

出國報告(出國類別：考察)

美國農業之星推動計畫及畜牧糞尿 再利用現地參訪

姓名職稱：簡吟純秘書、林建芬技正

派赴國家：美國

出國期間：106年9月17日至9月28日

報告日期：106年12月22日

目次

摘要.....	2
壹、緣起.....	3
貳、目的.....	4
參、考察行程.....	4
肆、考察成果.....	6
一、美國環保署農業之星計畫 AgSTAR Program.....	6
二、伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心參訪 (University of Illinois Extension, Livestock Facilities and Manure Management).....	12
三、The Parks 公司養豬場設施參訪 (The Parks Companies).....	16
四、Sievers 家庭農場 (Sievers Family Farm).....	28
五、Cinnamon Ridge 農場 (Cinnamon Ridge Farms).....	42
伍、結論與心得建議.....	52
陸、附錄.....	53
附錄一、參訪單位名片	
附錄二、伊利諾州立大學推廣中心-參訪問答	
附錄三、伊利諾州立大學推廣中心-糞肥分析推薦方法與數據	
附錄四、伊利諾州立大學推廣中心-豬糞肥特性與數據資料	
附錄五、伊利諾州立大學推廣中心-授課資料	
附錄六、伊利諾州立大學推廣中心-2017 年認證糞肥檢測實驗室	
附錄七、伊利諾州環保署規範-適用養豬業	
附錄八、伊利諾州環保署規範-適用養牛業	
附錄九、伊利諾州環保署規範-適用酪農業	
附錄十、Cinnamon Ridge 農場糞肥分析數據	
附錄十一、Cinnamon Ridge 農場土壤檢測報告	

摘要

本次出國人員為行政院環境保護署水質保護處簡吟純秘書、林建芬技正，參訪行程於 106 年 9 月 17 日出發，106 年 9 月 28 日返臺，共計 12 日 (含交通)，參訪地點包括美國伊利諾州、愛荷華州及華盛頓特區。主要考察內容包括美國農業之星計畫辦公室跨部會推動畜牧糞尿農地利用、伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心提供訓練課程與農牧媒合，以及現地訪查畜牧場以了解養豬場、養牛場畜舍管理、畜牧糞尿厭氧消化與沼液沼渣施灌方式。

本次考察拜會伊利諾大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心，瞭解其受農業部門委託辦理畜牧業經理人培訓課程，課程內容包括現行農業及環保法規，並教導依畜牧糞尿種類及作物不同計算施肥量、元素過量與否、施灌成本與獲益等。參訪參與農業之星 (AgSTAR) 計畫的農場，以業者角度認知美國部會合作推動厭氧消化系統、沼氣回收與沼液沼渣作為農地肥分使用情形，農業之星網站收集厭氧消化系統相關資訊、輔助計算工具與參考案例，並有聯邦政府與州政府提供的資金與補助金計畫。

美國農牧單位普遍將畜牧糞尿視為資源，此次考察三間農場，均將畜牧糞尿施灌於農地，並主動配合政府設置緩衝區以保護水體環境。我國因施灌農地較難尋覓，因此在推廣畜牧糞尿資源化的策略方面，除了管理單位嚴格執行稽查與罰則，可參考本次考察所得之推廣中心教材，以農牧單位為對象，透過學校開辦從業人員畜牧糞尿處理與施灌教育訓練，將畜牧糞尿資源化的概念向下紮根，以期為未來我國農牧單位自主提升畜牧糞尿資源化比率，配合法規的修訂，進一步達成畜牧廢水零排放。

壹、緣起

我國河川污染依污染來源可以分成工業廢水、畜牧廢水與生活污水，2016年環保署統計資料顯示前述廢污水排放量分別占 8.34 %、10.98 %及 80.68 %；環保署持續以河川污染源減量為目標，提升河川品質，而畜牧糞尿資源化屬解決畜牧廢水排放污染問題之政策方向。

由於畜牧糞尿中含有高量的有機質及氮磷，為作物的肥分基礎，畜牧糞尿厭氧發酵後沼渣沼液為農地肥分，是將資源再利用；畜牧糞尿排放到河川即為錯置的資源。本署於 104 年 11 月 24 日修正發布水污染防治措施及檢測申報管理辦法，新增沼液沼渣農地肥分使用專章，畜牧業者得提出沼液沼渣作為農地肥分使用計畫，經農業主管機關審核，依計畫內容施灌沼液沼渣，讓畜牧糞尿還肥於田有法令的遵行依據。105 年 10 月 28 日再進一步修法擴大沼液沼渣農地肥分使用適用對象、簡化檢測項目由 19 項簡化為 11 項，並鬆綁法令再增加管理彈性，加速沼液沼渣農地肥分利用推動。

為邁向 2025 非核家園目標，並兼顧國際減碳承諾，因應國內外政經情勢及能源環境的快速變遷與挑戰，政府已推動新能源政策-啟動能源轉型與電業改革，帶動自主綠能產業發展。其中再生能源預計擴大發展至 114 年達發電量 20%，畜牧糞尿厭氧發酵後產生沼氣，沼氣再利用作為發電燃料，為生質能源的一種。依行政院農業委員會於 106 年 5 月統計國內養豬頭數為 538 萬餘頭，其畜牧糞尿厭氧發酵後產物沼氣、沼液及沼渣，可用於回收能源及氮肥。

為因應國家循環經濟政策，推動畜牧業循環經濟，回收能源及氮肥，各部會有不同補助措施鼓勵民間參與，本署補助地方政府辦理宣導說明會、協助畜牧業撰寫農地肥分使用計畫書、檢測沼液、沼渣成分和土壤、地下水的背景值，並媒合施灌農地；統計至 106 年 12 月 19 日推動成果，總計全國已有 200 家畜牧業者提報農地肥分使用申請書經審查同意，累計施灌農地面積達 771 公頃，每年施灌水量達 87 萬公噸以上，隨著參與者越來越多，將可有效改善水體水質及保護環境，達成畜牧業循環經濟之目的。

另本署亦補助地方政府推動設置厭氧發酵與沼氣發電設備處理小型畜牧場糞尿並資源利用、購置沼液沼渣載運與施灌車輛與機具、農地貯存桶等，以協助畜牧糞尿資源有效利用，建立沼液沼渣施灌營運體系。農委會則補助畜舍改善、厭氧發酵及沼氣發電設備，提供低利貸款與技術輔導；經濟部則調整沼氣回收發電躉購電價由 105 年每度 3.9211 元增加為 106 年每度 5.0087 元，107 年已預告再增加至 5.0161 元，同時亦有沼氣發電設備補助措施。

美國農業之星計畫係跨部會整合以沼氣回收發電為目標，輔導養豬業、養牛業及酪農業，推動沼氣回收系統減少甲烷氣排放量，作為電力、熱電聯產或燃燒之用，並同時將沼液沼渣作為農地肥分之用，其推動策略與經驗為畜牧糞尿資源化之先鋒，他山之石，可以攻錯。

而伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心，自 1997 年起受政府農業部門委託開辦課程，於法定課程講習課程安排教畜牧業者計算施肥量、氮

磷元素需求量、施灌成本與效益，並協助畜牧業者符合禁止排放畜牧廢棄物的法規要求，其豐富的經驗，足以供我國未來推行教育訓練規劃參採。

貳、目的

考察美國環保署、伊利諾州大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心及有/無參與農業之星 (AgSTAR) 的畜牧場，藉以瞭解水體水質管理跨部會合作機制及畜牧糞尿資源化政策推動經驗，作為水體污染管理政策參考。

參、考察行程

日期	工作內容概要
106年09月17日	啟程，臺北至美國芝加哥。
106年09月18日	抵達芝加哥歐海爾國際機場。
106年09月19日	自芝加哥聯合車站搭火車，前往香檳厄巴納車站。
106年09月20日	上午拜會伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心(University of Illinois Extension)，瞭解伊利諾州畜牧場畜牧糞尿管理現況，以及畜牧糞尿農地施用教育訓練。 下午實地參訪 The Parks Companies 經營之養豬場並瞭解新設養豬場設施設備與運作管理、糞尿收集與施灌措施。
106年09月21日	搭車前往愛荷華州達文波特 (Davenport)。
106年09月22日	上午實地參訪 Sievers Family 農場，考察厭氧消化系統與沼氣發電相關設施、沼液沼渣儲存與施灌設備。 下午實地訪查 Cinnamon Ridge 農場，瞭解酪農業運作管理、畜牧糞尿收集儲存及田間施灌方式。
106年09月23日	自芝加哥歐海爾國際機場 (ORD) 搭飛機至隆納·雷根華盛頓國家機場 (DCA)
106年09月24日	整理參訪資料。
106年09月25日	原約定拜會 AgSTAR 計畫辦公室，惟美國環保署當日轉達不便接待，故無法成行。

106年09月26日	自隆納·雷根華盛頓國家機場 (DCA) 飛往芝加哥歐海爾國際機場 (ORD)。
106年09月27日	返程，美國芝加哥至臺北。
106年09月28日	抵達桃園國際機場 (TPE)。

肆、考察成果

一、美國環保署農業之星計畫 AgSTAR Program

(一) 推動說明

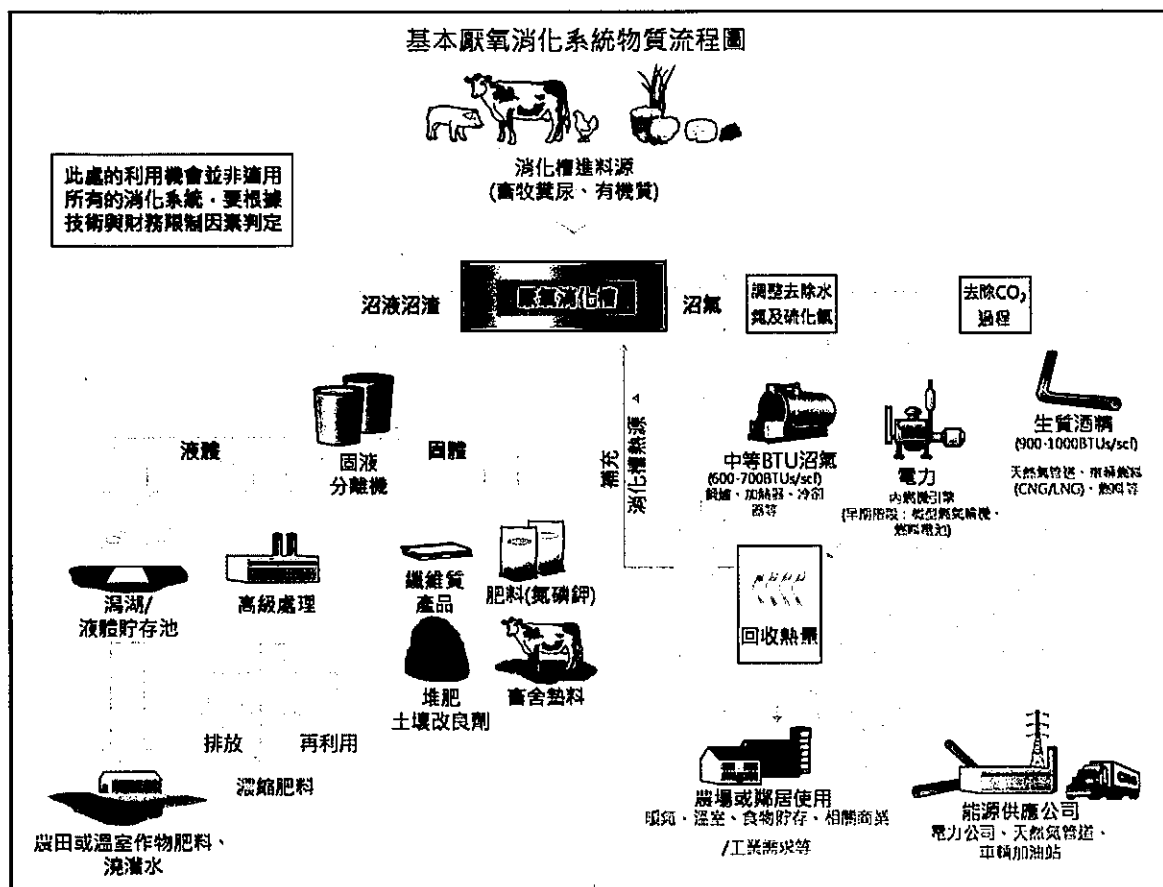
美國環保署農業之星 (AgSTAR) 計畫辦公室位於華盛頓哥倫比亞特區的環保署總部，為美國環保署、農業部及能源部於 1993 年起推動的合作計畫，輔導對象以養豬業及乳酪製造業為主，計畫目的是推動沼氣回收系統作為減少甲烷氣排放與畜牧糞便管理方案。

AgSTAR 協助畜牧業者及農民以更符合成本效益的方法，選擇適合的厭氧消化槽，鼓勵動物飼養業者，將糞便處理為液體和污泥，收集利用沼氣做為發電使用，以減少甲烷的逸散，同時幫助農民改善其施肥方式，將沼液及沼渣作為農地肥分使用；圖 1 說明畜牧糞尿經過厭氧消化後，沼液可用於農田肥料、澆灌水，沼渣可用於堆肥土壤改良劑、製成肥料等。沼氣則經過前處理去除水氣及硫化氫後，產生電力或是生質酒精，進一步供農場使用或回售給能源供應公司。

(二) 推動成效

1. 農業之星計畫合作對象

- (1) AgSTAR 與合格的組織合作，以推動厭氧消化系統規劃、建置與長期成功經營，包括：
 - I. 9 個非營利組織，如 American Carbon Registry、Association of Illinois Electric Cooperatives、The Climate Trust、Energy Trust of Oregon、Great Plains Institute、Illinois Green Economy Network、Seventhwave 等。
 - II. 10 所大專院校，如康乃爾大學、愛荷華州立大學、密西根州立大學、普度大學、馬里蘭大學、佛蒙特技術學院、威斯康辛州立大學等。
 - III. 11 個州政府單位，如加州食品與農業部、肯塔基州能源發展和獨立部、明尼蘇達農業部、內布拉斯加州甲烷氣工作團隊、威斯康辛州政府、奧勒岡州能源部等。



Recovering Value from Waste-Anaerobic Digester System Basics, AgSTAR, 2011.12

圖 1 厭氧消化系統物質流示意圖

2. 溫室氣體減量與能源成效 (1994-2014 年間)：

- (1) 畜牧業減少溫室氣體排放量達 1,900 萬公噸 CO₂e。
- (2) 畜牧業產生能源達 53 億 kWh，推動期間於 1994 年產生 1,000 萬 kWh、2000 年產生 2,200 萬 kWh、2008 年產生 3.5 億 kWh 及 2014 年產生 9.49 億 kWh。

3. 厭氧消化系統建置成效 (1994-2014 年間)：

- (1) 全美約設置了 247 座厭氧消化槽，其中酪農業占 76%、養豬業占 15%、家禽類占 3%、養牛業占 3%及混合型占 3%。
- (2) 營運數量最多的前五大州為：威斯康辛州 (37)、紐約州 (33)、賓夕法尼亞州 (28)、加利福尼亞州 (20) 與佛蒙特州 (16)；而本次參訪的農場位於伊利諾州 (3) 及愛荷華州 (3)。

