

109 年度氣候變遷創意實作競賽

決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	19-咖啡也瘋狂
作品中文名稱	咖啡渣?不渣!「肥」力再現
作品英文名稱	Coffee Ground Useless? Useful! - Fertilizer Reuse!

參賽學校：淡江大學

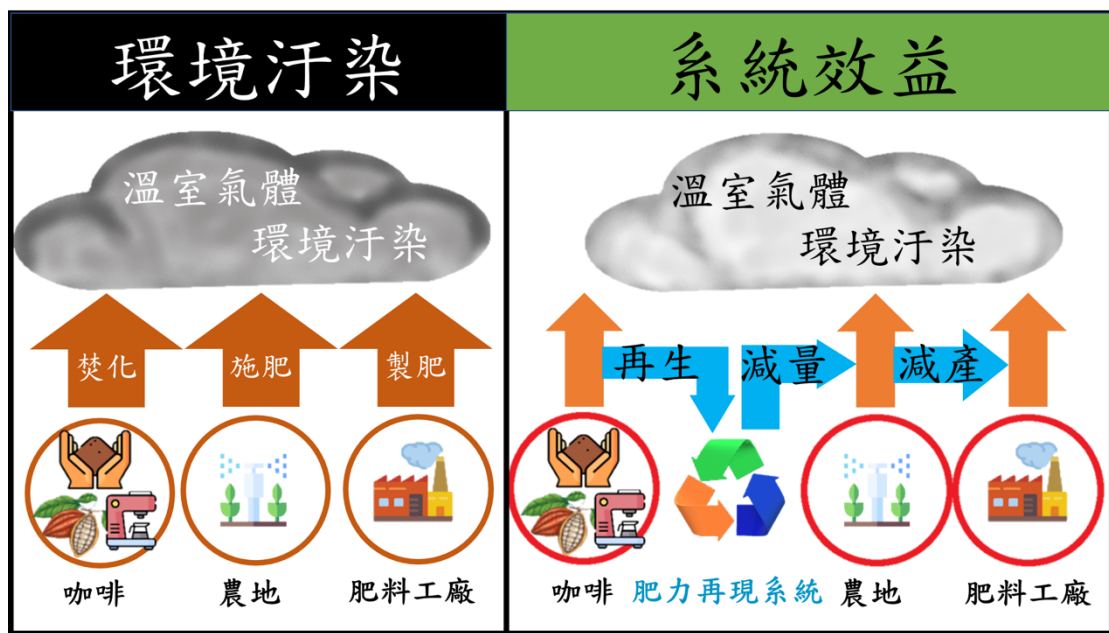
指導老師：彭晴玉

團隊成員：王奕鈞、臧培宏、闕珣樞

一、 作品摘要

咖啡渣，不渣? --「肥」力再現系統(圖一)將廢棄農業資源---咖啡渣回收再利用，利用新穎電容去離子技術(Capacitive Deionization, CDI)¹收集農業廢水中之肥份：氮、磷、鉀，除可減少焚燒農業廢棄物產生的二氧化碳，亦紓解承受水體優養化問題。

“Coffee Ground Useless? Useful! - Fertilizer Reuse!” system (Figure 1) utilizes agricultural waste resources – coffee grounds applied to capacitive deionization (CDI) to collect nitrogen, phosphorus, potassium nutrients of fertilizers from agricultural wastewater. The fertilizer reuse system can not only reduce the carbon dioxide generated from incineration of agricultural wastes, but also relieve eutrophication problems of receiving waters.



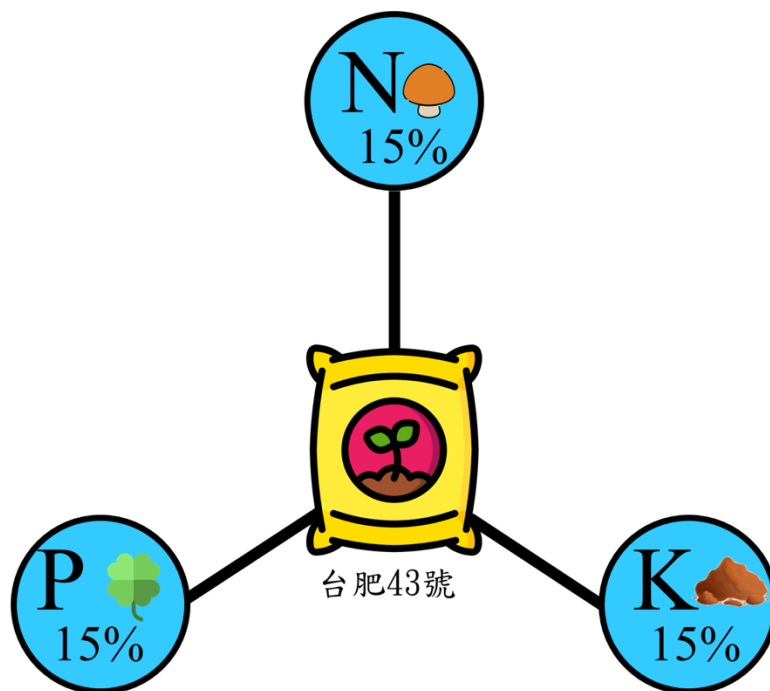
圖一. 咖啡渣，不渣? --「肥」力再現系統

二、 設計構想及運作說明

(一) 問題界定

農業廢棄物是值得關注的議題，根據統計台灣一年農業廢棄物高達約 462 萬公噸²，農業廢棄物常用處置方式為焚燒或掩埋，皆會造成溫室效應氣體的產生，且農地稻草或雜草的露天燃燒，會在未控制的情況下破壞空氣品質，且對農民與居民造成身體危害。

