

氣候變遷與永續養豬策略

楊天樹

台灣動物科技研究-應用動物組

摘要

氣候變遷、全球暖化之肇因中，畜牧是主項之一，這不僅是牧場內溫室氣體直接的排放，包括噉氣、排泄物產生之沼氣，以及廢棄物崩解產生之氧化亞氮(N₂O)，更多的是源自間接排放(從生產穀物代表之開墾、播種、灌溉、肥料、收割至飼料製造所產生之排放)。降低畜牧的暖化效應是世界性的政策，更是畜牧界努力的目標。從現場操作而言，增加生產效率之措施，即是節能減碳的方法，這包括加強飼料管理、維護動物健康、慎選商業產品、簡化作業步驟、加強用水管理以及延長使用期限。這些措施主要是提高飼料中的氮(蛋白質)和碳(碳水化合物和其他有機物)的利用效率。這些實際就是降低成本、增加效率的措施，理論上可輕易而有效地降低暖化效應達 15%。對行政主管單位而言，主要的建議為建立知識中心，以做為「養豬生產影響環境議題」的訊息交換中心和規範之依循。然而，永續經營不止降低暖化效應，還包括減少水質優養和土質酸化，還有降低食用危害風險、生物多樣性風險和福祉危害風險，另外還要節省無機物(銅鐵器材)和有機物(飼料)的使用。這些永續經營項目大都彼此衝突矛盾，例如減少風險的措施即會增加暖化效應，而節省能源的手段即可能增加危害的風險。因此，永續經營的政策不一定是節能減碳，因為投入更多的安全措施，雖然增加了些碳足跡，但卻提供更多的保障，亦是永續策略。養豬或是其他經濟動物生產所涉及的环境因素、政策、法令、制度以及其他行業團體甚為廣泛而複雜。不過從業界而言，確實有效的節能減碳措施，就是改善生產效益之努力。

1. 氣候變遷對畜牧的意義

正常的氣候變遷，本來是種大自然的動態變化，氣候因素(例如：溫度、雨量)的高低起伏有其規律，例如四季的轉換、雨季、旱季的輪替等；特殊的天災狀況只是偶發而且是地域性，生物圈有其回饋和調整功能。然而，氣候不正常若成為一種長期而且是全球性的趨勢，則影響廣泛而難料，地球暖化就是目前的問題。溫室效應不僅是全球現象，目前還在持續不止，且不知何時才能緩和，又無法確實估計其程度。這種暖化變遷的原因是人為活動而增加溫室氣體排放，包括二氧化碳(CO₂)、氧化亞氮(N₂O)及甲烷(CH₄)所引起。氣候變遷對農業生產是項挑戰，不僅是從各種技術條件改變而言，還包括社會大眾的疑慮、媒體的質疑，國內外節能減碳相關法規的限制等。這些挑戰影響深遠，直接關係到個人、其家庭與周遭社群。

畜牧業者對氣候變遷化具有不同的實際經驗，本地的炎熱氣候(熱緊迫)，風災、水災、

地震等之直接影響多少都曾經歷。國外的氣候災害造成穀物欠收、飼料原料飆漲之間接影響，都關係著畜禽的生產狀況及市場行情。然而，近來大氣暖化現象日益明顯，畜禽產業面臨長期氣候變遷所衍生新的狀況，包括：

- (1) 水電價格看漲(包括因節能減碳之各種措施)。
- (2) 消費者要求標示碳排放。
- (3) 產品的環保比較性(同產品之比較，例：是否為環保豬肉?以及取代性產品之比較(雞肉更環保?))。

畜禽產業從傳統之「利益導向」生產體系之過程中，現在必須加入「暖化警覺」，而且應有幾項認識：

- (1) 環境變遷和暖化效應將影響作物生產，全球穀物供應難趨穩定，飼料價格長期看漲。
- (2) 全球的生質能源需求仍然持續緩升，增加了穀物作為飼料用之競爭壓力。
- (3) 飼料價格攀升也拉高了畜產品價格，最終影響消費。
- (4) 原物料價格上漲加上節能減碳的措施，難免也增加畜禽生產成本，減少獲利空間。
- (5) 屠宰、加工業者同樣也承受成本上漲壓力，可能反向壓低畜禽收購價格，進一步地縮減生產者的利潤。
- (6) 成本提高獲利縮減，影響國內產品的競爭力；進口畜禽品的市場佔有率可能擴大。

畜禽的溫室氣體排放的來源可分直接和間接兩項。畜牧場內的直接溫室氣體排放主要是噯氣、排泄物處理產生之沼氣(CH₄)，以及廢棄物(例污泥)崩解產生之氧化亞氮(N₂O)。間接來源則包括整個生產系統的直接、間接排放。

世界糧農組織(FAO)估計家畜溫室氣體排放來源：

- (1) 消化道和呼吸道
- (2) 排泄物處理
- (3) 飼養家畜禽相關土地變更
- (4) 飼養家畜禽造成沙漠化
- (5) 畜牧相關之可耕地釋放
- (6) 飼料生產
- (7) 農牧場石油消耗
- (8) 作物收割後釋放

世界銀行補充畜牧溫室效應事項

- (9) 運輸屠宰
- (10) 分切、加工與包裝
- (11) 儲存、批發、零售
- (12) 烹飪、廚餘處理

(13)應用品(皮毛)之製造鞣製、紡織

(14)應用品之運輸、儲存、銷售、廢棄

2.從畜牧到畜產之溫室效應

暖化效應是從十九世紀工業革命後逐漸顯現，大氣中的二氧化碳濃度因燃燒石化燃料和砍伐森林而逐漸升高。最近的 50 年，大氣的二氧化碳濃度增加了約 17%。馴化家畜享用葷食大概有萬年的歷史，這也是說人類攝取畜產品沒有暖化地球的原罪。目前許多開發中國國仍然將「提高國民動物蛋白的攝取量」，列為重要施政措施之一。因而，暖化問題是少數富裕國家奢侈消耗之緣故。農業時代內，飼養畜禽是促進經濟發展的項目，是社會富裕進步的指標；高量的人均動物蛋白攝取，曾是邁入已開發社會的表徵。目前許多開發中國家的居民多數為「必須素食者」，因為無經濟能力購買畜產品，甚至有些地區仍然無法提供養殖畜禽的條件和環境。畢竟，畜禽飼養需要廣大的土地生產穀物做為飼料原料，以及耕作相關之配套需求，包括水源、肥料、農藥等不可缺一。地球人口繼續增長，加上新興經濟體掘起各種消耗倍增後，這些資源日益枯竭，享用畜產品將成為更奢侈的行為(參閱表 1)。

表 1. 畜產品的環境需求和影響

| | | 牛 Beef | 羊 Sheep | 豬 Pigs | 雞 Poultry | 蛋 Eggs | 乳 Milk |
|--------------------------|--|-----------|------------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| 暖化效應 GWP | 100tCO ₂ | 7 | 7 | 3 | 7 | 3.1 | 5 |
| 酸化 Acidification | Kg SO ₂ | 296 | 495 | 241 | 96 | 140 | 143 |
| 優養化 Eutrophication | Kg PO ₄₃ | 121 | 207 | 66 | 32 | 40 | 50 |
| 福祉 Welfare issues | % fairly/very Well treated | 16 | 16 | 49 | 71 | 71 | 26 |
| 生物多樣性 Biodiversity | ecological footprint/kg consumed | 1570 | 800 | 200 | 240 | 120 | 140 |
| 用水 Water | m ³ /tonne | 12131 | 3634 | 5146 | 1740 | 5551 | 746 |
| 用地 Land use | ha/tonne | 2 | 3 | 1 | 1 | 0.54 | 1 |
| 無機物 Abiotic resources | Kg antimony/ Tonne | 34 | 29 | 38 | 29 | 35 | 31 |

畜牧本是農業社會耕耘的一環，家畜禽將田間作物的殘存、農家的餘留轉換成動物性產品，隨後供人類消費，人畜排泄物再回歸土地成為作為之肥料。因而，農耕配合畜禽是土地資源的循環利用，是充份的能量有效經營，所謂經濟永續化。工商經濟興起後，「降低成本、增加效益」的量產，配合「資金調度、商品貿易」的經營，成為經濟活動