(三) 農業之星計畫網站資源

1. 統合農業之星計畫資源與工具

美國環保署網站上，公布諸多 AgSTAR 計畫資源與工具 (<https://www.epa.gov/agstar>)，包括厭氧消化系統技術性資料、AgSTAR

專案、案例分析及供應商、厭氧消化系統的操作諮詢、沼氣回收系統的趨勢與市場調查、線上軟體與工具（如協助計算溫室氣體減量值、財務決策工具等）、聯邦法規與州政府法規、合作夥伴清單，以及資金與補助金來源等資訊。

2. 聯邦政府或州政府提供補助金與融資計畫

聯邦政府與州政府提供多項補助金與設備建置的實報實支計畫 (Cost-Sharing Project)，例如美國農業部自然保護局 (USDA Natural Resources Conservation Service, NRCS) 的環境品質獎勵計畫 (Environmental Quality Incentives Program, EQIP)，補助給購買及安裝厭氧消化設備的農場經營者，在購買與安裝完後申請資金，無須還款。

3. 農業之星提供畜牧業者建置厭氧消化系統諮詢服務

厭氧消化系統不同於糞便儲存槽，它們專門設計用於優化沼氣的生產並可生產能源；透過使用或銷售沼氣和副產品產生的能源，農場可以將畜牧廢棄物轉化能源，節約成本、增加利潤和強化環境管理。而畜舍是否適合設置厭氧消化系統，取決於下述幾個因子與其他現場特殊條件：

- (1) 畜牧業營運類型與規模：獲得穩定的有機質進料供應，是厭氧消化槽營運成功與否的重要條件，傳統作法上，至少 500 頭乳牛的酪農場和 2,000 頭豬的養豬場，較具技術與經濟可行性。近期，有些系統專為小型畜牧場而設計，可將其進料設計為畜牧糞尿與其他有機質共消化。
- (2) 畜牧糞尿處理方式：畜牧糞尿的總固體含量可判定厭氧消化系統是否適合畜舍設備，濕式厭氧消化系統可將畜牧糞尿處理成液體、泥漿態或半固體，近期對於可處理高固體含量廢棄物料源的乾式厭氧消化系統需求，也在市場上興起，是否適合畜舍設備則依現場特殊情形與農場需求而定。
- (3) 畜牧糞尿進料頻率：厭氧消化系統的設備最好全年皆有穩定的畜牧糞尿進料，每天至少收集 50% 的糞便。
- (4) 沼氣用途：產生的沼氣可作為發電機組發電的燃料，直接作為燃料供現場或相鄰爐、冷卻器、窯爐、鍋爐或其他燃料需求使用；或升級為用於車輛燃料或通過天然氣管道分配或燒掉。電力或沼氣可用於農場或出售給當地實體或能源公用事業。還可以從發動機發電機組或鍋爐中獲取熱能，並用於生產熱水或用於消化槽（以保持適當的工作溫度）、穀倉、家庭或其他建築物保溫。

其他重要因素包括農民和合作夥伴的財務目標、取得有機物的管道，以及是否能簽訂互連協議或能源承購協議。

消化系統統計數據

根據需要選擇最合適的厭氧消化系統，不同厭氧消化類型的典型特徵如下，惟操作條件隨區域和地點而有差異，表 1 較常在美國使用的厭氧消化反應器種類，以及數量：

- (1) 柱塞流式厭氧消化槽 (Plug Flow Digester) 102 座
- (2) 完全混合式厭氧消化槽 (Complete Mix Digester) 90 座
- (3) 覆蓋式厭氧消化池 (Covered Lagoon) 35 座
- (4) 上流式厭氧污泥毯 (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket, UASB / Induced Blanket Reactor, IBR) 5 座

表 1 美國設置厭氧消化系統數量與比例

種類	數量	百分比
柱塞流式	102	42%
完全混合式	90	37%
覆蓋式	35	14%
上流式污泥毯	5	2%
厭氧序列批次反應器	3	1%
固定膜	2	1%
型式不明	5	2%

資料來源：USEPPA AgSTAR, <https://www.epa.gov/agstar/agstar-data-and-trends#adpotential>

另有固定膜/附加介質消化器/厭氧過濾器 (Fixed Film/Attached Media Digester/Anaerobic Filters)、厭氧序列批次反應器 (Anaerobic Sequencing Batch Reactors, ASBR) 及高固體厭氧發酵 (High-Solids Fermentation)，在美國的使用數量皆低於 5 座。

5. 農業之星統計沼氣發電用途之數據

畜牧糞尿經厭氧發酵後，捕獲和回收的沼氣可用於燃料鍋爐或熔爐發電，或製造為出售給車用燃料的符合品質的氣體或壓縮天然氣。在美國，沼氣通常用於發電，並提供汽電共生發電，以及將過多的熱量用於消化槽或鄰近建築物保溫，截至 2015 年底沼氣的利用方式統計如表 2。

表 2 美國沼氣利用方式統計表

最終使用	數量	百分比
汽電共生 (CHP)	122	50%
電力	82	34%
鍋爐/熔爐燃料	16	7%
燃燒 (Flared full time)	15	6%
未知	7	3%

資料來源：USEPPA AgSTAR, <https://www.epa.gov/agstar/agstar-data-and-trends#adpotential>

二、伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心參訪 (University of Illinois Extension, Livestock Facilities and Manure Management)

(一) 單位簡介

伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心位於伊利諾州大學香檳分校的農業和生物工程系，主要研究領域包括畜舍系統管理與空氣品質控制、畜牧糞尿與營養鹽管理。本次參訪畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心，並拜會生物與工程系的教授 Richard S. Gates 博士及博士生 Xiong Yi jie (如圖 2)，討論畜牧糞尿管理與農地施用教育訓練，以及農牧媒合平台建置與運作管理，並透過畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心接洽參訪當地養豬業者 The Parks Companies 經營之新設養豬場。

推廣中心角色屬於中立的諮詢專家，幫助生產者釐清農業及環保法規；同時因為身為伊利諾州農業部 (Illinois Department of Agriculture, IDOA) 的委辦單位，任務尚包括協助伊利諾州農業部促進落實畜牧管理設施法 (Livestock Management Facilities Act, LMFA)，開辦畜牧業經理人培訓認證 (Certified Livestock Manager Training, CLM training) 課程，但不進行畜牧場的畜牧糞尿使用效益的評估或其是否遵守法規。

(二) 伊利諾州政府部會合作與法規

伊利諾州農業部是監管畜牧業運作的單位，在畜牧設施管理法之範圍內，管理畜牧業之運作。自 2014 年起，伊利諾州環保署 (Illinois Environmental Protection Agency, IEPA) 實施了與畜牧管理設施法近乎平行地位的畜牧法 (Livestock Rules)。農業部 (IDOA) 與環保署 (IEPA) 兩個州立政府單位間，對於法規符合度與強制執行的工作，有其運行機制的分野。伊利諾州農業部大多管理新設畜牧場及欲擴大營運的既設畜牧場；而伊利諾州環保署則係專責管理防止畜牧糞尿排放進入州內水體，環保署也有稽查員負責定期稽核與受理民眾抱怨的稽查。

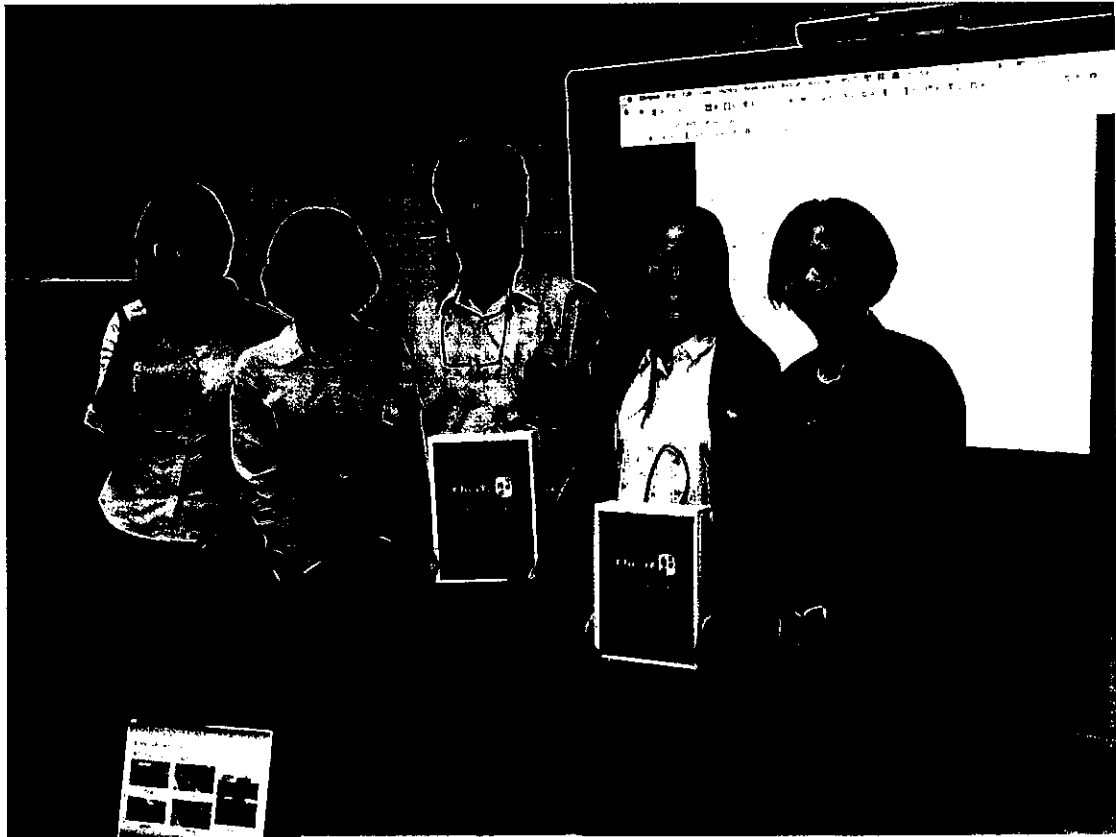


圖 2 拜會畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心 Dr. Gates (中)
Xiong Yi jie 博士生 (右二)

伊利諾環保署將畜牧場依動物飼養頭數區分為集中動物飼養營運單位 (Concentrated Animal Feeding Operation, CAFO) 及動物飼養營運單位 (Animal Feeding Operation, AFO)；將 CAFO 視為點源污染，AFO 視為非點源污染；然而任何來自畜牧管理設施或畜牧廢棄物處理設施的逕流或溢流，皆不得造成水體品質有違於聯邦法規層級之清淨水法 (Clean Water Act, CWA) 與 Title 35 中之規定；一旦畜牧場違反規定，將畜牧糞尿排入水體污染水源，則 CAFO 畜牧場會被罰款並強制申請國家污染物排放系統 (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES) 許可，而 AFO 畜牧場會被罰款、被列為 CAFO 層級管理且強制申請 NPDES 許可。

伊利諾州農業部係以伊利諾州議會於 1996 年 5 月 21 日通過的畜牧管理設施法管理畜牧業，畜牧管理設施法規定 300 動物單位以上的畜舍，需通過畜牧糞尿管理認證課程。

綜觀伊利諾州的畜牧業，所有的畜牧管理設施與畜牧廢棄物處理設施皆有義務具體確認該設施設備，是否受到管制且需要申請國家污染物排放系統許可證 (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)，且遵循 NPDES 許可證適用的時間與地點要求。

(三) 畜牧糞尿管理與農地施用教育訓練

自 1997 年起，伊利諾州立大學推廣中心配合畜牧設施管理法之規定，開立畜牧業經理人培訓課程，每年冬季 1 至 3 月間於伊利諾州各城市開辦講習班，開設畜牧設施及糞尿管理推廣與研究課程單元 (Livestock Facilities and Manure Management)，目前定期開辦兩項課程，包括畜牧業經理人培訓認證及營養鹽管理規劃 (Nutrient Management Planning)，如畜牧業者無暇至現場參與課程時，可改以報名線上培訓 CLM 課程，線上課程則可分為 5 個區段，其中 4 個區段有簡短的 20 個問題測驗，通過問題測驗認證方能生效。

畜牧管理設施法規定超過 300 動物單位（例如 750 頭肥育豬、214 頭乳牛或 300 頭肉牛）的畜舍，每個畜牧場/農場至少需有一人通過畜牧業經理人認證，而 1,000 動物單位以上則必需通過伊利諾州農業部的畜牧業經理人認證的官方測驗（如表 3），由伊利諾州農業部頒發的證書，有效期為三年；動物單位計算方式是以肉牛為基準（倍率為 1），不同動物以不同倍率計算，最後合計判定該畜牧場的適用標準，詳細倍率請參照附錄五。

畜牧業經理人培訓課程的內容講義，除了現行法規說明以外，另包括以濃度較高豬糞尿、乳牛或肉牛的固體墊料及火雞糞料三種來源為肥料，使用於玉米田之氮限制與磷限制情況，以及案例說明，根據該計算式表格、伊利諾農學手冊 (Illinois Agronomy Handbook) 及營養鹽預算參考值 (Nutrient Budget References)，計算施肥量、元素過量與否、施灌成本與獲益，講義列於附錄五。

表 3 畜牧業經理人培訓認證規定

畜舍規模 ^註 (動物單位)	認證要求		
	通過線上 CLM 訓練單元	參加推廣中心 CLM 課程	通過伊利諾州農業部 CLM 測驗
小 (0-299)	鼓勵性質非必須		
中 (300-999)	完成三項的其中一項		
大 (1000+)	完成一項或兩項		必須

註：畜舍規模以設計容量計

資料來源：University of Illinois Extension, <http://web.extension.illinois.edu/lfmm/clmt/>

(四) 農牧媒合平台建置與運作管理

除開辦課程外，推廣中心亦建置畜牧糞尿分享平台 (Manure Share) 並提供肥料施灌業者清單 (Commercial Haulers List)，提供聯絡方式，並依據施灌設備、運輸設備及運輸距離，協助農戶在其所在地區找到可協助提供與施用畜牧糞尿來源。

由於美國一般的畜牧業者自身即擁有農地，平時畜牧糞尿與農地肥料施灌屬自給自足，如有不足則以化學肥料補充。因此，由伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中心所建的農牧媒合平台，成立 15 年，其服務範圍大宗為伊利諾州，少數威斯康辛州與肯塔基州的畜牧場有使用。登記的畜牧業須提供名稱、所在位置 (州、郡)、聯絡方式、動物種類、堆肥與否、使用墊料與否、單位能否負責裝載、運輸、澆灌，以及有無作營養成分分析等資料。

(五) 土壤與沼液沼渣檢驗分析實驗室

此外推廣中心網站上還提供協助農民作畜牧糞尿分析的實驗室清冊，幫助農民了解畜牧糞肥代替商業肥料的價值，依據經驗，使用畜牧糞肥代替商業肥料往往可增加作物產量，但分析肥料內容物含量仍非常重要。網站上所列出的實驗室清單皆已經由明尼蘇達州農業部認證 (如附錄六)，全部都通過檢測總氮與總磷之認證，諸多實驗室也已通過其他檢驗項目如：總鉀、總固體含量、導電度、銅、硫及鋅。

