自由放養等不同方式，不同的養殖方式將對碳排放產生不同的影響。

六、能源使用：生產過程中使用的能源來源，如電力、燃料等，會影響禽肉產品碳足跡。另在不同國家因電力排放係數的不同也會影響碳足跡的結果，電力排放係數是衡量一個國家或地區所產生的電力每單位能源所排放的二氧化碳或其他溫室氣體的量。因此，如果一個國家的電力主要來自於清潔能源如風能、太陽能或核能，其電力排放係數可能會比主要依賴於化石燃料如煤炭或天然氣的國家低得多。對於禽肉生產，電力的使用可能涉及養殖場的運作、飼料加工、冷凍設施等方面，如果這些活動使用的電力來源於高排放係數的能源，那麼禽肉的碳足跡就可能較高；相反地，如果使用的是來自低排放係數能源的電力，則碳足跡可能較低。

於 Table 20 中，可見中國的研究報告於屠宰階段的碳排放量與其他國家相較起來偏高，主要原因為該國以燃煤方式進行發電占比高，電力排放係數高達 1.03，導致有使用電力情形時，即產生高的碳排放量；而法國的研究報告，可見於屠宰階段的碳排放量與其他國家相較起來較低，主要原因為該國以核能進行發電占比高，電力排放係數僅有 0.146，大幅降低了用電的碳排放量；我國的研究報告於屠宰階段的碳排放量與其他國家相較起來較高，雖電力排放係數為 0.59，影響原因還有副

產品及廢棄物的再利用所抵扣的碳排放量，於本次研究並沒有納入做計算，未來如產業做好再利用規劃，將可進一步減少碳排放量。



由於這些因素的複雜性，碳足跡的比較通常需要綜合考慮多方面的因素。一些國家可能在特定方面執行得更環保，但在其他方面可能存在挑戰。科學研究和生態足跡分析可以提供更具體的信息，並支持跨國比較。然而，碳足跡的評估和比較也可能受到不同研究方法和數據可用性的影響。

第三節 畜禽肉產品碳足跡熱點分析



碳足跡熱點

碳足跡熱點是指在產品、服務或活動的生命週期中，導致碳排放的主要或最重要的來源。進行碳足跡熱點分析的目的是識別在整個生命週期中對碳足跡產生最大影響的階段、活動或因素，以便有針對性地採取減排措施（Ratchadaariyachat and Kwonpongsagoon., 2020）。

以下是進行畜禽肉產品碳足跡熱點分析時常見的一些考慮因素：

- 一、飼料生產：飼料的生產是畜禽肉碳足跡的一個重要熱點。這包括種植、收穫、運輸和加工飼料所需的能源，以及飼料的成分，如黃豆、玉米等，這些植物的種植可能涉及大量的土地利用，這可能導致森林砍伐，進而釋放大量的碳。另飼料生產需要使用大量的化肥來增加農作物的產量，但化肥的生產和使用通常會產生大量的溫室氣體，尤其是氧化亞氮。此外飼料成分通常需要從不同地區或國家運輸到飼料廠進行加工，然後再運輸到畜禽場。長途運輸會消耗大量的能源，產生相應的碳排放。
- 二、畜禽飼養：飼養過程中的碳排放主要來自動物的消耗，包括飼料轉換率、排泄物處理和甲烷排放。畜禽的消化系統會產生大量的甲烷，這是一種極具溫室效應的氣體，特別是牛隻和羊隻，它們的胃部消化過程中產生的甲烷排放相當可觀。另不同的飼養方式，如放牧、圈養或混合飼養，將對碳排放產生影響。



三、能源使用：農場、屠宰和加工的能源使用，包括供暖、加熱、冷卻、照明和機械設備的運行，以及水的使用和處理，都是碳足跡的一部分。

四、運輸：將禽畜運送到加工廠，以及最終將肉製品運送到市場的運輸過程都會產生碳排放。

五、廢棄物處理：排泄物、屠宰過程的副產品等的處理方式也會影響碳足跡。畜禽飼養產生的大量糞便通常會採用傳統的堆肥或沼氣池等方法，這些處理過程也會產生溫室氣體排放，特別是甲烷和二氧化碳。

六、土地利用改變：如果為了農業擴張或畜禽飼養而進行大規模的土地利用改變，這可能對碳足跡產生長遠的影響。當大量的土地用於飼料生產、牧場和畜禽舍等設施，這可能導致土地利用變化，包括森林砍伐和草地轉換，進而釋放大量的碳。

進行碳足跡熱點分析有助於識別哪些方面的生產過程對碳排放有較大的貢獻，以便採取措施降低碳足跡。針對以上畜禽肉產品碳足跡熱點分析之面向，可歸納以下碳足跡改善措施：

一、飼料生產：減少化肥和農藥的使用，促進飼料作物的多樣化，選擇對環境影響較小的作物種植。另在當地種植飼料作物，可減少運輸距離，以及採用水資源節約的灌溉技術等。

二、畜禽飼養：改善動物飼料配方，提高動物的生產效能，減少飼料的浪費。採用



生物氣體捕獲技術，如沼氣池，收集和利用畜禽排放的甲烷。使用可再生能源，如太陽能 and 風能，以減少對化石燃料的依賴。

三、糞便處理：採用先進的糞便處理技術，如生物氣體發酵和堆肥，以減少甲烷和二氧化碳的排放。另將糞便用於肥料，可促進土地的肥沃，從而減少化肥的使用。

四、能源使用：可使用節能設備和技術，使用可再生能源，如太陽能和風能，以減少二氧化碳的排放。另為減少能源的浪費，可透過優化照明和加熱系統來節省能源。

五、土地利用變化：保護原有的森林和草地，避免進行土地利用變化，並進行森林再生和草地保護等。

國際與臺灣畜禽屠宰階段碳足跡熱點分析

為比較國際間畜禽屠宰程序碳足跡的熱點，整理相關研究報告有關畜禽屠宰程序各項目排碳佔比，分析如下：

一、Cheng 等人於 2023 年的研究報告中指出，在中國白肉雞於飼養階段的碳排放量為 $2.864 \text{ kgCO}_2\text{e/kg LW}$ ，屠宰階段為 $0.112 \text{ kgCO}_2\text{e/kg LW}$ ，其中屠宰階段的各項目排碳佔比由高至低依序為電力及化石燃料占 67.1%、運輸占 17.9%、包裝占 12%及廢水處理占 3%。

二、González-García 等人於 2014 年的研究報告中指出，在西班牙白肉雞於飼養階



段的碳排放量為 1.647 kgCO₂e/kg LW，屠宰階段為 0.118 kgCO₂e/kg LW，其中屠宰階段的各項目排碳佔比由高至低依序為電力 40%、化石燃料占 31%、包裝占 22%、運輸占 6%及廢水處理占 1%。

三、Vitali 等人於 2018 年的研究報告中指出，在義大利肉牛於飼養階段的碳排放量為 20.98 kgCO₂e/kg LW，屠宰階段為 0.27 kgCO₂e/kg LW，其中屠宰階段的各項目排碳佔比由高至低依序為電力、化石燃料及冷媒逸散占 85%、運輸占 10%、牛隻甲烷、氧化亞氮排放占 4%及人道致昏、消毒劑使用占 1%。

歸納以上研究報告，畜禽屠宰階段碳排放量最高項目為電力，是碳足跡熱點，與臺灣家禽屠宰階段碳排放量最高項目為電力相符（如 Figure 13 所示），此外在國際及本研究報告也都顯示化石燃料、冷媒逸散及廢水處理等皆為高碳排放量項目，針對前揭項目規劃適當之減碳措施便相當重要。



第四節 改善措施探討

能源使用

畜禽屠宰階段的電力及化石燃料使用占碳排放量大宗，採取以下措施可以幫

助降低碳排放量並提高能源效能：

一、就國家整體而言，使用化石燃料進行發電部分如佔比過高，將影響國家電力排

放係數，整體用電碳排放量將增加（Cheng et al., 2023）。化石燃料，如煤、天

然氣和石油，是主要的二氧化碳（CO₂）排放來源。當化石燃料在發電廠中燃

燒時，大量的 CO₂ 釋放到大氣中，加劇全球氣候變化。高度依賴化石燃料的

國家或地區，其電力排放係數通常較高，即每單位發電產生的二氧化碳排放量

較大。這將影響整體電力的環境可持續性。如多使用其他非化石燃料能源形式

或可再生能源（如太陽能、風能、水能、地熱能）進行發電，可降低國家整體

電力排放係數，大幅降低用電碳排放量。另可加強研發和應用能源存儲技術，

以解決再生能源的波動性和不穩定性，能源存儲技術有助於在能源需求高峰

時提供穩定的電力，提高能源使用的靈活性。此外如果符合國家安全和公共關

切，發展核能也是一種低排放的電力生成方式，核能可以提供穩定且大規模的

電力，並減少溫室氣體排放。

二、屠宰場進行屠宰作業，包含了設施設備和冷藏冷凍庫的運作、室內照明和空調

及廢水處理等，用電量相關龐大，如能增加電力使用效能，透過更新設備、選



擇高效的動力系統、電動機、照明設備等，以及採用更先進的技術和提高生產流程的能效，例如使用智慧監控系統和自動化技術，以實時監控能源使用情況，並根據實際需求調整設備運行，最大程度地減少不必要的能源浪費，可以降低電力使用及碳排放量（González-García et al., 2014）。

三、在屠宰作業流程中改善運行排程，以確保設備在高效率的條件下運行，避免不必要的空轉或停機時間，從而減少能源浪費。另可實施熱能回收系統（例如熱泵系統），將屠宰過程中產生的熱能去提取熱量，並將其提升到更高的溫度，以供加熱用途。

四、屠體出貨時，避免冷藏冷凍庫溫度上升過高，以免冷藏冷凍庫需再重新降溫，進而增加用電量（Vitali et al., 2018）。可定期檢查冷凍庫的密封性能、門的狀態和冷凍設備的運行狀況，確保門密封良好，設備沒有漏氣現象。另減少冷凍庫門的開啟頻率，避免長時間的門開啟，這將有助於減少冷空氣的流失。此外精確計算冷藏冷凍庫的庫存需求，避免過度填充，以確保冷空氣能夠均勻流通，降低庫內溫度上升的風險，並安裝有效的監測系統，實時監測冷藏冷凍庫的溫度，一旦溫度超出預設範圍，立即發出警報，以便迅速採取行動。

五、在產生相同熱值條件下，改用低碳排燃料（如天然氣或液化石油氣），可達到碳排減量效益（González-García et al., 2014）。天然氣和液化石油氣的燃燒過程中產生的二氧化碳排放相對較少，與柴油相比，可以大幅減少溫室氣體的排放



及其他空氣污染物，例如硫氧化物、氮氧化物和顆粒物，有助於減少空氣和水的污染，降低生態系統和人體健康的風險。然而，需要注意的是，雖然天然氣和液化石油氣的碳排放較低，但它們仍然是化石燃料，而實現真正的低碳轉型仍需要更多地依賴可再生能源和能源效率的提升。因此，從長遠來看，仍應該逐步將能源體系轉向更為永續和綠色的方向。

六、屠宰業應用太陽熱電技術可以提高能源效率，降低運營成本，並減少環境影響：

（一）太陽熱電技術介紹：

1. 太陽熱電技術（Concentrated Solar Power, CSP）利用鏡子或反射器將太陽

光集中到接收器上，將工質（如水、油或熔鹽）加熱，產生高溫蒸汽，驅

動渦輪機發電。

2. 主要組件：

（1）集熱器：槽式、碟式或塔式集熱器，將陽光集中到接收器上。

（2）接收器：吸收集中光能並將其轉化為熱能。

（3）熱能儲存系統：儲存多餘的熱能，以便在無日照時繼續發電。

（4）渦輪機和發電機：利用高溫蒸汽驅動渦輪機，產生電能。

（二）屠宰業中太陽熱電技術的應用：

1. 能源供應：

（1）電力生產：利用太陽熱電技術生產電力，供應屠宰場的日常運行，如照



明、設備運行等。

- (2) 熱能利用：產生的高溫蒸汽可用於屠宰過程中的各種熱需求，如清潔、消毒、加熱水等。

2.熱能應用：

- (1) 蒸汽供應：高溫蒸汽可用於屠宰場內的各種工藝需求，減少對傳統燃料的依賴。
- (2) 熱水供應：利用高溫蒸汽加熱水，用於動物清洗、器具消毒等過程。

(三) 實施步驟：

1.可行性研究：

- (1) 地理條件評估：確定屠宰場所在位置是否適合安裝太陽熱電系統，如日照強度、土地面積等。
- (2) 技術可行性：評估太陽熱電技術在該地區的技術可行性，包括系統設計、安裝和運行維護。

2.系統設計與安裝：

- (1) 系統規劃：根據屠宰場的能源需求設計太陽熱電系統，包括集熱器、接收器、熱能儲存系統和發電設備。
- (2) 安裝與調試：進行設備安裝和調試，確保系統正常運行並達到設計要求。



3.運行與維護：

- (1) 日常運行：監控系統運行狀態，確保發電和熱能供應的穩定性。
- (2) 定期維護：進行設備的定期檢查和維護，延長設備壽命，提高運行效率。

(四) 優勢和挑戰：

1.優勢：

- (1) 環保效益：利用可再生能源，減少溫室氣體排放，改善環境影響。
- (2) 能源成本降低：初始投資後，運行成本低，長期節省能源成本。
- (3) 可持續發展：提高屠宰場的能源利用效率，促進可持續發展。

2.挑戰：

- (1) 初期投資高：安裝太陽熱電系統需要較高的初期投資。
- (2) 技術要求高：系統設計、安裝和維護需要專業技術和人員。
- (3) 地理限制：適合於日照強度高、土地面積大的地區。