的主軸。因而，畜產品和飼料都成為貿易商品；飼養家畜、家禽不再仰賴自家的土地資源。工商社會的農家可透過各種信用或抵押貸款籌得資金，再引進外來種源購買進口飼料飼養，以生產畜產品出售。畜「牧」因成為畜「產」而脫離土地，而且密集、大規模式的集約經營成為基本常態。台灣農民進口北歐豬種、利用進口的美國飼料飼養豬隻，屠宰後豬肉外銷日本換取強勢貨幣，再進口各種生產資材即為口蹄爆發前的代表模式。然而，所謂「工廠化」的「家畜生產」，逐漸產生所謂永續性的問題，主要是：

- (1) 大量而集中的動物排泄物超過土地負荷，而污染了土壤和水質、水源，即所謂酸化和優養化問題。
- (2) 密集飼養造成防疫困難，大量使用抗生素、磺胺劑以及生長促進物(硫酸銅、瘦肉精)等造成畜產品安全，生物安全(抗藥性菌種轉入人類)的問題。
- (3) 動物密集飼養，造成行為和體態上的異常，而構成「福祉剝奪」，動物生產效益有些是以其苦難為代價而引起社會的關注，甚至引起虐待動物之指責。
- (4) 密集飼養形態影響了品質，造成畜產品風味上之差異，而形成特殊的市場訴求，例如黑豬與白豬之差異。
- (5) 價格競爭，小農難以生存，特殊品系或性狀的家畜也難以飼養經營，社會多元化受到威脅。
- (6) 溫室效應的影響迅速提升，在今日節能減碳之講究下，甚至產生反畜牧情結。美國石油消耗量中估計 20%用於生產食物，這包括肥料、用水、穀物、家畜、屠宰、加工、運輸、包裝，還不涉及最終之商品銷售和貿易。
- (7) 集中飼養商業品種謀求近利，被忽視的品種瀕臨雜混或流失而威脅生物多樣性。

2.1 台灣畜產之特性

台灣畜禽產業因地理位置、自然資源，非但有別於歐美之畜產大國，即使與日韓相比也差異甚大；台灣畜產以養豬為主，台灣養豬之特性為：

- (1) 高度的對外仰賴：畜禽生產的成本中，飼料支出約佔 75%，而生產飼料所需的穀物，幾乎完全仰賴進口。國外穀物價格之波動，直接影響國內的肉豬生產成本，而缺乏緩衝性和自主性。
- (2) 短暫的價格循環週期：生產技術之改進及普及，提升了畜禽之生產速率。然而，這卻縮短了生產之價量間循環週期，也增加了產業價量之波動幅度。肉豬拍賣價格高漲時，業者迅速擴充飼養規模，搶奪市場高檔的先機，但同時亦奠定了往後發生量多價跌的基礎；當價格低迷時，規模的縮減，也幾乎確定了貨源不足、價格飛漲的未來。
- (3) 專業的經營型態：台灣豬隻飼養系統，已是資本及技術密集之產業，規模經濟相當明顯。近來大企業的垂直整合生產，都使生產成本隨規模之擴大而降低。這種整合的趨勢，將迫使中小業者喪失競爭力而退出市場。

- (4) 低下的生產效率：台灣地處亞熱帶而熱季長，加上飼養密集和疾病等環境因素，致使生產效率難與先進的水準相比。夏季熱緊迫加上高濕度，有利於微生物生長，降低了豬隻的食慾，也提高了染病率和死亡率。
- (5) 昂貴的環保投資：台灣地狹人稠、河川流域之幅度不大，豬隻飼養要符合日趨嚴格的環保標準，勢必持續增加投資而提高了成本。部份歐美國家(例如丹麥)以土地吸收、自然分解的方式處理畜禽排泄放流，相對台灣養豬生產而言，歐美國家環保投資自是成本較低、競爭力較高。
- (6) 落伍的拍賣屠宰作業：屠體評級是現代化肉品市場交易制度之關鍵，但是歷經多年來的努力，台灣肉品市場仍停留在活體拍賣的階段，使屠體的品質與價格間之相符性，仍然存著相當的偏差。
- (7) 特殊的消費行為：台灣家庭主要的豬肉消費部位與歐美不同，例如豬腹脅肉和排骨，以及內臟如肝連(橫隔膜)、大小腸、生腸(子宮角)等。這些部位皆非歐美家庭的消費主項，而價位相對較低，也正好分切銷入台灣，打壓本地產品的市場價格。
- (8) 謬誤的消費迷思：部份消費者仍然存著土生品種、下雜飼養、溫體販售等的迷思。這些傳統迷思有些已不合乎現代規範和衛生條件，一些人仕卻認為可作為品質的市場區隔，甚至以這些迷思做為市場訴求。這些迷思不但提供了錯誤的消費認知，更是誤導了一些畜種和生產方向。
- (9) 飽和的消費市場：台灣的豬肉幾乎無外銷空間，而本地的市場也因貿易自由化面臨舶來品的競爭。此外，人口成長趨緩，豬肉的人平均消費量也停滯不前，因而，整個消費市場狹小而競爭嚴峻。
- (10) 有限的管控措施：食品安全已是歐美「國家安全」之管控要項，不容產生失誤，以免產生信心危機，危及社會安全。台灣近年來也已開始嘗試所謂「從農場到餐桌」的安全管控，或是推動「危害分析、重點管制」(ISO 22,000)，或是「無線射頻、身份判別與履歷追蹤」，或是「衛星定位、屍體管控」，這些都與陳出不窮的「斃死豬肉」案件，難構成強烈的約束。最近 CAS 肉產發現藥物殘留，即是另一例子。

3. 畜產品的碳足跡

台灣畜禽生產的特徵過去並不構成生產的大障礙。然而，近來世界新經濟體的興起，造成能源、糧食等各種需求大幅擴增，助漲了全球各種原物料的價格。此外，近來全球天災頻傳，影響了作物生產，再加上歐美各國減少氣候暖化之努力，如利用穀物製造生質燃油的趨勢，更支撐全球穀物價格長期走高。台灣畜禽生產的成本壓力，未來恐怕有增無減。此外，再加上節能減碳之訴求，台灣畜禽生產更面臨所謂之永續性問題，而使

表 2. 家畜生產之溫室效應影響因素

| 變化因素 | 內容 |
|--------|---------------|
| 飼料組成 | 玉米、大豆等之差異 |
| 飼料品質 | MJ/kg DM 之多寡 |
| 代謝能/動物 | MJ/kg 增重之高低 |
| 廢水系統 | 糞、尿、活性污泥之生物作用 |
| 水電消耗 | MJ/動物之差別 |
| 氮攝取 | kg N/動物之效率 |

4. 節能減碳的努力

各國節能減碳的措施雖然多樣，但基本的原則卻是一致，即是以價制量，以提高能源的價格，抑制一般民間的使用量。因而，可以估計在短期內：

- (1) 電價增加 20-25%。
- (2) 油價、煤價、天然氣增加 10%。
- (3) 化學品價格增加 20%。
- (4) 運輸價格增加 5%。

畜禽業者因應氣候變遷則包括：

- (1) 改善飼料配方、減少排泄物內之養分含量。
- (2) 加強排泄物管理方式、回收沼氣充份利用(生產蒸氣、電力等)。
- (3) 管制用水，採用場內「環境風險管理」，全面執行場內資源有效應用、廢棄處置與回收利用。
- (4) 應用工業界之「最佳管理操作」模式(Best Management Practices; BMPs)減少排泄物、放流水之二氧化氮之排放。
- (5) 減少燃燒(例乾草等)、讓土壤固碳。
- (6) 改善畜舍設計，採用環保套裝組件，規畫豬隻運輸系統。
- (7) 應用「環境管理系統」及「場內稽核措施」執行以上作業，其目的固然是減少畜禽飼養的溫室氣體排放，其結果是增加能源使用效率，進而降低生產成本、增加收益、提升效率和強化競爭力。

畜牧產業需要環境策略，對各種永續性的要求不宜防衛性地抗爭，應該和各有關團體共同研擬更合適的規範，努力讓畜牧成為更友善環境的產業。這項努力應有多元結果，包括簡化未來行政管理、降低能量成本，以及友善環境的加值。