肥料的過度施用則是另一項問題，農民為使農作物健康成長，或縮短其生長的時間，通常會在栽種的過程中施加肥料，尤其是水耕農作物中，田地水體流動快速，容易造成肥料來不及吸收就被大量灌溉水帶走的情況，迫使農夫必須施灑過量的肥料，以確保作物能充分吸收足夠的養份；本作品針對水稻常用之肥料「台肥 43 號」³作為肥料比例基準(圖二)，進行研究與推估系統之可行性。



圖二. 台肥43號氮、磷、鉀百分佔比

(a) 氮肥

施加肥料後，過量的氮元素在農田中於自然狀況下經過土壤微生物驅動進行硝化作用(nitrification)及脫硝作用(denitrification)，此過程會釋出溫室效應氣體 N_2O ， N_2O 全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)是 CO_2 的 296倍。此外，氮肥生產過程除了高溫高壓的需求，還會排放具揮發性的尿素、氨氣、烴類物質等氣體污染物，且其生產耗能高達全球能源的1%⁴。

(b) 磷肥

由於不同的土壤性質，其內部其他離子若是擁有較強氧化還原電位容易導致磷無法被置換進入土壤，也就無法被農作物利用，造成僅有15-25%的磷肥能有效的被農作物吸收⁵，未被利用的磷隨著農業廢水流出，造成河川優養化問題。

(c) 鉀肥

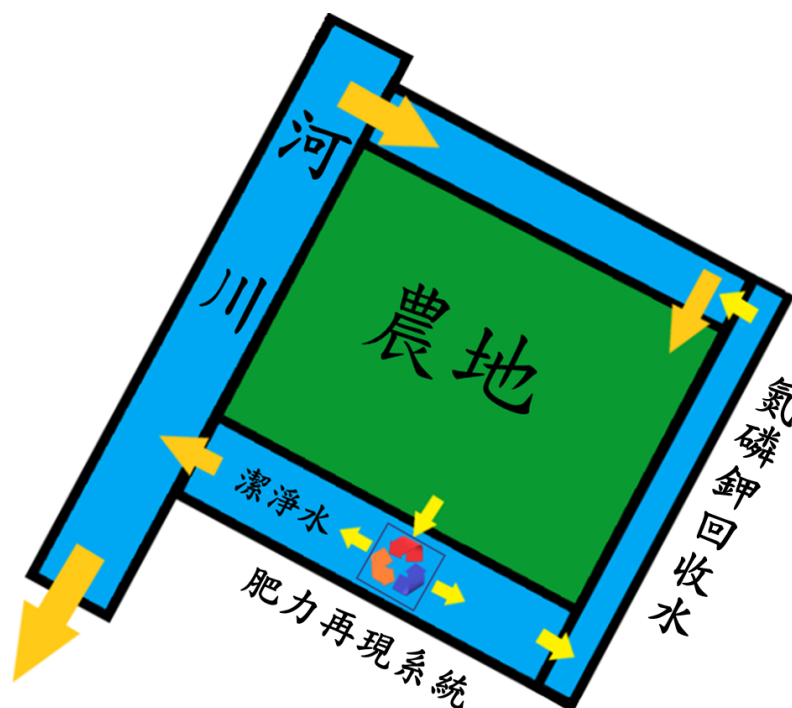
鉀離子一般不會直接造成環境危害，但在使用大量氯化鉀時，因為鉀在土壤中的解離度很低，當氯離子被大量灌溉水帶走時，同時帶走土壤中的鈣、鎂離子，造成土壤酸化，破壞土壤中的營養結構與平衡。

基於農業廢棄物所造成的環境影響，以及肥料在農地無法有效利用問題，咖啡渣，不渣? --「肥」力再現系統希望透過化廢棄物為黃金的概念，提高資源循環能力，於農業廢棄物最終被焚燒前，盡可能發揮其功用，除可降低對環境破壞，且可回收再利用肥料，減少肥料的施用，進一步降低生產肥料所需耗費的能源。

(二) 系統運作說明

為抑制農業廢棄物因焚燒產生大量溫室效應氣體之問題，我們透過回收農業廢棄物，製成活性碳並加工製成電極材料，應用於電容去離子 CDI 技術，作為肥力再現系統處理核心(圖三)，並將其設置於農業廢水排放匯流出水口，將農田中未被作物吸收的肥料(氮、磷、鉀離子)回收至本系統中，防止大量營養鹽放流至承受水體中，造成水體優養化等一系列環境問題。