冷媒逸散

冷媒氣體排放係數高，會對大氣層造成不良影響及溫室效應，為減少冷媒逸散

碳排放量，可考量相關措施如下：

- 一、設備的冷媒填充量會影響到冷媒逸散量，可選用低冷媒填充量之冷藏冷凍室設備，可降低冷媒逸散及碳排放量 (Vitali et al., 2018)。一些現代冷藏冷凍室設



備使用先進的低冷媒填充量技術，例如使用高效率的冷媒、改進的冷媒循環系統，可實現更高的性能和更低的冷媒需求。此外定期檢查冷藏冷凍設備，確保冷媒系統正確運行，減少潛在的冷媒逸散，及時修復任何漏氣或損壞的部分。

在處理和維護冷媒系統時，遵循適當的冷媒管理標準和程序，以確保冷媒的安全使用和減少逸散。

二、冷媒填充時可選用低全球暖化潛勢（Global warming potential，簡稱 GWP）之

冷媒進行填充，可大幅降低碳排放量（Vitali et al., 2018）。在一些國家積極採用新的技術和創新，例如使用更環保的替代冷媒，隨著科技的進步，不斷有新的低 GWP 冷媒問世，提供更多的選擇，同時現代冷媒技術也在不斷發展，提高能源效率以進一步減少對大氣中溫室氣體的釋放。在選擇冷媒時，除了 GWP 值外，還需要考慮其它性能、安全性和成本等方面的因素。總體而言，推動使用低 GWP 值的冷媒是一個積極的步驟，有助於實現更為環保和永續的冷凍技術。

副產品及廢棄物

畜禽屠宰所產生之副產品（例如內臟、脂肪）及廢棄物（例如經屠宰衛生檢查人員判定廢棄之屠體及內臟），如可有效地進行再利用，將可以幫助屠宰場最大限度地減少廢棄物和副產品對環境的不良影響，同時解決糧食排擠效應（food displacement effect）及能源短缺問題（Al-Zohairi et al., 2023），相關措施分述如下：



一、化製處理：

(一) 畜禽屠宰增加可食用部位之利用率，可大幅降低碳排放量 (Mogensen et al.,

2016)：主要是因為將肉類部位充分利用，減少了浪費，同時也減少了需要

生產更多肉類的需求，增加生產效能，進而減少了與肉類生產相關的碳排放。

除了常見的肉類部位外，如肉、骨頭和器官，還可以利用其他部位，如皮革、

毛皮、軟骨、膠原蛋白等。將這些部位充分利用，可以減少廢棄物的產生，

從而降低碳排放。另鼓勵人們食用食品副產品，如動物骨湯、軟骨食品、動

物內臟等，可以促進食品系統的循環利用，減少浪費。

(二) 可食用之副產品化製為肉骨粉 (Faraji-Mahyari et al., 2021)：將副產品轉化

為肉骨粉可以減少副產品的處理和處置所需的能源和資源，從而減少相應

的碳排放。相對於其他處理方式，如焚燒或掩埋，這種方法通常更環保。肉

骨粉的製造過程中，通常包括破碎、烘乾和消毒等步驟，但相比其他方式，

這些過程所需的能源通常相對較少。因此，相對於其他方式，將副產品製成

肉骨粉可以減少能源的消耗，進而減少碳排放。在肉骨粉的製造過程中，有

些場合會利用甲烷發酵，這也可以減少甲烷逸散到大氣中，進而減少溫室氣

體的排放。此外，肉骨粉通常用作飼料的蛋白質來源，這可以減少對其他蛋

白質來源的需求，例如大豆等植物蛋白質，減少相應的大豆種植和加工所產

生的碳排放，同時減少土地利用變化及糧食排擠效應。



(三) 不可食用之副產品及廢棄物化製為肥料：將不可食用的副產品及廢棄物化製

為生物性肥料，有助於回收和利用有機資源，降低廢棄物的產生量。生物性肥料中含有豐富的有機質和微生物，可以改善土壤的結構、通氣性和保水性，提高土壤肥力，促進植物生長，其所提供植物所需的營養，可以減少對化學合成肥料的依賴，從而減少對化肥的使用，降低農業對化石能源的需求，減少碳排放。另使用生物性肥料可以減少化學肥料和農藥對水資源的污染，有助於保護地下水和地表水等資源。

(四) 動物脂肪可轉化為生質柴油：與柴油相較，生質柴油可排放較低之一氧化碳

及總碳氫化合物 (Alptekin et al., 2015)，更可大幅降低碳排放量，不僅對環境是友善的，同時也符合經濟效益 (Chowdhury et al., 2021)。生質柴油的生產利用了可再生的生物資源，如動物脂肪，有助於減少對化石燃料的需求，減少對石油等非再生能源的依賴。將動物脂肪轉化為生質柴油，有助於利用廢棄的動物脂肪，減少動物脂肪掩埋或焚燒對環境的負擔。

此外在化製階段計算產品碳足跡，因廢棄物經濟價值為 0，如以經濟價值分配方式計算碳足跡，則可不納入計算，相對的再利用所獲得之效益亦不可納入計算；如以重量分配的方式進行計算，則須納入化製階段的碳排放量，但相對的再利用所獲得之效益亦可納入計算而折抵 (Santagata et al., 2017) (Santagata et al., 2019)。選擇哪種方法取決於具體情況和計算目的，但無論



哪種方法，都應該確保計算過程的透明度和準確性，以便獲得可靠的結果。

二、厭氧消化：

(一) 副產品及廢棄物經厭氧消化產生甲烷：

1. 可減少能源消耗及碳排放量 (Ortner et al., 2015)。甲烷是一種主要成分，

可以用作生物天然氣或生物能源的源頭。它是一種可再生的能源，可以替代傳統的天然氣或其他化石燃料，從而減少對非可再生能源的依賴。相對於傳統的廢棄物處理方法，如掩埋或焚燒，厭氧消化通常可以降低相應的處理成本。同時，它還可以產生有價值的產物，如甲烷和有機質肥料，進一步減少處理成本並提供額外的收入來源 (Ozdemir et al., 2022)，並可以有效地處理有機廢棄物，減少其對土壤和水質的污染。
2. 甲烷可進而產生電能及熱能 (Siddiki et al., 2021)。甲烷可以用作燃料，用於發電設施，例如燃氣發電機或燃氣渦輪機，當甲烷被燃燒時，會產生高溫和高壓的氣體，用於驅動發電機發電，這種發電方式稱為天然氣發電，是一種清潔且高效的發電方式。甲烷的燃燒還可以產生熱能，用於供暖、煮食、加熱水等，許多家庭和工業場所都使用甲烷作為主要的供熱能源，因為它具有高效、方便和環保等優點。
3. 家禽屠宰從羽毛、血液、腸道及廢水處理後所產生之污泥餅等副產品項目去做厭氧消化比較，可發現腸道及廢水處理後所產生之污泥餅可產生較大



量甲烷，因該等副產品項目所含脂肪含量較其他項目高。另因腸道在厭氧消化過程會產生脂肪酸，會使得甲烷生成作用有遲滯期 (lag phase)，整個厭氧消化過程會需要較長時間（其他項目約 10 幾天可達甲烷最高產量，腸道則需約 60 天左右），但因腸道脂肪成分含量高，所可獲得之甲烷產量也最高 (Yoon et al., 2014)。

4. 有機負荷率 (Organic Loading Rate, OLR) 和 pH 值是影響厭氧消化過程中沼氣生成效率的重要因素 (Wang et al., 2018; Wang et al., 2022)：

(1) 有機負荷率是指每天進入厭氧消化器的有機物質的量，通常以化學需氧量 (COD) 或揮發性固體 (VS) 的形式表示。適當的有機負荷率可以提高沼氣生成效率，但是當 OLR 過高時，會導致厭氧消化系統的負荷過重，微生物無法有效處理所有有機物質，從而降低沼氣生成效率。適當調整 OLR 可以根據不同的廢棄物和微生物群體的特性來進行，以確保最佳的沼氣生成效率。過高或過低的 OLR 都可能導致消化器的穩定性和甲烷產量的下降。

(2) pH 值是指消化器內的液體環境的酸鹼度，通常在 5.5 到 8 之間較為理想。適當的 pH 值對於維持微生物的生長和活性至關重要，進而影響沼氣生成效率。高 pH 值可能會抑制甲烷產生的微生物，而低 pH 值可能會導致甲烷發酵的停滯或失效。因此，定期監測和調整消化器的 pH 值

對於確保沼氣生產的穩定性至關重要。

(二) 副產品及廢棄物經厭氧消化產生沼渣：可製成生物性肥料並減少化學肥料施用 (Kefalew and Lami, 2021; Wang et al., 2021)。因沼渣含有大量有機物質，可以提供土壤所需的碳源和營養素，有助於改善土壤結構和增加土壤的肥力。沼渣中含有豐富的微生物資源，這些微生物有助於土壤生態系統的恢復和平衡，提高土壤的生物多樣性和活性。此外含有氮、磷、鉀等植物生長所需的營養元素，可以提供土壤中缺乏的營養素，促進植物的生長和發育。通過使用沼渣作為有機肥料，可以減少對化學肥料的施用量，減少對環境的污染和生態系統的破壞，實現綠色農業的目標。

廢水處理

屠宰場廢水的特性通常包括：

- 一、高 COD (化學需氧量)：屠宰場廢水中含有大量的有機化合物，如血液、脂肪、蛋白質等，這些有機物質會在水中進行生化分解，消耗氧氣，導致 COD 值較高。
- 二、高 BOD (生化需氧量)：廢水中的有機物質需要被微生物進行降解，消耗氧氣，因此 BOD 值也通常較高。
- 三、高 TSS (懸浮固體)：屠宰場廢水中可能含有大量的懸浮固體，如血液、脂肪、肉渣等，這些固體顆粒會使廢水混濁，增加處理難度。



四、高 TN (總氮): 廢水中的氮含量通常較高, 來自於蛋白質和氨基酸的分解以及廢水中可能存在的氨氮等物質。

五、高油脂: 屠宰場廢水中通常含有大量的油脂, 來自於屠宰過程中的動物脂肪。

這些油脂不僅會使廢水中的 COD 和 BOD 值增加, 還可能造成污染物沉積和管道堵塞的問題 (Aziz et al., 2022)。

考慮到這些特性, 對屠宰場廢水進行有效處理非常重要。通常, 處理方法包括生物處理 (如活性污泥法、生物膜反應器等)、物理化學處理 (如沉澱、過濾、膜分離等) 和進一步的後處理 (如氧化、吸附、電化學處理等), 以確保廢水達到排放標準或再利用水質要求。

屠宰場在處理廢水過程中, 可適當的調整溫度, 因溫度的升高通常可使 COD (化學需氧量) 的降解效率增加 (Imran-Ahmad, 2014)。這是因為在高溫下, 化學反應速率通常會增加。在水處理過程中, COD 通常是指水中有機化合物的總量, 包括有機廢物、生物碎片等, 其分解需要進行氧化反應。高溫可以促進這些氧化反應的進行, 使有機化合物更快地轉化為二氧化碳和水等無害物質。

而活性污泥是一種廣泛應用的生物處理技術之一, 它是一種含有大量微生物的混合物, 通常用於去除廢水中的有機物質和氮、磷等污染物, 使廢水達到排放標準, 具有在厭氧和好氧條件下都能夠發揮作用的特性 (Bashiri, 2018), 一般而言, 大約在 90 天左右, 活性污泥的微生物群落就可以逐漸達到成熟, 從而實現良好的



廢水處理效果 (Liu et al., 2015)。在厭氧條件下，活性污泥中的微生物可以進行厭氧呼吸或發酵等反應，以降解有機物質。這些過程通常發生在缺乏氧氣的情況下，例如在污水中的深層或淤泥中。一些微生物可以進行硝酸鹽還原、硫酸鹽還原、甲烷發酵等反應，對有機污染物進行分解，同時釋放出氣體或其他代謝產物。而在好氧條件下，活性污泥中的微生物則利用氧氣進行呼吸作用，進行有機物質的氧化分解。這些過程通常發生在通氧的生物處理系統中，例如活性污泥法中的接觸氧化池或活性污泥曝氣池。微生物可以將有機物質氧化為二氧化碳和水，同時生成能量和微生物細胞質 (Yetilmezsoy, 2022)。

厭氧及好氧序批式反應器 (Anaerobic and Aerobic Sequential Batch Reactor, 簡稱 A/O-SBR) 是一種廢水處理技術，結合了厭氧和好氧環境，以有效去除廢水中的有機物質、氮和磷等污染物，對 COD 及銨鹽的去除率可分別達 99% 及 99.8% (Gonzalez-Tineo, 2020)。有研究指出，當流入反應器的廢水總有機碳含量 (Total Organic Carbon) 為 343 mg/L，流量 (Flow Rate) 為 63 mL/min，pH 值為 6.84 時，有最佳的甲烷生成效率 (116.56 mL/min) 及 TOC、TN 去除率 (85.03%、72.10%) (Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2016; Bustillo-Lecompte and Mehrvar, 2017)。

對於屠宰場的廢水處理來說，廢水的分類非常重要。這是因為不同來源的廢水具有不同的成分和特性，需要針對性地進行處理，以確保廢水處理系統的效率 and 效果 (Jensen et al., 2014)：



一、生產設施的清洗廢水：包括清洗肉類、工作區域、設備和器具等過程中產生的廢水，含有大量的有機物、油脂及蛋白質等。

二、屠宰過程產生的廢水：如洗滌屠宰設施、動物屍體、內臟等過程中產生的廢水，含有較高濃度的有機物和氮、磷等。

三、冷卻水：屠宰場通常使用大量的水來冷卻設備和處理產品，因此冷卻水也是一種需要處理的廢水類型。

四、廢水混合：在屠宰場中，不同來源的廢水可能會混合在一起，形成複雜的廢水組成，需要對混合廢水進行分析和分類。

有文獻指出，屠宰場廢水處理對厭氧塘的管理也是相當重要的，厭氧塘有無加蓋，過多的活性污泥是否有排出，都會大大影響厭氧塘甲烷的生成量，管理良好與管理較不佳的厭氧塘，其甲烷生成量差距甚至可達10倍以上(McCabe et al., 2014)。對厭氧塘加蓋可以減少氧氣的進入，確保厭氧條件得到維持，以促進厭氧微生物的活性。此外，加蓋還可以防止氣味的散發，避免污水處理廠周圍的環境污染。而在廢水處理過程中，有時候可能需要排掉或移除厭氧池中的活性污泥，因活性污泥中的微生物過度生長或過多的生物量，導致處理效率下降，在這種情況下，可以通過排水管道將活性污泥從厭氧池中排出，以進行處理或處置。