畜牧產業環境策略和規畫，其目的是提供台灣畜牧獲利和環保皆永續的經營架構。環境策略的訴求在於：

- (1) 需要適宜的規範
- (2) 維護動物福祉

- (3) 重視生產安全的食品
- (4) 精算得失，各種措施實質上有益於大環境
- (5) 養豬產業環境策略，除非整個養豬產業覺得需要而自主管理，不然難以執行，因而必須：
 - (a) 與農戶、政府、環保單位等溝通，了解策略的目的和展望
 - (b) 有效參與立法的過程
 - (c) 鼓勵業者參與養豬產業環境策略
 - (d) 改善每一畜禽飼養戶的環境表現，進而提高整個產業的環境表現，是畜牧產業環境策略的精神。

養豬產業必須發揮「暖化警覺」的意識，才能支撐畜產品之環境加值，以及協助政府因應社會各方的壓力。

5. 畜產永續經營

永續發展的基本定義是：「滿足現代的需要，但不可減損後代滿足他們需要的能力」。永續性已漸被大家認知，其目的是將「講究環境影響」的理念，不但成為生產商品、執行勤務、公司營運或是技術運用之執行精神，而且成為價值之一部份。更是贏取報酬、攝取營養、追求生活舒適或社會福利的基本成份。大家都知生物系統若超過地球的「儲備能力」，即不能永續。地球的能力主要為分解廢棄物，供應生物的需要物，以及調節功能，包括穩定氣候、雨量調節、植物授粉，以及供應人類食物、材料等之需要。這些環境的功能，已經長期而持續地衰退或失能，威脅著全球人類的生計與福祉。

永續系統的通用原則是：「資源利用率不可超過其再生率」。目前，全球人類消耗生物資源的速率，比其再生率高 25%，而且地球主要生態系統的運作，已逐漸失衡，補充生物資源的能力因而喪失。地球人口在 2050 年估計將達 90 億，新興富裕地區的人口難免因收入增加而提高個人消費，這首先反映於食物攝取量，尤其是對畜產品的需求更為迫切。以歐洲為例，在過去 40 年內，肉類攝取增加 63%。因應這種增加動物蛋白質攝取量的需求，本身就是項嚴峻的挑戰，其若還要顧及永續性，也許不太可行。這需要行政、生產及銷售業者在沒有前例可依循之狀況下，依專業資訊創造新的策略，而且其效果還不能保證。

工業國家(例英國)的溫室氣體排放量中，約有 20% 源自食物消費，其中約 1/3(即總量之 7%) 來自農業和土地利用，另外 2/3 則因加工、零售、消費、廢棄而產生。從養豬生產而言，其主要的溫室氣體是來自於生產鏈的前端，即生產和運輸大豆所導致的溫室氣體，因為其耕種使用的肥料係仰賴石化的碳源(石油和燃煤)生產，而且其耕地是由鏟除雨林開墾土地而來(減少葉綠素吸附二氧化碳)。另外，消費過程的冷藏、烹飪以及廚餘處理導致的溫室氣體，都要列入養豬生產的暖化效應計帳內(表 3)。還有，加工運輸、零售的溫室

氣體也需一併計入，雖然其佔的比例不高。豬肉生產和消費所代表的溫室氣體排放量，雖然低於牛羊類，但仍然引起顯著的暖化效應。此外，養豬還有其他的環境影響，例如水源和水質的污染。這些影響關係到食物供應的質量、型態，以及餐飲及農地。豬肉與其他肉類一樣，廣泛地影響環境。範圍除了氣候變遷之外，還包括淡水利用、水質優養化和土質酸化和生物多樣性和土地佔用(原可作為野地生態區，或種植植物蔬果)。

表 3. 畜產價值鏈的環境影響

| 主要議題 | 價 值 鏈 |
|------|---|
| 原料取得 | 生產大豆原料與破壞原始森林 |
| 農場生產 | 1.沼氣排放(動物和排泄物) 2.氧化氮排放(肥料使用) 3.使用能量(機械操作) |
| 加 工 | 包裝、運輸、冷藏、器具運用 |
| 批 發 | 冷藏、包裝、運輸 |
| 零 售 | 冷藏、包裝、廢棄 |
| 使 用 | 烹飪耗能、食物選擇種類 |
| 剩 餘 | 食物浪費、包裝丟棄 |

5.1 淡水利用

地球 70% 被水覆蓋，但是淡水僅佔地球水源總量的 2.6%，而且絕大部份儲存於地下或凝固成的冰雪(比例佔 99%)，在湖泊、河川及土壤中可供人類生活運用的比例，僅為淡水總量之 1%。地球生物圈之運作和生物生存，抑賴清潔水源；人類文明沿著江河發展便是歷史事實。農業發展以淡水流域為基礎，然而，農業因灌溉、耕耘而影響淡水的自然蒸發、流向，以及在土壤內的保持性；農業甚至可能改變了水質，從本來的清潔性而成為污染性；酸化、優養化便是例子。當然，養豬直接、間接地仰賴清水供應，而且受其質量的影響。

台灣每人每年分得的水源，只有世界平均值的 1/7，屬缺水地區。英國生產每噸豬肉，直接(飲水和加工)和間接(飼料、器材生產用水)之需水量為 5146m³(噸)(註：依國家地理 National Geographic 計算，美國每公斤豬肉需要 4364 公升清水生產再加上 1400 公升的飲水和加工用用水，共計為 4764 公升/公斤豬肉，此不包括飼料生產所需之灌溉用水，參閱表 4)。英國豬肉的「水足跡」為每人每年 91m³(噸)——從大宗穀物耕作、收成至飼料製造、豬隻飲水以及畜舍、屠宰場、加工廠的生產全程估計用水，可換算為每位英國人每天在豬肉消耗上使用 249 公升的水，此數據較牛肉為低，但卻顯著高於雞肉、蛋類及羊

肉。此外，英國從海外進口相當比例的原料(主要為巴西的大豆)，這些原料的「用水」雖發生於英國本土之外，但因最後在英國消費，於是成為外部「水足跡」，其估計為每英國人每天 161 公升(內部水足跡為 88 公升)。美國畜禽的水足跡可參閱表 4。飼料原料若是使用需水較少的穀物，或是使用食物加工副產物，可大幅降低豬肉水足跡。

農產品需要清水生產而有所謂的水負荷，一般而言，其介於其產品重量之 1,000 至 20,000 倍；當然，穀物類較少，畜產品較高。作物生產不論直接、間接需要的水份，不因水源充足與否，或是依賴自然落雨或人工灌溉而有差異。從享用食物而言，有所謂的「水影響」而且因地區性而不同，學術界將作物用水分為「藍」、「綠」兩項；綠水是直接落於農地供作物吸收的雨水，而藍水則是從河流、湖泊引水作為灌溉用之水。因此，作物商品的交易可分析其「藍」、「綠」水的流動。當然，多利用雨水可減緩水源喪失的程度，這代表的意義是多利用雨水生產作物，而灌溉基本上是種水源傷害。(註：另有灰色用水，即為處理污水所需的清水量)

工業、農業及人口的增長，惡化了水質也限制了其供應，用水的質量都受影響，其程度雖然因地區而有差異，而難有一致性的效率策略，不過基本的用水原則是回收用水、循環利用、避免浪費。各地區的業者應與當地的水源管理單位協調溝通，共同確認在水源安全範圍內節制用水，此也包括維護生態的安全用水。農產、加工、銷售等業者及官方應共同研擬所謂之「用水管理」，包括一些建議、規範和使用限度。

表 4. 美國生產每公斤畜禽產品所需的飼料量和水足跡(國家地理估計)

| 家畜禽 | 飼料換肉率 | 水量(公升) | | |
|-----|-------|--------------------|----------------------|---------------------|
| | | 隱含量 ⁽¹⁾ | 飲水及加工 ⁽²⁾ | 水足跡量 ⁽³⁾ |
| 牛 | 6.0 | 13620 | 140 | 13764 |
| 綿羊 | 2.8 | 5538 | 160 | 5698 |
| 豬 | 3.8 | 4364 | 400 | 4764 |
| 肉雞 | 1.8 | 3546 | 18 | 3564 |
| 山羊 | 2.6 | 960 | 160 | 1120 |