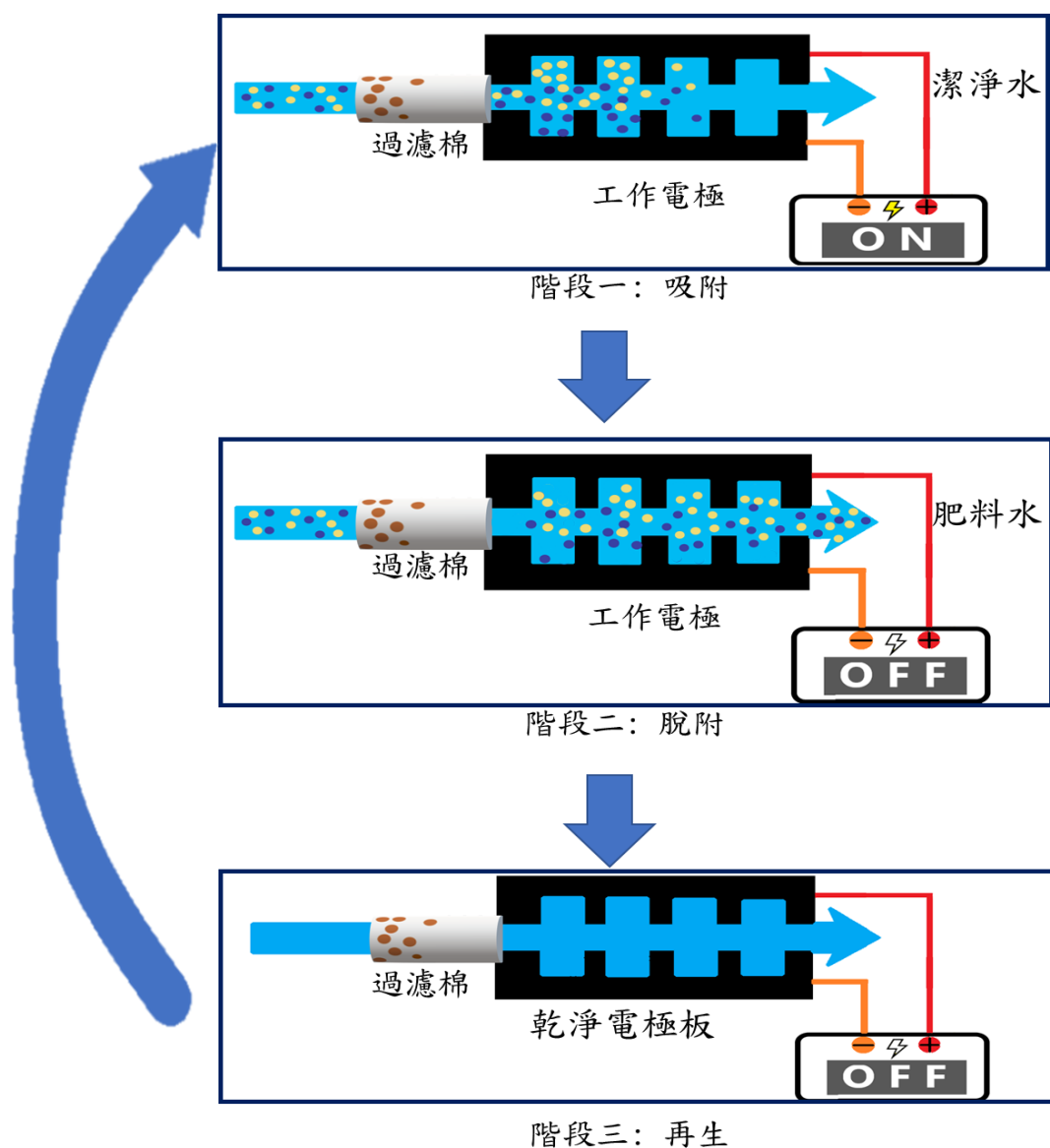
「肥」力再現系統中收集且短暫儲存的氮、磷、鉀離子可輸送回農地進流水處中，隨著農夫執行第二次施肥時，於農地第二次循環回放先前儲存的氮、磷、鉀離子，除可大幅減少農夫二次施肥時所使用的肥料量，減少農夫肥料的開銷，降低農夫搬運肥料的載重，亦可增進環境效益，降低溫室氣體的排放，達到環境友善之效益。



圖三. 「肥」力再現系統運作概念圖

(三) 設備運作解析

● 懸浮固體 ● 陽離子 ● 陰離子



圖四. 「肥」力再現系統三階段循環圖

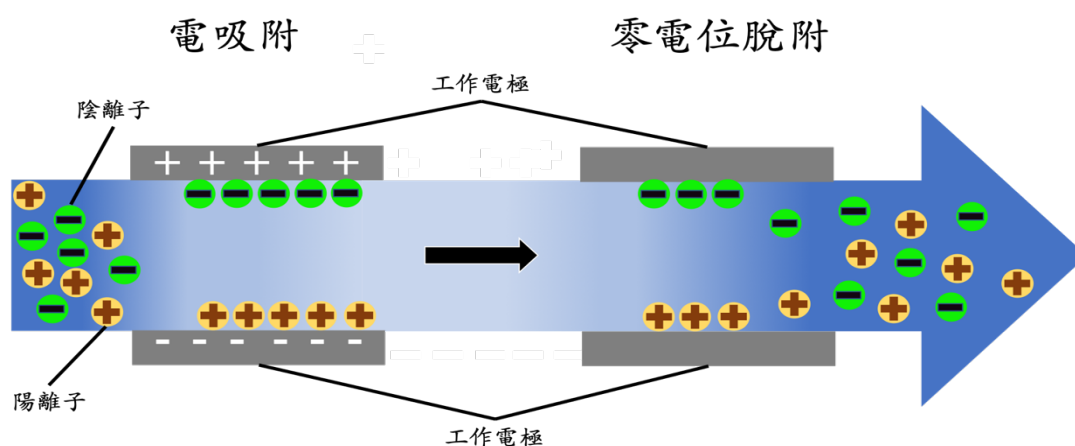
「肥」力再現系統之運作原理可分為三階段(圖四)，當有價值的帶電荷肥份離子流經通電系統後，透過電吸附原理，將水溶液中的陰、陽離子吸附於正、負兩極，並暫存於活性碳材間的孔洞；直至農夫需要二次施肥時，將供電系統關閉，讓系統以零電壓方式脫附，使有價值肥料離子自然流回農地中，以減少農夫二次