土壤檢測費用通常以套裝組計費，每組費用約美金 8~14 元，新臺幣約 240~420 元，基本套裝的檢測項目包括有機物、可用磷 (Available Phosphorus)、可交換鉀 (Exchangeable Potassium)、鎂、鈣、土壤 pH、緩衝 pH、陽離子交換容量及陽離子元素基準飽和度百分比 (Percent Base Saturation of Cation Elements) 等。

糞肥檢測通常亦以套裝組計費，每組費用約為美金 30~60 元，新臺幣約 900~1,800 元，基本套裝的檢測項目包括水分、固體物含量、總凱氏氮 (TKN)、磷與鉀等，可視需求增加檢測項目。

三、The Parks 公司養豬場設施參訪 (The Parks Companies)

透過伊利諾州立大學畜牧設施及糞尿管理推廣與研究中協助與 The Parks 公司聯繫，The Parks 公司目前在美國 9 州及加拿大 2 省操作畜牧場設施設備，並經營屠宰豬營銷、小豬餵養、運輸與畜舍設計建造施工等業務。

本次參訪 The Parks 公司在伊利諾州丹維爾市 (Danville) 經營一間肉豬畜牧場，畜牧場經理人 David H James 介紹該畜牧場設有兩棟建物（圖 3 向畜牧場經理人 David 請益過程紀錄），每棟建物有兩間畜舍（如圖 5），每間畜舍有 18 欄 (pens) (如圖 6)，每欄可飼養 150~175 頭，共計每間畜舍可飼養 2,400~2,500 頭，該畜牧場之最大飼養量為 8,400 頭。

該畜牧場是 2017 年 9 月啟用之新設畜牧場，包括周邊道路、發電機及井等建造費用，建造成本約為 2 千 2 百萬美金，以原畜舍使用 30 年為設計目標（一般畜舍大約 15-20 年必須翻修一次），全畜舍皆以電腦操控（如圖 7），包括風扇、捲簾、水霧、暖氣、飼料、飲水，畜牧場管理人以面板進行參數操控、溫度監控，一旦發生異常會以警報通知，另在畜舍內部設有手動裝置（如圖 8），手動調整可覆寫電腦控制的參數。因此，畜牧場管理人力僅需雇用兩名雇員管理鄰近 2 處相同規模畜牧場，每場每日花約 3-4 小時管理，將小豬（圖 12）飼養至成豬（約 130 公斤）及維護管理，僅在小豬時期與成豬出清時，需要額外的人力幫忙，1 年 2 輪。

畜牧場經理人 David 帶我們進入豬舍內，介紹畜舍內採用的飼料台與飲水器（如圖 13），每欄皆有飲水器的飼料台與獨立設置飲水器（如圖 14），供小豬自由使用，畜牧場內部為負壓式豬舍，於畜舍兩面裝設卷簾調整進風量（如圖 9）並以大型風扇抽風（如圖 10），來控制豬舍內部溫度；冬天時會燃燒天然氣從屋頂處加熱畜舍溫度（如圖 9）。當天氣太熱時，會利用圖 10 的紅圈水霧噴頭降溫畜舍，而圖 10 黃圈的清潔劑噴頭則是在該區的成豬全數出清後，全面噴灑清潔劑消毒用。

畜舍的尺寸為 91 公尺長及 30.7 公尺寬，屬高床式設計（如圖 6），以畜舍底部的儲存池重力收集畜牧糞尿，儲存池設計為可容納一年份糞尿的容量，約 150 萬加侖（約等於 567.8 萬公升）。畜牧場經理人 David 告訴我們，高床式畜舍型式係依法規規定設計施作，政府部門-自然資源保護局在整建過程會進行檢查是否依規定設置。儲存池中的畜牧糞尿每年會施灌一次，畜牧糞肥的量大約是 8,000 頭小豬飼養至成豬產生的量，約可施灌於 500 英畝（約 200 公頃）的玉米田，會免費提供給鄰近農地施灌之用，由農夫自行從畜舍外糞肥儲存池的上蓋開口接管取用，抽取時，上蓋的扇形及管狀部分可拆除，留下白色方型底座以便抽取，如圖 15。此外，由於畜牧糞尿將作為農地肥分使用，其成分受飼料成分影響，畜牧場經理人亦提供小豬的飼料配方供我國參考（如圖 11）。

畜牧場經理人 David 表示因為此一畜牧場為新設畜牧場，一般在小豬進駐前，會先在儲存池內灌注 15~20 公分深的清水，當小豬產生糞尿掉落時，會沉入水底，與馬桶水封的作法雷同，如此可降低糞尿儲存的臭味，參訪時可見畜牧場



圖 3 向畜牧場經理人 David 請益過程紀錄



圖 4 與 David H James 及 Yi jie, Xiong (由左至右) 等人合影

正在裝清水，如圖 16。

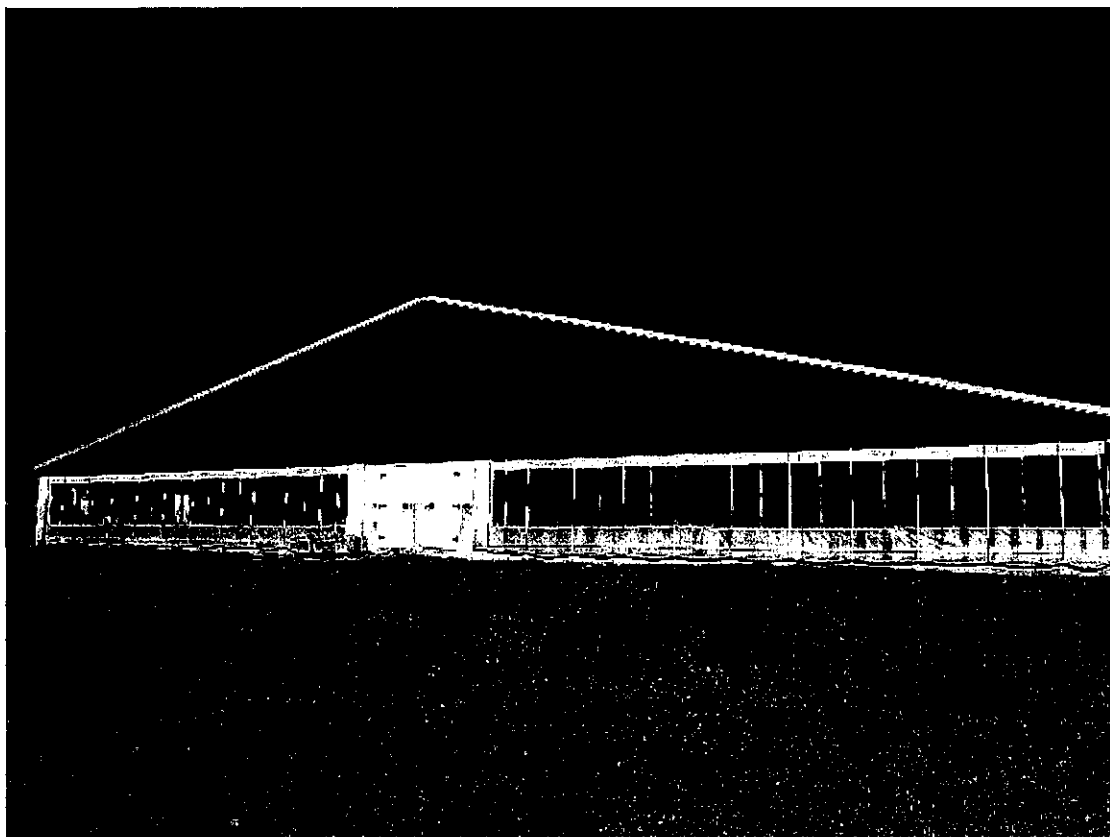


圖 5 The Parks 公司畜牧場外觀

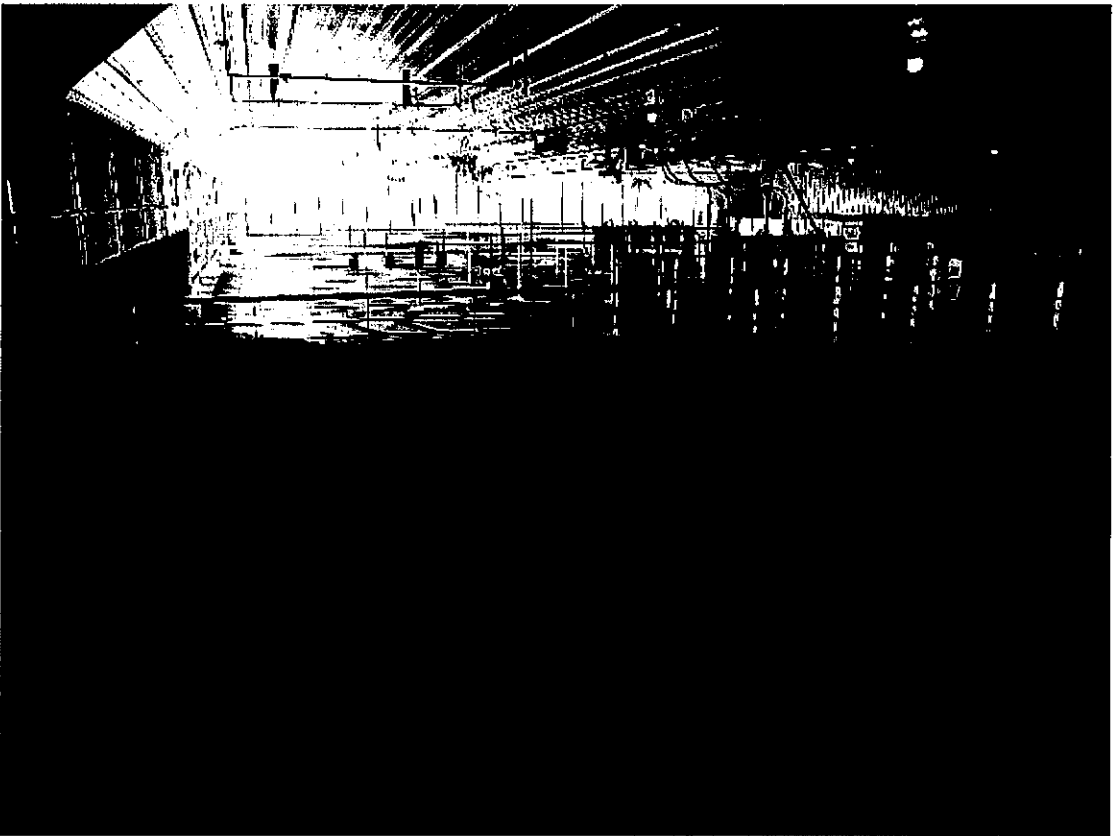
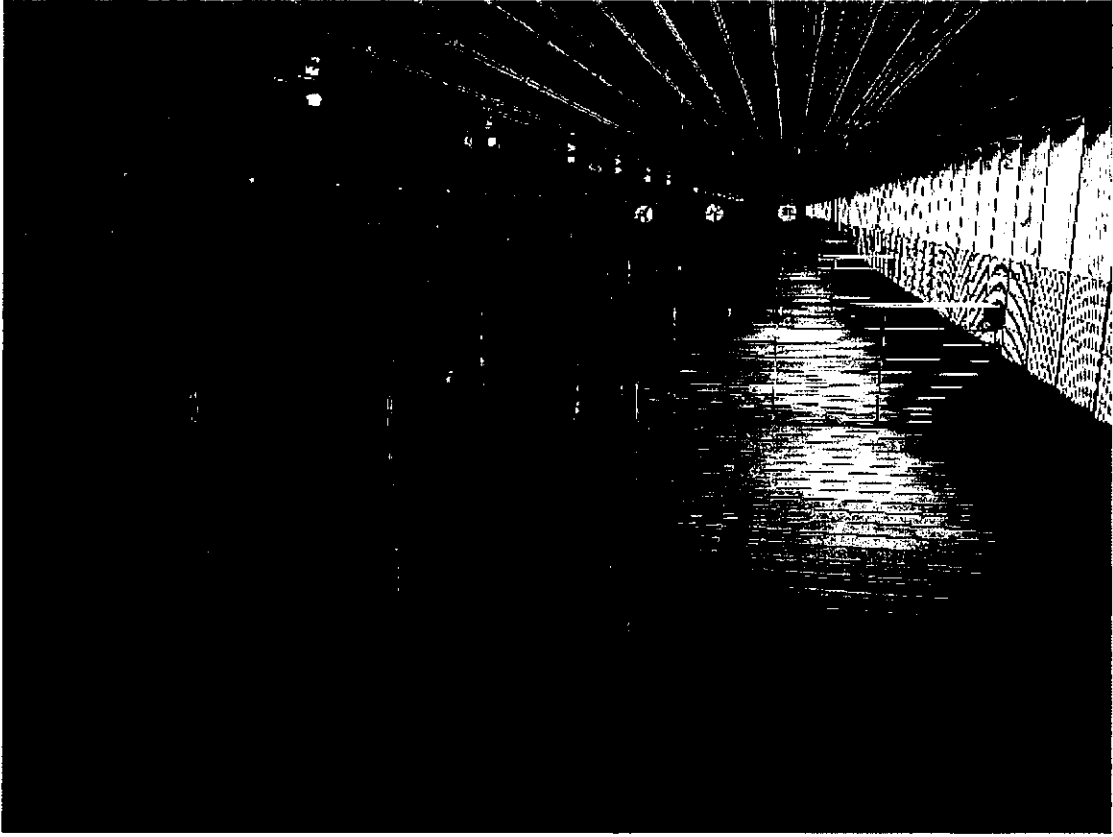