⁽¹⁾生產過程中的間接用水，即 Virtual water

⁽²⁾直接用水

⁽³⁾直接與間接的總和

5.2 水質優養化和土質酸化

水源和土壤生態系統內的化學養份(例如氮、磷、氮)若過多，超過自然利用的能力，稱為優養化。優養化的影響層面廣泛，湖泊內則破壞了水質，減少了魚類和其他生物。

另外，過多養份促進了某些特殊植物的生長，而破壞了原有之生態平衡。優養化主要是由於畜禽不能完全利用飼料，以及作物化學施肥過度而導致。過多殘餘的養份經流放、聚積於水土中形成危害。當然，畜禽排泄物是有機養份，施用土地上或排放至水源過多，一樣是造成優養化。

酸化是排泄物中的氮所造成，其在土壤中降低了 pH 值，影響其內微生物、蟲類之生存和作用而改變土質。氮若氣化則容易與水氣結合，最終化成酸雨而落入地面酸化土壤。此外，化學肥料容易將氮固定於土壤中，也容易造成酸化。畜禽造成優養化和酸化效應主要源自牛羊；豬雖較低，但高於乳、蛋及家禽。歐洲估計其境內氮氣排放之 74% 來自家畜，9% 源自肥料。人類對環境和大氣的「氮循環」破壞僅次於「碳循環」，這主要是種植豆類和施用氮肥，設法將游離氮固存於土壤中。當然，這些「氮肥」是農業發展的基礎動力，後果則是水土的優養化和酸化。生產畜產品難免有「經濟效率」和「環境效率」之間的對立牽扯。因而，生產畜產品時應考量「環境可承載(負擔)之能力」。

5.3 生物多樣性

近半世紀裡，地球上的各種生態體系都被人類侵占利用，以生產食物，包括作物、畜禽和水產。畜牧的數量和密度適當，對自然牧地而言並非有害，而且還有增加生物多樣性的利益。這是由於家畜可因啃食或踐踏而抑制了強勢或外來植物的生長，相對地提供弱勢植物生存的空間和機會。然而，目前所謂集約化、規模化的農耕作業方式，講究生產單一作物，讓草地、牧地甚至耕地整齊化而失去了多樣性。這雖有利於管理的單純化，例如齊一的施肥、噴藥、收割等，但卻喪失了土地保育自然野生的價值。現在全球 90% 的農地、牧地都失去了生態意義，受影響最明顯的是野生鳥類。過去 20 年來因砍伐森林、農地種植、生產穀物供糧食和飼料，開墾牧地、種植牧草飼養牲畜等，這些農業耕種已造成鳥類數量減少了 48%，都是可謂因畜禽飼養間接造成。另外，畜舍附近因排泄物堆放，導致空氣中氮氣過高、酸化鄰近之水質土壤之外，亦抑制了苔和楠類的生長，也妨礙了仰賴這些生物的生存。家畜禽生產也可用「生態足跡」來表示，其單位為生產每公斤畜產品需要的土地面積(公頃)或是說生產每公斤畜產品需要破壞自然生態之面積(表 5)。

品種改良一直是畜產界努力的重點，而改良後具有「高經濟性狀」的種畜、種禽，也是農政單位推廣的對象。一般農戶也因較高經濟效益而放棄飼養所謂的「土種」，樂於更換「性能改良」的經濟動物。因而，多元的物種逐漸減少，有些甚至絕種喪失，造成生物多樣性的危機。保護生物多樣性是身為「地球人」的責任，這除了道德倫理與自然美學的理由外，還有實際面的原因。因為「經濟性狀」隨時代而變，例如，農業時代講究「肥胖」型豬種，因為耕耘勞力需要高能量的脂肪作為能源。社會邁入工商經濟後，「精瘦」豬種成為主流。今日的「經濟」表現則講究「抗病」、「肉質」等，於是過去「粗勇」或「耐操」型又視為優良性狀，但可惜種源難尋或可能已經流失。

5.4 生物安全性

畜禽是某些人類疾病傳染的媒介，大眾熟知的禽流感、狂牛病、搔羊症、豬流感等都與畜禽有關。另外，畜禽微生物涉及的生物安全問題更威脅人類的健康，這問題出在畜禽難免有些疾病需要用藥，因而逼迫其體內寄生的細菌突變，而產生抗藥性。這些細菌會透過各種媒介進入人類的生活圈內，若侵入人體可讓我們一樣產生抗藥性，而病痛時用藥失效。歐洲畜產業界已禁止在畜禽飼料中添加抗生素促進生長，其目的即是避免微生物產生抗藥性，防止其平行轉移進入人體。

表 5. 畜產品的生態足跡(每公斤產品所需的面積土地資源)

| 產 品 | 公頃／公斤 |
|-----|-------|
| 牛 肉 | 1.57 |
| 羊 肉 | 0.80 |
| 雞 肉 | 0.24 |
| 豬 肉 | 0.20 |
| 雞 蛋 | 0.12 |
| 牛 乳 | 0.10 |
| 蔬 果 | 0.03 |

6. 養豬戶節能減碳的建議

6.1 加強飼料管理：

養豬生產成本中約 70% 源自飼料，而豬肉代表的暖化效應中，其中一半來自飼料原料的種植、收割、運輸、調配與貯存等。因而飼料能充分利用，提高其轉換效率，即能有效降低暖化效應。例如：豬場的整場飼料換肉率為 4:1(註：此比例為台灣一般豬場成績)，畜主若能適當加強飼料管理，將比例降至 3:1，即是代表改善 25% 之效率，或減少 12.5% 之溫室效應(假設飼料佔 50% 之暖化效應比重)。

加強飼料管理之首要是減少浪費；豬隻在餵料時因爭食和撥弄，濺灑至飼料槽外的飼料平均約佔給料的 10%。這些浪費隨後加重了排泄物的處理負擔，必須以更多的能量處理本該被利用的能量。另外，維護飼料品質亦是管控要項，畢竟整個養豬系統中，提高氮的利用率是最基本的原則。飼料管理不善，若發霉使黴菌毒素過高，豬隻不但無法利用養份，還有礙生長，這即是種能源浪費。

6.2 維護動物健康：

動物死亡，或是任何病痛妨礙了生長、降低了效率，都是一種能量浪費。屍體處理不論是化製或是焚毀，都是需要額外耗能。農家生產 20 頭肉豬僅用 1.0 頭母豬，這當然

比需用 1.5 頭母豬更節能減碳。維護動物健康提升生產效率，即是有效的減少暖化效應措施。

6.3 勿信商業噱頭：

市面上「節能減碳」的商品幾乎經不起精確的「排放得失計算」。經典的案例是降低飼料中蛋白質含量配合添加使用合成胺基酸，以提高飼料利用率(吸收率)，降低排泄物中氮、碳含量。這項措施表面上這是顯著有效的節能減碳作法，但若將生產合成胺基酸的能量併入計算，則是得不償失的策略。同樣的使用太陽能板或各種省電燈具，以及飼料中添加酵素等，這些大都經不起能量得失的計算。

6.4 簡化作業步驟：

任何一個動作即是一次能源轉換，而每次轉換效率都不可能達 100%，而留下所謂的「碳足跡」。節能減碳的講究中，簡化程序、縮短足跡是基本原則。因而，合成胺基酸、酵素等承擔極高的碳足跡，所以使用後反加重了養豬的暖化效應即是這個道理。養豬生產系統中從飼料製造、飼養管理、排泄處理的流程中如何簡化作業，值得各類專家分析。目前的主要研究著重於粉碎飼料的程度、簡化肉豬生長階段飼養(前中後三期改為一期)，以及縮短排泄處理流程(三段式改為兩段式)。

6.5 加強用水管理：

一般而言，自來水是能源昂貴的資源。豬場內浪費水源不僅只是流失還增加了污水量，必須要投入更多的能源處理。台灣養豬的耗水量曾被估計是世界第一，這主要是水價過低、農戶好沖洗豬隻之故。多沖洗豬舍能減少豬隻吸入糞臭素，減少該物質在脂肪內的堆積，進而保持豬肉應該的風味。不過，改善豬舍內的異味有許多其他方法。適當的畜舍設計包括適當的通風、風向，以及其他的除味篩網，也能有效地進行「氣味管理」。