第五節 建議

冷媒設備的清點與計算

由於屠宰場製冷設備之冷媒種類及填充量資訊不完整，僅提供設備清單及部分設備銘牌，另依現場輔導可知冷媒由場內自行購買 R22 冷媒，委由維護保養場商填充，故暫假設冷媒種類皆為 R22，並進行填充量推估。

未來應完整調查製冷設備冷媒資訊，若因設備老舊銘牌無法辨識或大型冷凍冷藏本無銘牌資訊，應至少提供設備場牌、型號、規格、功率等資訊，以利合理推估，將影響數據品質，未來若可取得其他設備功率資訊，應可較準確推估冷媒填充量。

廢水處理設備

此次針對 2 家屠宰場碳足跡盤查，發現廢棄物處理階段之廢水處理，由於屠宰業廢水的特性，處理過程中可能產生大量甲烷與氧化亞氮排放，故不適合使用國家公告之廢（污）水處理服務碳足跡係數。經排放係數法計算後，廢水處理的甲烷排放為廢水處理重要的排放源，排放量也相對較大，將影響廢棄物處理階段排放佔比，因此是屠宰業不容忽視的排放源之一。

2 家屠宰場廢水處理的方式不同也顯著影響甲烷修正係數的選用，導致甲烷產生量差異甚大。2 家屠宰場若要減少廢水處理之排放，A 屠宰場廢水處理過程需維持良好的好氧處理環境，減少厭氧情形以降低甲烷產生的可能性；B 屠宰場廢水處

理場之厭氧處理池，建議能裝設甲烷收集設備減少甲烷直接溢散，初期可將甲烷燃燒轉變成二氧化碳減少甲烷排放，另一方面甲烷係為能源，或可研究以甲烷作為燃料配搭相關系統使用。由於屠宰業事業廢水無須申報總氮濃度，缺乏氧化亞氮排放計算之活動數據，故暫忽略其排放量，待未來具有完整活動數據則必須納入計算。



第六章 結論與展望



本報告是臺灣第一篇研究白肉雞屠宰碳足跡的研究報告，此 2 家屠宰場於屠宰後檢查站皆為 3 個檢查站，於屠宰程序的碳排放量相較其他國家研究報告較高。

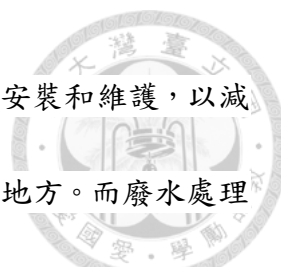
目前並沒有相關研究指出屠宰速率是否會影響碳排放量，屠宰速率對碳排放量的影響未來可再做進一步的探討。

高速屠宰可以使生產效率增加，但同時能源的消耗及廢棄物的產生也會增加，到底高速屠宰是否可以減少碳排放量，未來亦可再做進一步研究。我國屠宰場目前尚無高速屠宰線，但未來可能有高速屠宰線設立，此部分研究可以提早做準備及探討。

在前述的調查結果及討論中可得知，家禽屠宰程序碳足跡主要貢獻來自電力使用、鍋爐燃料、冷媒逸散及廢水處理，針對這些面向進行相關減碳措施，可有效降低禽肉產品之碳足跡。

在電力使用方面為提高電力使用效率，可透過更新設備、改善絕緣、定期維護和清潔設備等方式來減少電力的浪費。另轉向使用來自再生能源的電力，如太陽能或風能，安裝太陽能板或風力發電機可以減少對傳統電力的依賴。而鍋爐使用可考慮更為環保和高效的鍋爐設備，如高效燃氣鍋爐或生物質鍋爐，以及在產生相同熱值條件下，改用低碳排燃料，以減少碳排放。

冷媒逸散方面可考慮更新舊的製冰機、冷藏及冷凍設備，使用更為環保和高效



的設備，並可減少電力消耗，同時確保冷凍設備和空調設備正確安裝和維護，以減少冷媒氣體的逸散。定期檢查和維護設備，及時修復任何洩漏的地方。而廢水處理可實施高效的廢水處理系統並做好廢水處理場管理，將廢水進行有效處理，減少對環境的污染。可使用生物處理技術或其他先進的處理技術，將廢水中的有機物和其他污染物去除，另也可用水資源回收和再利用技術，將處理後的廢水再利用於屠宰場的其他生產過程，降低對地下水和自來水的依賴。

回到禽肉產品的碳足跡，本研究 2 家屠宰場屠宰雞隻來源皆為契約牧場，產品包含生鮮雞肉（冷藏、冷凍）及內臟，銷售對象包含：

- 一、經銷商：傳統市場、肉雞盤商、學校等。
- 二、超市量販通路：好市多、家樂福、大潤發、愛買等。
- 三、速食餐廳業者：麥當勞、肯德基、21 世紀等。
- 四、其他：餐廳、食品加工廠等。

為了解禽肉產品碳足跡，需進行禽肉產品生命週期評估及盤查分析，包含在飼料生產、家禽飼養、屠宰、加工包裝及運輸銷售等各個生命週期階段進行盤查，有關屠宰階段部分我國迄今尚未有相關碳排放數據。而屠宰場端係為牧場端及食品加工與銷售端之間重要的樞紐，建立屠宰場端溫室氣體排放相關數據，有助於銜接牧場端及食品加工與銷售端之碳排計算，完成整個產品生命週期評估及盤查，作為未來禽肉產品申請碳標籤的基礎，增加禽肉產品市場競爭力及永續發展。此外精進



並掌握屠宰場禽肉產品碳排放數據，可明確計算並掌握場域碳排熱點，規劃相關減碳措施進而獲得減碳效益，作為未來禽肉出口減少碳稅、進行碳定價或碳交易之基盤。

前述禽肉產品碳足跡的計算需完成整個生命週期的盤查，其中運輸的碳足跡計算須取得運輸的距離，而牧場端到屠宰場端的距離於實務上常有取得困難的問題（例如部分家禽送往屠宰場屠宰有先經過理貨），未來在運輸部分若能建立本土化排放係數，例如以全臺家禽運往屠宰場的平均距離的角度來做計算，得到由牧場端至屠宰場端屬於臺灣的本土化運輸排放係數，在禽肉產品碳足跡的計算上將便利許多。

為有效減少禽肉產品碳足跡，副產品或廢棄物的再利用更是重要策略之一，在畜禽屠宰的過程中，動物脂肪的取得量可說是相當可觀，如能有效利用動物脂肪，將對環境和經濟都產生積極的影響。而在實務上，動物脂肪的市場價值可能高於其轉化為生質柴油後的價值，這取決於當地市場條件、生質柴油價格以及脂肪的供應和需求情況。但即使脂肪在市場上有著相對高的價值，將其轉化為生質柴油仍然可能是一個具有商業利潤的選擇。

因生質柴油是可再生能源的一種，其需求正不斷增加，特別是在環保法規趨嚴的情況下。因此，即使脂肪的市場價值較高，轉化為生質柴油後的銷售也可能有穩定的市場。此外，生質柴油相對於傳統的石油柴油具有更低的碳排放和空氣污染物



排放，符合現代社會對環保的需求，這一環保優勢可能會為生質柴油帶來更高的市場價值。在許多國家和地區政府有透過補貼和稅收減免等政策鼓勵生質能源的生產和使用，如有政府的大力支持下或許可增加生質柴油的市場競爭力，未來有機會成為一個有利可圖的商業選擇。有效利用動物脂肪可以幫助減少畜禽屠宰過程中的廢棄物產生，同時創造額外的價值和收益，這不僅有助於維護環境和減少碳足跡，還可以推動經濟發展和資源利用的可持續性。

因應未來的碳權管理，設備升級、改善流程與效率及再生能源利用都是必要措施，屠宰產業宜儘早針對個別場區進行碳盤查，瞭解個別場域的碳排熱點，以規劃未來減碳作為。

參考文獻



黃文輝、朱志弘 (2015)。產品碳足跡計算相關作業程序概述。冷凍空調技師季刊，27-31。

經濟部 (2021)。CNS14067:2021「溫室氣體－產品碳足跡－量化之要求事項與指導綱要」。臺北市。

盧怡靜、呂穎彬 (2014)。ISO 14040 生命週期評估的下一步。永續產業發展，29-35。

環境部 (2010)。產品與服務碳足跡計算指引。臺北市。

環境部 (2013)。碳足跡數據品質評估手冊第二版。臺北市。

環境部 (2019)。碳足跡產品類別規則 (CFP-PCR) 家畜禽肉及食用雜碎第 2.0 版。臺北市。

環境部 (2019)。溫室氣體排放係數管理表 6.0.4 版。臺北市。

環境部 (2022)。產品碳足跡資訊網。檢自 <https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx> (Jun. 29, 2022)

環境部 (2022)。2022 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。臺北市。

環境部氣候變遷署 (2023)。環境部氣候變遷署全球資訊網。檢自 <https://www.moenv.gov.tw/ccca/48E22A3C60F4F491> (Jul. 25, 2023)

環境部氣候變遷署 (2024)。環境部氣候變遷署全球資訊網。檢自

<https://www.moenv.gov.tw/cca/668CBE2831B8AFE5> (Jan. 3, 2024)



SimaPro 生命週期評估工具 9.4.0 版。

Alptekin, E., M. Canakci, A. N. Ozsezen, A. Turkcan, and H. Sanli. 2015. Using waste animal fat based biod Alptekin iesels-bioethanol-diesel fuel blends in a DI diesel engine. *Fuel* 157:245-254.

Al-Zohairi, S., M. T. Knudsen, and L. Mogensen. 2023. Utilizing animal by-products in European slaughterhouses to reduce the environmental footprint of pork products. *Sustain. Prod. Consum.* 37:306-319.

Angerer, V., E. Sabia, U. K. von Borstel, and M. Gauly. 2021. Environmental and biodiversity effects of different beef production. *J. Environ. Manage.* 289:112523.

Aziz, A., H. Rameez, A. Sengar, D. Sharma, I. H. Farooqi, and F. Basheer. 2022. Biogas production and nutrients removal from slaughterhouse wastewater using integrated anaerobic and aerobic granular intermittent SBRs – Bioreactors stability and microbial dynamics. *Sci. Total Environ.* 848:157575.

Bashiri, B., N. Fallah, B. Bonakdarpour, and S. Elyasi. 2018. The development of aerobic granules from slaughterhouse wastewater in treating real dyeing wastewater by Sequencing Batch Reactor (SBR). *J. Environ. Chem. Eng.* 6:5536-5543.

Bragaglio, A., F. Napolitano, C. Pacelli, G. Pirlo, E. Sabia, F. Serrapica, M. Serrapica,

- 
- and A. Braghieri. 2018. Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems. *J. Clean. Prod.* 172:4033-4043.
- Buratti, C., F. Fantozzi, M. Barbanera, E. Lascaro, M. Chiorri, and L. Cecchini. 2017. Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. *Sci. Total Environ.* 576:129-137.
- Bustillo-Lecompte, C. F., and M. Mehrvar. 2016. Treatment of an actual slaughterhouse wastewater by integration of biological and advanced oxidation processes: Modeling, optimization, and cost-effectiveness analysis. *J. Environ. Manage.* 182:651-666.
- Bustillo-Lecompte, C. F., and M. Mehrvar. 2017. Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *J. Clean. Prod.* 141:278-289.
- Casey, J.W. and N. M. Holden. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agr. Syst.* 86:97-114.
- Cezimbra, I. M., P. A. de Albuquerque-Nunes, W. de Souza-Filho, M. R. Tischler, T. C. Moraes-Genro, C. Bayer, J. V. Savian, O. J. François-Bonnet, J. -F. Soussana, and P. C. de Faccio-Carvalho. 2021. Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa

biome. *Sci. Total Environ.* 780:146582.

Cheng, Z. Y., Y. K. Jia, Y. Y. Bai, T. Z. Zhang, K. Ren, X. Y. Zhou, Y. J. Zhai, X. X. Shen and J. L. Hong. 2023. Intensifying the environmental performance of chicken meat production in China: From perspective of life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 384:135603.

Chowdhury, H., P. Barua, T. Chowdhury, N. Hossain, R. Islam, S. M. Sait, and B. Salam. 2021. Synthesis of biodiesel from chicken skin waste: an economic and environmental biofuel feedstock in Bangladesh. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28:37679-37688.

Costantini, M., I. Vázquez-Rowe, A. Manzardo, and J. Bacenetti. 2021. Environmental impact assessment of beef cattle production in semi-intensive systems in Paraguay. *Sustain. Prod. Consum.* 27:269-281.

Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., Leip, A., 2021. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food* 2, 198-209.

Da Silva Junior, V. P., E. Cherubini, and S. R. Soares. 2012. Comparison of two production scenarios of chickens consumed in France. Paper presented at the 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector, Rennes, France.

Desjardins, R. L., D. E. Worth, X. P. C. Vergé, D. Maxime, J. Dyer, and D. Cerkowniak.

2012. Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability* 4:3279-3301.

Dick, M., M. A. da Silva, and H. Dewes. 2015. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *J. Clean. Prod.* 96:426-434.

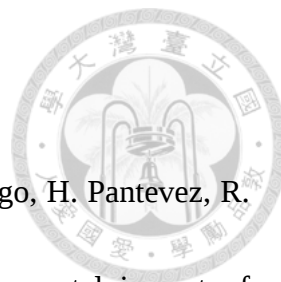
Dick, M., M. A. da Silva, and H. Dewes. 2015. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 87:58-67.