圖 6 The Parks 公司畜牧場內部-長條型高床式設計

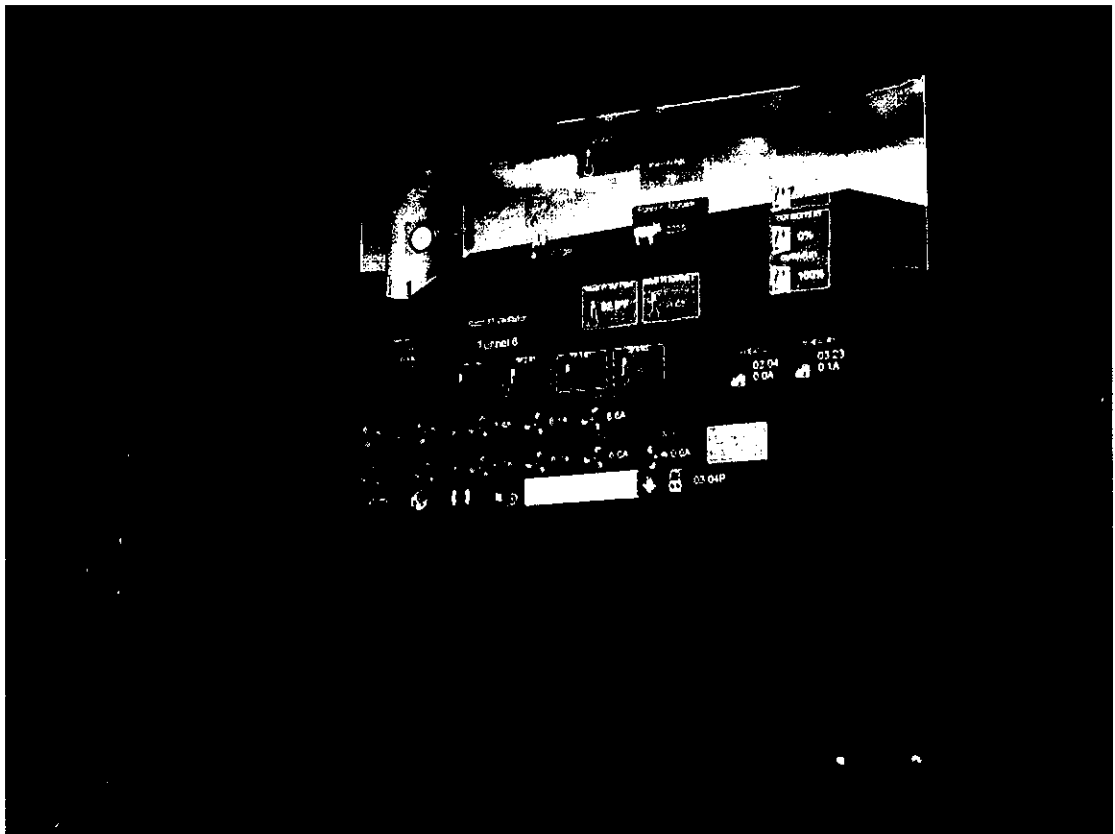
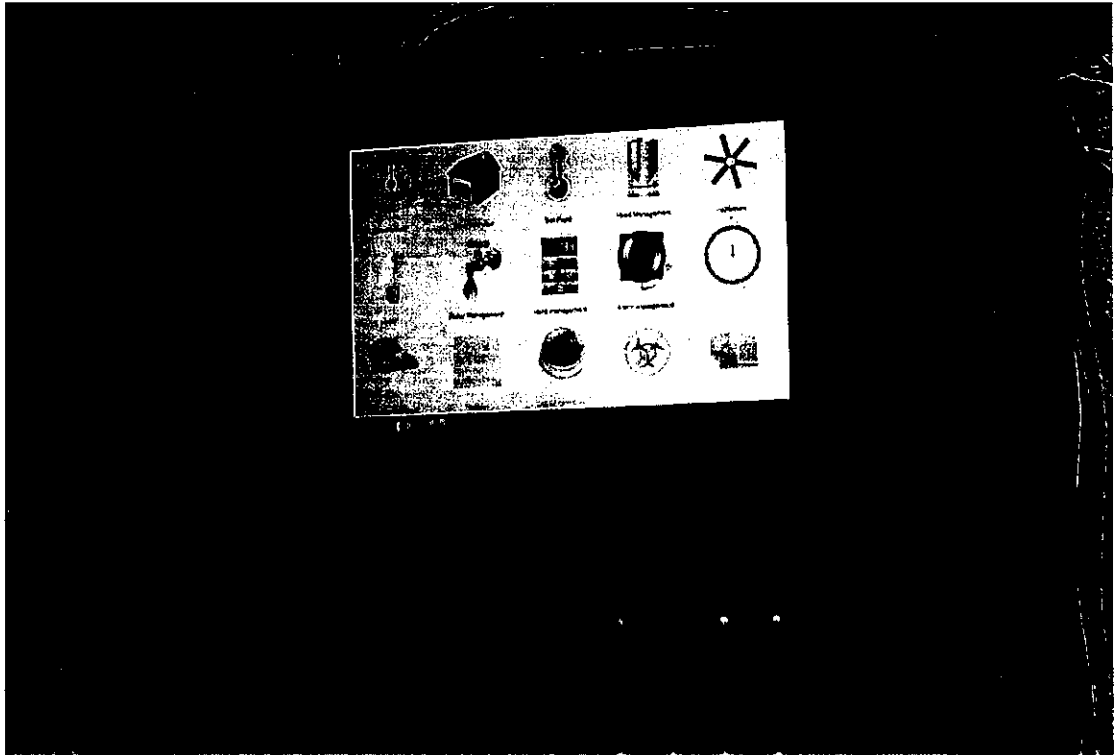


圖 7 The Parks 公司養豬場電腦控制系統



圖 8 畜舍內可手動操作風扇、暖氣與水霧



圖 9 天然氣加熱器（左）、窗戶上的捲簾（右）

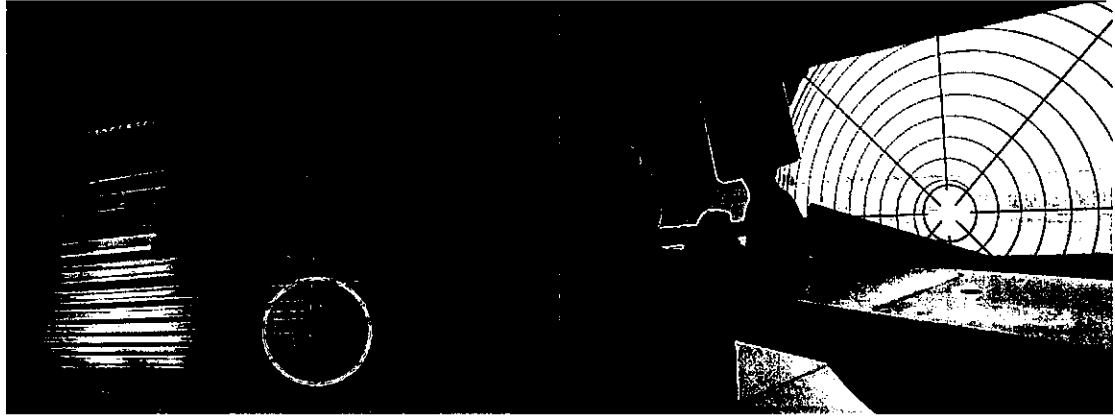


圖 10 水霧噴頭（紅圈）、清潔劑噴頭（黃圈）與大型風扇



圖 11 飼料儲存桶與飼料配方



圖 12 The Parks 公司飼養的小豬



圖 13 畜牧場經理人 David 介紹飼料台與飲水器

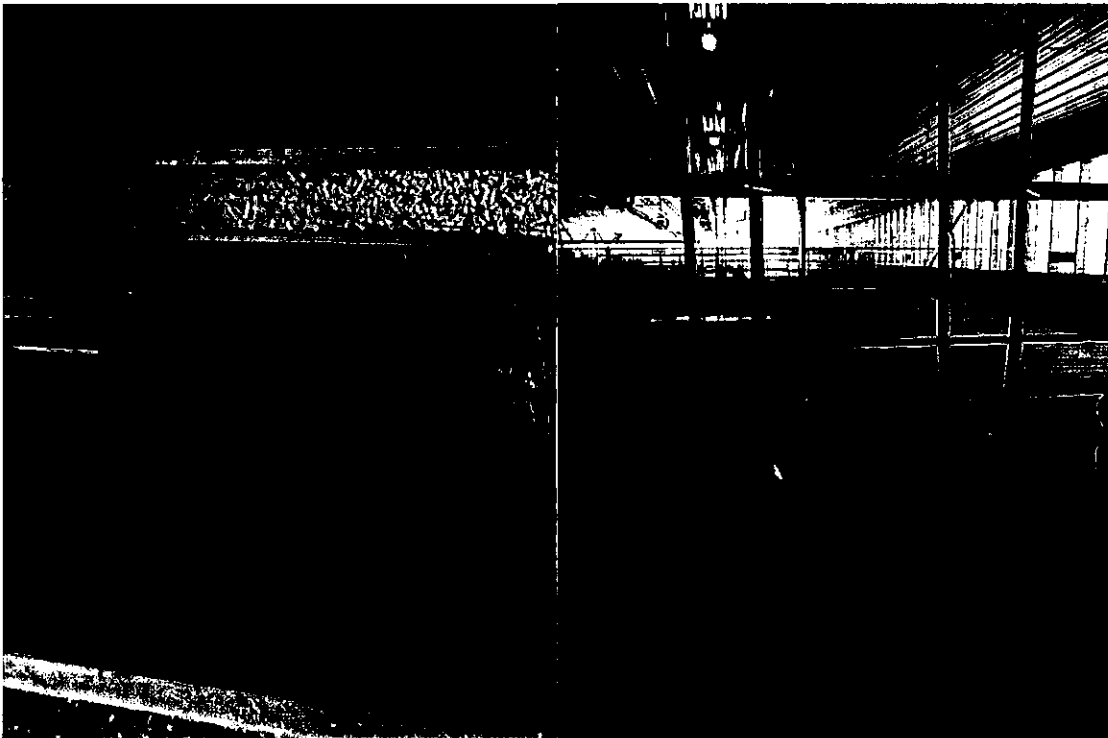


圖 14 畜舍每欄皆有飲水器的飼料台與獨立設置飲水器



圖 15 糞肥儲存池的上蓋開口為施灌抽取處



圖 16 儲存池預裝 15 公分深清水

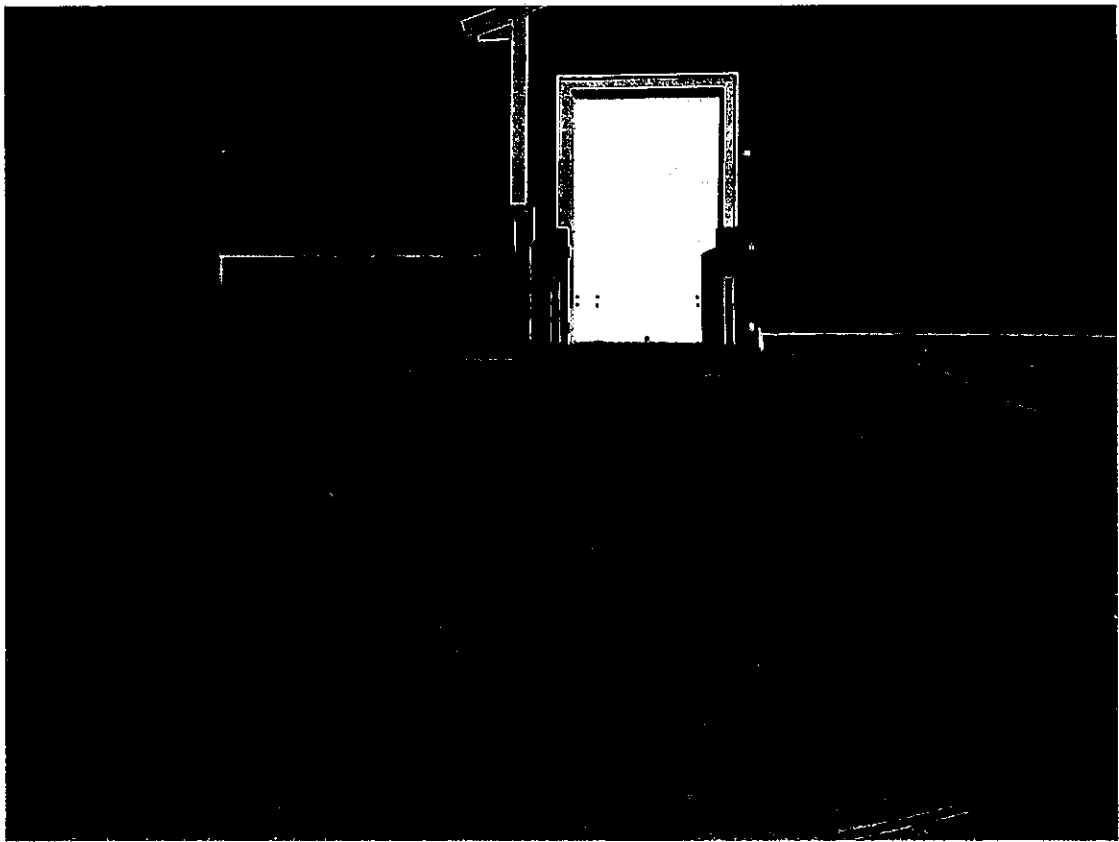
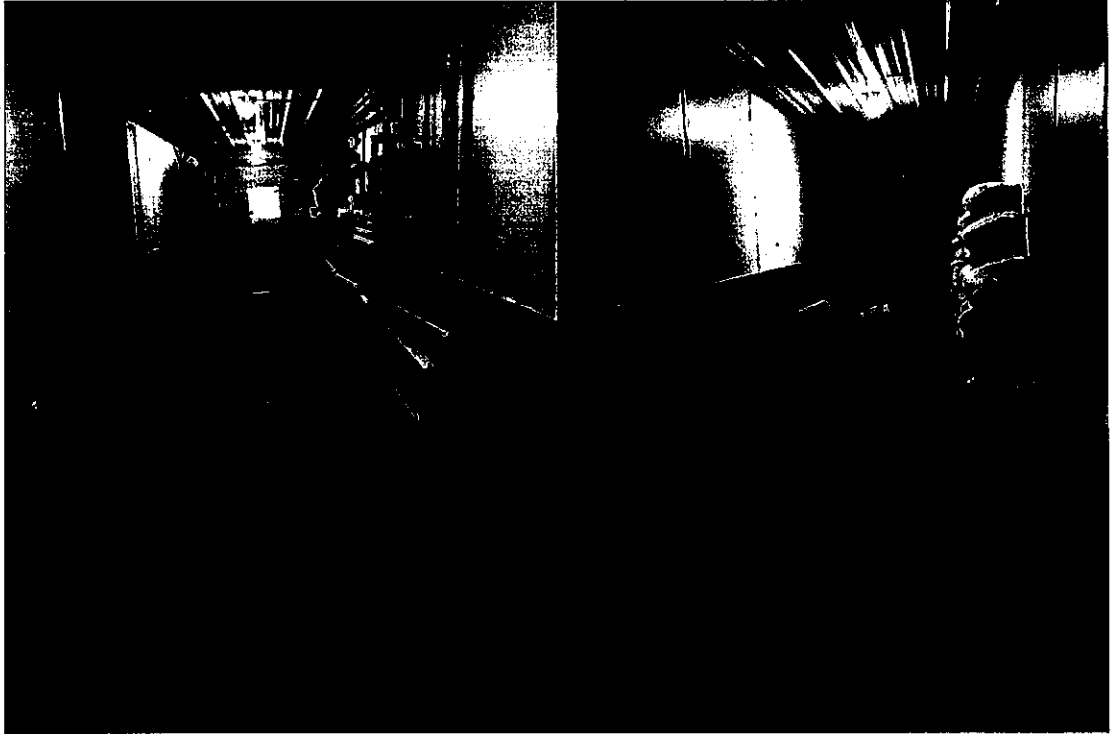


圖 17 趕豬通道（上）與卡車載豬的車道（下）

四、Sievers 家庭農場 (Sievers Family Farm)

(一) 單位簡介

本次參訪以美國農業之星推動計畫與畜牧糞尿資源再利用為主軸，美國農業之星計畫彙整全美設有厭氧消化槽的畜牧場相關資訊，故選定參與者 AgriReNew, Sievers Family Farms 為參訪單位；Sievers 家庭農場位於愛荷華州思科特郡 (Scott County)，農場主人 Bryan Sievers 身兼 AgriReNew 經理，農場設有厭氧消化槽、沼液沼渣儲存設施、分離固體物與生質物的儲存設施。

美國農業之星計畫登載 Sievers 家庭農場，投入的牛隻頭數為 4,890 隻，由有機廢棄物系統公司 (Organic Waste Systems (OWS), Inc.) 設計與建造厭氧消化槽，估計沼氣產生量為 425,392 ft³/day (12,000 m³/day)，沼氣最終應用為電力，係回售給州際電力公司 (Alliant Energy, Inc.)，減少甲烷排放量為 15,413 公噸 CO₂e/yr.，透過現地訪查，茲將參訪所得資訊彙整如后。