施肥的量；透過活性碳易於再生性的原理，可成功達到完全脫附之效益，電極壽命預期可長達半年或一年。

(四) 電容去離子技術(Capacitive Deionization, CDI)

「肥」力再現系統是利用電容去離子技術(CDI)，此技術主要運用於海水淡化，相比閃蒸法、逆滲透(RO)或離子交換等方法，更節省能源且無二次污染問題⁶，並有高離子選擇性的效果⁷，因此，「肥」力再現系統以此技術為核心技術，嘗試運用電吸附原理，著手改善肥料循環之農業問題，及嘗試降低農業廢棄物焚燒處理過程所造成的溫室效應氣體。

電容去離子技術被認為是一種低污染、低成本、高效率的水質淨化技術，利用具電容性的電極材料，通以低電壓(1.2-1.8 V)產生陽極和陰極，將含有陰陽離子之溶液流經電極，水中陽離子即可被陰極吸附，陰離子則被陽極吸附，以電雙層吸附機制達到去除陰陽離子的效果⁸。被電吸附的離子暫時存放在多孔性的碳材中，藉由零電壓或反轉電極，即可將電吸附的離子脫附，以達電極再生的目的(圖五)。



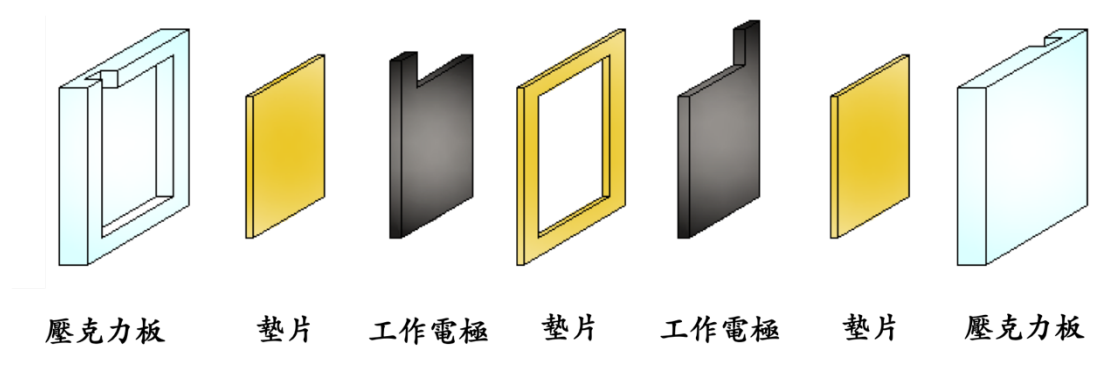
圖五. 電容去離子系統運作原理

電容去離子技術之電極材料以活性碳為主，本計畫以回收之農業廢棄物---咖啡渣，進行加工製成活性碳材料，作為系統電極材料使用，延續原本即將結束的生命週期；「肥」力再現系統於農地中，除了回收肥料之外，還能成功防止氮、磷等營養鹽排入承受水體，通常過多的氮在水中容易透過硝化作用轉變為硝酸氮往土壤下層移動，甚至進入地下水中，或變成含氮的氣體進入空氣中。當土壤中的硝酸氮轉變成氣體型態後，一氧化氮及氧化亞氮會與水反應形成硝酸，隨著降雨回到陸地便形成酸雨，使湖泊及河流的酸鹼值下降，嚴重的話會導致魚、蝦及貝類死亡。酸雨也會破壞建築物，甚至導致橋梁斷裂等問題。一氧化氮及氧化亞氮更可能與地表上的其他物質反應形成臭氧污染物，進而危害人體健康。

三、 作品材料說明

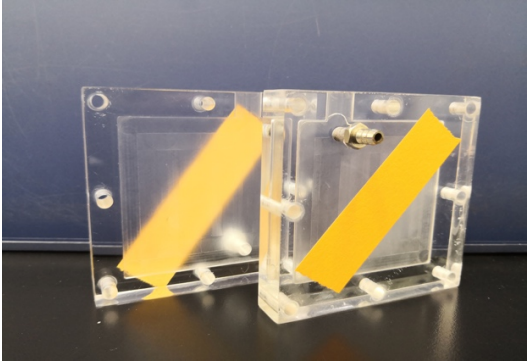
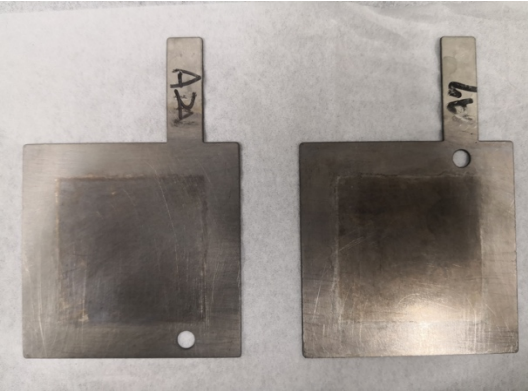
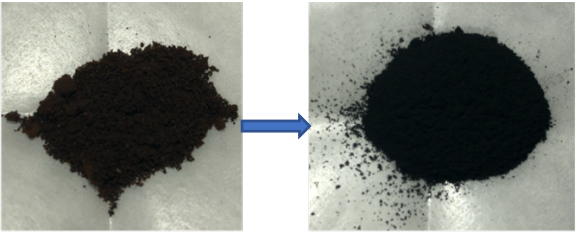
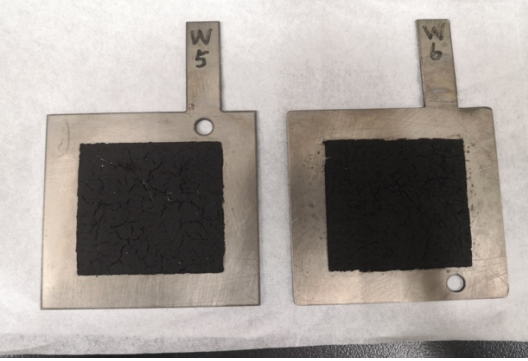
(一) 核心系統材料