Faraji-Mahyari, Z., Z. Khorasanizadeh, M. Khanali, and K. F. Mahyari. 2021. Biodiesel production from slaughter wastes of broiler chicken: a potential survey in Iran. *SN Appl. Sci.* 3:57.

Fatima, F., H. Du and R. R. Kommalapati. 2021. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater with membrane technologies: a review. *Water* 13:1905.

Gonzalez-Fischer, C., and D. Bilenca. 2020. Can we produce more beef without increasing its environmental impact? Argentina as a case study. *Perspect. Ecol. Conser.* 18:1-11.

González-García, S., Z. Gomez-Fernández, A. C. Dias, G. Feijoo, M. T. Moreira, and L. Arroja. 2014. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese



- case study. *J. Clean. Prod.* 74:125-134.
- González-Quintero, R., D. M. Bolívar-Vergara, N. Chirinda, J. Arango, H. Pantevez, R. Barahona-Rosales, and M. S. Sánchez-Pinzón. 2021. Environmental impact of primary beef production chain in Colombia: Carbon footprint, non-renewable energy and land use using life cycle assessment. *Sci. Total Environ.* 773:145573.
- Gonzalez-Tineo, P. A., U. Durán-Hinojosa, L. R. Delgadillo-Mirquez, E. R. Meza-Escalante, P. Gortáres-Moroyoqui, R. G. Ulloa-Mercado, and D. Serrano-Palacios. 2020. Performance improvement of an integrated anaerobic-aerobic hybrid reactor for the treatment of swine wastewater. *J. Water Process. Eng.* 34:101164.
- Hammar, T., P. -A. Hansson, and E. Roos. 2022. Time-dependent climate impact of beef production – can carbon sequestration in soil offset enteric methane emissions? *J. Clean. Prod.* 331:129948.
- Heflin, K. R., D. B. Parker, G. W. Marek, B. W. Auvermann, and T. H. Marek. 2019. Greenhouse-gas emissions of beef finishing systems in the Southern High Plains. *Agr. Syst.* 176:102674.
- Imran-Ahmad, M., O. Ejaz, A. Ali, M. A. Q. Jahangir-Durrani, and I. A. Khan. 2014. Anaerobic digestion of waste from a slaughterhouse. *J. Environ. Chem. Eng.* 2:1317-1320.

ISO 14067, 2018. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification, first ed. Geneva, Switzerland.



Jensen, P. D., T. Sullivan, C. Carney, and D. J. Batstone. 2014. Analysis of the potential to recover energy and nutrient resources from cattle slaughterhouses in Australia by employing anaerobic digestion. *Appl. Energy* 136: 23-31.

Kefalew, T., and M. Lami. 2021. Biogas and bio-fertilizer production potential of abattoir waste: implication in sustainable waste management in Shashemene City, Ethiopia. *Heliyon* 7:e08293.

Ledgard, S. F., Lieffering, M., Coup, D., O'Brien, B., 2011. Carbon footprinting of New Zealand lamb from the perspective of an exporting nation. *Anim. Front.* 1, 40-45.

Liang, C., J. D. MacDonald, R. L. Desjardins, B. G. McConkey, K. A. Beauchemin, C. Flemming, D. Cercowniak, and A. Blondel. 2020. Beef cattle production impacts soil organic carbon storage. *Sci. Total Environ.* 718:137273.

Liu, Y. L., X. R. Kang, X. Li, and Y. X. Yuan. 2015. Performance of aerobic granular sludge in a sequencing batch bioreactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 190:487-491.

McCabe, B. K., I. Hamawand, P. Harris, C. Baillie, and T. Yusaf. 2014. A case study for biogas generation from covered anaerobic ponds treating abattoir wastewater:



Investigation of pond performance and potential biogas production. *Appl. Energy* 114:798-808.

McGee, M., C. Lenehan, P. Crosson, E. G. O’Riordan, A. K. Kelly, L. Moran, and A. P.

Moloney. 2022. Performance, meat quality, profitability, and greenhouse gas emissions of suckler bulls from pasture-based compared to an indoor high-concentrate weanling-to-beef finishing system. *Agr. Syst.* 198:103379.

Mogensen, L., T. L. T. Nguyen, N. T. Madsen, O. Pontoppidan, T. Preda, and J. E.

Hermansen. 2016. Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output. *J. Clean. Prod.* 133:284-293.

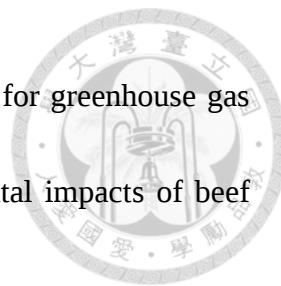
Morel, K., J. -P. Farrié, J. Renon, V. Manneville, J. Agabriel, and J. Devun. 2016.

Environmental impacts of cow-calf beef systems with contrasted grassland management and animal production strategies in the Massif Central, France. *Agr. Syst.* 144:133-143.

Murphy, B., P. Crosson, A. K. Kelly, and R. Prendiville. 2017. An economic and

greenhouse gas emissions evaluation of pasture-based dairy calf-to-beef production systems. *Agr. Syst.* 154:124-132.

Nguyen, T. T. H., M. Doreau, M. Eugene, M. S. Corson, F. Garcia-Launay, G. Chesneau,



- and H. M. G. van der Werf. 2013. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. *Animal* 7:860-869.
- Ogino, A., K. Sommart, S. Subepang, M. Mitsumori, K. Hayashi, T. Yamashita, and Y. Tanaka. 2016. Environmental impacts of extensive and intensive beef production systems in Thailand evaluated by life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 112:22-31.
- Ogino, A., V. T. Nguyen, Y. Hosen, T. Izumi, T. Suzuki, T. Sakai, S. Ando, T. Osada, and T. Kawashima. 2021. Environmental impacts of a rice-beef-biogas integrated system in the Mekong Delta, Vietnam evaluated by life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 294:112900.
- Ortner, M., D. Wöss, A. Schumergruber, T. Pröll, and W. Fuchs. 2015. Energy self-supply of large abattoir by sustainable waste utilization based on anaerobic mono-digestion. *Appl. Energy* 143:460-471.
- Ozdemir, S., A. Simsek, S. Ozdemir, and C. Dede. 2022. Investigation of poultry slaughterhouse waste stream to produce biofuel for internal utilization. *Renew. Energ.* 190:274-282.
- Pashaei-Kamali, F., A. van der Linden, M. P. M. Meuwissen, G. C. Malafaia, A. G. J. M. Oude-Lansink, and I. J. M. de Boer. 2016. Environmental and economic



performance of beef farming systems with different feeding strategies in southern Brazil. *Agr. Syst.* 146:70-79.

Payen, S., S. Falconer, B. Carlson, W. Yang, and S. Ledgard. 2020. Eutrophication and climate change impacts of a case study of New Zealand beef to the European market. *Sci. Total Environ.* 710:136120.

Peters, G. M., Rowley, H. V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M. D., Schulz, M., 2010. Red meat production in Australia: Life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environ. Sci. Technol.* 44, 1327-1332.

Poore, J., Nemecek, T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987-992.

Ratchadaariyachat, S., and S. Kwonpongsagoon. 2020. Development of a web application for estimating CO₂-equivalent emissions of poultry and swine slaughtering processes. *Int. J. GEOMATE* 18:149-155.

Rivera-Huerta, A., L. P. Güereca, and M. S. Rubio-Lozano. 2016. Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. *Resour. Conserv. Recy.* 109:44-53.

Santagata, R., M. Ripa, and S. Ulgiati. 2017. An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues. Linking urban, industrial and waste

management systems. *Appl. Energy* 186:175-188.

Santagata, R., S. Viglia, G. Fiorentino, G. Y. Liu, and M. Ripa. 2019. Power generation from slaughterhouse waste materials. An emergy accounting assessment. *J. Clean. Prod.* 223:536-552.

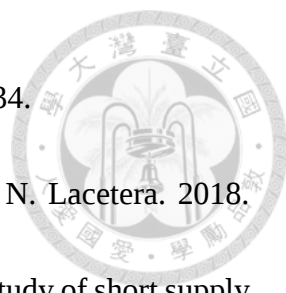
Siddiki, S. Y. A., M. N. Uddin, M. Mofijur, I. M. R. Fattah, H. C. Ong, S. S. Lam, P. S. Kumar, and S. F. Ahmed. 2021. Theoretical calculation of biogas production and greenhouse gas emission reduction potential of livestock, poultry and slaughterhouse waste in Bangladesh. *J. Environ. Chem. Eng.* 9:105204.

Stanley, P. L., J. E. Rowntree, D. K. Beede, M. S. DeLonge, and M. W. Hamm. 2018. Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agr. Syst.* 162:249-258.

Tsutsumi, M., Y. Ono, H. Ogasawara, and M. Hojito. 2018. Life-cycle impact assessment of organic and non-organic grass-fed beef production in Japan. *J. Clean. Prod.* 172:2513-2520.

Van Gastelen, S., J. Dijkstra, and A. Bannink. 2019. Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *J. Dairy Sci.* 102:6109-6130.

Vergé, X. P. C., J. A. Dyer, R. L. Desjardins, and D. Worth. 2008. Greenhouse gas

- 
- emissions from the Canadian beef industry. *Agr. Syst.* 98:126-134.
- Vitali, A., G. Grossi, G. Martino, U. Bernabucci, A. Nardone, and N. Lacetera. 2018. Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain. *J. Sci. Food Agric.* 98:5518-5524.
- Wang, S. L., K. Sahoo, U. Jena, H. Dong, R. Bergman, and T. Runge. 2021. Life-cycle assessment of treating slaughterhouse waste using anaerobic digestion systems. *J. Clean. Prod.* 292:126038.
- Wang, S. L., U. Jena, and K. C. Das. 2018. Biomethane production potential of slaughterhouse waste in the United States. *Energy Convers. Manag.* 173:143-157.
- Wang, S. L., U. Jena, and K. C. Das. 2022. Long term performance of pilot methanogenic digester filled with seashell wastes treating slaughterhouse wastes: Biogas production and environmental impact. *Biochem. Eng. J.* 187:108651.
- Wiedemann, S., McGahan, E., Murphy, C., Yan, M.J., Henry, B., Thoma, G., Ledgard, S., 2015. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 94, 67-75.
- Yetilmezsoy, K., F. Ilhan, E. Kiyan, and M. Bahramian. 2022. A comprehensive techno-economic analysis of income-generating sources on the conversion of real sheep slaughterhouse waste stream into valorized by-products. *J. Environ. Manage.*

306:114464.

Yoon, Y. -M., S. -H. Kim, S. -Y. Oh, and C. -H. Kim. 2014. Potential of anaerobic digestion for material recovery and energy production in waste biomass from a poultry slaughterhouse. *Waste Manage.* 34:204-209.



Table 1. Data quality indicator matrix.

等級 指標	1	2	3	4	5
可靠性 (Re)	基於量測之查證過的數據	部分基於假設之查證過的數據，或基於量測之未查證過的數據	部分基於假設之未查證過的數據	合格的估計值(例如經由產業專家之估計值)	不合格的估算值或來源未知之數據
完整性 (Co)	來自場址之足夠的數據，且為經過一段時間得以穩定常態波動之具有代表性的數據	來自場址之較少數目，但是為適當地具有代表性的數據	來自場址之適當數目，但來自較短期間之具有代表性的數據	來自場址之較少數目，且較短期間之具有代表性的數據，或來自場址之適當數目和期間之不完整數據	代表性未知，或來自場址之較少數目和/或來自較短期間之不完整的數據
時間相關性 (Ti)	與研究年差距低於 3 年	差距低於 6 年	差距低於 10 年	差距低於 15 年	年代未知或差距超過 15 年
地理相關性 (GeR)	來自研究區域的數據	來自包含研究區域之更大區域的平均數據	來自具有類似之生產條件區域的數據	來自稍微類似之生產條件區域的數據	來自未知地區之數據，或來自生產條件非常不同之地區的數據
技術相關性 (TeR)	來自研究中之企業、製程和材料之數據	來自研究中之製程和材料，但來自不同企業之數據	來自研究中之製程和材料、不同技術的數據	來自相關之製程或材料，但是相同技術的數據	來自未知技術之數據，或與製程或材料有關但來自不同技術之數據

(環境部，2013)

Table 2. Single indicator data quality level conversion table.

單一指標得分 (DQR_{Ni})			單一指標數據品質等級(DQR_i)
1	2	3	1
4		5	2
6	8	9	3
10	12	16	4
15	20	25	5

(環境部，2013)

Table 3. Carbon footprint data quality grading standards.

整體數據品質等級(DQR)	整體數據品質水平
$DQR \leq 1.7$	高品質
$1.7 < DQR \leq 3.0$	基本品質
$3.0 < DQR \leq 5.0$	初估品質

(環境部，2013)

Table 4. Carbon footprint activity data sources of SH A.

排放源	活動項目	資料來源
汽油	公務車	採購應付憑單、發票
柴油	廠內機運具及發電機	採購應付憑單、發票
柴油	鍋爐	採購應付憑單、發票
天然氣	鍋爐	繳費通知單、已繳瓦斯費查詢
冷媒	製冷設備	設備清冊、設備銘牌、使用說明書
電力	廠內用電(2 個電號)	繳費通知單、REAL 用電度數明細、事業或污水下水道系統廢(污)水申報
自來水	廠內用水(2 個水號)	臺灣自來水水費查詢
廢棄物運輸	有機性污泥	事業廢棄物申報及管理資訊系統
	一般垃圾	事業廢棄物申報及管理資訊系統
	化學混合物	事業廢棄物申報及管理資訊系統
廢棄物處置	有機性污泥	事業廢棄物申報及管理資訊系統
	一般垃圾	事業廢棄物申報及管理資訊系統
	化學混合物	事業廢棄物申報及管理資訊系統
	廢水處理	事業或污水下水道系統廢(污)水申報

Table 5. Carbon footprint activity data sources of SH B.