6.6 延長使用期限

充分有效利用資源，不論是無機性(銅、鐵等器材)或是有機性(木料、飼料和家畜等)，都是減少浪費、節能減碳措施。時時注意畜舍和器材有無破損，經常維修保養，即能防範功能失效。避免過度更新和舊物利用，即是優良的管理措施。延長公豬、母豬的使用年限、降低母豬群的更新率，減少各種繁殖障礙，就是降低暖化效應的表現。

7. 政府降低養豬溫室效應的政策建議

7.1 改善環境表現之主要措施

- (1) 建立網路為主的知識中心(knowledge hub)，並輔以書面資料供各界參考，該中心做為養豬生產影響環境議題的指導。
- (2) 該知識中心應清楚說明各種豬隻生產系統的溫室氣體排放，以及如何藉調整營養和育種選拔降低排放。
- (3) 鼓勵以現有技術設計各飼養階段之標準環保畜舍。

- (4) 公開業者的新穎畜舍設計，並說明其成本以及敘述生產的利益。
- (5) 提高動物的健康及福祉，及發展各種節能減碳技術，以減少養豬對環境的影響。
- (6) 在豬隻生產系統中，計算營養漏失的比例，強調如何藉用經濟有效方法，以減少養分流失於環境中。
- (7) 增加畜主對豬場排泄物和廢水內養分的控制和信心。
- (8) 鼓勵使用場內養分管理計畫。
- (9) 在以降低生產效率下，利用各種畜牧技術減少溫室氣體排放。
- (10) 促進畜牧及排放廢水管理系統以降低豬場異味。
- (11) 透過知識中心強調豬隻水份的消耗與減低畜舍水份之漏失。
- (12) 透過知識中心或其他產業專業鼓勵豬場使用替代能源。
- (13) 發掘豬場內實用節省能源的方法。
- (14) 規劃室外養豬的地點和方式。
- (15) 發展降低排泄物、廢水處理及儲存過程中養份的含量。
- (16) 其它有效降低養豬戶環境問題的措施。

7.2 減緩飼養家畜生態足跡的措施：

- (1) 簡化生產作業，提倡多元生產以及減少飼養密度。
- (2) 減少排泄物直接放流於土壤。
- (3) 改善用水管理，包括畜舍內和畜舍外。
- (4) 利用在地生物資源，包括副產物、剩餘物等，不過，廚餘的安全性應列入考量。
- (5) 減少使用生態敏感區，例如亞馬遜流域的物質。

7.3 其他措施

- (1) 簡化烹調、料理方式，避免過度的包裝、加工、料理。
- (2) 避免使用非再生資源產物，例如採用各種有機材質之容器。
- (3) 善用各種資源包括器材、減少浪費；回收、維修而非丟棄。

8.一般消費者享用畜產品(豬肉)的建議

適當地享受畜產品，是種生活講究。人類是雜食性單胃動物，攝取些乳肉蛋天經地意，況且葷食也較素食營養，不但可保障青少年之發育需要，而且也是一般人維持健康所需。畜產品中胺基酸多元而充份，素食難以比擬，不過，多食無益。

人類即然不是草食性動物，所以享用葷食是我們自然的生物權力，但是，保護環境也是我們的責任，而尊重生命(物)是文明社會的義務。畜產品或是其他任何物用品，若是在生產中破壞了自然，虐待了生命，則其無道德的內涵，應予以全面排斥、揚棄或抵制；即使其物美價廉，亦在所不惜。進步的社會全面禁止輸入或販售奴工、童工、囚犯的產品，或制裁未盡保護野生動物之責的政府，便是基於此理念。

我們的社會，屬於「已開發」的層次，而必須遵守「文明」規範；犀角、象牙和虎骨等再也不能以任何理由使用，就是最好的例子。家畜的生產，亦有道德標準，文明社會的消費者，也應具備這些概念，應選擇有「道德意義和價值」的畜產品和其他家畜產品，盡基本的「文明地球人」之責任與義務。

畜產品的成本和價值在於「生產」、「生態」及「生活」，生產強調「降低成本、提高品質、增加效率、最大利潤」，生態則是「避免酸化土壤」、「預防優養化河川」、「減少暖化效應」，生活則為「尊重動物權力」、「保障人類生活安全」、「維護生物多樣性」。這些訴求代表的意義，在於一塊好的畜產品不僅是衛生價廉，還要有好品質，能烹飪出色、香、味俱全的料理之外，它必須講究「生態環保」、「生活道德」之生產流程，或是說家畜、家禽必須在這些條件或環境下飼養和生產而來。當然，這些講究要「兼備多贏」，難免有些矛盾，畢竟產品若要具備這些價值，生產業者必須投入更多的成本和措施，而結果是增加了許多管控的步驟和所謂的碳足跡，最後不得不提高售價。換句話說，加強畜產品的安全性、環保性或道德性，是有代價、要付費的。

消費者必須了解：畜產業者的努力與付出，需要社會的實質支持和鼓勵。這點就必須仰賴大眾的認知和社會風氣，讓優良品質、高環保、高道德的畜產品，能夠拓展利基和開發增值市場。我國畜產品的環保成本和道德價值，有些基本法律保障；環保署的「水污染防治法」和「廢棄物清理法」，以及農委會的「動物保護法」即規範了環保養豬，以及人道養豬、殺豬的作業。

國人買畜產品(例各種肉類)，若是上傳統的菜市場，只能藉視覺、味覺和觸覺來選擇；觀察肉色正常否？嗅聞有異味？壓按下感覺有無彈性，或者有無滲水，再聽聽老板的新鮮保證。傳統菜市是文化，幾乎千年未變，畜產品「循古」販售的方式，就食用安全的直接考量而言，只要畜產品熟煮、久燉，並無太多的衛生問題，即使是黃昏市場的「新鮮畜產品」，也因「高溫殺菌」無食用安全之慮。至於畜產品的「環保價值」、「道德價值」，小市民若認為那是法律保障、是公務之事，則是有失個人職責，「呷粗飽」必須是安全、安心與放心，這都需付費的。

消費者選購畜產品要求保障，目前台灣優良農產品(CAS)，優良豬場、好畜園、生產履歷等之認證，即是代表安全、環保、尊重動物福祉驗證合格。至於畜產品許多的銷售訴求，並不涉及「好畜產品」的基本定義；例如品種上的差異，好比黑豬、白豬、洋豬(亦有黑色品種)、土豬之區別，或者飼料、飼養上的不同，像是玉米、大麥、香草、牧草、甘藷、酒糟、紅麴、甜釀等之餵飼、催肥、慢養等變化。這些不同「祕方」、「絕招」或「撇步」，都可能造成肌肉之成熟度、脂肪含量、脂肪酸比例、肌糖含量之高低起伏，而影響畜產品食用時之味覺、嚐覺和口感。這都是在生產、生態、生活「好」條件上的加值，自有其多元的利基市場，隨消費者之喜好。