Sievers 家庭農場透過設置完全混合式厭氧消化槽，處理牛糞尿、火雞肉、豬肉、雞肉及其他食品加工廠廢棄物與生質物（作物殘留物），回收農場營養鹽、生質物以及其他碳基物質，以及發電與控制臭味。

Sievers 家庭農場，農場主人 Bryan 致力於減少碳足跡等環境議題，2011 年擴建 2 間飼養頭數可達 1,200 頭牛隻的牛舍（如圖 19），並於 2013 年建置兩座厭氧消化槽，目前共飼養 2400 頭牛，畜牧場場地面積最大可允許飼養量為 4,888 頭牛，未來可再擴建兩間牛舍。

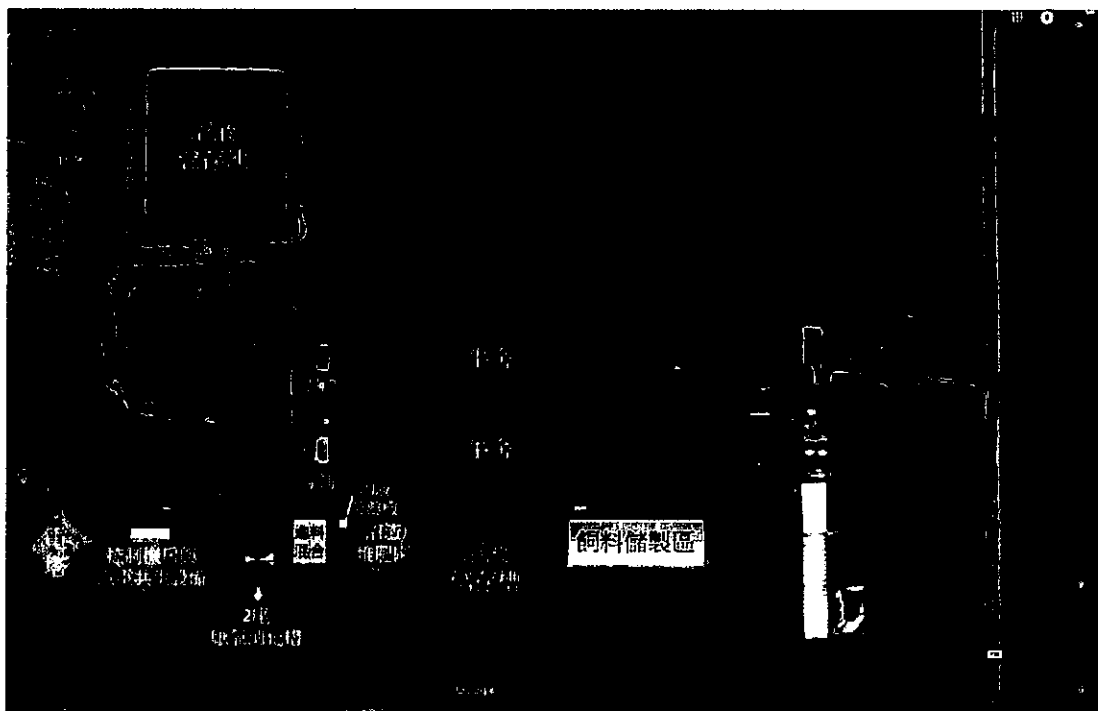


圖 18 Sievers 家庭農場之設施設備配置圖



資料來源：資料來源：Recycling Farm Nutrients for Energy Generation, AgriReNew

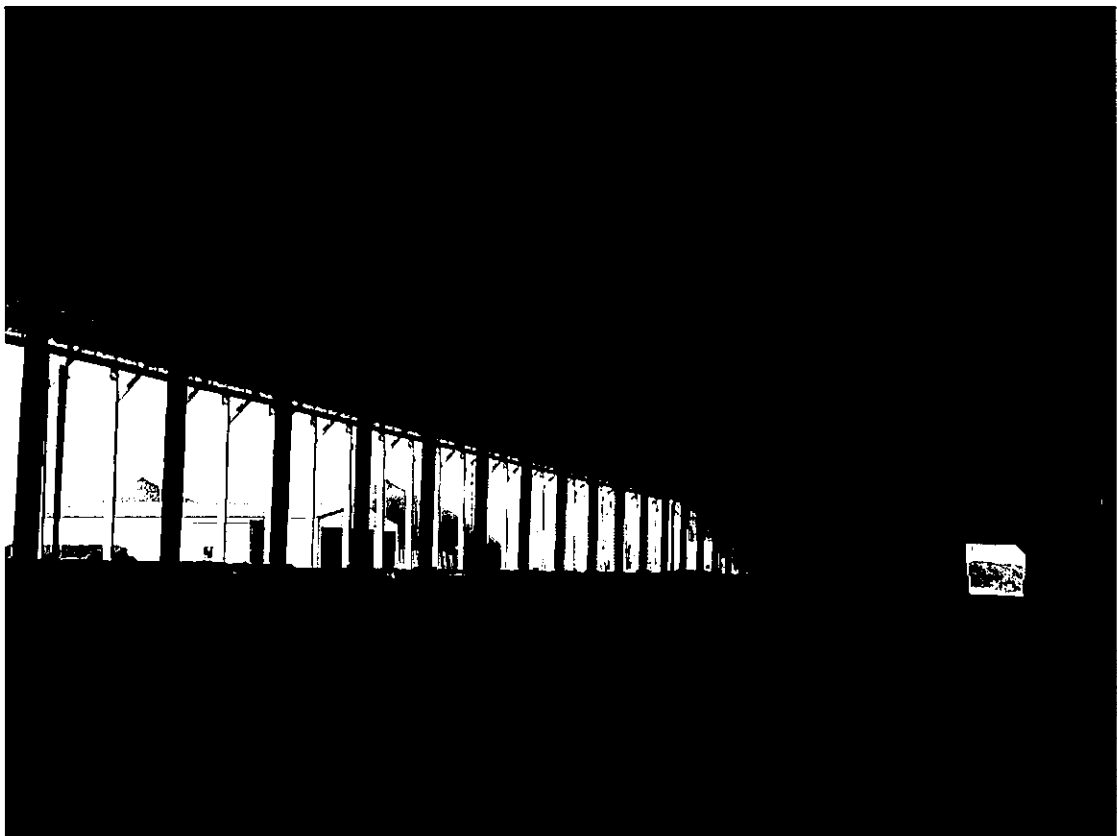


圖 19 Sievers 家庭農場飼養 1200 頭牛隻的牛舍