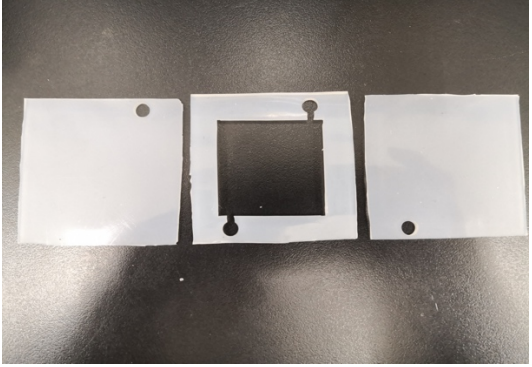
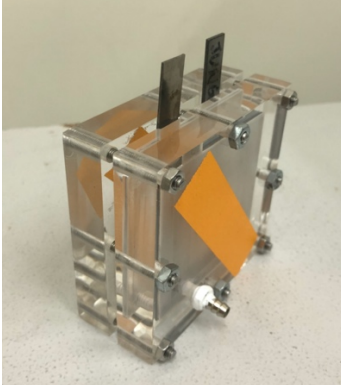
「肥」力再現系統組件(圖七)主要可分為壓克力板、鈦板、活性碳電極、矽膠墊片等四大部分，其功能及實際圖片如表一所示。



圖七. 「肥」力再現核心系統架構圖

表一. 「肥」力再現系統核心部件說明及實際圖

<p>(a) 壓克力板：</p> <p>壓克力板主要作為系統的結構支撐，保護核心電極不受外力破壞，增加系統運作的穩定性及安全性。</p>	
<p>(b) 鈦板：</p> <p>鈦板負責電流傳導，咖啡渣製成的活性碳材料即黏著在鈦板上。</p>	
<p>(c) 活性碳材：</p> <p>廢棄咖啡渣透過化學製程，製備成活性碳材，碳材間孔洞可暫存水溶液中的陰陽離子。</p>	 <p>咖啡渣 咖啡渣活性碳</p>
<p>(d) 活性碳電極：</p> <p>活性碳電極為主要的工作區域，利用活性碳電極進行電吸附，將水中的帶電離子抓住，以達到水體淨化或營養鹽富集之效果。</p>	

<p>(e) 矽膠墊片：</p> <p>矽膠墊片主要用於提供系統足夠的間隔，並且防止液體滲出，將液體控制於系統運作範圍中。</p>	
<p>(f) 系統組裝：</p> <p>藉由簡易的組裝步驟，即能組裝成「肥」料再現系統。</p>	

(二) 材料比較

對於「肥」力再現系統運作而言，活性碳的比表面積高，是去除水中離子重要關鍵因素之一，比表面積高表示活性碳的孔洞較多，而在孔洞多的情況下，水中離子就容易進入活性碳的孔洞中，並且透過通電的方式加強離子的附著能力，使本系統將農業廢水中的氮、磷、鉀離子暫時保留在系統中，待農夫欲進行二次施肥時，將系統中的離子釋放回農地，以降低資源的浪費。

常用的活性碳製程之生質原料有咖啡渣、稻稈及棕梠殼(表二)，其中咖啡渣不僅取得容易、原料充足，且其材料比表面積高達 $2,550 \text{ m}^2/\text{g}$ ，是非常適合作為 CDI 系統之核心材料，高的比表面積可增加水中離子被儲存的空間。

表二. 常見活性碳材比較表

特性	生質材料			化石材料
碳材種類	咖啡渣	稻稈 ⁹	棕梠殼 ¹⁰	煤炭 ¹¹
比表面積 (m ² /g)	2,550	1,702	800	2,300
製程溫度 (°C)	800	800	950	950
年產量 (全球)	2,500 萬噸	5.8 億噸	8,500 萬噸	78 億噸
年產量 (台灣)	5.7 萬噸	158 萬噸	N/A	N/A
取得方式	易取得且 原料充足	取得容易，但 易受季節影響	取得相較困難 且市場較遠 (台灣無生產)	市場龐大、 易購買且 原料充足

(三) 材料選定

咖啡飲食文化風行，大學生幾乎人手一杯，以本校師生 20,000 人計算，以 7 成的師生每日皆會飲用一杯咖啡，每杯咖啡所產生的咖啡渣為 10 g，因此本校每日產生高達 140 kg 的咖啡渣，結合上述咖啡渣取得的便利性及產量，本次作品選定咖啡渣作為電極材料之生質原料。

四、 創意特點與創意說明

(一) 咖啡渣（農業廢棄物）——農作物的“守護者”