排放源	活動項目	資料來源
柴油	發電機與堆高機	採購應付憑單
汽油	公務車	油卡月結單
液化石油氣	鍋爐	廠內液化石油氣分錶
電力	廠內用電 1 電號	台電繳費通知單
自來水	廠內用水 1 水號	臺灣自來水系統
冷媒	製冷設備	設備銘牌、規格書、推估數據
廢棄物運輸	一般垃圾	廠內廢棄物申報資料
廢棄物處置	一般垃圾	廠內廢棄物申報資料
	廢水處理	事業或污水下水道系統廢(污)水申報、廠內電力分錶



Table 6. Emission factors and sources.

係數名稱	係數數值	單位	係數來源
車用汽油(於移動源使用,2020)	3.010	kgCO ₂ e/L	環保署產品 碳足跡資訊網
柴油(於固定源使用,2020)	3.340	kgCO ₂ e/L	
柴油(於鐵路運輸與非道路運輸移動源 使用,2020)	3.610	kgCO ₂ e/L	
天然氣(於固定源使用,2020)	2.630	kgCO ₂ e/m ³	
液化石油氣(於固定源使用,2020)	2.220	kgCO ₂ e/L	
電力碳足跡(2020)	0.590	kgCO ₂ e/度	
臺灣自來水(2017)	0.299	kgCO ₂ e/m ³	
營業大貨車(柴油)	0.235	kgCO ₂ e/tkm	
營業小貨車(柴油)	0.647	kgCO ₂ e/tkm	
垃圾車清除運輸一般廢棄物(柴油)	1.310	kgCO ₂ e/tkm	
廢棄物焚化處理服務(岡山垃圾焚化廠)	360.000	kgCO ₂ e/ton	
冷媒 R134A 製造階段碳足跡	16.200	kgCO ₂ e/kg	SimaPro 9.0.4
事業廢水最大甲烷生成量	0.250	kgCH ₄ /kgCOD	國家溫室氣體 排放清冊 (2022)
事業廢水甲烷修正係數(好氧) ^{註1}	0.05	—	
事業廢水甲烷修正係數(厭氧) ^{註2}	0.20	—	

註1：A 屠宰場廢水處理設施採好氧處理，假設其管理完善，甲烷會從沉澱池和細菌囊胞排放出來，
甲烷修正係數介於 0-0.1，本報告採用中間值 0.05 計算。

註2：B 屠宰場廢水處理設施採厭氧處理，因該廠厭氧處理池實際為兼氧狀態，參考國家溫室氣體排
放清冊(2022)，故選擇介於 0-0.3 之甲烷修正係數，本報告採用中間值 0.2 計算。

Table 7. Emission factor of refrigeration equipment.



項目	排放源	排放係數 (kg/kg)	係數來源
製冷設備	家用冷凍冷藏	0.00300	排放係數管理表 6.0.4 版
	工業冷凍、冷藏裝備， 包括食品加工及冷藏	0.16000	
	冰水機	0.09000	
	住宅及商業建築冷氣機	0.03000	

(環境部，2019)

Table 8. Global warming potential.



溫室氣體種類	全球暖化潛勢值 (AR6)
CH ₄	27.90
N ₂ O	273.00
HCFC-22/R-22, CHClF ₂	1,960.00
HFC-32/R-32 二氟甲烷, CH ₂ F ₂	771.00
HFC-134a/R-134A, 1,1,1,2-四氟乙烷, C ₂ H ₂ F ₄	1,530.00
R-404A, HFC-125/HFC-143a/HFC-134a (44.0/52.0/4.0)	4,728.00
R-410A, HFC-32/HFC-125 (50.0/50.0)	2,255.50
R-507A, HFC-125/HFC-143a (50.0/50.0)	4,775.00

(IPCC, 2021)

Table 9. Refrigeration equipment estimation and determination.



設備名稱	推估判定	冷媒填充量(kg)
冷凍機(約-2°C)	小型冷凍機	15.00
冷凍機	中型冷凍機	31.00
冷凍機(低於-20°C)	大型冷凍機	102.00
冰水機/空調機	同既有其他冰水機	48.00

Table 10. Carbon emission table for each stage of the slaughtering process in SH A.

階段	活動設施	排放源	活動量	單位	排碳量 (tCO ₂ e)	佔比(%)
屠宰 分切	鍋爐	天然氣	191,733.237	m ³	504.258	6.97%
	鍋爐	柴油	45,000.000	L	150.300	2.08%
	機運具	柴油	4,309.000	L	15.555	0.22%
	公務車	汽油	9,857.261	L	29.670	0.41%
	製冷設備	冷媒 R22	395.446	kg	781.481	10.81%
		冷媒 R404A	14.304	kg	67.861	0.94%
		冷媒 R410A	0.276	kg	0.627	0.01%
		冷媒 R32	0.138	kg	0.109	<0.01%
	電力	電力	8,794,865.000	度	5,188.970	71.76%
自來水	自來水	41,792.947	m ³	12.496	0.17%	
廢棄物 運輸	廢棄物 運輸	有機性污泥	5,974.512	tkm	1.404	0.02%
		一般垃圾	619.054	tkm	0.811	0.01%
		化學混合物	4.008	tkm	0.003	<0.01%
廢棄物 處置	廢棄物 處置	有機性污泥	196.530	ton	70.751	0.98%
		一般垃圾	108.606	ton	39.098	0.54%
		化學混合物	0.012	ton	0.004	<0.01%
		廢水處理(用電)	322,935.000	度	190.532	2.63%
		廢水處理(甲烷)	508,272.000	kgCOD	177.260	2.45%
合計					7,231.190	100%

Table 11. Carbon emissions per unit carbon footprint of SH A.

項目	數值	單位	單位排碳量 (kgCO ₂ e/單位)
毛雞重量	40,136,095	kg	0.180
毛雞數量	18,246,909	隻	0.396

Table 12. SH A carbon footprint data quality grade calculation table.

投入/產出 項目名稱	計算項目	數據品質指標(DQIs)					單一投入/ 產出 數據品質 得分 (DQR)	碳足跡 排放佔比 (Fi)	單一投入/ 產出 數據品質權 重(DQR _w)
		可靠 性 (Re)	完整 性 (Co)	時間 相關 性(Ti)	地理相 關性 (Ge)	技術相 關性 (Te)			
電力	活動數據(DQR _{Ai})	1	1	1	1	1	1	71.76%	0.72
	排放係數(DQR _{Ei})	1	1	1	1	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
	單一指標數據品 質等級(DQR _i)	1	1	1	1	1			
冷媒	活動數據(DQR _{Ai})	5	5	5	2	2	3.3	11.76%	0.39
	排放係數(DQR _{Ei})	2	2	1	2	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	10	10	5	4	2			
	單一指標數據品 質等級(DQR _i)	4	4	2	2	1			
天然氣	活動數據(DQR _{Ai})	1	1	1	1	1	1	6.97%	0.07
	排放係數(DQR _{Ei})	1	1	1	1	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
	單一指標數據品 質等級(DQR _i)	1	1	1	1	1			
廢水處理	活動數據(DQR _{Ai})	2	2	1	1	1	1.7	5.09%	0.09
	排放係數(DQR _{Ei})	2	2	1	2	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	4	4	1	2	1			
	單一指標數據品 質等級(DQR _i)	2	2	1	1	1			
總計								95.57%	1.26
整體數據組之數據品質得分(DQR _{Total})									1.32
整體數據組之數據品質等級									高品質

Table 13. Carbon emission table for each stage of the slaughtering process in SH B.

階段	活動設施	排放源	活動量	單位	排碳量 (tCO ₂ e)	佔比(%)
屠宰 分切	鍋爐	液化石油氣	111,575.000	kg	450.312	8.59%
	發電機、 堆高機	柴油	3,000.000	L	10.830	0.21%
	公務車	汽油	3,540.700	L	10.658	0.20%
	電力	電力	5,555,372.000	度	3,277.669	62.53%
	自來水	自來水	29,805.000	m³	8.912	0.17%
	製冷設備	冷媒 R22	124.367	kg	245.774	4.69%
		冷媒 R410A	1.087	kg	2.469	0.05%
		冷媒 R507A	12.000	kg	57.494	1.10%
		冷媒 R32	0.097	kg	0.077	<0.01%
		冷媒 R134A	0.002	kg	0.003	<0.01%
		冷媒 R404A	1.896	kg	8.995	0.17%
廢棄物 運輸	廢棄物 運輸	一般垃圾	5,550.480	tkm	7.271	0.14%
廢棄物 處置	廢棄物 處置	廢水處理(用電)	380,179.000	度	224.306	4.28%
		廢水處理(甲烷)	652,006.985	kgCOD	909.550	17.35%
		一般垃圾	77.090	ton	27.752	0.53%
合計					5,242.072	100%

Table 14. Carbon emissions per unit carbon footprint of SH B.

項目	數量	單位	單位排碳量 (kgCO ₂ e/單位)
毛雞重量	43,546,707	公斤	0.120
毛雞數量	20,835,775	隻	0.252



Table 15. SH B carbon footprint data quality grade calculation table.

投入/產出 項目名稱	計算項目	數據品質指標(DQIs)					單一投入/ 產出數據 品質得分 (DQR)	碳足跡 排放佔比 (Fi)	單一投入/ 產出 數據品質權 重(DQRw)
		可靠 性 (Re)	完整 性 (Co)	時間 相關 性(Ti)	地理相 關性 (Ge)	技術相 關性 (Te)			
外購電力	活動數據(DQR _{Ai})	1	1	1	1	1	1	62.53%	0.63
	排放係數(DQR _{Ei})	1	1	1	1	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
	單一指標數據品質 等級(DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
廢水處理	活動數據(DQR _{Ai})	2	2	1	1	1	1.7	17.53%	0.30
	排放係數(DQR _{Ei})	2	2	1	1	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	4	4	1	1	1			
	單一指標數據品質 等級(DQR _{Ni})	2	2	1	1	1			
液化石油 氣	活動數據(DQR _{Ai})	1	1	1	1	1	1	8.59%	0.09
	排放係數(DQR _{Ei})	1	1	1	1	1			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
	單一指標數據品質 等級(DQR _{Ni})	1	1	1	1	1			
冷媒	活動數據(DQR _{Ai})	2	1	1	1	1	1.6	6.01%	0.10
	排放係數(DQR _{Ei})	2	2	2	2	2			
	單一指標得分 (DQR _{Ni})	4	2	2	2	2			
	單一指標數據品質 等級(DQR _{Ni})	2	1	1	1	1			
總計								94.66%	1.11
整體數據組織數據品質得分(DQR _{Total})									1.17
整體數據組之數據品質等級									高品質



Table 16. Unit carbon footprint emissions.

項目	A 屠宰場			B 屠宰場		
	數值	單位	單位排碳量 (kgCO ₂ e/單位)	數值	單位	單位排碳量 (kgCO ₂ e/單位)
總排碳量	7,231.190	tCO ₂ e		5,242.072	tCO ₂ e	
毛雞重量	40,136,095	公斤	0.180	43,546,707	公斤	0.120
毛雞數量	18,246,909	隻	0.396	20,835,775	隻	0.252

Table 17. SH A's emission hot spots.



序	排放源	活動量	單位	排碳量 (tCO ₂ e)	佔比(%)	
1	電力	8,794,865.000	度	5,188.970	71.76%	71.76%
2	冷媒 R22	395.446	kg	781.481	10.81%	11.76%
	冷媒 R404A	14.304	kg	67.861	0.94%	
	冷媒 R410A	0.276	kg	0.627	0.01%	
	冷媒 R32	0.138	kg	0.109	<0.01%	
3	天然氣	191,733.237	m ³	504.258	6.97%	6.97%
4	廢水處理(用電)	322,935.000	度	190.532	2.64%	5.09%
	廢水處理(甲烷)	508,272.000	kgCOD	177.260	2.45%	
總計				6,911.098	95.57%	95.57%

Table 18. SH B's emission hot spots.



序	排放源	活動量	單位	排碳量 (tCO ₂ e)	佔比(%)	
1	電力	5,555,372.000	度	3,277.669	62.53%	62.53%
2	廢水處理(用電)	380,179.000	度	224.306	4.28%	21.63%
	廢水處理(甲烷)	652,006.985	kgCOD	909.550	17.35%	
3	液化石油氣	111,575.000	kg	450.312	8.59%	8.59%
4	冷媒 R22	124.367	kg	245.774	4.69%	6.01%
	冷媒 R410A	1.087	kg	2.469	0.05%	
	冷媒 R507A	12.000	kg	57.494	1.10%	
	冷媒 R32	0.097	kg	0.077	<0.01%	
	冷媒 R134A	0.002	kg	0.003	<0.01%	
	冷媒 R404A	1.896	kg	8.995	0.17%	
總計				5,176.649	98.75%	98.75%



Table 19. Electricity consumption per unit for slaughtering.

項目	A 屠宰場			B 屠宰場		
	數值	單位	單位用電量 (度/單位)	數值	單位	單位用電量 (度/單位)
總用電量	8,794,865.000	度		5,555,372.000	度	
毛雞重量	40,136,095	公斤	0.219	43,546,707	公斤	0.128
毛雞數量	18,246,909	隻	0.482	20,835,775	隻	0.267



Table 20. Carbon emissions from boiler fuel.

屠宰場	燃料	活動量	單位	係數 (kgCO ₂ e/單位)	排碳量 (tCO ₂ e)	總排碳量 (tCO ₂ e)
A 屠宰場	天然氣	191,733	m ³	2.63	504.258	654.558
	柴油	45,000	L	3.34	150.300	
B 屠宰場	液化石油氣	202,843	L	2.22	450.312	450.312



Table 21. Unit calorific value of slaughtering dehairing procedure.