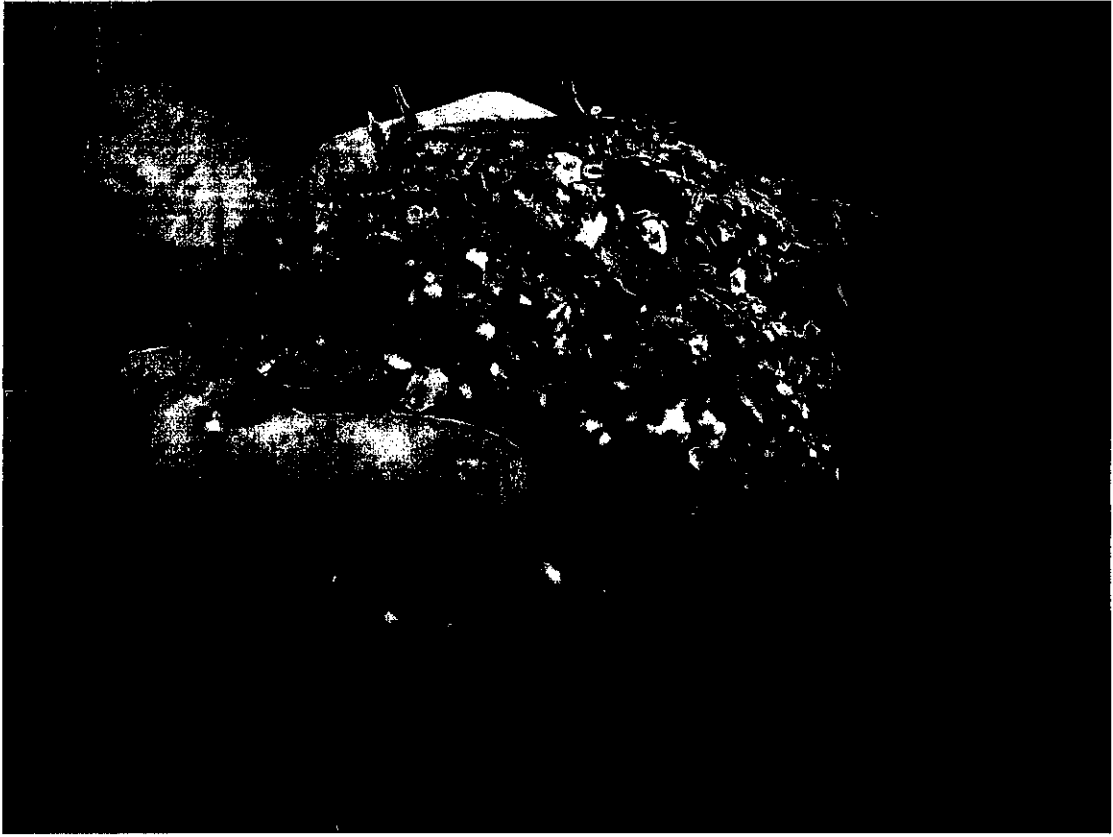


圖 20 牛隻飼料配方

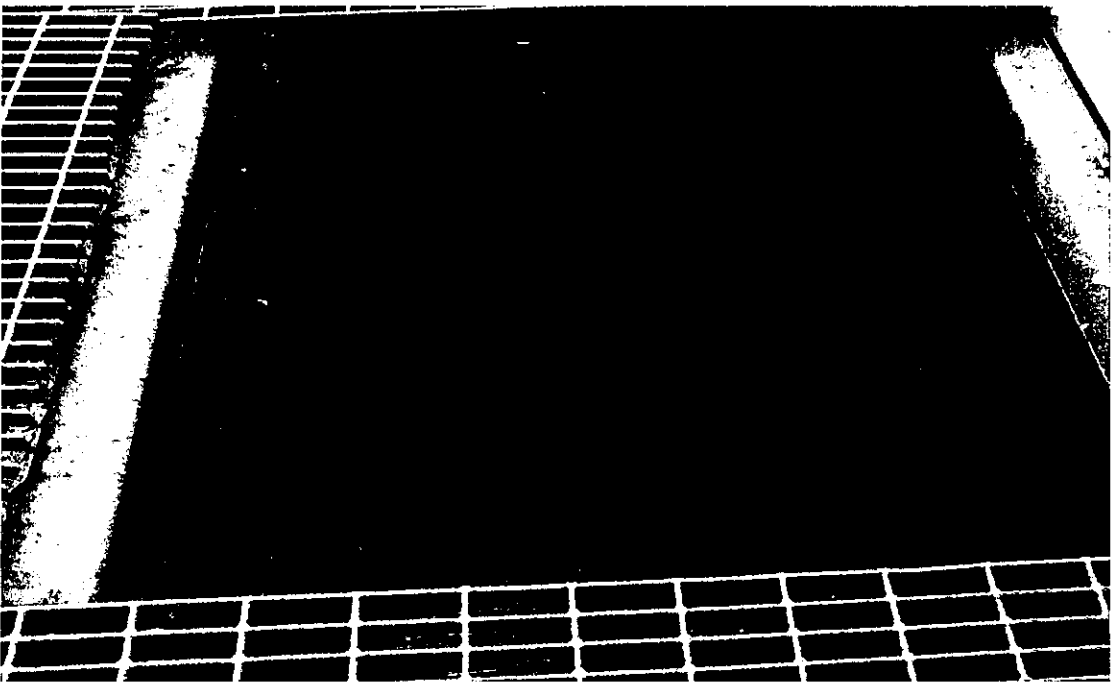


圖 21 24 小時運作的自動糞便刮板



圖 22 農場主人展示牛隻飼料，背景建物為牛糞尿暫存池

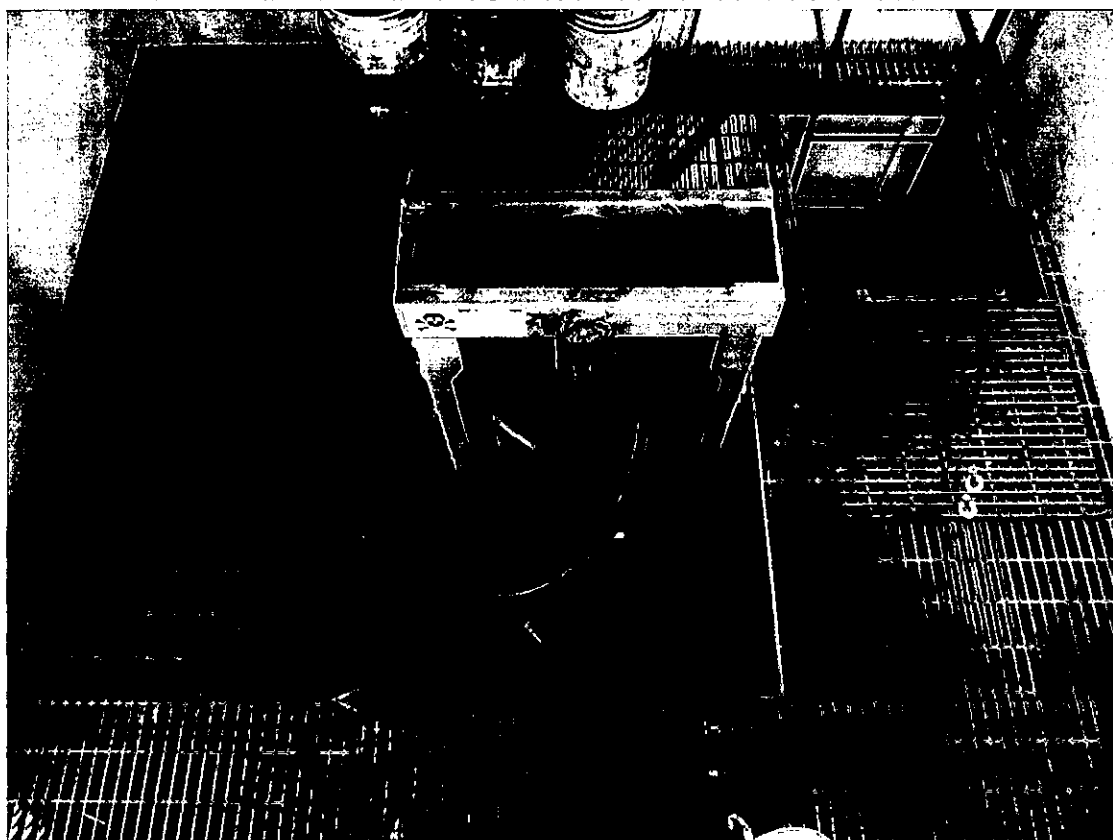


圖 23 加壓泵浦站

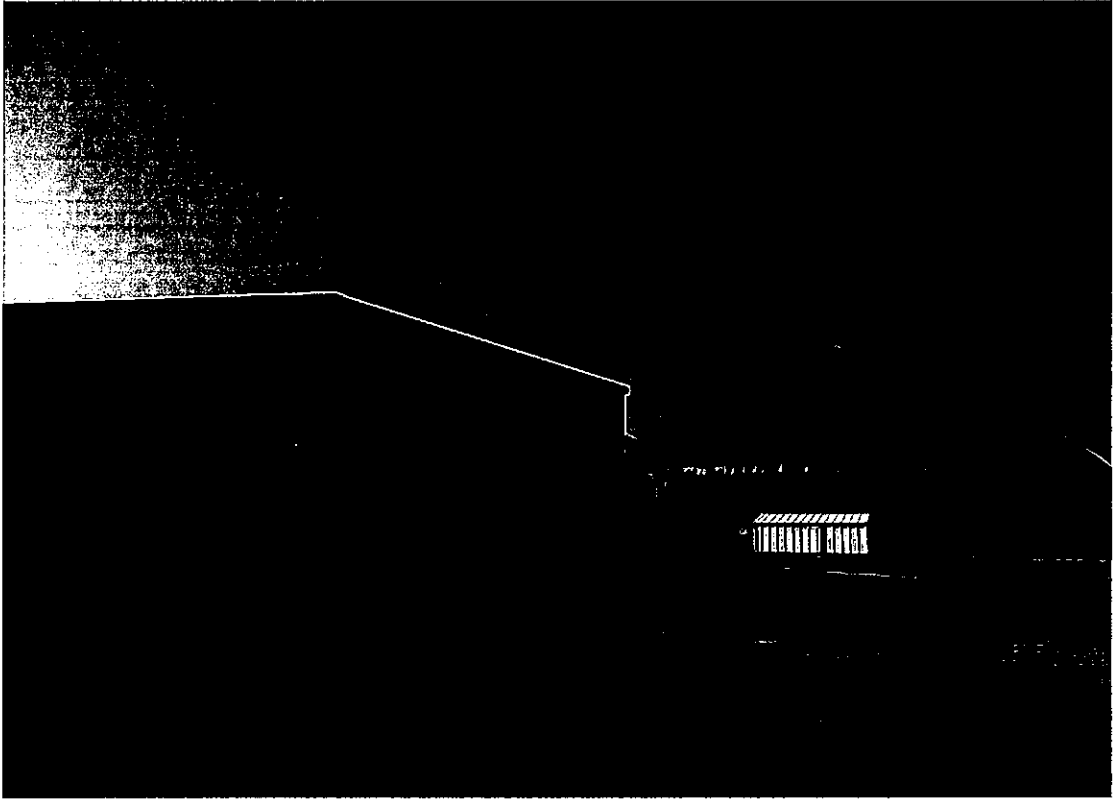


圖 24 牛糞尿先泵送至混合池再輸送至厭氧消化槽

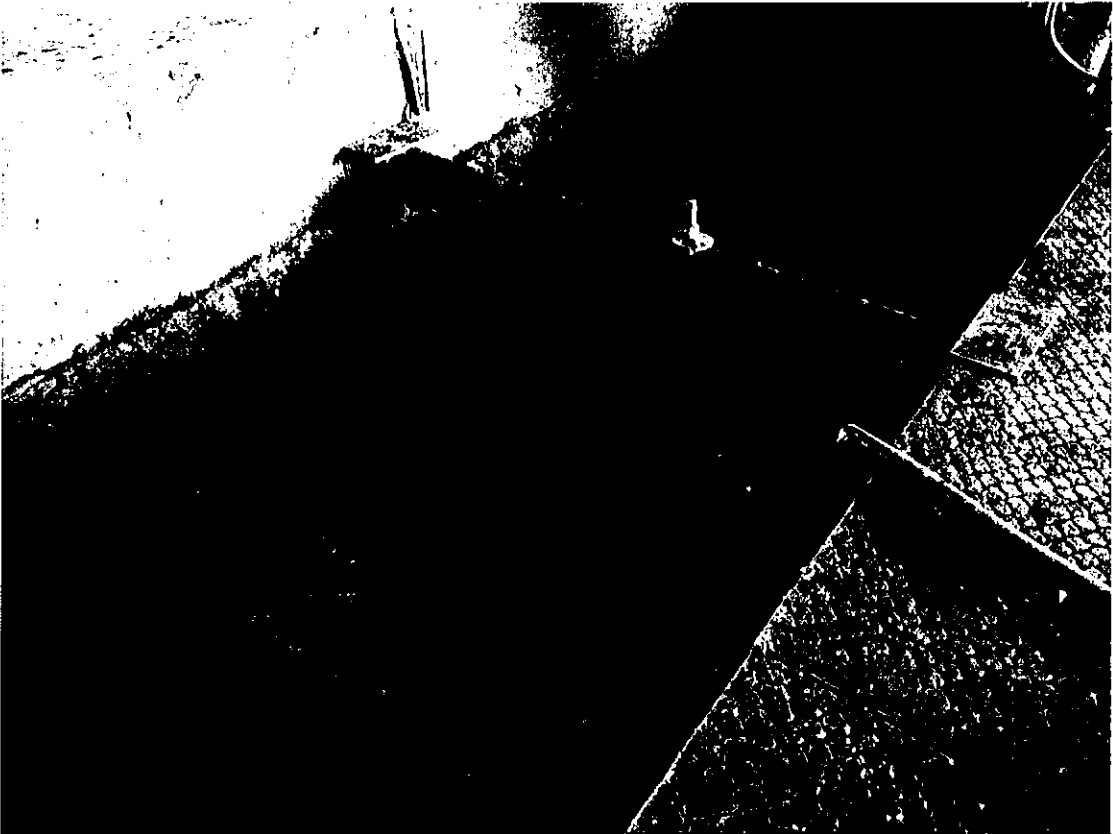


圖 25 混合槽將牛糞尿與其他廢棄物混合



圖 26 厭氧消化槽

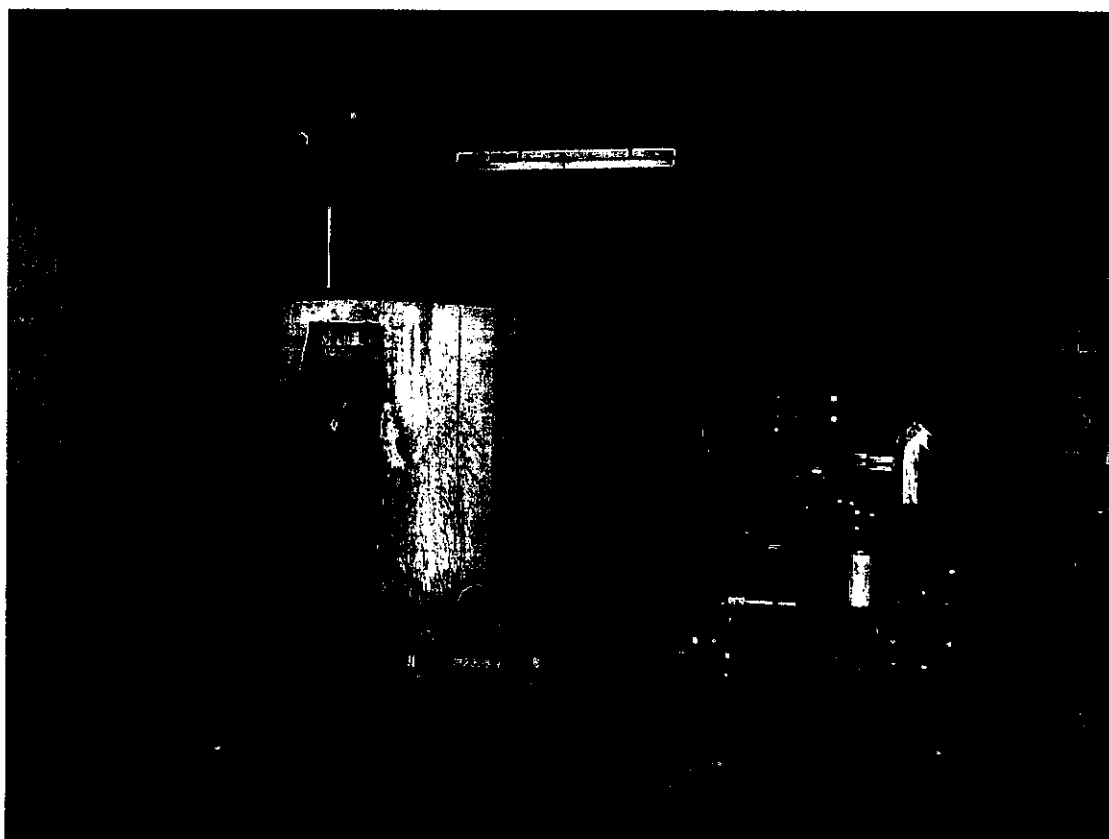
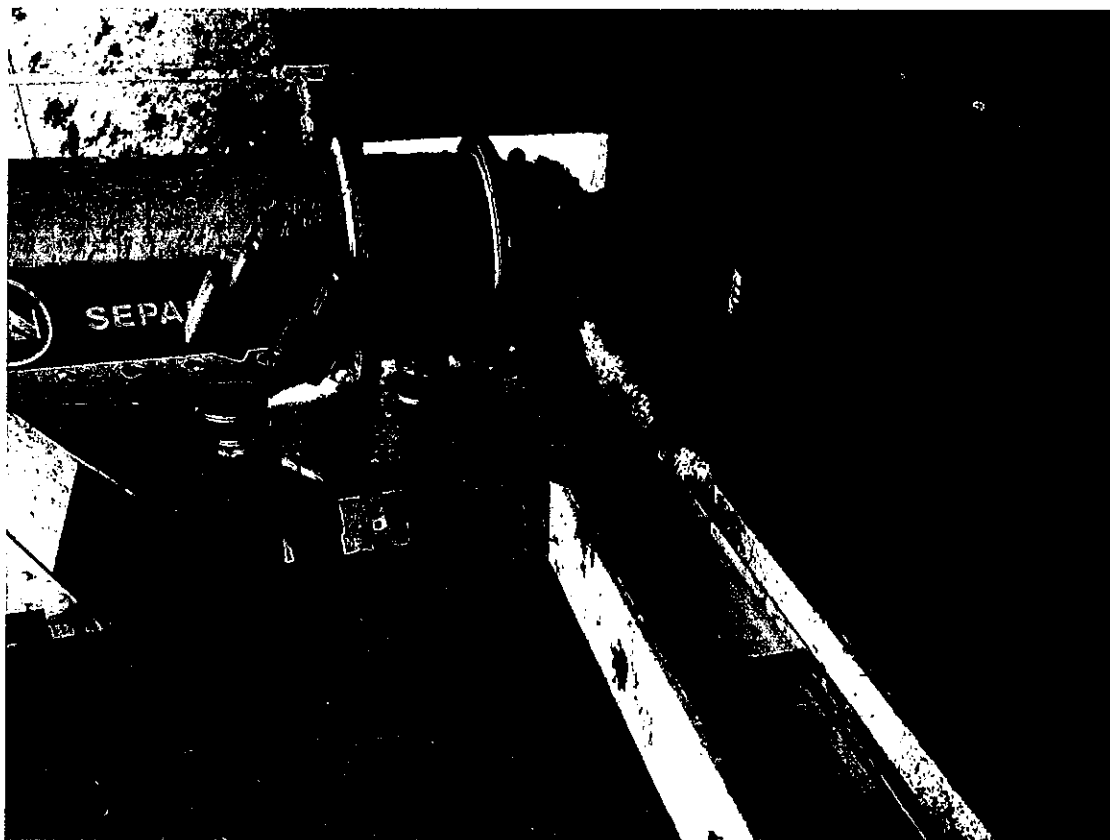