「肥」力再現系統利用咖啡渣製成的活性碳收集農田出流水中流失的肥份，並循環返送回農地使用，使肥料當中所含的氮、磷、鉀營養成分得到充分利用。

「肥」力再現系統的循環方式除可緩解承受水體優氧化問題，同時也可大幅提高肥料施用效率，促使農作物以經濟有效的施肥方式健康成長。「肥」力再現系統除成功淨化農業廢水，也守護農作物的生長與健康。

(二) 回收與再利用

常用市售活性碳絕大部分為木質活性碳，木質活性碳的原料大多來自仍具有極高經濟效益及經濟多樣性的木材。相比之下，「肥」力再現系統回收被店家丟棄的咖啡渣，並通過碳化、活化等步驟將其製成功能不亞於市面上販售的活性碳。在經濟層面上，「肥」力再現系統將已失去經濟價值的咖啡渣，回收、加工並製成具有經濟價值與功能性的活性碳，完成了咖啡渣的經濟價值再生。

「肥」力再現系統得到經濟價值再生的不僅僅是咖啡渣，本將隨著農業出流水流失的肥份，透過「肥」力再現系統，得到了價值再生。雖然「肥」力再現系統只是將肥料中的氮、磷、鉀元素重新返送回農田中，但一旦這些元素未進行收集與再利用而流入承受水體，不僅是失去肥份的經濟價值，更進一步造成水體污染。

(三) 化“不可能”為“可能”——農業廢水處理

“面源污染”於環境工程領域是極難處理但急需被重視的污染問題，面源污染指的是污染物從非特定地方通過雨水被帶到附近的河流或地下水中。面源污染由於其污染源分佈範圍廣且分散、污染物排放的時間與地點均存在不確定性等特點，導致污染物收集困難、處理效益小、不易監測且難以量化，導致整治面源污染問題變得近乎“不可能”。在面源污染當中最具代表性的污染就包含了農業廢水的處理。

「肥」力再現系統又是如何將“不可能”化為“可能”呢？日本曾研發一種名為“淨化槽”的小型污水處理設施，淨化槽的設計是為了應用於日本山區或地震頻率高或難以鋪設污水收集管網的地區；淨化槽的特點為安裝容易、佔地面積小，可以讓污水不需收集到污水廠即可現地淨化；現地淨化特點非常適用於面源污染處理，所以在概念設計時，我們將淨化槽的現地淨化特點融入「肥」力再現系統中，亦即將“不可能”的農業廢水處理變為“可能”。

(四) 長效性

電容去離子技術由於處理流程即擁有材料易再生及不易損壞的特點，所以在環境工程領域內屬於使用壽命長的工藝類型。「肥」力再現系統即充分發揮電容去離子技術的這些特點，系統使用壽命長且易於維護。除了需要定期的檢查與保養以確保回收效率，僅需一年進行一次工作電極的更換即可。

五、 作品運用範圍及發展潛能

(一) 作品運用範圍：

(a) 農地：

「肥」力再現系統將運用於水耕植物(例如：水稻、莖白筍)的農業生產中，減少肥料在灌溉的過程中造成的流失，可以降低資源的浪費，並且減少農夫下次施肥的量，亦可降低農業廢水對承受水體所造成的污染。

(b) 溫室栽培：

溫室栽培講求集約式農業，種植高經濟價值作物，然而其肥料的使用量及營養物質的循環固然非常重要，有效的將肥料在有限的空間內達到最大化的使用是溫室栽培中重要的條件之一，透過「肥」力再現系統可協助達到肥料運用最大化，並且節省資源的浪費。

(二) 發展潛能

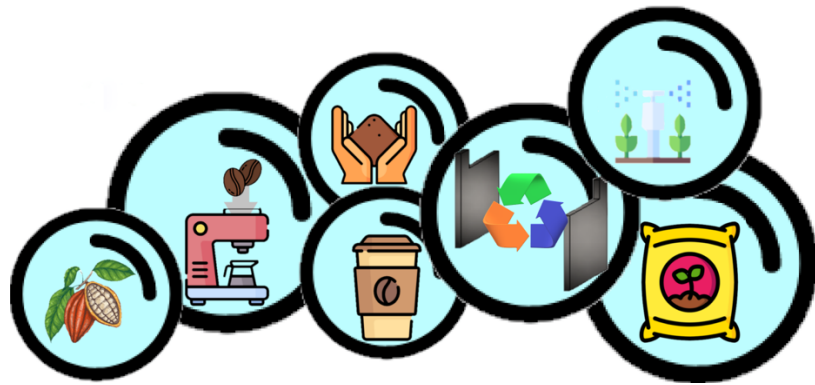
(a) 環境效益：

「肥」力再現系統從農業廢棄物找到資源的可用性，進行加工改良，利用咖啡渣製成肥料回收系統之電極材料，兼具水質淨化功能，不僅減少廢棄咖啡渣燃燒所產生的溫室效應氣體(CO₂、N₂O...)，也減少農夫肥料的使用量，進而減少肥料生產時所造成的環境污染，發揮資源的最大化，降低對環境的破壞。

(b) 環境永續：

咖啡之生命週期(LCA)從農夫摘下咖啡豆的那刻開始，經過一連串

的加工烘培過程，運送到咖啡產業，直到被煮成咖啡後，產生咖啡渣，此為典型咖啡生命週期的終點；「肥」力再現系統利用咖啡渣製成 CDI 系統的核心材料，延長了咖啡豆的生命週期，賦予了原本要被廢棄的資材新的生命(圖八)。