畜產品基本的「好」條件，應是大家的堅持要求；開心地享用畜產品，已是大家的

基本人權，圖 2 表示一般消費畜產品的考量因素。

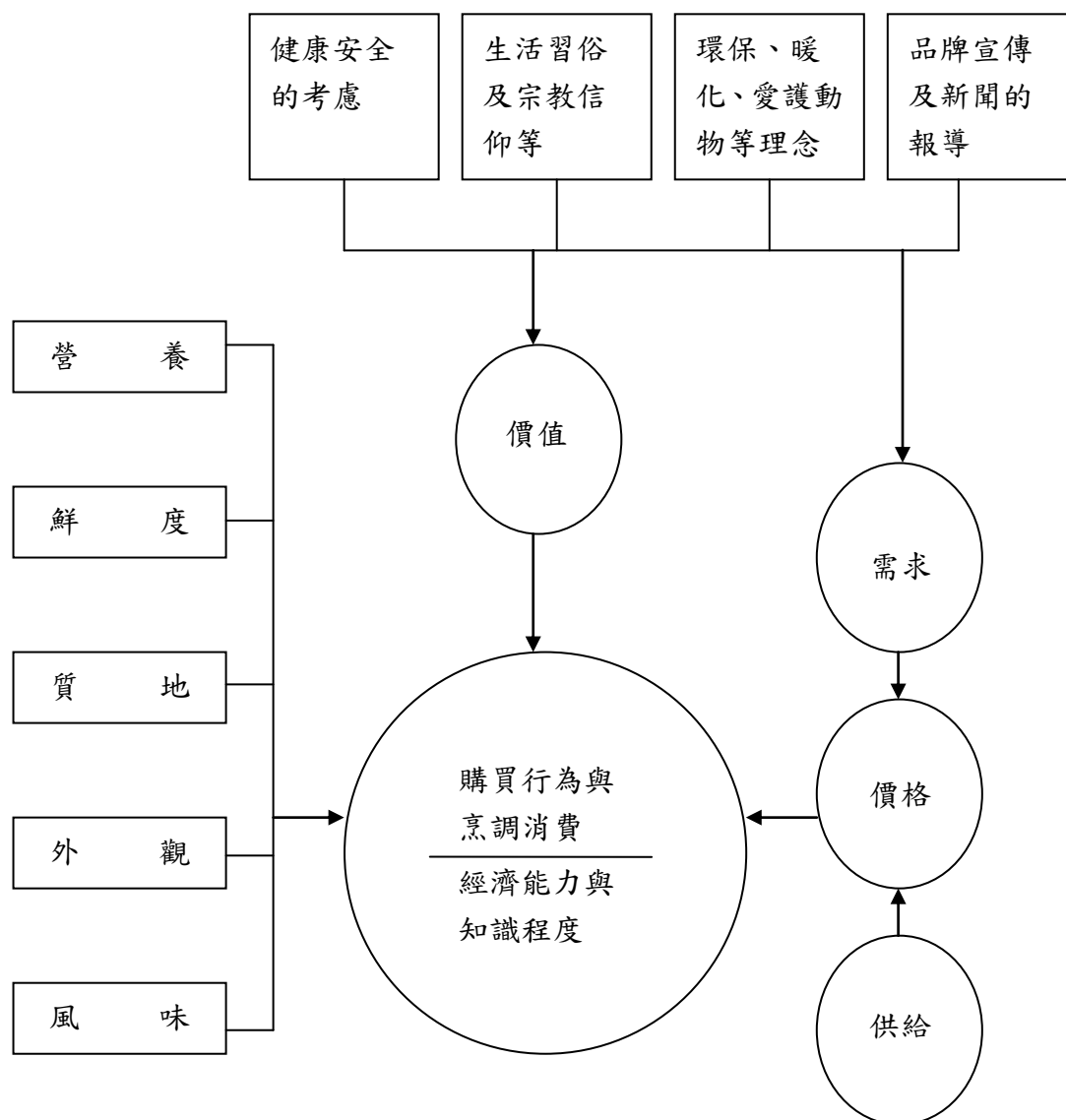


圖 2. 選購畜產品的影響因素

9. 能量轉換與葷素食的迷思

生物都是「食」、「色」性也，必須攝取食物供應代謝、生長，以及維持生命和生殖所需。太陽的能量透過有機質在各營養階級中流動，在每個食物鏈的連結過程中大量損耗而消失，大約僅有 10% 的能量才能轉移至上一層營養階級。這種食物鏈能量遞減狀況，成為能量金字塔的圖型，簡單地說，從穀物—飼料—畜產品，約等於 10:1 的效率，即是需要 10 公斤的穀物才能生產 1 公斤的畜產品，當然這因動物種別而差異，也不包括加工、包裝、銷售、熟飪等附加之能量消耗。

縮短旅程即能減少足跡，不過食物旅程的定義是從農地管理、農場生產到餐桌入口之所謂生命全程。從畜產品而言，不僅是生產和消費，還涉及許多顯性、隱性的附加價

值，和後繼或周邊的影響和其效益。例如，不能為了節能減碳縮短旅程，畜產品就省略或減少殺菌消毒步驟，如果引起安全衛生的問題，則後繼的醫療資源投入更繁多而得不償失，因而，畜產品有些生產之外的考量，必須附加許多額外措施，這是必要，這些包括(1)管控食品安全(2)維護生物安全(3)注重水源保護(4)預防土質酸化(5)尊重動物福祉(6)節省自然資源，再加上降低生產成本和減少大氣暖化，此 8 項構成現代畜禽生產的基本講究。複雜了所謂「價值講究」，因為以上 8 項講究許多是彼此矛盾衝突。畢竟，預防、管控、維護等等措施都需投入人、物、力等成本而當然增加。

畜禽本來是種資源回收和轉換系統；傳統畜牧不論是歐洲的作物、乳牛、酪農副產物養豬(北歐，如丹麥)或是一般農家的馬鈴薯(中西歐如德國)養豬，或是北美剩餘穀物(主要為玉米)養雞、養豬，以及亞洲的廚餘餵雞、鴨或豬，都是農家土地資源利用的一環。民國五十年後，畜產技術逐漸進步，台灣的畜禽飼料改用進口玉米，品種也漸改用歐美雜交品系，台灣畜禽開始集約化也開始外銷。台灣自工商社會化後，養豬漸脫離自有資源循環利用體系，而成進口資源加工作業，也間接地產生了排泄處理動物福祉、生物安全、暖化效應等的問題。

台灣畜牧從增加國人動物蛋白質開始到爭取外匯，至今日面臨保護動物、生物安全、食品安全、排泄物污染、降低暖化等之壓力，因而需要擬定新的方向與策略。另外，消費者也應體認「碳足跡」的真正意義。享用畜產品，不論從經濟機制或生態理論而言，的確是種能量的奢華或是昂貴的消費。吃素感覺上似乎是節能，現實生活上倒未必，「白斬雞」與「素雞」的能量成本恐怕前者更低，因為生產素雞的步驟多、過程長，能量的消耗「足跡」拖得遠，最後的能量總投入成本可能比白斬雞更多，因而，攝取這種精緻複雜化的素食反而不是「省能量」，而是「碳奢侈」。從草料、穀物類到畜禽產品是一層能量的加工，增多了生產步驟，但素食多層的加工與包裝，其產生的能量(碳)足跡或暖化效應更值得大家注意。節能減碳是大家的努力目標，不過「吃素救地球」卻過於簡化甚至誤導，一般大眾應秉持「少量簡化」、「粗略加工」的理念，在日常生活中處理應用以減少暖化效應，而非簡單地以葷/素二分而判別是非。

地球的生物圈以「光合作用」為根本；陸地上的植物和水中的浮游植物中的葉綠素，可以將光能轉換成碳水化合物或醣類有機化合物質，以及釋放氧氣。隨後，這些植物便成為維繫其他生物的基礎底層，是原始食物生產者。這底層之上，再架疊所謂之「營養階級」，首先是「初級消費者」，即「植食動物」，包括陸地上的昆蟲、蝸牛、草食獸；水域中則有許多浮游動物。再上一階則是「次級消費者」，陸地上指的是「食肉動物」，從老鼠、小鳥、青蛙、蜘蛛到獅虎等都是屬於這一類；水域內主要是一些取食浮游動物或水底無脊椎動物的小魚。更上層則可再細分為例如獵食鼠、蛙等的蛇類之三級消費者，以及補蛇為食如鷹類之四級消費者。人類是雜食動物，我們的取食有葷有素而多元，而編結成複雜的食物網，當吃青菜水果時即是初級消費者，享用豬牛羊肉時即為次級消費

者，品嚐鮭魚、鮪魚的時候，即成為三級或四級消費者，是食物鏈的頂層。

葷食是肉食和雜食動物的生物權，當然是涉及生態和演化的一部份，也伴隨著人類文化、歷史的發展。我們的祖先主要以獵捕為生，並佐以野菜蔬果補充與平衡營養，如同今日的猿猴、靈長類的生活。石器時代的洞穴壁畫大都是描繪動物獵捕，即是追求肉食的明證。歷史傳說太昊伏羲教民結網、漁獵畜牧，意義就是動物性蛋白追求的攝取，而具有營養學上的意義。