圖 27 固液分離機（上）沼液暫存槽（下）



圖 28 沼渣空地堆肥處

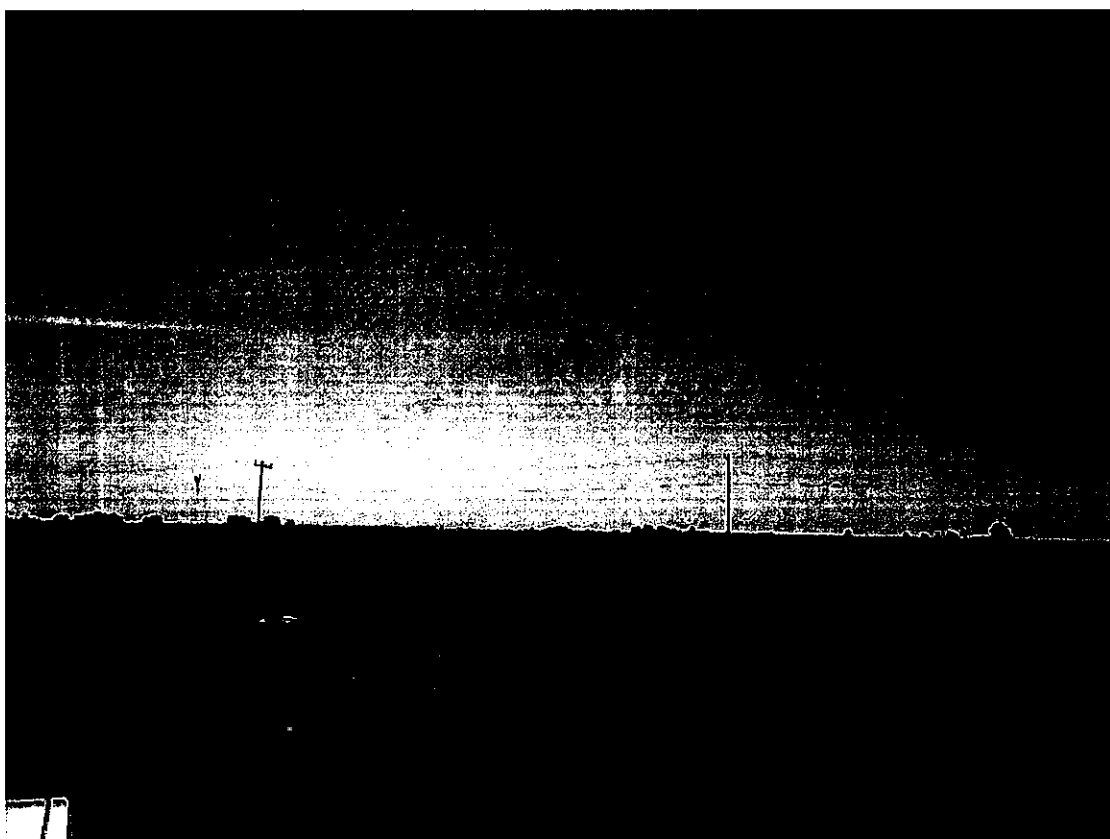


圖 29 沼液儲存池

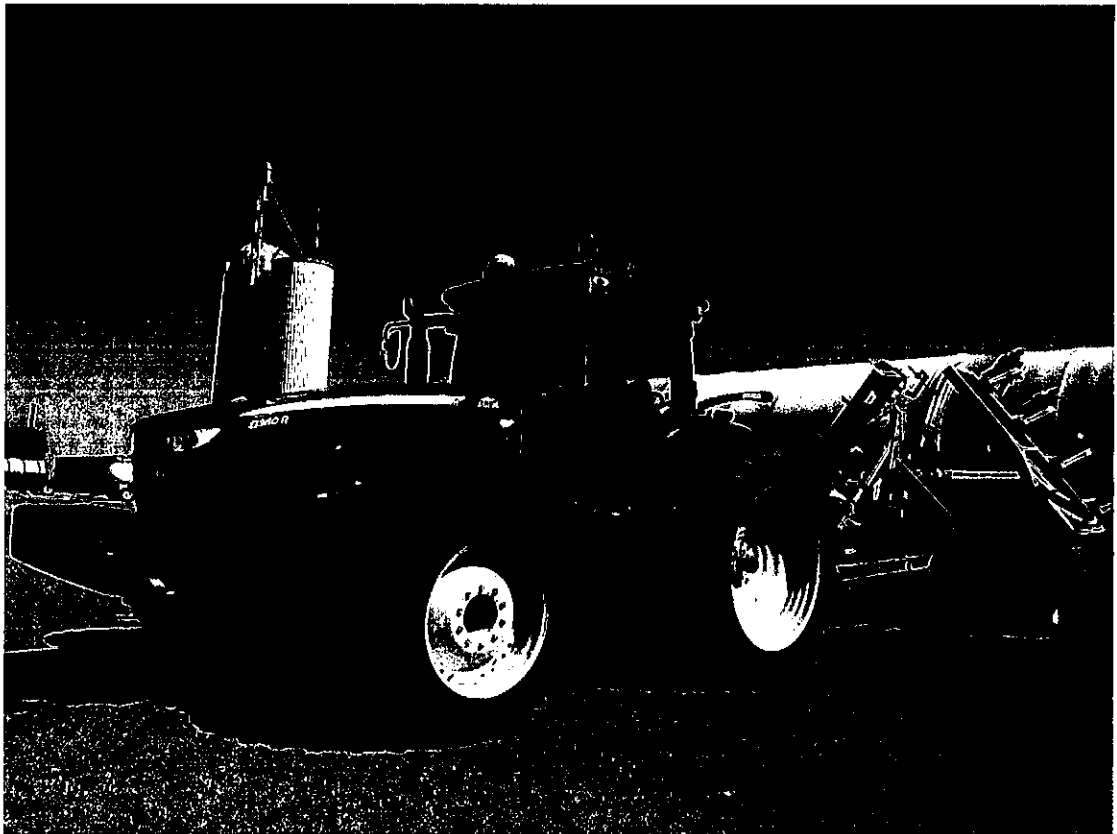


圖 30 沼液農地牽引軟管施灌車



圖 31 汽電共生發電機組

五、Cinnamon Ridge 農場 (Cinnamon Ridge Farms)

(一) 單位簡介

Cinnamon Ridge 農場位於愛荷華州 Scott 郡 (如圖 32)，於 1840 年開始經營，由農場夫婦 John Maxwell 與 Joan Maxwell 共同營運，John Maxwell 曾於 1998 年獲得傑出農業青年，夫妻兩人於 2017 年榮獲愛荷華州農場環境領導獎 (Iowa Farm Environmental Leader Awards) (如圖 33)，父親曾擔任美國豬肉生產者協會 (National Pork Producers Council, NPPC) 會長。

農場擁有 4,000 英畝 (約 1,600 公頃) 的作物耕地，輪作方式種植玉米及黃豆，完全使用大型農業機具進行機械化耕種及收穫，僅須農場男女主人及 2 名僱工負責種植及收割相關工作。

該農場為一綜合式農場，其範圍內有養豬場、乳牛場、肉牛場、山羊場、肉雞場及自助商店 (供應農場所生產之生鮮雞蛋、屠宰冷藏之豬肉與牛肉，以及自家所製之派、甜點或手工織品等)，每年約有 2,500~3,000 位國外訪客與 2,000~3,000 本國遊客造訪 Cinnamon Ridge 農場。

(二) 畜舍豬隻與牛隻、糞肥收集與儲糞作法

1. 畜舍牛隻概述

農場飼養 1,000 隻紐澤西牛，包括 100 頭肉牛、200 頭配種牛、250 頭犢牛 (如圖 40) 與 250 頭乳牛，每隻乳牛可產 32-34 公升的牛奶 (如圖 35)，年平均產量 23,000 磅牛奶 (約為 10,500 公升)，為美國第七大紐澤西牛奶產地。

2. 牛隻畜牧糞尿收集儲糞與施灌頻率

養牛畜舍內設有糞便刮板 (如圖 36)，每小時自動運轉刮除一次，墊料上的糞便以人工清理，所有的糞便會收集至畜舍尾端的儲存池 (如圖 37)，再順流排至戶外的儲存池 (如圖 38)，牛隻的畜牧糞尿固體物濃度約為 30%，於每年的春季與秋季各施灌一次，即每年施灌兩次。

3. 畜舍豬隻概述

此外，農場內有 2 豬場，年產約 10,000 頭豬，採契約式經營管理，均為飼養 2,400 頭規模之密閉溫控肉豬舍，每欄飼有 20-25 頭豬隻。該等豬場飼養經營方式，與 The Parks Companies 運作方式相似，係購入離乳仔豬，育成為肉豬後交契約屠宰或肉品加工公司，飼養時間約 5.5 個月，上市前體重約 127 公斤。

4. 豬隻畜牧糞尿收集儲糞與施灌頻率

養豬畜舍是糞池式設計，設施採用高床式 (如圖 41)，建置成本約 60 萬美元，豬糞尿為重力自然落入糞池，平時不清糞池，採自然發酵方式，每年僅於 10 月份施灌 1 次，早期是以機械車輛吸取豬舍條狀地板下之豬糞尿並運送至鄰近之玉米田施灌 (如圖 42)，現

在大多以牽引軟管抽取豬糞尿至附近玉米田施灌（如圖 43 與圖 44）。

（三）糞肥處理計畫

農場主人 John 表示，於美國養豬必須有自場糞肥處理計畫 (Manure Manage Plan)，並送愛荷華州自然資源部審核通過，此規定與伊利諾州推廣中心參訪說明相符。

由於美國化學性氮肥價格約為動物糞便 2 倍，故一般農場內畜牧場所產生之糞肥不作買賣，多作為自家農地使用之肥料，若仍有不足，再購入化學性氮肥補足。

然而，農場主人 John 表示在美國有 85% 的農夫不使用畜牧糞尿做為農地肥料，而是使用化學肥料，僅有 15% 的農夫有使用糞肥，其原因有三：

1. 部分農地與城市距離過近，有臭味疑慮不適用，各「郡」規定不同。
2. 農夫的年齡層老化，無法操作與計算畜牧糞肥使用量。
3. 農地大小與畜牧場家數比例差距大，畜牧場產出之糞肥不足讓所有農地使用。

此外，農場主人 John 說明，以畜牧業的角度而言，厭氧消化槽與沼液沼渣侷限在少數農家，是由於操作費用太高，而政府並無提供相關的幫忙與補助。此點與 Sievers 家庭農場的說法大相逕庭，據了解，政府有提供相關補助來發展厭氧消化及沼氣發電。

（四）糞肥施灌量、作法及農地面積

農場主人 John 表示在耕種作物前，會先在土地進行土壤採樣進行養分及氮肥測試，土壤採樣點為平均分布在整片農地，每一英畝採一點，土壤檢測項目包括有機物 (Organic Matter, OM)、磷、鉀、鎂、鈣、鈉、酸鹼值、緩衝酸鹼值與陽離子交換容量 (Cation Exchange Capacity, CEC) 如附錄十一、十二。由此可見，Cinnamon Ridge 農場是以科學化的方式管理農地的營養鹽，提供足量但不過量的畜牧糞尿。

以玉米而言，pH 6.5 為最適當的土壤酸鹼值，並調查降雨量，依據作物特性與土壤檢測結果，訂定施肥與播種計畫，亦搭配不耕犁方式 (No-tillage)，減少土壤過度使用及養分流失。

Cinnamon Ridge 農場有與美國農業部自然資源保育署 (NRCS) 合作，以當地價格將土地租賃給政府，在鄰近河川水體的土地上種植覆蓋型作物 (Cover Crops)，覆蓋作物可幫助淨化逕流水，作為畜牧糞尿施灌的緩衝區；惟農場主人 John 向我們說明美國自然資源保育署著重於土壤保護與地表逕流，並不管理畜牧糞尿施灌。

（五）土壤及地下水檢測頻率

Cinnamon Ridge 農場所在地區使用地下水，用途包括人和動物飲水用，農場內的民井井深為 100 公尺，因地下水井深、水位深，且農場採

用科學化方式計算營養鹽需求與施灌量，較無氮氮污染之虞，地下水檢測頻率為每年一次；而土壤檢測部分則是將農地分區輪流檢驗，以同一塊土地而言，土壤檢測是每四年作一次，會在施灌畜牧糞尿之前採樣。



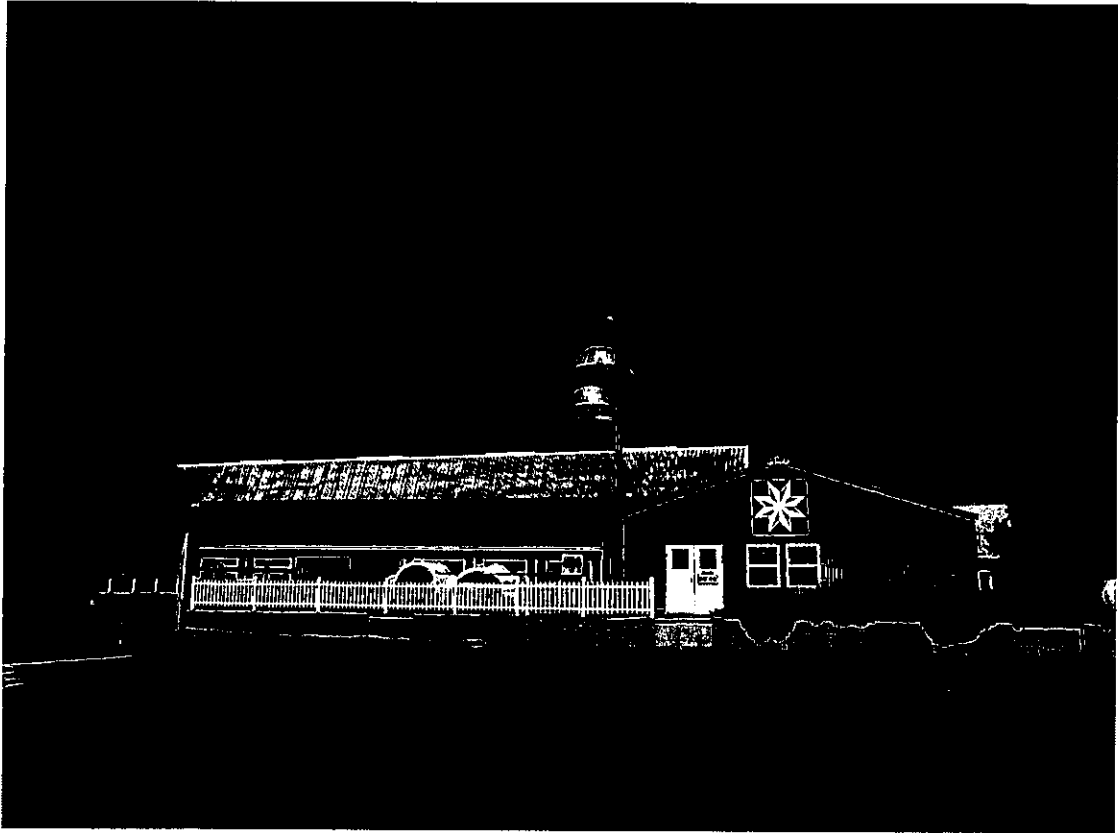


圖 32 Cinnamon Ridge 農場外觀



圖 33 美國 NRCS 頒發環境領導獎給 Cinnamon Ridge 農場



圖 34 拜訪 Cinnamon Ridge 農場，農場主人 John Maxwell (中)