屠宰場	燃料	活動量	單位	熱值係數 (kcal/單位)	熱值 (kcal)	總熱值 (kcal)	單位熱值 (kcal/kg)
A 屠宰場	天然氣	191,733	m ³	8,000	1.53×10 ⁹	1.91×10 ⁹	47.63
	柴油	45,000	L	8,400	3.78×10 ⁸		
B 屠宰場	液化石油氣	202,843	L	6,635	1.35×10 ⁹	1.35×10 ⁹	30.91

Table 22. Carbon emissions of SH A's boilers using alternative fuels under the same calorific value conditions.



	燃料	活動量	單位	係數 (kgCO ₂ e/單位)	排碳量 (tCO ₂ e)
替代燃料	柴油	227,603	L	3.34	760.194
替代燃料	天然氣	238,983	m ³	2.63	628.526
替代燃料	液化石油氣	288,148	L	2.22	639.690

Table 23. Wastewater treatment data.

屠宰場	項目	數值	單位
A 屠宰場	年廢水處理量	169,424.00	tCO ₂ e
	平均 COD 濃度	3,000.00	mg/L
	COD 總量	508,272.00	公斤
B 屠宰場	年廢水處理量	380,179.00	tCO ₂ e
	平均 COD 濃度	1,715	mg/L
	COD 總量	652,006.99	公斤

Table 24. Ratio of slaughtering and wastewater treatment in 2 SHs.

項目	A 屠宰場	B 屠宰場	兩場比例(B 屠宰場/ A 屠宰場)
毛雞重量(公斤)	40,136,095	43,546,707	1.08
毛雞數量(隻)	18,246,909	20,835,775	1.14
COD 總量(公斤)	508,272	652,006	1.28
廢水處理場用電(度)	322,935	380,179	1.18

Table 25. Wastewater treatment methods and methane correction coefficient.

係數	A 屠宰場		B 屠宰場	
甲烷修正係數	0.05	管理完善好氧處理場	0.2	淺厭氧塘。選用此係數由於大成場未完善進行厭氧處理。
	0.3	管理不善好氧處理場	0.8	深厭氧塘，深度超過 2 公尺。大成廢水處理場厭氧反應池深度為 7.75 公尺

Table 26. Methane emissions and total carbon emissions from wastewater treatment.

	A 屠宰場		B 屠宰場	
項目	數值	單位	數值	單位
COD 總量	508,272.000	公斤	652,006.990	公斤
本次碳足跡盤查				
甲烷產生量	6.353	公噸	32.600	公噸
碳排放量(甲烷)	177.260	tCO ₂ e	909.550	tCO ₂ e
碳排放量(電力)	190.532	tCO ₂ e	224.306	tCO ₂ e
總排碳量	367.792	tCO ₂ e	1,133.855	tCO ₂ e
單位排碳量(kgCO ₂ e/公斤)	0.009	-	0.026	-
單位排碳量(kgCO ₂ e/隻)	0.020	-	0.054	-
假設情境				
甲烷產生量	38.120	公噸	130.400	公噸
碳排放量(甲烷)	1,063.559	tCO ₂ e	3,638.200	tCO ₂ e
碳排放量(電力)	190.532	tCO ₂ e	224.306	tCO ₂ e
總排碳量	1,254.091	tCO ₂ e	3,862.506	tCO ₂ e
單位排碳量(kgCO ₂ e/公斤)	0.031	-	0.089	-
單位排碳量(kgCO ₂ e/隻)	0.069	-	0.185	-

Table 27. Estimation of nitrous oxide carbon emissions from wastewater treatment.

屠宰場	項目	數值	單位	N ₂ O 排放量 (公噸)	排碳量 (tCO ₂ e)
A 屠宰場	年廢水處理量	169,424.00	m ³	-	-
	總氮濃度(低)	162.60	mg/L	0.118	32.339
	總氮濃度(高)	563.80	mg/L	0.411	112.132
B 屠宰場	年廢水處理量	380,179.00	m ³	-	-
	總氮濃度(低)	162.60	mg/L	0.265	72.567
	總氮濃度(高)	563.80	mg/L	0.922	251.62

Table 28. Summary of global carbon footprint studies associated with beef production.

Carbon footprint values given in italics have been converted to kg CO₂e per kg LW.

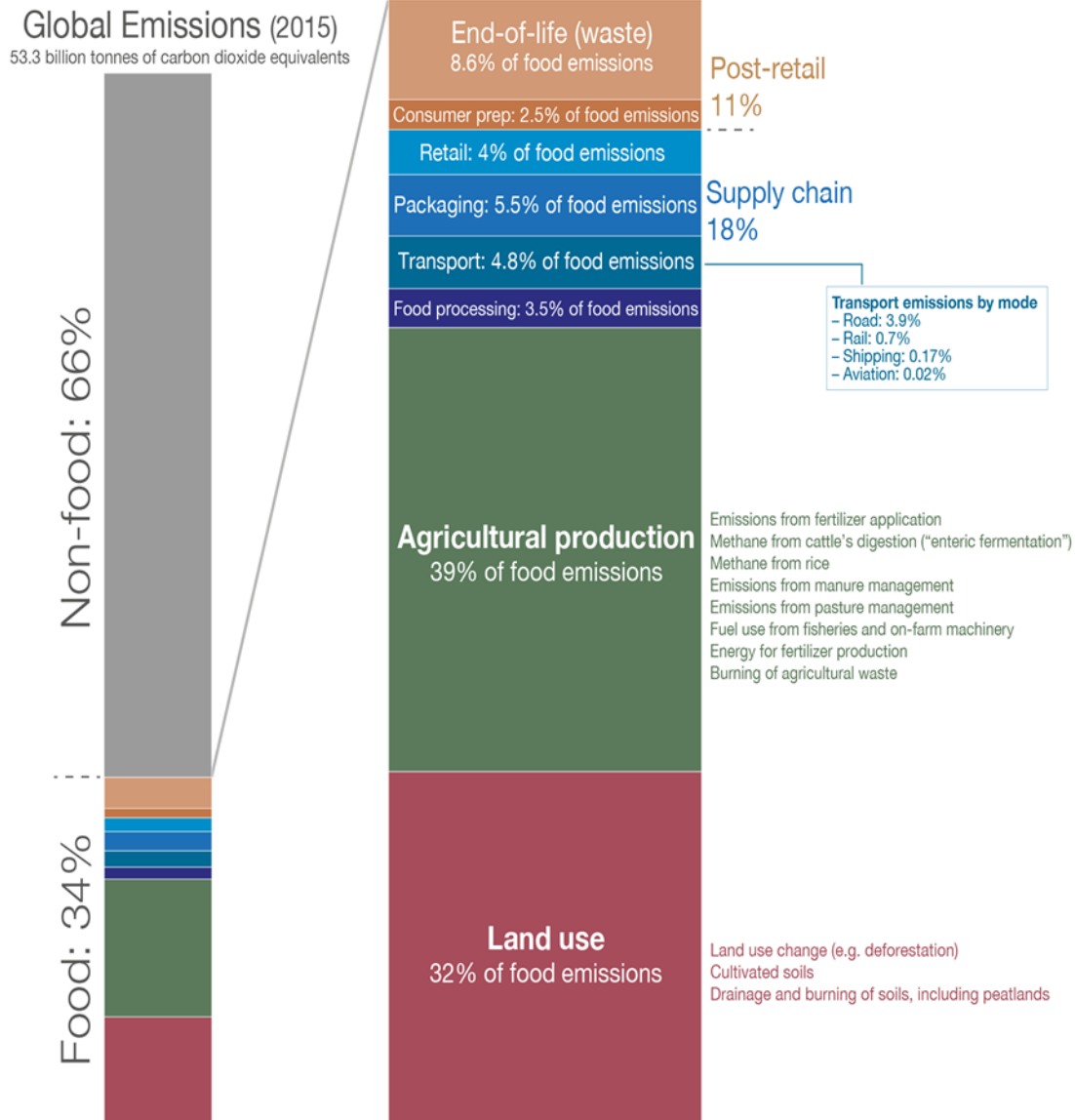
Study Region	Method/Boundaries/ Allocation	Management/ spatial scale	ΔSOC from LMC ^{†,‡}	ΔSOC from LUC [†]	Footprint kg CO ₂ e per kg LW	Ref	Notes
Mid-West USA	IPCC Tier 1 and 2/cradle to farm gate/chemical energy of co-products	Feedlot finished/ study	eq	✖	14.8	[27]	Inclusion of carbon sequestration associated with LMC reduces carbon footprint to 13.6 and 11 kg CO ₂ e per kg LW for feedlot and pasture finished beef.
		Pasture finished/ study			19.2		
Mid-West USA	IPCC Tier 1 + literature survey/cradle to farm gate/ none	Conventional cow-calf to feedlot/study	✓	✖	13.0	[28]	Also provided are emissions estimates associated with 5 alternative production scenarios.
Western Canada	IPCC Tier 1 + 2/cradle to farm gate/none	Conventional cow-calf to feedlot/study	eq	✖	13.0	[24]	
Eastern Canada	IPCC Tier 1 + 2/cradle to farm gate/ none	Conventional/ regional + national	✓	✖	15.3	[14]	Updated values from Vergé <i>et al.</i> [14], including emissions associated with LMC and allocated emissions from culled dairy cows and calves.
Western Canada					8.4		
EU-27	IPCC Tier 1 + 2/cradle to farm gate + imported feed/nitrogen content of products + energetic requirements of cattle	Conventional production system specific to each EU-27 member state/national	✖	✖	10.4	[29]	Estimate including emissions from LMC and LUC represents a mid-range scenario. Values converted from kg CO ₂ e per kg beef (carcass weight).
			✓	✓	13.3		
Ireland	IPCC Tier 2/cradle to farm gate/mass based	Conventional suckler beef/study	✖	✖	13.0	[19]	Several scenarios where emissions from dairy bred animals are estimated. Knowing the ratio of animals reared using each management scenario, it would be possible to estimate a regional average.

(Desjardins et al., 2012)

Table 29. Comparison of carbon footprints of international and Taiwan poultry products.

Case study	Country	GWP (Farming stage) (kgCO ₂ e/kg LW)	GWP (Slaughtering stage) (kgCO ₂ e/kg LW)
da Silva Junior et al. (2012)	Brazil	1.56	0.04
Cheng et al. (2023)	China	2.86	0.11
da Silva Junior et al. (2012)	France	2.17	0.05
González-García et al. (2014)	Portugal	1.64	0.12
This study (SH A)	Taiwan	-	0.18
This study (SH B)	Taiwan	-	0.12

One-third of global greenhouse gas emissions come from food systems



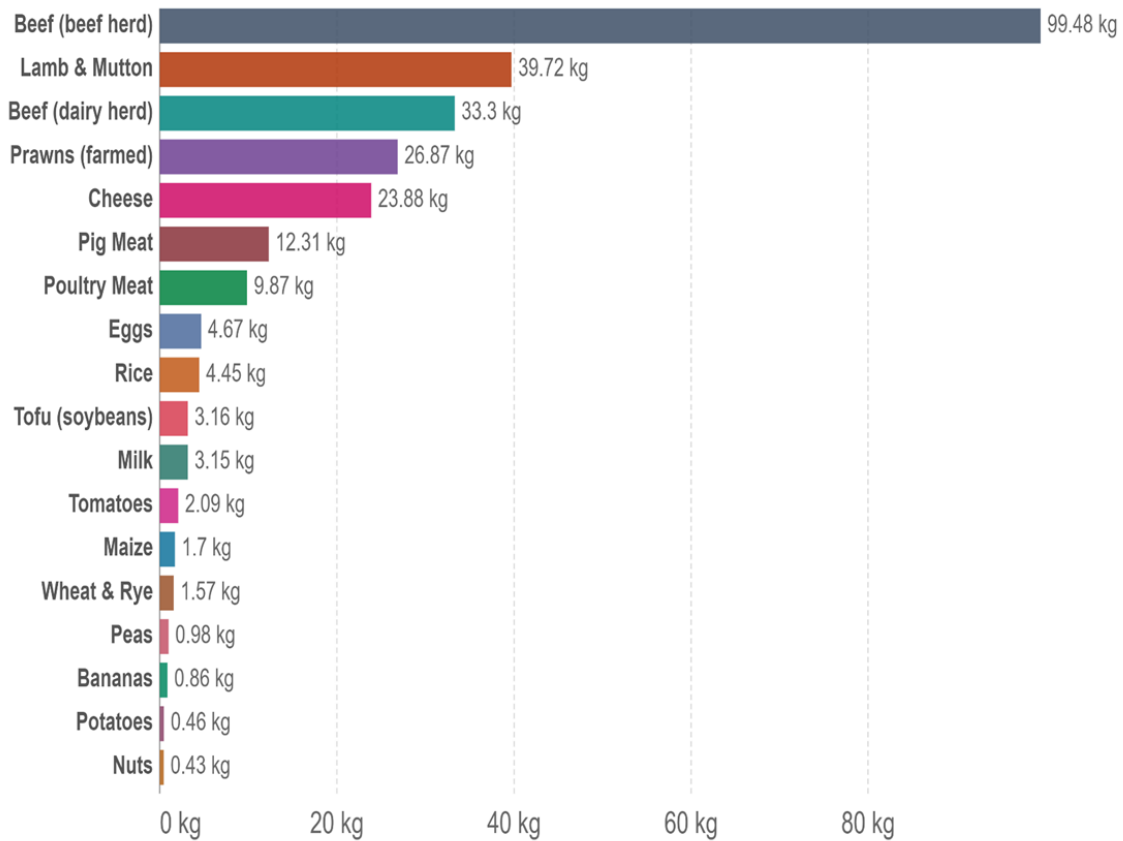
Data source: Crippa, M., et al. (2021) Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*.
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

Figure 1. In 2015, food-system emissions amounted to 18 Gt CO₂ equivalent per year globally, representing 34% of total GHG emissions (Crippa, 2021).

Greenhouse gas emissions per kilogram of food product

Greenhouse gas emissions are measured in kilograms of carbon dioxide equivalents (kgCO₂eq) per kilogram of food product. This means non-CO₂ greenhouse gases are included and weighted by their relative warming impact.