圖八. 咖啡生命週期(LCA)透過「肥」力再現系統延續生命

(C) 環境衝擊：

根據研究顯示，每 1 kg 的廢棄咖啡渣經由燃燒後所產生的二氧化碳高達 538 g¹²，而平均每杯咖啡所產生的咖啡渣為 10 g，台灣人民每年喝掉高達 28.5 億杯咖啡，若將所有的咖啡渣以燃燒的方式處理，台灣每年因焚燒咖啡渣產生的二氧化碳量高達 15,000 公噸，相當於一台車跑 7 千萬公里，也就是繞地球 1750 圈；若能充分利用咖啡渣資源，即可有效降低環境衝擊。

六、 商業模式

(一) 商業模式

優質的商業模式可推動新產品的成功，「肥」力再現系統的商業模式九宮格(圖九)以目標客群、核心價值以及收入來源三個項目特別重要。

「肥」力再現系統的目標客群以農會、一般農戶、植物景觀園、溫室栽培及部分自有農地的餐廳為對象，其中農會的認同與推廣將有助於本系統的推銷，所以首重與農會的溝通與示範，請農會幫忙推廣此產品，將有助於銷售；另外自有農地的餐廳通常是較有環境友善意識的族群，使用「肥」力再現系統可提供低耗能、低碳排的食材，有助於餐廳的知名度提升，進而增加本系統之曝光度與銷售。

「肥」力再現系統的價值主張，對於消費者而言，最主要的是水質淨化的同時能將肥份再利用，從而達到肥料效益最大化的目的，可以在樹立產業形象、符合排水標準的同時，減少購買肥料的經費。對於環境保護方面，本產品不僅可以淨化水質、推廣環保意識，並將農業廢棄物再生利用。

「肥」力再現系統的收入來源，分為產品販售、會員繳費制度、企業入股合作與產品維護更新；產品的販售與會員繳費制度主要是針對一般農戶以及自帶農地的餐廳，這兩類客群由於其基本資金以及購買數量有限，需要搭配會員制等福利以促進消費。企業入股合作則是對於農會及景觀園區等需要大量購買產品的客群所設計，其優惠程度大於散戶會員制。上述收入來源多為單次收入類型，產品的維護更新才是關鍵的長久性收入來源類型，本產品更新或換代，在提高產品性能同時擴大其適用範圍，以及增加新機能吸引消費者，並定期進行產品維護，保障設備的正常運行。

Customer Segments (目標客層)	Customer Relationships (顧客關係)	Value Proposition (價值主張)	Key Activities (關鍵活動)	Key Partners (關鍵合作夥伴)
1. 農會 2. 一般農戶 3. 植物景觀園 4. 溫室栽培 5. 部分自有農地的餐廳	1. 產品維護 2. 客製化設計 3. 組織會員制	1. 環保意識推廣 2. 廢料再生 3. 水體淨化 4. 肥料效益最大化	1. 農業廢棄物回收 2. 產品製造 3. 網路平台維護 4. 客戶售後服務	1. 連鎖咖啡產業 2. 淡江大學 3. 標準化產線 4. 政府相關部門 5. 農事培育企業
	Channels (通路)		Key Resources (關鍵資源)	
	1. 網路平台 2. 設置試用點		1. 農業廢棄物 2. CDI技術 3. 生產設備	
Revenue Streams (收益流)			Cost Structure (成本結構)	
1. 產品販售 2. 會員繳費制度 3. 企業入股合作 4. 產品維護與更新			1. 產品研究與生產 2. 產品更新 3. 農業廢棄物回收與再生 4. 運營費用	