圖 35 乳牛牛舍與擠乳設備



圖 36 養牛場刮糞設備



圖 37 刮糞設備方向控制器（左）及暫存池（右）

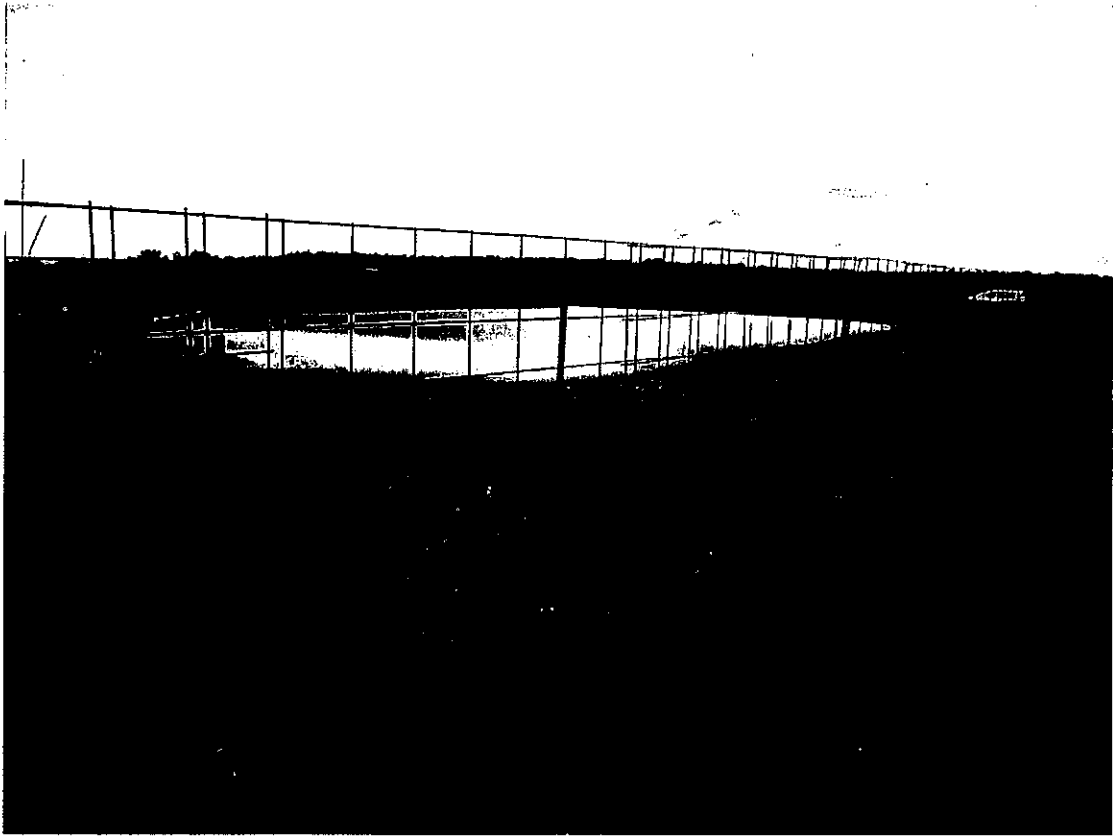


圖 38 養牛場畜牧糞尿儲存池

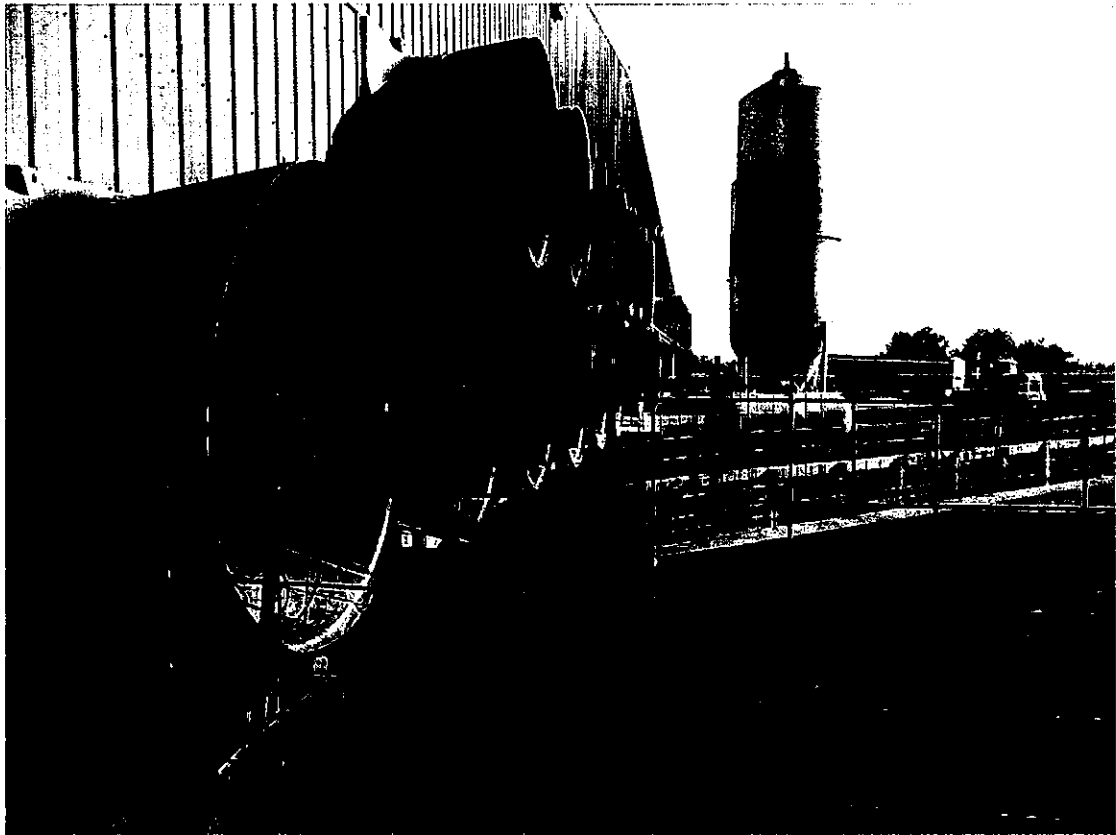


圖 39 養牛場的通風設備與飼料桶



圖 40 犢牛牛舍內部情形與牛隻飼料



圖 41 養豬場內部高床式設計

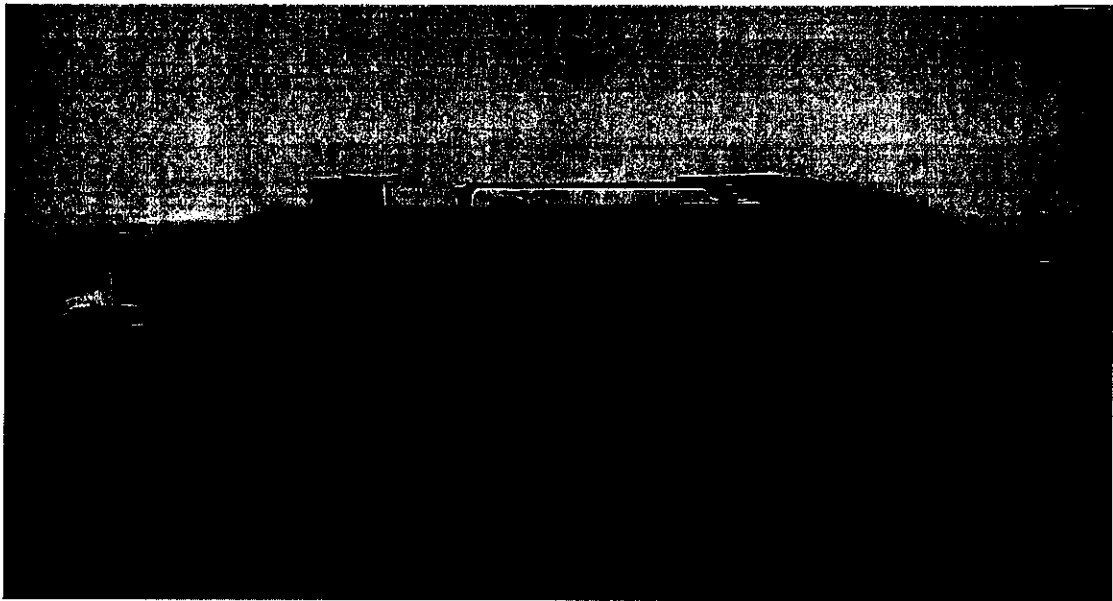


圖 42 糞肥施灌方式—早期槽車

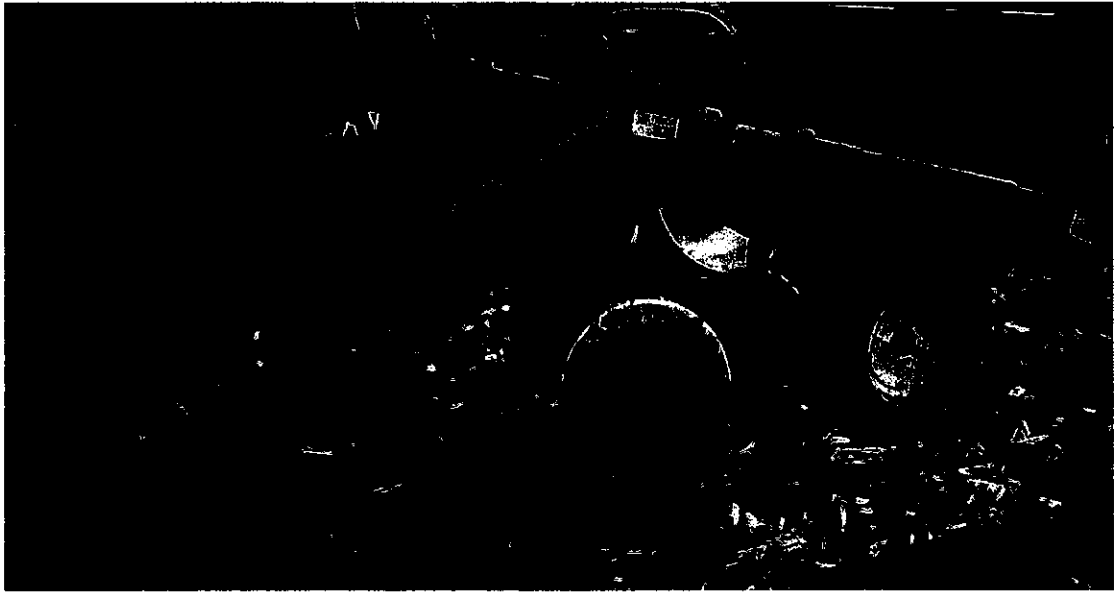


圖 43 糞肥施灌方式—現行牽引軟管注入式

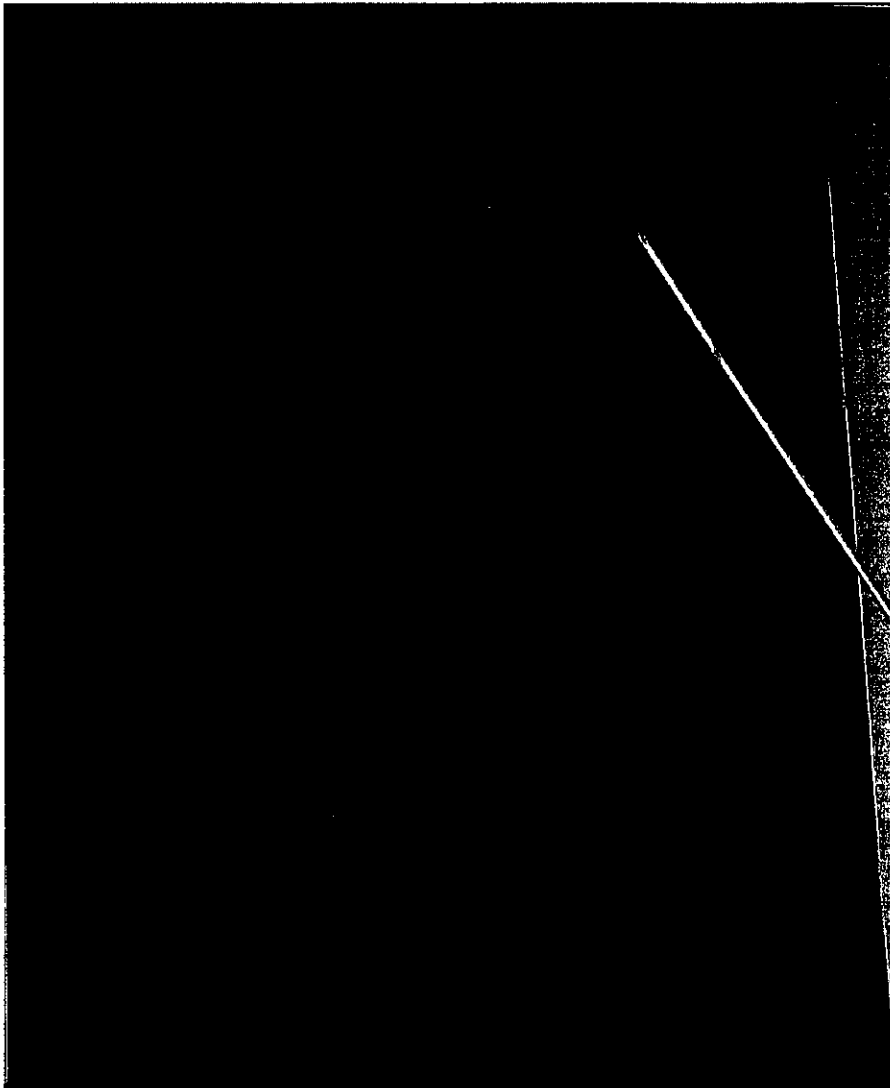


圖 44 以牽引軟管抽取畜牧糞尿施灌

伍、結論與心得建議

- (一) 美國伊利諾州係由農業部管理畜牧業營運，環保署負責防止畜牧糞尿排放污染水體、定期稽查與機動稽查，其部會分工與我國相近；此外畜牧業者須提交畜牧糞尿使用計畫書，據以施灌並紀錄，農業部會定期追蹤紀錄，闕漏者加以罰則，我國亦要求畜牧業者提交沼液沼渣農地肥分使用計畫書，並需紀錄施灌作業，對於未依紀錄施灌或未紀錄者，廢止使用計畫；建議推動初期農業主管機關與環保單位於推動初期針對實施施灌者加強輔導訪視，協助建立施灌記錄習慣。
- (二) 美國伊利諾環保署將畜牧場依動物飼養頭數區分為集中動物飼養營運單位 (CAFO) 及動物飼養營運單位 (AFO)；將 CAFO 視為點源污染，AFO 視為非點源污染，我國依水污染防治法事業分類定義及水污染防治措施及檢測申報管理辦法，依照動物頭數區分之概念近似於美國作法；美國聯邦政府頒布的清淨水法規定不得將畜牧糞尿廢水排入水體之作法，基於我國民情考量，尚無法立即實施，惟本署為推動沼液沼渣作為農地肥分使用，提供經濟誘因與補助，已加速執行力道，修正水污染防治法規，訂定資源化利用目標。預計 107 年修正發布水污染防治措施及檢測申報管理辦法修正草案，規定畜牧廢水資源化處理(沼渣沼液作為農地肥分、依農業事業廢棄物再利用管理辦法糞尿個案再利用、符合放流水標準作植物澆灌)比率，新設應達總廢水量 10% 以上，既設養豬場 2,000 頭以上者 5 年內應達 5%、10 年內應達 10%；20 頭到 2,000 頭者 8 年內 5%，12 年內 10%，此舉已符合國際先進國家趨勢，建議未來持續與農委會合作畜牧糞尿資源化利用，階段性促進畜牧業零排放。
- (三) 美國伊利諾州畜牧業管理及畜牧糞尿係以農業部及環保署為主要管理者；而愛荷華州係以自然資源保護部為畜牧糞尿施灌主要管理單位，並與美國環保署第七區合作 NPDES 許可計畫，本次參訪著重推廣中心教育訓練與畜牧場參訪，建議未來另就自然資源保護部於調配畜牧糞尿等國家資源之責成工作項目與相關法令作更深度了解，以促進國內資源統合。
- (四) 美國畜牧業者與農戶普遍將畜牧糞尿視為資源，施灌個人或鄰人的農地，並主動配合政府設置緩衝區以保護水體環境，美國畜牧業者與農戶具有保護環境的觀念，除了管理單位嚴格執行稽查與罰則之成效，我國可透過加強畜牧業與農民等從業人員教育宣導與訓練深植畜牧糞尿即是資源，以及施灌應注意土壤及地下水保護的觀念，將畜牧糞尿資源化的概念向下紮根，從而身體力行。
- (五) 美國畜牧場多以生糞尿貯存儲存池半年至一年自然發酵後施灌至農地，係受限於畜牧場經濟規模不足、經營人口老化無以處理厭氧消化與沼氣

發電複雜操作模式等因素。與我國農牧業面臨相同困境。本次參訪一採厭氧消化的畜牧場，係以沼氣產量最大化為目標，畜牧糞尿混合食品加工廠廚餘進行共消化，發電後回售電力，該畜牧場從建置至營運迄今，向美國農業部、州政府、自然資源保育署、州際電力公司等單位申請多項補助與融資，資金誘因成就沼氣發電之推展可見一斑；目前本署雖已將我國各單位與畜牧設施設備改建、厭氧發酵設備購置、發展綠色能源等補助與融資來源統整公開於環保署網站，惟目前有部分單位補助有排他性，致誘因相對降低，建議未來可朝多項補助同時適用，以提升農業與畜牧業者推動執行之意願，且畜牧業主管機關農委會、經濟部能源局與本署未來可將我國各單位與畜牧設施設備改建、厭氧發酵設備購置、發展綠色能源等補助與融資來源統整公開於所轄網站專區，提供各界查閱，

- (六) 美國農地施灌係以拖曳式牽引軟管 (Dragline Hose) 較槽車普遍作為施灌使用，以減少儲槽液體重量壓實農地土壤的問題，與我國現行管線或槽車施灌之模式不同，未來可考量將拖曳式牽引軟管之施灌方式評估納入，或可降低管線建置與槽車運輸成本；此外，美國以注入式設備進行施灌為大宗，推廣中心表示注入式可提高營養成分利用率、降低臭味飛散與消除病原菌問題，與我國計畫研究成果相符，建議我國政府未來補助沼液沼渣施灌設備以注入式為導向，促進鄉村清淨空

陸、附錄