Our World
in Data



Source: Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. [OurWorldInData.org/environmental-impacts-of-food](https://www.ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food) • CC BY

Figure 2. The food system accounts for nearly 1/3 of global greenhouse gas

emissions, and meat production is even considered a large item (Poore, 2018).

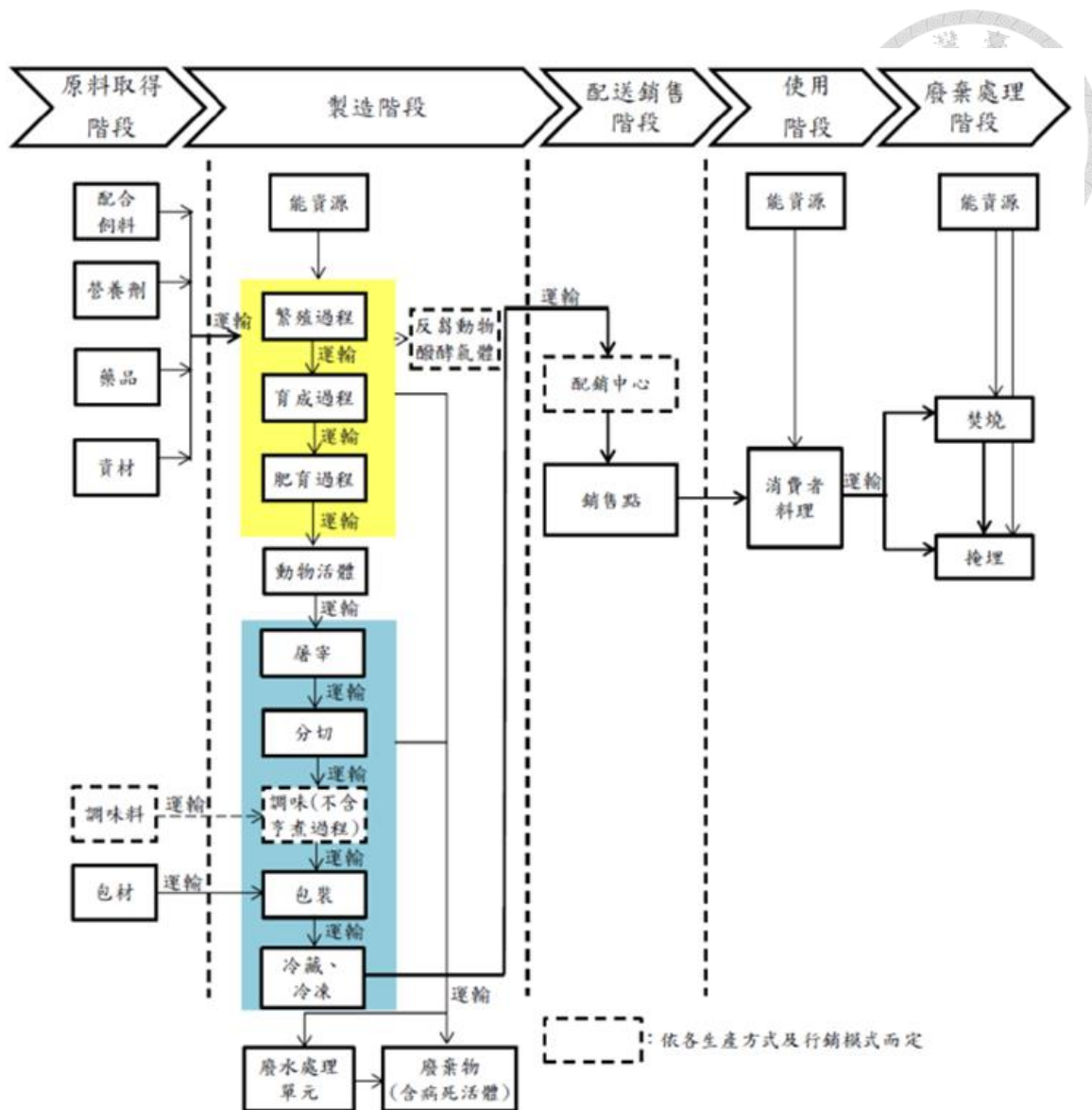


Figure 3. CFP-PCR livestock and poultry meat and edible offal-life cycle scope.

(環境部，2019)

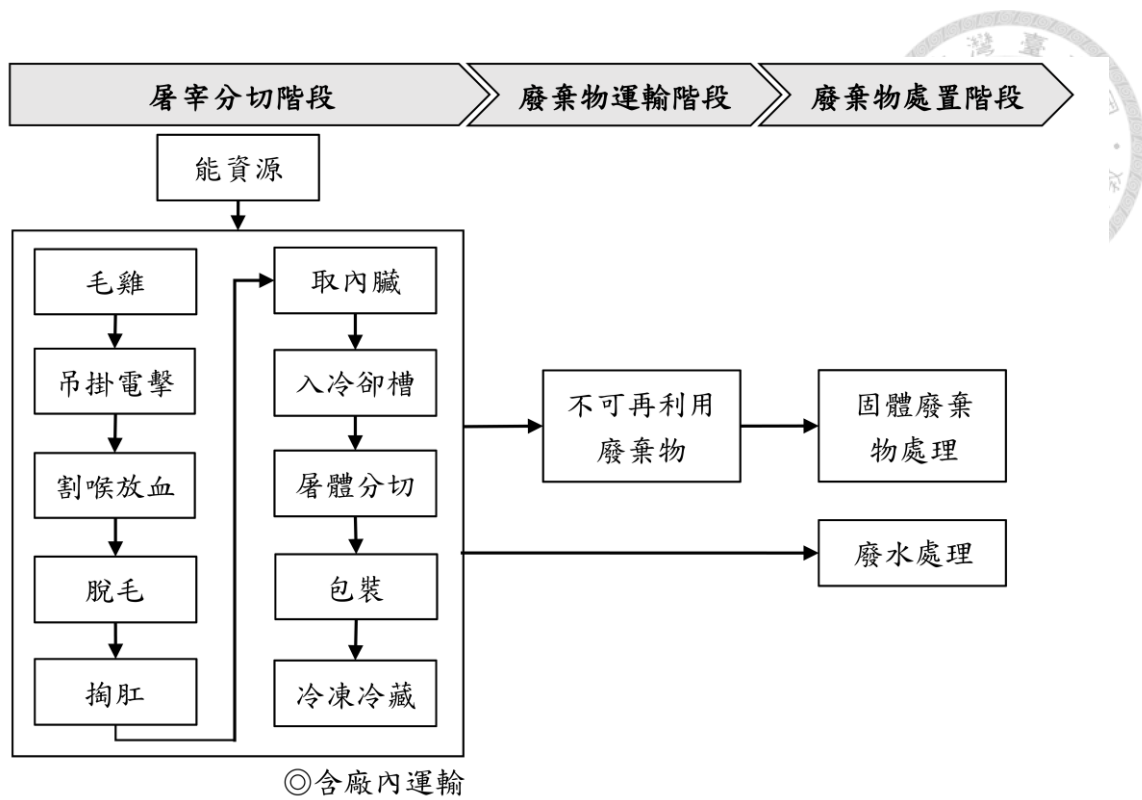


Figure 4. System boundaries in this study.

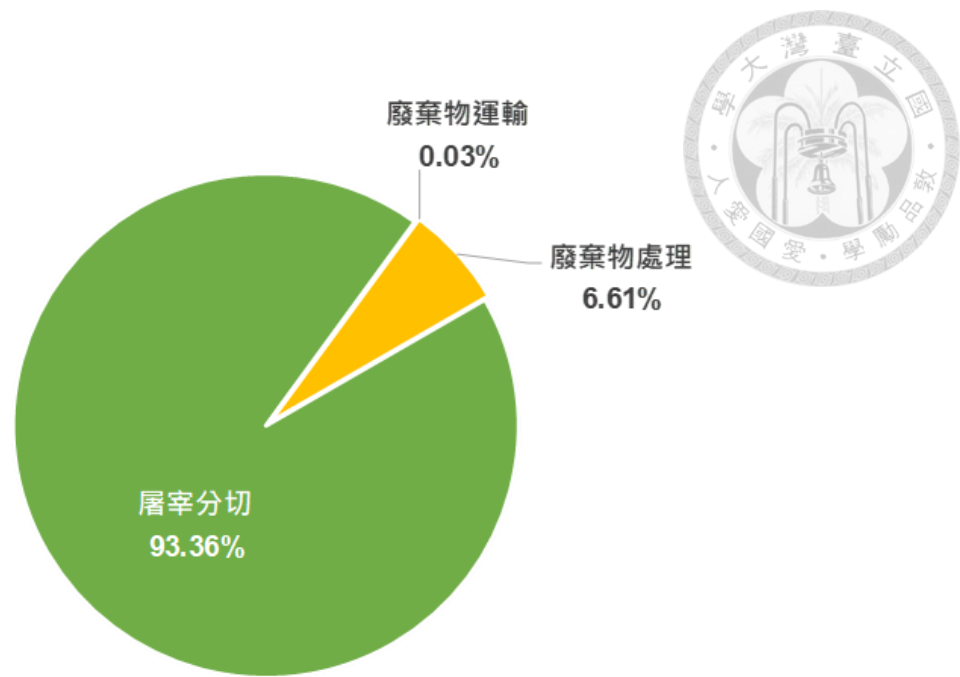


Figure 5. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in SH A.

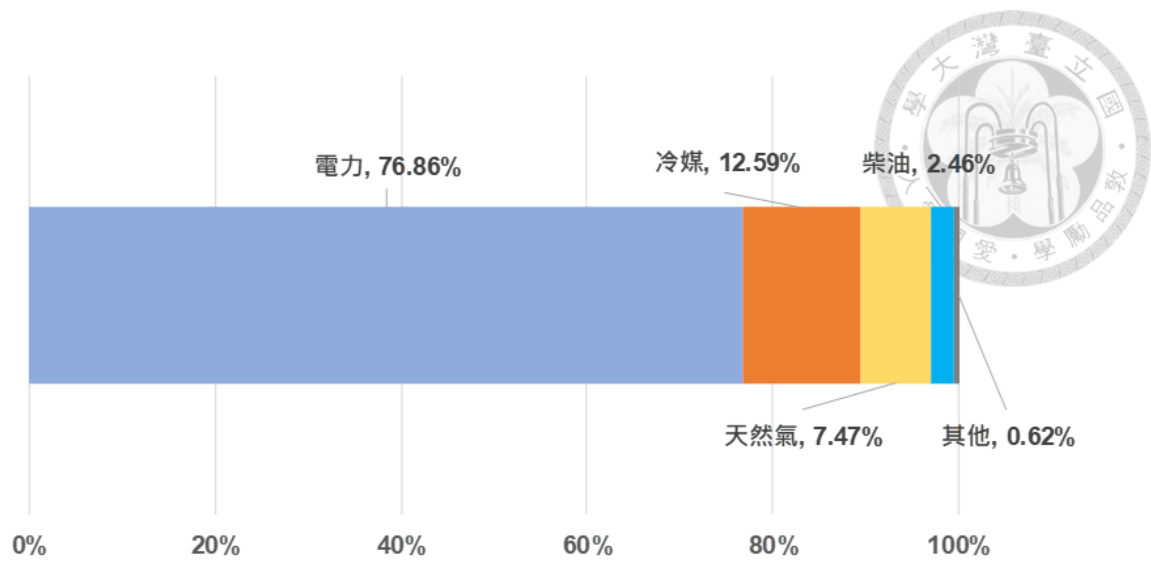


Figure 6. The proportion of carbon footprint in the slaughtering and cutting stage of SH

A.

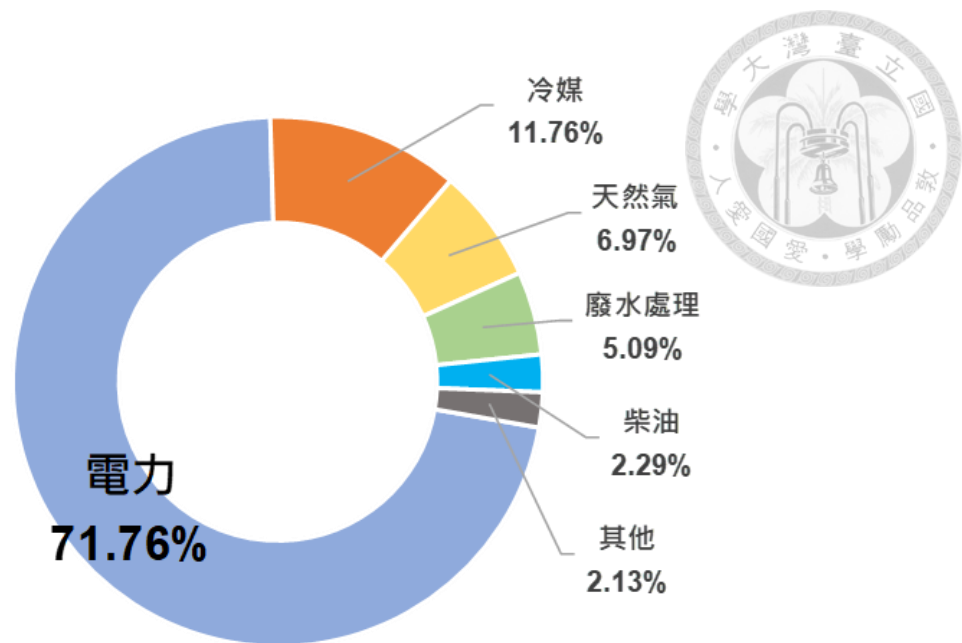


Figure 7. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process of SH A.