生物所有的蛋白質是由 20 種不同的胺基酸組成，我們成人體內可以從各種有機物合成其中 12 種胺基酸，另外 8 種則必須由食物中攝取補充，以維持蛋白質之合成作用，供細胞組織發揮其應有功能。這 8 種稱為「必須胺基酸」，而嬰幼兒則需 9 種。畜產品含有我們需要的所有必須胺基酸，所以稱為「完全營養物」；植物缺乏一種或多種必須胺基酸，所以稱為不完全營養物，另外，有些必須脂肪酸也是人體無法自我合成，需仰賴食物供應，其中亞麻油酸最為重要，因為，其為正常細胞膜之主要成份。當然，隨著營養學的進步，植物的胺基酸組成和含量，目前已知曉。於是，組合不同的植物、調配適當比例的豆料、穀類、葉菜類等食物，能也讓素食者獲得適當的營養。

素食只要來源多元、數量與質量調配適當，並無營養上的問題；葷食本來就是我們雜食動物的天賦權，又具有營養上的優勢，享用畜產品那會有良心、道德上的困擾？葷素隨人喜好，是生活快樂的元素，但是今日享用畜產品怎麼會有「增加暖化效應」之譏？我們不會強迫肉食性的狼狽虎豹去吃草，那暖化效應怎麼會有「吃素救地球」的議題？畜牧生產的產生暖化效應，依 2006 年聯合國的估計，佔總量的 18%，這是從砍伐原始森林為牧地，墾殖農地播種穀物開始計算，加上灌溉、施肥、防蟲害、收割、飼料製造、運輸、餵飼、畜禽防疫、防泄物處理等，而總計而來。世界銀行 2009 年發表的報告係將隨後的消費應用(加工、包裝、陳列、販售、烹調等)一併納入，還包括水產、皮件使用，毛衣穿著、羽毛應用都加入計算，則畜產應用的暖化效應高達 51%。這當然引起爭議，畢竟素食也要種植、收割、運輸加工等。

10. 結論：規劃畜牧環境策略

台灣畜產發展，當然急需規畫永續經營。永續養豬的議題包括三方面，環境方面是減少「暖化效應」、「水質優養」和「土質酸化」；安全方面是降低「食用危害風險」、「生物多樣性風險」和「福祉危害風險」；資源方面是節省「無機物使用(非生物性器材)」和「生產成本(飼料等有機物使用)」。這三項議題組成八項永續講究，每項都是希望愈低愈佳(參閱圖 3)。然而，實際上每單項都與其他關聯，而且，大都彼此衝突矛盾。例如，避免安全的危害必要增加許多措施和步驟，這與減少碳足跡背道而馳，也提高了生產成本和資源使用。國內推動的生產履歷即是經典案例。此外，即使在同一議題內的講究，有時也彼此難容，例如，污水處理避免河川優養化的各種措施，即會留下許多碳足跡而增

加暖化效應。近來環保單位推動無化糞作用的動物洗手間或沼氣發電，前者恐怕毫無減氮和降碳的效果徒增碳足跡，後者可能在能量上多重投入反而得不償失只增加暖化效應。這種迷思也存於所謂素食中，多重加工後的「素雞」和「果汁」，其所代表的暖化效應分別大於「白斬雞」和「鮮乳」。因而，永續養豬策略必須仔細規畫，而且節能減碳不是首要選項，其權重應仔細計算。理論上環保之位階應低於安全方面的講究，即是保障安全性的措施一定優先。因而，畜產的環境策略是圖 3 中八項講究的整體考量，而非任何草項的獨立評估。所以，較好的措施可能其暖化效應較高，但是其他風險較低的選擇(參閱圖 3)。畜牧的環境因素，涉及能量使用、大氣環境、用水環境和土壤環境，其關係到的政策、制度和國際條約甚多而複雜(圖 4)。畜牧生產業者的直接和間接涉及的單位、機構、法規、各行業、市場等之牽掣和影響甚為廣泛(參閱圖 5)，也頗難計算實際的碳足跡。不過，從現場操作而言，簡單而且是隨手方便的措施(控管飼料、疾病、用水其他材料等文第 6.1 至 6.5)即能有效節能減碳，即是為永續養豬盡了許多的義務。