圖九. 「肥」力再現系統之商業模式九宮格

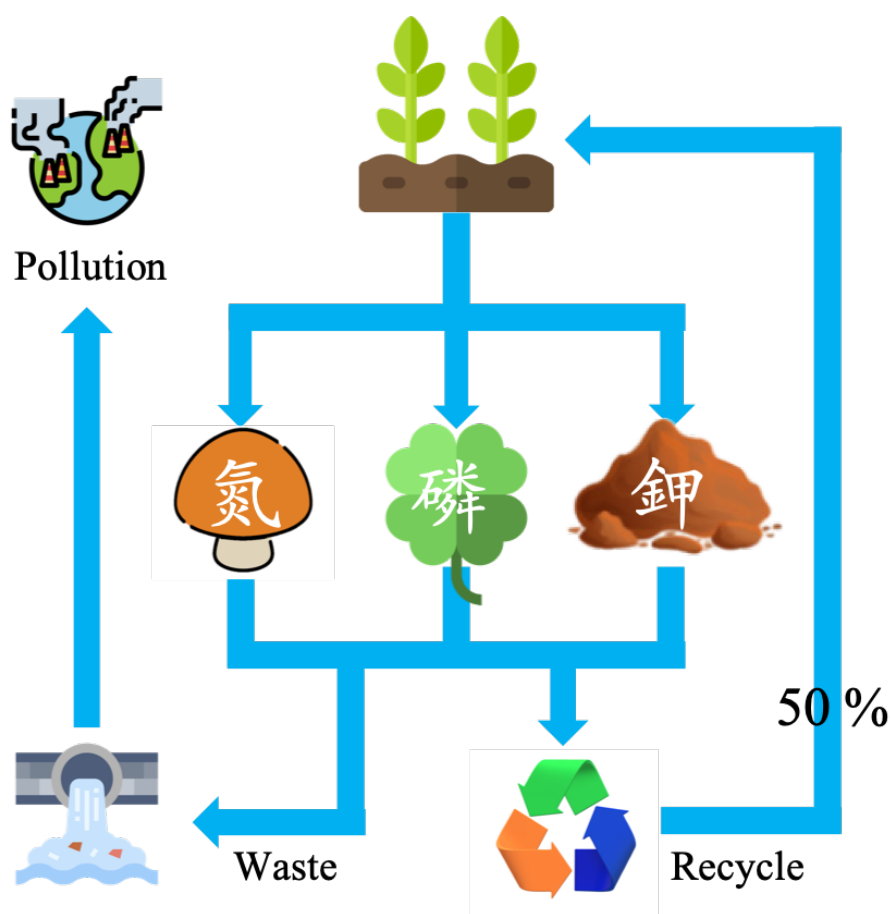
(二) 收益分析

「肥」力再現系統透過加入會員，以收取會費作為主要收入，會員享有每年產品檢修服務，並可在需更換工作電極時，以較低的價格更換，也會定期檢查設備運作狀況，分享農業上新穎技術，藉以提高購買意願，亦宣傳環境友善技術，讓會員們一同朝環境永續的方向前進。

(三) 效益計算

我們以每公畝(100 m²)農地為基本單位面積，根據台肥建議的施肥量，每畝水稻田需要約 6,600 g 的台肥 43 號肥料³，而其中氮、磷、鉀的含量分別為：900 g、430 g、830 g，且一般作物對於肥料的利用率約為 30%，因此我們推估大約有 630 g 的氮元素、300 g 的磷元素以及 580 g 的鉀元素流失，但以本團隊在實驗室之實驗結果，推估以 50 cm*50 cm 的工作電極運作，每一組工作電極可回收之有價肥料離子高達 5 g，而經由本團隊有效的將 50 組系統串連，可回收再利用高達 50% 的肥料離子，也就是可以有效利用約一半的有價值肥份，有助於農夫再利用

未被吸收的有價值肥份，可降低肥料的使用量，亦可減少咖啡渣燃燒時所產生的溫室效應氣體及可能造成的其他污染(圖十)。



圖十. 氮、磷、鉀回收概念圖





































每畝農地的「肥」力再現系統所使用的咖啡渣數量高達 18 kg，而每 1 kg 的廢棄咖啡渣燃燒會產生約 540 g 的二氧化碳排放量¹²，可以得到每畝農地可以減少 9.7 kg 的碳排量，而全台灣水稻田約 27 萬公頃，若都能以本產品進行肥料回收，預計可減少約 26 萬公噸的碳排量，如此龐大的數量勢必能對氣候變遷帶來正面的影響。



氮肥的製造佔全球能源的 1%，而「肥」力再現系統之回收效率可以成功降低肥料的使用量，因而減少全球能源的消耗，而上述推估之台灣每畝水田使用之

氮肥量為 900 g，扣除被植物吸收的 30%，再加上「肥」力再現的回收再利用 50%效率，每畝水稻田即可回收約 315 g，佔氮肥比例 35%，若能極力推廣「肥」力再現系統，我們預計能減少全球能源消耗 0.35%。

結合上述估計，「肥」力再現系統的推行，能減少大量的能源消耗、溫室效應氣體排放及環境污染，減少農夫於施肥時經濟與體力的負擔，大幅降低對於環境的破壞，能紓解氣候變遷的困境，可謂一舉多得。

七、 工作分配

工作項目	王奕鈞	臧培宏	關珮檣
技術發想			
實驗操作			
問題界定			
創意構思			
設備運作規劃			
應用潛能			
效益評估			
商業模式			
圖表製作			
影片拍攝			
報告書編輯			
海報設計			

主要：  次要： 

參考文獻：

- [1] Porada, S., Zhao, R., van der Wal, A., et al., 2013. Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. Progress in materials science, 58(8), pp. 1388-1442.
- [2] <https://news.tvbs.com.tw/life/896026>
- [3] <https://www.taifer.com.tw/ProductDetailC003210.aspx?Cond=29ed34d4-092e-494b-ab72-364dd2a24c23>
- [4] 葉道明. 尿素工廠的污染及防治技術. 化工環保, 1986(03):145-149.
- [5] 司友斌, 王慎強, 陳懷滿. 農田氮、磷的流失與水體富營養化. 土壤, 2000(04):188-193.
- [6] Oren Y., 2008. Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment-past, present and future (a review). Desalination, 228(1-3), pp. 10-29.
- [7] ALMARZOOQI, F.A., AL GHAFERI, A.A., SAADAT, I. and HILAL, N., 2014. Application of Capacitive Deionization in water desalination: A review. Desalination, 342, pp. 3-15.
- [8] Porada, S., Zhao, R., van der Wal, A., et al., 2013. Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. Progress in materials science, 58(8), pp. 1388-1442.
- [9] https://eris.utrust.com.tw/enviromet/dispPageBox/getFile/Get.aspx?FileLocation=P_J-ERIS%5CFiles%5C&FileName=6059.pdf
- [10] <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=32710>
- [11] <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/各国煤产量列表>
- [12] Hirata, M., Kawasaki, N., Nakamura, T., Matsumoto, K., Kabayama, M., Tamura, T., & Tanada, S. (2002). Adsorption of Dyes onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds by Microwave Treatment. Journal of Colloid and Interface Science, 254(1), 17–22.