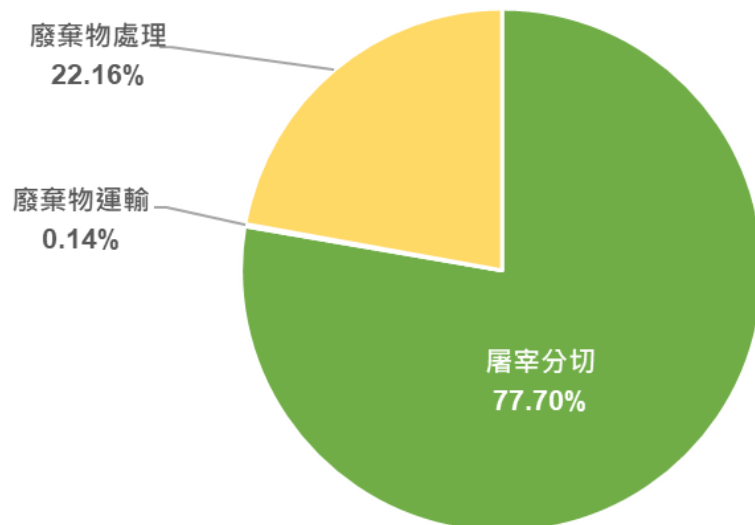


Figure 8. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in SH B.

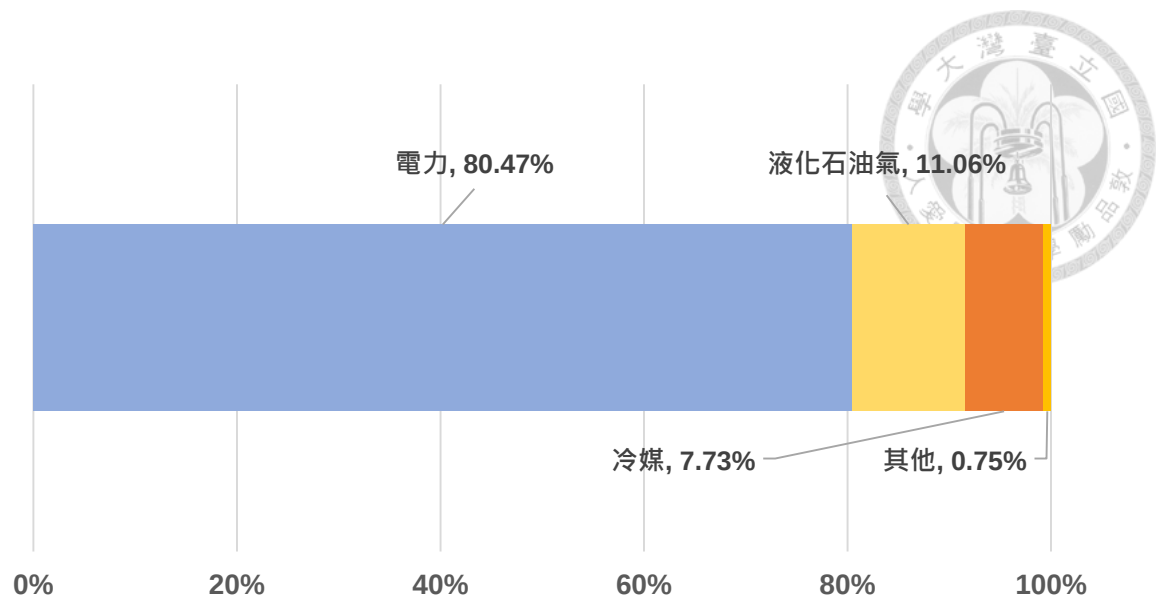


Figure 9. The proportion of carbon footprint in the slaughtering and cutting stage of SH

B.

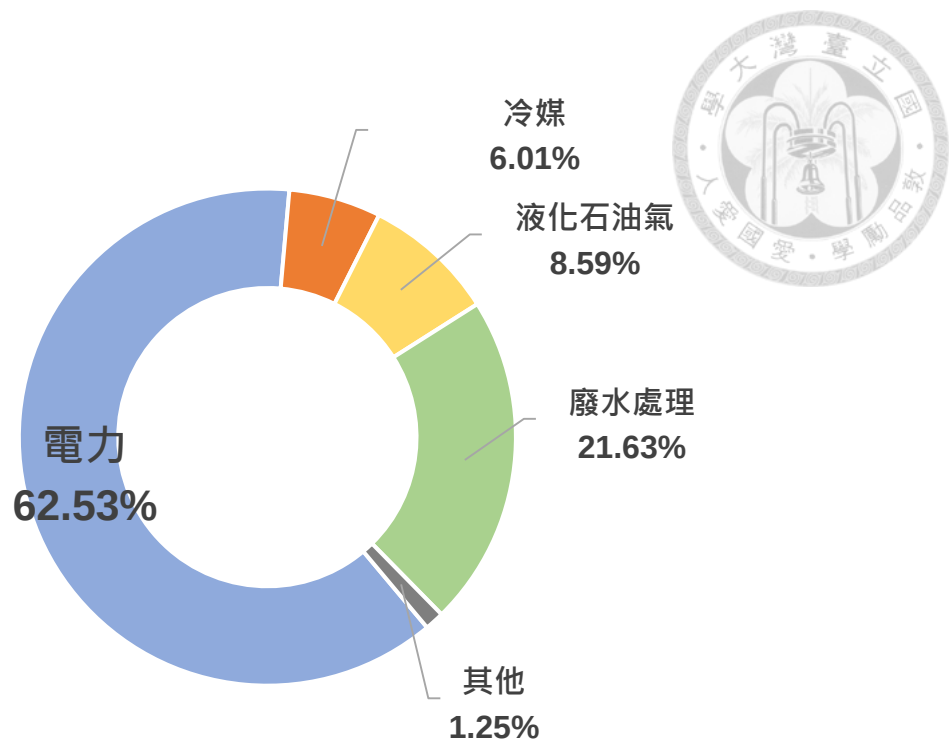


Figure 10. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process of SH B.

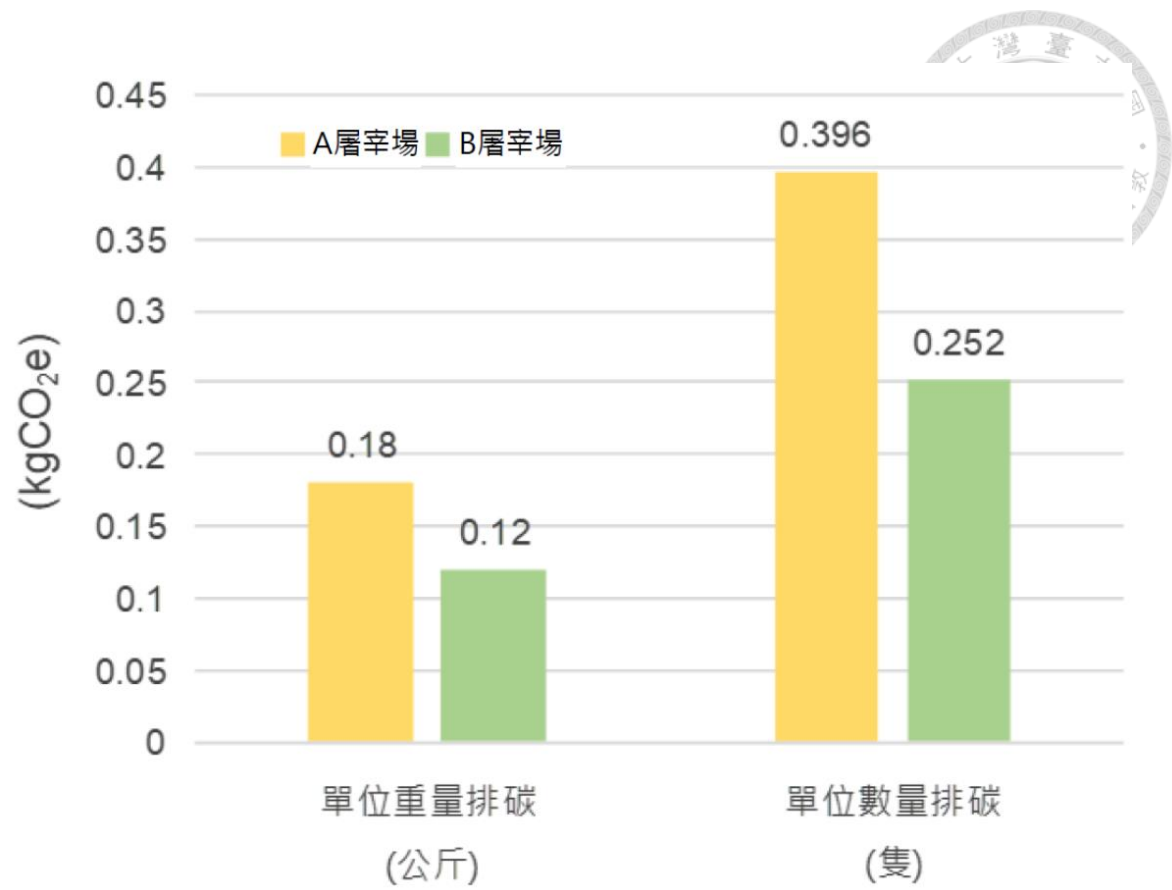


Figure 11. Comparison of unit carbon footprint emissions of two SHs.

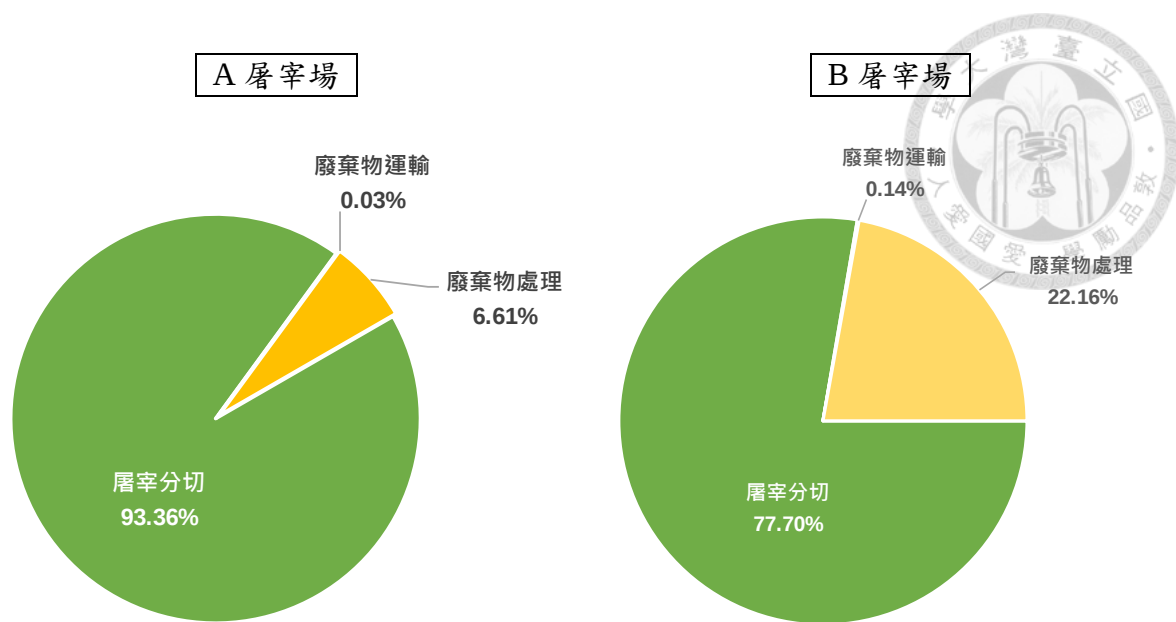


Figure 12. The proportion of carbon footprint at each stage of the slaughtering process in two SHs.

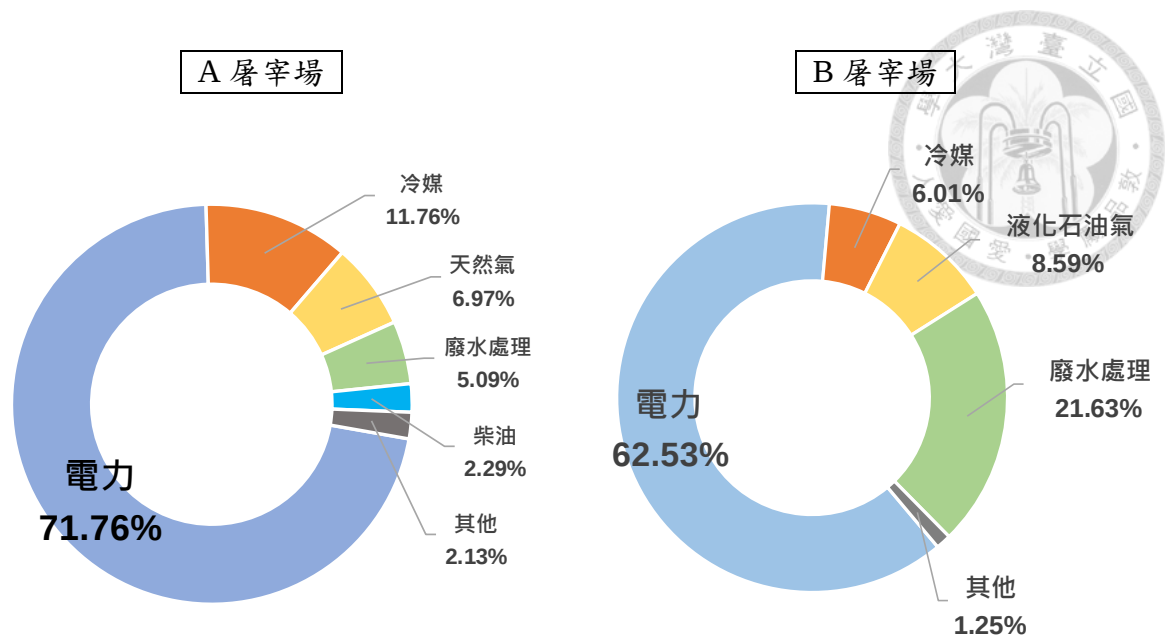


Figure 13. The proportion of carbon footprint from each item in the slaughtering process of two SHs.