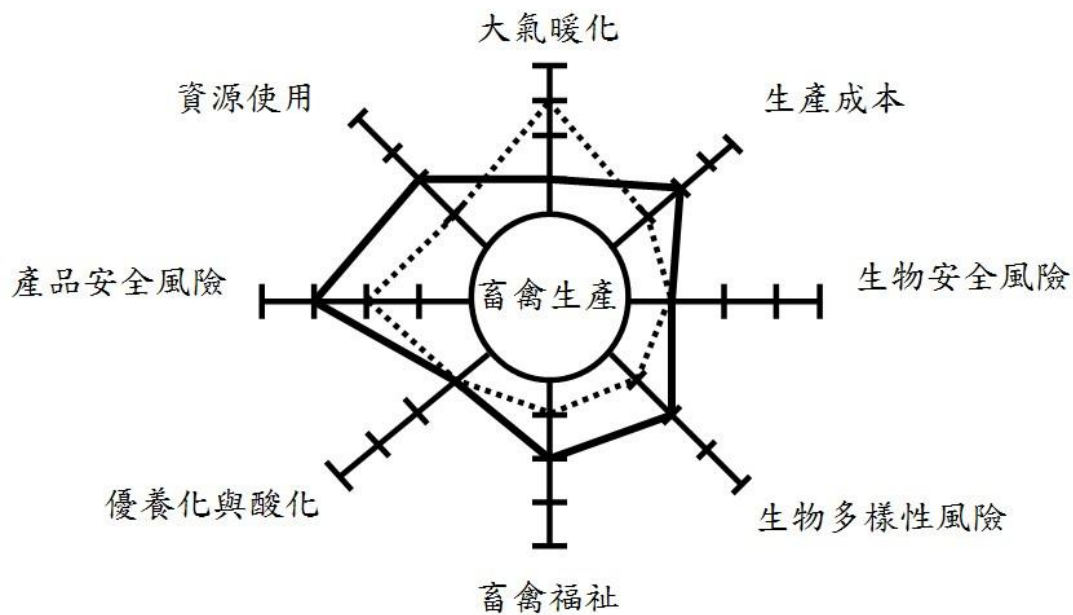


圖 3. 禽畜生產措施的功效評估：實線和虛線代表兩項政策措施，虛線所涵蓋的總面積較實線為少，其暖化效應雖然較高，但其具更多的永續性故應優先採行

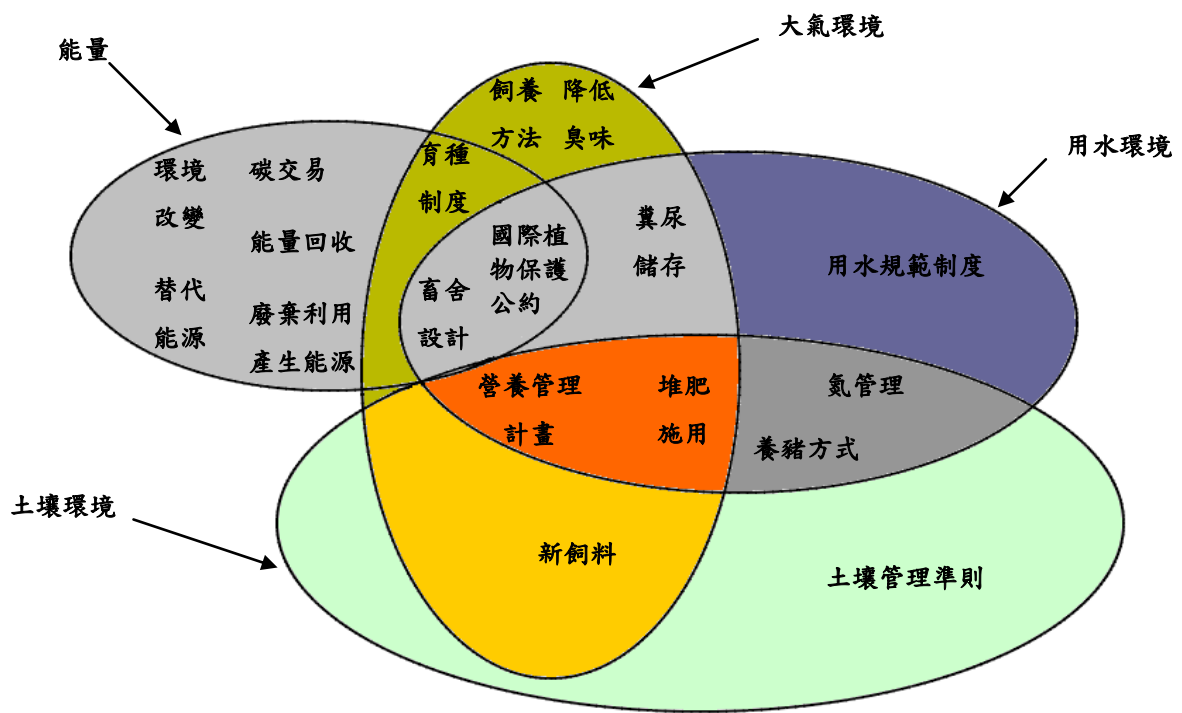


圖 4. 畜牧(養豬)涉及的环境因素(能量、大氣、用水、土壤)和關係到的政策和制度

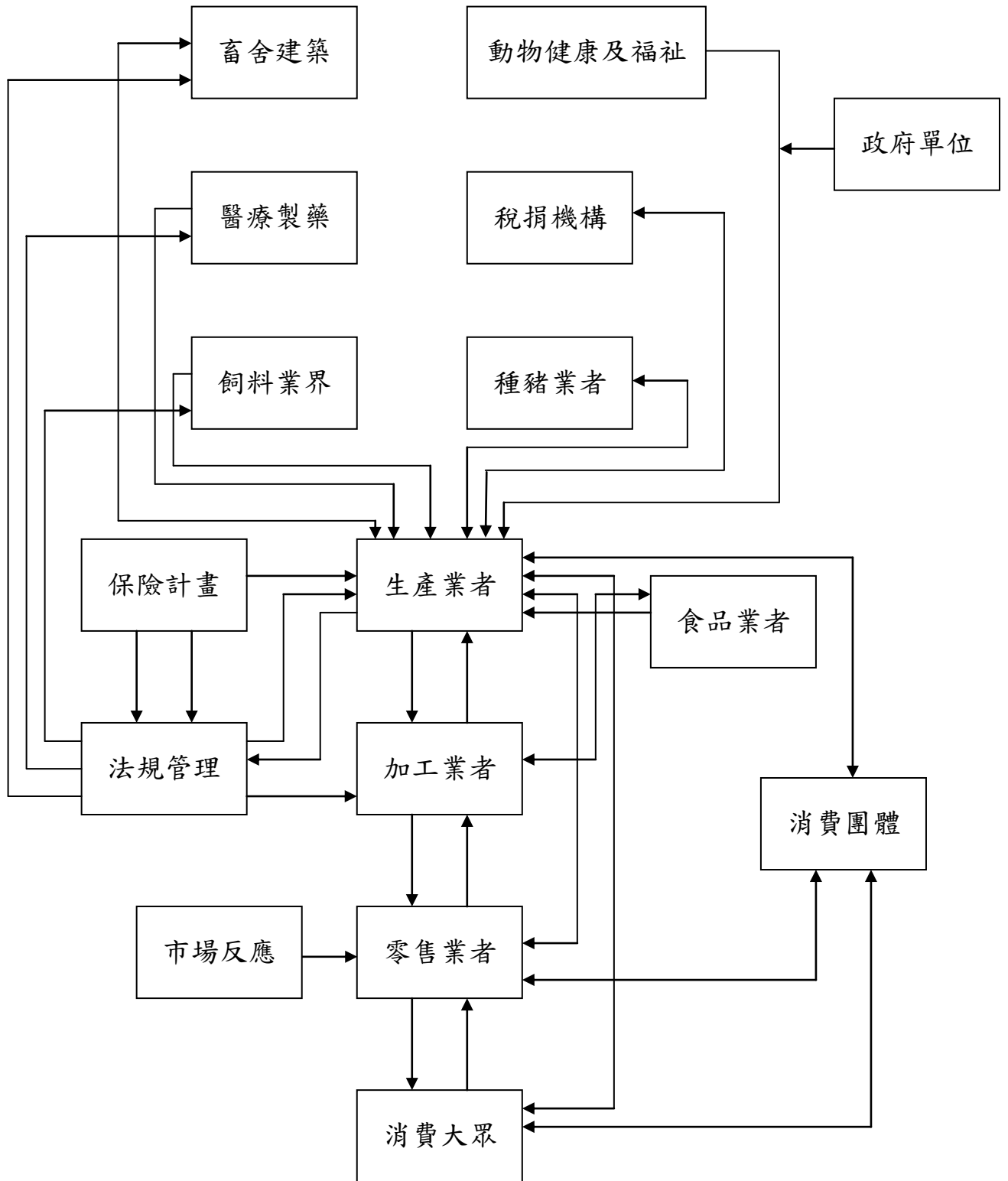


圖 5. 畜產(養豬)永續經營的規畫：畜產的環境策略牽涉多方的單位和團體

参考文献

- Aiking, H.J. de Boer, J. Vereijken. 2006. Sustainable protein production and consumption: pigs or peas? Springer Publisher Netherland.
- Baumann, H. and A.M. Tillman. 2004. The hitch hiker's guide to LCA. Published by Studentlitteratur AB Lund, Sweden.
- Hendrickson, C.T., L.B. Lave and H.S. Matthews. 2006. Environmental life cycle assessment of goods and services. Resources for the future Washington, DC, USA.
- Horne, R., T. Grant and K. Verghese. 2009. Life cycle assessment. Principles, Practice and Prospects. CSIRO Publishing, Australia.
- Ingrid, S.E. 2004. Environmental systems analysis of pig production. Doctoral thesis, Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Agraria.
- Kim, B. and R. Neff. 2009. Measurement and communication of greenhouse gas emissions from U.S. food consumption via carbon calculators Ecological Economics. 69:186-196.
- Kleanthous, A. 2009. Pigs and the Environment: A report to British Pig Executive (BPEX).
- Koneswaran, G. and D. Nierenberg. 2008. Global Farm Animal Production and Global Warming: Impacting and Mitigating Climate Change. Environ Health Perspect. 116:578-582.
- Krystallis, A., M.D. Barcellos de, J.O. Kugler, W. Verbeke, and K.G. Grunet. 2009. Attitudes of European citizens towards pig production systems. Livestock Science. 126:46-56.
- Lammers, P.J., M.D. Kenealy, J.B. Kliebenstein, J.D. Harmon, M.J. Helmers, M.S. Honeyman. 2010. Nonsolar energy use and one-hundred-year global warming potential of Iowa swine feedstuffs and feeding strategies. Journal of Animal Science. 88:1204-1212.
- Pelletier, N.P. Lammers, D. Stender and R. Pirog. 2010. Life cycle assessment of high- and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. Agricultural Systems 103:599-608.
- Pig Industry Environment Strategy. 2007. A discussion document, British Pig Executive (BPEX).
- Rafael, O.P. 2010. Analysis of sustainability in the pig production chain :life cycle assessment of contrasting scenarios. PhD Fthesis, Newcastle University, UK.
- Stephen, K.L., B.J. Tolkamp, C.F.E. Topp, J.G.M. Houdijk and I. Kyriazakis. 2009. Environmental impacts of UK pig production systems: analysis using Life Cycle Assessment. In "Aspects of Applied Biology" No. 93, eds MacLeod, M.;Mayne, S.;McRoberts, N.;Oldham, J.;Renwick, A.;Rivington, M.;Russell, G.;Toma, L.;Topp, K.;Wall, E.;Wreford, A.2009 pp. 33-39.

Stone, J.J., Dollarhide, C.R., Ramith Jinka, Thaler, R.C., Hostetler, C.E. and Clay, D.E. 2010. Life Cycle Assessment of a Modern Northern Great Plains U.S. Swine Production Facility. *Environmental Engineering Science*. 27:1009-1018.